



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA

DIRECCIÓN DE CIENCIAS AGRÍCOLAS

Trabajo de Tesis

**Fertilización sintética, orgánica y combinada
y su efecto en el crecimiento y rendimiento
del cultivo de maíz**

Autores

**Br. Leonela Fernanda Castillo Robles
Br. José Gabriel Jirón Moraga**

Asesores

**MSc. Martha Elizabeth Moraga Quezada
Ing. Miguel Jerónimo Ríos**

Presentado a la consideración del Honorable Comité
Evaluador como requisito final para optar al grado de
Ingeniero Agrónomo

**Managua, Nicaragua
Octubre, 2025**

Este trabajo de graduación fue evaluado y aprobado por el Honorable Comité Evaluador designado por la Dirección de Ciencias Agrícolas como requisito final para optar al título profesional de:

Ingeniero Agrónomo

Miembros del Comité Evaluador

MSc. Roberto Carlos Larios González
Presidente

Ing. Ericka Olmara Cabezas Fonseca
Secretaria

MSc. Evert Francisco Herrera Fuentes
Vocal

Lugar y fecha: Managua, Nicaragua, 14 de octubre del 2025

DEDICATORIA

Dedico el esfuerzo y la realización de este trabajo de investigación, primeramente, a Dios, por haberme permitido llegar hasta este momento, brindándome sabiduría para superar cada obstáculo y mantenerme firme incluso en los días más difíciles. Su presencia ha sido mi guía constante en cada paso de este camino, y es a él quien entrego con gratitud este logro, fruto de su fidelidad en mi vida.

Con todo mi amor, dedico también este logro a mi madre Sheila Patricia Robles Calero y a mi padre Anuar Moisés Castillo Peña, por cada palabra de aliento que me sostuvo, por sus oraciones que me acompañaron en todo este camino recorrido, por los sacrificios, por ese amor incondicional, por caminar a mi lado con paciencia, fe y entrega. Sin ustedes, este sueño no habría sido posible, este logro también les pertenece, porque en cada paso que doy, llevan conmigo su esfuerzo y amor.

A mi bisabuela Mercedes García Amador, que cada día me regala su bendición a lo largo de mi vida. Su sabiduría, sus consejos llenos de amor y su inquebrantable fe me han guiado por el camino del bien. Llevo sus enseñanzas en lo más profundo de mi corazón, como un legado que me acompaña siempre.

Finalmente, dedico este trabajo a mi hermanito, Víctor José Pavón Robles, quien con tan solo seis meses de vida ha llenado mi mundo de luz y esperanza. Aunque aún no comprende lo que esto significa, su existencia ha sido una inspiración profunda que me ha impulsado a seguir adelante con más fuerza, amor y determinación.

Br. Leonela Fernanda Castillo Robles

DEDICATORIA

Dedico el presente trabajo de investigación en primer lugar a Dios y a María Santísima, por haberme permitido culminar esta etapa de formación personal y académica, por haberme otorgado salud, bienestar y sabiduría durante todos mis años de estudio, Dios padre, infinitamente gracias por este logro personal.

A mi amada Madre María Dolores Moraga Sevilla, quien con tanto sacrificio y dedicación me brindo el apoyo económico, moral y emocional para lograr una etapa educativa más, en mi vida. Mi padre Omar Javier Jirón Álvarez quien también con su esfuerzo me otorga el apoyo, para lograr culminar mis estudios universitarios.

De manera muy especial dedico mi esfuerzo a mis abuelos maternos Paula Inés Sevilla Amador y José María Moraga Mercado y paternos Trinidad del Socorro Álvarez Obregón (q.e.p.d) y Bernardo Rodolfo Jirón Baltodano (q.e.p.d) quienes han formado parte esencial de mi vida, al brindarme su amor, sabiduría y consejos para ser una persona correcta y de bien.

Br. José Gabriel Jirón Moraga

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Nacional Agraria, mi alma mater, por brindarme una formación integral y a los profesores de mi carrera, por la formación académica y los conocimientos compartidos que fueron fundamentales para mi crecimiento profesional y alcanzar este logro.

A mis asesores MSc. Martha Moraga Quezada e Ing. Miguel Jerónimo Ríos, por su paciencia, orientación y apoyo constante a lo largo de toda esta etapa. Sus conocimientos y consejos fueron esenciales para llevar a cabo este trabajo.

A Erick Marcelo Fernández Hernández, propietario de la finca Montevideo y a sus trabajadores por su experiencia, conocimientos, colaboración y amabilidad en campo para el desarrollo de esta investigación.

A mi familia por parte de mamá y papá, por su apoyo constante y palabras de aliento en este proceso. Siempre han estado a mi lado, brindándome el respaldo necesario para seguir adelante en todo momento.

A quienes tengo el privilegio de llamar amigos, Fernanda Lucía Chávez Bermúdez, Javiera Alemán Loaisiga, José Miguel Gutiérrez Ruíz y José Habraham Figueroa García, quienes con su amistad y apoyo constante se convirtieron en pilares fundamentales a lo largo de este proceso. Gracias por caminar a mi lado con lealtad, empatía y amor en cada etapa de este recorrido.

Finalmente, expreso mi agradecimiento a todos mis compañeros de clases por su colaboración, compañerismo y por las valiosas experiencias compartidas que enriquecieron este proceso académico y personal. De manera especial, agradezco a José Gabriel Jirón Moraga, mi compañero de tesis, por su dedicación, compromiso y el trabajo conjunto que permitió llevar a cabo esta investigación.

Br. Leonela Fernanda Castillo Robles

AGRADECIMIENTO

En su infinita misericordia a Dios todo poderoso y María Santísima por haber culminado mi formación universitaria mediante el presente trabajo de investigación, también por brindarme salud y protección en todo momento.

También agradezco a mi familia por su apoyo incondicional durante todo el transcurso de mi vida. A mi amiga Mireisy Ayline López Aguirre, quien me brindo su apoyo y amistad en momentos de dificultades durante todo mi proceso universitario.

Un agradecimiento especial a nuestros asesores MSc. Martha Elizabeth Moraga Quezada e Ing. Miguel Jerónimo Ríos, quienes nos brindaron su valioso tiempo, apoyo y conocimientos para poder llevar a cabo nuestro trabajo de graduación.

A la Universidad Nacional Agraria, especialmente a la Dirección de Ciencias Agrícolas por brindarme la oportunidad de cursar la carrera de Ingeniería Agronómica.

Al propietario de la finca Montevideo, Erick Marcelo Fernández Hernández por darnos la confianza y abrirnos las puertas de su propiedad para poder establecer el ensayo. Al personal de la finca Montevideo, quienes fueron parte esencial de nuestro trabajo, nos brindaron apoyo en todo momento, con quienes también compartimos conocimientos y valiosos momentos.

A los estudiantes Br. Fernanda Lucía Chávez Bermúdez y Br. Pablo Antonio Moraga Cerdá quienes nos proporcionaron apoyo en diversas etapas de la investigación.

Y a mi compañera Leonela Fernanda Castillo Robles con quien compartí buenos y malos momentos durante el transcurso de nuestra carrera, sin embargo, logramos cumplir una etapa más en nuestras vidas como profesionales.

Br. José Gabriel Jirón Moraga

ÍNDICE DE CONTENIDO

SECCIÓN	PÁGINA
DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTO	iii
ÍNDICE DE CUADROS	vii
ÍNDICE DE ANEXOS	viii
RESUMEN	ix
ABSTRACT	x
I. INTRODUCCIÓN	1
II. OBJETIVOS	3
2.1 Objetivo general	3
2.2 Objetivos específicos	3
III. MARCO DE REFERENCIA	4
3.1 Fertilización en el cultivo de maíz	4
3.1.1 Sintética	4
3.1.2 Combinada	4
3.1.3 Orgánica	5
3.2 Descripción de los fertilizantes	5
3.2.1 Fertimaíz	5
3.2.2 Nitro Xtend Urea 46 N	5
3.2.3 Biogreen	6
3.3 Altura de planta	6
3.4 Diámetro del tallo	6
3.5 Número de hojas	7
3.6 Área foliar	7
3.7 Longitud de espiga	8
3.8 Altura de inserción de mazorca	9
3.9 Longitud y diámetro de mazorca	9
3.10 Número de hileras por mazorca y número de granos por hilera	10
3.11 Rendimiento (kg ha ⁻¹)	11
IV. MATERIALES Y MÉTODOS	12
4.1 Ubicación del estudio	12
4.2 Diseño metodológico	13
4.3 Descripción de los tratamientos	13
4.4 Descripción de la variedad	14

4.5	Variables evaluadas	15
4.5.1	Variables de crecimiento	15
4.5.2	Variables a la floración	16
4.5.3	Variables de rendimiento	16
4.6	Análisis de datos	17
4.7	Análisis económico	17
4.7.1	Análisis de presupuesto parcial	18
4.7.2	Análisis de dominancia	18
4.7.3	Tasa de retorno marginal	18
4.8	Manejo de factores no sujetos a evaluación	19
4.8.1	Preparación del suelo	19
4.8.2	Siembra	19
4.8.3	Manejo de plagas	19
4.8.4	Manejo de arvenses	20
V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN		21
5.1	Variables de crecimiento	21
5.1.1	Altura de planta (cm)	21
5.1.2	Diámetro del tallo (mm)	22
5.1.3	Número de hojas	23
5.1.4	Área foliar (cm ²)	24
5.2	Variables a la floración	25
5.2.1	Longitud de espiga (cm)	25
5.2.2	Altura de inserción de mazorca (cm)	26
5.3	Variables de rendimiento	27
5.3.1	Longitud de mazorca (cm)	27
5.3.2	Diámetro de mazorca (mm)	27
5.3.3	Número de hileras por mazorca	28
5.3.4	Número de granos por hilera	28
5.3.5	Rendimiento (kg ha ⁻¹)	29
5.4	Análisis económico	30
5.4.1	Análisis de presupuesto parcial	30
5.4.2	Análisis de dominancia	31
5.4.3	Tasa de retorno marginal	32
VI. CONCLUSIONES		34
VII. RECOMENDACIONES		35
VIII. LITERATURA CITADA		36
IX. ANEXOS		45

ÍNDICE DE CUADROS

CUADRO	PÁGINA
1. Parámetros físicos y químicos del suelo de la finca Montevideo, 2022	13
2. Dimensiones de parcelas, bloques y área total del experimento	13
3. Descripción de los tratamientos	14
4. Características agronómicas de la variedad DK-7088	14
5. Altura de planta (cm) según tratamientos y momentos de muestreo	21
6. Efecto de los tratamientos evaluados en el comportamiento agronómico del diámetro del tallo de la planta de maíz	22
7. Número de hojas por planta en el cultivo de maíz por efecto de los fertilizantes	24
8. Área foliar de la planta de maíz en tres tratamientos	25
9. Evaluación de las variables de floración en el cultivo de maíz	26
10. Promedio de longitud, diámetro de mazorca, hileras por mazorca y granos por hilera	29
11. Rendimiento (kg ha^{-1}) según tipo de fertilización en la variedad DK 7088	30
12. Resultado de análisis de presupuesto parcial realizado a los tratamientos evaluados en el cultivo de maíz	31
13. Análisis de dominancia para los tratamientos evaluados en el cultivo de maíz	31
14. Análisis de tasa de rendimiento promedio para los tratamientos evaluados	32

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO	PÁGINA
1. Establecimiento del ensayo	45
2. Mazorca tierna (chilote) cortada	45
3. Toma de datos en las variables de crecimiento	45
4. Cosecha de maíz	46
5. Mazorcas cosechadas	46
6. Acompañamiento de los asesores al momento de la cosecha	46
7. Registro de datos en las variables de crecimiento	47
8. Medición de las variables de crecimiento	47
9. Evaluación de las variables de rendimiento	47
10. Plano de campo	48
11. Formato para el levantamiento de datos de las variables de crecimiento	49
12. Formato para el levantamiento de datos de las variables a la floración	49
13. Formato para el levantamiento de datos de las variables de rendimiento	49

RESUMEN

La reducción en el uso de fertilizantes sintéticos tiene un beneficio ambiental y a mediano plazo, un impacto positivo en los costos de producción. El objetivo de esta investigación fue determinar el efecto de la fertilización sintética, orgánica y combinada en el crecimiento y rendimiento del cultivo de maíz (*Zea mays* L.). El experimento se desarrolló en la finca Montevideo propiedad del productor Erick Marcelo Fernández Hernández ubicada en el municipio de Diriomo, departamento de Granada; el período de realización fue en la época de postrera. Se utilizó un arreglo unifactorial en diseño de Bloques Completamente al Azar con tres tratamientos y cuatro repeticiones. Cada unidad experimental fue de 5 m x 8 m, para un área experimental de 595 m². Los tratamientos evaluados fueron: sintético (Fertimaíz + Nitro Xtend), combinado (Nitro Xtend + Biogreen) y orgánico (Biogreen), las dosis se establecieron sobre la base del contenido de nutrientes del suelo y de los requerimientos nutricionales del cultivo. Las variables evaluadas fueron altura de planta (cm), diámetro del tallo (mm), número de hojas, área foliar (cm²), longitud de espiga (cm), altura de inserción de la mazorca (cm), longitud de mazorca (cm), diámetro de la mazorca (mm), número de hileras por mazorca, número de granos por hilera y rendimiento (kg ha⁻¹). Los datos fueron analizados con el programa estadístico InfoStat aplicando análisis de varianza y prueba de separación de medias a través de Tukey con 5 % de margen de error. Las variables que presentaron diferencias estadísticas fueron diámetro de tallo (26.55 mm), número de hojas (12.84), área foliar (490.99 cm²); la aplicación de fertilización sintética y fertilización combinada producen iguales rendimientos. El análisis económico determinó que el tratamiento más rentable fue el sintético indicando que por cada córdoba invertido el productor obtuvo ganancias de 5.18 córdobas, sin embargo, la fertilización combinada representa ganancias importantes.

