

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA ESTATAL DEL CARCHI

POSGRADO



MAESTRÍA EN ESTADÍSTICA APLICADA

**“Influencia de la fertilización nitrogenada y tipo de control de Spodoptera
frugiperda en el cultivo de maíz”**

Trabajo de titulación previa la obtención del
Título de Magíster en Estadística Aplicada

Autora: Dra. Vélez Ruiz Mayra Carolina
Tutor: Dr. Moreno Amores José Esteban

Tulcán, 2026

CERTIFICADO DEL TUTOR

Certifico que la maestrante Vélez Ruiz Mayra Carolina con el número de cédula 1721804613 ha elaborado el trabajo de titulación: “Influencia de la fertilización nitrogenada y tipo de control de *Spodoptera frugiperda* en el cultivo de maíz”.



Jose Esteban
Moreno Amores



f.....

Dr. Moreno Amores José Esteban

TUTOR

Tulcán, 2026

AUTORÍA DE TRABAJO

El presente trabajo de titulación constituye un requisito previo para la obtención del título de Magíster en Estadística Aplicada.

Yo, Mayra Carolina Vélez Ruiz, ciudadano ecuatoriano con cédula de identidad número 1721804613 declaro: que la investigación es absolutamente original, auténtica, personal y los resultados y conclusiones a los que he llegado son de mi absoluta responsabilidad.



f.....

Dra. Vélez Ruiz Mayra Carolina

AUTORA

Tulcán, 2026

ACTA DE CESIÓN DE DERECHOS DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Vélez Ruiz Mayra Carolina declaro ser autora de los criterios emitidos en el trabajo de titulación: “Influencia de la fertilización nitrogenada y tipo de control de *Spodoptera frugiperda* en el cultivo de maíz” y eximo expresamente a la Universidad Politécnica Estatal del Carchi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.



Validar únicamente en FirmaBC.
Firmado electrónicamente por:
MAYRA CAROLINA
VELEZ RUIZ

f.....

Dra. Vélez Ruiz Mayra Carolina

AUTORA

Tulcán, 2026

DEDICATORIA

A mi hijo, Emilio Andrés, por ser la luz que guía mi camino y la razón más profunda de mi esfuerzo.

Este logro lo dedico a ti, porque en cada desvelo, en cada reto y en cada paso de este proceso, tu sonrisa y tu existencia me dieron la fuerza para continuar.

Que este trabajo sea un ejemplo de que con amor, disciplina y perseverancia todo lo que nos proponemos se puede alcanzar.

Con todo mi amor,

AGRADECIMIENTO

A Dios, por brindarme salud, fortaleza y sabiduría para culminar esta etapa académica.

A mi esposo, Jardel Coutinho dos Santos, por su amor, paciencia y apoyo constante; por creer en mí incluso en los momentos de mayor cansancio.

A mi hijo, Emilio Andrés Coutinho Vélez, mi mayor inspiración, por ser el motor que impulsa cada uno de mis esfuerzos y por llenarme de alegría y motivación para seguir adelante.

A mi familia, por su respaldo incondicional, sus palabras de aliento y por acompañarme en cada paso con cariño y confianza.

A mi tutor de tesis, José Moreno Amores, por su orientación académica, su valiosa asesoría, su rigor y el tiempo dedicado para guiarme con profesionalismo a lo largo de este trabajo de investigación.

A los docentes de la Universidad Politécnica Estatal del Carchi, por sus enseñanzas, aportes y formación, que contribuyeron de manera significativa a mi crecimiento profesional y al desarrollo de esta investigación.

A la Universidad Técnica Estatal de Quevedo, institución en la que laboro, por el apoyo brindado y por facilitar el desarrollo de actividades que hicieron posible avanzar con este estudio.

A los estudiantes y amigos, quienes colaboraron con disposición y compromiso, y que me ayudaron en todos los procesos de campo, por su tiempo, y aportes fundamentales para la recolección de información y ejecución de las actividades.

Finalmente, a todas las personas que, de una u otra manera, contribuyeron a que este proyecto se concrete, mi sincero agradecimiento.

ÍNDICE

RESUMEN	xii
ABSTRACT	xiii
CAPÍTULO I	1
PROBLEMA	1
1.1. Planteamiento del problema	1
1.2. Preguntas de investigación o hipótesis	4
Pregunta general	4
1.3. Objetivos de investigación.....	4
1.3.1. <i>Objetivo General</i>	4
1.3.2. <i>Objetivos Específicos</i>	4
1.4. Justificación.....	5
CAPÍTULO II.....	7
FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	7
2.1. Antecedentes de investigación.....	7
2.1.1. <i>Antecedentes de investigación sobre el manejo de Spodoptera frugiperda en maíz</i> 7	
2.1.2. <i>Antecedentes sobre el diseño experimental y modelamiento estadístico para el manejo y control de S. frugiperda</i>	9
2.2. Marco teórico.....	11
2.2.1. <i>El cultivo de maíz (Zea mays L.)</i>	11
2.2.2. <i>Fertilización nitrogenada en el cultivo de maíz</i>	17
2.2.3. <i>Spodoptera frugiperda (gusano cogollero) en el cultivo de maíz</i>	22
2.2.4. <i>Interacción entre fertilización nitrogenada y la incidencia de plagas</i>	25
2.2.5. <i>Diseño experimental y análisis estadístico</i>	31
2.3. Marco legal.....	35
CAPÍTULO III	38

METODOLOGÍA.....	38
3.1. Descripción del área de estudio	38
3.2. Enfoque y tipo de investigación	39
3.2.1. <i>Enfoque</i>	39
3.2.2. <i>Tipo de investigación</i>	39
3.3. Definición y operacionalización de variables.....	39
3.3.1. <i>Definición de variables</i>	39
3.3.2. <i>Operacionalización de variables</i>	41
3.4. Procedimientos	43
3.4.1. <i>Fases de la investigación</i>	43
3.4.2. <i>Diseño experimental</i>	43
3.4.3. <i>Establecimiento y manejo del experimento</i>	44
3.4.4. <i>Evaluación de variables</i>	44
3.4.5. <i>Análisis estadístico</i>	46
3.5. Consideraciones bioéticas.....	48
CAPÍTULO IV	49
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	49
4.1. Altura de la planta.....	49
4.2. Diámetro del tallo	52
4.3. Porcentaje de Incidencia de <i>Spodoptera frugiperda</i>	54
4.4. Porcentaje de Severidad de <i>Spodoptera frugiperda</i>	58
4.5. Rendimiento del cultivo de maíz	60
CAPÍTULO V.....	65
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	65
Conclusiones.....	65
Recomendaciones	67
REFERENCIAS	68
ANEXOS	86

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Definición conceptual y operacional de variables en estudio.....	40
Tabla 2	Operacionalización y evaluación de variables independientes y dependientes	42

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Ubicación del Campus Universitario La María (UTEQ)	38
Figura 2 Evolución de la altura de la planta de maíz durante las etapas vegetativas V5, V7 y V12	50
Figura 3 Evolución del diámetro de la planta de maíz durante las etapas vegetativas V5, V7 y V12	53
Figura 4 Incidencia estimada de <i>Spodoptera frugiperda</i> según dosis de nitrógeno y manejo fitosanitario	56
Figura 5 Severidad estimada de <i>Spodoptera frugiperda</i> según dosis de nitrógeno y manejo fitosanitario	59
Figura 6 Rendimiento de parcelas de maíz expuestas a diferentes dosis de nitrógeno (A) y tipo de manejo fitosanitario (B).....	61
Figura 7 Curvas de respuesta del rendimiento de maíz a diferentes dosis de nitrógeno según manejo fitosanitario.....	62

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo A Establecimiento de las unidades experimentales.	86
Anexo B Estado inicial del cultivo de maíz en las parcelas experimentales.....	86
Anexo C Evaluación de las variables de crecimiento del cultivo de maíz.....	87
Anexo D Evaluación de la incidencia y severidad de <i>Spodoptera frugiperda</i> en plantas de maíz.	87
Anexo E Niveles de severidad del daño foliar causado por <i>Spodoptera frugiperda</i> según la escala de Davis (0–9).....	88
Anexo F Proceso de cosecha y obtención de las muestras para la evaluación del rendimiento del cultivo de maíz.	89
Anexo G Reporte del análisis de fertilidad del suelo previo al establecimiento del experimento.	90

RESUMEN

La investigación tuvo como objetivo evaluar el efecto de diferentes dosis de fertilización nitrogenada y del manejo fitosanitario sobre la incidencia y severidad de *S. frugiperda*, así como sobre el crecimiento y rendimiento del maíz en el cantón Mocache, provincia de Los Ríos. Se estableció un experimento bajo un Diseño de Bloques Completos al Azar con arreglo factorial 5×2 , evaluando cinco dosis de nitrógeno (0, 120, 160, 200 y 240 kg N ha⁻¹) y dos manejos fitosanitarios (con y sin aplicación de insecticida). Se evaluaron la altura de planta, el diámetro del tallo, la incidencia y la severidad de *S. frugiperda* y el rendimiento del cultivo. Los datos fueron analizados con modelos lineales mixtos para altura, diámetro y rendimiento, GLM binomial para incidencia, regresión beta para severidad. La altura estuvo influenciada significativamente por la etapa fenológica y el manejo fitosanitario, y se detectaron interacciones significativas etapa $\times$ manejo y etapa $\times$ dosis de nitrógeno. El diámetro de tallo estuvo determinado únicamente por la etapa fenológica. La incidencia fue influida por fertilización nitrogenada y manejo fitosanitario, sin interacción significativa entre ambos factores. La severidad estuvo determinada por el manejo fitosanitario, sin efecto significativo con la dosis de nitrógeno utilizada. El rendimiento respondió de forma independiente a la fertilización nitrogenada y al manejo fitosanitario, alcanzándose la mayor producción con 160 kg N ha⁻¹. Estos resultados muestran que es necesario un manejo integrado basado en fertilización técnicamente justificada, monitoreo oportuno de la plaga y una aplicación racional de insecticidas en maíz en condiciones locales.

Palabras clave: gusano cogollero, manejo fitosanitario, nitrógeno, rendimiento.

ABSTRACT

Spodoptera frugiperda is one of the major pests affecting maize and is responsible for substantial production losses. Maize production efficiency also depends on appropriate nitrogen fertilization and phytosanitary management, both of which influence crop productivity and the sustainability of the production system. This study aimed to evaluate the effects of different nitrogen fertilization rates and phytosanitary management on the incidence and severity of *S. frugiperda*, as well as on maize growth and yield, in Mocache, Los Ríos Province, Ecuador. The experiment was conducted using a randomized complete block design with a 5×2 factorial arrangements, comprising five nitrogen rates (0, 120, 160, 200, and 240 kg N ha⁻¹) and two phytosanitary management conditions (with and without insecticide application). Plant height, stem diameter, *S. frugiperda* incidence and severity, and crop yield were evaluated. Data were analyzed using linear mixed-effects models for plant height, stem diameter, and yield, a binomial generalized linear model (GLM) for incidence, and beta regression for severity. Plant height was significantly affected by phenological stage and phytosanitary management, and significant interactions were detected between phenological stage and management and between phenological stage and nitrogen rate. Stem diameter was significantly affected only by phenological stage. *Spodoptera frugiperda* incidence was influenced by nitrogen fertilization and phytosanitary management, with no significant interaction between these factors. Severity was significantly affected by phytosanitary management, whereas nitrogen rate had no significant effect. Maize yield responded independently to nitrogen fertilization and phytosanitary management, with the highest observed yield obtained at 160 kg N ha⁻¹. These findings highlight the need for an integrated management approach based on technically justified nitrogen fertilization, timely pest monitoring, and the rational use of insecticides under local maize production conditions.

Keywords: fall armyworm, phytosanitary management, nitrogen, yield.

CAPÍTULO I

PROBLEMA

1.1. Planteamiento del problema

Spodoptera frugiperda es considerada una de las principales plagas del maíz en América Latina. Su alta capacidad reproductiva, movilidad y adaptabilidad a diferentes ambientes la convirtieron en una amenaza persistente (Susanto et al., 2024). Su relevancia fitosanitaria ha adquirido un carácter global, ya que la especie se encuentra establecida en más de un centenar de países (Marri et al., 2023). En condiciones experimentales de campo se han llegado a registrar porcentajes de infestación de hasta 50,27 % de las plantas de maíz y pérdidas de rendimiento de hasta 22 % asociadas a su ataque (Yaméogo et al., 2024). El manejo convencional con insecticidas ha generado resistencia en varias poblaciones, lo cual agrava la situación y demanda nuevas estrategias de manejo integrado (Chen et al., 2025).

Además de ser uno de los insumos más importantes para el desarrollo del cultivo, la fertilización nitrogenada también puede incrementar la incidencia de plagas; según Quandahor et al. (2023), esto se produce porque, al aplicarse determinadas dosis de nitrógeno, no solo se altera la morfología de las plantas, sino también la fisiología que puede modificar la susceptibilidad de las plantas al ataque de insectos herbívoros. Esta complejidad exige estudiar no solo los efectos del nitrógeno sobre el crecimiento del maíz, sino también la posible interacción entre la fertilización nitrogenada y las estrategias de manejo fitosanitario aplicadas en campo sobre la respuesta de *S. frugiperda*.

En Ecuador, la provincia de Los Ríos se ubica como una de las más importantes productoras de maíz. De acuerdo con la ESPAC 2024, a nivel nacional se cosecharon 273.835 ha de maíz duro seco y se produjo aproximadamente 1,1 millones de toneladas; Los Ríos concentró el 38,4 % de la superficie cosechada y el 43,8 % de la producción nacional, constituyéndose en la principal provincia productora (INEC, 2025). Sin embargo, y a pesar de la importancia de dicho cultivo, existe escasa evidencia científica local sobre cómo las prácticas de fertilización nitrogenada y el manejo fitosanitario (con y sin aplicación de insecticida) pueden afectar la severidad de *S. frugiperda*. Esta situación limita la toma de decisiones técnicas por parte de los productores al momento de seleccionar estrategias de manejo para el control de la plaga (Escudero et al., 2014).

El cantón Mocache, que se sitúa en la provincia de Los Ríos, presenta elevados niveles de infestación de *S. frugiperda*. Usualmente, el agricultor aplica fertilizantes nitrogenados a diferentes dosis sin criterios técnicos o lo realiza en función de su experiencia (Gars et al., 2025), lo que genera una elevada variabilidad en el manejo agronómico y dificulta la implementación de estrategias eficientes de control adaptadas a las condiciones agroecológicas locales. Hasang-Moran et al. (2021) determinaron que solamente el 7,3 % de los productores de maíz de la provincia realizaba la fertilización con base en criterios técnicos sustentados en análisis de suelo o foliar; el 39,3 % efectuaba aplicaciones calendarizadas basadas principalmente en conocimiento empírico y el 28 % decidía la fertilización según el presupuesto disponible. Además, el 61,1 % de los agricultores aplicaba cantidades superiores a 200 kg N ha⁻¹, mientras que solo el 23,8 % utilizaba dosis entre 150 y 200 kg N ha⁻¹. (Hasang-Moran et al., 2021).

El uso empírico de insumos como fertilizantes nitrogenados y plaguicidas no solo representa un desperdicio en lo que respecta al ingreso económico, sino que también implica un riesgo para el ambiente y la salud humana. La aplicación excesiva o inadecuada de pesticidas puede generar resistencia en plagas, afectar organismos benéficos y contaminar fuentes de agua (Barathi et al., 2024). Desde la perspectiva productiva, la experiencia que se tiene en Ecuador muestra que una aplicación basada en un umbral de 25 % de plantas con daño alcanzó un rendimiento de 6,61 t ha⁻¹, frente a 4,98 t ha⁻¹ del control, sin necesidad de recurrir a aplicaciones indiscriminadas (Vélez et al., 2021). Además, fertilizaciones mal calibradas no mejoran necesariamente el rendimiento, y pueden incluso aumentar la susceptibilidad del cultivo a insectos plaga (Quiroga-Murcia et al., 2025).

A pesar de los estudios internacionales, en la provincia de Los Ríos no se han identificado estudios experimentales realizados bajo las condiciones edafoclimáticas del cantón Mocache, en los cuales se evalúen simultáneamente el efecto de diferentes dosis de nitrógeno y estrategias de control de *S. frugiperda* sobre la incidencia y severidad de la plaga en maíz. La ausencia de esta evidencia condiciona la posibilidad de obtener recomendaciones técnicas sustentadas para los productores y así contribuir con la sostenibilidad de la productividad de este cultivo.

La generación de evidencia científica local podría contribuir al desarrollo de estrategias agronómicas orientadas a optimizar el manejo nutricional y fitosanitario del

cultivo. Los Ríos aporta el 43,8 % de la producción nacional de maíz duro seco y aproximadamente 0,5 millones de toneladas de la producción registrada durante 2024 (INEC, 2025). En este contexto, la evaluación de dosis de nitrógeno y diferentes condiciones de manejo fitosanitario permitirá ampliar el conocimiento sobre la relación entre la nutrición vegetal y la sanidad del cultivo, aportando información útil para promover sistemas de producción más eficientes y sostenibles.

Además del vacío agronómico existente, se da una limitación metodológica en cuanto a cómo se evalúan las variables fitosanitarias y agronómicas en investigaciones dedicadas a la fertilización y control de plagas. La incidencia de *S. frugiperda* se obtiene a partir de datos proporcionales de conteos de plantas con y sin incidencia, mientras que, la severidad, en cambio, se origina de un índice continuo de daño, y en este caso su valor expresado se basa en una escala proporcional; por lo que el aplicar análisis estadísticos convencionales basados solamente en porcentajes, o en transformaciones, puede llegar a limitar la precisión de las inferencias. Por tal motivo, es necesario poder aplicar modelos estadísticos que se acoplen con la naturaleza de cada variable.

En consecuencia, resultó necesario evaluar simultáneamente la fertilización nitrogenada y el manejo fitosanitario, no solo para determinar sus efectos agronómicos sobre el cultivo de maíz y la respuesta de *Spodoptera frugiperda*, sino también para modelar estadísticamente dichos efectos de acuerdo con la naturaleza de las variables evaluadas. Para ello, el estudio consideró un arreglo factorial de cinco dosis de nitrógeno × dos condiciones de manejo fitosanitario, distribuido en tres bloques, lo que correspondió a diez combinaciones de tratamientos y 30 parcelas experimentales; adicionalmente, altura y diámetro fueron evaluados en tres etapas fenológicas: V5, V7 y V12.

Bajo este contexto, la presente investigación buscó responder la siguiente pregunta: ¿Cuál es el efecto de las dosis de fertilización nitrogenada y del manejo fitosanitario, así como de su interacción, sobre la incidencia, severidad, crecimiento y rendimiento del cultivo de maíz en el cantón Mocache, provincia de Los Ríos, al ser analizados mediante modelos estadísticos adecuados para cada tipo de variable? La respuesta a esta pregunta permitió generar evidencia experimental y analítica bajo las condiciones agroecológicas del cantón Mocache, aportando criterios técnicos y metodológicos para optimizar el manejo nutricional y fitosanitario del cultivo de maíz y contribuir al desarrollo de estrategias de producción más eficientes y sostenibles.

1.2. Preguntas de investigación o hipótesis

Pregunta general

¿Cuál es el efecto de las dosis de fertilización nitrogenada, del manejo fitosanitario y de la interacción entre ambos factores sobre la incidencia y severidad de *Spodoptera frugiperda*, así como sobre el crecimiento y rendimiento del cultivo de maíz en el cantón Mocache?

1.3. Objetivos de investigación

1.3.1. Objetivo General

Evaluar el efecto de diferentes dosis de fertilización nitrogenada y del manejo fitosanitario sobre la incidencia y severidad de *Spodoptera frugiperda*, así como sobre el crecimiento y rendimiento del cultivo de maíz en el cantón Mocache, provincia de Los Ríos.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Determinar el efecto de diferentes dosis de fertilización nitrogenada y del manejo fitosanitario sobre la incidencia de *Spodoptera frugiperda* en el cultivo de maíz.
- Analizar el efecto de las dosis de fertilización nitrogenada, del manejo fitosanitario y de la interacción entre ambos factores sobre la severidad de *Spodoptera frugiperda* en el cultivo de maíz.
- Evaluar el efecto de las dosis de fertilización nitrogenada y del manejo fitosanitario sobre el crecimiento del cultivo de maíz (altura de planta y diámetro del tallo) y sobre su rendimiento.
- Modelar las variables de crecimiento de la planta, incidencia y severidad de la plaga *S. frugiperda*, y rendimiento del maíz mediante modelos estadísticos adecuados a la naturaleza de cada variable, evaluando los efectos de la fertilización nitrogenada, el manejo fitosanitario y su interacción.

1.4. Justificación

La producción de maíz constituye una actividad agrícola de gran importancia económica y social en la provincia de Los Ríos. Sin embargo, su productividad se encuentra condicionada por factores nutricionales y fitosanitarios, entre los que destacan el manejo de la fertilización nitrogenada y la incidencia de *Spodoptera frugiperda*, una de las principales plagas que afectan este cultivo en Ecuador. Aunque ambos factores han sido ampliamente estudiados de forma independiente, existe limitada evidencia sobre sus efectos conjuntos bajo las condiciones agroecológicas del cantón Mocache. En este contexto, resulta necesario generar información científica que permita evaluar cómo las dosis de fertilización nitrogenada y el manejo fitosanitario, tanto de manera independiente como en interacción, influyen sobre la incidencia y severidad de *Spodoptera frugiperda*, así como sobre el crecimiento y rendimiento del cultivo de maíz.

La presente investigación adquiere relevancia debido a la limitada información disponible bajo las condiciones agroecológicas del cantón Mocache y de la provincia de Los Ríos. Aunque existen numerosos estudios internacionales relacionados con la nutrición nitrogenada y el manejo de *S. frugiperda*, sus resultados no siempre pueden extrapolarse directamente a las condiciones productivas locales, caracterizadas por particularidades climáticas, edáficas y de manejo agronómico.

A partir de un análisis estadístico-metodológico, esta investigación permitió integrar un diseño experimental con modelos de análisis estadísticos acordes a las características de cada variable evaluada. El Diseño de Bloques Completos al Azar mediante arreglo factorial 5×2 controló la variabilidad espacial en el área experimental debido al bloqueo, aunque simultáneamente también evaluó los efectos principales de la fertilización nitrogenada, del manejo fitosanitario y de la interacción entre ambas variables. Esta estructura factorial permitió identificar si la respuesta de la plaga y del cultivo estuvo relacionada con cada variable de manera independiente, es decir, si el efecto de la fertilización nitrogenada depende del manejo fitosanitario aplicado.

Desde el punto de vista práctico, los resultados contribuyen a mejorar la toma de decisiones relacionadas con la fertilización y el manejo fitosanitario del cultivo de maíz. La identificación de dosis de nitrógeno adecuadas y estrategias de manejo fitosanitario para el control de *Spodoptera frugiperda* permite optimizar el uso de insumos agrícolas, reducir pérdidas productivas y favorecer sistemas de producción más eficientes y sostenibles.

Los principales beneficiarios de esta investigación son los productores de maíz del cantón Mocache y de la provincia de Los Ríos, así como técnicos agrícolas, instituciones de investigación y entidades vinculadas al desarrollo agropecuario. El conocimiento generado sirve como base para el diseño de recomendaciones técnicas adaptadas a las condiciones locales de producción y para futuras investigaciones orientadas a profundizar en la interacción entre la nutrición vegetal y el manejo fitosanitario en sistemas de producción de maíz. Además, los procedimientos de modelamiento estadístico utilizados constituyen una referencia metodológica para otros trabajos de diseño agroecológico que analicen las variables proporcionales, los índices de severidad, las mediciones repetidas y las respuestas agronómicas que se estudien con diseños factoriales en el campo.

Por último, la investigación se relaciona con el Plan Nacional de Desarrollo vigente, pues generó información orientada a potenciar la productividad agropecuaria, el uso eficiente de los recursos y la implementación de las prácticas agrícolas sostenibles. Igualmente, la investigación se vinculó con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), especialmente con el ODS 2: Hambre cero y el ODS 12: Producción y consumo responsables.

CAPÍTULO II

FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.1. Antecedentes de investigación

2.1.1. Antecedentes de investigación sobre el manejo de *Spodoptera frugiperda* en maíz

Dada la situación en Ecuador, la aplicación adecuada de los insecticidas se considera uno de los pilares del manejo de la *Spodoptera frugiperda* en el maíz. Con el objetivo de determinar el mejor momento para aplicar Metomil 90 %, Vélez et al. (2021) compararon varios momentos de intervención, desde aplicaciones tempranas hasta aplicaciones a partir de superar ciertos umbrales de daño. Se determinó que el momento de la aplicación no causó diferencias significativas en determinadas variables morfológicas del cultivo, pero sí en la incidencia de la plaga, la severidad y el rendimiento. En particular, las aplicaciones que seguían los criterios de monitoreo mostraron niveles de daño por debajo de las aplicaciones inadecuadas y una respuesta de producción muy favorable. De estos resultados, los autores concluyen que el control químico de *S. frugiperda* está fundamentado en criterios de monitoreo y en umbrales de intervención, de forma que evitemos las aplicaciones calendarizadas innecesarias.

La sostenibilidad de la producción de maíz en la provincia de los Ríos también fue analizada desde el enfoque del manejo agronómico. Para ello, en un trabajo desarrollado por investigadores con productores de la región se buscaba caracterizar la sostenibilidad del sistema de producción y las prácticas utilizadas para el manejo del cultivo (Hasang-Moran et al., 2021). Entre los resultados obtenidos se encontró que el 7,3 % de los productores efectuaban la fertilización de los cultivos de maíz a partir de criterios técnicos fundamentados en análisis de suelo o de tejido, y que el 61,1 % de los mismos aplicaban mayores a 200 kg ha⁻¹ de nitrógeno. Todo ello evidencia la elevada dependencia de los criterios empíricos para decidir la fertilización que existe en esta región. El trabajo indicaba que el sistema productivo necesitaba mejorar prácticas de manejo para poder aumentar su sostenibilidad, lo que pone de manifiesto la necesidad de generar información experimental sobre dosis de nitrógeno técnicamente justificadas para la región de los Ríos.

En términos regionales, la influencia de las características de la planta hospedera ha sido observada como un factor que podría modificar el grado de daño causado por *S.*

frugiperda. En México, se evaluaron las diferentes poblaciones criollas de maíz y su relación con el daño foliar y las características morfológicas de las hojas como la dureza o la densidad de tricomas (Ruiz-Sánchez et al. 2023). Se encontraron diferencias en susceptibilidad entre los materiales, y ciertos rasgos morfológicos estaban relacionados con un menor daño, destacando el aumento de la densidad de tricomas como un factor relacionado con una menor afectación en algunos ambientes. La susceptibilidad a *S. frugiperda* no solamente es dependiente de la propia plaga, también lo es de los atributos propios de la planta hospedadora, que resulta ser importante para entender las desviaciones en severidad entre los ensayos a campo.

Entre las alternativas al control químico y la combinación de agentes entomopatógenos ha sido investigada para reducir las poblaciones de *S. frugiperda*. Gómez-Valderrama et al. (2022) plantearon como objetivo la búsqueda de analizar el efecto conjunto del nucleopoliedrovirus y *Metarhizium rileyi* sobre larvas de *S. frugiperda* en maíz. Este estudio demostró que la utilización conjunta (combinada) de microorganismos aumentó la mortalidad larval y, al mismo tiempo, disminuyó el daño a las plantas teniendo en cuenta algunos tratamientos individuales. Además, observaron efectos aditivos cuando ambos agentes fueron administrados de forma conjunta. Por consiguiente, los autores concluyeron que ésta es una posible alternativa dentro de los programas de manejo integrado, dado que las combinaciones de ambos agentes entomopatógenos permitirían disminuir el daño originado por la plaga y, al mismo tiempo, disminuir la dependencia de los insecticidas sintéticos.

Una estrategia de manejo probada para el control de *S. frugiperda* en América Latina son los sistemas Push Pull. Para comprobar la eficacia de la misma para reducir la incidencia y severidad de *S. frugiperda* en el maíz se diseñaron diferentes asociaciones de cultivos para ser comparadas contra el monocultivo convencional (Guera et al., 2021). Las cuales presentaron, en general, menores niveles de infestación y daño foliar, además de producir respuestas productivas favorables en varias de las combinaciones evaluadas. Los análisis permitieron la diferenciación entre la incidencia de la plaga y la severidad del daño, donde ambas variables no necesariamente siguen el mismo patrón de respuesta ante las estrategias de manejo. Los autores concluyeron que dichos sistemas son herramientas agroecológicas eficaces para el manejo de *S. frugiperda*.

