

Universidad Zamorano
Departamento en Administración de Agronegocios
Ingeniería en Administración de Agronegocios



Proyecto Especial de Graduación
Análisis comparativo de la rentabilidad económica de maíz (*Zea mays*) influenciado por tres métodos de aplicación de pesticidas

Estudiantes

Fabricio Fernando Estrella Granda

Juan Pablo Granda Granda

Asesores

Julio Cesar Rendón Cantillano, M.B.A

Rommel Rigoberto Reconco Euceda, DDE

Renán Pineda Mejía, Ph. D.

Honduras, junio 2025

Autoridades

SERGIO ANDRÉS RODRÍGUEZ ROYO

Rector

ANA M. MAIER ACOSTA

Vicepresidenta y Decana Académica

RAUL SOTO

Director del Departamento de Administración en Agronegocios

JULIO NAVARRO

Secretario General

Contenido

Índice de Cuadros	6
Índice de Figuras	8
Índice de Anexos	9
Resumen	10
Abstract	11
Introducción	12
Metodología	17
Presupuesto Parcial	17
Beneficio Bruto	17
Costos que Varían	18
Beneficio Neto	18
Análisis de Dominancia	18
Tasa de Retorno Marginal (TRM)	19
Selección de los Tratamientos y la Variedad de Cultivo	19
Localización del Estudio	20
Descripción General	20
Diseño Experimental	20
Tipo de Diseño	20
Número de Bloques	21
Análisis Estadístico	22
Particularidades del Cultivo y Preparación del Terreno	22
Monitoreo y Observaciones	23

Aplicación de Plaguicidas	23
Variables para Evaluar en Campo	24
Incidencia	24
Incidencia de Insectos.....	26
Rendimiento de Maíz (Zea mays)	26
Variables Evaluadas en el Análisis Estadístico	27
Rendimiento.....	27
Severidad	28
Grano Dañado por Insecto.....	28
Altura y Grosor.....	28
Peso de 100 Gramos	28
Libras Bushel	28
Normalización de los Datos	28
Pruebas Estadísticas.....	29
Resultados y Discusión.....	31
Análisis Estadístico	31
Presupuestos Parciales	44
Beneficio Bruto	46
Beneficios Netos	49
Análisis de Dominancia	50
Tasa de Retorno Marginal.....	50
Análisis de Sensibilidad	52
Tasa de Retorno Mínima Aceptable.....	59
Comparación con Otros Estudios.....	61
Conclusiones	64

Recomendaciones.....65

Referencias.....66

Anexos.....69

Índice de Cuadros

Cuadro 1 Agroquímicos utilizados.....	24
Cuadro 2 Comparación técnica de tres equipos de aplicación agrícola	31
Cuadro 3 Pruebas de normalidad	32
Cuadro 4 Análisis de varianza con el uso de ANOVA	33
Cuadro 5 Coeficientes de correlación	41
Cuadro 6 Raíces características y vectores	42
Cuadro 7 Análisis Multivariados.....	43
Cuadro 8 Costos por tratamiento agua.....	44
Cuadro 9 Costos de adherente utilizado por tratamiento.....	45
Cuadro 10 Costo de aspersión percibido por hectárea	45
Cuadro 11 Ingresos de los tratamientos por quintal	47
Cuadro 12 Categorías de calidad de grano obtenida por repetición.....	48
Cuadro 13 Beneficios netos de los tratamientos	49
Cuadro 14 Análisis de dominancia	50
Cuadro 15 Tasa de retorno marginal	51
Cuadro 16 Análisis de sensibilidad de precios y su impacto en el beneficio neto del mercado de Tegucigalpa	52
Cuadro 17 Análisis de sensibilidad del precio en las Tasas de Retorno Marginal (TRM).....	53
Cuadro 18 Sensibilidad del beneficio neto ante costos que varían y precio del maíz en el C. Absoluto	54
Cuadro 19 Sensibilidad del beneficio neto ante costos que varían y precio del maíz en Mochila	55
Cuadro 20 Sensibilidad del beneficio neto ante costos que varían y precio del maíz en Dron	56
Cuadro 21 Sensibilidad del beneficio neto ante costos que varían y precio del maíz en C. Comercial	57

Cuadro 22 Sensibilidad del beneficio neto ante costos que varían y precio del maíz en Asperjadora 58

Cuadro 23 Resumen económico de tratamientos según costos variables, beneficios, punto de equilibrio y tasa de retorno marginal 61

Índice de Figuras

Figura 1	Diseño experimento en campo	22
Figura 2	Escala de Davis	25
Figura 3	Cronograma del experimento	30
Figura 4	Prueba Tukey, variable rendimiento	36
Figura 5	Prueba Tukey, variable severidad	37
Figura 6	Prueba Tukey, variable daño de grano por insecto	38
Figura 7	Prueba Tukey, variable grosor	39
Figura 8	Prueba tukey, variable peso 100 granos	40
Figura 9	Curva de beneficio neto	52

Índice de Anexos

Anexo A Toma de coordenadas para la ubicación de estacas con ayuda del módulo de Topografía y sistema de información geográfica.....	69
Anexo B Parcelamiento del terreno experimental	70
Anexo C Siembra de maíz con estudiantes del módulo de Producción de Granos y Semillas.....	71
Anexo D Aplicación de plaguicidas con mochila motorizada.....	72
Anexo E Aplicación de plaguicidas con Dron DJI Agras T10.	73
Anexo F Aplicación de plaguicidas con Asperjadora tipo Boom Jacto Columbia 2000.....	74
Anexo G Monitoreo de plagas y toma de datos.....	75
Anexo H Peso de 100 granos de maíz.	76
Anexo I Medición de Humedad y Lbs Bushel.	77
Anexo J Proceso de evaluación de calidad de grano de maíz en laboratorio, utilizando tamices para la separación.....	78
Anexo K Clasificación de impurezas en grano de maíz, incluyendo restos de pericarpio, cabellos de elote y partículas extrañas durante el análisis de calidad en laboratorio.	79
Anexo L Daño por Helicoverpa zea (gusano elotero) en maíz, con destrucción de granos y presencia de larva alimentándose del elote.	80
Anexo M Daño causado por Spodoptera frugiperda (gusano cogollero) en maíz, evidenciado por excremento y perforaciones en el cogollo.....	81

Resumen

El uso de drones como equipo de aspersión para la aplicación de agroquímicos, permitió incrementar la eficiencia y efectividad de los pesticidas agrícolas. Sin embargo, el uso de métodos de aplicación tradicionales como el aspersor tipo “boom” y la bomba de motor o de mochila continúan siendo ampliamente usados en operaciones agrícolas para el manejo de plagas como también enfermedades de los cultivos. El objetivo de este estudio fue comparar la rentabilidad económica del cultivo de maíz, la efectividad de tres métodos de aspersión: Dron DJI Agras T10, Asperjadora Jacto Columbia 2000 y mochila motorizada Echo. El estudio se llevó a cabo en la Escuela Agrícola Panamericana Zamorano, Honduras, utilizando un diseño de Bloques Completamente al Azar con cuatro repeticiones. Se analizaron variables de rendimiento al igual que daño en el grano. Adicionalmente se calcularon los costos que varían, beneficios brutos y netos. Mediante el análisis de presupuestos parciales se encontró que la Asperjadora presentó mayor beneficio neto (\$4,784.54) y una tasa de retorno marginal de (6%) en el cambio de Dron a este método, seguido por el Dron (\$4,782.68 USD) y la mochila motorizada (\$4,684.51 USD). El control absoluto mostró los menores beneficios (\$2,492.54.78). Este proyecto demostró la ventaja competitiva que ofrece el uso de drones. Al maximizar el rendimiento y los beneficios netos, al ser cercanos a los de la asperjadora, pero con menores costos que varían, lo que favorece prácticas agrícolas más eficientes orientadas a la optimización de recursos.

Palabras clave: Métodos de aspersión, control de plagas, costos, beneficios, maíz.

Abstract

The use of drones as spraying equipment for agrochemical applications allowed for increased efficiency and effectiveness of agricultural pesticides. However, the use of traditional application methods such as the “boom” sprayer and motorized or backpack sprayers continued to be widely used in agricultural operations for the management of pests as well as crop diseases. The objective of this study was to compare the economic profitability of corn cultivation and the effectiveness of three spraying methods: DJI Agras T10 drone, Jacto Columbia 2000 sprayer, and Echo motorized backpack. The study was carried out at the Panamerican Agricultural School Zamorano, Honduras, using a Completely Randomized Block design with four replications. Yield variables as well as grain damage were analyzed. Additionally, variable costs, gross benefits, and net benefits were calculated. Through partial budget analysis, it was found that the sprayer presented the highest net benefit (\$4,784.54) and a marginal rate of return of (6%) when switching from the drone to this method, followed by the drone (\$4,782.68 USD) and the motorized backpack (\$4,684.51 USD). The control showed the lowest benefits (\$2,492.54.78). This project demonstrated the competitive advantage offered by using drones, maximizing yield and net benefits, being close to those of the sprayer but with lower variable costs, thus favoring more efficient agricultural practices aimed at resource optimization.

Keywords: Spraying methods, pest control, costs, benefits, maize.