Palabras clave: Variables agronómicas, nutrición vegetal, análisis económico, tasa de retorno promedio, suelo, componentes del rendimiento.

ABSTRACT

Reducing the use of synthetic fertilizers has an environmental benefit and a positive impact on production costs in a medium term. The objective of this research was to determine the effect of synthetic, organic, and combined fertilization on the growth and yield of maize (*Zea mays L.*). The experiment was conducted at the Montevideo farm, owned by producer Erick Marcelo Fernández Hernández, located in the municipality of Diriomo, department of Granada, during the postrera season. A unifactorial arrangement in a Completely Randomized Block Design (CRBD) with three treatments and four replications was used. Each experimental unit measured 5 m x 8 m, for a total experimental area of 595 m². The evaluated treatments were: synthetic (Fertimaíz + Nitro Xtend), combined (Nitro Xtend + Biogreen), and organic (Biogreen). The fertilizer rates were established based on the soil nutrient content and the crop's nutritional requirements. The evaluated variables included plant height (cm), stem diameter (mm), number of leaves, leaf area (cm²), ear length (cm), ear insertion height (cm), cob length (cm), cob diameter (mm), number of rows per cob, number of kernels per row, and yield (kg ha⁻¹). Data were analyzed using the statistical software InfoStat by applying analysis of variance (ANOVA) and Tukey's test for mean separation at a 5% significance level. The variables that showed statistical differences in the study were stem diameter (26.55 mm), number of leaves (12.84), leaf area (490.99 cm²); the application of synthetic fertilization and combined fertilization produce equal yields. The economic analysis determined that the most profitable treatment was the synthetic fertilizer, indicating that for every Córdoba invested, the producer obtained profits of 5.18 Córdobas. However, combined fertilization represents significant profits.

Key words: Agronomic variables, plant nutrition, economic analysis, average rate of return, soil, yield components.

I. INTRODUCCIÓN

El maíz (*Zea mays* L.), constituye la base principal de los nicaragüenses siendo, pilar fundamental para la economía y seguridad alimentaria de nuestro país (García y Plata, 2015). El amplio uso y la dependencia del cultivo hace que sea explotado gastronómicamente en más de 73 formas, convirtiéndose en el grano básico más importante, teniendo un consumo per cápita de 70 kg por persona por año (Pérez y Hernández, 2022).

El Ministerio Agropecuario (MAG, 2023) indica que:

La productividad del cultivo dinamiza la economía local y nacional, a finales del año 2022 e inicios de 2023, el ciclo productivo promedió un total de 8.4 millones de quintales, creciendo 1.5 % en volumen de producción, todo esto gracias al esfuerzo de 180 mil productores que cultivan en épocas de primera y postrera. (párr. 2)

La producción nacional, está distribuida en todo el territorio nicaragüense, sin embargo, predomina la Costa Caribe con la mayor extensión equivalente al 30 % de la tierra cultivada, seguido de la zona norte con el 26 % del territorio sembrado en Jinotega y Matagalpa, el porcentaje restante que equivale al 44 % del total producido está distribuido equitativamente al resto de los departamentos del país (Mendoza, 2018).

Existen una serie de problemas en nuestro país que afectan la producción de maíz. Algunos como el incremento de precios en fuentes de fertilización, el efecto causado al ambiente mediante factores como: pérdidas de nitrógeno por volatilización, degradación, compactación, y la reducción de biodiversidad microbiana y materia orgánica en los suelos productivos. Se buscan alternativas que sean eficientes y amigables al medio ambiente para amortiguar los efectos nocivos y, simultáneamente disminuir los costos necesarios para producción de maíz (Espinoza *et al.*, 2023).

Altamirano y Barrera (2019) destacan que la fertilización, principalmente está basada en el insumo denominado completo, conformado por tres elementos: nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K), la formulación más utilizada por productores es 12-30-10 junto con la base nitrogenada más concentrada Urea al 46 %, este plan de fertilización basado en concentraciones y dosis generales implica omitir limitantes como: la fertilidad y características de suelo, el microclima presente, y los mismos requerimientos nutricionales del cultivo.

Romero y Ruíz (2021) mencionan que para algunas variedades de maíz obtener excelentes rendimientos implica suministrar grandes cantidades de fertilizantes, y aún más de fuentes nitrogenadas, es ahí donde juega un papel fundamental el análisis de nuestros suelos, para determinar la suplementación de nutrientes, en base al aporte del suelo y la necesidad del cultivo.

La utilización de fuentes orgánicas como, excretas de animales (estiércoles), restos de cosecha o cultivos y algunos abonos verdes es una práctica que mejora e incrementa las condiciones y propiedades del suelo, reflejándose en los rendimientos de los cultivos, especialmente en cereales como el maíz (Moraga, 2021).

El objetivo de esta investigación es determinar el efecto de la fertilización sintética, orgánica y combinada en el crecimiento y rendimiento del cultivo de maíz.

II. OBJETIVOS

2.1 Objetivo general

Determinar el efecto de la fertilización sintética, orgánica y combinada en el crecimiento y rendimiento del cultivo de maíz.

2.2 Objetivos específicos

Evaluar el comportamiento de la altura de planta, diámetro del tallo, número de hojas y área foliar por efecto de la fertilización sintética, orgánica y combinada.

Cuantificar la influencia de los tres esquemas de fertilización en la longitud de espiga, altura de inserción de mazorca, longitud y diámetro de mazorca, número de hileras por mazorca, número de granos por hilera y rendimiento.

Estimar la rentabilidad de los esquemas de fertilización para la determinación de la alternativa económicamente más viable para el cultivo de maíz.

III. MARCO DE REFERENCIA

3.1 Fertilización en el cultivo de maíz

3.1.1 Fertilización sintética

La fertilización sintética consiste en la aplicación de fertilizantes que aportan nutrientes esenciales como nitrógeno, fósforo y potasio, fundamentales para el desarrollo vegetativo y reproductivo del maíz, estos nutrientes están disponibles de manera inmediata, lo que permite que el cultivo responda rápidamente y se incremente su rendimiento potencial (Fageria, 2014). Un manejo inadecuado o excesivo puede ocasionar desequilibrios nutricionales, acidificación del suelo y riesgo de lixiviación de nutrientes (Zonta *et al.*, 2021). La eficiencia de esta estrategia depende de la correcta dosificación, el momento de aplicación y las condiciones edáficas, factores que optimizan la absorción de nutrientes por la planta (Melo *et al.*, 2011).

3.1.2 Combinada (sintética más orgánica)

La fertilización combinada integra fertilizantes sintéticos y orgánicos, con el objetivo de optimizar la nutrición del cultivo y mejorar la salud del suelo, esta estrategia combina la rápida disponibilidad de nutrientes de los fertilizantes minerales con los beneficios a largo plazo de la materia orgánica, como la mejora de la estructura y la retención de agua (Zonta *et al.*, 2021). La combinación adecuada de ambos tipos de fertilización puede aumentar la eficiencia en el uso de nutrientes y reducir pérdidas por lixiviación (Coelho, 2006). Para lograr los máximos beneficios agronómicos y ambientales, es fundamental ajustar las dosis y los tiempos de aplicación, considerando las características del suelo y las necesidades nutricionales del maíz (Santos *et al.*, 2021).

3.1.3 Fertilización orgánica

La fertilización orgánica se basa en la utilización de materiales de origen biológico, como estiércol, compost y residuos vegetales, que aportan nutrientes de manera gradual y promueven la actividad microbiana del suelo, este tipo de fertilización mejora la capacidad de retención de agua y la estructura del suelo, factores críticos para el desarrollo radicular del maíz (Noce *et al.*, 2010). Además, contribuye a la sostenibilidad agrícola al favorecer el secuestro de carbono y reducir la dependencia de insumos externos (Díaz *et al.*, 2022). Debido a que la liberación de nutrientes es más lenta y variable, se requiere un manejo cuidadoso para sincronizar la disponibilidad de nutrientes con las etapas críticas del cultivo (Rodrigues *et al.*, 2011).

3.2 Descripción de los fertilizantes

3.2.1 Fertimaíz

Es un fertilizante diseñado a la medida para cubrir las necesidades nutricionales del cultivo de Maíz. Su balance de macronutrientes favorece un rápido desarrollo del cultivo y un buen desarrollo de su sistema radicular, aportando la energía necesaria para etapas tempranas del cultivo. La fuente de Nitrógeno es Nitro Xtend®, que evita las pérdidas por volatilización, el Zinc contenido en este producto tiene tecnología ELEMENTUM® que permite una mejor dispersión de los nutrientes en el suelo (DISAGRO, 2023).

3.2.2 Nitro Xtend Urea 46 N

La urea es el fertilizante más concentrado en nitrógeno (46 %) y normalmente, se comercializa en modalidades perlada y granulada, la primera para uso en fertiirrigación y la segunda, para aplicación directa al suelo, es muy soluble en formulaciones líquidas; es clasificada como fuente amoniacal y, por tanto, tiende a acidificar el suelo (Crespo, 2019).

3.2.3 Biogreen

Es un abono orgánico, certificado, elaborado con el estiércol puro de aves y enriquecido con ingredientes naturales. Mejora propiedades físicas, químicas y biológicas de suelos, aplicable a todo tipo de cultivos, ya que aporta principalmente: nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y magnesio, indispensables para el desarrollo fisiológico de las plantas (El Granjero, s.f.).

3.3 Altura de planta

La altura de planta en el cultivo de maíz es un indicador agronómico fundamental que refleja el vigor vegetativo y la capacidad del cultivo para interceptar luz solar, elementos esenciales para maximizar la fotosíntesis y el rendimiento final (Tollenaar y Lee, 2002). Estudios recientes evidencian que aplicaciones óptimas de nitrógeno pueden incrementar la altura de planta hasta valores superiores a 210 cm, lo que está asociado a una mayor producción de biomasa y un rendimiento potencialmente mayor (Usman *et al.*, 2024). Este desarrollo robusto contribuye no solo a una mejor acumulación de materia seca, sino también a la eficiencia en el llenado de granos, aspectos clave para la productividad sostenible del maíz (Daemo *et al.*, 2024).

3.4 Diámetro del tallo

Robertson *et al.* (2017) describen que el diámetro del tallo en maíz es un indicador agronómico que influye directamente en la resistencia al acame y en la capacidad de la planta para sostener adecuadamente las mazorcas; un mayor grosor del tallo también mejora la conducción de agua y nutrientes, lo que favorece el llenado de grano y el rendimiento final. Usman *et al.* (2024) demostraron que la aplicación de 180 kg de nitrógeno por hectárea incrementó significativamente el diámetro del tallo en híbridos de maíz FARZ-27, alcanzando 36.8 mm frente a 25.8 mm en plantas sin fertilización. Estos resultados confirman que un manejo eficiente de la fertilización puede fortalecer la estructura del cultivo y optimizar su productividad.

3.5 Número de hojas

El número de hojas refleja el desarrollo vegetativo, es decir, una mayor cantidad de hojas significa mayor superficie foliar activa, lo que optimiza la captura de luz solar y la producción de carbohidratos necesarios para el crecimiento y llenado de granos (Elings, 2000). Esta variable se ve significativamente influida por el tipo de fertilización aplicada, donde la combinación de fuentes orgánicas e inorgánicas ha mostrado resultados superiores (Gite *et al.*, 2025).

Singh y Misal (2022) reportaron que el uso conjunto de estiércol de ganado, vermicompost y una dosis reducida de fertilizante químico incrementa el número de hojas hasta un promedio de 15.33 hojas por planta, superando a los tratamientos con fertilización exclusivamente sintética u orgánica. De manera similar, Canhong *et al.* (2020) demostraron que la aplicación de biofertilizantes junto con el 50 % de la dosis recomendada de NPK favoreció el desarrollo foliar, alcanzando hasta 16.66 hojas por planta.