En el caso de las zonas tropicales húmedas en el Centro de África, se ha comprobado también la relación entre la infestación de *S. frugiperda*, el daño producido

y la respuesta productiva de maíz. Para determinar el efecto real de la plaga en los rendimientos, Agbodzavu et al. (2024) confrontaron parcelas con las prácticas de manejo y analizaron la incidencia, la densidad de larvas, los niveles de severidad y la respuesta productiva. A pesar de que los niveles de infestación se registraron en niveles altos, el daño no se tradujo en pérdidas de respuesta productiva equivalentes. Así, los tratamientos fitosanitarios revelaron una disminución de la densidad larval y de la severidad, pero el beneficio productivo estaba sujeto a la presión real de la plaga. Los autores afirmaron que la elevada incidencia no debe ser automáticamente interpretada como una alta pérdida económica y que las decisiones de control deben tener en cuenta conjuntamente la densidad, la severidad y la respuesta productiva.

Una de las investigaciones relacionadas a la influencia de nitrógeno y el uso de pesticidas con la presencia de *S. frugiperda* fue la llevada a cabo en el norte de Ghana. El objetivo de dicho estudio fue comprobar si diferentes dosis de nitrógeno, combinadas con determinadas condiciones de manejo fitosanitario, modifican el desempeño del maíz y la respuesta de *S. frugiperda* (Quandahor et al., 2023). Los resultados de este trabajo indicaron que una mayor disponibilidad de nitrógeno puede beneficiar determinadas variables productivas del cultivo, pero también aumentar determinados parámetros que tienen que ver con la presencia y el consumo de la plaga. Por otro lado, las parcelas de maíz donde se aplicó insecticida tuvieron menor nivel de infestación y daños. La conclusión del estudio fue que la fertilización y el manejo fitosanitario deberían evaluarse de forma conjunta, ya que el nitrógeno puede generar beneficios productivos y modificar la interacción planta-insecto de forma simultánea.

2.1.2. Antecedentes sobre el diseño experimental y modelamiento estadístico para el manejo y control de *S. frugiperda*

El Diseño de Bloques Completos al Azar (DBCA) es utilizado frecuentemente en experimentos de campo con maíz, pues permite controlar la variabilidad espacial del lote para mejorar la precisión en las comparaciones entre los tratamientos. En los estudios de fertilización nitrogenada, esta estructura experimental resulta pertinente porque la respuesta del cultivo puede variar debido a diferencias en la fertilidad del suelo, la humedad, la pendiente o microambientes dentro del área experimental. Por ejemplo, en el estudio realizado por Gheith et al. (2022), evaluaron niveles y momentos de aplicación de nitrógeno en el maíz utilizando un diseño factorial distribuido en bloques completamente al azar con tres repeticiones. Los autores consideraron, como factores

experimentales, diferentes niveles de nitrógeno y momentos de aplicación. Analizaron variables tales como la altura de la planta, el rendimiento y la eficiencia de uso del nitrógeno. Este antecedente muestra la utilidad de un DBCA factorial ya que permite evaluar de forma conjunta factores agronómicos relacionados con la nutrición nitrogenada del maíz.

Por otro lado, aspectos fitosanitarios fueron evaluados por Sileshi et al. (2022). Los autores analizaron la eficacia de insecticidas en la lucha contra *S. frugiperda*, en un contexto como el suroeste etíope en un ensayo de diseño de bloques completos al azar y tres repeticiones y los autores midieron infestación, densidad y nivel de daño y dieron cuenta de que los insecticidas evaluados disminuyeron la infestación de esta plaga en maíz. Este estudio resulta importante ya que pone de manifiesto que el DBCA es un diseño de ensayo que permite al investigador comparar tratamientos fitosanitarios, en una situación de campo, dado que la presión ejercida por la plaga puede presentar distintos niveles de variación espacial entre las parcelas.

En cuanto al modelamiento estadístico, en investigaciones recientes sobre *Spodoptera frugiperda*, se constata una evolución que va desde los análisis descriptivos basados en porcentajes hacia los métodos probabilísticos y modelos estadísticos que ajustan adecuadamente la naturaleza de las variables fitosanitarias. Así, Kinyungu et al. (2023), por ejemplo, evaluaron el efecto de los hongos endófitos en las plantas de maíz y en parámetros biológicos de *S. frugiperda* y en sus análisis los autores se basaron en modelos lineales generalizados con la distribución binomial y enlace logit para variables proporcionales y con regresión beta para el porcentaje de defoliación foliar. Este estudio demostró la idoneidad de modelar las respuestas proporcionales a partir de familias probabilísticas específicas y no a partir de transformaciones usuales de porcentajes.

En otra investigación realizada por Agbodzavu et al. (2024), se han utilizado también modelos mixtos generalizados para analizar la incidencia o el daño de *S. frugiperda* en condiciones de campo. En África Central, se llegó a evaluar el efecto de *S. frugiperda* sobre el rendimiento del maíz a partir de modelos mixtos lineales generalizados con distribución binomial y enlace logit para el análisis de la incidencia del daño entre parcelas tratadas y no tratadas. De este modo se logró incluir la naturaleza binaria o proporcional de la respuesta, y, simultáneamente, considerar la estructura experimental del estudio. Igualmente, el estudio desarrollado en los sistemas de pequeños productores de Malawi y Zambia analizó *S. frugiperda* mediante el uso de modelos

binomiales, asumiendo que el porcentaje de plantas infestadas deriva de los números de planta infestada y no infestada.

La severidad y el daño foliar también han sido modelados con este tipo de distribuciones pertinentes a datos proporcionales (Guera et al., 2021). En este trabajo que analizan el sistema push pull para el control de *S. frugiperda* en el maíz, las variables de idoneidad y severidad, que no cumplían los supuestos de normalidad, fueron analizadas con modelos lineales mixtos generalizados con enlace logit y distribución beta, que es la recomendada para proporciones o porcentajes. Este tipo de análisis es importante en trabajos fitosanitarios ya que la severidad no es un conteo en sí misma, sino un índice de daño que se puede expresar con una escala proporcional entre 0 y 1.

Aunque existen varios estudios relacionados al manejo de *S. frugiperda*, los antecedentes más recientes revelan que la mayoría de los estudios separan el tratamiento de la fertilización nitrogenada o el manejo fitosanitario de *S. frugiperda*. Así, por ejemplo, existen estudios que evalúan dosis de nitrógeno sobre crecimiento, rendimiento y eficiencia en el uso del nutriente y otras investigaciones que abordan estrategias de control químico o biológico de la plaga. Sin embargo, son escasos los trabajos actualizados que emplean dosis de fertilización nitrogenada y control fitosanitario dentro de un mismo diseño factorial para modelar la incidencia, la severidad, el crecimiento y el rendimiento del maíz. Esta falta de información resalta la importancia del presente estudio bajo las condiciones locales.

2.2. Marco teórico

2.2.1. El cultivo de maíz (*Zea mays* L.)

Importancia económica y social del maíz en el mundo, Ecuador y la provincia de Los Ríos

El maíz (*Zea mays* L.), se consideró que se originó en el centro de México hace aproximadamente 9.000 años a partir de una gramínea silvestre llamada teosinte. El proceso de domesticación implicó una selección intensa mediada por el ser humano, transformando al teosinte en el cultivo altamente productivo que conocemos hoy en día. Esta transformación tomó gran parte del siglo pasado para identificar al teosinte como el verdadero ancestro del maíz moderno (Pandita et al., 2023).

El maíz es uno de los cereales de mayor relevancia a nivel mundial y ocupa uno de los lugares centrales en la seguridad alimentaria, en especial para las regiones de América Latina y África, pues constituye la base de la dieta alimentaria de estas poblaciones y una fuente principal de ingresos económicos. Según Sharma et al. (2024), alrededor de 196 millones de hectáreas del mundo se encuentran destinadas a la siembra del cultivo de maíz, con una producción de alrededor de 1.100 millones de toneladas. En Ecuador, este cultivo también es de gran importancia no solo en términos de producción, sino también por su papel sociocultural y económico fundamental en provincias como Los Ríos, Manabí y Guayas, donde los pequeños y medianos agricultores dependen directamente de la comercialización de este cultivo (Vélez et al., 2021).

La evidencia arqueológica muestra que el maíz (*Zea mays* L.) ha sido un alimento básico en el Ecuador durante miles de años, con registros de cultivo temprano que datan de entre 6200 y 6600 años cal. A.P. en la región andina (Athens et al., 2016). El maíz desempeña un papel significativo en la agricultura, la seguridad alimentaria y el patrimonio cultural del Ecuador. Esta especie vegetal está profundamente arraigada en las prácticas culturales de las comunidades indígenas, donde preparaciones tradicionales como la chicha de maíz son consideradas parte del patrimonio (Utrera-Velázquez y Jiménez-Jerez, 2021).

En Ecuador, la superficie sembrada con cultivos transitorios para el año 2024 fue de 911 064 hectáreas, siendo el maíz uno de los cultivos más relevantes. Según el Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC), el maíz suave seco representa el 5,7% del total sembrado, mientras que, el maíz duro seco ocupa una participación significativamente mayor, con el 30,8% (INEC, 2025). En la región Sierra, predominan las variedades de libre polinización de grano suave o harinoso, las cuales presentan un rendimiento promedio relativamente bajo de apenas 0,82 t ha⁻¹. En contraste, en la región Costa y en la Amazonía se cultiva principalmente maíz amarillo duro, mayormente en forma de híbridos, cuyo rendimiento promedio asciende a 4,64 t ha⁻¹ (Zambrano-Mendoza y Caviedes, 2022).

El maíz duro se cultiva en algunas zonas del país hasta dos ciclos por año, siendo las provincias de Los Ríos, Manabí y Guayas las que presentan mayor producción. Entre ellas, la provincia de Los Ríos produce 43,8% de la producción nacional, Manabí el 30,7% y Guayas el 12,7% (INEC, 2025). Esta alta producción de la provincia de Los Ríos

la convierte en un eje estratégico para el desarrollo agrícola del país y la producción que se estima para la población.

En la provincia de Los Ríos, el maíz duro se comercializa a través de los silos almacenamiento locales, donde los silos compran la producción según los precios que marca el mercado. Esta actividad agrícola empresarial resulta ser de gran relevancia para el país dado que constituye un importante trabajo e ingresos (Naranjo et al., 2024).

Dentro de esta provincia donde se agrupan sus cantones de Buena Fe, Valencia, Mocache y Quevedo, tiene un alto potencial productivo (Guillín et al., 2020; Naranjo et al., 2024), no solo en el área cultivada y en el rendimiento, sino que también en un notable dinamismo rural, donde el cultivo de maíz, por ejemplo, constituye una de las formas de ingresos, de empleo y de mantenimiento de las familias agricultoras, manteniendo así su importancia en lo que a seguridad alimentaria y a desarrollo económico local se refiere.

Requerimientos agroecológicos del cultivo

El maíz es un cultivo sumamente versátil que puede establecerse bajo diversas condiciones agroclimáticas, desde regiones tropicales hasta zonas templadas, e incluso a elevaciones cercanas a los 3.800 metros sobre el nivel del mar. Su éxito productivo depende de factores agroecológicos clave como el clima, el tipo de suelo, el riego, la fertilización y las prácticas de manejo agrícola (Sharma et al., 2024).

Desde el punto de vista climático, estas condiciones son las óptimas para el desarrollo de maíz donde se dan alta radiación solar y temperaturas moderadas, pero sobre todo en lugares donde hay estaciones de crecimiento bien definidas. Aunque es una especie que se desarrolla muy bien en muchos ambientes, el rendimiento máximo se manifiesta en ecosistemas donde el ciclo de cultivos está delimitado por el clima (Sharma et al., 2024).

En lo referente al suelo, el maíz requiere suelos fértiles, ricos en materia orgánica y en nutrientes minerales. No obstante, presenta un gran rango de adaptación a algunas condiciones edáficas, siendo el mayor potencial productivo el que se consigue en suelos con buena capacidad de drenaje, con un perfil nutricional equilibrado y con unas condiciones físicas adecuadas (M. Jiang et al., 2024).

Los requerimientos hídricos son otro aspecto fundamental. El cultivo demanda grandes cantidades de agua, sobre todo en periodos críticos como la emisión de estigmas (floración femenina) y la fase de estado lechoso del grano (inicios del llenado). El déficit

hídrico en estos periodos puede reducir considerablemente el rendimiento y la calidad de la producción. Se estima que el maíz necesita entre 500-800 mm de agua durante el ciclo, dependiendo de las condiciones climáticas y los tipos de suelo (Ndegwa et al., 2022).

La fertilización del cultivo del maíz es un requisito muy importante porque sus requerimientos de nutrientes son muy elevados, sobre todo nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K). Una buena gestión de la fertilización puede llegar a conseguir un alto rendimiento, pero también contribuye al mantenimiento de la salud del suelo (N. Wang et al., 2024).

Para lograr una aplicación eficiente se recomienda seleccionar la fuente correcta, aplicarla en el momento oportuno, en el sitio adecuado y mediante el método apropiado. Además, una fertilización balanceada, complementada con la aplicación de micronutrientes en las etapas críticas del desarrollo del cultivo, resulta clave para optimizar la productividad y garantizar la sostenibilidad del sistema agrícola (Sharma et al., 2024).

Entre estos factores, la nutrición nitrogenada constituye uno de los componentes de mayor interés debido a su influencia sobre el crecimiento del cultivo y su posible relación con la incidencia de plagas.

Etapas fenológicas del maíz

A partir de la siembra, el maíz presenta diferentes fases fenológicas hasta alcanzar la madurez, cada una de ellas caracterizadas por distintos procesos de crecimiento y desarrollo de la planta. Para llevar a cabo un manejo adecuado del cultivo y optimizar su rendimiento, es necesario la comprensión de estas fases.

Emergencia (VE)

Esta etapa corresponde a la aparición de la plántula sobre la superficie del suelo. Factores ambientales como la temperatura y la humedad del suelo influyen de manera decisiva en el momento de la emergencia (Albarenque et al., 2023).

Etapas vegetativas (V1 a Vn)

V1 a V5: Corresponden a las primeras fases vegetativas que permite que la planta inicie el desarrollo de sus primeras hojas. Durante estas primeras fases, la planta requiere de un adecuado aporte de nutrientes (principalmente N, K, Ca, B, Zn, Fe y Mn) (Ferreira et al., 2024).

V6 a Vn: Son las fases vegetativas posteriores. En esta fase la planta incrementa la altura y el área foliar, la fase vegetativa ocho (V8) es la más importante porque da paso a la etapa de desarrollo reproductivo (Ferreira et al., 2024).

Floración masculina o espigamiento (VT)

Ocurre cuando la espiga (flor masculina) es completamente visible. Esta fase es muy sensible a factores de estrés ambiental, como el déficit hídrico, que puede afectar de manera significativa el rendimiento (Sáez-Cigarruista et al., 2024; X. Wang et al., 2023). En esta etapa continúa la acumulación de nutrientes, principalmente P, Mg, S y Cu (Ferreira et al., 2024).

Floración femenina o emisión de estigmas (R1)

La emergencia de los estigmas (flores femeninas) marca el inicio de la fase reproductiva; etapa de la polinización y desarrollo de los granos, donde el agua y los nutrientes cumplen un papel importante en su correcta formación (Balaout et al., 2025; Ferreira et al., 2024; Sáez-Cigarruista et al., 2024;).

Llenado de grano (R2 a R5)

R2 (Ampolla): Los granos son blancos y presentan forma de ampolla.

R3 (Lechoso): Los granos contienen un fluido lechoso.

R4 (Masa blanda): Los granos presentan una consistencia pastosa.

R5 (Dentado): Los granos comienzan a mostrar una hendidura en la parte superior.

Durante estas etapas ocurre una redistribución importante de nutrientes desde las partes vegetativas hacia los granos (Balaout et al., 2025; Ferreira et al., 2024).

Madurez fisiológica (R6)

Etapa final en la que los granos alcanzan su máximo peso seco y se forma la llamada “capa negra” en la base del grano, lo que indica la madurez. En este punto, el cultivo es menos sensible a los factores de estrés ambiental en comparación con las fases anteriores (Balaout et al., 2025; Ferreira et al., 2024).

Factores que afectan el rendimiento del maíz

El rendimiento del maíz depende de varios factores que pueden resumirse en tres grupos: condiciones ambientales, factores genéticos y prácticas agronómicas. Estos factores se interrelacionan y determinan en su conjunto todo el rendimiento del cultivo.

Condiciones Ambientales

La existencia de agua en los ciclos de crecimiento es uno de los factores ambientales más determinantes en el rendimiento del maíz, dado que los sistemas en los que se hace dependencia de la precipitación ambiental son más sensibles a ella. Con todo, más que por un umbral de lluvia, es la distribución temporal del agua durante momentos considerados críticos, como por ejemplo la floración o la fase de llenado de grano, lo que resulta determinante. El estrés hídrico en momentos críticos puede afectar fotosíntesis, acumulación de biomasa, número de granos y peso de grano de acuerdo con la cantidad de agua disponible, mermando así el rendimiento del cultivo (Deribe, 2024; Osman et al., 2026; Vadez et al., 2024).

El clima y temperatura son otros aspectos importantes. Las temperaturas elevadas no solo disminuyen el rendimiento potencial del cultivo, sino que también aumentan la incidencia de plagas y enfermedades (Mthethwa et al., 2022). Los efectos del cambio climático, como el aumento de las temperaturas, los episodios de calor extremo o la modificación de las precipitaciones, pueden provocar un descenso de la productividad del maíz, en especial en sistemas agrícolas dependientes de la lluvia o en regiones tropicales. Estudios recientes apuntan que el aumento de las temperaturas produce un efecto negativo significativo sobre el rendimiento del maíz, sobre todo en las etapas reproductivas, y que para el futuro se esperan pérdidas debidas principalmente al aumento de la temperatura y la variabilidad climática (Hu et al., 2024; Leng, 2025; Niu et al., 2024).

En términos de las características del suelo, esto se refiere principalmente a la disponibilidad de nutrientes como el nitrógeno, fósforo y potasio. Un mayor nivel de contenido de nitrógeno del suelo normalmente suele estar relacionado en forma positiva con el rendimiento (Sule et al., 2025). También la utilización de prácticas de labranza como la siembra directa (cero labranza) llega a favorecer la retención de humedad y con ello el rendimiento (Niu et al., 2024).

Factores Genéticos

La elección del híbrido, o variedad de maíz, también tiene influencia directa sobre el potencial de producción. Las mejoras genéticas logradas históricamente han incrementado los rendimientos a pesar de que su impacto relativo ha ido disminuyendo con el paso del tiempo (Yue et al., 2025). La resistencia genética a factores bióticos y

abióticos que puedan ser plagas, enfermedades, o sequía es fundamental al objeto de conseguir estabilidad en la producción (Singh et al., 2024; Tranel, 2024). La interacción genotipo - ambiente, también es uno de los aspectos que hay que tener en cuenta. Distintos cultivares de maíz reaccionan de manera diferente a las condiciones climáticas y a la gestión del nitrógeno, lo que obliga a realizar la selección de variedades en cada uno de los espacios geográficos y que se realicen de forma diferente (Djalovic et al., 2024).

Fertilización

Dentro del manejo agronómico, la fertilización balanceada resulta significativa para maximizar el rendimiento; se ha demostrado que la correcta aplicación de fertilizantes con dosis como 120 kg de N, 75 kg de P y 90 kg de K por hectárea, mejora sustancialmente el rendimiento. Aunque el exceso de fertilización puede ofrecer efectos negativos, lo que indica que las condiciones de manejo técnico son claves a la hora de manejar correctamente este cultivo (Xie et al., 2023; N. Wang et al., 2024).

2.2.2. Fertilización nitrogenada en el cultivo de maíz

Importancia de la fertilización nitrogenada en maíz

Entre los macronutrientes esenciales para el cultivo de maíz, el nitrógeno desempeña un papel determinante en el crecimiento vegetativo y en la interacción planta-insecto (Gaikpa et al., 2022).

El nitrógeno (N) es fundamental para el crecimiento vegetativo y la síntesis de proteínas. El cultivo de maíz demanda un alto aporte de nitrógeno, generalmente suministrado en forma de fertilizantes como nitrato de amonio calcáreo o urea, con el fin de sostener la elevada producción de biomasa característica de este cereal (Rout et al., 2022).

Por otro lado, la nutrición del cultivo de maíz, en particular la fertilización nitrogenada, influye directamente sobre la productividad y el efecto de los ataques de las plagas (Bakry et al., 2023). El nitrógeno es un elemento fundamental para la formación de proteínas, clorofila y metabolitos implicados en el crecimiento y en la fotosíntesis (L. Wang et al., 2024). No obstante, las dosis y formas de aplicación son determinantes en la dinámica planta-insecto.

Importancia del nitrógeno en el crecimiento y desarrollo de las plantas

El nitrógeno (N) es un macronutriente crítico y esencial para el crecimiento y desarrollo de las plantas, ya que desempeña un papel central en diversos procesos fisiológicos y bioquímicos. Forma parte de moléculas fundamentales como aminoácidos, proteínas, ácidos nucleicos, clorofila, coenzimas, vitaminas y hormonas, todas ellas necesarias para la estructura y el funcionamiento adecuado de las plantas (L. Wang et al., 2024; Li et al., 2025).

Las plantas toman el nitrógeno principalmente en forma de amonio (NH_4^+) y nitrato (NO_3^-), estando su disponibilidad condicionada por la humedad de suelo. El nitrato es, además, un importante nutriente, que, como molécula de señalización, regula la expresión de genes, el metabolismo, la arquitectura radical y el crecimiento de las plantas. En maíz, los procesos de absorción y transporte de NO_3^- y NH_4^+ son lo que determina la eficiencia en el uso del nitrógeno y la productividad del cultivo (Akhtar et al., 2024; Delgado et al., 2024; Li et al., 2025). La asimilación del nitrógeno requiere la reducción del nitrato (NO_3^-) hasta el nitrito (NO_2^-) mediante la nitrato reductasa y, luego, del nitrito al amonio (NH_4^+) mediante la nitrito reductasa. El amonio producido es asimilado en compuestos orgánicos bien a través del ciclo GS/GOGAT en donde aumenta otro tipo de aminoácidos como glutamina y glutamato, esenciales para el crecimiento y la eficiencia de uso del nitrógeno en las plantas (Liu et al., 2022; Li et al., 2025).

La eficiencia de absorción y asimilación de nutrientes depende tanto de factores ambientales como de mecanismos internos de señalización, su entendimiento es esencial para aumentar la eficiencia del nitrógeno, lo cual impacta positivamente en el crecimiento y rendimiento del cultivo (L. Wang et al., 2024).

La deficiencia de nitrógeno puede provocar una disminución de la clorofila, fotosíntesis deficiente, crecimiento reducido, senescencia prematura, y cambios en la expresión genética y en las rutas metabólicas. Además, afecta negativamente la arquitectura de las raíces, disminuye la biomasa total y modifica características fisiológicas y bioquímicas clave, en un intento por reciclar internamente el nitrógeno disponible y adaptarse a condiciones de baja disponibilidad del nutriente en el entorno (Wen et al., 2020; L. Wang et al., 2024).

Fuentes y formas de aplicación de nitrógeno en el maíz

El uso eficiente del nitrógeno en el cultivo de maíz es fundamental para maximizar el rendimiento, mejorar la eficiencia agronómica y reducir los efectos negativos sobre el medio ambiente. Dado el importante papel del nitrógeno en el crecimiento y desarrollo de la planta, la elección correcta de la fuente y modo de aplicación del nitrógeno son elementos esenciales de los planes de fertilización.

La urea, una de las fuentes de nitrógeno más utilizadas, se caracteriza por su elevada concentración de nitrógeno y su amplia disponibilidad comercial. Sin embargo, su eficiencia se ve muy condicionada a su manejo, ya que puede sufrir pérdidas importantes por volatilización si no es incorporada al suelo o aplicada bajo condiciones ambientales poco adecuadas (Mergener et al., 2022). Por ello, más que una comparación de fuentes de nitrógeno hay que resaltar que la eficiencia de la fertilización dependería, ante todo, de la sincronización entre la oferta del nutriente y la demanda fisiológica del cultivo.

En el maíz, la aplicación fraccionada del nitrógeno se plantea como una estrategia agronómica altamente recomendable, de forma que se reparte la dosis total aportada por el fertilizante en distintas etapas fenológicas, y así incrementar la eficacia en el uso del nutriente. Esta práctica evita pérdidas y además mantiene una mayor disponibilidad de nitrógeno cuando la planta está en las fases de crecimiento activo, que es donde la planta tiene una mayor demanda como por ejemplo en el desarrollo de biomasa, el área foliar y la formación de estructuras reproductivas (Li et al., 2023).

En este sentido, el correcto manejo de la fertilización nitrogenada no sólo puede contribuir al rendimiento del cultivo, sino que puede influir en la calidad nutricional de los tejidos vegetales y, por ende, en la interacción planta-insecto medida en esta investigación.

Consecuencias del exceso o deficiencia de nitrógeno

El nitrógeno (N) es un elemento esencial para el crecimiento del maíz, ya que ejerce un cierto efecto en el rendimiento, en la calidad y en la salud de la planta. Tanto el exceso como la deficiencia de este elemento pueden generar consecuencias importantes en la producción.

En condiciones de deficiencia de nitrógeno, el cultivo experimenta una reducción en la síntesis de clorofila, lo que afecta la fotosíntesis y, en consecuencia, limita el

crecimiento de la planta. Esto se refleja en una menor área foliar, disminución del peso seco de las hojas y una reducción considerable en el rendimiento de grano (Omar et al., 2022; Y. Wang et al., 2022).

Estudios en híbridos de maíz bajo condiciones de deficiencia de nitrógeno evidencian reducciones notables en el área y peso seco de las hojas (Y. Wang et al., 2022). Igualmente, la carencia de nitrógeno puede afectar el crecimiento, la fotosíntesis, el desarrollo radicular y la eficiencia del uso de nutrientes en maíz. Lo que puede limitar la capacidad de la planta para absorber y utilizar otros componentes esenciales, perjudicando su estado fisiológico y su rendimiento. La literatura actual indica que la respuesta en la planta de maíz depende de mecanismos integrados de absorción, asimilación y eliminación de N, así como de la interacción del N con P, K, suelo, medio ambiente y manejo de la nutrición (Zingore et al., 2022; Xie et al., 2023; Li et al., 2025).

A nivel fisiológico, las plantas de maíz sometidas a esta limitación muestran cambios en la arquitectura radicular, como un mayor cociente raíz/tallo y raíces más largas, con el fin de mejorar la absorción de nitrógeno (Sun et al., 2021). De igual manera, análisis proteómicos revelan que bajo deficiencia de nitrógeno aumenta la abundancia de proteínas relacionadas con la asimilación del nutriente y con respuestas al estrés (Y. Wang et al., 2022).

Por otro lado, el exceso de nitrógeno también genera efectos adversos. Una aplicación excesiva puede provocar lixiviación de nitratos, lo que contamina los mantos freáticos y ocasiona problemas de contaminación ambiental (Villwock et al., 2025). Además, unas concentraciones elevadas de nitrógeno en el suelo podrían favorecer la acumulación de nitratos en el sistema suelo-planta, cuando la oferta del nutriente supere a la demanda de la planta cultivada. En el caso del maíz, el nitrato absorbido que no se usa para formar el grano puede acumularse en el tallo, y se utiliza como criterio para considerar que existe suficiente o un exceso de N. Aunque este exceso no siempre produce toxicidad visible, sí puede reducir la eficiencia de uso del nitrógeno y hacer aumentar el riesgo de pérdidas por lixiviación (Laurent et al., 2023).

El abuso de fertilización nitrogenada también contribuye a la degradación del suelo, alterando el balance de nutrientes y reduciendo el contenido de carbono orgánico (Xu y Chang, 2022).

Fertilización nitrogenada en sistemas de producción de maíz en Los Ríos

La fertilización nitrogenada es un factor determinante en la producción de maíz. Existen varios estudios que han demostrado que la fertilización nitrogenada aumenta notablemente el rendimiento del maíz. En Ecuador, se ha descrito que por cada 1 kg de N aplicado por hectárea existe un incremento en el rendimiento de 30 kg de grano de maíz por hectárea. Con estos resultados se demuestra que existe una alta correlación positiva entre la aplicación de nitrógeno y el rendimiento del cultivo de maíz y que la deficiencia de este nutriente puede limitar la producción de alimentos y restringir la rentabilidad en los cultivos (Alarcón et al., 2016). Por otro lado, para la zona de Patricia Pilar, también se ha evaluado la eficiencia de la fertilización nitrogenada y la variación en la absorción de macronutrientes por efecto de cuatro dosis de nitrógeno en un híbrido de maíz. Los resultados mostraron que la aplicación de 132 kg ha⁻¹ de N incrementó la absorción de N, P, K, Mg y S; no así para Ca. No fueron evaluados parámetros en la sanidad vegetal del cultivo (Remache et al., 2017).