Introducción

El maíz es un alimento que han formado parte de la vida cotidiana de millones de familias desde hace siglos. convirtiéndose en el tipo de grano más producido del mundo, manteniéndose por encima de los 1.000 millones de toneladas durante los últimos diez años. (Orús, 2024)

El maíz es un grano básico proveniente de la familia de las gramíneas, el cual es un alimento indispensable en la dieta de las familias hondureñas. Según un informe del Consejo Hondureño de la Empresa Privada (Consejo Hondureño de la Empresa Privada [COHEP], 2021), el maíz “es el de mayor importancia en la dieta alimentaria de la población hondureña, por su contribución de alrededor de una cuarta parte de las calorías consumidas en las principales ciudades y con aproximadamente la mitad de las calorías consumidas en el área rural”, con respecto al color existen dos tipos principales: el amarillo, usado en la industria de concentrados animales y el blanco empleado mayoritariamente para el consumo humano.

El maíz en Honduras es un grano de alta relevancia económica. Estadísticas reflejan que el cultivo del maíz es el que más contribuye a la economía agraria, representando importancia agrícola, luego de cultivos como el frijol y el café (Secretaría de Agricultura y Ganadería de Honduras, 2022). En adición, se considera que el 60 % de la producción de granos básicos proviene de las familias de pequeños productores, quienes individualmente no tienen poder para imponer el precio del frijol y del maíz (COHEP, 2021). En Honduras, los productores de maíz no tienen la capacidad de influir en el precio de venta, ya que este es determinado por el mercado. Dado que muchas familias dependen directamente de este cultivo para su sustento, es fundamental buscar formas de mejorar las prácticas de producción, como la aspersión, con el fin de lograr una mayor eficiencia y una mejor relación costo beneficio.

El promedio nacional de productividad del cultivo es de 29 quintales (qq) por hectárea (20 qq manzana), rendimiento que no es comercialmente rentable y ha convertido a Honduras desde hace muchos años en un importador neto de este grano. Un productor implementando prácticas básicas

debe de producir un poco más de 86 qq por hectárea (60 qq por manzana) y uno bien tecnificado alrededor de los 286 qq por hectárea (200 qq por manzana) (Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional [USAID], 2012)

Uno de los aspectos que interfiere en esta producción son las plagas y la manera en cómo se las controla. En un estudio realizado acerca de las pérdidas de producción de maíz en el mundo, atribuidas a plagas y enfermedades, se menciona que representan alrededor de 31 % en la agricultura y la principal plaga es el gusano cogollero. (Valdez-Torres et al., 2012)

Los insectos plaga, son una de las principales limitantes en la producción del cultivo de maíz. Por lo cual, provocan daño en el desarrollo de la planta y por ende reducen el rendimiento. El gusano cogollero *Spodoptera fugiperda* y *Heliothis zea* (Boddie), (Lepidoptera: Noctuidae) son las de mayor presencia en el cultivo de maíz. (Hernández-Trejo et al., 2019)

A raíz de lo anterior, surge la necesidad de implementar métodos de control eficaces que permitan enfrentar estas amenazas de manera oportuna y eficiente. En este contexto existen tres métodos de aplicación de agroquímicos especialmente pensados para cultivos como el maíz: el asperjador tipo boom, las mochilas motorizadas y el dron agrícola. Cada uno de estos métodos representa una estrategia con distintos niveles de cobertura, precisión y eficiencia operativa, adaptándose a las condiciones del terreno, al tamaño del área cultivada y a la urgencia del tratamiento.

Las asperjadoras tipo boom son máquinas terrestres que funciona sobre ruedas para pulverizar cultivos. Este aspersor presenta una construcción más duradera y una mayor capacidad de líquido para cubrir grandes áreas. Incorpora la última tecnología, como boquillas regulables y sistema de control de caudal, que garantiza una aplicación precisa y adaptada a las necesidades específicas del cultivo. (Jaramillo, 2023)

Dentro de estos se destaca el modelo Columbia 2000 el cual es ampliamente apreciado por su eficacia en la distribución uniforme de los cultivos en los campos, proporcionando una cobertura eficaz y una utilización óptima de los recursos. (Acevedo et al., 2022)

Por otro lado, el uso de drones en Honduras ha sido en los últimos años una herramienta sustituta a otras tecnologías como el uso de tractores en cultivos importantes de exportación.

En el caso del melón, se encuentra el uso de tractores en invierno ha sido una práctica cuestionable debido a la compactación del suelo y los gastos asociados [...] En cuanto al uso de drones en la agricultura, se considera que pueden ser una herramienta valiosa para el monitoreo de los cultivos, además, esta tecnología se percibe como una ventaja para optimizar la eficiencia y mejorar la producción agrícola (Barahona, 2023). En este estudio, se resalta la importancia de las nuevas tecnologías y cómo los agricultores del sur de Honduras están adoptando el uso de drones como una solución efectiva para enfrentar problemas relacionados con el manejo operativo y los costos de producción.

La aplicación de servicios de fumigación mediante drones ha despertado gran interés debido a su capacidad para cubrir áreas extensas y acceder a terrenos con pendientes pronunciadas.

La utilización de mochilas de fumigación ha sido muy relevante, principalmente por la versatilidad y accesibilidad de esta tecnología, sin embargo, su uso ha causado problemas en cuanto al riesgo de exposición a agroquímicos y accidentes hacia los operarios, así como a la calidad de aspersión que depende principalmente de la persona que lo manipula.

Un estudio en la provincia de Carchi, Ecuador enfocada a la ergonomía postural y su incidencia a las complicaciones de salud asociadas a trabajadores de la agricultura o del sector rural menciona que al realizar el análisis se encontró que 80 % de la población posee trastornos a nivel esqueleto muscular, originadas por un mal uso de equipo, herramienta, levantamiento de cargas pesadas, movimientos repetitivos y posiciones forzadas. (Lozano et al., 2015)

Por ello, es indispensable promover el diseño e implementación de tecnologías más seguras y ergonómicas, que no solo reduzcan la exposición a agentes tóxicos, sino que también disminuyan las cargas físicas que enfrentan los operarios durante las jornadas agrícolas, garantizando así su bienestar y la eficiencia del proceso productivo.

En el contexto actual, es fundamental contrastar las nuevas tecnologías con los métodos tradicionales que aún prevalecen en muchas zonas rurales. Equipos como las asperjadoras convencionales tipo boom y las mochilas motorizadas siguen siendo ampliamente utilizados por su disponibilidad y familiaridad entre los productores.

Sin embargo, en los últimos años, el dron agrícola ha surgido como una alternativa innovadora para la aplicación de insumos, ofreciendo potenciales beneficios en términos de precisión, eficiencia operativa y reducción de costos a largo plazo. Esta tecnología ha comenzado a ganar terreno en regiones como el sur de Honduras, donde los agricultores buscan soluciones más sostenibles y rentables para el control de plagas en cultivos como el maíz.

Es fundamental comparar esta tecnología emergente con los métodos tradicionales, como las asperjadoras convencionales y los equipos de mochila, que siguen siendo ampliamente utilizados en muchas operaciones agrícolas y de control de plagas.

El propósito principal de este estudio es evaluar de manera exhaustiva y comparativa los métodos de fumigación mediante drones, asperjadoras convencionales y equipos de mochila disponibles en la Escuela Agrícola Panamericana Zamorano. Para ello, se realizará un análisis detallado de variables de efectividad y costos económicos.

El objetivo general del presente proyecto es evaluar la rentabilidad económica de maíz comparando el uso de tres métodos de aspersión: Asperjadora Jacto Columbia 2000, dron DJI Agras T10 y Mochilas a Motor

Los objetivos específicos son comparar la efectividad del control de plagas de cada uno de los métodos de aplicación: Dron DJI Agras T10, Asperjadora Jacto Columbia 2000 y mochila motorizada

Echo, evaluar la rentabilidad del cultivo de maíz bajo cada método de aplicación, para determinar cual representa la mejor alternativa para los productores y realizar un análisis de sensibilidad para determinar el efecto que tiene el precio del maíz en la rentabilidad asociada con cada método.

Metodología

Para la evaluación de la rentabilidad económica de los tres servicios de aspersión en el experimento del maíz (*Zea mays*), se emplearon presupuestos parciales. Este análisis se enfocó en calcular los beneficios netos de cada tratamiento, la tasa de retorno marginal y un análisis de dominancia. Se compararon los tres servicios de aspersión utilizados para identificar cuál fue la mejor opción en aspectos económicos y de eficacia.

Presupuesto Parcial

Para el análisis económico de los tratamientos evaluados, se aplicó la técnica de presupuestos parciales.

Un presupuesto parcial es un formato para planificación y toma de decisiones utilizado para comparar los costos y beneficios de las alternativas que enfrenta un negocio agrícola. Este método se centró únicamente en los cambios de ingresos y gastos derivados de la implementación de una alternativa específica (Kime y Pennsylvania State University, 2014)

Se realizó este análisis considerando tres métodos de aspersión: dron DJI Agras T10, mochila Echo y asperjadora Jacto Columbia 2000. Para cada uno de los tratamientos presentados, se calcularon el total de costos que varían. Con el presupuesto parcial, se analizaron los cambios en los costos que varían y los beneficios netos de cada uno de los tratamientos de aspersión.

Beneficio Bruto

El beneficio bruto total de cada tratamiento se determinó en primera instancia, verificando las diferencias estadísticas entre los rendimientos de producción, los tratamientos en los que no se presenta diferencias estadísticas, se los agrupa y promedia para posteriormente multiplicarlos al precio del valor del quintal. En el caso del cultivo de maíz, el precio de venta se estableció tomando en cuenta la fijación de precios vigente en el momento de la cosecha y dependiendo del mercado al que fue dirigido según la calidad del grano.

Costos que Varían

Al referirse a los costos que varían, se entiende que estos difieren de un tratamiento a otro. En este caso, se consideraron el agua, los adherentes y el instrumento de aplicación, ya que las cantidades de estos insumos varían según el tratamiento. En cuanto al instrumento de aplicación (asperjadora, dron o mochila), el precio se determinó de acuerdo con la modalidad de cobro: para la asperjadora y la mochila, se estableció en función del costo por hora, mientras que, para el dron, se consideró el precio por hectárea tratada.