3.6 Área foliar

El área foliar es una característica fundamental en el cultivo de maíz, ya que está directamente relacionada con la capacidad de la planta para captar luz y realizar la fotosíntesis, procesos esenciales para la acumulación de biomasa y la producción de grano (Vos *et al.*, 2005). La aplicación de fertilizantes nitrogenados sintéticos favorece un aumento significativo en el área foliar, especialmente en variedades con tolerancia a niveles bajos de nitrógeno, al estimular el desarrollo de las hojas en etapas vegetativas críticas (Li *et al.*, 2016).

Berdjour *et al.* (2020) indican que la fertilización orgánica, como el estiércol aviar, suministra nutrientes de manera gradual, permitiendo un crecimiento constante del área foliar a lo largo del ciclo del cultivo.

La combinación de fertilizantes orgánicos e inorgánicos es la estrategia más efectiva para maximizar la expansión foliar, ya que mejora tanto la nutrición de la planta como las propiedades físicas del suelo, lo que prolonga la funcionalidad y vida útil de las hojas. Estos estudios resaltan la importancia de un manejo integrado de la fertilización para optimizar el crecimiento foliar y mejorar la productividad y sostenibilidad del maíz (Ogunweide *et al.*, 2022).

3.7 Longitud de espiga

De acuerdo a Coulter *et al.* (2021) y Licht (2020) la fase del maíz que marca el fin del crecimiento vegetativo es VT (emisión de la espiga), momento en el que la planta alcanza su altura máxima y la espiga floral masculina emerge completamente en la parte superior. Después de esta fase inicia el proceso reproductivo.

La espiga de maíz se desarrolla en la parte superior de la planta y constituye la estructura reproductiva masculina, encargada de producir polen para la polinización de la mazorca, la inflorescencia femenina. Su formación ocurre en etapas tempranas del crecimiento del maíz y la correcta maduración y liberación de polen es esencial para garantizar la fecundación de los granos y, por ende, la producción de la cosecha. La longitud de la espiga es un parámetro agronómico relevante, ya que influye en la cantidad de polen disponible y ofrece un mayor espacio para la inserción de espiguillas, aumentando así la capacidad de fertilizar flores femeninas (Orozco, 2020).

Guacho (2014) afirma que la inflorescencia masculina posee aproximadamente entre 20 a 25 millones de granos de polen, además cada flor que compone la espiga contiene tres estambres donde se desarrolla el polen.

Gutiérrez y Bolaños (2016) demuestran que la altura de la espiga en el cultivo de maíz es influenciada por el uso de fertilizantes sintéticos y registra un promedio de 36.23 cm, mientras que con la aplicación de fertilizante orgánico registró un promedio de 36.06 cm. Estos resultados evidencian como el tipo de fertilizante puede influir directamente en esta variable y, en la productividad del maíz.

3.8 Altura de inserción de mazorca

La altura de inserción de la mazorca es un factor relacionado con el rendimiento del cultivo de maíz y presenta igual importancia que la altura de la planta, especialmente desde el punto de vista de la recolección de las mazorcas. A menor altura de inserción de la mazorca se pueden obtener mayores rendimientos, ya que esta variable depende directamente de la altura de la planta. Los cultivares con mazorcas ubicadas a una altura media tienen a mostrar los mejores rendimientos, lo que resalta la relevancia de considerar este parámetro en el manejo y selección de variedades de maíz (Viera, 2004; Barrios, 2000).

La mazorca de maíz es compacta y está protegida por las hojas, que en la mayoría de los casos la cubren por completo. Las hojas envolventes de la mazorca se les llama brácteas. En estas hojas las vainas se aplanan y recubren por completo la mazorca, y las láminas se reducen a apéndices cortos o desaparecen del todo. El eje de la inflorescencia se llama raquis (León, 2000).

Sobalvarro y Díaz (2016) describen que, para la variable altura a la inserción de la mazorca, el tratamiento con fertilización especial (Fertimaíz 14-23-7+ 5.81 S + Nitro xtend) alcanzó el mayor promedio con 60.88 cm mientras que el menor valor correspondió al tratamiento testigo (sin aplicación de fertilizantes) con 49.93 cm. Es importante destacar que, desde el punto de vista agronómico, una menor altura de inserción de la mazorca resulta más favorable.

3.9 Longitud y diámetro de mazorca

Blandón y Smith (2001) mencionan que la longitud y el diámetro de la mazorca en el cultivo de maíz están determinados por factores genéticos e influenciados por condiciones edáficas, nutricionales y ambientales, destacando la importancia de la disponibilidad de nutrientes, especialmente nitrógeno, la humedad del suelo y la radiación solar. De igual manera señalan que el diámetro de la mazorca es un parámetro fundamental para estimar el rendimiento del maíz, ya que está directamente relacionado con la longitud de la mazorca y se encuentra influenciado por la actividad fotosintética y por la absorción de agua y nutrientes durante la fase reproductiva.

Pérez (2018) reporta que el tratamiento testigo, compuesto por fertilizantes sintéticos completos 12-30-10 + urea 46 % N, mostró la mayor longitud y diámetro de mazorca, alcanzando 15.40 cm y 4.76 mm, respectivamente. Este tratamiento resultó superior a los otros tres tratamientos descritos en el estudio, los cuales estuvieron compuestos únicamente por biofertilizantes en distintas dosis, evidenciando la influencia de la fertilización sintética sobre estas variables evaluadas del maíz.

3.10 Número de hileras por mazorca y número de granos por hilera

Bonnett (1954) describe que el número de hileras por mazorca y el número de granos por hilera son componentes reproductivos esenciales del rendimiento del maíz, establecen directamente cuántos granos una mazorca puede formar, lo cual impacta de modo decisivo en la producción total de grano. Sabadin *et al.* (2008) demostraron que en maíz tanto el número de hileras por mazorca y el número de granos por hilera presentan variación genética significativa y están asociados positivamente con el rendimiento, lo que indica que estos rasgos no sólo son estructurales sino también susceptibles al mejoramiento genético y al manejo nutricional.

Se ha observado la fertilización sintética, orgánica o combinada, pueden alterar estos componentes reproductivos. Pérez (2018) reportó incrementos en el número de hileras y granos por hilera cuando se aplicó fertilización orgánica más sintética; Artola y Villavicencio (2015) obtuvieron respuestas positivas al fertilizante orgánico. Otros trabajos demuestran que la combinación de la fertilización sintética y orgánica mejoran la cantidad de hileras y el llenado de granos (Aragón y Pineda, 2016). Estos resultados refuerzan que optimizar la nutrición del cultivo, más allá del genotipo, es clave para maximizar el potencial productivo del maíz.

3.11 Rendimiento (kg ha^{-1})

El rendimiento de grano en maíz se define como la cantidad de grano seco producido por unidad de superficie, generalmente expresada en toneladas por hectárea, y representa un indicador fundamental de la eficiencia productiva en sistemas agrícolas (Barrios y Basso, 2018; Ma *et al.*, 2025). Este rendimiento resulta de la interacción entre el genotipo, manejo agronómico, fertilidad del suelo y condiciones ambientales, la fertilización, especialmente mediante abonos orgánicos y minerales, influye significativamente en componentes claves como el número de hileras por mazorca, granos por hilera y peso de mil granos (Barrios y Basso, 2018; López *et al.*, 2001). La aplicación de enmiendas orgánicas, tales como compost, ha demostrado mejorar el crecimiento vegetativo y la producción de materia seca en maíz, debido a su efecto positivo en la estructura y calidad del suelo, mitigando problemas como alcalinidad y salinidad (Escalona *et al.*, 2023). La fertilización combinada orgánica y sintética favorece la absorción de nutrientes y el vigor de las plantas, contribuyendo a un aumento sostenible del rendimiento (Ma *et al.*, 2025; Martínez *et al.*, 2018).

IV. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1 Ubicación del estudio

El estudio se realizó en la finca “Montevideo” ubicada en el municipio de Diriomo, departamento de Granada, propiedad del productor Erick Marcelo Fernández Hernández. La fase de campo se realizó en el periodo de postrera específicamente de octubre 2024 a febrero 2025. Weather Atlas (2024) afirma que:

La finca tiene como referencia las coordenadas geográficas $11^{\circ}50'40''$ de latitud Norte y $86^{\circ}01'0.3''$ de longitud Oeste, con una elevación de 338 msnm, la temperatura promedio es de 33.5°C , por lo que el clima es de sabana tropical que se denomina semi-húmedo, las precipitaciones anuales oscilan entre 1 200 mm y 1 400 mm y la humedad relativa en el ambiente oscila entre 61 % a 85 %.

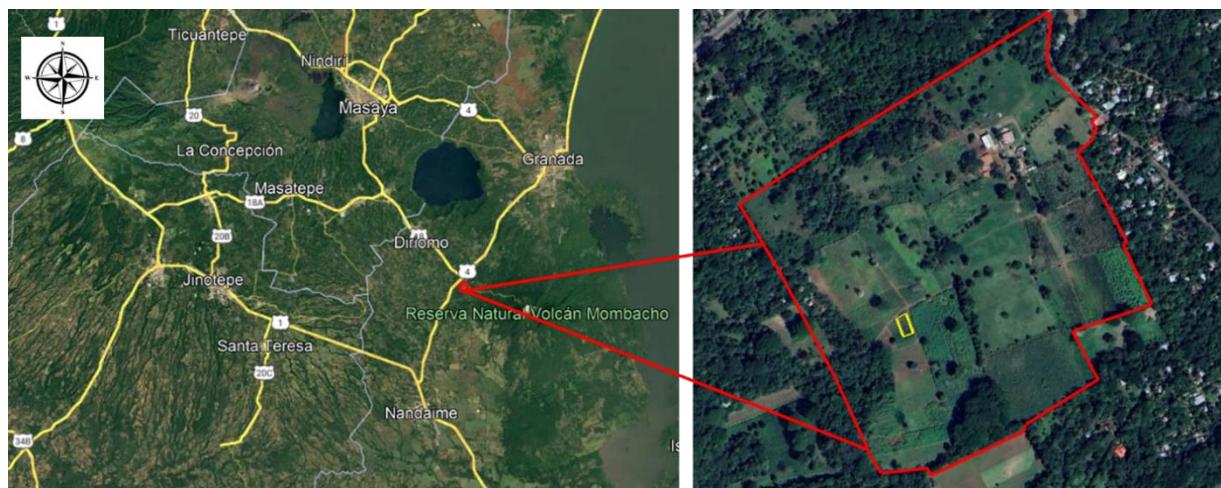


Figura 1. Ubicación del área de estudio, finca Montevideo, Diriomo, Granada.

El suelo de la finca Montevideo, posee características adecuadas para la productividad agrícola, al estar rodeado de intensa vegetación y suelos vírgenes, las composiciones físicas y químicas de este, lo hacen óptimo para la producción de cultivos como plátano, cítricos, papaya, frijol, maíz y pastos para ganado, también las condiciones climáticas y la altura proporcionan las condiciones para el desarrollo de estos rubros.

El Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA, 2022) reporta los valores nutricionales del suelo presentes en la zona donde se encuentra la finca Montevideo que se detallan a continuación.

Cuadro 1. Parámetros físicos y químicos del suelo de la finca Montevideo, 2022

Textura	pH	Da	Mo (%)	N (%)	P (ppm)	K (Meq/100g)	Profundidad (cm)
Franco arenoso	6.1	1.50	4.96	0.23	2.95	0.73	30

Fuente: (INTA, 2022).

4.2 Diseño metodológico

El experimento se estableció en arreglo unifactorial en diseño de Bloques Completos al Azar (BCA), con tres tratamientos y cuatro repeticiones, para un total de 12 unidades experimentales. Las dimensiones del área y sus unidades experimentales se presentan en el Cuadro 2. La distancia de siembra fue de 0.80 m entre surco y 0.20 metros entre planta.

Cuadro 2. Dimensiones de parcelas, bloques y área total del experimento

Descripción	Dimensiones (m)	Área total (m ²)
Unidad Experimental	8 × 5	40
Parcela Útil	6 × 3	18
Bloque Experimental	8 × 17	136
Área Total	35 × 17	595

4.3 Descripción de los tratamientos

Se aplicaron tres tratamientos. El primero (T_1), denominado sintético, consistió en el uso de Fertimaíz (17-8-10) y Urea al 46 % de N. El segundo (T_2) denominado combinado, corresponde al uso de fertilizantes sintéticos (Urea 46 %) y orgánicos (Biogreen) de manera combinada; y un tercer tratamiento (T_3), que consiste en la aplicación de Biogreen. (Cuadro 3). A partir de este punto los tratamientos serán referidos como sintético, combinado y orgánico.