Un aspecto interesante mostrado en el trabajo de Hasang-Moran et al. (2021), son los criterios para el uso de nitrógeno en la provincia de los Ríos; 7,3 % de los productores encuestados realizan la fertilización en base a un criterio técnico, análisis de suelo y foliar, 39,3 % realizan aplicaciones calendario (conocimiento empírico), 28 % según el presupuesto disponible, 61,1 % de los productores utilizan cantidades superiores a 200 kg/ha de nitrógeno, dejando solo al 4,4% de los productores con aplicaciones por debajo de 100 kg/ha, 23,8% en nivel de 150 a 200 kg/ha, que es lo recomendado para híbridos de alto rendimiento.

Estos resultados confirman el desequilibrio que existe en la aplicación de nitrógeno en los suelos usados para la producción de maíz en la región.

Importancia de *S. frugiperda* en el cultivo de maíz

Actualmente, la productividad del maíz enfrenta grandes desafíos, entre los que destacan la presencia de insectos plaga. El gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*) es considerado una de las plagas más agresivas del cultivo, se ha convertido en un problema mundial desde su identificación fuera del continente americano en 2016, extendiéndose rápidamente hacia África y Asia (Hruska, 2024). Este lepidóptero noctuido posee una alta capacidad reproductiva, ciclos de vida cortos y gran capacidad de dispersión, lo cual ha facilitado su establecimiento en más de 100 países (Marri et al., 2023). Los estudios de Abro et al. (2021) estiman que las pérdidas económicas atribuidas a *S. frugiperda*

alcanzaron los 200 millones de dólares solo en África subsahariana. Las pérdidas en rendimiento en América Latina oscilan entre el 17 % y el 58 %, atendiendo a la severidad del ataque, la etapa fenológica de la planta en la que ocurre el daño y las estrategias de control implementadas (Bakry y Abdel-Baky, 2024; Yaméogo et al., 2024).

2.2.3. *Spodoptera frugiperda* (gusano cogollero) en el cultivo de maíz

Clasificación taxonómica y morfología

La clasificación del gusano cogollero según Beccaloni et al. (2025) es:

Reino: Animalia

Filo: Arthropoda

Clase: Insecta

Orden: Lepidoptera

Familia: Noctuidae

Género: *Spodoptera*

Especie: *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith, 1797)

Ciclo biológico y hábitos alimenticios

El ciclo biológico de *Spodoptera frugiperda* se compone de cuatro etapas: huevo, larva, pupa y adulto cada una con sus características propias que determinan la dinámica poblacional en el daño que hace a los cultivos.

En lo que respecta a la etapa del huevo, podemos indicar que el periodo de incubación está aproximadamente en torno a 2–3 días, dependiendo de las condiciones del medio ambiente (Pathak et al., 2024; Reflinaldon et al., 2024). Posteriormente, se presenta la fase larval, que se considera como la más dañina para el cultivo, ya que los individuos pueden alimentarse de forma activa aferrándose a las hojas y estructuras de la planta. Esta fase consiste en seis estadios larvales, cuya duración total varía entre 13 y 22 días (Pathak et al., 2024). Del mismo modo, podría indicarse que el tiempo de duración de cada estadio es variable: el primer instar puede llegar a durar de 1 a 3 días, mientras que el sexto estadio se extiende entre 4 y 6 días (Reflinaldon et al., 2024). Al llegar al tercer instar, las larvas pueden llegar a presentar comportamiento de canibalismo, lo cual tiene implicaciones sobre la dinámica de la población (Zhou et al., 2025).

Una vez culminada la etapa de larva la plaga entra en la fase pupal, la cual transcurre en el suelo y tiene una duración aproximada de 7 a 11 días (Pathak et al., 2024; Reflinaldon et al., 2024). Durante este periodo ocurre la metamorfosis hacia la fase adulta.

La etapa adulta se caracteriza por una longevidad variable: los machos viven entre 2 y 11 días, mientras que las hembras pueden sobrevivir de 6 a 15 días. En las hembras, el ciclo reproductivo comprende un período de preoviposición de 3 a 9 días, un período de oviposición de 1 a 4 días y un período de post-oviposición de 1 a 2 días. La fecundidad es elevada, alcanzando hasta 182,78 huevos por hembra, lo que explica el alto potencial reproductivo y la capacidad de dispersión de esta especie (Reflinaldon et al., 2024).

El maíz constituye el principal hospedero de *S. frugiperda*, ya que en este cultivo la plaga completa su ciclo de vida con mayor eficiencia. No obstante, también puede desarrollarse en otros cultivos de importancia agrícola como sorgo, trigo, arroz y diversas especies de gramíneas (Altaf et al., 2022; P. Wang et al., 2022; Gong et al., 2023). Además de los hospederos primarios, existen plantas alternativas que permiten el desarrollo de la plaga, entre ellas *Pennisetum purpureum*, *Paspalum conjugatum*, *Cucurbita pepo* y *Ricinus communis*. Sin embargo, en estos hospederos el ciclo de vida y los atributos biológicos de la especie pueden variar, mostrando en general menor eficiencia reproductiva (Palomares-Pérez et al., 2023; Putra y Mahdiana, 2024).

La eficiencia alimenticia de *S. frugiperda* es mayor cuando se alimenta de maíz, dieta que le permite alcanzar un ciclo de vida más corto y una fecundidad más elevada (Altaf et al., 2022; Ginting et al., 2021; Palomares-Pérez et al., 2023; Putra y Mahdiana, 2024; P. Wang et al., 2022; Xu et al., 2023). Aunque hojas de caña de azúcar o soya también pueden sostener su desarrollo, se ha demostrado que con estas dietas el ciclo se prolonga y disminuye el éxito reproductivo.

Daños ocasionados al cultivo de maíz

Las larvas del gusano cogollero se alimentan de las hojas de maíz, produciendo un daño visible que puede cuantificarse mediante el área bajo la curva de progreso de severidad. Diversos estudios han demostrado que las razas nativas de maíz suelen presentar menores niveles de daño foliar en comparación con los cultivares comerciales. Entre los factores que influyen en la magnitud del daño se destacan la dureza foliar y la densidad de tricomas, ya que hojas más duras tienden a sufrir menos daño (Ruiz-Sánchez et al., 2023; Soujanya et al., 2022).

Las tasas de infestación pueden ser elevadas. En ciertas áreas se han reportado ataques de hasta el 50,27 % de las plantas de maíz, considerándose de esta manera la agresividad de dicha plaga. El daño no se restringe a las hojas, sino que llega a afectar directamente a las mazorcas, con pérdidas de rendimiento del orden del 22% (Yaméogo et al., 2024).

El efecto sobre el crecimiento y el rendimiento también es importante. Las infestaciones de *S. frugiperda* afectan las variables vegetativas tales como la altura de planta, el diámetro del tallo, el número de hojas verdes por planta y en definitiva, las plantas infestadas presentan reducciones del rendimiento de grano, de la producción de rastrojo y del rendimiento biológico total frente a las plantas tratadas con productos de control (Bakry y Abdel-Baky, 2024).

Dado que la mayor parte del daño ocurre durante los estadios vegetativos tempranos, resulta relevante evaluar el efecto de prácticas agronómicas como la fertilización nitrogenada y el manejo fitosanitario durante estas fases del cultivo.

Estrategias de manejo de *S. frugiperda*

Control químico

El manejo eficiente de *S. frugiperda* es fundamental debido a su resistencia a diferentes grupos de insecticidas e inclusive a cultivos transgénicos, por lo que es necesario considerar diferentes estrategias de manejo. Los insecticidas representan una de las herramientas más utilizadas, entre los cuales destacan el clorantraniliprol, benzoato de emamectina, espinetoram y cipermetrina. El clorantraniliprol, aplicado en el sistema de riego por goteo, exhibe un control eficiente y durable (Li et al., 2021), el benzoato de emamectina también ha mostrado una alta efectividad contra la plaga (Yao et al., 2023). El manejo clásico de *S. frugiperda* se basa en la aplicación de insecticidas químicos sintéticos de amplio espectro, en especial de los grupos químicos que pertenecientes a los piretroides y organofosforados (Ngegba et al., 2025).

Control biológico

Dentro de las estrategias alternativas, el control biológico ha mostrado resultados promisorios. Diversos estudios han documentado la efectividad de enemigos naturales como los parasitoides *Trichogramma pretiosum*, *Telenomus remus*. El empleo del parasitoide de huevos *T. remus* (Colmenarez et al., 2022), ampliamente utilizado por su elevada efectividad, así como *Trichogramma* spp., *Chelonus insularis* y hongos

entomopatógenos como *Metarhizium anisopliae* y *Beauveria bassiana* (Abbas et al., 2022; Safder et al., 2024).

El uso de biopesticidas a base de *Bacillus thuringiensis* (Bt), que reducen las poblaciones larvales en condiciones de campo (Jaraleño-Teniente et al., 2021; do Nascimento et al., 2022). De igual manera, el uso de microorganismos entomopatógenos, entre ellos el nucleopoliedrovirus (NPV) y *Metarhizium rileyi*, ha mostrado resultados prometedores, especialmente cuando se aplican en combinación, dado que producen efectos aditivos que aumentan la mortalidad larval y reducen el daño en los cultivos (Gómez-Valderrama et al., 2022).

Control cultural

Las medidas de control cultural también cumplen un papel importante en la reducción de las poblaciones de plagas, por ejemplo, la asociación y rotación de cultivos, así como la siembra después de lluvias severas, contribuyen a la reducción de la proliferación de *S. frugiperda* y a aumentar la diversidad entre los artrópodos benéficos (Safder et al., 2024).

Manejo integrado de plagas

Ante los graves problemas de resistencia desarrollados por *S. frugiperda*, el desequilibrio ambiental y los riesgos para la salud humana derivados del uso inadecuado de pesticidas, la aplicación del manejo integrado de plagas se vuelve indispensable para favorecer la productividad y sostenibilidad de los agroecosistemas.

El Manejo Integrado de Plagas es la base de una estrategia que además de efectiva es sostenible porque usa la combinación de diferentes tácticas de manejo de plagas. Un claro ejemplo es la aplicación conjunta de nucleopoliedrovirus con dosis subletales de espinetoram, el cual demostró efectos sinérgicos al momento de aumentar la eficacia de control y reducir la dependencia de los plaguicidas químicos (Gómez-Valderrama et al., 2022; Pavan et al., 2024).

2.2.4. Interacción entre fertilización nitrogenada y la incidencia de plagas

Influencia de la nutrición vegetal en la resistencia/susceptibilidad a plagas

La nutrición de las plantas resulta ser una parte clave en la relación que existe entre la resistencia o la susceptibilidad de las plantas a las plagas. Es considerada una

relación compleja que depende del tipo de nutriente y de los niveles de nutrientes que se produzcan en la unidad de producción.

Altos niveles de nitrógeno pueden favorecer tasas más elevadas de infestación de plagas. Por ejemplo, en plantas de okra, se observó que el exceso de nitrógeno incrementó la biosíntesis de proteínas, aminoácidos libres y azúcares, lo que atrajo en mayor medida a las moscas blancas (Athar et al., 2011). De forma similar, un exceso de nitrógeno puede aumentar la severidad de infecciones causadas por parásitos obligados, aunque en el caso de parásitos facultativos puede disminuir su impacto (Dordas, 2009). En contraste, niveles bajos o moderados de nitrógeno contribuyen a mantener un equilibrio nutricional que favorece la resistencia de la planta, evitando un crecimiento excesivo que la haga más susceptible a los ataques.

En el caso del potasio tiende a disminuir la susceptibilidad de las plantas a las plagas hasta alcanzar un nivel óptimo (Saaïd et al., 2024). No obstante, más allá de este punto, no se observan incrementos adicionales en la resistencia. El papel del fósforo en la resistencia vegetal es bastante amplio, su efecto sobre la defensa vegetal depende del estado nutricional de la planta y de las interacciones entre las vías de señalización nutricional e inmunitaria (Chan et al., 2021).

Aunque diversos estudios han demostrado que la disponibilidad de nitrógeno puede modificar la susceptibilidad de los cultivos al ataque de insectos herbívoros, existe escasa evidencia experimental bajo condiciones tropicales de Ecuador que permita determinar cómo la fertilización nitrogenada interactúa con el manejo fitosanitario para modificar la incidencia y severidad de *S. frugiperda* en maíz.

Relación entre la fertilización nitrogenada, plagas y enemigos naturales

La fertilización con nitrógeno (N) tiene un efecto importante en las poblaciones de plagas y en las interacciones que tienen con los cultivos. Los efectos del nitrógeno pueden ser clasificados como directos e indirectos y están relacionados con el aumento de la densidad de plagas, la eficiencia que tienen los enemigos naturales y las prácticas de manejo de plagas.

Nitrógeno e insectos chupadores

Entre los efectos directos, se ha observado que la densidad poblacional de ciertas especies de insectos chupadores, tales como *Myzus persicae* (pulgón verde del durazno) y *Nilaparvata lugens* (saltahoja café) están relacionadas a la fertilización nitrogenada

(Quiroga-Murcia et al., 2025). De la misma manera, el interés sobre la relación entre la fertilización nitrogenada y la densidad del pulgón del durazno ha evidenciado que niveles intermedios de nitrógeno van acompañados de un aumento de la densidad de pulgones, mientras que dosis más altas de nitrógeno producen el efecto contrario (Zhu et al., 2020). Asimismo, el nitrógeno incrementa el tamaño de los huevos y la fecundidad de los saltahojas café. De forma análoga, aquellos niveles altos de nitrógeno en cultivos de tomate incrementan la susceptibilidad de los cultivos a plagas como el pulgón del algodón (*Aphis gossypii*) y la mosca blanca del algodón (*Bemisia tabaci*) (Wahsh et al., 2023). Además, la fertilización nitrogenada también puede favorecer el aumento de poblaciones de pulgones de los cereales en trigo (Yang et al., 2023).

Nitrógeno y *Spodoptera frugiperda*

Varios estudios indican que existe influencia de los niveles de nitrógeno con la presencia de *S. frugiperda*. Quandahor et al. (2023), demostraron que niveles elevados de nitrógeno incrementan el contenido foliar de aminoácidos libres, lo cual favorece la alimentación de larvas de *S. frugiperda* y prolonga su supervivencia.

En América Latina, varios estudios han explorado esta relación. Los ambientes ricos en nutrientes pueden aumentar el éxito reproductivo de las plagas. Por ejemplo, las hembras de *S. frugiperda* alimentadas con plantas hospedantes más nutritivas, como el maíz, presentaron un mejor desarrollo ovárico y depositaron más huevos en comparación con aquellas alimentadas con plantas menos preferidas. Esto implica que la fertilización excesiva, al mejorar la calidad de la planta, podría conducir a una mayor fecundidad en *S. frugiperda* (Zheng et al., 2022). W. Wang et al. (2022) mencionan que, en el maíz, los niveles altos de nitrógeno se correlacionan con un mayor consumo de área foliar por parte de las larvas y con una mayor incidencia de plagas.

Una mayor disponibilidad de nitrógeno puede modificar la calidad nutricional del tejido foliar del maíz, favoreciendo la concentración de azúcares solubles, aminoácidos y otros que incrementan el valor alimenticio de la planta huésped. Algunos trabajos recientes han evidenciado que el suministro de N logra incrementar el área foliar consumida y el desempeño larval de *S. frugiperda*, además de modificar las respuestas defensivas del maíz frente al herbívoro (Wang et al., 2022; Mason et al., 2022). Por el contrario, W. Wang et al. (2022) encontraron que aplicaciones moderadas estimulan defensas inducidas en la planta, reduciendo la tasa de alimentación de la plaga. Por otro lado, niveles más bajos de nitrógeno pueden conducir a una mayor resistencia en las

plantas, reduciendo su atractivo para las plagas. Por ejemplo, las plantas de tomate cultivadas con una menor suplementación de nitrógeno mostraron una mayor resistencia a la mosca blanca sin una disminución significativa en la producción de frutos (Ramachandran et al., 2020). Esto pone en evidencia que la fertilización nitrogenada no solo impacta en el rendimiento, sino también en la vulnerabilidad o resistencia del cultivo frente a insectos herbívoros.

La evidencia disponible indica que la fertilización nitrogenada puede modificar tanto el crecimiento del cultivo como la interacción entre la planta y *S. frugiperda*. No obstante, la respuesta de la plaga podría depender del manejo fitosanitario implementado, por lo que resulta necesario evaluar ambos factores de forma simultánea para comprender sus efectos individuales y su posible interacción bajo condiciones locales de producción.

Relación entre disponibilidad de nitrógeno y población de *Spodoptera frugiperda*

La disponibilidad de nitrógeno afecta significativamente a la dinámica poblacional de *S. frugiperda*, una de las plagas agrícolas más relevantes a nivel global. Las implicaciones del nitrógeno en la calidad de la planta, y por ende en el rendimiento del herbívoro, que además son más bien complejas por involucrar interacciones directas e indirectas en varios niveles tróficos.

En cuanto a los efectos directos sobre *S. frugiperda*, se ha demostrado que la deficiencia de nitrógeno en las plantas reduce la eficiencia fotosintética y disminuye el contenido de proteínas solubles, lo cual impacta de manera negativa en el crecimiento y desempeño de las larvas (Winter y Rostás, 2010). Por el contrario, el aumento en la fertilización nitrogenada mejora el crecimiento vegetal y su calidad nutricional, lo que se traduce en un mejor rendimiento del herbívoro (Bolt et al., 2021; Ren et al., 2013). No obstante, tasas intermedias de nitrógeno foliar suelen estar asociadas con las mayores tasas de crecimiento poblacional de los herbívoros, mientras que un exceso puede disminuir su desempeño debido a desbalances nutricionales (Zehnder y Hunter, 2009). Esto sugiere que existe un rango óptimo de concentración de nitrógeno que maximiza el crecimiento poblacional de *S. frugiperda*.

La disponibilidad de nitrógeno puede incidir indirectamente sobre la interacción del maíz y *S. frugiperda*, bien sea por el aporte de nutrientes al tejido foliar, o bien por la afectación de las defensas inducidas por la planta. En ausencia de herbivoría, el nitrógeno incrementa la biomasa y contenidos de azúcares solubles y aminoácidos, facilitando la alimentación larval. Sin embargo, después del ataque del herbívoro, una alta

disponibilidad de nitrógeno podría estar involucrada también en el fortalecimiento de ciertas respuestas defensivas inducidas, por lo que su efecto sobre *S. frugiperda* sería también dependiente del equilibrio entre calidad nutricional y defensa vegetal (W. Wang et al., 2022; Mason et al., 2022). Esto indica que el nitrógeno modula los patrones de defensa vegetal, influyendo en la dinámica poblacional de la plaga. Asimismo, la deficiencia de nitrógeno altera la emisión de compuestos orgánicos volátiles inducidos por herbívoros (VOCs), los cuales inciden en el comportamiento de parasitoides como *Cotesia marginiventris*, aunque los mecanismos de defensa indirecta de las plantas permanecen activos (Winter y Rostás, 2010).

Desde la perspectiva de las interacciones tritróficas, también hay implicaciones en el rendimiento de sus enemigos naturales. Por ejemplo, se ha comprobado que la eficacia de los parasitoides se reduce cuando las larvas de *S. frugiperda* se desarrollan alimentándose de plantas deficientes en nitrógeno (Winter y Rostás, 2010), lo cual refleja muy bien las implicaciones en cascada de este nutriente a lo largo de distintos niveles tróficos.

Por otro lado, los enemigos naturales omnívoros, es decir, que se alimentan de ambas categorías de alimentos (plantas y herbívoros), manifiestan unas respuestas positivas cuando se alimentan de plantas ricas en nitrógeno, lo que puede incentivar las tasas de depredación y, en consecuencia, estabilizar las poblaciones de herbívoros (Blubaugh, 2023).

Problemática del manejo nitrogenado y fitosanitario en el cultivo de maíz en Ecuador

La problemática en Ecuador es que la mayor parte de los agricultores aplican fertilizantes nitrogenados de manera empírica, sin considerar análisis de suelos ni criterios técnicos (Escudero et al., 2014). Esta situación ocasiona variabilidad en los resultados productivos, así como pérdidas económicas generadas por la sobrefertilización e inclusive causando impactos en el medioambiente. La pérdida de nitrógeno por lixiviación hacia aguas subterráneas ocasiona contaminación por nitratos (NO_3^-) en los cuerpos de agua superficiales, lo que supone un riesgo para la calidad del agua potable y, a su vez, contribuye a los procesos de eutrofización. La eutrofización lleva, a su vez, a un crecimiento desmesurado de algas, creando zonas muertas con deficiencia de oxígeno que lesiona la vida acuática y disminuye la biodiversidad (Hu et al., 2024).

Las fertilizaciones desequilibradas pueden llevar a un aumento de la vulnerabilidad de los cultivos a plagas, lo que puede perpetuarse en un circuito de dependencias mediante el uso de plaguicidas químicos. La aplicación inadecuada de plaguicidas y fertilizantes no solo conlleva mayores costos de producción, sino que también contribuye a la contaminación y a efectos negativos sobre la salud humana (Dhankhar y Kumar, 2023; Gaytancioğlu y Yılmaz, 2024; Hu et al., 2024).

Uno de los aspectos que se debe considerar para un control efectivo de plagas agrícolas es la correcta aplicación de prácticas de nutrición vegetal y fitosanitarias. La combinación de varios tipos de control, como el control biológico, los plaguicidas químicos y las prácticas culturales, puede reducir eficazmente las poblaciones de insectos, a la vez que se reduce el impacto en el medio ambiente (Kamath et al., 2024). Asimismo, la investigación sobre fertilización nitrogenada y el tipo de manejo fitosanitario de plagas tiene relación con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), específicamente con el ODS 2 (Hambre cero) y el ODS 12 (Producción y consumo responsables). Reducir el uso excesivo de plaguicidas mediante prácticas más eficientes y sustentadas en evidencia científica contribuye a la seguridad alimentaria, así como también a reducir el impacto ambiental.

Existe escasa información del conocimiento local en Ecuador respecto a la interacción entre la fertilización nitrogenada y el tipo de manejo fitosanitario de plagas aplicado en campo, a diferencia de lo que ocurre en otros países que presentan la plaga, en los cuales ya se han realizado estudios con métodos similares (Quandahor et al., 2023). En la provincia de Los Ríos, no se dispone de datos experimentales que permitan generar recomendaciones técnicas adaptadas a las condiciones agroclimáticas del cantón Mocache. La falta de información científica limita la capacidad de los agricultores para la toma de decisiones, persistiendo así las prácticas ineficientes y muy poco sostenibles. De esta forma, la presente investigación no solo llenará un vacío en el conocimiento, sino que también tendrá un impacto directo sobre la sostenibilidad de la producción agrícola local, logrando de esta manera la optimización del rendimiento del cultivo de maíz y disminuyendo el efecto de pérdidas asociadas a *S. frugiperda*.

En consecuencia, resulta pertinente evaluar simultáneamente ambos factores mediante un diseño experimental factorial que permita estimar tanto sus efectos individuales y la interacción entre ellos bajo las condiciones agroecológicas del cantón Mocache.

Modelo conceptual de la interacción entre fertilización nitrogenada y manejo fitosanitario

La fertilización nitrogenada constituye uno de los factores agronómicos que más influye sobre el crecimiento y la composición nutricional de las plantas de maíz. Un incremento en la disponibilidad de nitrógeno puede favorecer el desarrollo vegetativo del cultivo, pero también modificar la calidad nutricional de los tejidos vegetales, afectando la interacción entre la planta y los insectos herbívoros. En el caso de *Spodoptera frugiperda*, diversos estudios han demostrado que el contenido de nitrógeno de la planta hospedera puede influir sobre la preferencia alimenticia, supervivencia y desarrollo de las larvas. Por esta razón, la fertilización nitrogenada podría modificar los niveles de incidencia y daño ocasionados por la plaga.

Sin embargo, la magnitud de este efecto puede depender de las estrategias de manejo fitosanitario implementadas. La aplicación de insecticidas puede reducir la población de la plaga y limitar el impacto potencial asociado a incrementos en la disponibilidad de nitrógeno. En consecuencia, la respuesta fitosanitaria del cultivo puede estar determinada no solo por los efectos individuales de la fertilización nitrogenada y el manejo de la plaga, sino también por la interacción entre ambos factores.

Bajo este enfoque, se plantea que la fertilización nitrogenada y el manejo fitosanitario influyen sobre la incidencia y severidad de *S. frugiperda*, y que estos efectos pueden repercutir posteriormente sobre el crecimiento y rendimiento del cultivo de maíz.

2.2.5. Diseño experimental y análisis estadístico

Diseño de bloques completos al azar; fundamentos y aplicaciones

El Diseño de Bloques Completos al Azar (DBCA) es un diseño experimental ampliamente utilizado, orientado a controlar la variabilidad debida a factores extraños o no deseados, incrementando así la precisión y la potencia de los experimentos (Liu y Berger, 2006). Es un tipo de diseño versátil y puede ser aplicado en diferentes áreas, por ejemplo, en estudios agrícolas y ambientales, ensayos clínicos y preclínicos e investigación industrial y biológica.

El diseño basado en bloques al azar (DBCA) consiste en la estructura que permite controlar fuentes de variación no atribuibles a los tratamientos mediante la organización de las unidades experimentales en bloques homogéneos que incorporan todos los tratamientos, y que son asignados aleatoriamente con el objetivo de reducir el error

experimental y por ende, mejorar la precisión de las comparaciones (Darghan et al., 2021). También se aplica en la ciencia industrial y biológica, para la optimización de los procesos, controlando en esta de forma posible la variabilidad en función de las condiciones de estudio de investigación (Kokkilambigai y Pachamuthu, 2025).

Con la finalidad de controlar fuentes de variación no derivadas de tratamientos, el DBCA agrupa en bloques unidades experimentales consideradas relativamente homogéneas. En el DBCA, todos los tratamientos están presentes en cada bloque y se asignan aleatoriamente dentro de cada bloque. Con ello se disminuye el error experimental, se controla parte de la variabilidad espacial del terreno y se mejora la precisión de los efectos de tratamiento en ensayos agrícolas de campo (Darghan et al., 2021).

Aplicación de diseño de bloques completos al azar en ensayos de fertilización y manejo de plagas agrícolas.

El Diseño de Bloques Completos al Azar (DBCA) es una herramienta ampliamente utilizada en los ensayos de fertilización, ya que permite controlar parcialmente la variabilidad espacial del terreno ayudando a aumentar la precisión en la comparación de tratamientos, lo que reviste especial importancia en estudios de maíz, en los cuales el rendimiento y las variables de crecimiento pueden depender de gradientes de fertilidad, humedad y otras propiedades del suelo. Estudios recientes sostienen que el bloqueo es un componente que ayuda a reducir la dependencia espacial en experimentos agrícolas y que el DBCA es apto para la evaluación de los niveles de fertilización nitrogenada, del rendimiento y la eficiencia del uso de nitrógeno en maíz (Darghan et al., 2021; Gheith et al., 2022; Gu et al., 2023).

Diversos estudios que emplearon este diseño han demostrado la efectividad de la aplicación combinada de fertilizantes orgánicos e inorgánicos, como estiércol de corral, vermicompost y NPK, para mejorar el crecimiento de los cultivos, el rendimiento y la salud del suelo (Singh y Misal, 2022).

Estos hallazgos sugieren que el Diseño de Bloques Completos al Azar facilita la evaluación de los tratamientos de fertilización al minimizar parte de la variabilidad espacial del terreno. Dicha estructura experimental permite identificar los esquemas de fertilización que pueden aumentar la producción del maíz y preservar la calidad del suelo (más cuando se mezclan fuentes minerales o fuentes orgánicas de nutrientes) (Abrol et al., 2024; L. Wang et al., 2024).

El DBCA también incrementa las posibilidades de comparar tratamientos de fertilización entre prácticas dentro de un mismo experimento. La aplicación equilibrada de fertilizantes como la combinación de NPK + enmiendas orgánicas produce incrementos en los rendimientos de los cultivos y la absorción de nutrientes en comparación con el testigo (Singh y Misal, 2022). De esta manera, este diseño resulta de gran utilidad para establecer diferencias claras entre alternativas de manejo nutricional.

Los ensayos recientes en maíz, arroz y camote evidencian que el Diseño de Bloques Completos al Azar (DBCA) permite comparar tratamientos de fertilización en campo y elaborar criterios para seleccionar una dosis agronómica y económicamente aceptable, que han dado lugar a combinaciones de nutrientes que logran el rendimiento y la rentabilidad, así como la eficiencia en el manejo y la nutrición, llegándose a la definición de que el DBCA contribuye a definir la estrategia de fertilización adecuada a las condiciones de producción de las localidades en las que se ha ensayado (; Dawit y Habte, 2023; Loha et al., 2023; Pokhrel et al., 2024).

Los estudios construidos bajo el enfoque DBCA también han reportado información sobre los beneficios económicos como de las prácticas de fertilización, por ejemplo, algunos de estos estudios relevantes han abordado el retorno económico de prácticas como la fertirrigación y el uso de enmiendas orgánicas proporcionando evidencias de rentabilidad, eficiencia y sostenibilidad (Apriyani et al., 2021).