Beneficio Neto

El beneficio neto de una tecnología que se quiere evaluar se obtiene sustrayendo los costos totales de los beneficios brutos en campo (Evans, 2005). Mediante este cálculo, se obtuvo el resultado final de cada método, considerando la diferencia entre los beneficios brutos, que correspondieron al producto del rendimiento por el precio del quintal de maíz según su calidad y los costos que varían. Esto permitió definir cuál tuvo mayores beneficios económicos en comparación con los demás.

Análisis de Dominancia

El propósito del análisis de dominancia fue facilitar la toma de decisiones acerca de las mejores alternativas disponibles, considerando múltiples factores y excluyendo los tratamientos dominados. Se compararon las opciones en función de sus costos y beneficios netos para determinar cuáles tratamientos fueron dominados.

Este análisis se llevó a cabo clasificando las tecnologías, incluyendo la tecnología que el productor utilizaba normalmente, ordenándolas de menor a mayor según los costos, junto con sus respectivos beneficios netos. Avanzando desde la tecnología de menor costo hasta la de mayor costo, se consideró que una tecnología era "dominada" y se excluyó del análisis si su costo era mayor que el de la tecnología anterior pero su beneficio neto fue menor (Evans, 2005).

Tasa de Retorno Marginal (TRM)

La tasa marginal de retorno se calculó expresando la diferencia entre los beneficios netos de ambas como un porcentaje del costo total adicional. A través de este análisis, se comprendió la diferencia existente al cambiar de un método a otro. Para realizar el cálculo, se dividió el cambio de beneficios netos entre el cambio de costos que varían y se multiplicó por cien. A continuación, se presenta la fórmula descrita.

TRM: Tasa de retorno marginal

Δ BN: Cambio en beneficios netos

Δ CV: Cambio en costos que varían

$$\text{TRM} = (\Delta \text{BN} / \Delta \text{CV}) * 100 \quad [1]$$

Selección de los Tratamientos y la Variedad de Cultivo

En el contexto agrícola actual, se han registrado numerosos avances tecnológicos en diversos servicios, especialmente en el ámbito de la fumigación. Entre los métodos de producción identificados se encuentran el tradicional, que implica el uso de mochilas motorizadas; el convencional, que emplea equipos como el Jacto Columbia 2000; y, más recientemente, el uso de drones.

Por esta razón, en esta investigación se propuso comparar de manera eficiente los distintos métodos de control, tomando en cuenta los costos que varían y la eficiencia de control en uno de los principales cultivos de Honduras. El maíz y el frijol son un pilar fundamental en los hondureños ya que conforman más del 60% de la dieta alimenticia de las familias del sector rural, especialmente aquellas con mayores índices de pobreza (COHEP, 2021)

El ensayo experimental se realizó en maíz (*Zea mays*), donde se evaluó la eficacia del control de plagas mediante tres métodos de aspersión diferentes. El Control Absoluto fue el tratamiento número uno, el cual no utilizó insecticidas. El plan de aspersión habitual empleado por el módulo de granos y semillas de la Escuela Agrícola Zamorano correspondió al tratamiento número dos, también conocido como Control Comercial.

El tratamiento número tres, asperjadora Jacto Columbia 2000, se implementó con el objetivo de hacer referencia a los agricultores que manejan grandes extensiones de cultivo y cuentan con este tipo de implementos. El tratamiento número cuatro, asperjadora de mochila a motor, representó a pequeños agricultores que realizan inversiones menores en cuanto a métodos de fumigación. Finalmente, el tratamiento número cinco, dron DJI Agras T10, se implementó con el objetivo de evaluar nuevas tecnologías a la vanguardia de la agricultura de precisión.

Localización del Estudio

La investigación se llevó a cabo entre abril y agosto de 2024 en los terrenos de la Zona 2 de la Escuela Agrícola Panamericana, localizada en el valle del río Yegüare, a 32 km de Tegucigalpa, Honduras. El área de estudio presentó una temperatura promedio de 24 °C, una precipitación promedio anual de 1100 mm y una altitud de 800 msnm.

Descripción General

El estudio se realizó mediante un experimento en el cultivo de maíz, donde se evaluó el funcionamiento y la eficiencia de tres métodos de aplicación de pesticidas: asperjadora manual, asperjadora tipo boom y un dron agrícola.

Se realizó la comparación de tres métodos de aplicación de pesticidas en el cultivo de maíz (*Zea mays*).

Diseño Experimental

Tipo de Diseño

La elección de un diseño experimental adecuado fue la base de esta investigación científica, ya que permitió un desarrollo estructurado y, por ende, posibilitó la obtención de resultados precisos. Existen diferentes tipos de diseños experimentales; sin embargo, se optó por utilizar el Diseño de Bloques Completamente al Azar (DBCA).

El diseño DBCA se utilizó para distribuir de manera equitativa los tratamientos en el área de estudio, reduciendo la variabilidad y asegurando resultados más precisos. En la aplicación de

agroquímicos, este método fue clave, ya que permitió definir con claridad las zonas de fumigación según el equipo utilizado. Ya fuera con asperjadora tipo boom, dron o mochila a motor, una buena planificación garantizó una aplicación eficiente.

Al dividir el terreno en bloques, se logró una distribución uniforme de los tratamientos, evitando interferencias y superposiciones, lo que permitió medir con mayor precisión los efectos de cada técnica.

"El DBCA es un diseño robusto que permite una comparación eficiente de múltiples tratamientos al tiempo que controla la variabilidad experimental" (Cochran y Cox, 1992)

El DBCA ha sido uno de los diseños más utilizados en la investigación agrícola, debido a su sencillez y alta eficiencia en estudios experimentales. En este estudio, se utilizó por sus diversas características:

Control de variables: Se centró en la efectividad de los tres métodos de aspersión de plagas, en bloques de maíz.

Eficiencia: Permitió utilizar los recursos disponibles de forma óptima, como el tiempo, el dinero y el personal, entre otros.

Reducción de sesgos: Se logró mediante la correcta implementación del diseño experimental. En este caso, la cantidad de repeticiones desempeñó un papel crucial. Se llevaron a cabo cuatro repeticiones.

Número de Bloques

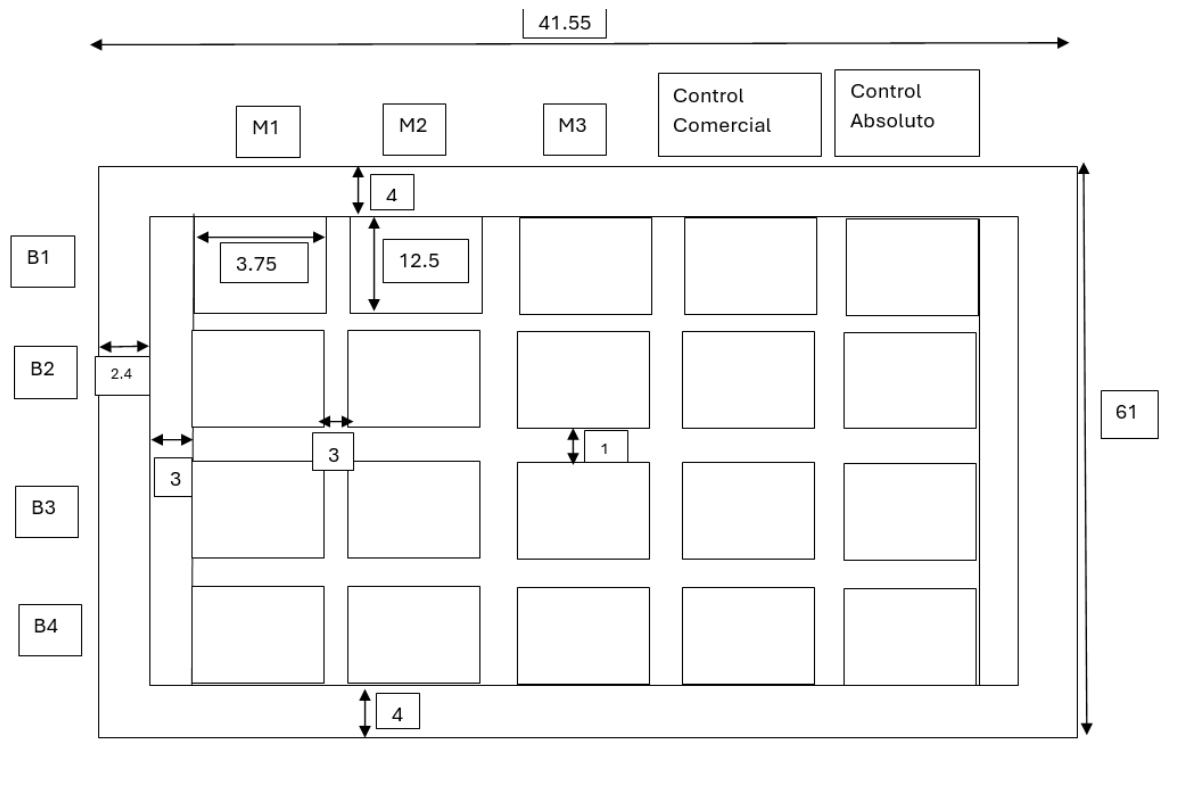
En el experimento, se utilizaron cuatro bloques en los cuales se realizaron los tratamientos. Se consideró que cuatro repeticiones fueron un valor adecuado, teniendo en cuenta que se evaluaron tratamientos que requirieron una extensión mayor a la que habitualmente se emplea en experimentos, debido al uso de drones y asperjadoras mecánicas. Además, se tomó en cuenta que este número de repeticiones fue el utilizado comúnmente en investigaciones de campo con el diseño propuesto.