Cuadro 3. Descripción de los tratamientos

Tratamientos	Descripción	Fórmula	Dosis (kg ha ⁻¹)
Sintético	Fertimaíz + Nitro Xtend	17-8-10-4 S- 0.045 Zn + Urea 46 % N	295.85 218.60
Combinado	Nitro Xtend + Biogreen	Urea 46 N % + 1.6 % N	218.60 6 287.50
Orgánico	Biogreen	1.6 % N	12 575.00

4.4 Descripción de la variedad

La variedad DK-7088, es un híbrido, con características de alta producción, tolerancia al volcamiento y excelente sanidad de mazorca. Presenta buen comportamiento respecto al ataque de insectos del suelo, tallo y espiga, incluyendo gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*), barrenador del tallo (*Diatraea saccharalis*) y gusano de la espiga (*Helicoverpa zea*). El grano de este híbrido alcanza una humedad de cosecha del 15 % aproximadamente a los 120 - 150 días después de la siembra (Hortus S.A., 2018). Las características agronómicas de DK-7088 se presentan en el Cuadro 4.

Cuadro 4. Características agronómicas de la variedad DK-7088

Altura de planta (cm)	228
Altura de mazorca (cm)	115
Días a floración	70
Días a cosecha	120 – 150
Prolificidad*	1
Textura y tipo de grano	Semi cristalino
Color del grano	Amarillo
Rendimiento (kg ha ⁻¹)	7 000

*Prolificidad: Número de mazorcas producidas por planta.

4.5 Variables evaluadas

Para la evaluación de las variables lineales se utilizó una cinta métrica, mientras que el diámetro del tallo se midió con un vernier o píe de rey.

4.5.1 Variables de crecimiento

Las variables de crecimiento fueron evaluadas en 15 plantas seleccionadas al azar con intervalos entre mediciones de ocho días, la primera evaluación fue el 19 de octubre del 2024 (16 dds), en total se realizaron seis evaluaciones, finalizando el 23 de noviembre del 2024 a los 51 dds.

Altura de planta (cm)

La medición se realizó desde la base de la planta (superficie del suelo), hasta el inicio de la hoja bandera.

Diámetro del tallo (mm)

Se determinó en el entrenudo central de la planta, correspondiente a la zona media del tallo.

Número de hojas

Se contabilizó la totalidad de hojas completamente desarrolladas y funcionales fotosintéticamente.

Área foliar (cm²)

El área foliar se estimó a partir de la medición del largo y el ancho de la hoja, multiplicados por la constante 0.73. Este valor es propuesto por McKee (1964) y Dwyer y Stewart (1986). Esta constante constituye un valor promedio aceptable para estimar el área foliar en maíz de manera representativa.

4.5.2 Variables a la floración

Las variables a la floración fueron evaluadas en 15 plantas de manera al azar a los 64 días después de la siembra el 6 de diciembre del 2024.

Longitud de espiga (cm)

Se determinó midiendo la distancia desde la base de la espiga hasta su ápice.

Altura de inserción de mazorca (cm)

Se midió desde el nivel de la superficie del suelo hasta la base de la inserción de la mazorca.

4.5.3 Variables de rendimiento

Para evaluar las variables de rendimiento, se procedió a la cosecha de las mazorcas de maíz, las que fueron deshojadas manualmente, retirando las brácteas que las recubren, para posteriormente medir las variables correspondientes en 15 mazorcas seleccionadas al azar. Esta actividad se realizó el cuatro de febrero del 2025 (124 días después de la siembra).

Longitud de mazorca (cm)

Se determinó midiendo la distancia desde la base hasta la punta de la mazorca, registrando así su longitud total.

Diámetro de mazorca (mm)

Se registró en el centro de la mazorca, que es el punto donde se concentra su grosor máximo.

Número de hileras por mazorca

Se contabilizó el número de hileras presentes en cada mazorca.

Número de granos por hilera

Se seleccionó una hilera representativa, se inspeccionó desde la base hasta el ápice de la mazorca y se contabilizó el total de granos presentes en esa hilera.

Rendimiento kg ha⁻¹

Para la evaluación de esta variable, primero se procedió a desgranar las mazorcas, luego los granos fueron secados al sol durante 6 días. Una vez alcanzado el nivel de humedad entre (12 % y 14 %), el pesaje de la producción obtenida en cada parcela útil se expresó en kg ha⁻¹.

4.6 Análisis de datos

Los datos registrados se organizaron en una base de datos en una hoja de Microsoft Excel 2021. Estos datos fueron analizados mediante el software estadístico InfoStat, aplicando un análisis de varianza (ANDEVA) con un nivel de confianza del 95 %, y separación de medias de rangos múltiples por Tukey al 5 % de margen de error, con el propósito de identificar el tratamiento que presentó mayor influencia en las variables evaluadas.

4.7 Análisis económico

La metodología utilizada para realizar el análisis económico fue la propuesta por el Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT, 1988).

El paso inicial para realizar un análisis económico de ensayos en campo es calcular los costos que varían para cada uno de los tratamientos. Los costos variables totales en el estudio se determinaron con relación a los costos de los fertilizantes.

4.7.1 Análisis de presupuesto parcial

El presupuesto parcial es una manera de calcular el total de los costos que varían y los beneficios netos de cada tratamiento de un experimento en fincas. El presupuesto parcial incluye los rendimientos medios para cada tratamiento, los rendimientos ajustados y el beneficio bruto de campo (según el precio de campo del cultivo). También considera los costos que varían para cada tratamiento. Las dos últimas líneas son el total de los costos que varían y los beneficios netos.

Los rendimientos obtenidos fueron reducidos en un 10 % a fin de reflejar las diferencias entre el rendimiento experimental y el rendimiento que el productor podría obtener utilizando la misma tecnología. El precio del kilogramo de maíz al momento de la cosecha fue de C\$ 26.4. El beneficio bruto de campo se obtuvo multiplicando el precio del producto por el rendimiento ajustado. Finalmente, el beneficio neto se calculó restando el total de los costos que varían del beneficio bruto de campo.

4.7.2 Análisis de dominancia

Los tratamientos se ordenan en una escala de mayor a menor de los totales de los costos que varían, con los beneficios netos correspondientes. Excluye los tratamientos dominados (D) y como consecuencia simplificar el análisis. El análisis de dominancia elimina tratamientos debido a sus bajos beneficios netos.

4.7.3 Tasa de retorno marginal

La tasa de retorno marginal indica lo que el agricultor puede esperar ganar con su inversión cuando decide cambiar una práctica por otra. La tasa de retorno marginal únicamente se puede calcular si dos tratamientos están categorizados como no dominado (ND). Los tratamientos dominados se excluyen en el análisis marginal.

4.8 Manejo de factores no sujetos a evaluación

4.8.1 Preparación del suelo

La preparación del suelo inicio el 1 de octubre de 2024 con la limpieza manual del terreno, utilizando machetes para eliminar malezas y residuos de cultivos anteriores. Posteriormente, el 3 de octubre, se procedió a preparar el suelo con labranza mínima utilizando tracción animal (arado de bueyes), práctica que permite remover el suelo, mejorar la aireación, facilitar la infiltración de agua y favorecer el desarrollo radicular de las plantas.

4.8.2 Siembra

El mismo día de la labranza se colocaron estacas de bambú para delimitar el área de las parcelas y los bloques experimentales. La siembra se realizó de forma manual, utilizando el método de siembra a chorillo, el cual consiste en colocar las semillas de manera continua a lo largo del surco. La emergencia de las plántulas ocurrió el 7 de octubre, con un desarrollo homogéneo entre los surcos, lo que indicó buena calidad de semilla y condiciones adecuadas de humedad y temperatura en el suelo.

4.8.3 Manejo de plagas

El monitoreo de plagas inició el 2 de noviembre, momento en el cual se observaron las primeras afectaciones visibles al cultivo. La plaga predominante fue el gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*), cuyos daños incluyeron perforaciones, raspaduras y zonas traslúcidas en las hojas. Para su manejo se realizaron tres aplicaciones de productos químicos: en la primera y segunda aplicación se usó Methomyl (Gusakill®), con dosis de 0.12 kg ha^{-1} mientras que en la tercera aplicación se utilizó Profeno fos y Cipermetrina (Curagro®), a razón de 0.25 L ha^{-1} . Estas aplicaciones lograron reducir el nivel de daño y asegurar la producción del cultivo.

4.8.4 Manejo de arvenses

El manejo de arvenses se realizó a partir de los 17 días después de la siembra (19 de octubre), implementando limpieza con una frecuencia de 15 días. En total, se realizaron cinco jornadas de desmalezado, finalizando el 14 de diciembre de 2024 (73 dds). Para estas labores se utilizaron herramientas como machetes y azadones, permitiendo mantener el área de cultivo libre de competencia por luz, agua, espacio y nutrientes.

V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1 Variables de crecimiento

5.1.1 Altura de planta (cm)

Fuentes (2008) señala que, la altura de la planta de maíz depende de diversos factores tales como: variedad, zona donde se cultiva y la fertilidad del suelo. Obando (2019) indica que el maíz se destaca por poseer un notable desarrollo vegetativo, lo que permite que puedan alcanzar alturas entre 2 m y 2.5 m. La variedad en estudio según la carta tecnológica alcanza altura de 2.28 m.

En el Cuadro 5 se presenta el comportamiento de la variable altura de planta y se indica que en ninguna de las fechas evaluadas se presenta diferencias estadísticas.

Los valores obtenidos son superiores a los reportados por Romero y Ruíz (2021), quienes en circunstancias similares obtuvieron una altura de 186.83 cm para el tratamiento sintético, 160.60 cm para el combinado y 117.28 cm para el orgánico a los 42 días después de la siembra (dds).

Cuadro 5. Altura de planta (cm) según tratamientos y momentos de muestreo

Tratamientos	16 dds	23 dds	30 dds	37 dds	44 dds	51 dds
Sintético	16.30	28.55	55.48	100.39	159.97	206.23
Combinado	14.95	26.33	48.80	87.92	156.69	207.10
Orgánico	15.20	26.27	51.02	85.45	148.42	199.58
CV (%)	6.62	9.45	12.05	8.42	3.73	3.47
Pr<0.05	0.2187	0.4120	0.3670	0.0681	0.0715	0.3292

dds: Días después de la siembra.

5.1.2 Diámetro del tallo (mm)

El tallo forma parte de la estructura central de la planta, ejerce funciones principales como facilitar el transporte de agua, nutrientes y oxígeno en toda la planta. Desempeña un papel fundamental de soporte estructural, ya que debe mantener el peso de toda la planta, incluyendo las mazorcas (Maza, 2022). La planta de maíz posee tallo fuerte y consistente, presenta nudos y entrenudos distribuidos a lo largo de su estructura, alejados a una distancia determinada (Deras, 2020, p. 10).

En el Cuadro 6 se observa que a los 44 dds se presentan diferencias significativas entre los tratamientos. La aplicación del tratamiento orgánico supera al tratamiento combinado. Según Cubillo y Gutiérrez (2011) esto puede suceder debido a que una de las principales ventajas de los abonos orgánicos es que contienen fitohormonas naturales que regulan procesos fisiológicos relacionados con el desarrollo de las plantas.

Los resultados obtenidos en esta investigación fueron superiores a los reportados por Román (2022) quien reportó a los 49 dds que el tratamiento sintético obtuvo 25.4 mm siendo el valor más alto, seguido del mixto con 23.1 mm y el orgánico con 21.9 mm. Los resultados obtenidos fueron superiores a los presentados por Gutiérrez y Bolaños (2016), quienes registraron mayor diámetro de tallo (21.5 mm) aplicando fertilizante 12-30-10 y urea 46 %.

Cuadro 6. Efecto de los tratamientos evaluados en el comportamiento agronómico del diámetro del tallo de la planta de maíz

Tratamientos	16 dds	23 dds	30 dds	37 dds	44 dds	51 dds
Sintético	7.90	13.12	21.45	24.44	25.47 ab	24.92
Combinado	6.90	12.20	19.70	22.58	24.90 b	24.70
Orgánico	7.22	11.97	19.93	23.87	26.55 a	27.32
CV (%)	9.03	13.18	9.94	4.37	2.36	5.27
Pr<0.05	0.1735	0.6030	0.4618	0.1042	0.0223	0.0611

dds: Días después de la siembra.

5.1.3 Número de hojas

Las hojas cumplen funciones esenciales para la vida de las plantas como la fotosíntesis y la respiración. A través de la fotosíntesis, la planta produce su propio alimento al combinar agua, dióxido de carbono y minerales, usando la energía solar. Esta energía es atraída por la clorofila, un pigmento verde situado en las hojas que interviene como un receptor solar al convertir la luz en energía química. El agua y los nutrientes absorbidos por las raíces conocidos como savia bruta se convierten en azúcares dentro de las hojas, generando la savia elaborada que alimenta toda la planta. En la respiración la planta utiliza oxígeno para descomponer los azúcares y liberar energía necesaria para procesos esenciales como el crecimiento y la reproducción (Tejada *et al.*, 2010).