Técnicas de análisis estadístico para estudios factoriales

Los estudios factoriales se caracterizan por ser un método experimental robusto que permite evaluar de forma simultánea el efecto de varios factores. Para el análisis de los datos generados en este tipo de diseños, se emplean diversas técnicas estadísticas que facilitan la identificación de los efectos principales y sus interacciones.

El Análisis de Variancia (ANOVA) supone uno de los métodos más válidos para la inferencia estadística en diseños experimentales factoriales, puesto que tiene la ventaja de poder ser utilizado para evaluar la existencia de significación estadística de los efectos principales, así como de las interacciones entre factores. Para los diseños factoriales, esta técnica es muy útil para determinar si la respuesta de una variable depende del factor de manera independiente, tal como puede determinar si el efecto de un factor cambia en función del nivel de un segundo factor. Hasta ahora, el ANOVA había sido utilizado desde la perspectiva frecuentista, fundamentado en valores p y pruebas de significación; sin embargo, también existe la forma de aplicar el ANOVA mediante aproximaciones de

tipo Bayesiano, que permite cuantificar la evidencia relativa en favor de varios modelos, así como en diferentes hipótesis, mediante factores de Bayes (Van den Bergh et al., 2020). Los autores de estudios recientes afirman que el ANOVA sigue siendo el procedimiento más común para evaluar efectos experimentales sobre variables continuas; no obstante, el uso del ANOVA debe estar supeditado a la estructura del diseño experimental y de los supuestos del modelo, así como de la variable respuesta (Van den Bergh et al., 2020). Si se da el caso de no cumplirse los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas, se pueden utilizar alternativas no paramétricas como el estadístico tipo Wald (WTS) y el estadístico tipo ANOVA (ATS), que son más robustos (Friedrich et al., 2017).

Además del ANOVA, la evaluación de datos experimentales se podría realizar mediante modelos de regresión y Modelos Lineales Generalizados (GLM). El uso de modelos de regresión, y de Modelos Lineales Generalizados, GLM, permite la evaluación conjunta del efecto de distintos factores y covariables sobre la variable de respuesta. El análisis de regresión se utiliza para modelar la respuesta y los factores. Estos modelos son habituales para validar su estructura con ANOVA y así estimar la significación estadística de los factores considerados.

Con la regresión se pueden obtener efectos de interacción significativos, aspecto importante para la optimización de procesos experimentales y agrícolas (Basker et al., 2025). Dentro de este grupo de métodos, la regresión beta es un método de modelización estadística que se aplica a variables de respuesta continuas que están expresadas como proporciones o tasas y que se encuentran acotadas en el intervalo (0, 1) y es especialmente útil cuando las variables de respuesta no se distribuyen normalmente y pueden estar sesgadas o presentar diferentes niveles de dispersión. Los estudios de manejo de plagas suelen incorporar variables como la tasa de infestación, la tasa de cultivos o plantas afectadas o la eficacia del control, todas ellas limitadas entre 0 y 1 y, por tanto, caben dentro de la regresión beta. Además, este tipo de regresión puede incluir covariables como ejemplo, los factores ambientales o los tipos de tratamientos, para modelar el efecto que estas covariables tienen sobre las proporciones de la respuesta de las plagas en términos de presencia, de incidencia o de daño provocado (Fernandes et al., 2026).

Por otro lado, los Modelos Lineales Generalizados (GLM) constituyen una herramienta estadística realmente poderosa y muy flexible, ampliamente utilizada en investigación, a partir de la ecológica, la agronómica y la de manejo de plagas. Su flexibilidad permite a los investigadores analizar una gran variedad de tipos de datos y

preguntas complejas sobre la dinámica de las plagas, sus estrategias de control y los efectos ambientales (Dunn, 2022). Se utilizan ampliamente en la agricultura para analizar y modelar datos complejos, especialmente cuando las variables de respuesta no presentan una distribución normal y han sido durante un largo periodo de tiempo una importante herramienta para la investigación agrícola por su alto nivel de interpretación y de rigor estadístico. Desde 2021 la investigación agrícola ha sufrido una veloz transformación en la cual los GLM han ido siendo incluidos a cada vez mayor ritmo en marcos híbridos de aprendizaje automático (machine learning, ML) con bases de datos multimodales y datos de sensores del internet de las cosas (IoT), teledetección e indicadores socioeconómicos (Ahmad et al., 2026; Srivastava y Dahiya, 2026).

2.3. Marco legal

Este proyecto de investigación está respaldado por la normativa nacional que regula la producción agrícola, la fertilización nitrogenada, el manejo de plagas en el cultivo de maíz. Estas normas o disposiciones legales constituyen una base de apoyo muy importante que justifica la pertinencia de la investigación y asegura que los resultados que esta arroje son coherentes con los principios de sostenibilidad, seguridad alimentaria y protección del medioambiente del Ecuador.

2.3.1. Constitución de la República del Ecuador

La constitución de la República del Ecuador reconoce a la naturaleza como sujeto de derechos y establece la obligación del Estado y de la sociedad en garantizar la conservación de sus ciclos, estructuras y procesos de evolución, y la constitución determina igual que la soberanía alimentaria es una de las metas estratégicas del Estado dirigida a garantizar la producción, transformación y comercialización de los alimentos, en especial orientada a los pequeños y medianos productores agropecuarios (Constitución de la República del Ecuador, 2008, arts. 71, 281).

En este sentido, la investigación que se presenta guarda relación con estos postulados de la constitución en tanto que pretende producir información técnica que permita optimizar la fertilización nitrogenada y el manejo fitosanitario del cultivo de maíz, en procura de mejorar la productividad sin afectar la sostenibilidad ambiental y además al centrarse en un cultivo que es de interés alimentario y económico para la

provincia de Los Ríos la investigación contribuye indirectamente a la fortaleza de la seguridad alimentaria y la soberanía alimentaria en la realidad local.

2.3.2. Ley Orgánica de Sanidad Agropecuaria

La Ley Orgánica de Sanidad Agropecuaria regula del modo más específico posible las actividades para la prevención, el control y la erradicación de las plagas y enfermedades que afectan a vegetales y animales, con el objetivo de proteger el nivel de producción agropecuaria y el estatus fito y zoosanitario del país. Asimismo, se regula la función de la Agencia de Regulación y Control Fito y Zoosanitario cuando describe la regulación y control de la sanidad vegetal, la sanidad animal y la inocuidad de los alimentos en la producción primaria (Ley Orgánica de Sanidad Agropecuaria, 2017, arts. 1, 12).

La vinculación de esta ley con la investigación del manejo de *Spodoptera frugiperda*, la plaga del maíz de mayor importancia económica, y que, al mismo tiempo, se enfrenta al efecto del manejo fitosanitario, fundamenta el presente trabajo como fuente de información útil para adoptar prácticas de control basadas en criterios técnicos compatibles con la regulación nacional de la sanidad vegetal.

2.3.3. Guía General de Carácter Voluntario referente a la Certificación de Buenas Prácticas Agrícolas (BPA)

La Guía General de Carácter Voluntario que hace referencia a la Certificación de Buenas Prácticas Agrícolas (BPA), aprobada la Resolución No. 108 de AGROCALIDAD, establece criterios orientados a la correcta utilización de los insumos en la producción agrícola, los fertilizantes y los plaguicidas incluidos, con la finalidad de reducir los riesgos en lo que respecta a la salud humana, la inocuidad de los alimentos y el medio ambiente (AGROCALIDAD, 2009), y fue aprobada el 17 de diciembre de 2009.

En lo referente a los plaguicidas la norma establece también que los tratamientos fitosanitarios sean hechos mediante el uso correcto y responsable, con justificación técnica, considerando la rotación de productos que tengan diferentes ingredientes activos o mecanismos de acción, para evitar el desarrollo de resistencia de la plaga. La norma señala también que los plaguicidas agrícolas que se apliquen estarán registrados por AGROCALIDAD y que deberán ser mantenidos registros de su uso (AGROCALIDAD, 2009, art. 15).

En cuanto a la fertilización, la guía establece que los fertilizantes químicos y los abonos orgánicos deben encontrarse registrados por la autoridad competente y que su aplicación debe ser recomendada y avalada por los profesionales del área agronómica (AGROCALIDAD art. 12). Asimismo, la normativa establece la necesidad de evitar el daño ambiental que pueden llegar a producir las actividades agrícolas, el manejo de residuos y la normativa vigente desde el ámbito ambiental (AGROCALIDAD, 2009, art. 38).

Dicha normativa se encuentra ligada de forma considerable al presente estudio, dado que la investigación analiza dos prácticas claves del manejo agrícola: la fertilización nitrogenada y el manejo fitosanitario. Por lo que los resultados pueden contribuir a fundamentar recomendaciones técnicas orientadas a conseguir una eficiencia en el uso del nitrógeno y a lograr una aplicación de insecticidas de forma consciente en el cultivo del maíz, evitando aplicaciones excesivas, y promoviendo prácticas agrícolas más sostenibles.

2.3.4. Ley Orgánica del Régimen de la Soberanía Alimentaria

La Ley Orgánica del Régimen de la Soberanía Alimentaria promueve la producción agropecuaria sustentable, el incremento de la productividad agrícola nacional y la disponibilidad de alimentos para la población. Se espera que esta normativa oriente las políticas públicas a sistemas agroalimentarios que contribuyan a la continuidad del desarrollo rural, a una producción responsable y a un acceso a alimentos suficiente y de calidad (Ley Orgánica del Régimen de la Soberanía Alimentaria, 2009, art. 1).

La investigación realizada se estructura en el marco de la ley, considerando que el maíz es un cultivo estratégico para la alimentación, para la economía agrícola y para los pequeños y medianos productores de la provincia de Los Ríos. Puesto que la investigación genera información sobre las dosis de fertilización nitrogenada y el manejo fitosanitario frente a *S. frugiperda*, la investigación aporta información técnica que va en función de la mejora de la eficiencia productiva del cultivo y del desarrollo de sistemas agrícolas sustentables y coherentes con el principio de soberanía alimentaria recogido en la legislación ecuatoriana.

CAPÍTULO III

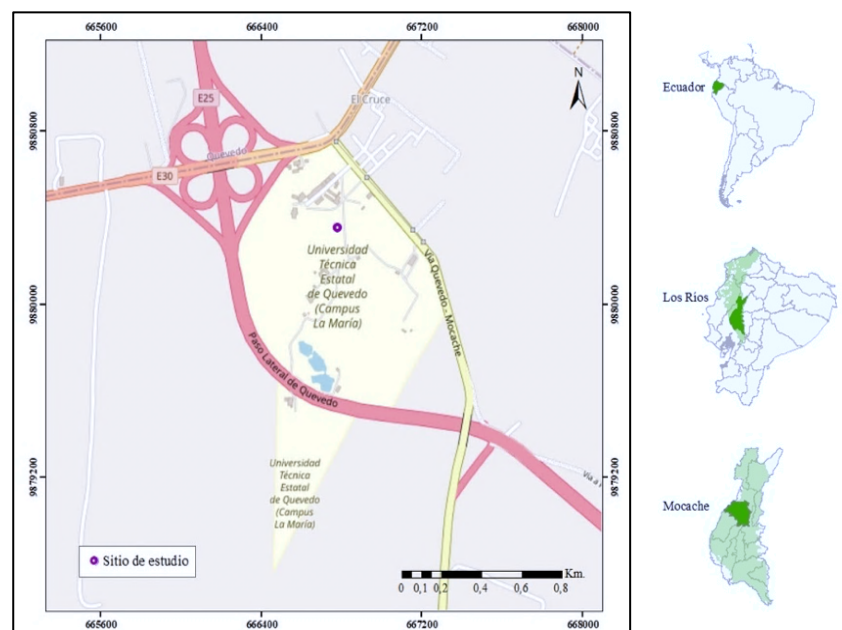
METODOLOGÍA

3.1. Descripción del área de estudio

La investigación se desarrolló en las parcelas experimentales del Campus Universitario La María, perteneciente a la Universidad Técnica Estatal de Quevedo (UTEQ), ubicado en el kilómetro 7,5 de la vía Quevedo - El Empalme, cantón Mocache, provincia de Los Ríos, Ecuador. El sitio experimental se localiza en las coordenadas $1^{\circ}04'50.69''$ S y $79^{\circ}30'09.67''$ O, a una altitud de 71 m s.n.m., dentro de una zona de clima tropical húmedo con un período seco definido. De acuerdo con información de la Estación Experimental Tropical Pichilingue del INIAP, la zona presenta una temperatura media anual aproximada de 24°C , precipitación media anual de 2 178 mm, humedad relativa de 84 % y un promedio mensual de 76 horas de brillo solar. Los suelos predominantes corresponden a fluvisoles éutricos, con predominio de textura franca, características que favorecen la producción de maíz en la zona. La ubicación geográfica del área de estudio se presenta en la Figura 1.

Figura 1

Ubicación del Campus Universitario La María (UTEQ)



3.2. Enfoque y tipo de investigación

3.2.1. Enfoque

La investigación adopta un enfoque cuantitativo, debido a que las variables de estudio fueron medidas de forma objetiva y analizadas mediante procedimientos estadísticos, con el propósito de evaluar el efecto de diferentes dosis de fertilización nitrogenada y del manejo fitosanitario sobre las variables agronómicas y fitosanitarias del cultivo de maíz.

3.2.2. Tipo de investigación

La investigación se clasifica como experimental, debido a que se manipulan deliberadamente las variables independientes correspondientes a las dosis de fertilización nitrogenada (0, 120, 160, 200 y 240 kg N ha⁻¹) y al tipo de manejo fitosanitario *de Spodoptera frugiperda* (con y sin aplicación de insecticida), con el propósito de evaluar sus efectos sobre variables fitosanitarias y agronómicas del cultivo de maíz.

Para ello, se implementó un diseño experimental factorial que permitió evaluar los efectos principales de las dosis de fertilización nitrogenada y del manejo fitosanitario, así como la interacción entre ambos factores. Asimismo, permitió analizar su efecto sobre la incidencia y severidad de *Spodoptera frugiperda* y sobre variables de crecimiento y rendimiento del cultivo de maíz. Este enfoque posibilita establecer relaciones de causa y efecto entre los factores evaluados y las variables de respuesta, proporcionando evidencia científica para sustentar recomendaciones relacionadas con el manejo nutricional y fitosanitario del cultivo de maíz.

3.3. Definición y operacionalización de variables

3.3.1. Definición de variables

En la Tabla 1, se definen las variables utilizadas en la investigación.

Tabla 1*Definición conceptual y operacional de variables en estudio*

Variable	Tipo	Definición conceptual	Definición operacional
Altura de planta	Cuantitativa de razón	Se refiere a la longitud vertical de la planta de maíz desde la base del tallo hasta el ápice de la hoja más alta (Vélez et al., 2021).	La altura de la planta se midió en centímetros con un flexómetro en un número de 20 plantas por parcela experimental durante la etapa vegetativa en tres momentos (V5, V7 y V12).
Diámetro del tallo	Cuantitativa de razón	Se refiere al grosor del tallo de la planta de maíz, es considerado un indicador del vigor y resistencia estructural (Vélez et al., 2021).	El diámetro se midió en milímetros utilizando un calibrador a la altura de 5 cm desde la base del tallo. El diámetro del tallo se evaluó durante la etapa vegetativa en tres momentos (V5, V7 y V12).
Incidencia de <i>Spodoptera frugiperda</i>	Cuantitativa discreta (proporción/%)	Es la proporción de plantas afectadas por el ataque de <i>Spodoptera frugiperda</i> en relación con el total de plantas evaluadas (Vélez et al., 2021).	Se calcula como el porcentaje de plantas con síntomas de infestación respecto al total de plantas evaluadas en cada parcela. Se realizó una evaluación en la etapa vegetativa del maíz (V12).

Variable	Tipo	Definición conceptual	Definición operacional
Severidad de <i>Spodoptera frugiperda</i>	Cuantitativa ordinal/ proporcional	Grado de daño causado por <i>Spodoptera frugiperda</i> en las hojas y estructuras de la planta (Vélez et al., 2021).	Se evaluó mediante una escala visual de severidad (0–9), considerando la intensidad y extensión del daño en hojas y cogollo. Índice Townsend y Heuberger. Se realizó una evaluación en la etapa vegetativa del maíz (V12).
Rendimiento del cultivo	Cuantitativa de razón	Producción de grano seco de maíz obtenida por unidad de superficie (Vélez et al., 2021).	Se cosecharon las mazorcas de cada parcela, se desgranaron y se ajustó el peso a 14% de humedad, expresándose en t/ha.

3.3.2. Operacionalización de variables

Las variables consideradas en el estudio se agruparon en variables independientes y variables dependientes. Las variables independientes correspondieron a las dosis de fertilización nitrogenada y al manejo fitosanitario de *Spodoptera frugiperda*, mientras que las variables dependientes incluyeron parámetros de crecimiento del cultivo, daño ocasionado por la plaga y rendimiento del maíz. La Tabla 2 presenta la operacionalización y evaluación de las variables consideradas en la investigación.

Tabla 2*Operacionalización y evaluación de variables independientes y dependientes*

Tipo de variable	Variable	Indicador	Unidad/Escala	Momento de aplicación/ evaluación
Independiente	Dosis de nitrógeno	Nivel de fertilización	kg N ha ⁻¹	Aplicación en V5, V7 y V12
Independiente	Manejo fitosanitario	Uso de insecticida	Con / Sin insecticida	Según el programa de manejo fitosanitario establecido en el experimento.
Dependiente principal	Incidencia	Porcentaje de plantas infestadas	%	V12
Dependiente principal	Severidad	Índice de daño	Escala Davis (0–9) e Índice Townsend y Heuberger (%)	V12
Dependiente secundaria	Altura	Crecimiento vegetal	cm	V5, V7 y V12
Dependiente secundaria	Diámetro del tallo	Grosor del tallo	mm	V5, V7 y V12

Dependiente secundaria	Rendimiento	Producción de grano	t ha ⁻¹	Madurez fisiológica (cosecha)
---------------------------	-------------	------------------------	--------------------	-------------------------------------

3.4. Procedimientos

3.4.1. Fases de la investigación

La investigación se desarrolló en cuatro fases secuenciales que permitieron planificar, ejecutar y analizar el experimento de campo.

Fase I. Revisión bibliográfica y planificación. Comprendió la recopilación y análisis de información científica relacionada con la fertilización nitrogenada, el manejo de *Spodoptera frugiperda* y la producción de maíz, así como la definición de los objetivos, variables y diseño experimental.

Fase II. Establecimiento del experimento. Incluyó la preparación del terreno, la siembra del cultivo, la delimitación de las parcelas experimentales y la asignación de los tratamientos correspondientes a las dosis de nitrógeno y al manejo de la plaga.

Fase III. Ejecución y recolección de datos. Consistió en la aplicación de los tratamientos, el seguimiento agronómico del cultivo y la evaluación de las variables de crecimiento, incidencia, severidad y rendimiento.

Fase IV. Procesamiento, análisis e interpretación de la información. Comprendió la organización de los datos, el análisis estadístico de las variables evaluadas y la interpretación de los resultados obtenidos.

3.4.2. Diseño experimental

El experimento se estableció bajo un diseño de bloques completos al azar (DBCA) (Anexo A) con arreglo factorial 5×2 , considerando cinco dosis de fertilización nitrogenada (0, 120, 160, 200 y 240 kg N ha⁻¹) y dos tipos de manejo fitosanitario (con insecticida y sin insecticida). Se utilizaron tres bloques, con el propósito de controlar la variabilidad natural del terreno. Cada bloque incluyó las diez combinaciones de tratamientos, distribuidas aleatoriamente, para un total de 30 parcelas experimentales. Cada parcela tuvo dimensiones de 4 m $\times$ 5 m, equivalente a 20 m² (Anexo B) con una separación de 1 m entre parcelas. Cada parcela presentó 125 plantas de maíz sembradas a un distanciamiento de 0,80 $\times$ 0,20 m. Este diseño permitió evaluar los efectos

principales del nitrógeno y del manejo, así como su interacción sobre las variables agronómicas y fitosanitarias del cultivo de maíz.

3.4.3. Establecimiento y manejo del experimento

El tratamiento agronómico del cultivo se llevó a cabo siguiendo la práctica normalmente recomendada para la producción del cultivo de maíz en la zona de estudio y garantizando la uniformidad de las condiciones en todas las unidades experimentales. Durante el desarrollo del cultivo se realizaron las labores de toma de muestras para análisis de suelo, preparación del terreno (un pase de rastra, incorporación de residuos en el terreno), siembra (híbrido maíz ADVANTA 9789), riego por aspersión (de acuerdo con la capacidad de campo), control manual de malezas y aporque, según los requerimientos del cultivo.

En cuanto a la fertilización, únicamente se utilizó urea (46 % N) y las dosis de nitrógeno establecidas para el experimento fueron fraccionadas durante las siguientes etapas vegetativas: V5 (30 %), V7 (50 %) y V12 (20 %). Elementos con fósforo y potasio no fueron agregados debido a los niveles altos que presentaron en el análisis de suelo (Anexo G).

Asimismo, se llevó a cabo un monitoreo periódico del estado fitosanitario de las plantas, en especial para registrar la presencia e incidencia de *S. frugiperda*. A excepción de los tratamientos para el control químico, todos los tratamientos recibieron el mismo tratamiento agronómico. El control químico estuvo basado en el uso del insecticida Ampligo (50 g lambda-cihalotrina + 100 g clorantraniliprol, Syngenta, Ecuador), considerando para la aplicación del insecticida un umbral de incidencia de 20% de *S. frugiperda*.

De esta forma se redujeron las fuentes externas de variación y se garantizó que las diferencias observadas en crecimiento, daño de plagas y rendimiento estuvieran principalmente asociadas a las dosis de nitrógeno y al tipo de manejo fitosanitario evaluado.

3.4.4. Evaluación de variables

Altura de planta (cm)

La altura de las plantas de maíz se determinó en 20 plantas por parcela utilizando un flexómetro. La medición se realizó desde la base de la planta, a nivel del suelo, hasta el punto más alto de la planta. Esta variable fue registrada en las etapas V5, V7 y V12,

con el objetivo de evaluar el crecimiento vegetativo del maíz en respuesta a las dosis de nitrógeno y al manejo fitosanitario aplicado (Anexo C(a)).

Diámetro del tallo (mm)

Se evaluó en las mismas 20 plantas por parcela tomadas de la variable anterior, utilizando un calibrador. La medición se realizó a 5 cm desde la base de la planta, manteniendo el mismo criterio de medición en todas las unidades experimentales. Esta variable fue registrada en las etapas V5, V7 y V12, como indicador del vigor y desarrollo estructural de las plantas (Anexo C(b)).

Incidencia de *Spodoptera frugiperda* (%)

El porcentaje de incidencia de *S. frugiperda* se evaluó únicamente en la fase V12, mediante observación directa de 20 plantas por parcela. Para ello, se registró el número de plantas infestadas o con presencia de daño atribuible a la plaga, en relación con el total de plantas evaluadas (Anexo D). La incidencia fue expresada en porcentaje mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Incidencia(\%)} = \frac{\text{Número de plantas infestadas}}{\text{Total de plantas evaluadas}} \times 100$$

Severidad del daño causado por *Spodoptera frugiperda* (%)

El porcentaje de severidad de *S. frugiperda* también se evaluó únicamente en la fase V12, considerando 20 plantas por parcela. La valoración del daño foliar se realizó mediante la escala visual de Davis, la cual permite clasificar el nivel de daño causado por el gusano cogollero en función de la intensidad de las lesiones observadas en las hojas y el cogollo de la planta (Anexo E).

A partir de los valores registrados mediante la escala de Davis, se calculó el índice de severidad de Townsend y Heuberger, con el propósito de transformar las categorías de daño en un valor porcentual de severidad. El índice fue calculado mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Índice de severidad(\%)} = \frac{\sum(n \times v)}{N \times V} \times 100$$

Donde:

n = número de plantas en cada categoría de daño;

v = valor numérico de la categoría de daño;

N = número total de plantas evaluadas;

V = valor máximo de la escala utilizada.

Rendimiento del cultivo ($t\ ha^{-1}$)

El rendimiento del cultivo de maíz se determinó al momento de la cosecha, recolectando la producción de cada parcela experimental. El peso del grano fue registrado por parcela y posteriormente ajustado a un contenido de humedad estándar del 14 %, con el fin de comparar los tratamientos bajo una misma condición de humedad. El rendimiento se expresó inicialmente en $kg/parcela$ y posteriormente se convirtió a toneladas por hectárea ($t\ ha^{-1}$) considerando el área de cada unidad experimental (Anexo F).

3.4.5. Análisis estadístico

Los datos obtenidos fueron analizados considerando la naturaleza estadística de cada una de las variables de respuesta y la estructura del diseño experimental planteado. El experimento se estableció mediante un diseño de bloques completos al azar (DBCA) con un arreglo factorial 5×2 , compuesto por cinco dosis de fertilización nitrogenada y dos tipos de manejo fitosanitario. El bloque fue introducido en los modelos como fuente de variación asociada al diseño experimental, mientras que la dosis de nitrógeno, el manejo fitosanitario y su interacción fueron asumidos como efectos principales.

Para las variables de crecimiento, la altura de planta y el diámetro del tallo de plantas de maíz, medidos en las etapas V5, V7 y V12, veinte plantas medidas dentro de cada parcela fueron consideradas como submuestras. Se utilizaron modelos lineales mixtos (LMM) para medidas repetidas, donde se introdujeron como efectos fijos el bloque. La etapa fenológica, la dosis de nitrógeno, el manejo fitosanitario y sus interacciones fueron considerados efectos fijos de interés, mientras que el bloque se incorporó como efecto fijo de control para ajustar la variabilidad espacial entre los tres bloques específicos del experimento. La parcela experimental se incorporó en la estructura aleatoria del modelo como unidad sobre la cual se realizaron las mediciones repetidas, permitiendo considerar la correlación existente entre las observaciones obtenidas en V5, V7 y V12 dentro de una misma parcela.

La incidencia de *Spodoptera frugiperda* (proporción de plantas infestadas con relación al total de plantas evaluadas por parcela) fue analizada mediante un modelo lineal generalizado de distribución binomial (GLM) y función de enlace logit. El modelo

incluyó los efectos de bloque, dosis de nitrógeno, manejo fitosanitario e interacción dosis de nitrógeno $\times$ manejo fitosanitario. La significancia de los efectos fue evaluada mediante pruebas de razón de verosimilitud.

La severidad del daño causado por *Spodoptera frugiperda*, calculada mediante el índice porcentual de Townsend y Heuberger, fue convertida a proporción dividiendo los valores porcentuales entre 100 y analizada mediante regresión beta con función de enlace logit. Previamente, se verificó que todos los valores se encontraran estrictamente dentro del intervalo (0,1) por lo que no fue necesario aplicar ajustes adicionales para valores en los límites.

En el caso de la variable rendimiento de grano, los análisis se realizaron utilizando los datos obtenidos, al momento de cosecha. El rendimiento fue registrado en una primera instancia en kg por parcela y posteriormente transformados a $t\ ha^{-1}$, considerando el área de cada parcela experimental. El rendimiento del cultivo, expresado en $t\ ha^{-1}$, fue analizado mediante un modelo lineal mixto (LMM) en el cual la dosis de nitrógeno y el manejo fitosanitario, así como su interacción, fueron considerados efectos fijos, mientras que el bloque fue incorporado como efecto aleatorio.

Para complementar el análisis de la fertilización nitrogenada, la dosis de nitrógeno también fue considerada como variable cuantitativa usando sus valores reales (0, 120, 160, 200 y $240\ kg\ N\ ha^{-1}$). Para la variable rendimiento se ajustaron modelos lineales mixtos con tendencias lineal, cuadrática y cúbica manteniendo en la estructura del modelo el bloque como efecto aleatorio y el manejo fitosanitario como efecto fijo. La elección de la forma funcional se realizó a partir de la significación de los términos, la comparación de modelos y el criterio de información de Akaike (AIC). En caso de detectar una respuesta cuadrática significativa, se calculó la dosis en el punto máximo de la función de rendimiento.

Para los modelos lineales y lineales mixtos se evaluó la distribución de los residuos y la homogeneidad de la varianza mediante procedimientos gráficos y pruebas diagnósticas. Para los modelos generalizados y la regresión beta, la evaluación se realizó mediante diagnósticos acordes con la distribución especificada, examinando el ajuste, los residuos y posibles problemas de dispersión.

La significancia de los efectos se revisó con un nivel $\alpha = 0,05$. Cuando los efectos principales e interacciones fueron significativos, se los examinó mediante efectos simples y medias marginales estimadas (EMMs). Las comparaciones múltiples se ajustaron

mediante Tukey cuando correspondió. Los análisis y resultados fueron realizados en RStudio, usando paquetes específicos para modelos lineales, modelos lineales generalizados, regresión beta, modelos mixtos y comparación de medias marginales.