Análisis Estadístico

Para el análisis de los resultados de este estudio se utilizó el paquete estadístico de S.A.S.

Figura 1

Diseño experimento en campo



Particularidades del Cultivo y Preparación del Terreno

La preparación del suelo mediante mecanización se realizó un mes antes de la siembra, utilizando una rastra pesada, seguida de una rastra liviana.

Luego, se ubicó el sistema de riego el 15 de abril de 2024. La semilla escogida para el experimento fue *Zea mays L. var. tuxpeño blanco*. Esta variedad fue seleccionada por el departamento de Granos y Semillas, ya que se utiliza comúnmente para la siembra.

La siembra se realizó en cada una de las 20 parcelas el 17 de abril de 2024. Cada parcela fue dividida en cuatro hileras, con seis plantas por metro lineal, una distancia entre plantas de 17 cm y entre hileras de 75 cm, lo que permitió obtener una densidad de 64,000 plantas por hectárea.

Una vez germinado el maíz, se procedió al raleo el 4 de mayo, dejando la misma cantidad de plantas por parcela experimental.

Monitoreo y Observaciones

El monitoreo del experimento se llevó a cabo mediante la técnica de observación directa. En cada una de las 20 parcelas, se tomaron datos de diferentes variables, como incidencia, severidad e incidencia de insectos.

En cada parcela experimental, se muestrearon dos metros, asegurando de esta forma una representación adecuada de las condiciones observadas. Para unidades de muestreo que abarcan entre dos y ocho hectáreas, se recomendó recolectar entre 10 y 25 submuestras para mantener la precisión deseada (Ovando, 2021).

El muestreo se realizó siguiendo una escala denominada Escala de Davis. Esta escala se utilizó para evaluar el daño en el cogollo, donde el grado 1 indicó ausencia de daño o menos de cuatro lesiones del tamaño de una cabeza de alfiler, mientras que el grado 9 correspondió a hojas del cogollo completamente destruidas (Limagrain Field Seeds, 2019).

Aplicación de Plaguicidas

Se utilizaron diferentes métodos de aspersión para el control de plagas en maíz, mediante la aplicación de tratamientos fitosanitarios.

Las aspersiones se realizaron bajo las mismas condiciones climáticas, todas en las mismas fechas y en momentos clave de cada etapa del cultivo, tanto en su desarrollo vegetativo como en su fase reproductiva. El objetivo fue evaluar la eficiencia del control de plagas en el maíz.

La aplicación se complementó con un monitoreo constante del estado del cultivo antes y después de cada aplicación. Los insecticidas aplicados fueron los siguientes:

Cuadro 1

Agroquímicos utilizados

Nombre comercial	Ingrediente activo	Dosis x Ha.	Mecanismo de acción.
Semevin	THIODICARB	400 mL	contacto e ingestión
Nomax	Alpha-cypermethrin + Teflubenzuron	300 mL	contacto e ingestión
Exalt 6 SC	Spinetoram	75–100 mL	contacto e ingestión
Pronto 5 EC	Lambda-cyhalothrin	200–500 mL	contacto e ingestión
PROCLAIM FIT®	Emamectina benzoato y lufenuron	60 g	ingestión y contacto
Mega pega - Sampolk	Polyoxyethileno alkylirico	750 mL	adherente - penetrante - surfactante

Variables para Evaluar en Campo

Se evaluó la incidencia de plagas antes y después de la aplicación del pesticida, así como mediante un muestreo semanal para medir la efectividad en el control de los diferentes métodos evaluados.

Incidencia

Se evaluó la incidencia de insectos, considerando el porcentaje de plantas afectadas por parcela experimental y por unidad de muestreo. Se tomaron dos metros de las dos hileras centrales, teniendo en cuenta el total de plantas presentes. Cada planta afectada por insectos fue registrada como "1" en la incidencia, mientras que aquellas que no fueron afectadas se marcaron como "0". De esta forma, se obtuvo el porcentaje de incidencia de cada parcela experimental, promediando los datos recopilados.

El muestreo se realizó cada semana durante la etapa vegetativa y hasta el final de la etapa reproductiva.

Según un estudio realizaron muestreos cada veinte días en campos de maíz, evaluando 80 plantas al azar en cada muestreo para determinar la incidencia de insectos plaga y el número de larvas presentes para que este tenga robustez (Peña et al., 2015). Este enfoque permitió estimar con

precisión las poblaciones de plagas y los daños asociados en diferentes partes de la planta, como el tallo, las hojas y la mazorca. Por ejemplo:

N. Parcela:

Incidencia metro 1; 8 plantas de muestra= $1+1+1+1= 4/8 =50\%$

Incidencia metro 2; 10 plantas= $1+1= 2/10$ es decir el 20%

Promedio de la parcela= $(50\% + 20\%) /2= 35\%$ de las plantas presentan incidencia.

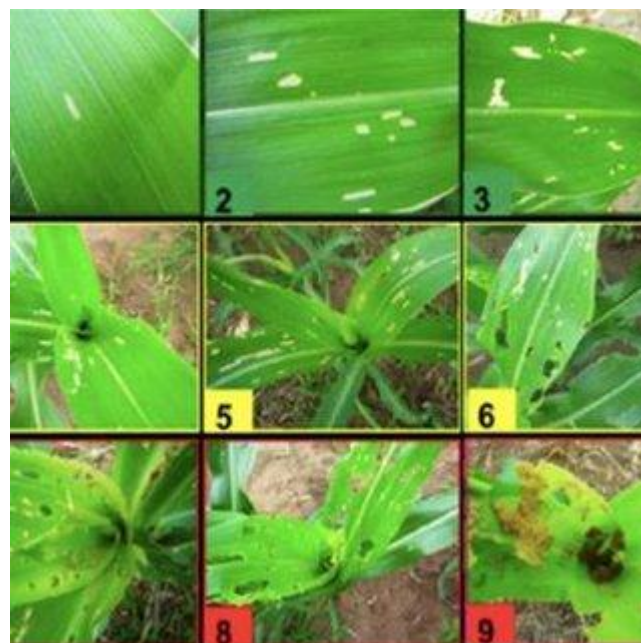
Severidad de daño.

Para la severidad del daño se utilizó la Escala de Davis, que tiene una clasificación en una escala de 0 a 9, donde 0 indicó ausencia de daño y 9 representó un daño severo con el cogollo casi completamente destruido.

Las mismas plantas que fueron escogidas para medir la incidencia se tomaron para evaluar esta variable. Finalmente, se calculó el promedio de cada una de las 20 parcelas experimentales, como se muestra a continuación en la figura 3.

Figura 2

Escala de Davis



Nota. Tomado de ResearchGate (2025)

Incidencia de Insectos

Se registró el número total de insectos encontrados en los dos metros evaluados. Para lo cual, se dividió el número de plantas afectadas por insectos entre el total de plantas y se multiplicó el resultado por 100.

Rendimiento de Maíz (Zea mays)

Al finalizar la etapa reproductiva, se procedió a la cosecha de una muestra representativa de cada parcela experimental. Con la ayuda de una regla de madera de 3 metros, se midió la altura, y con una cinta métrica se registraron los datos del grosor de la muestra. En Al finalizar la etapa reproductiva, se procedió a la cosecha de una muestra representativa de cada parcela experimental. Con la ayuda de una regla de madera de tres metros, se midió la altura y, con una cinta métrica, se registraron los datos del grosor de la muestra.

Según una investigación, se midió la altura de la planta y el grosor del tallo (diámetro) como parte de la evaluación de las características morfológicas de las variedades de maíz morado (*Zea mays* L.). Estas mediciones se realizaron para analizar su desempeño agronómico y morfológico en diferentes condiciones experimentales, lo que incluyó variables como el rendimiento, las características físicas y su relación con las condiciones ambientales en la región de Cajamarca, Perú. (Pecina Martínez et al., 2011).

Al finalizar el ciclo de cultivo, se inició la toma de datos relacionados con la cosecha. En cada tratamiento, incluyendo los controles, se obtuvo la producción en los cultivos de maíz. Estos datos fueron individuales para cada tipo de tratamiento. Conociendo la producción por metro y el área comprendida, se logró obtener el rendimiento en kg/ha para facilitar su comprensión. A través de estos datos, se determinó qué tratamiento presentó el mayor y menor rendimiento en cada cultivo.

Variables Evaluadas en el Análisis Estadístico

Para el análisis estadístico de este estudio, se evaluó la efectividad de los métodos de aspersión, así mismo, se analizó su impacto en la calidad del grano. Lo que permitió analizar de forma integral tanto la capacidad como la viabilidad que tuvieron los métodos para controlar las plagas en el cultivo. Con estos datos, se comparó la viabilidad de cada método de aspersión.

La muestra de dos metros por parcela experimental se hizo para luego calcular el promedio correspondiente por parcela y por bloque experimental.

En un estudio donde se evaluó variables como el número de hileras por mazorca y el número de granos por hilera se determinó que fueron componentes clave del rendimiento del maíz, ya que influyeron directamente en la productividad total del cultivo al determinar la cantidad de grano producido (Pecina Martínez et al., 2011).