La hoja de la planta de maíz se compone de tres secciones esenciales: cuerpo, vaina y cuello. El cuerpo es la parte plana encargada de captar luz solar para la fotosíntesis, la vaina envuelve el tallo ofreciendo soporte, y el cuello está localizado entre las dos secciones antes mencionadas, se diferencia porque muestra una curvatura bien concreta. De manera que la planta crece, las hojas emergen en orden progresivo debido a la elongación del tallo y al desarrollo de las hojas desde la base hasta la formación de la panícula. La primera parte visible de la hoja es la punta, seguida por el cuerpo, y finalmente el cuello y la vaina. Una hoja se define completamente desarrollada cuando el cuello es visible (Endicott *et al.*, 2015).

Un mayor número de hojas está relacionado con el incremento de la producción, el número final de hojas en maíz se asocia con un mayor índice de área foliar favoreciendo la fotosíntesis, acumulación de biomasa y rendimiento del grano (Liu *et al.*, 2020).

En el Cuadro 7 se presentan los registros del número de hojas por fecha de muestreo indicando que únicamente a los 51 dds se presentan diferencias estadísticas. El tratamiento con fertilización sintética es mayor al tratamiento combinado. Los resultados obtenidos son similares a los presentados por Aguilar y Narváez (2017) que mediante el uso de fertilización tradicional (12-30-10 complementada con Urea 46 %) obtuvieron medias de 12.10 hojas; el tratamiento con fertilización especial obtuvo 12 hojas y, por último 11.63 hojas para el tratamiento con fertilización orgánica evidenciando igualmente diferencias estadísticas a los 49 dds.

Cuadro 7. Número de hojas por planta en el cultivo de maíz por efecto de los fertilizantes

Tratamientos	16 dds	23 dds	30 dds	37 dds	44 dds	51 dds
Sintético	5.87	7.38	8.95	10.92	12.48	12.84 a
Combinado	5.45	6.95	8.50	10.50	12.22	12.45 b
Orgánico	5.77	7.54	8.75	10.45	12.32	12.69 ab
CV (%)	6.03	5.24	4.33	4.38	2.59	1.34
Pr<0.05	0.2768	0.1598	0.3118	0.3623	0.5272	0.0485

dds: Días después de la siembra.

5.1.4 Área foliar (cm²)

Sobalvarro y Díaz (2016) destacan que el área foliar es una característica cuantitativa del desarrollo vegetal, puede determinarse mediante las variables ancho y largo de las hojas. Estas variables influyen directamente en la capacidad fotosintética de la planta, ya que una mayor superficie foliar permite captar mayor luz solar, lo que contribuye a mejorar el rendimiento del cultivo. El área foliar es de gran importancia para el crecimiento y desarrollo de una planta, ya que la cubierta vegetal capta la radiación fotosintética activa, siendo esta la principal fuente para la formación de los compuestos alimenticios de la planta (Bautista, 2016).

En el Cuadro 8 se muestran los resultados de área foliar y se observa que únicamente a los 55 dds se presentan diferencias estadísticas. El tratamiento combinado (490.99 cm²) supera a la aplicación de fertilizante sintético (451.34 cm²).

El desempeño del tratamiento combinado podría explicarse por el efecto residual de los nutrientes presentes en los fertilizantes naturales. Blessing y Hernández (2009) afirman que “la disponibilidad de los nutrientes contenidos en ellos es más lenta que en los fertilizantes sintéticos, por lo que permanecen más tiempo en el suelo, efecto residual de gran importancia para el cultivo” (p. 14).

Gutiérrez y Bolaños (2016) reportaron diferencias estadísticas a los 35 y 42 dds con valores promedios de área foliar de 601.29 cm² para el tratamiento sintético, 604.06 cm² para el tratamiento combinado y 416.96 cm² para el tratamiento orgánico. A diferencia de Román (2022) quien no presentó diferencias estadísticas en ninguna fecha evaluada para la variable antes mencionada.

Cuadro 8. Área foliar de la planta de maíz en tres tratamientos

Tratamientos	16 dds	23 dds	30 dds	37 dds	44 dds	51 dds
Sintético	55.49	183.92	352.25	416.93	378.22	451.34 b
Combinado	48.19	141.75	279.33	353.73	382.21	490.99 a
Orgánico	47.40	155.54	339.00	346.46	367.48	462.80 ab
CV (%)	17	17.36	12.84	9.29	5.77	3.56
Pr<0.05	0.1229	0.1728	0.0985	0.0524	0.6322	0.0373

dds: Días después de la siembra.

5.2 Variables a la floración

5.2.1 Longitud de espiga (cm)

La espiga está ubicada en la parte superior del tallo, aparece antes que las flores femeninas, su apariencia depende de la variedad, presenta un raquis central y ramificaciones, dispuestas en pares de espiguillas, las producen generalmente de dos a cinco millones de granos de polen (Mendoza y Gaitán, 2013).

El análisis de varianza no presentó diferencias estadísticas para la variable descrita en ninguno de los tratamientos evaluados, similares resultados obtuvieron Gutiérrez y Bolaños (2016).

5.2.2 Altura de inserción de mazorca (cm)

Gyenes *et al.* (2002) describe que, la altura de la primera mazorca es un carácter varietal, correlacionado con la altura de la planta. Se mide desde la base del suelo hasta donde está la base de la mazorca. Esta variable es muy importante ya que contribuye a que los agricultores conozcan la posición de la mazorca. En muchos casos ésta se encuentra más arriba de la mitad de la altura de la planta y provoca que los vientos puedan afectar su comportamiento y provocar acame de raíz o tallo (Fuentes, 2008).

En el Cuadro 9 se muestra que no hubo diferencias estadísticas en el comportamiento de la altura de inserción de mazorca de los tratamientos en estudio.

Resultados similares obtuvieron Cuzme y Fuentes (2012) quienes no encontraron diferencias en los tratamientos de varios niveles de fertilización química suplementada con materia orgánica, iguales resultados obtuvieron Dávila y Quiñonez (2020) trabajando con los tratamientos (Fertimaíz + Urea), (Fertimaíz + Biogreen) y (Biogreen).

Cuadro 9. Evaluación de las variables de floración en el cultivo de maíz

Tratamientos	LongEsp (cm)	AIMzc (cm)
Sintético	42.57	105.68
Combinado	42.55	106.80
Orgánico	41.07	100.08
CV (%)	4.71	4.13
Pr<0.05	0.5099	0.1385

LongEsp: Longitud de espiga; AIMzc: Altura de inserción de mazorca.

5.3 Variables de rendimiento

5.3.1 Longitud de mazorca (cm)

El maíz es una especie hermafrodita, presenta flores masculinas y femeninas separadas en la misma planta. La estructura masculina (espiga) está situada en la parte superior de la planta y es la encargada de liberar el polen, la mazorca es la representación de la flor femenina, en la cual se desarrollan los óvulos que darán origen a las semillas (Endicott *et al.*, 2015).

En el Cuadro 10 se presenta que los tratamientos evaluados en esta variable no presentaron diferencias estadísticas, resultados similares obtuvieron Aguilar y Narváez (2017) y Román (2022).

5.3.2 Diámetro de mazorca (mm)

El diámetro de la mazorca tiene una relación directa con su longitud y constituye un parámetro importante para estimar el rendimiento del cultivo. El diámetro y la longitud de la mazorca están influenciados por factores genéticos y condiciones ambientales. Cuando las condiciones del campo son desfavorables durante la etapa de formación de la mazorca, es probable que su desarrollo sea limitado, lo que finalmente afecte negativamente el rendimiento del cultivo (Saldaña y Calero, 1991).

En el Cuadro 10 se indica que al evaluar el diámetro de la mazorca no se obtuvieron diferencias significativas entre los tratamientos evaluados. Los resultados obtenidos en el estudio coinciden con los reportados por Pavón y Zapata (2012) y Román (2022).

5.3.3 Número de hileras por mazorca

El número de hileras está determinado por la genética representando el alto o bajo potencial de hileras desarrolladas, otro factor determinante es el estrés el cual puede disminuir el número de hileras de granos, la cantidad de hileras normalmente son pares debido a la división de la semilla donde pasa de una hilera a dividirse en dos, esto se puede observar a partir de las últimas etapas vegetativas (Licht y Clemens, 2020).

Pioneer Agronomy Sciences (2019) afirma que las líneas de maíz usualmente tienen de 16 a 18 hileras de granos, sin embargo, una mazorca que posea 12 hileras, se considera una respuesta por parte de la planta ante algún tipo de estrés sometida, debido que la formación de la mazorca y su correcto desarrollo es un evento crítico y cualquier factor que perturbe el proceso de formación, provocará este tipo de respuestas.

En el Cuadro 10 se demuestra que no se encontró diferencias estadísticas para la variable antes mencionada, similares resultados obtuvieron Vera *et al.* (2020), Aguilar y Narváez (2017) y Román (2022).

5.3.4 Número de granos por hilera

Elmore y Abendroth (2006) afirman que por mazorca el máximo de óvulos (granos potenciales) ronda los 1000, esto en dependencia de la genética del híbrido, y también a las condiciones del cultivo, la cantidad real está determinada por los estigmas y la carga de polen disponible para fecundar. Nielsen (2020) afirma que las mazorca con un promedio de 16 hileras, contarán aproximadamente con 30 a 35 granos por hileras.

La variable número de granos por hilera no presentó diferencias significativas descrito en el Cuadro 10. Los resultados obtenidos en el presente estudio coinciden con Blessing y Hernández (2009) y Aguilar y Narváez (2017) quienes no obtuvieron diferencias estadísticas.

Cuadro 10. Promedio de longitud, diámetro de mazorca, hileras por mazorca y granos por hilera

Tratamientos	LongMzc (cm)	DiamMzc (mm)	NHMzc	NGH
Sintético	14.22	47.66	18.00	36.28
Combinado	14.03	46.90	18.18	34.70
Orgánico	14.16	47.23	18.25	35.33
CV (%)	4.22	1.44	2.49	3.35
Pr<0.05	0.9055	0.3495	0.7333	0.2435

LongMzc: Longitud de mazorca; DiamMzc: Diámetro de mazorca NHMzc: Hileras por mazorca; NGH: Granos por hilera.

5.3.5 Rendimiento (kg ha^{-1})

Balboa *et al.* (2020) destaca que, el potencial de rendimiento en un cultivo está determinado por los genotipos, y está condicionado por factores como la radiación, temperatura, el dióxido de carbono en la atmósfera y agentes abióticos como plagas y enfermedades, la determinación del rendimiento en maíz nos brinda un indicador tecno productivo. Calviño (2023) menciona que, el rendimiento potencial está referido a la máxima cantidad de toneladas de grano producidas sin limitaciones de agua, nutrientes, enfermedades o factores climáticos adversos, sin embargo, los rendimientos estimados con frecuencia no son alcanzados al no propiciar las condiciones ideales para el cultivo.

En el Cuadro 11 se observan diferencias significativas únicamente entre los tratamientos con fertilización sintética ($4\ 288.13\ \text{kg ha}^{-1}$) y orgánica ($2\ 791\ \text{kg ha}^{-1}$), dejando en evidencia que la fertilización sintética supera en rendimientos a la fertilización orgánica.

Estos resultados comparten similitud a los obtenidos por Román (2022), quien registró diferencias estadísticas, obteniendo el mayor rendimiento con el tratamiento sintético ($4\ 063.96\ \text{kg ha}^{-1}$), y con menor rendimiento ubicados en la misma categoría el tratamiento mixto y el tratamiento orgánico con $3\ 146.20\ \text{kg ha}^{-1}$ y $2\ 559.62\ \text{kg ha}^{-1}$ respectivamente.

Resultados semejantes obtuvieron Gutiérrez y Bolaños (2016) quienes también mostraron diferencias estadísticas en el rendimiento, presentando el mayor rendimiento la fertilización especial (Completo 12-30-10 + Urea 46 % N) con 3 453.48 kg ha⁻¹, seguido de la fertilización tradicional (Fertimaíz 18-20-10 + Nitro Xtend 46 % N) con 3 233.75 kg ha⁻¹ y la fertilización orgánica (Humus de lombriz) presentó el menor rendimiento con 1 542.52 kg ha⁻¹.

Aguilar y Narváez (2017) no encontraron diferencias estadísticas entre los tratamientos evaluados tradicional (sintético), especial (sintético) y Biogreen (orgánico). A su vez Moraga (2021) no registró diferencias para las enmiendas evaluadas: Mungo (orgánico), mixto (sintético más orgánico) y sintético.

Cuadro 11. Rendimiento (kg ha⁻¹) según tipo de fertilización en la variedad DK 7088

Tratamiento	Rendimiento (133 dds)
Sintético	4 288 a
Combinado	3 697 ab
Orgánico	2 791 b
CV (%)	11.63
Pr<0.05	0.0065

dds: Días después de la siembra.

5.4 Análisis económico

5.4.1 Análisis de presupuesto parcial

Es un procedimiento que se realiza para organizar los datos experimentales con el propósito de obtener los costos y beneficios de los tratamientos evaluados en el estudio (CIMMYT, 1988).