3.5. Consideraciones bioéticas

La investigación se desarrolló de conformidad con los principios de responsabilidad ambiental, seguridad ocupacional, integridad científica y buenas prácticas agrícolas aplicables a la investigación agronómica. El manejo de fertilizantes nitrogenados y la aplicación de insecticidas se realizaron siguiendo las recomendaciones técnicas de uso y las disposiciones establecidas de conformidad con la normativa nacional descrita en el marco legal de esta investigación.

Las aplicaciones de fertilizantes e insecticidas se efectuaron utilizando equipos de protección personal y procedimientos adecuados para reducir la exposición del personal involucrado y prevenir la contaminación de áreas no experimentales. Asimismo, se procuró minimizar posibles efectos sobre organismos no objetivo y sobre los recursos naturales del área de estudio.

Los datos obtenidos durante la investigación fueron registrados, procesados y analizados de manera objetiva, garantizando la transparencia, trazabilidad y confiabilidad de los resultados. No existieron conflictos de interés que comprometieran la ejecución del estudio ni la interpretación de los hallazgos obtenidos. Asimismo, los resultados se presentan de forma íntegra, independientemente de su significancia estadística, evitando cualquier sesgo en su interpretación. La investigación se ejecutó respetando la normativa ecuatoriana vigente relacionada con el manejo de insumos agrícolas y las buenas prácticas de investigación científica. En concordancia con estos principios, el insecticida se aplicó únicamente cuando el cultivo alcanzó el umbral de incidencia previamente establecido, evitando aplicaciones innecesarias y promoviendo un uso responsable de productos fitosanitarios.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Altura de la planta

La variable de altura de planta de maíz fue evaluada en las etapas vegetativas V5, V7 y V12. Debido a que las mediciones fueron realizadas sobre las mismas parcelas experimentales en diferentes momentos del desarrollo del cultivo, los datos fueron analizados mediante un modelo lineal mixto. Los resultados obtenidos evidenciaron un efecto altamente significativo de la etapa fenológica sobre la altura de planta ($F_{2,40} = 1762,624$; $p < 0,001$) lo que muestra el incremento progresivo de la altura conforme avanza el desarrollo vegetativo del cultivo. En contraste, no se detectaron efectos significativos en los bloques ($F_{2,18} = 1,249$; $p = 0,311$) ni en la dosis de nitrógeno ($F_{4,18} = 1,864$; $p = 0,161$). Sin embargo, el manejo fitosanitario presentó un efecto significativo sobre la altura de planta ($F_{1,18} = 5,066$; $p = 0,037$).

La interacción etapa fenológica $\times$ manejo fitosanitario fue significativa ($F_{2,40} = 5,392$; $p = 0,008$) lo que indica que la evolución de la altura entre V5, V7 y V12 no fue igual entre las parcelas con y sin aplicación de insecticida. Además, la interacción etapa fenológica $\times$ dosis de nitrógeno fue altamente significativa ($F_{8,40} = 5,796$; $p < 0,001$), evidenciando que el efecto de las dosis de nitrógeno sobre la altura dependió de la etapa fenológica evaluada. Por el contrario, no se detectaron interacciones significativas entre manejo fitosanitario $\times$ dosis de nitrógeno ($F_{4,18} = 0,255$; $p = 0,903$), ni en la interacción triple etapa fenológica $\times$ manejo fitosanitario $\times$ dosis de nitrógeno ($F_{8,40} = 0,426$; $p = 0,899$).

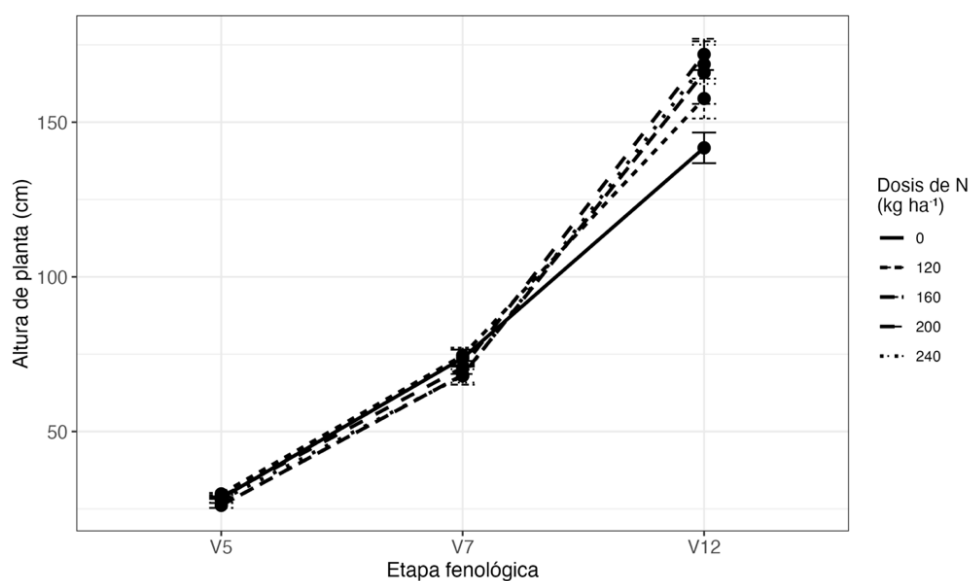
Las medias observadas mostraron un incremento marcado de la altura entre las etapas fenológicas. En la etapa V5, la altura promedio osciló entre 26,13 cm, registrada con 160 kg N ha⁻¹, y 29,83 cm, registrada con 120 kg N ha⁻¹. En la etapa V7, los valores variaron entre 67,99 cm, con 240 kg N ha⁻¹, y 74,58 cm, con 120 kg N ha⁻¹. En la etapa V12, la mayor altura se observó con 200 kg N ha⁻¹, con 172 cm, mientras que el menor valor se registró con 0 kg N ha⁻¹, con 142 cm. Las comparaciones múltiples entre dosis dentro de cada etapa fenológica indicaron que en la etapa V5 y la etapa V7 no existieron diferencias estadísticas entre las dosis evaluadas. Para la etapa V12 se observaron diferencias entre las dosis de nitrógeno evaluadas. La menor dosis 0 kg N ha⁻¹ presentó

una altura significativamente menor en comparación con las dosis 160, 200 y 240 kg N ha⁻¹, mientras que la dosis de 120 kg N ha⁻¹ mostró un comportamiento intermedio.

Los resultados obtenidos indican que la altura de la planta de maíz estuvo condicionada principalmente por la etapa fenológica del cultivo. En las etapas avanzadas del desarrollo, las plantas fertilizadas con nitrógeno alcanzaron mayores valores de altura que aquellas que no recibieron fertilización nitrogenada. El manejo fitosanitario presentó un efecto significativo sobre la altura y, además, modificó la dinámica temporal del crecimiento. De igual manera, la respuesta a la fertilización nitrogenada varió entre las etapas fenológicas, como lo evidenció la interacción significativa entre la etapa y la dosis de nitrógeno. La altura aumentó significativamente desde V5 hasta V12, mostrando que el efecto de la fertilización nitrogenada sobre el crecimiento dependió del momento de evaluación (Figura 2).

Figura 2

Evolución de la altura de la planta de maíz durante las etapas vegetativas V5, V7 y V12



Nota. Los puntos representan la altura media observada de las plantas para cada dosis de nitrógeno en las etapas V5, V7 y V12. Las líneas conectan las medias correspondientes a una misma dosis de nitrógeno a través de las etapas fenológicas, y las barras de error representan el error estándar de la media.

La ausencia de un efecto general significativo de la dosis de nitrógeno indica que la altura de planta no estuvo únicamente determinada por la cantidad de nitrógeno aplicado. Sin embargo, se detectó una interacción significativa entre la etapa fenológica y la dosis

de nitrógeno, lo que evidencia que la respuesta de la altura a la fertilización nitrogenada dependió del momento de desarrollo del cultivo. Los resultados obtenidos muestran que el efecto del nitrógeno sobre la altura se manifestó principalmente en una etapa más avanzada del desarrollo vegetativo y no como una respuesta uniforme durante todo el crecimiento de las plantas de maíz.

Varias investigaciones señalan que la respuesta del maíz al nitrógeno depende de la interacción entre la disponibilidad del nutriente, el ambiente, el estado fenológico del cultivo y de la eficiencia de absorción y utilización por parte de la planta. Por lo que, otros factores podrían restringir el crecimiento, aunque se incremente la fertilización nitrogenada (Li et al., 2025; Moreno-Sotomayor et al., 2022). La interacción observada entre la etapa fenológica y la dosis de nitrógeno respalda esta interpretación, ya que las diferencias entre tratamientos se hicieron evidentes principalmente en la etapa V12. De esta manera, la variable de altura de planta constituye una respuesta compleja que no depende exclusivamente de la cantidad de nitrógeno aplicada, sino del equilibrio que existe entre la disponibilidad del nutriente, las condiciones del ambiente, la etapa de desarrollo y la capacidad de utilización que tiene el cultivo para utilizarlo eficientemente.

Los resultados obtenidos coinciden parcialmente con la evidencia existente que reconoce la importancia del nitrógeno durante las etapas vegetativas del maíz, debido a la elevada demanda fisiológica propia de este periodo (Fan et al., 2022; Szulc et al., 2012). Szulc et al. (2012) mencionan que el nitrógeno representa un elemento fundamental para el cultivo de maíz, especialmente desde el estado en el que la planta tiene de 5 a 6 hojas hasta el estado de 8 hojas, etapa caracterizada por un rápido desarrollo de tejidos y una alta actividad metabólica. En este estudio, aunque durante las etapas V5 y V7 las dosis de nitrógeno no produjeron diferencias en la altura, en la etapa V12 se observaron mayores valores en las plantas fertilizadas con 160, 200 y 240 kg N ha⁻¹ en comparación con aquellas que no recibieron nitrógeno. Este comportamiento sugiere que el efecto acumulado de la fertilización fue más evidente conforme avanzó el desarrollo vegetativo del cultivo.

De la misma manera, se ha señalado que la restricción de nitrógeno en la etapa vegetativa puede reducir el crecimiento de la altura de planta, el área foliar y la acumulación de biomasa. Por ejemplo, bajo condiciones de bajo nitrógeno, el maíz puede mantener el área foliar gracias al incremento del área foliar específica; pero, esto ocurre junto con una reducción del contenido de nitrógeno en la hoja, lo que limita el crecimiento

general de la planta (Fan et al., 2022). Los resultados de este estudio sugieren que la disponibilidad de nitrógeno no fue el único factor determinante de la altura de la planta durante las primeras etapas fenológicas del cultivo de maíz. Otros aspectos tanto ambientales como edáficos deben ser considerados en la variabilidad de altura.

4.2. Diámetro del tallo

El diámetro del tallo de plantas de maíz fue evaluado en las etapas vegetativas V5, V7 y V12. El modelo lineal mixto utilizado en el análisis evidenció un efecto altamente significativo en la etapa fenológica sobre el diámetro del tallo ($F_{2,37} = 68,030$; $p < 0,001$), lo que muestra el aumento progresivo del grosor del tallo conforme avanza el desarrollo vegetativo del cultivo de maíz.

No se detectaron efectos significativos en el parámetro bloque ($F_{2,37} = 0,047$; $p = 0,954$), en el manejo fitosanitario (con o sin aplicación de insecticida) ($F_{1,37} = 0,190$; $p = 0,665$), así como en la dosis de nitrógeno como efecto general ($F_{4,25} = 0,991$; $p = 0,431$). De la misma forma, tampoco se evidenciaron efectos estadísticos significativos en las interacciones etapa fenológica $\times$ manejo fitosanitario ($F_{2,37} = 0,286$; $p = 0,753$), etapa fenológica $\times$ dosis de nitrógeno ($F_{8,37} = 1,021$; $p = 0,438$), manejo fitosanitario $\times$ dosis de nitrógeno ($F_{4,37} = 0,340$; $p = 0,849$) y etapa fenológica $\times$ manejo fitosanitario $\times$ dosis de nitrógeno ($F_{8,37} = 0,870$; $p = 0,550$).

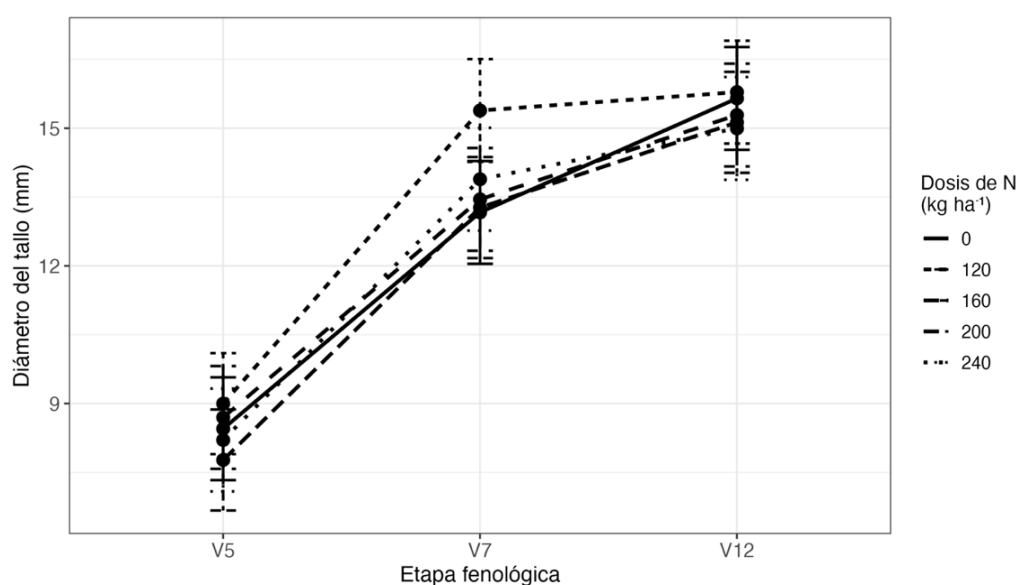
Estos resultados sugieren que la variabilidad de las mediciones obtenidas en el diámetro del tallo de plantas de maíz estuvo determinada principalmente por el avance fenológico del cultivo, y no por la aplicación de fertilización nitrogenada o del manejo fitosanitario. Por tanto, bajo las condiciones del presente estudio, las dosis de nitrógeno utilizadas no modificaron de manera significativa el diámetro del tallo de las plantas de maíz, ya sea de forma independiente o en la interacción con el manejo fitosanitario o con la etapa fenológica del cultivo.

Las medias estimadas de diámetro mostraron un aumento progresivo desde la etapa V5 hasta la etapa V12. En la etapa V5, los valores oscilaron entre 7,77 y 9,00 mm; en la etapa V7, entre 13,17 y 15,39 mm; y en la etapa V12, entre 15,00 y 15,79 mm. Aunque en la etapa V7 la dosis de 120 kg N ha⁻¹ presentó el mayor valor numérico, las comparaciones múltiples de Tukey no detectaron diferencias significativas entre dosis dentro de ninguna etapa fenológica. Además, estos resultados demuestran que el diámetro del tallo respondió principalmente al crecimiento natural del cultivo entre cada una de las etapas vegetativas que lo caracterizan, debido a que no hubo evidencia estadística

suficiente para atribuir diferencias a la dosis de nitrógeno o al manejo fitosanitario (Figura 3).

Figura 3

Evolución del diámetro de la planta de maíz durante las etapas vegetativas V5, V7 y V12



Nota. Los puntos representan las medias marginales estimadas del modelo lineal mixto para medidas repetidas y las barras de error corresponden a los intervalos de confianza al 95 %.

Aunque diversos estudios han reportado incrementos en el diámetro del tallo conforme aumenta la disponibilidad de nitrógeno (Duan et al., 2022), en el presente estudio este comportamiento no fue observado.

El modelo lineal mixto no evidenció un efecto significativo de la dosis de nitrógeno sobre el diámetro del tallo, ni interacciones significativas entre la fertilización nitrogenada, el manejo fitosanitario y la etapa fenológica. Esto sugiere que la respuesta del cultivo no dependió exclusivamente de la cantidad de nitrógeno aplicada, sino también de la interacción entre la disponibilidad del nutriente, las condiciones ambientales y la eficiencia con la que la planta utiliza el nitrógeno durante las primeras etapas del desarrollo (Nguyen et al., 2025).

El único efecto que se observó fue en función de la etapa fenológica, ya que el diámetro del tallo creció de manera gradual a partir del V5, V7 hasta el V12 como parte del crecimiento o de la expansión que acompaña el crecimiento del cultivo. Este

comportamiento refuerza la hipótesis de que, durante las primeras etapas del desarrollo, la respuesta del cultivo al nitrógeno depende no solo de la cantidad aplicada, sino también de la eficiencia de utilización del nutriente y de las condiciones particulares del experimento (Gheith et al., 2022; Li et al., 2025).

El diámetro del tallo es un rasgo fenotípico crítico en el maíz, ya que influye en factores como la resistencia al acame, la estimación de biomasa y la predicción del rendimiento (Lu et al., 2024; Zhou et al., 2024).

En este sentido, aunque sí existieron variaciones numéricas entre dosis, las mismas no presentaron significancia estadística, por lo que no puede afirmarse que una mayor disponibilidad de nitrógeno haya modificado el establecimiento inicial de un diámetro de tallo, o el posterior. El aumento observado entre etapas es resultado de los estados fenológicos del cultivo, y no de una respuesta a la fertilización nitrogenada.

Además, bajo las condiciones del estudio, el análisis de suelo mostró bajos niveles iniciales de nitrógeno disponible (Anexo G), sin embargo, la aplicación de dosis de nitrógeno en el suelo no permitió una respuesta significativa en diámetro del tallo. Es posible que la existencia de otros factores que podrían haber intervenido en la expresión del aumento del diámetro del tallo, tales como, la eficiencia con la que se absorbe el nutriente, la disponibilidad de recursos hídricos, la variabilidad espacial del suelo o la capacidad fisiológica del híbrido utilizado.

4.3. Porcentaje de Incidencia de *Spodoptera frugiperda*

La incidencia de *Spodoptera frugiperda* se analizó a través de un modelo lineal generalizado con distribución binomial. En el modelo factorial completo, el efecto de bloque no fue estadísticamente significativo ($\chi^2 = 2,039$; gl = 2; p = 0,361), así como tampoco la interacción de manejo fitosanitario $\times$ dosis de nitrógeno ($\chi^2 = 7,259$; gl = 4; p = 0,123), por lo que el efecto de las dosis de nitrógeno sobre la incidencia no dependió de forma significativa del tipo de manejo fitosanitario.

En el modelo aditivo, el bloque tampoco estuvo asociado significativamente con la incidencia de la plaga ($\chi^2 = 2,004$; gl = 2; p = 0,367), por otro lado, el manejo fitosanitario mostró un efecto con diferencias significativas sobre la incidencia de *S. frugiperda* ($\chi^2 = 11,929$; gl = 1; p < 0,001), evidenciando diferencias en la probabilidad de infestación entre las parcelas con y sin aplicación de insecticida. El efecto de la dosis de nitrógeno presentó un efecto estadístico significativo sobre la incidencia de la plaga

($\chi^2 = 15,514$; gl = 4; p = 0,004), lo que indica que la probabilidad de infestación varió en función de las dosis evaluadas.

De acuerdo con las estimaciones de probabilidad obtenidas del modelo binomial, la incidencia estimada en el tipo de manejo en el que se utilizó insecticida fue baja en cada una de las dosis de nitrógeno evaluadas (4,94 %-14,88 %) de incidencia estimada.

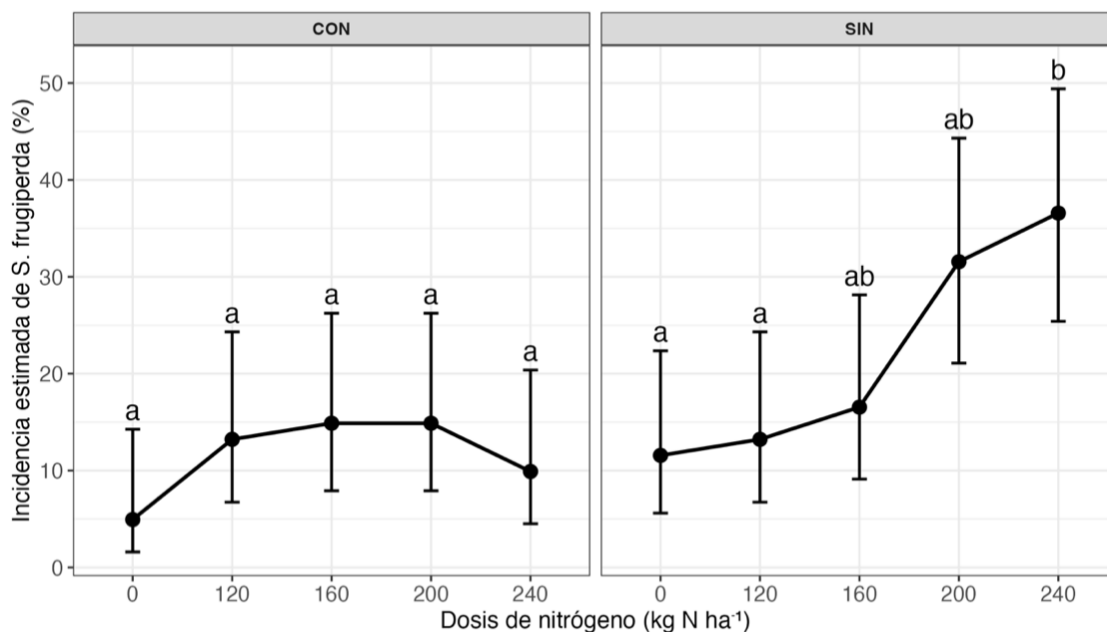
La menor incidencia estimada se obtuvo en el manejo con 0 kg N ha⁻¹, con una incidencia del 4,94 % (IC 95 %: 1,60-14,26 %), mientras que con las dosis de 160 y 200 kg de N ha⁻¹ mostraron los mayores niveles de incidencia de la plaga *S. frugiperda*, con 14,88 % (IC 95 %: 7,91-26,24 %). Las comparaciones múltiples tampoco evidenciaron diferencias significativas entre dosis de nitrógeno en el manejo con insecticida (Figura 4).

En el caso del manejo sin insecticida, la incidencia estimada aumentó con la dosis de nitrógeno. Los valores estimados fueron de 11,56 % con 0 kg N ha⁻¹, 13,22 % con 120 kg N ha⁻¹, 16,54 % con 160 kg N ha⁻¹, 31,56 % con 200 kg N ha⁻¹ y 36,58 % con 240 kg N ha⁻¹. En este caso, la dosis de 240 kg N ha⁻¹ presentó la mayor incidencia estimada de la plaga (IC 95 %: 25,41 % - 49,41 %). Las comparaciones múltiples indicaron diferencias entre los tratamientos (Figura 4).

La incidencia de *S. frugiperda* estuvo influenciada por el manejo fitosanitario y por la dosis de nitrógeno. La aplicación de insecticida mantuvo niveles bajos de incidencia en todas las dosis evaluadas. Por otro lado, en el manejo en ausencia de insecticida, las dosis más altas de nitrógeno se asociaron con mayores probabilidades de infestación.

Figura 4

Incidencia estimada de Spodoptera frugiperda según dosis de nitrógeno y manejo fitosanitario



Nota. Los puntos representan la incidencia estimada de *Spodoptera frugiperda* mediante un modelo lineal generalizado. Las barras de error corresponden a los intervalos de confianza al 95 %. Letras diferentes indican diferencias significativas entre dosis de nitrógeno dentro de cada condición de manejo fitosanitario ($\alpha = 0,05$). SIN = sin aplicación de insecticida; CON = con aplicación de insecticida.

Los resultados obtenidos en este estudio evidenciaron que la dosis de nitrógeno influyó significativamente en la incidencia de *S. frugiperda* en la etapa vegetativa V12; sin embargo, este efecto no dependió estadísticamente del tipo de manejo fitosanitario aplicado, debido a que la interacción manejo $\times$ nitrógeno no fue significativa. Estos resultados coinciden parcialmente con la evidencia disponible, la cual indica que una mayor disponibilidad de nitrógeno puede incrementar la incidencia y el desarrollo de *S. frugiperda* (gusano cogollero del maíz) al mejorar la calidad nutricional del hospedero favoreciendo la acumulación de aminoácidos y otros compuestos nitrogenados en los tejidos vegetales, lo que incrementa el consumo y desarrollo de larvas de esta plaga (W. Wang et al., 2022).

En cuanto al tipo de manejo fitosanitario para el control de *S. frugiperda* (con y sin aplicación de insecticida), el uso de insecticida redujo significativamente la incidencia

de la plaga como efecto general, independientemente de la dosis de nitrógeno utilizada. En los tratamientos donde no se realizó aplicación de insecticida, se observó una tendencia descriptiva a mayores valores de incidencia con las dosis más altas de nitrógeno, especialmente 200 y 240 kg N ha⁻¹.

La reducción de la incidencia observada en los tratamientos con insecticida es consistente con la eficacia reportada del producto Ampligo®, cuya combinación de clorantraniliprol y lambda-cihalotrina ha demostrado un alto nivel de control sobre larvas de lepidópteros en diversos sistemas agrícolas (Patil et al., 2024). En este estudio, la baja incidencia de la plaga estimada en las parcelas en las que se utilizó insecticida indica que la aplicación del control químico contribuyó a limitar la infestación de la plaga en todas las dosis de nitrógeno evaluadas.

El aumento en la disponibilidad de nitrógeno puede alterar el valor nutricional del maíz como planta huésped, debido a la mayor acumulación de proteínas solubles, azúcares solubles y aminoácidos en los tejidos foliares. Estos son compuestos que podrían subir el valor nutricional del tejido para los insectos herbívoros y provocar la mayor ingestión de larvas de *S. frugiperda*. Estudios recientes realizados en maíz muestran que la provisión de nitrógeno modifica la calidad foliar, la eficiencia larval y las respuestas defensivas de la planta ante *S. frugiperda* (Mason et al., 2022; W. Wang et al., 2022).

En este sentido, una mayor concentración de aminoácidos en plantas de maíz fertilizadas con nitrógeno puede favorecer las condiciones alimenticias para las larvas de *Spodoptera frugiperda*. En particular, se ha reportado que el aumento en el suministro de nitrógeno incrementa los niveles de la glutamina, la asparagina y otros aminoácidos en el maíz, y esto podría favorecer el desarrollo y la alimentación de esta plaga (Pavlík et al., 2010). Sin embargo, cuando se implementa un control químico efectivo, este beneficio nutricional potencial para la plaga deja de traducirse en mayores niveles de infestación.

La incidencia de *S. frugiperda* estuvo influenciada de manera independiente por la fertilización nitrogenada y el manejo fitosanitario, no hubo evidencia de una interacción significativa entre ambos factores. Desde una perspectiva descriptiva, en ausencia de aplicación de insecticida las dosis más altas de nitrógeno se asociaron con mayores niveles de incidencia, posiblemente debido a una mejora en la calidad nutricional del tejido vegetal para las larvas. En contraste, cuando se aplicó insecticida, la incidencia se mantuvo baja en todas las dosis de nitrógeno evaluadas.

Desde una perspectiva agronómica, estos hallazgos sugieren que la fertilización nitrogenada puede incrementar simultáneamente el potencial productivo del cultivo y la calidad nutricional del hospedero para la plaga, generando un *trade-off* entre crecimiento vegetal y susceptibilidad al ataque de insectos cuando no se implementan medidas adecuadas de manejo fitosanitario. Sin embargo, los resultados obtenidos no permiten afirmar que exista una interacción entre fertilización nitrogenada y manejo fitosanitario; pero sí se evidencia que ambos factores influyeron sobre la incidencia de *S. frugiperda* de manera independiente. En consecuencia, los resultados evidencian la necesidad de integrar estrategias de nutrición y control fitosanitario dentro de programas de manejo integrado de plagas que permitan optimizar la productividad del cultivo de maíz sin incrementar el riesgo de infestación por *S. frugiperda* (Ngegba et al., 2025; Singh et al., 2021).

4.4. Porcentaje de Severidad de *Spodoptera frugiperda*

La severidad del daño causado por *Spodoptera frugiperda* fue analizada mediante regresión beta. En el modelo factorial completo, la interacción manejo fitosanitario × dosis de nitrógeno no fue significativa ($\chi^2 = 1,048$; gl = 4; p = 0,903). Por lo tanto, el efecto de la dosis de nitrógeno sobre la severidad no dependió estadísticamente del tipo de manejo fitosanitario aplicado. Debido a la falta de interacción significativa, se ajustó un modelo aditivo donde fueron considerados el bloque, manejo fitosanitario y dosis de nitrógeno como efectos principales.