Un mes después de la cosecha, se realizó un nuevo control que incluyó diversas mediciones para evaluar la calidad y las características del grano. Entre estas mediciones se analizaron: el peso de 100 granos por cada método, el control de humedad, el peso en libras bushel, el peso antes de tamizar, el peso de los granos en buen estado, el peso de los granos pequeños, el peso de los granos con defectos o daños por insectos y el peso total de las impurezas. Estas impurezas fueron separadas y pesadas manualmente con la ayuda de una balanza y diferentes zarandas, así como un medidor de humedad.

El procedimiento se realizó un mes después de la cosecha para que el grano alcanzara el nivel de humedad exigido comercialmente por las plantas que lo adquirieron.

Las variables consideradas fueron:

Rendimiento

el rendimiento fue clave para entender la productividad del cultivo. Considerar esta variable ayudó a identificar cómo los métodos de fumigación afectaron la cantidad de grano cosechado.

Severidad

Se logró medir el daño causado por plagas en las plantas. Fue importante determinar el efecto que tuvieron los tratamientos en el control de esta y evaluar cómo afectará la calidad y el rendimiento.

Grano Dañado por Insecto

Tomando una muestra de cada parcela experimental, se cuantificaron los daños visibles en los granos, como perforaciones causadas por plagas. Este análisis fue determinante ya que permitió comparar como protegió cada método utilizado en la fumigación.

Altura y Grosor

Estos indicadores en las plantas de cada parcela permitieron identificar el vigor de las plantas y cómo los métodos afectaron a este desarrollo.

Peso de 100 Gramos

En esta variable, se destacó la calidad del grano, evaluando el tamaño y la densidad de los granos de las mazorcas cosechadas.

Libras Bushel

Este estándar comercial se utilizó para medir la calidad y la densidad del grano, lo que permitió analizar integralmente la eficacia de los métodos.

Normalización de los Datos

Para evaluar la distribución de los datos y determinar la validez de los análisis paramétricos posteriores, se realizaron pruebas de normalidad en las variables de interés bajo un diseño de bloques completos al azar (DBCA). Se aplicaron las pruebas de Shapiro-Wilk (SW) y Kolmogorov-Smirnov (KS) a cada variable dentro de cada tratamiento (bloque), con el objetivo de identificar si los datos siguen una distribución normal.

La prueba de Shapiro-Wilk fue utilizada por su alta sensibilidad en muestras pequeñas, lo que permite detectar desviaciones sutiles de la normalidad. Adicionalmente, se empleó la prueba de Kolmogorov-Smirnov, la cual compara la distribución empírica de los datos con la teórica, permitiendo confirmar la normalidad en muestras más grandes o cuando Shapiro-Wilk reporta valores límite. Se estableció un nivel de significancia de $p > 0.05$, considerando que si el p-valor en ambas pruebas supera este umbral, los datos pueden considerarse normales. En los casos en que Shapiro-Wilk indicara no normalidad, pero Kolmogorov-Smirnov la confirmara, se optó por considerar la normalidad basada en el comportamiento global de los datos.

Pruebas Estadísticas

Para evaluar el efecto de los tratamientos sobre las variables de interés, se llevó a cabo un análisis de varianza (ANOVA) en un diseño de bloques completos al azar (DBCA). Este enfoque permitió considerar la variabilidad introducida por los diferentes bloques experimentales (repeticiones), asegurando que las diferencias observadas entre tratamientos no sean producto del azar, sino del efecto real del tratamiento aplicado.

El análisis ANOVA se realizó para cada variable dependiente con el fin de determinar si existían diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos evaluados. Se consideró el tratamiento como el factor principal y la repetición como el factor de bloqueo, con el objetivo de reducir la variabilidad residual. Se verificó el supuesto de normalidad de los datos antes de la aplicación del ANOVA, asegurando la validez del análisis paramétrico. Se utilizó un nivel de significancia del 5% ($\alpha = 0.05$) para la interpretación de los resultados.

Posteriormente, en los casos en los que el ANOVA indicó diferencias significativas entre los tratamientos, se aplicó la prueba de comparación múltiple de Tukey. Esta prueba permite identificar qué tratamientos presentan diferencias significativas entre sí, controlando la tasa de error tipo I en la comparación múltiple. Se utilizó un criterio de significancia de $\alpha = 0.05$, y se estableció una diferencia mínima significativa basada en el error cuadrático medio del análisis de varianza.

Resultados y Discusión

En el presente se evaluará los distintos tratamientos mediante un análisis estadístico y económico en el que se enfatizó la técnica denominada presupuestos parciales, estos permitieron comprender el efecto del experimento de tal manera de tener una mejor comprensión de los distintos tratamientos.

A partir de las especificaciones técnicas recopiladas, se elaboró un cuadro comparativo, para sintetizar las principales características de los tres equipos, lo que permitió visualizar las ventajas y limitaciones en el desempeño en campo según sus datos técnicos.

Cuadro 2

Comparación técnica de tres equipos de aplicación agrícola

Criterio	Pulverizador de Barras (Jacto Columbia Cross)	Dron Agrícola (DJI Agras T10)	Pulverizador de Mochila a Motor
Cobertura de aspersión	Alta y uniforme en grandes áreas. Afectado por compactación y daño al cultivo	Precisa y adaptable en terreno irregular. Pulverización homogénea	Limitada, depende de habilidad del operario. Ideal para áreas pequeñas. Eficaz en aplicaciones puntuales con baja presión de plaga.
Presión de plaga	Alta eficiencia en presión de plaga generalizada.	Ideal para focos localizados y zonas difíciles. Alta movilidad, rápida aplicación, sin compactación del suelo	Baja para áreas grandes. Alto esfuerzo físico requerido
Eficiencia operativa	Alta en terrenos accesibles. Limitado en topografía difícil		
Capacidad de tanque	2000 L	8 L (DJI Agras T10)	25 L
Tipo de energía	Tractores (combustión interna)	Baterías recargables de litio	Motor a gasolina de 2 tiempos
Costo inicial	Alto	Alto (pero con menor costo operativo a largo plazo)	Bajo
Manejo ambiental	Posible compactación del suelo.	Bajo impacto ambiental y menor deriva.	Potencial exposición del operario a químicos.
Versatilidad	Muy buena para cultivos extensivos	Excelente para zonas inaccesibles o sensibles	Buena en cultivos intensivos de pequeña escala

Nota. Adaptado de Agritotal (2025), Damajer (s.f; DJI Agriculture), Jacto (s.f; Trader)

Análisis Estadístico

El análisis estadístico realizado evaluó el efecto de diferentes tratamientos de fumigación sobre las variables: rendimiento, severidad promedio, daño por insectos, altura, grosor, peso de 100 granos y libras bushel.

Previamente al análisis estadístico se aplicaron las pruebas de Shapiro-Wilk (SW) y Kolmogorov-Smirnov (KS) a cada variable dentro de cada tratamiento (bloque), con el objetivo de identificar si los datos siguen una distribución normal.

Cuadro 3

Pruebas de normalidad

Variable	Tratamiento	Shapiro-Wilk Valor P	Kolmogorov-Smirnov Valor P	Normalidad
Severidad	Dron	0.21	0.82	Si
	Asperjador	0.53	0.94	Si
	Mochila	0.38	0.84	Si
	C_Comercial	0.75	0.90	Si
	C_Absoluto	0.34	0.73	Si
Altura	Dron	0.04	0.52	No
	Asperjador	0.37	0.71	Si
	Mochila	0.39	0.70	Si
	C_Comercial	0.92	1.00	Si
	C_Absoluto	0.80	0.91	Si
Grosor	Dron	0.81	0.99	Si
	Asperjador	0.65	0.94	Si
	Mochila	0.99	1.00	Si
	C_Comercial	0.19	0.56	Si
	C_Absoluto	0.28	0.85	Si
Peso 100 gramos	Dron	0.80	0.98	Si
	Asperjador	0.97	1.00	Si
	Mochila	0.75	0.91	Si
	C_Comercial	0.73	0.87	Si
	C_Absoluto	0.46	0.93	Si
Lb/bushel	Dron	0.25	0.80	Si
	Asperjador	0.31	0.67	Si
	Mochila	0.62	0.97	Si
	C_Comercial	0.40	0.90	Si
	C_Absoluto	0.08	0.79	Si
Daño insecto	Dron	0.93	0.99	Si
	Asperjador	0.54	0.76	Si
	Mochila	0.67	0.91	Si
	C_Comercial	0.70	0.97	Si
	C_Absoluto	0.73	0.96	Si
Incidencia	Dron	0.18	0.84	Si
	Asperjador	0.26	0.87	Si
	Mochila	0.71	0.98	Si
	C_Comercial	0.25	0.87	Si
	C_Absoluto	0.65	0.94	Si

Los análisis de normalidad confirmaron que, en general, las variables medidas dentro de cada tratamiento siguen una distribución normal, lo que permite la aplicación de pruebas paramétricas en los análisis posteriores. En todos los tratamientos, ambas pruebas indicaron normalidad para las variables evaluadas, excepto en la variable Altura del tratamiento Dron, donde la prueba de Shapiro-

Wilk sugirió una posible desviación de la normalidad. Sin embargo, la prueba de Kolmogorov-Smirnov no indicó evidencia suficiente para rechazar la normalidad.

Estos resultados sugieren que los datos presentan una distribución normal, validando la aplicación de pruebas estadísticas paramétricas para los análisis comparativos posteriores.

Se emplearon análisis de varianza (ANOVA) y pruebas post hoc (Tukey) para identificar diferencias significativas entre tratamientos.