Cuadro 12. Resultado de análisis de presupuesto parcial realizado a los tratamientos evaluados en el cultivo de maíz

Indicadores	Sintético	Combinado	Orgánico
Rendimiento (kg ha ⁻¹)	4 288	3 697	2 791
Rendimiento ajustado al 10 %	3 859	3 327	2 512
Precio (C\$ kg ha ⁻¹)	26	26	26
Beneficio bruto de campo (C\$ ha ⁻¹)	100 334	86 502	65 312
Costos variables (C\$ ha⁻¹) Fertilizantes			
Fertimaíz 14-23-7-5.81 S- 0.7 Zn	9 035	0	0
Nitro Xtend Urea 46 N	7 200	7 200	0
Biogreen	0	16 734	33 469
Total, costos que varían (C\$ ha⁻¹)	16 235	23 934	33 469
Beneficio neto C\$	84 099	62 568	31 843

5.4.2 Análisis de dominancia

Según CIMMYT (1988), “un tratamiento se considera dominado cuando presenta un beneficio neto igual o menor al de otro tratamiento que requiere una inversión menor en costos variables” (p. 30).

Cuadro 13. Análisis de dominancia para los tratamientos evaluados en el cultivo de maíz

Tratamientos	Costos variables (C\$ ha ⁻¹)	Beneficios netos (C\$ ha ⁻¹)	Dominancia
Sintético	16 235	84 099	ND
Combinado	23 934	62 568	D
Orgánico	33 469	31 843	D

ND: No Dominado; D: Dominado.

Se determinó que con la fertilización sintética se constituye la alternativa más eficiente desde el punto de vista económico, al presentar el menor costo variable y el mayor beneficio neto. El tratamiento combinado y orgánico fueron clasificados como dominados (D), debido a que requieren una inversión mayor sin superar en beneficios netos al sintético por lo cual no resultan recomendables económicamente.

5.4.3 Tasa de retorno marginal

De acuerdo con los datos presentados en el Cuadro 13, no es posible aplicar el análisis de Tasa de Retorno Marginal (TRM), dado que únicamente el tratamiento sintético resultó no dominado (ND). Según la metodología propuesta por el CIMMYT (1988), para realizar este tipo de análisis requiere al menos dos tratamientos no dominados para establecer una comparación válida entre incrementos en costos y beneficios ya que la TRM permite evaluar como varía el beneficio neto en función de un aumento en la inversión. Sin embargo, se calculó la Tasa de Rendimiento Promedio propuesta por Romero y Ruíz (2021) que permite evaluar el rendimiento económico de los tratamientos en función de la inversión realizada.

Tasa de rendimiento promedio

La Tasa de Rendimiento Promedio (TRP) se calculó utilizando la siguiente fórmula, dividiendo el beneficio neto obtenido entre los costos variables invertidos, y multiplicado el resultado por 100.

$$TRP = \frac{\text{Beneficio neto}}{\text{Costos variables}} * 100$$

Cuadro 14. Análisis de tasa de rendimiento promedio para los tratamientos evaluados

Tratamientos	Costos Variables (C\$ ha ⁻¹)	Beneficios netos (C\$ ha ⁻¹)	Tasa de rendimiento promedio en %
Sintético	16 235	84 099	518
Combinada	23 934	62 568	261
Orgánica	33 469	31 843	95

$$\text{TRP Sintético} = \frac{84\ 099}{16\ 235} = (5.18) (100 \%) = 518 \%$$

$$\text{TRP Combinado} = \frac{62\ 568}{23\ 934} = (2.61) (100 \%) = 261 \%$$

$$\text{TRP Orgánico} = \frac{31\ 843}{33\ 469} = (0.95) (100 \%) = 95 \%$$

El análisis de la Tasa de Rendimiento Promedio (TRP) mostró que el tratamiento con fertilización sintética fue el más eficiente desde el punto de vista económico, generando un retorno de 5.18 céntimos por cada céntimo invertido. La fertilización combinada produce un retorno menor de 2.61 céntimos, pero contribuye a mejorar progresivamente las condiciones del suelo, ofreciendo un balance entre rendimientos, ganancias y sostenibilidad agrícola. El tratamiento con fertilización orgánica no generó ganancias considerables, ya que el retorno es inferior a 1 céntimo.

VI. CONCLUSIONES

Las variables de crecimiento del cultivo de maíz mostraron comportamientos diferenciados según el tipo de fertilización, aunque la altura de planta responde igual, indistintamente del tipo de fertilización.

La aplicación de fertilización sintética y fertilización combinada producen iguales rendimientos, sin embargo, el resto de los componentes del rendimiento no difieren en relación con los esquemas de fertilización aplicados.

El uso de fertilización sintética representa la mayor viabilidad económica para el cultivo con una ganancia de 5.18 córdobas por cada córdoba invertido, lo que la posiciona como la opción más viable económicamente para maximizar la rentabilidad del cultivo, sin embargo, la fertilización combinada representa ganancias importantes desde el punto de vista económico y en el recurso suelo.

VII. RECOMENDACIONES

Utilizar la fertilización combinada compuesta por fertilizantes sintéticos y orgánicos, ya que permite obtener rendimientos satisfactorios y contribuye a una transición hacia sistemas de producción sostenibles debido a que los fertilizantes orgánicos mejoran los componentes de la fertilidad física, química y biológica del suelo.

VIII. LITERATURA CITADA

- Aguilar Morales, S. M. y Narváez Ortiz, X. E. (2017). *Comparación de dos fórmulas comerciales versus un orgánico industrial (Biogreen) en el cultivo de maíz (Zea mays L.)*, Variedad Nutrinta Amarillo, Centro Experimental las Mercedes, 2016. [Tesis de Ingeniería, Universidad Nacional Agraria]. Repositorio Institucional. <https://cenida.una.edu.ni/Tesis/tnf04s838.pdf>
- Altamirano Silva, M. J. y Barrera Carmona, N. Y. (2019). *Evaluación del plan de fertilización a través del Software Smart Fertilizer versus manejo Referencial en el cultivo de maíz (Zea mays L.) en el municipio de El Jicaral departamento de León, periodo de postrera agosto-diciembre 2019* [Tesis de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, León]. Repositorio Institucional. <http://riul.unanleon.edu.ni:8080/jspui/bitstream/123456789/9110/1/247372.pdf>
- Aragón Chavarría, Y. J. y Pineda Sequeira, J. H. (2016). *Efecto de la fertilización inorgánica sobre el crecimiento, desarrollo y rendimiento de tres variedades de maíz (Zea mays L.), comarca Apompuá, Juigalpa, postrera 2014* [Tesis de Ingeniería, Universidad Nacional Agraria]. Repositorio Institucional. <https://repositorio.una.edu.ni/3492/1/tnf04a659.pdf>
- Artola, G. V. y Villavicencio, O. C. (2015). *Comportamiento agronómico de tres genotipos de maíz (Zea mays L.) por efecto de la aplicación de abonos orgánicos y sintéticos, Cofradía 2012* [Tesis de Ingeniería, Universidad Nacional Agraria]. Repositorio Institucional. <https://repositorio.una.edu.ni/3202/1/tnf04a792.pdf>
- Balboa, G., Acosta, M., Ceballos, M., Esposito, G., Peiretti, G., Cerliani, C. y Naville, R. (2020). *Rendimiento potencial del maíz: Reporte campaña 2019/20* [Informe Técnico, Universidad Nacional de Río Cuarto]. Producción Vegetal UNRC. https://www.produccionvegetalunrc.org/images/fotos/614_Rendimiento%20Potencial%20de%20Maiz_19_20_UNRC.pdf
- Barrios López, M. N. (2000). *Efecto de diferentes arreglos topológicos de maíz (Zea mays L.) y frijol (Phaseolus vulgaris L.), sobre el crecimiento, desarrollo y rendimiento de los cultivos y uso equivalente de la tierra* [Tesis de Ingeniería, Universidad Nacional Agraria]. Repositorio Institucional. <https://repositorio.una.edu.ni/1779/1/tnf01b276e.pdf>
- Barrios, M. y Basso, C. (2018). Efecto de la fertilización nitrogenada sobre componentes del rendimiento y calidad nutricional del grano de seis híbridos de maíz. *Bioagro* 30(1), 15-24. https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1316-33612018000100004
- Bautista Redondo, D. M. (2016). *Evaluación de dos métodos para medir el área foliar en el tomate en invernadero* [Tesis de Ingeniería]. Repositorio Institucional. <http://repositorio.aaaan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/8446/K64452%20BAUTISTA%20REDONDO%20DULCE%20MAR%c3%8dA.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Berdjour, A., Dugje, I. Y., Abdul Rahman, N., Odoom, D., Kamara, A. Y. & Ajala, S. (2020). Direct estimation of maize leaf area index as influenced by poultry manure (PM) and NPK fertilizer rates in Guinea Savanna. *Journal of Agricultural Science*, 12(6), 66–75. <https://doi.org/10.5539/jas.v12n6p66>

Blandón Garmendia, E. J. y Smith Maradiaga, A. Z. (2001). *Efecto de diferentes niveles de nitrógeno y densidades de siembra sobre el crecimiento, desarrollo y rendimiento del cultivo de maíz (Zea mays L.) var. NB-6* [Tesis de Ingeniería, Universidad Nacional Agraria]. Repositorio Institucional. <https://core.ac.uk/download/pdf/35165573.pdf>

Blessing Ruiz, D. M. y Hernández Morrison, G. T. (2009). *Comportamiento de variables de crecimiento y rendimiento en maíz (Zea mays L.) Var. NB-6 bajo prácticas de fertilización orgánica y convencional en la finca El Plantel. 2007-2008* [Tesis de Ingeniería, Universidad Nacional Agraria]. Repositorio Institucional. <https://repositorio.una.edu.ni/2090/1/tnf01b647.pdf>

Bonnett, O. T. (1954). The inflorescences of maize. *Science* 120(3107), 77-87. <https://doi.org/10.1126/science.120.3107.77>

Calviño, F. (28 de agosto de 2023). *Métodos de estimación de rendimiento en maíz: Estimación tradicional versus modelos predictivos*. Cultiva-SIMA. <https://blog.sima.ag/2023/estimacion-de-rendimiento-en-maiz/>

Canhong, G., El-Sawah A. M., Ismail, D. F., Hamoud, Y. A., Shaghaleh, H. & Sheteiwy, M. S. (2020). The integration of bio and organic fertilizers improves plant growth, grain yield, quality and metabolism of hybrid maize (Zea mays L.). *Agronomy*, 10(3), 1-25. <https://doi.org/10.3390/agronomy10030319>

Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT). (1998). *La formulación de recomendaciones a partir de datos agronómicos: Un manual metodológico de evaluación económica*. <https://repository.cimmyt.org/server/api/core/bitstreams/ac4c267d-bdf2-4b1c-a46b-97d85442c0eb/content>

Coelho, A. M. (2006). *Nutrição e adubação do milho*. Embrapa Milho e Sorgo. <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/490410/1/Circ78.pdf>

Coulter, J., Hicks, D. R., Naeve, S. L. & Nicolai, D. (2021). *Growth and development*. University of Minnesota Extension. <https://extension.umn.edu/growing-corn/growth-and-development#r1-3%3A-silk%2C-blister-and-milk-stages-441010>

Crespo, C. (07 junio 2019). *La urea: características, ventajas y desventajas de esta fuente nitrogenada*. PortalFrutícola. <https://www.portalfruticola.com/noticias/2019/06/07/la-urea-caracteristicas-ventajas-y-desventajas-de-esta-fuente-nitrogenada/>

Cubillo Pérez, M. y Gutiérrez, O. (2011). *Evaluación de sustratos para la producción de plántulas de café* [Tesis de Ingeniería, Universidad Nacional Agraria]. Repositorio Institucional. <https://repositorio.una.edu.ni/832/1/tnf01c962.pdf>

Cuzme Loor, W. S. y Fuentes Triviño, M. A. (2012). *Respuesta del híbrido de maíz (Zea mays L.) DK 7088 a varios niveles de fertilización química suplementada con materia orgánica* [Tesis de ingeniería, Universidad Técnica Estatal de Quevedo]. Repositorio UTEQ. <https://repositorio.uteq.edu.ec/server/api/core/bitstreams/2ae0b98a-cb50-4aa8-b3a3-928439c822d0/content>

Daemo, B. B., Wolancho, G. B. & Ashango, Z. (2024). Improving the productivity and profitability of maize (Zea mays L.) using optimum blended inorganic fertilization. *Open Life Sciences*, 19(1), 1-10. <https://doi.org/10.1515/biol-2022-0948>

Dávila Mendoza, F. A. y Quiñonez Pérez, S. N. (2020). *Efecto de la fertilización sintética, orgánica y combinada en el cultivo de maíz (Zea mays L), variedad Nutrinta Amarillo, Centro Experimental Las Mercedes, 2019-2020* [Tesis de ingeniería, Universidad Nacional Agraria]. Repositorio Institucional. <https://cenida.una.edu.ni/Tesis/tnf04d259.pdf>