De acuerdo con el modelo aditivo, el bloque no presentó un efecto significativo sobre la severidad de la plaga ($\chi^2 = 2,619$; gl = 2; p = 0,270), por otra parte, el manejo fitosanitario mostró un efecto significativo sobre la severidad de *S. frugiperda* ($\chi^2 = 7,162$; gl = 1; p = 0,007), mostrando diferencias entre las parcelas que recibieron y que no recibieron la aplicación de insecticida. En cuanto a la dosis de nitrógeno no presentó un efecto general significativo sobre la severidad ($\chi^2 = 6,493$; gl = 4; p = 0,165), mostrando que, considerando todas las dosis evaluadas, no hubo evidencia estadística suficiente para mencionar que la severidad varió de manera consistente en función de la fertilización nitrogenada. Las medias obtenidas por el modelo beta mostraron menor severidad en las parcelas en donde se realizó la aplicación de insecticida. El promedio obtenido bajo el manejo con insecticida fue de 6,64 %, (IC 95 %: 4,69 % - 8,60 %). Para las parcelas en donde no se realizó la aplicación de insecticida, la severidad estimada fue de 11,23 %,

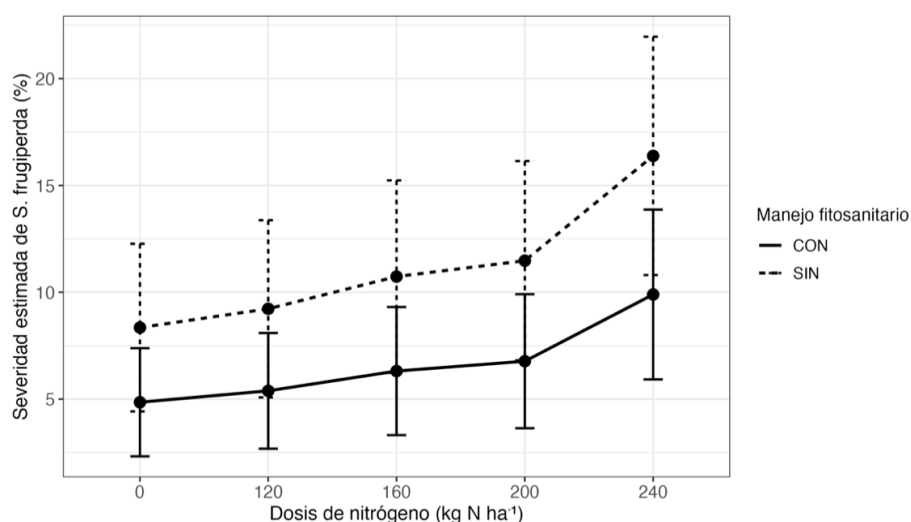
(IC 95 %: 8,70 % - 13,80 %). La comparación entre ambos manejos confirmó diferencias significativas, con menos severidad en las parcelas tratadas con insecticida.

Con respecto a las dosis de nitrógeno, las medias estimadas fueron mayores cuando aumentó la dosis aplicada. La severidad estimada fue de 6,60 % cuando no se colocó Nitrógeno (0 kg N ha⁻¹), 7,31 % al aplicar 120 kg N ha⁻¹, 8,52 % al colocar 160 kg N ha⁻¹, 9,13 % al aplicar 200 kg N ha⁻¹ y alcanzó 13,14 % cuando se aplicó 240 kg N ha⁻¹. Sin embargo, las comparaciones múltiples de Tukey no mostraron diferencias significativas para el parámetro dosis.

En este estudio, al observar estimaciones por combinación de manejo y dosis, las parcelas en las que se aplicó insecticida presentaron una severidad estimada entre 4,85 % y 9,90 %, mientras que las parcelas sin la aplicación de insecticida mostraron valores entre el 8,35 % y 16,38 %. La mayor severidad estimada fue para el tratamiento en donde no se utilizó insecticida con 240 kg N ha⁻¹, con un 16,38 % (IC 95 %: 10,80 % - 21,96 %). Sin embargo, dado que la interacción manejo × nitrógeno no fue significativa, no existe evidencia suficiente para indicar que el efecto de las diferentes dosis de nitrógeno sea dependiente del manejo fitosanitario.

Figura 5

Severidad estimada de *Spodoptera frugiperda* según dosis de nitrógeno y manejo fitosanitario



Nota. Los puntos representan la severidad estimada de *Spodoptera frugiperda* obtenida mediante un modelo de regresión beta. Las barras de error corresponden a los intervalos de confianza al 95 %. Las líneas muestran la tendencia de la severidad en función de la dosis de nitrógeno para cada condición de manejo fitosanitario. SIN = sin aplicación de insecticida; CON = con aplicación de insecticida.

La severidad del daño ocasionado por *S. frugiperda* puede depender tanto de factores agronómicos como del estado fenológico del cultivo (Mathyam et al., 2024). Sin embargo, bajo las condiciones del presente estudio, el manejo fitosanitario fue el principal factor asociado con la reducción del daño foliar.

Aunque Zhang et al. (2024) reportaron una asociación entre mayores niveles de nitrógeno y un incremento del daño foliar, en las condiciones evaluadas en este estudio dicho efecto no fue estadísticamente significativo. La ausencia de un efecto significativo de la fertilización nitrogenada en este estudio podría estar relacionada con las condiciones experimentales, el manejo fitosanitario implementado o las características propias del sistema de producción evaluado.

Los resultados sugieren que la fertilización nitrogenada influyó principalmente en la probabilidad de infestación por *S. frugiperda*, pero no en la severidad del daño ocasionado una vez establecida la plaga. En contraste, el uso de insecticida redujo tanto la incidencia como la severidad, evidenciando su efectividad para limitar el impacto de la plaga sobre el cultivo.

A diferencia de la incidencia, donde la respuesta dependió tanto de la fertilización nitrogenada como del manejo fitosanitario, la severidad estuvo determinada principalmente por el manejo fitosanitario. En este estudio no se puede afirmar que el efecto de la dosis de nitrógeno aplicada depende de la aplicación o ausencia de insecticida.

Estos resultados evidencian que, bajo las condiciones del presente estudio, el manejo fitosanitario fue el principal determinante de la severidad del daño causado por *S. frugiperda*. Desde una perspectiva agronómica, ello resalta la importancia de implementar estrategias oportunas de control dentro de programas de manejo integrado de plagas, ya que la aplicación de insecticida permitió reducir el daño foliar independientemente de la dosis de nitrógeno utilizada.

Por lo tanto, aunque la fertilización nitrogenada podría alterar la calidad nutricional del cultivo favoreciendo la presencia de la plaga, el nivel de daño foliar dependió más de la eficacia del manejo fitosanitario que de la dosis de nitrógeno.

4.5. Rendimiento del cultivo de maíz

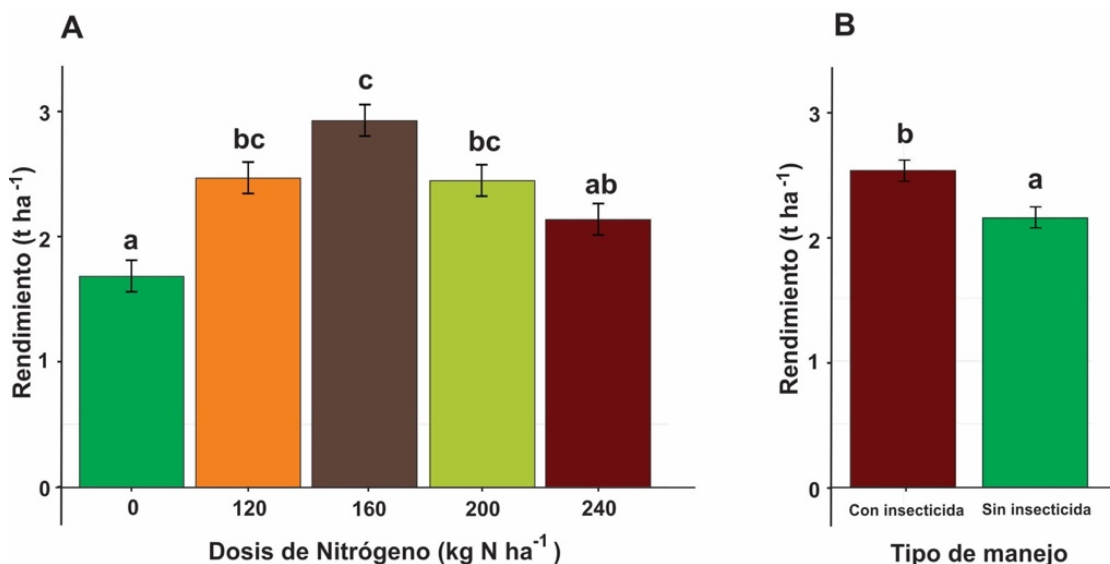
Para la variable rendimiento del cultivo de maíz, se observaron efectos significativos del manejo fitosanitario ($F_{1,20} = 11,684$; $p = 0,003$) y de la dosis de

nitrógeno ($F_{4,20} = 14,126$; $p < 0,001$). En contraste, la interacción manejo fitosanitario $\times$ dosis de nitrógeno no fue significativa ($F_{4,20} = 2,093$; $p = 0,120$). Estos resultados indican que tanto la aplicación de insecticida como la fertilización nitrogenada influyeron significativamente sobre el rendimiento del cultivo de maíz, pero sus efectos fueron independientes, debido a la ausencia de una interacción significativa entre ambos factores.

El rendimiento del cultivo aumentó significativamente con la aplicación de nitrógeno, alcanzando el valor máximo con la dosis de 160 kg N ha^{-1} ($2,93 \text{ t ha}^{-1}$). Las dosis de 120 y 200 kg N ha^{-1} obtuvieron rendimientos intermedios y estadísticamente similares, mientras que el menor rendimiento se obtuvo en ausencia de fertilización nitrogenada ($1,70 \text{ t ha}^{-1}$). Por otra parte, los tratamientos con aplicación de insecticida alcanzaron un rendimiento promedio superior ($2,54 \text{ t ha}^{-1}$) en comparación con aquellos sin control químico ($2,18 \text{ t ha}^{-1}$) (Figura 6 A,B).

Figura 6

Rendimiento de parcelas de maíz expuestas a diferentes dosis de nitrógeno (A) y tipo de manejo fitosanitario (B)



Nota. Letras diferentes sobre las barras indican diferencias significativas entre tratamientos según la prueba de Tukey ($\alpha = 0,05$).

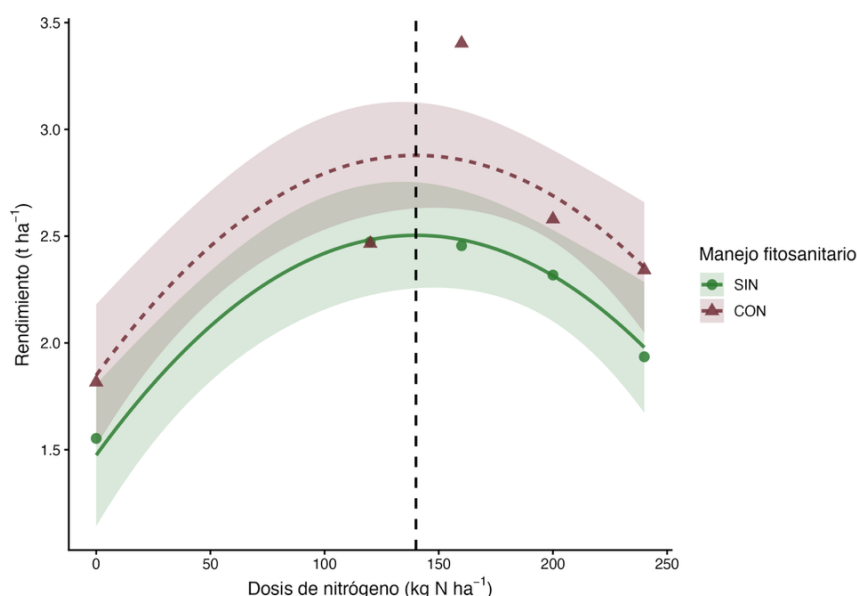
El análisis de tendencia polinómica mediante un modelo lineal mixto de la respuesta a la dosis de nitrógeno indicó que la fertilización nitrogenada presentaba una respuesta cuadrática en la fertilización expresando el rendimiento. La incorporación del término cuadrático mejoró significativamente el ajuste respecto al modelo lineal ($\chi^2 =$

20,03; $p < 0,001$). El AIC fue considerado para la selección de los modelos. El mayor rendimiento observado entre las dosis experimentales se obtuvo con 160 kg N ha^{-1} , alcanzando $2,93 \text{ t ha}^{-1}$. Sin embargo, el análisis de tendencia evidenció una respuesta cuadrática del rendimiento a la fertilización nitrogenada. A partir de la función cuadrática ajustada, se estimó que la máxima respuesta agronómica se alcanzaría aproximadamente con 140 kg N ha^{-1} .

. Los resultados evidencian que este tipo de respuesta al rendimiento en función de la fertilización nitrogenada no es lineal incrementándose inicial y posteriormente decreciendo al superar el punto de máximo valor de respuesta (Figura 7).

Figura 7

Curvas de respuesta del rendimiento de maíz a diferentes dosis de nitrógeno según manejo fitosanitario



Nota. Los puntos representan los rendimientos medios observados para cada dosis de nitrógeno y condición de manejo fitosanitario. Las líneas corresponden a las curvas estimadas mediante el modelo de regresión cuadrática y las áreas sombreadas representan los intervalos de confianza del 95 %. La línea vertical discontinua indica la dosis estimada de máxima respuesta agronómica. SIN = sin aplicación de insecticida; CON = con aplicación de insecticida.

Diversas investigaciones han indicado que la fertilización con nitrógeno, efectuada con dosis adecuadas, incrementa el rendimiento del maíz. Así, por ejemplo, Ali et al. (2006) informaron aumentos desde 2 hasta 8 veces el rendimiento con niveles de

nitrógeno que alcanzaron hasta 250 kg ha⁻¹ con respecto a aquellos tratamientos sin este nutriente. Del mismo modo, Liu et al. (2021, 2022) concluyeron que dosis óptimas de nitrógeno que alcanzaran entre 200 y 300 kg ha⁻¹ incrementaron el crecimiento de la planta, la capacidad fotosintética y el rendimiento de grano, aunque la respuesta a dosis superiores a 200 kg ha⁻¹ presentaron retornos decrecientes.

En el presente trabajo la fertilización con nitrógeno incrementó, de forma significativa, el rendimiento del cultivo respecto del tratamiento sin fertilización. No obstante, la respuesta no fue lineal con relación al aumento de dosis, es decir, el rendimiento más alto se obtuvo con 160 kg N ha⁻¹, donde dosis superiores no aportaron mucho más rendimiento y, de hecho, se observó la reducción del rendimiento. Este tipo de respuesta refleja una respuesta no lineal en la fertilización con nitrógeno del maíz, en las condiciones del experimento.

La respuesta observada puede interpretarse desde la perspectiva de la eficiencia en el uso del nitrógeno, según la cual incrementos sucesivos en la fertilización no necesariamente generan aumentos proporcionales en el rendimiento debido a la acción de otros factores limitantes, como las condiciones edafoclimáticas, la disponibilidad de otros nutrientes, el material genético y las prácticas de manejo agronómico (Cassman et al., 2002; Ciampitti y Vyn, 2012). En este sentido, a diferencia de Y. Jiang et al. (2024), quienes reportaron dosis óptimas entre 175 y 225 kg N ha⁻¹, en el presente estudio el mayor rendimiento se obtuvo con 160 kg N ha⁻¹.

El tipo de manejo fitosanitario también afectó el rendimiento del maíz; esto sugiere que la aplicación del insecticida para el control de *S. frugiperda* contribuyó a disminuir el efecto de la plaga, favoreciendo así una mayor expresión del potencial productivo. Sin embargo, debe priorizarse un uso sustentado de insecticidas a partir del monitoreo de la plaga a controlar y de los niveles de daño establecidos, evitando aplicaciones de uso indiscriminado que puedan dar lugar a riesgos ambientales, económicos o de resistencia.

Los resultados indican que la fertilización nitrogenada y el manejo fitosanitario actuaron de manera independiente sobre el rendimiento del cultivo. Mientras la fertilización nitrogenada estuvo asociada con la respuesta de la altura de manera dependiente de la etapa fenológica y la producción de grano, el manejo fitosanitario redujo el impacto de *S. frugiperda*. Aunque las dosis altas de nitrógeno incrementaron la

incidencia de la plaga en ausencia de insecticida, este efecto no se tradujo en un aumento de la severidad del daño ni modificó la respuesta final del rendimiento.

Finalmente, la fertilización nitrogenada y el manejo fitosanitario constituyen prácticas complementarias dentro del sistema de producción de maíz, ya que ambas contribuyeron a incrementar el rendimiento mediante mecanismos diferentes. La fertilización optimizó el crecimiento y la productividad del cultivo, mientras que el manejo fitosanitario limitó el impacto de *S. frugiperda*. La ausencia de interacción significativa sobre el rendimiento indica que los beneficios de ambas prácticas fueron principalmente independientes bajo las condiciones del presente estudio, resaltando la importancia de integrarlas dentro de un manejo agronómico sostenible.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

- La altura de la planta y el diámetro del tallo de maíz estuvieron determinados principalmente por el avance en el desarrollo fenológico del cultivo entre las etapas V5, V7 y V12. En el modelo lineal mixto para la variable altura, se obtuvo que la etapa fenológica y el manejo fitosanitario presentaron un efecto significativo, además se observó una interacción significativa entre la etapa fenológica y el manejo fitosanitario; y entre la etapa fenológica y la dosis de nitrógeno. Sin embargo, la dosis de nitrógeno no mostró un efecto general significativo sobre la altura de la planta. En el caso del diámetro del tallo, únicamente la etapa fenológica del cultivo mostró un efecto significativo, sin efectos significativos en el manejo fitosanitario, la dosis de nitrógeno o sus interacciones.
- La incidencia de *Spodoptera frugiperda* fue influenciada por la fertilización nitrogenada y el manejo fitosanitario como principales efectos; sin embargo, la interacción manejo fitosanitario $\times$ dosis de nitrógeno no fue significativa. Como consecuencia, no se puede afirmar que el efecto del nitrógeno sobre la incidencia depende estadísticamente del tipo de manejo aplicado. Sin embargo, descriptivamente, las mayores incidencias fueron registradas en las parcelas sin aplicación de insecticida y con dosis altas de nitrógeno (200 y 240 kg N ha⁻¹), mientras que la aplicación de insecticida mantuvo menores niveles de infestación de *S. frugiperda*.
- La severidad del daño causado por *S. frugiperda* estuvo determinada principalmente por el manejo fitosanitario. La aplicación del insecticida clorantraniliprol + lambda-cihalotrina redujo significativamente la severidad del daño foliar, mientras que la dosis de nitrógeno y la interacción manejo fitosanitario $\times$ dosis de nitrógeno no presentaron efectos significativos sobre esta variable. Por lo tanto, la severidad estuvo determinada por la eficacia del control fitosanitario que por la fertilización nitrogenada.
- Bajo las condiciones agroecológicas del cantón Mocache, el rendimiento del cultivo respondió de manera independiente a la fertilización nitrogenada y al manejo fitosanitario. El mayor rendimiento se alcanzó con 160 kg N ha⁻¹, evidenciando que

incrementos adicionales en la dosis de nitrógeno no generaron aumentos proporcionales del rendimiento bajo las condiciones del experimento.

- La fertilización nitrogenada y el manejo fitosanitario presentaron efectos diferenciados sobre las variables evaluadas. La fertilización nitrogenada estuvo asociada con la incidencia de la plaga, la respuesta de la altura dependiente de la etapa fenológica y el rendimiento, mientras que el manejo fitosanitario redujo significativamente la incidencia y severidad de *S. frugiperda* y favoreció el rendimiento. No se encontró evidencia estadística de interacción entre ambos factores para incidencia, severidad y rendimiento.
- Desde el enfoque metodológico, los modelos estadísticos utilizados permitieron ajustar el análisis a la naturaleza de cada variable evaluada. Los modelos lineales mixtos fueron adecuados para las variables de altura de planta, diámetro del tallo de las plantas de maíz por tratarse de mediciones repetidas en el tiempo y rendimiento (LMM). El modelo lineal generalizado (GLM) binomial fue apropiado para la variable de incidencia, al analizar conteos proporcionales de plantas infestadas y sanas; y el uso de la regresión beta permitió modelar adecuadamente la variable de severidad de daño de *S. frugiperda*.

Recomendaciones

- Bajo las condiciones agroecológicas evaluadas en el cantón Mocache, se recomienda utilizar una dosis cercana a 160 kg N ha^{-1} como referencia para el manejo de la fertilización nitrogenada, evitando incrementos superiores mientras no existan análisis de suelo o criterios técnicos que los justifiquen, ya que dosis mayores no generaron beneficios adicionales al rendimiento.
- Fortalecer programas de monitoreo periódico de *Spodoptera frugiperda* y realizar aplicaciones de insecticidas únicamente cuando la incidencia de la plaga alcance los umbrales de intervención establecidos, con el fin de mejorar la eficiencia del control y reducir aplicaciones innecesarias.
- Desarrollar investigaciones que evalúen los mecanismos fisiológicos mediante los cuales la fertilización nitrogenada modifica la incidencia de *Spodoptera frugiperda*, especialmente durante las primeras etapas del desarrollo del cultivo.
- Evaluar diferentes fuentes, dosis y momentos de aplicación de nitrógeno para determinar estrategias de fertilización que maximicen el rendimiento del cultivo sin favorecer el incremento de la incidencia de *S. frugiperda*, incluyendo la evaluación de la eficiencia de uso del nitrógeno bajo diferentes condiciones agroecológicas.
- Promover estrategias de manejo integrado que articulen la fertilización nitrogenada con el monitoreo fitosanitario del cultivo, evitando que incrementos en la disponibilidad de nitrógeno favorezcan el establecimiento de *S. frugiperda* cuando no se implementen medidas oportunas de control.
- Realizar estudios de validación económica que comparen los costos de fertilización nitrogenada y manejo fitosanitario con los incrementos obtenidos en rendimiento, a fin de generar recomendaciones técnicamente viables y económicamente rentables para los productores de maíz.
- Para futuras investigaciones, se recomienda utilizar modelos estadísticos acordes con la naturaleza de los datos. La incidencia debe analizarse como conteos proporcionales mediante GLM binomial o quasibinomial, la variable severidad mediante regresión beta cuando se exprese como índice continuo entre 0 y 1. Asimismo, en variables con medidas tomadas en diferentes etapas fenológicas, como la altura de la planta y diámetro del tallo, se recomienda emplear modelos lineales mixtos para medidas repetidas.

REFERENCIAS

- Abbas, A., Ullah, F., Hafeez, M., Han, X., Dara, M. Z. N., Gul, H., y Zhao, C. R. (2022). Biological control of fall armyworm, *Spodoptera frugiperda*. *Agronomy*, 12(11). <https://doi.org/10.3390/agronomy12112704>
- Abro, Z., Kimathi, E., De Groote, H., Tefera, T., Sevgan, S., Niassy, S., y Kassie, M. (2021). Socioeconomic and health impacts of fall armyworm in Ethiopia. *PLOS ONE*, 16(11), Article e0257736. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0257736>
- Abrol, V., Sharma, P., Chary, G. R., Srinivasarao, Ch., Maruthi Sankar, G. R., Singh, B., Kumar, A., Hashem, A., Ibrahimova, U., Abd-Allah, E. F., y Kumar, M. (2024). Integrated organic and mineral fertilizer strategies for achieving sustainable maize yield and soil quality in dry sub-humid inceptisols. *Scientific Reports*, 14, Article 27227. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-74727-4>
- Agbodzavu, K. M., Nanga Nanga, S., Abang, A. F., Fotso-Kuate, A., Bamba, Z., Masso, C., y Fiaboe, K. K. M. (2024). Impact of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) on maize yield in humid tropical zones of Central Africa. *Journal of Economic Entomology*, 117(4), 1588–1605. <https://doi.org/10.1093/jee/toae102>
- Agencia Ecuatoriana de Aseguramiento de la Calidad del Agro [AGROCALIDAD]. (2009). *Resolución No. 108: Guía general de carácter voluntario referente a la certificación de buenas prácticas agrícolas (BPA)*. Registro Oficial Suplemento No. 90, 17 de diciembre de 2009.
- Ahmad, I., Khokale, R., y Gongal, N. (2026). Performance assessment of linear regression for crop yield prediction in comparison with contemporary models. *Bulletin of Electrical Engineering and Informatics*, 15(4). <https://doi.org/10.11591/eei.v15i4.11298>
- Akhtar, K., Ain, N. U., Prasad, P. V. V., Naz, M., Aslam, M. M., Djalovic, I., Riaz, M., Ahmad, S., Varshney, R. K., He, B., y Wen, R. (2024). Physiological, molecular, and environmental insights into plant nitrogen uptake, and metabolism under abiotic stresses. *The Plant Genome*, 17(2), Article e20461. <https://doi.org/10.1002/tpg2.20461>
- Alarcón, N. E. M., Menéndez, J. D. P., Chancay, M. D. C. A., Vélez, M. K. F., y Villacis, E. C. A. (2016). Fertilización del híbrido experimental de maíz INIAP H-603, con base en la eficiencia agronómica del nitrógeno. *Revista ESPAMCIENCIA*, 7(2), 109–116.