Cuadro 4

Análisis de varianza con el uso de ANOVA

Variable	Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Severidad	Bloques	3.00	0.00	0.00	1.00	0.428
	Tratamiento	4.00	0.14	0.03	28.00	<0.0001
	Error	12.00	0.01	0.00		
	Total corregido	19.00	0.16			
Altura	Bloques	3.00	0.03	0.01	2.40	0.119
	Tratamiento	4.00	0.04	0.01	2.55	0.094
	Error	12.00	0.05	0.00		
	Total corregido	19.00	0.11			
Grosor	Bloques	3.00	0.09	0.03	1.08	0.393
	Tratamiento	4.00	0.89	0.22	8.40	0.002
	Error	12.00	0.32	0.03		
	Total corregido	19.00	1.29			
Peso 100gramos	Bloques	3.00	2.92	0.97	0.50	0.688
	Tratamiento	4.00	25.23	6.31	3.25	0.050
	Error	12.00	23.26	1.94		
	Total corregido	19.00	51.42			
Rendimiento kg/ha	Bloques	3.00	400,357.68	133452.56	0.47	0.709
	Tratamiento	4.00	81,578,000.82	20394500.20	71.71	<0.0001
	Error	12.00	3,412,617.11	284384.76		
	Total corregido	19.00	85,390,975.61			
Lb/bushel	Bloques	3.00	36.08	12.03	3.14	0.065
	Tratamiento	4.00	408.99	102.25	26.69	<0.0001
	Error	12.00	45.96	3.83		
	Total corregido	19.00	491.03			
Daño insecto	Bloques	3.00	0.00	0.00	4.86	0.019
	Tratamiento	4.00	0.00	0.00	28.72	<0.0001
	Error	12.00	0.00	0.00		
	Total corregido	19.00	0.00			
Incidencia	Bloques	3.00	0.01	0.00	1.27	0.328
	Tratamiento	4.00	0.63	0.16	51.83	<0.0001
	Error	12.00	0.04	0.00		
	Total corregido	19.00	0.68			

Se realizó un análisis de varianza (ANOVA) bajo un diseño de bloques completos al azar (DBCA) para evaluar el efecto de los tratamientos sobre las diferentes variables de respuesta, el análisis

incluyó la evaluación de la variabilidad explicada por los tratamientos y las repeticiones (bloques), considerando un nivel de significancia de $\alpha = 0.05$.

El análisis ANOVA mostró que el efecto del tratamiento sobre la Severidad fue altamente significativo ($p < 0.0001$), lo que indica diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos evaluados. Por otro lado, las repeticiones no mostraron un efecto significativo ($p = 0.42$), lo que sugiere que la variabilidad entre bloques no afecta de manera relevante la respuesta de esta variable, esto confirma que las diferencias observadas se deben principalmente al efecto del tratamiento y no a la variabilidad experimental.

En el caso de la variable Altura, no se detectaron diferencias significativas entre los tratamientos ($p = 0.09$), lo que sugiere que los tratamientos no generaron un impacto diferencial sobre esta variable. Asimismo, el efecto de los bloques tampoco fue significativo ($p = 0.11$), indicando que la variabilidad entre repeticiones no influyó en la respuesta de esta variable.

Para la variable Grosor, el ANOVA reveló diferencias significativas entre tratamientos ($p = 0.001$), lo que indica que al menos un tratamiento tuvo un efecto diferente en comparación con los demás. Sin embargo, los bloques no mostraron un efecto significativo ($p = 0.39$), lo que confirma que la variabilidad en esta variable depende mayormente del tratamiento aplicado.

El análisis mostró una diferencia marginalmente significativa entre tratamientos ($p = 0.0502$), lo que sugiere que el tratamiento puede influir en el peso de 100g de los productos, aunque con menor grado de certeza. La variabilidad entre repeticiones no fue significativa ($p = 0.68$), por lo que la aleatorización entre bloques no tuvo un impacto importante en la respuesta.

El Rendimiento fue una de las variables con mayor significancia estadística entre tratamientos ($p < 0.0001$), lo que indica que los tratamientos aplicados generaron diferencias altamente significativas en la producción. No obstante, el efecto de los bloques fue no significativo ($p = 0.70$), lo que refuerza que las diferencias en rendimiento se deben a los tratamientos y no a la aleatorización de las repeticiones.

La variable lb/bushel también presentó diferencias altamente significativas entre tratamientos ($p < 0.0001$), lo que sugiere un impacto claro de los tratamientos en la calidad del producto. En este caso, los bloques estuvieron cerca de la significancia ($p = 0.07$), indicando una posible influencia de la variabilidad experimental, aunque sin alcanzar un nivel estadísticamente significativo.

Se encontraron diferencias significativas en la variable Daño por insectos entre los tratamientos ($p < 0.0001$), lo que indica que algunos tratamientos fueron más efectivos que otros en la reducción del daño. Además, el efecto de los bloques también fue significativo ($p = 0.02$), lo que sugiere que la variabilidad entre repeticiones influyó en los resultados.

La variable Incidencia mostró diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0.0001$), lo que indica que los tratamientos evaluados afectan la presencia de la enfermedad o condición evaluada. No obstante, los bloques no mostraron un efecto significativo ($p = 0.33$), lo que sugiere que la variabilidad entre repeticiones no afectó considerablemente los resultados.

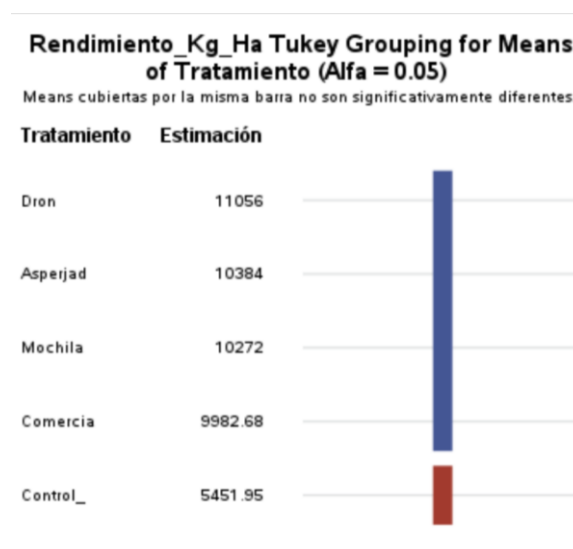
El ANOVA permitió identificar que varias variables presentaron diferencias significativas entre tratamientos. Variables como Severidad, Grosor, Rendimiento, lb/bushel, Daño por insectos e Incidencia mostraron efectos altamente significativos, mientras que otras como Altura y Peso 100g no presentaron diferencias claras entre tratamientos.

En general, los bloques (repeticiones) no tuvieron un efecto significativo en la mayoría de las variables, con excepción del Daño por insectos, donde sí se observó una influencia de la variabilidad experimental. Esto sugiere que las diferencias observadas en la mayoría de las variables son atribuibles directamente al tratamiento aplicado y no a factores aleatorios.

A continuación, se presenta un desglose de los resultados de las distintas variables evaluadas. Para comprobar la diferencia entre tratamientos en cada modelo, se realizó una prueba del rango estudentizado de Tukey, como se muestra en la Figura 6.

Figura 4

Prueba Tukey, variable rendimiento



Para el primer modelo, con un alfa de 0.05, se determinó que existió una diferencia significativa entre el control absoluto y el resto de los tratamientos, siendo este el que presentó el menor rendimiento.

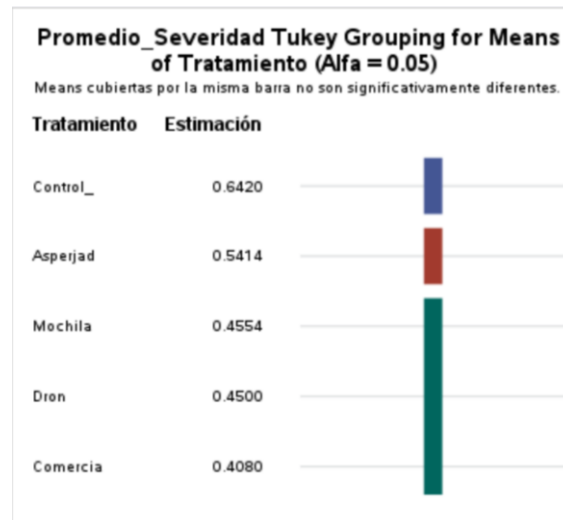
En referencia al cultivo de maíz, se observó que los ataques más severos ocurrieron durante la fase vegetativa inicial del desarrollo de las plantas, 30 días después de la siembra. Estos pudieron ocasionar pérdidas en el rendimiento de un 30 % a 64 % (Lezaun, s.f)

En la prueba de Tukey, se evidenció una diferencia significativa entre el control absoluto y los demás tratamientos. Al comparar el rendimiento del control absoluto con el promedio de los demás tratamientos, se observó que este presentó una producción 47.7 % menor.

Al no existir un agente químico que controlara plagas, como es el caso de los insecticidas, se produjo un incremento descontrolado de plagas, como el gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*) y el gusano elotero (*Helicoverpa zea*), entre otros, que afectaron el follaje y los meristemas apicales de crecimiento. Esto causó estrés y redujo la fotosíntesis de la planta, lo que se tradujo en un rendimiento inferior.

Figura 5

Prueba Tukey, variable severidad



La prueba de Tukey sugirió que el control absoluto presentó la mayor severidad con diferencias significativas, seguida de la asperjadora, y dejando en último lugar al grupo conformado por la mochila, el dron y el control comercial, los cuales presentaron las menores severidades.