Deras Flores, H. (2020). El cultivo del maíz. <http://repiica.iica.int/docs/b3469e/b3469e.pdf>

Díaz Chuquizuta, P., Hidalgo Meléndez, E., Cabrejo Sánchez, C. y Valdés Rodríguez, O. A. (2022). Respuesta del maíz (Zea mays L.) a la aplicación foliar de abonos orgánicos líquidos. *Ciencia y Tecnología Agraria*, 38(2), 144-153. https://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0719-38902022000200144&script=sci_arttext

DISAGRO. (15 marzo 2023). *Fertimaíz Inicio*. https://www.disagro.com.ni/wp-content/uploads/2023/03/fertimaiz_inicio_sv.pdf

Dwyer, L. M. & Stewart, D. W. (1986). Leaf area development in field-grown maize. *Agronomy Journal*, 78(2), 334-343. <https://doi.org/10.2134/agronj1986.00021962007800020022x>

El Granjero. (s.f.). *Bio Green Abono Orgánico*. Agroshow. <https://agroshow.info/productos/cultivos/fertilizantes-y-abonos/bio-green-abono-organico/?nowpocket=1>

Elings, A. (2000). Estimation of leaf area in tropical maize. *Agronomy Journal*, 92(3), 436–444. <https://doi.org/10.2134/agronj2000.923436x>

Elmore, R. W. & Abendroth, L. J. (2006). *Kernels set early in season*. Iowa State University. <https://crops.extension.iastate.edu/encyclopedia/kernels-set-early-season>

Endicott, S., Brueland, B., Keith, R., Schon, R., Bremer, C., Farnham, D., DeBruin, J., Clausen, C., Strachan, S. y Carter, P. (23 de marzo de 2015). *Crecimiento y desarrollo del maíz*. Pioneer Hi-Bred International, Inc. https://www.pioneer.com/CMRoot/International/Latin_America_Central/Chile/Servicios/Informacion_tecnica/Corn_Growth_and_Development_Spanish_Version.pdf

Escalona Sánchez, A., Gavilanez Buñay, T., Yépez, A. F. y Ramírez Guerrero, H. O. (2021). Uso de enmiendas en la producción de maíz para ensilaje con riego organico mineral. *Agronomía Costarricense*, 45(1), 177-192. <https://www.scielo.sa.cr/pdf/ac/v45n1/0377-9424-ac-45-01-177.pdf>

Espinoza Picado, A. M., Sánchez Ríos, L. M. y Hernández Cáceres, F. M. (2023). *Evaluación de diferentes tipos de fertilización nitrogenada para incrementar el rendimiento y calidad de tomate (Solanum lycopersicum) de la variedad jl5 en palo alto, El Viejo, Chinandega de julio a noviembre 2023* [Monografía de Ingeniería, Universidad de Ciencias Comerciales]. Repositorio Institucional. <https://repositorio.ucc.edu.ni/1295/1/Tesis%20Agronom%c3%ada%20Final.pdf>

Fageria, N. K. (2014). *Nutrient management for sustainable crop production*. CRC Press. <https://books.google.com/books?id=wubMAwAAQBAJ>

Fuentes López, M. R. (2008). Descriptores del maíz. Programa Colaborativo de Fitomejoramiento Participativo en Mesoamérica. <https://www.asocuch.com/wp-content/uploads/2020/06/Descriptores-de-Maiz.pdf>

García Zeledón, A. J. y Plata Suncing V. R. (2015). *Estructura, evolución y transformación productiva del maíz en Nicaragua para el periodo 2009-2013* [Tesis de Licenciatura, Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Managua]. Repositorio Institucional. <https://repositorio.unan.edu.ni/3900/12/7999.pdf>

Gite, D., Patil, S., Sharma, S., Pallavi. & Dambale, A. (2025). Ustainable and efficient maize (*Zea mays L.* Var.PMH-11) production strategies by intervention of Integrated nutrient management. *Journal of Applied and Natural Science*, 17(1), 133-141. <https://journals.ansfoundation.org/index.php/jans/article/view/6160/2874>

Guacho Abarca, E. F. (2014). *Caracterización agro-morfológica del maíz (Zea mays L.) de la localidad San José de Chazo* [Tesis de Ingeniería, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo]. Repositorio Institucional. <https://core.ac.uk/download/pdf/234574936.pdf>

Gutiérrez Matamoros, C. J. y Bolaños Aguilar, R. E. (2016). *Comparación de dos fertilizantes sintéticos versus un orgánico en el cultivo de maíz (Zea mays L.)*, Variedad Nutrinta Amarillo, Centro Experimental las Mercedes, 2015 [Tesis de Ingeniería, Universidad Nacional Agraria]. Repositorio Institucional. <https://cenida.una.edu.ni/Tesis/tnf04g984c.pdf>

Gyenes Hegyi, Z., Pók, I. & Kizmus, L. (2002). Plant height and height of the main ear in maize (*Zea mays L.*) at different locations and different plants densities. *Acta Agronomica Hungarica*, 50(1), 75-84. <https://doi.org/10.1556/Aagr.50.2002.1.9>

Hortus S.A. (2018). Ficha técnica – DK 7088 [Archivo pdf]. https://hortus-resources-2025.s3.amazonaws.com/products/data-sheet/Hortus_20200302100540_FOLLETODEKALB7088.pdf

Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). (2022). Estado de la fertilidad de los suelos agrícolas en Nicaragua. <https://sitemaps.inta.gob.ni/intamapa/mapafertilidad.html>

León, J. (2000). Botánica de los cultivos tropicales (3^a ed. Rev. y Aum). La casa del libro. https://books.google.com.ni/books?id=NBtu79LJ4h4C&newbks=0&printsec=frontcover&hl=es&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false

Li, Q., Ma, X., Cheng, Q., Dou, P., Yu, D., Luo, Y., Yuan, J. & Kong, F. (2016). Effects of nitrogen fertilizer on post-silking dry matter production and leaves function characteristics of low-nitrogen tolerance maize. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 24(1), 17–26. [https://www.ecoagri.ac.cn/en/article/doi/10.13930/j.cnki.cjea.150744#:~:text=Citation:%20LI%20Qiang%2C%20MA%20Xiaojun%2C%20CHENG%20Qiubo%2C,Chinese%20Journal%20of%20Eco%2DAgriculture%2C%202016%2C%2024\(1\):%2017%2D26](https://www.ecoagri.ac.cn/en/article/doi/10.13930/j.cnki.cjea.150744#:~:text=Citation:%20LI%20Qiang%2C%20MA%20Xiaojun%2C%20CHENG%20Qiubo%2C,Chinese%20Journal%20of%20Eco%2DAgriculture%2C%202016%2C%2024(1):%2017%2D26).

Licht, M. (2020). *Corn Growth Stages*. Iowa State University. <https://crops.extension.iastate.edu/encyclopedia/corn-growth-stages>

Licht, M. y Clemens, Z. (2020). *Corn yield estimates*. Iowa State University. <https://crops.extension.iastate.edu/encyclopedia/corn-yield-estimates>

Liu, W., Ming, B., Xie, R., Liu, G., Wang, K., Yang, Y., Guo, X., Hou, P. y Li, S. (2020). Cambio en el número final de hojas del maíz y sus efectos en la biomasa y el rendimiento de grano en China. *Agriculture*, 10(9), 1-15. <https://doi.org/10.3390/agriculture10090411>

López, J. D., Díaz Estrada, A., Martínez Rubin, E. y Valdez Cepeda, R. D. (2001). Abonos orgánicos y su efecto en propiedades físicas y químicas del suelo y rendimiento en maíz. *Terra Latinoamericana*, 19(4), 293-299. <https://www.redalyc.org/pdf/573/57319401.pdf>

Ma, X., Zhao, Y., Zheng, Y., Wang, L., Zhang, Y., Sun, Y., Ji, J., Hao, X., Liu, S. & Sun, N. (2025). Effect of different fertilization on soil fertility, biological activity, and maize yield in the Albic soil area of China. *Plants*, 14(5), 1-14. <https://doi.org/10.3390/plants14050810>

Martínez Reyes, L., Aguilar Jiménez, C. E., Carcaño Montiel, M. G., Galdámez Galdámez, J., Gutiérrez Martínez, A., Morales Cabrera, J. A., Martínez Aguilar, F. B., Llaven Martínez, J. y Gómez Padilla, E. (2018). Biofertilización y fertilización química en maíz (*Zea mays* L.) en Villaflores, Chiapas, México. *Siembra* 5(1), 26-37. <https://revistadigital.uce.edu.ec/index.php/SIEMBRA/article/view/1425/1379>

Maza López, M. I. (2022). *Evaluación agronómica de seis genotipos de maíz (Zea Mays L.), con fines forrajeros en el Cantón la Joya de los Sachas* [Tesis de Ingeniería, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo]. Repositorio Institucional. <https://repositorio.iniap.gob.ec/bitstream/41000/6020/1/Evaluaci%C3%B3n%20agron%C3%BCmica%20de%20seis%20genotipos%20de%20ma%C3%ADz%20mays%20L.%29.pdf>

McKee, G. (1964). A coefficient for computing leaf area in hybrid corn. *Agronomy Journal*, 56(6), 240-241. <https://doi.org/10.2134/agronj1964.00021962005600060004x>

Melo, F. B., Corá, J. E. & Cardoso, M. J. (2011). *Fertilização nitrogenada, densidade de plantas e rendimento de milho cultivado no sistema plantio direto*. Embrapa Meio-Norte. <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/885332/fertilizacao-nitrogenada-densidade-de-plantas-e-rendimento-de-milho-cultivado-no-sistema-plantio-direto>

Mendoza Pacheco, C. A. y Gaitán Mendoza, J. P. (2013). *Caracterización y evaluación preliminar de treinta y tres accesiones de maíz (Zea mays L.) colectadas en Nicaragua, Tisma, Masaya, postrera 2011* [Tesis de ingeniería, Universidad Nacional Agraria]. Repositorio Institucional. <https://repositorio.una.edu.ni/2187/1/tnf30m539c.pdf>

Mendoza, A. S. (2018). *Utilización de abonos verdes Canavalia, como alternativa de manejo ecológico del suelo para el establecimiento de un banco de semilla de maíz criollo (Zea mays L.) en la comunidad del Caño Central municipio de El Cuá, Jinotega* [Pasantía de Ingeniería, Universidad Nacional Agraria]. Repositorio Institucional. <https://repositorio.una.edu.ni/3680/1/tnf04m539u.pdf>

Ministerio Agropecuario (MAG). (2023). Ciclo agrícola 2022 reportó 8.4 millones de quintales en la producción de maíz. <https://www.mag.gob.ni/index.php/noticias?view=article&id=68:produccion-de-maiz-nicaraguense&catid=11>

Moraga Quezada, M. E. (2021). *Enmiendas orgánicas y sintéticas y su efecto en la producción de maíz (Zea mays L.) y frijol (Phaseolus vulgaris L.) y en la fertilidad de suelo* [Tesis de Maestría, Universidad Nacional Agraria]. Repositorio Institucional. <https://repositorio.una.edu.ni/4319/1/tnf08m827.pdf>

Nielsen, R. L. (2020). Kernel set scuttlebutt. *Corny News Network*. <https://www.agry.purdue.edu/ext/corn/news/timeless/KernelSet.html>

Noce, M. A., Carvalho, D. O., Oliveira, A. C. & Chaves, F. F. (2010). *Fertilização orgânica do milho para silagem utilizando cama de frango em doses e sistemas de aplicação distintos*. Embrapa Milho e Sorgo. <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/865647/1/0380.pdf>

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

Ogunweide, T. A., Odunjo, T. E., Fademi, I. O. & Ande, O. T. (2022). Response of maize (Zea mays) to organic and inorganic fertilizer sources on soil under intensive continuous cultivation. *Journal of Agriculture and Food Sciences*, 20(2), 19–30. <https://www.ajol.info/index.php/jafs/article/view/242992>

Orozco, J. (25 de julio de 2020). *Formación de mazorcas y espigas en el cultivo de maíz. Diferenciación etapa V4 a V6 en el campo* [Video]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=2mEMYK2n4KY>

Pavón Garache, J. D. y Zapata Valle, O. I. (2012). *Comparación de tres fertilizantes orgánicos y un combinado en el cultivo de maíz (Zea mays), en el campus agropecuario de la UNAN-León en el periodo comprendido de abril a julio del 2011* [Tesis de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, León]. Repositorio Institucional. <http://riul.unanleon.edu.ni:8080/jspui/bitstream/123456789/5671/1/221265.pdf>

Pérez Rugama, E. H. (2018). *Evaluación de la fertilización orgánica (biol) y sintética sobre el crecimiento y rendimiento del cultivo del maíz (Zea mays L.), cv. NB 9043, bajo riego complementario por goteo, finca El Plantel, Masaya 2017* [Tesis de Ingeniería, Universidad Nacional Agraria]. Repositorio Institucional. <https://repositorio.una.edu.ni/3674/1/tnf04p438e.pdf>

Pérez Somarriba, E. B y Hernández Fernández, G. M. (2022). Efecto de densidades de siembra en el desarrollo fenológico productivo del Cultivo de Maíz (Zea mays) en camas Biointensivas. *Revista Iberoamericana de Bioeconomía y Cambio Climático*, 8(15), 1876-1888. <http://portal.amelica.org/amelia/journal/394/3943064011/3943064011.pdf>

Pioneer Agronomy Sciences. (2019). *Corn grain yield in relation to stress during ear development*. Pioneer. https://www.pioneer.com/us/agronomy/ear_development.html

Robertson, D. J., Julias, M., Lee, S. Y. & Cook, D. D. (2017). Maize stalk lodging: Morphological determinants of stalk strength. *Crop Science*, 57(2), 926-934. <https://doi.org/10.2135/cropsci2016.07.0569>

Rodrigues, P. N., Rolim, M. M., Neto, E. B., Costa, R. N., Pedrosa, E. M. & Oliveira, V. S. (2011). Efeito do composto orgânico e compactação do solo no milho e nutrientes do solo. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 15(8), 788-793. <https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/DW6NJcHKxjS4GsNZfZ8Lx3C/?format=pdf&lang=pt>

Román Solís, A. J. (2023). *Efecto de la fertilización sintética y orgánica en la producción de maíz (Zea mays L) variedad nutrita amarillo en el Centro Experimental El Plantel, postrera, 2022* [Tesis de Ingeniería]. Universidad Nacional Agraria.