- Albarenque, S., Basso, B., Davidson, O., Maestrini, B., y Melchiori, R. (2023). Plant emergence and maize (*Zea mays* L.) yield across multiple farmers' fields. *Field Crops Research*, 302, Article 109090. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2023.109090>
- Ali, A. I., Jiang, N., Schulthess, F., Ogol, C. K. P. O., y Omwega, C. O. (2006). Effect of nitrogen fertilizer level on infestations of lepidopterous stemborers and yields of maize in Zanzibar. *Annales de La Societe Entomologique de France*, 42(3–4), 481–486. <https://doi.org/10.1080/00379271.2006.10697482>
- Altaf, N., Idrees, A., Ullah, M. I., Arshad, M., Afzal, A., Afzal, M., Rizwan, M., y Li, J. (2022). Biotic potential induced by different host plants in the fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae). *Insects*, 13(10). <https://doi.org/10.3390/insects13100921>
- Apriyani, S., Wahyuni, S., Harsanti, E. S., Zu'Amah, H., Kartikawati, R., y Sutriadi, M. T. (2021). Effect of inorganic fertilizer and farmyard manure to available P, growth and rice yield in rainfed lowland Central Java. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 648(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/648/1/012190>
- Athar, H. R., Bhatti, A. R., Bashir, N., Zafar, Z. U., y Farooq, A. (2011). Modulating infestation rate of white fly (*Bemisia tabaci*) on okra (*Hibiscus esculentus* L.) by nitrogen application. *Acta Physiologiae Plantarum*, 33(3), 843–850. <https://doi.org/10.1007/s11738-010-0609-4>
- Athens, J. S., Ward, J. V., Pearsall, D. M., Chandler-Ezell, K., Blinn, D. W., y Morrison, A. E. (2016). Early prehistoric maize in Northern Highland Ecuador. *Latin American Antiquity*, 27(1), 3–21. <https://doi.org/10.7183/1045-6635.27.1.3>
- Bakry, M. M. S., y Abdel-Baky, N. F. (2024). Impact of the fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) infestation on maize growth characteristics and yield loss. *Brazilian Journal of Biology*, 84. <https://doi.org/10.1590/1519-6984.274602>
- Bakry, M. M. S., Maharani, Y., Al-Hoshani, N., y El Hadi Mohamed, R. A. (2023). Influence of maize planting methods and nitrogen fertilization rates on mealybug infestations, growth characteristics and eventual yield of maize. *International Journal of Agriculture and Biology*, 29(6), 401–409. <https://doi.org/10.17957/IJAB/15.2046>
- Balaout, I., Bojtor, C., Illés, A., Zelenák, A., Ocwa, A., y Széles, A. (2025). Analysis of the dry matter and essential nutrient accumulation of maize (*Zea mays* L.) in the

main phenophases. *Brazilian Journal of Biology*, 85.
<https://doi.org/10.1590/1519-6984.290013>

Barathi, S., Sabapathi, N., Kandasamy, S., y Lee, J. (2024). Present status of insecticide impacts and eco-friendly approaches for remediation-a review. *Environmental Research*. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2023.117432>

Basker, A., Thayumanavan, T., Arul, V., Radhakrishnan, K., Kumar, J. V., Ragulkumar, E., y Alam, M. W. (2025). Optimization of crystal violet adsorption using sulfuric acid activated kamugu nut shell carbon: a factorial design approach. *Biomass Conversion and Biorefinery*. <https://doi.org/10.1007/s13399-025-06878-x>

Beccaloni, G., Scoble, M., Kitching, I., Simonsen, T., Robinson, G., Pitkin, B., Hine, A., Lyal, C., Ollerenshaw, J., Wing, P., y Hobern, D. (2025). *Global Lepidoptera Index (version 1.1.25.217)*. <https://www.catalogueoflife.org/data/dataset/55434>

Blubaugh, C. K. (2023). An omnivore vigour hypothesis? Nutrient availability strengthens herbivore suppression by omnivores across 48 field sites. *Journal of Animal Ecology*, 92(3), 751–759. <https://doi.org/10.1111/1365-2656.13890>

Bolt, M. A., Beckerman, J. L., y Couture, J. J. (2021). Agronomic management of industrial hemp alters foliar traits and herbivore performance. *Arthropod-Plant Interactions*, 15(2), 137–151. <https://doi.org/10.1007/s11829-021-09803-x>

Cassman, K. G., Dobermann, A., y Walters, D. T. (2002). Agroecosystems, nitrogen-use efficiency, and nitrogen management. *Ambio*, 31(2), 132–140. <https://doi.org/10.1579/0044-7447-31.2.132>

Chan, C., Liao, Y.-Y., y Chiou, T.-J. (2021). The impact of phosphorus on plant immunity. *Plant and Cell Physiology*, 62(4), 582–589. <https://doi.org/10.1093/pcp/pcaa168>

Chen, Y., Cen, Y., Liu, Y., Peng, Y., Lin, Y., Feng, Q., Xiao, Y., y Zheng, S. (2025). P450 gene CYP321A8 is responsible for cross-resistance of insecticides in field populations of *Spodoptera frugiperda*. *Insect Science*, 32(1), 227–242. <https://doi.org/10.1111/1744-7917.13376>

Ciampitti, I. A., y Vyn, T. J. (2012). Physiological perspectives of changes over time in maize yield dependency on nitrogen uptake and associated nitrogen efficiencies. *Field Crops Research*, 133, 48–67. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2012.03.008>

- Colmenarez, Y. C., Babendreier, D., Ferrer Wurst, F. R., Vásquez-Freytez, C. L., y de Freitas Bueno, A. (2022). The use of *Telenomus remus* (Nixon, 1937) (Hymenoptera: Scelionidae) in the management of *Spodoptera spp.*: potential, challenges and major benefits. *CABI Agriculture and Bioscience*, 3(1). <https://doi.org/10.1186/s43170-021-00071-6>
- Constitución de la República del Ecuador, Registro Oficial No. 449 (2008). <https://www.asambleanacional.gob.ec/sites/default/files/private/asambleanacional/filesasambleanacionalnameuid-29/constitucion-republica-inc-sent-cc.pdf>
- Darghan, A. E., Reyes, G., Rivera, C. A., y Grisales, E. F. (2021). Effect of experimental blocking on the suppression of spatial dependence potentially attributable to physicochemical properties of soils. *Modelling and Simulation in Engineering*, 2021, Article 3322074. <https://doi.org/10.1155/2021/3322074>
- Dawit, M., y Habte, A. (2023). Yield and profitability of sweet potato (*Ipomoea batatas* (L.) Lam) as a function of increasing levels of phosphorus and varieties in Southern Ethiopia. *Applied and Environmental Soil Science*, 2023, Article 2716227. <https://doi.org/10.1155/2023/2716227>
- Delgado, L. D., Nunez-Pascual, V., Riveras, E., Ruffel, S., y Gutiérrez, R. A. (2024). Recent advances in local and systemic nitrate signaling in *Arabidopsis thaliana*. *Current Opinion in Plant Biology*, 81, Article 102605. <https://doi.org/10.1016/j.pbi.2024.102605>
- Deribe, H. (2024). Review on effects of drought stress on maize growth, yield and its management strategies. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 56(1), 123–143. <https://doi.org/10.1080/00103624.2024.2404663>
- Dhankhar, N., y Kumar, J. (2023). Impact of increasing pesticides and fertilizers on human health: A review. *Materials Today: Proceedings*. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2023.03.766>
- Djalovic, I., Prasad, P. V. V., Akhtar, K., Paunović, A., Riaz, M., Dugalic, M., Katanski, S., y Zaheer, S. (2024). Nitrogen fertilization and cultivar interactions determine maize yield and grain mineral composition in calcareous soil under semiarid conditions. *Plants*, 13(6). <https://doi.org/10.3390/plants13060844>
- do Nascimento, J., Cristina Goncalves, K., Pinto Dias, N., Luiz de Oliveira, J., Bravo, A., y Antonio Polanczyk, R. (2022). Adoption of *Bacillus thuringiensis*-based biopesticides in agricultural systems and new approaches to improve their use in Brazil. *Biological Control*, 165. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2021.104792>

- Dordas, C. (2009). Role of nutrients in controlling plant diseases in sustainable agriculture: A review. In E. Lichtfouse, M. Navarrete, P. Debaeke, V. Souchère, y C. Alberola (Eds.), *Sustainable agriculture* (pp. 443–460). Springer. https://doi.org/10.1007/978-90-481-2666-8_28
- Duan, M., Zhang, B., Wei, Z., y Zhang, S. (2022). Effects of different nitrogen application rates on morphological indices of maize organs and quantitative simulation. *Nongye Jixie Xuebao/Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 53(10), 284–292. <https://doi.org/10.6041/j.issn.1000-1298.2022.10.031>
- Dunn, P. K. (2022). Generalized linear models. In R. J. Tierney, F. Rizvi, y K. Ercikan (Eds.), *International encyclopedia of education* (4th ed.). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818630-5.10077-6>
- Escudero, L., Delgado, J. A., Monar, C., Valverde, F., Barrera, V., y Alwang, J. (2014). A new nitrogen index for assessment of nitrogen management of andean mountain cropping systems of ecuador. *Soil Science*, 179(3), 130–140. <https://doi.org/10.1097/SS.0000000000000052>
- Fan, P., Ming, B., Anten, N. P. R., Evers, J. B., Li, Y., Li, S., y Xie, R. (2022). Plastic response of leaf traits to N deficiency in field-grown maize. *AoB PLANTS*, 14(6). <https://doi.org/10.1093/aobpla/plac053>
- Fernandes, E., Medeiros, F., y Bourguignon, M. (2026). On parametric modal beta regression model. *Revista Colombiana de Estadística*, 49(1), 33–63. <https://doi.org/10.15446/rce.v49n1.118686>
- Ferreira, A. C. M., Souza, H. A. D., Sagrilo, E., Barbosa da Silva Júnior, G., Natale, W., Sobral, A. H. S., Vera, G. D. S., y Borges dos Santos, S. F. D. C. (2024). Absorption, partitioning, and export of nutrients by phenological stage in maize cultivated in Eastern Maranhão, Brazil. *Journal of Plant Nutrition*, 47(2), 240–256. <https://doi.org/10.1080/01904167.2023.2275072>
- Friedrich, S., Konietzschke, F., y Pauly, M. (2017). GFD: An R package for the analysis of general factorial designs. *Journal of Statistical Software*, 79. <https://doi.org/10.18637/jss.v079.c01>
- Gaikpa, D. S., Opata, J., y Mpanga, I. K. (2022). Towards sustainable maize production: understanding the morpho-physiological, genetics, and molecular mechanisms for tolerance to low soil nitrogen, phosphorus, and potassium. *Stresses*, 2(4), 395–404. <https://doi.org/10.3390/stresses2040028>

- Gars, J., Fishman, R., Kishore, A., Rothler, Y., y Ward, P. S. (2025). Confidence and information usage: Evidence from soil testing in India. *American Journal of Agricultural Economics*. <https://doi.org/10.1111/ajae.12513>
- Gaytancıoğlu, O., y Yılmaz, F. (2024). Sustainable paddy farming in edirne: evaluating the impacts of excessive fertilizer and pesticide use. *Sustainability (Switzerland)*, 16(17). <https://doi.org/10.3390/su16177814>
- Gheith, E. M. S., El-Badry, O. Z., Lamlom, S. F., Ali, H. M., Siddiqui, M. H., Ghareeb, R. Y., El-Sheikh, M. H., Jebril, J., Abdelsalam, N. R., y Kandil, E. E. (2022). Maize (*Zea mays* L.) productivity and nitrogen use efficiency in response to nitrogen application levels and time. *Frontiers in Plant Science*, 13, 941343. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.941343>
- Ginting, S., Sunardi, T., Sari, C. B., y Wibowo, R. H. (2021). Evaluation of various natural diets for mass rearing of *Spodoptera frugiperda* J.E. Smith (LEPIDOPTERA: NOCTUIDAE). *Journal of Tropical Plant Pests and Diseases*, 21(1), 43–48. <https://doi.org/10.23960/jhptt.12143-48>
- Gómez-Ramírez, L. F., Sierra-Baquero, P. V., Fuentes-Cassiani, D., y Rubiano-Rodríguez, J. A. (2023). Quimigación y bio-irrigación con pivote central para el control de *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith, 1797) (Lepidoptera: Noctuidae) en maíz en el Caribe seco colombiano. *Revista Chilena de Entomología*, 49(1), 197–212.
- Gómez-Valderrama, J., Cuartas-Otálora, P., Espinel-Correal, C., Barrera-Cubillos, G., y Villamizar-Rivero, L. (2022). Fungal and viral entomopathogens as a combined strategy for the biological control of fall armyworm larvae in maize. *CABI Agriculture and Bioscience*, 3(1). <https://doi.org/10.1186/s43170-022-00094-7>
- Gong, Z., Dong, J., Li, Y., Zhang, Z., Duan, Y., Jiang, Y., Miao, J., Li, T., Zhang, J., Li, H., Wang, X., Qin, Y., y Wu, Y. (2023). Life table study of *Spodoptera frugiperda* at different wheat stages and the effect of larval population density on wheat yield. *Pest Management Science*, 79(10), 4057–4065. <https://doi.org/10.1002/ps.7602>
- Gu, L., Mu, X., Qi, J., Tang, B., Zhen, W., y Xia, L. (2023). Nitrogen reduction combined with ETc irrigation maintained summer maize yield and increased water and nitrogen use efficiency. *Frontiers in Plant Science*, 14, Article 1180734. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1180734>
- Guera, O. G. M., Castrejón-Ayala, F., Robledo, N., Jiménez-Pérez, A., Sánchez-Rivera, G., Salazar-Marcial, L., y Flores Moctezuma, H. E. (2021). Effectiveness of push–

- pull systems to fall armyworm (*Spodoptera frugiperda*) management in maize crops in Morelos, Mexico. *Insects*, 12(4), Article 298. <https://doi.org/10.3390/insects12040298>
- Guillín, X., Carmigniani, J., Naranjo, J., y Zambrano, E. (2020). Evaluación socioeconómica de la producción de maíz en la zona norte de la provincia de Los Ríos. *Journal of Business and Entrepreneurial Studies*, 4. <https://doi.org/10.37956/jbes.v4i2.77>
- Hasang-Moran, E. S., García-Bendezú, S. J., Carrillo-Zenteno, M. D., Durango-Cabanilla, W. D., y Cobos-Mora, F. J. (2021). Sustentabilidad del sistema de producción del maíz, en la provincia de Los Ríos (Ecuador), bajo la metodología multicriterio de Sarandón. *Journal of the Selva Andina Biosphere*, 9(1), 26–40. <https://doi.org/10.36610/j.jsab.2021.090100026>
- Hruska, A. J. (2024). Fall armyworm (*Spodoptera frugiperda*) management by smallholders. In D. Hemming (Ed.), *Invasive species reviews: 2018–2024* (pp. 126–141). CABI International.
- Hu, M., Xue, H., Wade, A. J., Gao, N., Qiu, Z., Long, Y., y Shen, W. (2024). Biofertilizer supplements allow nitrogen fertilizer reduction, maintain yields, and reduce nitrogen losses to air and water in China paddy fields. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 362. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2023.108850>
- Hu, T., Zhang, X., Khanal, S., Wilson, R., Leng, G., Toman, E. M., Wang, X., Li, Y., y Zhao, K. (2024). Climate change impacts on crop yields: A review of empirical findings, statistical crop models, and machine learning methods. *Environmental Modelling y Software*, 179, Article 106119. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2024.106119>
- Instituto Nacional de Estadística y Censos [INEC]. (2025). *Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua (ESPAC) 2024: Presentación de resultados*.
- Jaraleño-Teniente, J., Refugio Lomeli-Flores, J., Rodríguez-Leyva, E., Bujanos-Muñiz, R., y Rodríguez-Rodríguez, S. E. (2021). Efficiency of three egg parasitoid species on fall armyworm (Lepidoptera: Noctuidae) in laboratory and field cages. *Journal of Entomological Science*, 56(4), 519–526. <https://doi.org/10.18474/JES20-78>
- Jiang, M., Dong, C., Bian, W., Zhang, W., y Wang, Y. (2024). Effects of different fertilization practices on maize yield, soil nutrients, soil moisture, and water use

efficiency in northern China based on a meta-analysis. *Scientific Reports*, 14, Article 6480. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-57031-z>

Jiang, Y., Li, H., Ma, W., Yu, W., Chen, J., Gao, Y., Qi, G., Yin, M., Kang, Y., Ma, Y., Wang, J., y Xu, L. (2024). A meta-analysis of the effects of nitrogen fertilizer application on maize (*Zea mays* L.) yield in Northwest China. *Frontiers in Plant Science*, 15. <https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1485237>

Kamath, V., Chavan, I., Maurya, Y., Varma, A., Phadke, G., y Das, S. (2024). Comparative analysis of CNN models for insect detection system. In M. Patil, V. Vyawahare, y G. Birajdar (Eds.), *Intelligent computing and big data analytics: First international conference, ICICBDA 2024, Navi Mumbai, India, June 15–16, 2024, proceedings, part I* (pp. 223–236). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-031-74682-6_15

Kinyungu, S. W., Agbessenou, A., Subramanian, S., Khamis, F. M., y Akutse, K. S. (2023). One stone for two birds: Endophytic fungi promote maize seedlings growth and negatively impact the life history parameters of the fall armyworm, *Spodoptera frugiperda*. *Frontiers in Physiology*, 14, Article 1253305. <https://doi.org/10.3389/fphys.2023.1253305>

Kokkilambigai, S., y Pachamuthu, M. (2025). Estimate missing value of randomized block design using variable control charts through response surface methodology. *Reliability: Theory & Applications*, 20(2), 736–749.

Laurent, A., Cleveringa, A., Fey, S., Kyveryga, P., Wiese, N., Lefebvre, M., Newville, D., Quinn, D., McGuire, J., Tao, H., Morris, T. F., y Miguez, F. E. (2023). Late-season corn stalk nitrate measurements across the US Midwest from 2006 to 2018. *Scientific Data*, 10, Article 192. <https://doi.org/10.1038/s41597-023-02071-9>

Leng, G. (2025). Global impact assessment of internal climate variability on maize yield under climate change. *Earth's Future*, 13, Article e2024EF004888. <https://doi.org/10.1029/2024EF004888>

Ley Orgánica del Régimen de la Soberanía Alimentaria, Registro Oficial Suplemento No. 583 (2009). <https://faolex.fao.org/docs/pdf/ecu88076.pdf>

Ley Orgánica de Sanidad Agropecuaria, Registro Oficial No. 27, Segundo Suplemento (2017). <https://www.asambleanacional.gob.ec/es/system/files/ro-san-agrop-ro27-2s-03-07-2017.pdf>

- Li, J., Cao, H., Li, S., Dong, X., Zhao, Z., Jia, Z., y Yuan, L. (2025). Genetic and molecular mechanisms underlying nitrogen use efficiency in maize. *Journal of Genetics and Genomics*, 52(3), 276–286. <https://doi.org/10.1016/j.jgg.2024.10.007>
- Li, Q., Yuan, J., Liu, Z., Qin, Y., Wang, M., Kong, L., Xu, C., y Yin, C. (2023). Comprehensive assessment of the agronomic, environmental and economic benefits effects of nitrogen fertigation management on maize in Northeast China. *Plant Production Science*, 26(4), 378–390. <https://doi.org/10.1080/1343943X.2023.2272341>
- Li, X., Jiang, H., Wu, J., Zheng, F., Xu, K., Lin, Y., Zhang, Z., y Xu, H. (2021). Drip application of chlorantraniliprole effectively controls invasive *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) and its distribution in maize in China. *Crop Protection*, 143. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2020.105474>
- Liu, L., y Berger, V. W. (2006). Randomized Block Design: Nonparametric Analyses. In *Encyclopedia of Statistics in Behavioral Science*: Everitt Behavioral (pp. 1–6). <https://doi.org/10.1002/0470013192.bsa534>
- Liu, X.-M., Gu, W.-R., Li, C.-F., Li, J., y Wei, S. (2021). Effects of nitrogen fertilizer and chemical regulation on spring maize lodging characteristics, grain filling and yield formation under high planting density in Heilongjiang Province, China. *Journal of Integrative Agriculture*, 20(2), 511–526. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(20\)63403-7](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(20)63403-7)
- Liu, X., Zhang, L., Yu, Y., Qian, C., Li, C., Wei, S., Li, C., y Gu, W. (2022). Nitrogen and chemical control management improve yield and quality in high-density planting of maize by promoting root-bleeding sap and nutrient absorption. *Frontiers in Plant Science*, 13. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.754232>
- Loha, G., Derese, M., y Gifole, G. (2023). Effect of blended nitrogen, phosphorus, sulfur, boron, and potassium fertilizer rates on growth and yield of maize (*Zea mays* L.) at Sodo Zuriya District, Southern Ethiopia. *Applied and Environmental Soil Science*, 2023, Article 4008326. <https://doi.org/10.1155/2023/4008326>
- Lu, H., Jin, B., Wang, G., Xu, H., Yan, Z., Gao, Y., Li, Y., Zhang, P., Hu, M., Guo, Y., Ren, B., Zhang, J., Liu, P., y Li, Z. (2024). Ecological factors regulate stalk lodging within dense planting maize. *Field Crops Research*, 319, Article 109638. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2024.109638>

- Marri, D., Mensah, S. A., Kotey, D. A., Abraham, J., Billah, M. K., y Osae, M. (2023). Basic developmental characteristics of the fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae), reared under laboratory conditions. *Psyche: Journal of Entomology*, 2023. <https://doi.org/10.1155/2023/6917316>
- Mason, C. J., Ray, S., Davidson-Lowe, E., Ali, J., Luthe, D. S., y Felton, G. W. (2022). Plant nutrition influences resistant maize defense responses to the fall armyworm (*Spodoptera frugiperda*). *Frontiers in Ecology and Evolution*, 10, Article 844274. <https://doi.org/10.3389/fevo.2022.844274>
- Mathyam, P., Kodigal A, G., Nakka, R. K., Merugu, T., Uppu, S. S., Golla, S. K., Gutti, S. S., Pebbeti, C., Adhikari, S., y Singh, V. K. (2024). Assessment of yield loss due to fall armyworm in maize using high-resolution multispectral spaceborne remote sensing. *International Journal of Remote Sensing*, 45(18), 6744–6758. <https://doi.org/10.1080/01431161.2024.2394233>
- Mergener, R. A., Sangoi, L., y Coelho, A. E. (2022). Productivity and profitability of maize as affected by nitrogen sources and rates. *Semina: Ciências Agrárias*, 43(4), 1457–1468. <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2022v43n4p1457>
- Moreno-Sotomayor, A., Purcell, L. C., y Roberts, T. L. (2022). A new perspective when examining maize fertilizer nitrogen use efficiency, incrementally. *PLOS ONE*, 17(5), Article e0267213. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0267213>
- Mthethwa, K. N., Ngidi, M. S. C., Ojo, T. O., y Hlatshwayo, S. I. (2022). The determinants of adoption and intensity of climate-smart agricultural practices among smallholder maize farmers. *Sustainability (Switzerland)*, 14(24). <https://doi.org/10.3390/su142416926>
- Naranjo, L. M. A., Alvarado, D. J. D., Morante, F. J. F., Ledesma, V. D. J. R., y Baren, J. M. T. (2024). Comercialización del maíz seco en la zona de Cantón Ventanas, provincia de Los Ríos, Ecuador. *Conocimiento Global*, 9(3), 299–309.
- Ndegwa, M. K., Shee, A., Turvey, C., y You, L. (2022). Sequenced crop evapotranspiration and water requirement in developing a multitrigger rainfall index insurance and risk-contingent credit. *Weather, Climate, and Society*, 14(1), 19–38. <https://doi.org/10.1175/WCAS-D-21-0071.1>
- Ngegba, P. M., Khalid, M. Z., Jiang, W., y Zhong, G. (2025). An overview of insecticide resistance mechanisms, challenges, and management strategies in *Spodoptera frugiperda*. *Crop Protection*, 197. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2025.107322>

- Nguyen, T. N. P., Serwaa, R. N., y Sung, J. (2025). Primary metabolic variations in maize plants affected by different levels of nitrogen supply. *Metabolites*, 15(8). <https://doi.org/10.3390/metabo15080519>
- Niu, S., Yu, L., Li, J., Qu, L., Wang, Z., Li, G., Guo, J., y Lu, D. (2024). Effect of high temperature on maize yield and grain components: A meta-analysis. *Science of the Total Environment*, 952, Article 175898. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.175898>
- Omar, S., Abd Ghani, R., Khaeim, H., Sghaier, A. H., y Jolánkai, M. (2022). The effect of nitrogen fertilization on yield and quality of maize (*Zea mays* L.). *Acta Alimentaria*, 51(2), 249–258. <https://doi.org/10.1556/066.2022.00022>
- Osman, M. M. A., Kuunya, R., Alrasheed, R., Tamás, A., Árpád, I., y Rátonyi, T. (2026). Impact of water stress on growth, physiology, and yield of maize (*Zea mays* L.): Bibliographic review. *International Journal of Plant Biology*, 17(3), 21. <https://doi.org/10.3390/ijpb17030021>
- Palomares-Pérez, M., Contreras-Bermúdez, Y., Grifaldo-Alcántara, P. F., Moreno-Carrillo, G., Pérez-Torres, A. C., Del Rosario Arias-Cortéz, M., y Sánchez-González, J. A. (2023). Biological parameters of *Spodoptera frugiperda* fed on three hosts; [Parámetros biológicos de *Spodoptera frugiperda* alimentado con tres hospederos]. *Southwestern Entomologist*, 47(4), 879 – 886. <https://doi.org/10.3958/059.047.0411>
- Pandita, D., Parthasarathy, S., Dhivyapriya, D., Premkumar, R., Pandita, A., y Wani, S. H. (2023). Genome diversity in maize. In S. H. Wani, Z. A. Dar, y G. P. Singh (Eds.), *Maize improvement: Current advances in yield, quality, and stress tolerance under changing climatic scenarios* (pp. 1–24). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-031-21640-4_1
- Pathak, R., Chandra, U., Kumar Singh, S., Kumar, P., Kumar Patel, P., y Kumar, A. (2024). Biology and morphometry of fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) on maize. *Journal of Experimental Zoology India*, 27(1), 927 – 931. <https://doi.org/10.51470/JEZ.2024.27.1.927>
- Patil, S. A., Kadam, D. R., Deshmukh, K. V., Bankar, D. R., y Parjane, N. V. (2024). Efficacy of ready-mix insecticides against fall army worm *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) on maize. *Indian Journal of Entomology*, 86(3), 931–933. <https://doi.org/10.55446/IJE.2024.1453>

- Pavan, J. S., Patel, N. B., Raghunandan, B. L., Baldaniya, A. M., y Bhatt, N. A. (2024). Comparative efficacy of nucleopolyhedrovirus (NPV) alone and in conjunction with chemical insecticides against fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Noctuidae: Lepidoptera) under laboratory conditions. *International Journal of Tropical Insect Science*, 44(3), 1475–1486. <https://doi.org/10.1007/s42690-024-01258-w>
- Pavlík, M., Pavlíková, D., Balík, J., y Neuberg, M. (2010). The contents of amino acids and sterols in maize plants growing under different nitrogen conditions. *Plant, Soil and Environment*, 56(3), 125–132. <https://doi.org/10.17221/214/2009-PSE>
- Pokhrel, A., Subedi, S., Katuwal, D. R., Adhikari, B. B., y Shrestha, A. (2024). Assessing the economic and energy use efficiencies of hybrid and inbred rice varieties through omission-plot technique in Lamjung, Nepal. *Heliyon*, 10(7), Article e28848. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e28848>
- Putra, I. L. I., y Mahdiana, L. F. (2024). Life cycle of *Spodoptera frugiperda* J. E. Smith fed with *Pennisetum purpureum* Schumacher and *Paspalum conjugatum* P. Bergius leaves. *BIO Web of Conferences*, 148. <https://doi.org/10.1051/bioconf/202414801005>
- Quandahor, P., Mahama, G. Y., Yahaya, I., Kusi, F., Yirzagla, J., Sugri, I., Alhassan, A. K., Dawuda, M. M., Azizi, A.-S., Tengey, T. K., Yahaya, A., Ogum, M. A., Combey, R., Kunlen, V., Nyuor, A. B., Aziiba, E. A., Hashim, I., Yakubu, R., y Jinbaani, A. N. (2023). Nitrogen fertilizer rates and pesticides interaction effect on maize and fall armyworm performance in northern Ghana. *OALib*, 10(09), 1–13. <https://doi.org/10.4236/oalib.1110632>
- Quiroga-Murcia, D. E., Lozoya-Saldaña, H., Zenner, I., Vargas-Hernández, M., Pineda-Pineda, J., Lagunes-Tejeda, Á., Sanabria-Velázquez, A. D., y Enciso-Maldonado, G. A. (2025). Impact of nitrogen fertilization on *Myzus persicae* (Hemiptera: Aphidae) and *Bactericera cockerelli* (Hemiptera: Triozidae) populations in potato. *American Journal of Potato Research*, 102(1), 84–92. <https://doi.org/10.1007/s12230-025-09982-w>
- Ramachandran, S., Renault, S., Markham, J., Verdugo, J., Albornoz, M., y Avila-Sakar, G. (2020). Lower nitrogen availability enhances resistance to whiteflies in tomato. *Plants*, 9(9), 1–19. <https://doi.org/10.3390/plants9091096>
- Reflinaldon, Fuada T.N., y Yaherwandi. (2024). Biology and demographic statistics of fall armyworm fed on corn leaves at the laboratory. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1346(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1346/1/012030>

- Remache, M., Carrillo, M., Mora, R., Durango, W., y Morales, F. (2017). Absorción de macronutrientes y eficiencia del N, en híbrido promisorio de maíz. Patricia Pilar, Ecuador. *Agronomía Costarricense*, 41(2), 103–115. <https://doi.org/10.15517/rac.v41i2.31303>
- Ren, L.-L., Hardy, G., Liu, Z.-D., Wei, W., y Dai, H.-G. (2013). Corn defense responses to nitrogen availability and subsequent performance and feeding preferences of beet armyworm (Lepidoptera: Noctuidae). *Journal of Economic Entomology*, 106(3), 1240–1249. <https://doi.org/10.1603/EC12091>
- Rout, R. K., Mahapatra, A., Shankar, T., Adhikari, R., Panda, M., y Sial, A. K. (2022). Growth and productivity of maize in response to straw mulch and nitrogen management. *Crop Research*, 57(3), 156–160. <https://doi.org/10.31830/2454-1761.2022.023>
- Ruiz-Sánchez, E., Caro-Heredia, J. A., Latournerie-Moreno, L., Ballina-Gómez, H. S., y Ruiz-Santiago, R. R. (2023). Evaluation of damage by *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) and characterization of the leaf morphological traits in landrace populations of maize (*Zea mays* L.). *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 26(2), Article 038. <https://doi.org/10.56369/tsaes.4550>
- Saaïd, A., Abdelgawad, K. F., Ahmed, M. M., Ali, R. F., y Ahmed, S. S. (2024). Foliar applications of potassium to control green bean pests and improve yield and quality under greenhouse conditions. *Arab Journal of Plant Protection*, 42(4), 497–510. <https://doi.org/10.22268/AJPP-001279>
- Sáez-Cigarruista, A., Morales-Guevara, D., Gordon-Mendoza, R., Jaén-Villarreal, J., Franco-Barrera, J., y Ramos-Manzané, F. (2024). Sensitivity of the corn (*Zea mays* L.) crop to different periods of controlled water deficit. *Agronomía Mesoamericana*, 35. <https://doi.org/10.15517/am.2024.55660>
- Safder, A., Bukero, A. A., Hyder, M., Rana, S., Sohail, A., Hanif, M., Shamshar, S. A., Imam, A., y Ramzan, M. (2024). Biology, ecology and ipm of fall army worm *Spodoptera frugiperda* (Smith): a review. *Indian Journal of Entomology*, 86(2), 663–667. <https://doi.org/10.55446/IJE.2023.1027>
- Sharma, N., Kumar, A., Farooq, F., Mecarty, J. S., Kumar, R., Sharma, V., Sharma, R., y Mehta, S. (2024). Nutrient management strategies for enhancing maize productivity in India: An Overview. *Maydica*, 67(2).
- Sileshi, A., Negeri, M., Selvaraj, T., y Abera, A. (2022). Determination of most effective insecticides against maize fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* in South