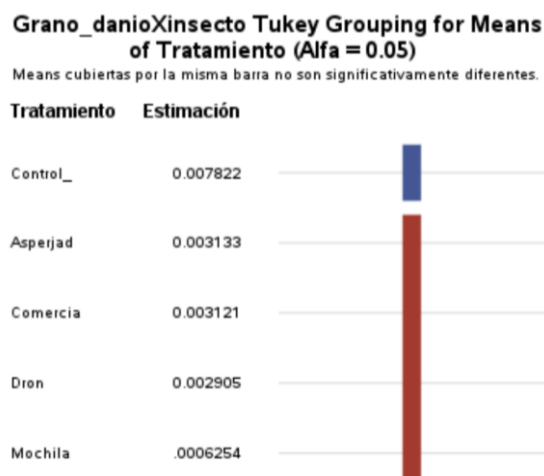
Estos resultados fueron consistentes con un estudio que destacó la eficiencia en la aplicación de plaguicidas, la cual varió según el método de fumigación utilizado.

En una investigación donde se comparó la aplicación de dos métodos de fumigación utilizando una asperjadora tipo boom y un dron para la aplicación de glifosato, se determinó que la asperjadora presentó una mayor cobertura en cuanto a gotas por centímetro cuadrado en comparación con el dron, lo que sugirió una aplicación más uniforme del plaguicida (Jaramillo, 2023).

Sin embargo, se debe considerar que una mayor cobertura no fue proporcional a una menor severidad de enfermedades, ya que existieron factores como la dosificación y la técnica de aplicación que influyeron en la eficacia del control de plagas.

Figura 6

Prueba Tukey, variable daño de grano por insecto



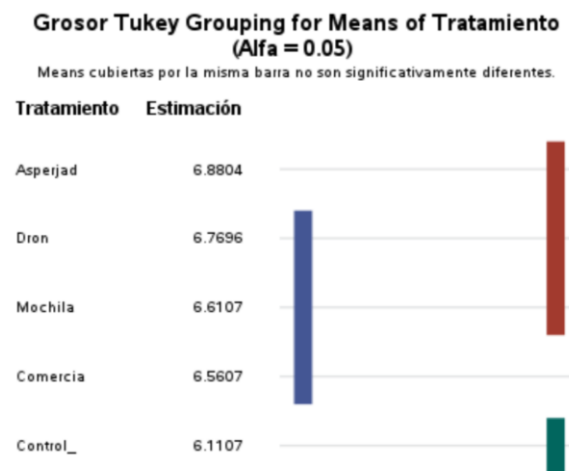
En cuanto al daño por insectos encontrado en los análisis de calidad de grano, se observó que el control absoluto presentó el mayor daño *por insectos*, con una diferencia significativa en comparación con los demás tratamientos.

Este análisis, que midió la calidad del grano, determinó que el control absoluto, al no haber recibido aplicaciones, fue el más perjudicado.

La elección del método de aplicación dependió de factores como el tamaño y la densidad de la plaga. Además, se determinó que una aplicación ineficiente pudo resultar en una mayor incidencia de daños (Quintero, Cardoso, Jaime., 2009).

Figura 7

Prueba Tukey, variable grosor



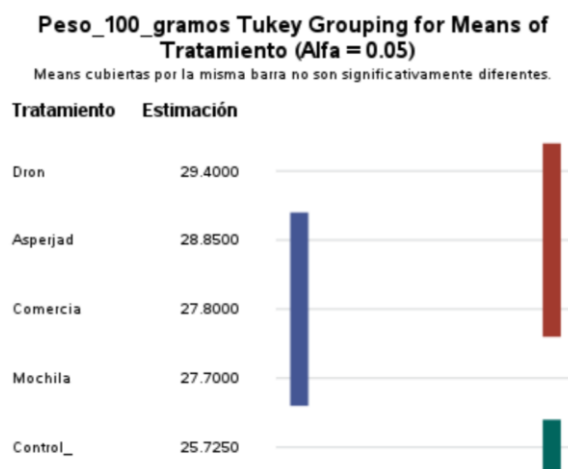
En la variable grosor, los tratamientos con asperjadora, dron y mochila no presentaron diferencias significativas entre sí y registraron los mayores grosores de tallo. Sin embargo, el tratamiento con asperjadora mostró una diferencia significativa con el control comercial, el cual presentó un grosor de tallo inferior. Finalmente, el control absoluto registró el menor grosor de tallo, con una diferencia estadística significativa.

En el estudio, se observó una ausencia de diferencias significativas entre los tratamientos con asperjadora, dron y mochila, lo que indicó que estos influyeron significativamente en el desarrollo estructural, específicamente en el grosor del tallo de maíz.

La aplicación más uniforme y efectiva de plaguicidas hizo que la asperjadora fuera superior al control comercial, mientras que el menor grosor en el control absoluto resaltó la importancia que tuvo la correcta aplicación en este estudio.

Figura 8

Prueba tukey, variable peso 100 granos



En la variable peso de 100 granos, los tratamientos con dron, asperjadora y control comercial no presentaron diferencias significativas entre sí, siendo los que registraron el mayor peso. Sin embargo, el tratamiento con mochila mostró una diferencia significativa con el dron. Finalmente, el control absoluto presentó el menor peso en 100 granos, con una diferencia estadística significativa.

En el caso del maíz, la literatura muestra que las prácticas de manejo, como una adecuada fertilización nitrogenada, afectan componentes del rendimiento, incluyendo el peso de 100 granos. Investigaciones encontraron que diferentes niveles de fertilización nitrogenada afectó significativamente en parámetros como el peso de 100 granos en híbridos de maíz (Barrios y Basso, 2018).

A pesar de que este estudio se enfocó en la fertilización, resaltó cómo las prácticas de manejo impactaron directamente la calidad del grano. Por ello, se infiere que una aplicación eficiente de plaguicidas redujo el estrés y permitió que la planta destinara más recursos al desarrollo del grano, aumentando de esta forma su peso

Cuadro 5*Coefficientes de correlación*

Variable	Rendimiento_Kg/Ha	Promedio severidad	Grano daño insecto	Altura	Grosor	Peso de 100 gramos	Lb/Bushel
Rendimiento_Kg/Ha	1.000000	0.189085 (0.4831)	-0.089580 (0.7415)	0.159222 (0.5559)	0.223493 (0.4054)	0.250595 (0.3492)	0.223430 (0.4055)
Promedio Severidad	0.189085 (0.4831)	1.000000	0.227310 (0.3972)	0.471627 (0.0651)	0.001746 (0.9949)	-0.272593 (0.3070)	- 0.031413 (0.9081)
Grano daño insecto	-0.089580 (0.7415)	0.227310 (0.3972)	1.000000	0.187658 (0.4865)	0.067287 (0.8044)	-0.394711 (0.1303)	- 0.354377 (0.1781)
Altura	0.159222 (0.5559)	0.471627 (0.0651)	0.187658 (0.4865)	1.000000	0.542786 (0.0298)	-0.330288 (0.2115)	- 0.290448 (0.2751)
Grosor	0.223493 (0.4054)	0.001746 (0.9949)	0.067287 (0.8044)	0.542786 (0.0298)	1.000000	0.342703 (0.1938)	- 0.111229 (0.6817)
Peso de 100 gramos	0.250595 (0.3492)	-0.272593 (0.3070)	-0.394711 (0.1303)	- 0.330288 (0.2115)	0.342703 (0.1938)	1.000000	0.507193 (0.0449)
Lb/Bushel	0.223430 (0.4055)	-0.031413 (0.9081)	-0.354377 (0.1781)	- 0.290448 (0.2751)	- 0.111229 (0.6817)	0.507193 (0.0449)	1.000000

En la Figura 11, se muestran las correlaciones parciales (basadas en la matriz SSCP de error) de los distintos tratamientos. Se identificaron las siguientes correlaciones significativas:

Se encontró una correlación positiva moderada entre el peso promedio de 100 granos y el peso en libras por bushel ($r = 0.51$, $p < 0.05$), lo que indicó que un mayor peso promedio de los granos se asoció con un mayor peso por bushel. Además, se observó una correlación positiva entre la altura y el grosor ($r = 0.54$, $p < 0.05$), lo que sugirió que las plantas más altas presentaron un mayor grosor.

El peso en libras por bushel es una medida ampliamente utilizada, ya que refleja la densidad y calidad del grano. Este peso se determina por la cantidad de kilogramos en un volumen de 100 litros, siendo un indicador clave de la densidad del grano. A su vez, esta densidad puede reflejar su calidad, contenido de humedad y valor comercial (Huaman, 2024).

Por lo tanto, se infiere que los granos más pesados contribuyeron a un mayor peso por bushel debido a su densidad, lo que se relacionó directamente con la calidad del grano. También se encontró una relación entre la altura y el grosor del tallo en la planta de maíz.

Estudios previos han reportado una correlación similar en otros cultivos, como la moringa (*Moringa oleífera*), donde se identificó una relación positiva entre la altura y el diámetro del tallo. Esto sugiere que el incremento en la altura de la planta estuvo acompañado de un aumento en el grosor del tallo, lo que indica que un tallo más robusto favoreció el soporte de la estructura vegetal a medida que la planta creció (Medina et al., 2007).