Romero, K. J. y Ruíz Zamora, J. J. (2021). *Evaluación de la fertilización orgánico y sintético en el cultivo de maíz (Zea mays L.), (Variedad Nutrinta Amarillo) Centro Experimental Las Mercedes, Managua, 2020* [Tesis de Ingeniería, Universidad Nacional Agraria]. Repositorio Institucional. <https://repositorio.una.edu.ni/4422/1/tnf04r763m.pdf>

Sabadin, P. K., Lopes de Souza, C. J., Pereira de Souza, A. & Franco García, A. A. (2008). QTL mapping for yield components in a tropical maize population using microsatellite markers. *Hereditas*, 145(4), 194-203. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1111/j.0018-0661.2008.02065.x>

Saldaña Cáceres, F. P. y Calero Reyes, M. L. (1991). *Efecto de rotación de cultivos y control de malezas sobre cenosis de malezas en los cultivos maíz (Zea mays L.), Sorgo (Sorghum bicolor (L.) Moench) y pepino (Cucumis sativus L.)* [Tesis de Ingeniería, Universidad Nacional Agraria]. Repositorio Institucional. <https://repositorio.una.edu.ni/1507/1/tnh60s162.pdf>

Santos Ferreira, J. K., Cabral Filho, F. R., Souza Bastos, A. V., Cunha, F. N., Teixeira, M. B., Cabral da Silva, E., Santos, E., Marques Vidal, V., Alves Morais, W., Avila, R. G. & Loureiro Soares, F. A. (2021). Desenvolvimento de plantas de milho submetidas a doses de adubação NPK mineral e organomineral. *Research, Society and Development*, 10(5) 1-5. <https://rsdjournal.org/rsd/article/download/15123/13541/196296>

Singh, S. & Misal, N. B. (2022). Effect of different levels of organic and inorganic fertilizers on maize (Zea mays L.). *Indian Journal of Agricultural Research*, 56(5), 562–566. <https://doi.org/10.18805/IJARe.A-5231>

Sobalvarro Bravo, Y. F. y Díaz Carballo, E. R. (2016). *Eficiencia de la fertilización especial y tradicional en el cultivo de maíz (Zea mays L.) variedad nutrinta amarillo, centro de experimentación y validación de tecnología las Mercedes 2015* [Tesis de Ingeniería, Universidad Nacional Agraria]. Repositorio Institucional. <https://repositorio.una.edu.ni/3340/1/tnf04s677.pdf>

Tejada de Garay, I., Serrano, M. B. y García Guillén, E. (2010). *Las hojas*. Real Jardín Botánico-CSIC. https://www.rjb.csic.es/jardinbotanico/ficheros/documentos/pdf/didactica/Las_Hojas.pdf

Tollenaar, M. & Lee, E. A. (2002). Yield potential, yield stability and stress tolerance in maize. *Field Crops Research*, 75(2-3), 161–169. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378429002000242>

Usman, Y., Sunday, A. & Panti, A. A. (2024). Effects of different levels of nitrogen fertilizer on height, stem diameter and leaf area of hybrid maize (Zea mays L.) (FARZ-27) varieties. *Minna International Journal of Science and Technology*, 3(1), 97–104. <https://journals.coeminna.edu.ng/index.php/mijost/article/view/118>

Vera Rodríguez, J. H., Cepeda Landin, W. E., Espejo Galarza, F. A., Balón Cárdenas, A. R., Inga Herrera, G. M., Granda Correa, J. D. y Delgado Orozco, J. C. (2020). Comparación de 2 formas de fertilización en cultivo de maíz variedad DK 7500, La Troncal-Ecuador. *Ciencia e Interculturalidad*, 26(1), 163-173. <https://revistas.uraccan.edu.ni/index.php/CEI-Interculturalidad/article/view/789>

Viera Arteaga, L. (2004). *Caracterización y evaluación de seis híbridos y seis variedades de polinización libre de maíz (Zea mays L.) en El Viejo, Chinandega* [Tesis de Ingeniería, Universidad Nacional Agraria]. Repositorio Institucional. <https://cenida.una.edu.ni/Tesis/tnf30v665.pdf>

Vos, J., Putten, P. & Birch, C. J. (2005). Effect of nitrogen supply on leaf appearance, leaf growth, leaf nitrogen economy and photosynthetic capacity in maize (*Zea mays* L.). *Field Crops Research*, 93(1), 64–73. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2004.09.013>

Weather Atlas. (2024). Clima y previsión meteorológica mensual Diriomo, Nicaragua. <https://www.weather-atlas.com/es/nicaragua/diriomo-clima>

Zonta, E., Stafanato, J. B. & Pereira, M. G. (2021). *Fertilizantes minerais, orgânicos e organominerais. Embrapa Mandioca e Fruticultura.* RecomendacaoCalagemAdubacao-AnaLuciaBorges-AINFO.pdf <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1134679/1/cap14-livro-RecomendacaoCalagemAdubacao-AnaLuciaBorges-AINFO.pdf>

IX. ANEXOS

Anexo 1. Establecimiento del ensayo



Anexo 2. Mazorca tierna (chilote) cortada



Anexo 3. Toma de datos en las variables de crecimiento



Anexo 4. Cosecha de maíz



Anexo 5. Mazorcas cosechadas



Anexo 6. Acompañamiento de los asesores al momento de la cosecha



Anexo 7. Registro de datos en las variables de crecimiento



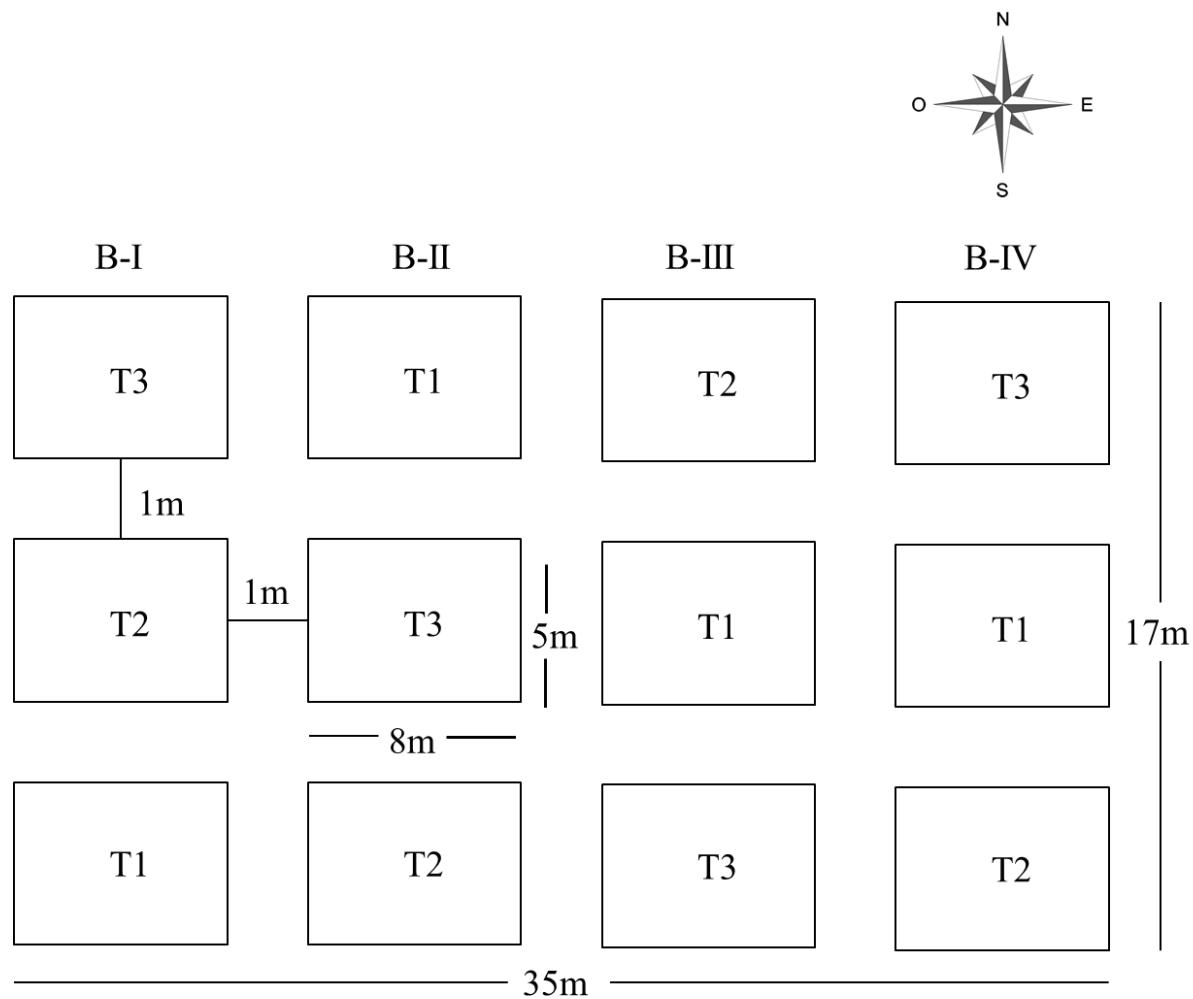
Anexo 8. Medición de las variables de crecimiento



Anexo 9. Evaluación de las variables de rendimiento



Anexo 10. Plano de campo



Anexo 11. Formato para el levantamiento de datos de las variables de crecimiento

Bloque I											
T1			T2			T3					
Nº Planta	Altura (cm)	Diámetro (mm)	Hoja			Nº Planta	Altura (cm)	Diámetro (mm)	Hoja		
			Nº	Largo (cm)	Ancho (cm)				Nº	Largo (cm)	Ancho (cm)
1			1			1			1		
2			2			2			2		
3			3			3			3		
4			4			4			4		
5			5			5			5		
6			6			6			6		
7			7			7			7		
8			8			8			8		
9			9			9			9		
10			10			10			10		
11			11			11			11		
12			12			12			12		
13			13			13			13		
14			14			14			14		
15			15			15			15		
Total			Total			Total			Total		
Media			Media			Media			Media		

Anexo 12. Formato para el levantamiento de datos de las variables a la floración

Bloque I								
T2			T3			T1		
Nº Planta	Longitud espiga (cm)	Altura inserción de mazorca (cm)	Nº Planta	Longitud espiga (cm)	Altura inserción de mazorca (cm)	Nº Planta	Longitud espiga (cm)	Altura inserción de mazorca (cm)
1			1			1		
2			2			2		
3			3			3		
4			4			4		
5			5			5		
6			6			6		
7			7			7		
8			8			8		
9			9			9		
10			10			10		
11			11			11		
12			12			12		
13			13			13		
14			14			14		
15			15			15		
Total			Total			Total		
Media			Media			Media		

Anexo 13. Formato para el levantamiento de datos de las variables de rendimiento

Bloque I														
Nº	T1				T2				T3					
	Mazorca				Mazorca				Mazorca					
	Longitud (cm)	Diámetro (mm)	Nº Hileras	Nº Granos/Hilera	Nº	Longitud (cm)	Diámetro (mm)	Nº Hileras	Nº Granos/Hilera	Nº	Longitud (cm)	Diámetro (mm)	Nº Hileras	Nº Granos/Hilera
1					1					1				
2					2					2				
3					3					3				
4					4					4				
5					5					5				
6					6					6				
7					7					7				
8					8					8				
9					9					9				
10					10					10				
11					11					11				
12					12					12				
13					13					13				
14					14					14				
15					15					15				
Total					Total					Total				
Media					Media					Media				