Western Ethiopia. *Cogent Food & Agriculture*, 8(1), Article 2079210. <https://doi.org/10.1080/23311932.2022.2079210>

Singh, A. K., Srivastava, A. K., Johri, P., Dwivedi, M., Kaushal, R. S., Trivedi, M., Upadhyay, T. K., Alabdallah, N. M., Ahmad, I., Saeed, M., y Lakhanpal, S. (2024). Odyssey of environmental and microbial interventions in maize crop improvement. *Frontiers in Plant Science*, 15. <https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1428475>

Singh, G., Waltz, F. C., y Joseph, S. v. (2021). Potassium and nitrogen impacts on survival and development of fall armyworm (Lepidoptera: Noctuidae). *Journal of Entomological Science*, 56(3), 411–423. <https://doi.org/10.18474/JES20-58>

Singh, S., y 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>

Soujanya, P. L., Sekhar, J. C., Yathish, K. R., Karjagi, C. G., Rao, K. S., Suby, S. B., Jat, S. L., Kumar, B., Kumar, K., Vadessery, J., Subaharan, K., Patil, J., Kalia, V. K., Dhandapani, A., y Rakshit, S. (2022). Leaf damage based phenotyping technique and its validation against fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith), in maize. *Frontiers in Plant Science*, 13, Article 906207. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.906207>

Srivastava, S., y Dahiya, S. (2026). A review paper on the study of deep learning and machine learning models used in forecasting Indian crop prices. In A. Swaroop, B. Virdee, S. D. Correia, y Z. Polkowski (Eds.), *Proceedings of data analytics and management: ICDAM 2025, Volume 8* (pp. 123–131). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-032-03740-4_12

Sule, M. I. S., Fitriatin, B. N., Siswanto, S. Y., y Nurbaity, A. (2025). Unraveling key determinants of corn productivity: A correlation study of soil chemistry, biology, and climate in Sumedang, West Java, Indonesia. *Asian Journal of Agriculture*, 9(1), 201–207. <https://doi.org/10.13057/asianjagric/g090121>

Sun, X., Ren, W., Wang, P., Chen, F., Yuan, L., Pan, Q., y Mi, G. (2021). Evaluation of maize root growth and genome-wide association studies of root traits in response to low nitrogen supply at seedling emergence. *Crop Journal*, 9(4), 794–804. <https://doi.org/10.1016/j.cj.2020.09.011>

Susanto, A., Setiawati, W., Muharam, A., Udiarto, B. K., Suganda, T., y Putri, S. N. S. (2024). Fitness and survival of the fall armyworm, *Spodoptera frugiperda*

- (Lepidoptera: Noctuidae) on maize in West Java, Indonesia. *Sains Malaysiana*, 53(9), 3085–3095. <https://doi.org/10.17576/jsm-2024-5309-14>
- Szulc, P., Bocianowski, J., y Rybus-Zajac, M. (2012). Response of nitrogen nutritional indices of maize leaves to different mineral-organic fertilization. *Maydica*, 57(3–4), 260–265.
- Tranel, E. (2024). Origin of yield gains in maize hybrids. *Natural Sciences Education*, 53(1). <https://doi.org/10.1002/nse2.20138>
- Utrera-Velázquez, A. I., y Jiménez Jerez, K. M. (2021). Revalorización de la chicha de maíz en la cocina étnica del pueblo Salasaka. Tungurahua, Ecuador. *Revista Universidad y Sociedad*, 13(3), 418–425.
- Vadez, V., Grondin, A., Chenu, K., Henry, A., Laplaze, L., Millet, E. J., y Carminati, A. (2024). Crop traits and production under drought. *Nature Reviews Earth & Environment*, 5, 211–225. <https://doi.org/10.1038/s43017-023-00514-w>
- Van Den Bergh, D., Van Doorn, J., Marsman, M., Draws, T., Van Kesteren, E. J., Derks, K., Dablander, F., Gronau, Q. F., Kucharský, Š., Gupta, A. R. K. N., Sarafoglou, A., Voelkel, J. G., Stefan, A., Ly, A., Hinne, M., Matzke, D., y Wagenmakers, E. J. (2020). A tutorial on conducting and interpreting a bayesian ANOVA in JASP. *Annee Psychologique*, 120(1), 73–96. <https://doi.org/10.3917/anpsy1.201.0073>
- Vélez, M., Betancourt, C., y Mendoza, J. (2021). Evaluation of different times application of Methomyl 90% insecticide for the control of the fall armyworm (*Spodoptera frugiperda*) in the maize crop. *Ciencias Agrarias / Agricultural Sciences Cienc Tecn UTEQ*, 14(2), 33–40. <https://doi.org/10.18779/cyt.v14i2.500/>
- Villwock, D., Hartung, J., Weinläder, H., y Müller-Lindenlauf, M. (2025). Maize–bean intercropping: N fertilization effects on yield, nitrate leaching and N fixation. *Agrosystems, Geosciences and Environment*, 8(1). <https://doi.org/10.1002/agg2.70071>
- Wahsh, A. M., Awadalla, S. S., El-Serfi, H. A. K., y El-Hariry, M. A. (2023). Influence of nitrogen fertilization levels on population of the piercing-sucking insect pests on cucumber crop. *Egyptian Journal of Chemistry*, 66(10), 145–148. <https://doi.org/10.21608/EJCHEM.2023.211681.7984>
- Wang, L., Zhou, H., y Fei, C. (2024). Substituting partial chemical nitrogen fertilizers with organic fertilizers maintains grain yield and increases nitrogen use efficiency

in maize. *Frontiers in Plant Science*, 15, Article 1442123. <https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1442123>

Wang, N., Ai, Z., Zhang, Q., Leng, P., Qiao, Y., Li, Z., Tian, C., Cheng, H., Chen, G., y Li, F. (2024). Impacts of nitrogen (N), phosphorus (P), and potassium (K) fertilizers on maize yields, nutrient use efficiency, and soil nutrient balance: Insights from a long-term diverse NPK omission experiment in the North China Plain. *Field Crops Research*, 318, Article 109616. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2024.109616>

Wang, P., He, P.-C., Hu, L., Chi, X.-L., Keller, M. A., y Chu, D. (2022). Host selection and adaptation of the invasive pest *Spodoptera frugiperda* to indica and japonica rice cultivars. *Entomologia Generalis*, 42(3), 403–411. <https://doi.org/10.1127/entomologia/2022/1330>

Wang, Q., Li, S., Li, J., y Huang, D. (2024). The utilization and roles of nitrogen in plants. *Forests*, 15(7). <https://doi.org/10.3390/f15071191>

Wang, W., Wang, X., Liao, H., Feng, Y., Guo, Y., Shu, Y., y Wang, J. (2022). Effects of nitrogen supply on induced defense in maize (*Zea mays*) against fall armyworm (*Spodoptera frugiperda*). *International Journal of Molecular Sciences*, 23(18). <https://doi.org/10.3390/ijms231810457>

Wang, X., Li, X., Gu, J., Shi, W., Zhao, H., Sun, C., y You, S. (2023). Drought and waterlogging status and dominant meteorological factors affecting maize (*Zea mays* L.) in different growth and development stages in Northeast China. *Agronomy*, 13(2). <https://doi.org/10.3390/agronomy13020374>

Wang, Y., Wang, N., Liu, S., Dong, A., Zenda, T., Liu, X., Li, J., y Duan, H. (2022). Comparative proteomic analysis of two contrasting maize hybrids' responses to low nitrogen stress at the twelve leaf stage and function verification of ZmTGA gene. *Genes*, 13(4). <https://doi.org/10.3390/genes13040670>

Wen, B., Xiao, W., Mu, Q., Li, D., Chen, X., Wu, H., Li, L., y Peng, F. (2020). How does nitrate regulate plant senescence? *Plant Physiology and Biochemistry*, 157, 60–69. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2020.08.041>

Winter, T. R., y Rostás, M. (2010). Nitrogen deficiency affects bottom-up cascade without disrupting indirect plant defense. *Journal of Chemical Ecology*, 36(6), 642–651. <https://doi.org/10.1007/s10886-010-9797-z>

- Xie, K., Xiong, K., Ma, D., Fan, H., Zhou, X., Wang, X., y He, H. (2023). Optimizing nitrogen, phosphorus, and potassium fertilization regimes to improve maize productivity under double ridge-furrow planting with full film mulching. *Agricultural Water Management*, 287, Article 108422. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2023.108422>
- Xu, F.-J., y Chang, H.-Q. (2022). Effects of sludge composting to replace nitrogen fertilizer on cinnamon soil fertility, yield and quality of wheat. *Journal of Ecology and Rural Environment*, 38(11), 1482–1490. <https://doi.org/10.19741/j.issn.1673-4831.2022.0633>
- Xu, L., Tong, Q., Xu, T., Bi, S., Hu, B., Yun, H., Hu, F., y Wang, Z. (2023). Effects of maize-soybean intercropping on the growth, development and reproduction of fall armyworm *Spodoptera frugiperda*. *Journal of Plant Protection*, (50), 642 –650. <https://doi.org/10.13802/j.cnki.zwbhxb.2023.2021203>
- Yaméogo, I. S., Latévi, K., Ouattara, D., Agboyi, L. K., Dabiré, R. A., Zallé, S., Kenis, M., Gnankiné, O., y Nacro, S. (2024). Level of damage and yield losses associated with the fall armyworm (*Spodoptera frugiperda*) on maize (*Zea mays*), millet (*Pennisetum glaucum*) and sorghum (*Sorghum bicolor*) on station in Burkina Faso. *Crop Protection*, 182. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2024.106743>
- Yang, Q., Ma, J., Yang, F., Zheng, H., Lu, Z., Qiao, F., Zhang, K., Gong, H., Men, X., Li, J., Ouyang, F., y Ge, F. (2023). The hidden indirect environmental effect undercuts the contribution of crop nitrogen fertilizer application to the net ecosystem economic benefit. *Journal of Cleaner Production*, 426. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.139204>
- Yao, Y., He, Y., Zhang, L., Wang, K., Li, B., Du, G., Zhu, C., Yi, X., Liu, Y., Zi, S., Chen, B., y Xiao, G. (2023). Management strategy for *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) in mountain maize planting areas in China. *Journal of Asia-Pacific Entomology*, 26(4), Article 102152. <https://doi.org/10.1016/J.ASPEN.2023.102152>
- Yue, H., Olivoto, T., Bu, J., Wei, J., Liu, P., Wu, W., Nardino, M., y Jiang, X. (2025). Assessing the role of genotype by environment interaction as determinants of maize grain yield and lodging resistance. *BMC Plant Biology*, 25(120). <https://doi.org/10.1186/s12870-025-06158-w>
- Zambrano-Mendoza, J. L., y Caviedes C., M. (2022). *Estado actual de la producción de maíz en Ecuador*. INIAP-EESC.

- Zehnder, C. B., y Hunter, M. D. (2009). More is not necessarily better: The impact of limiting and excessive nutrients on herbivore population growth rates. *Ecological Entomology*, 34(4), 535–543. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2311.2009.01101.x>
- Zhang, W., Li, H., Zhang, C., Hou, J., Guo, X., Dong, D., y Li, X. (2024). Impact of maize nutrient composition on the developmental defects of *Spodoptera frugiperda*. *Agronomy*, 14(8). <https://doi.org/10.3390/agronomy14081690>
- Zhang, Z., Diao, R., Sun, J., Liu, Y., Zhao, M., Wang, Q., Xu, Z., y Zhong, B. (2024). Diversified molecular adaptations of inorganic nitrogen assimilation and signaling machineries in plants. *New Phytologist*, 241(5), 2108–2123. <https://doi.org/10.1111/nph.19508>
- Zheng, R., Yao, L., Peng, J., Chen, Z., Yang, F., Chen, S., y Tang, Q. (2022). Comparative transcriptome analysis reveals key candidate genes mediating ovarian development in *Spodoptera frugiperda* fed on two host plants. *Frontiers in Physiology*, 13. <https://doi.org/10.3389/fphys.2022.1056540>
- Zhou, J., Cui, M., Wu, Y., Gao, Y., Tang, Y., Jiang, B., Wu, M., Zhang, J., y Hou, L. (2024). Detection of maize stem diameter by using RGB-D cameras' depth information under selected field condition. *Frontiers in Plant Science*, 15. <https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1371252>
- Zhou, S., Li, S., Zheng, X., Wang, X., y Lu, W. (2025). Behavior and developmental consequences of cannibalism in *Spodoptera frugiperda*. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 173(1), 32–39. <https://doi.org/10.1111/eea.13531>
- Zhu, P., Zheng, X., Xu, H., Johnson, A. C., Heong, K. L., Gurr, G. M., y Lu, Z. (2020). Nitrogen fertilization of rice plants improves ecological fitness of an entomophagous predator but dampens its impact on prey, the rice brown planthopper, *Nilaparvata lugens*. *Journal of Pest Science*, 93(2), 747–755. <https://doi.org/10.1007/s10340-019-01174-w>
- Zingore, S., Adolwa, I. S., Njoroge, S., Johnson, J. M., Saito, K., Phillips, S., Kihara, J., Mutegi, J., Murrell, S., Dutta, S., Chivenge, P., Amouzou, K. A., Oberthür, T., Chakraborty, S., y Sileshi, G. W. (2022). Novel insights into factors associated with yield response and nutrient use efficiency of maize and rice in sub-Saharan Africa: A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 42, Article 82. <https://doi.org/10.1007/s13593-022-00821-4>

ANEXOS

Anexo A Establecimiento de las unidades experimentales

a)



b)



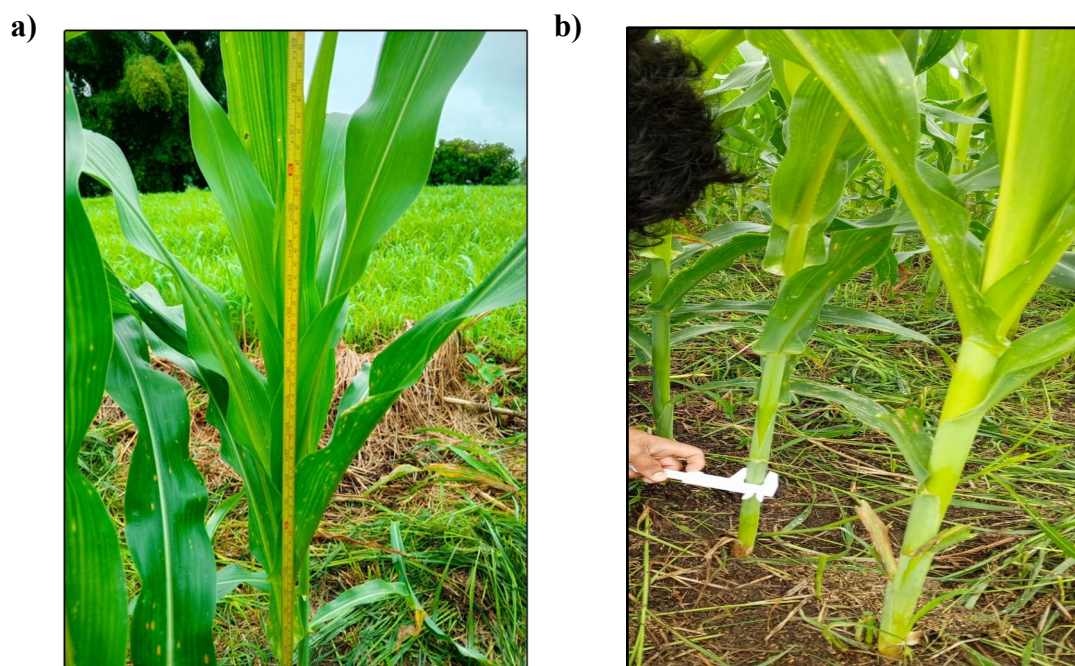
Nota. a) Toma de muestra para posterior análisis de suelo. b) vista general del área experimental con la distribución de las parcelas antes de la aplicación de los tratamientos.

Anexo B Estado inicial del cultivo de maíz en las parcelas experimentales



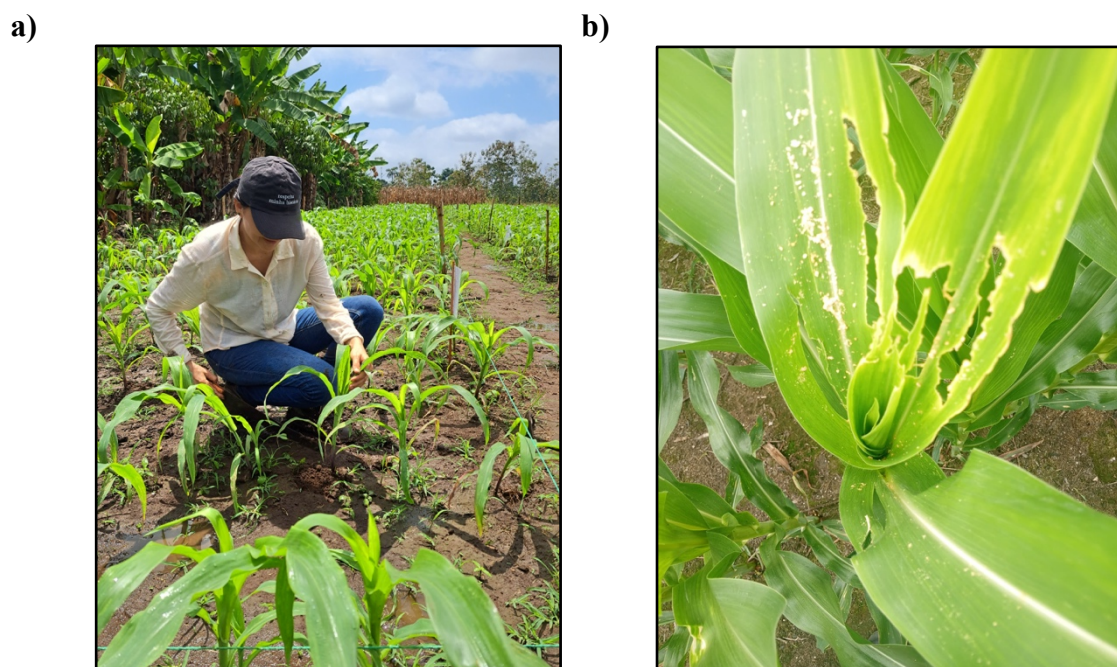
Nota. Disposición de las parcelas experimentales durante la fase inicial del cultivo, previo a la evaluación de las variables agronómicas y fitosanitarias.

Anexo C Evaluación de las variables de crecimiento del cultivo de maíz



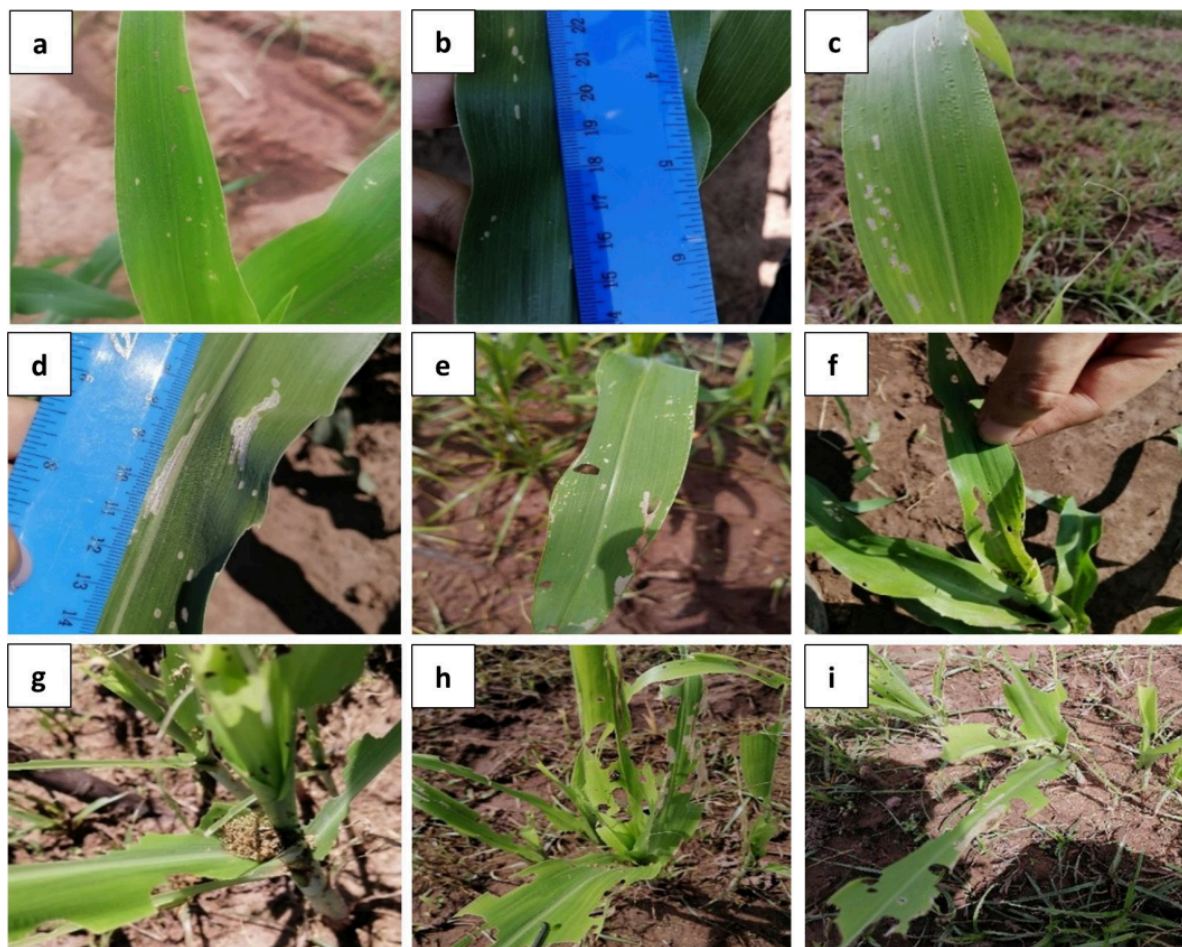
Nota. (a) Medición de la altura de planta mediante flexómetro durante las etapas vegetativas del cultivo. (b) Medición del diámetro del tallo utilizando un calibrador a 5 cm de la base del tallo.

Anexo D Evaluación de la incidencia y severidad de *Spodoptera frugiperda* en plantas de maíz



Nota. (a) Evaluación en campo de la incidencia de *Spodoptera frugiperda* mediante la inspección visual de las plantas. (b) Daño foliar característico ocasionado por *S. frugiperda*, utilizado para la asignación de la severidad según la escala de Davis (0–9).

Anexo E Niveles de severidad del daño foliar causado por *Spodoptera frugiperda* según la escala de Davis (0–9)



Nota. Las imágenes ilustran los diferentes niveles de daño utilizados para la evaluación visual de la severidad causada por *Spodoptera frugiperda* en hojas de maíz, de acuerdo con la escala de Davis (0–9). Las imágenes **a–c** corresponden a daño leve (valores 1–3), **d–f** a daño moderado (valores 4–6), **g–h** a daño severo (valores 7–8) e **i** a destrucción del cogollo (valor 9). Fuente: Adaptado de Gómez-Ramírez et al. (2023).

Anexo F Proceso de cosecha y obtención de las muestras para la evaluación del rendimiento del cultivo de maíz

a)

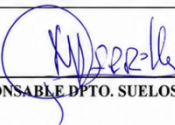
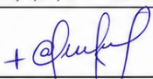


b)



Nota. (a) Cosecha de las unidades experimentales al finalizar el ciclo del cultivo. (b) Mazorcas obtenidas durante la cosecha y utilizadas para la determinación del rendimiento del cultivo.

Anexo G Reporte del análisis de fertilidad del suelo previo al establecimiento del experimento

		ESTACION EXPERIMENTAL TROPICAL "PICHILINGUE" LABORATORIO DE SUELOS, TEJIDOS VEGETALES Y AGUAS Km. 5 Carretera Quevedo - El Empalme; Apartado 24 Quevedo - Ecuador Teléf: 052 783044 suelos.eetp@iniap.gob.ec																																																																														
REPORTE DE ANALISIS DE SUELOS																																																																																
DATOS DEL PROPIETARIO Nombre : MAYRA CAROLINA Dirección : SANTO DOMINGO Ciudad : SANTO DOMINGO Teléfono : 0989774373 Fax :		DATOS DE LA PROPIEDAD Nombre : La María Provincia : Los Ríos Cantón : Mocache Parroquia : Mocache Ubicación :																																																																														
		PARA USO DEL LABORATORIO Cultivo Actual : N° Reporte : 13532 Fecha de Muestreo : 2/9/2025 Fecha de Ingreso : 3/9/2025 Fecha de Salida : 17/9/2025																																																																														
N° Muest.	Datos del Lote		pH	ppm		meq/100ml		ppm																																																																								
Laborat.	Identificación	Area		NH 4	P	K	Ca	Mg	S	Zn	Cu	Fe	Mn	B																																																																		
116887	Muestra 01MV-Lote Maíz		5,0 Ac RC	8 B	26 A	0,59 A	10 A	1,3 M	8 B	3,7 M	4,9 A	116 A	4,0 B	0,38 B																																																																		
																																																																																
<i>La muestra será guardada por tres meses. Tiempo en el que se recibirán reclamos en los resultados</i>																																																																																
<table border="1"><tr><td colspan="5">INTERPRETACION</td><td colspan="2">Elementos: de N a B</td><td colspan="2">METODOLOGIA USADA</td><td colspan="2">EXTRACTANTES</td></tr><tr><td colspan="5">pH</td><td colspan="2"></td><td colspan="2">pH</td><td colspan="2"></td></tr><tr><td>MAc = Muy Acido</td><td>LAc = Liger. Acido</td><td>LAi = Lige. Alcalino</td><td colspan="2">RC = Requiere Cal</td><td colspan="2">B = Bajo</td><td colspan="2">N,P,B = Suelo: agua (1:2,5)</td><td colspan="2">Olsen Modificado</td></tr><tr><td>Ac = Acido</td><td>PN = Prac. Neutro</td><td>MeAl = Media. Alcalino</td><td colspan="2"></td><td colspan="2">M = Medio</td><td colspan="2">N,P,B = Colorimetría</td><td colspan="2">N,P,K,Ca,Mg,Cu,Fe,Mn,Zn</td></tr><tr><td>MeAc = Media. Acido</td><td>N = Neutro</td><td>Al = Alcalino</td><td colspan="2"></td><td colspan="2">A = Alto</td><td colspan="2">S = Turbidimetría</td><td colspan="2">Fosfato de Calcio Monobásico</td></tr><tr><td colspan="7"></td><td colspan="2">K,Ca,Mg,Cu,Fe,Mn,Zn = Absorción atómica</td><td colspan="2">B,S</td></tr></table>															INTERPRETACION					Elementos: de N a B		METODOLOGIA USADA		EXTRACTANTES		pH							pH				MAc = Muy Acido	LAc = Liger. Acido	LAi = Lige. Alcalino	RC = Requiere Cal		B = Bajo		N,P,B = Suelo: agua (1:2,5)		Olsen Modificado		Ac = Acido	PN = Prac. Neutro	MeAl = Media. Alcalino			M = Medio		N,P,B = Colorimetría		N,P,K,Ca,Mg,Cu,Fe,Mn,Zn		MeAc = Media. Acido	N = Neutro	Al = Alcalino			A = Alto		S = Turbidimetría		Fosfato de Calcio Monobásico									K,Ca,Mg,Cu,Fe,Mn,Zn = Absorción atómica		B,S	
INTERPRETACION					Elementos: de N a B		METODOLOGIA USADA		EXTRACTANTES																																																																							
pH							pH																																																																									
MAc = Muy Acido	LAc = Liger. Acido	LAi = Lige. Alcalino	RC = Requiere Cal		B = Bajo		N,P,B = Suelo: agua (1:2,5)		Olsen Modificado																																																																							
Ac = Acido	PN = Prac. Neutro	MeAl = Media. Alcalino			M = Medio		N,P,B = Colorimetría		N,P,K,Ca,Mg,Cu,Fe,Mn,Zn																																																																							
MeAc = Media. Acido	N = Neutro	Al = Alcalino			A = Alto		S = Turbidimetría		Fosfato de Calcio Monobásico																																																																							
							K,Ca,Mg,Cu,Fe,Mn,Zn = Absorción atómica		B,S																																																																							
 RESPONSABLE DPTO. SUELOS Y AGUAS  RESPONSABLE LABORATORIO																																																																																

Nota. El análisis de suelo fue realizado por el Laboratorio de Suelos, Tejidos Vegetales y Aguas de la Estación Experimental Tropical Pichilingue (INIAP), previo al establecimiento del experimento. Los resultados sirvieron como referencia para la planificación del manejo de la fertilización nitrogenada. Fuente: INIAP-Pichilingue.