Cuadro 6

Raíces características y vectores

Raíz característica	Porcentaje	Rendimiento Kg/Ha	Promedio Severidad	Grano daño insecto	Altura	Grosor	Peso 100 gramos	Lb/Bushel
92.1126256	86.37%	0.000235	-7.194425	-92.210936	9.479724	- 0.976683	0.016945	0.098691
9.4496888	8.86%	-0.000259	4.438084	111.033958	5.043302	- 0.399087	0.199687	0.205950
3.2992917	3.09%	0.000146	1.967917	67.330527	3.875233	- 1.419082	0.487144	0.341309
1.7850243	1.67%	0.000198	0.161785	134.932207	- 5.838180	1.231475	-0.045865	0.170088
0.0000000	0.00%	-0.000173	0.055833	-98.102832	- 2.897067	2.104736	-0.039167	- 0.011797
0.0000000	0.00%	-0.000250	-2.399923	6.203700	2.671999	- 1.458080	0.304770	0.030398
0.0000000	0.00%	-0.000213	-4.096533	85.688926	4.289215	0.195016	0.049360	- 0.075848

En el análisis MANOVA, se obtuvieron raíces y vectores característicos que explicaron cómo las variables dependientes contribuyeron de manera conjunta a los efectos del tratamiento. La primera raíz característica representó el 86.37 % de la variabilidad total, con las variables altura de las plantas (peso = 9.48) y daño por insectos en el grano (peso = -92.21) como las más relevantes en esta combinación lineal.

Esto sugirió que los tratamientos afectaron principalmente estas características del cultivo, actuando de forma conjunta. En la primera raíz, el 86.37 % de la variabilidad fue explicado, destacando la altura de las plantas y el daño por insectos en el grano como las variables que más influyeron.

Cuadro 7

Análisis Multivariados

Estadístico	Valor	Valor F	Num DF	Den DF	Pr > F
Lambda de Wilks	0.00008583	15.03	28	33.872	<.0001
Traza de Pillai	3.30190394	8.11	28	48	<.0001
Traza Hotelling-Lawley	106.64663033	30.92	28	14.526	<.0001
Raíz más grande de Roy	92.11262559	157.91	7	12	<.0001

Se realizaron análisis multivariados para evaluar cómo los tratamientos influyeron en las variables dependientes. Los resultados indicaron que todos los estadísticos considerados (Lambda de Wilks, Traza de Pillai, Traza de Hotelling-Lawley y Raíz Mayor de Roy) mostraron significancia estadística ($p < 0.0001$). Esto evidenció que los tratamientos generaron un impacto notable en las variables estudiadas en conjunto, respaldando la hipótesis de que provocaron diferencias significativas en las características analizadas.

La diferencia significativa sugirió que los diferentes tratamientos de fumigación afectaron de manera conjunta distintos aspectos del desarrollo morfológico y, sobre todo, la calidad del maíz.

Un estudio relacionado, titulado "Optimization of Spray Fluid for Herbicide Application for Drones in Irrigated Maize (*Zea mays* L.)," analizó la eficiencia de aplicación de herbicidas con la utilización de drones en el cultivo de maíz irrigado. La investigación concluyó que la optimización del fluido de pulverización fue fundamental para mejorar la eficacia del herbicida y destacó que esta optimización minimizó el impacto ambiental (Supriya et al., 2021).

Por lo tanto, se puede interpretar que es esencial seleccionar adecuadamente la mejor técnica de fumigación para obtener resultados óptimos en el control de plagas y la producción de maíz.

Presupuestos Parciales

Para realizar la técnica de presupuestos parciales, se inició identificando los distintos costos que variaron entre tratamientos. A cada uno se le asignó un valor que cambió según el método de fumigación. A continuación, se detallan cada uno de ellos.

El agua, reconocida por sus propiedades como solvente, fue un recurso cuyo uso varió según el tratamiento aplicado. En los tratamientos con asperjadora y mochila, se utilizó una dosis de 200 litros por hectárea, mientras que el dron, gracias a su precisión, empleó únicamente 20 litros por hectárea.

El tratamiento comercial, al combinar las aplicaciones de mochila y asperjadora, mantuvo la misma dosis. En el control absoluto, al no realizarse aplicaciones, no hubo consumo de este recurso. En el Cuadro 3, a continuación, se detallan los valores.

Cuadro 8

Costos por tratamiento agua

Tratamiento	Metros cúbicos usados	Precio (metro cubico agua USD)	Total (USD)
Dron	0.06	1.22	0.07
Asperjadora	0.6	1.22	0.73
Mochila	0.6	1.22	0.73
Control Comercial	0.6	1.22	0.73
Control Absoluto	0	1.22	0

La tarifa de agua para el sector agropecuario es de 1.22 dólares americanos el metro cubico, esto considerando el pago por protección de la Reserva Biológica (Jaramillo C, 2015)

En el caso del adherente, se observaron cambios en las cantidades utilizadas por tratamiento, debido a que su dosis varió según la cantidad de agua empleada. Como el uso de agua fue diferente en cada tratamiento, la cantidad de adherente también cambió. A continuación, se detallan los costos incurridos.

Cuadro 9*Costos de adherente utilizado por tratamiento*

Tratamiento	Litros usados	precio litro (Mega Pega Sampolk USD)	Total (USD)
Dron	0.024	8.48	0.20
Asperjadora	0.24	8.48	2.04
Mochila	0.24	8.48	2.04
Control Comercial	0.24	8.48	2.04
Control Absoluto	0	8.48	0

Cuadro 10*Costo de aspersión percibido por hectárea*

Tratamiento	Precio (Hora/Ha)	Precio ha trabajada	Costo (USD)
Dron	-	25.76	77.28
Asperjadora	45.17	-	105.86
Mochila	5.58	-	74.16
Control Comercial	-	-	88.13
Control Absoluto	-	-	0

Método de aspersión varió en cada tratamiento. Se utilizaron instrumentos como el dron DJI Agras T10, la asperjadora Jacto Columbia 2000 y la mochila a motor marca Echo. En el control comercial, se realizó una aspersión con la asperjadora y dos con la mochila motorizada, mientras que en el control absoluto no se llevaron a cabo aplicaciones.

En este contexto, se asignaron costos para cada actividad. En el tratamiento con dron, se estableció un precio por hectárea trabajada, mientras que, para la asperjadora y la mochila, el costo se determinó en función del tiempo de trabajo. Este valor se asoció con el número de aspersiones realizadas, las cuales se efectuaron de acuerdo con la incidencia de plagas. Se realizaron tres aplicaciones en todos los tratamientos, exceptuando el control absoluto.

Por tal motivo, en el tratamiento con mochila y asperjadora, se registraron tiempos de trabajo neto, correspondientes al momento en el que se asperjaba la parcela, y tiempos muertos, cuando no se realizaban aplicaciones y se llevaban a cabo actividades de desplazamiento y llenado de bombas.

Estos valores fueron promediados en cada tratamiento, a través de los cuales se calcularon las hectáreas fumigadas por hora.

Los tiempos calculados para mochila fueron de 4.43 horas trabajador/hectárea y para el caso del control comercial en el que también se aplicó con mochila fueron de 4.73 horas trabajador/hectárea la diferencia de estos tiempos es debido a que los tiempos promediados en el control comercial fueron en etapas más tardías donde la complejidad de la aspersión aumenta.

En el caso de la asperjadora, se contó con información acerca de los tiempos de aspersión., en una investigación, se calculó que la asperjadora tuvo una capacidad efectiva en campo de 1.28 ha/h. Este valor fue utilizado para el análisis (Jaramillo, 2023).

Beneficio Bruto

Los ingresos fluctuaron de acuerdo con el tratamiento a causa de la diferencia de producción en Kilogramos/ hectárea y la calidad del grano. Debido a que en el análisis estadístico no se presentaron diferencias significativas en la prueba rendimiento kg/ha entre los tratamientos Dron, Asperjadora, Mochila y Control Comercial, se promedió su producción, agrupándolos con una misma media de producción, sin embargo, todos superaron de manera significativa al control absoluto por lo que este continuo con su mismo rendimiento.

Estos resultados destacaron la efectividad económica del uso de tecnologías como el dron en comparación con métodos tradicionales o la ausencia de tratamientos.

Cuadro 11*Ingresos de los tratamientos por quintal*

Tratamiento	Quintales (100lb)	Precio quintal(100lb)	Ingresos (USD)	Promedio
Dron	229.60	20.74	4,761.43	4,860.24
	229.60	21.31	4,893.17	
	229.60	21.31	4,893.17	
	229.60	21.31	4,893.17	
Asperjadora	229.60	21.31	4,893.17	4,893.17
	229.60	21.31	4,893.17	
	229.60	21.31	4,893.17	
	229.60	21.31	4,893.17	
Mochila	229.60	20.74	4,761.43	4,761.43
	229.60	20.74	4,761.43	
	229.60	20.74	4,761.43	
	229.60	20.74	4,761.43	
C. Comercial	229.60	20.74	4,761.43	4,761.43
	229.60	20.74	4,761.43	
	229.60	20.74	4,761.43	
	229.60	20.74	4,761.43	
C. Absoluto	136.69	20.74	2,834.54	2,492.56
	135.05	20.74	2,800.53	
	105.79	20.74	2,193.80	
	103.26	20.74	2,141.38	

Para obtener los ingresos de cada tratamiento, se tomaron los valores de cosecha de cada repetición y se clasificaron los datos con la finalidad de categorizar el grano en A, B y C. Esto permitió asignar un valor monetario según la calidad que presentó cada tratamiento.

Se realizó un ajuste en los rendimientos de las parcelas experimentales con el objetivo de descontar los porcentajes que excedieron los parámetros establecidos en cada categoría, según el “Convenio para las negociaciones de una alianza estratégica de compra y venta de granos básicos entre la industria de harinas de maíz blanco y alimentos”, publicado en el diario La Gaceta de Honduras. Este ajuste garantizó que cualquier parámetro que no cumpliera con los estándares, pero que tampoco superara el límite, fuera descontado del rendimiento total.

Para las parcelas experimentales que obtuvieron una clasificación de grano en la categoría B, se aplicó el ajuste, limitando siempre los valores a lo estipulado en el documento. Esto permitió

obtener un grano apto y de calidad acorde al mercado industrial, el cual ofreció un precio superior al del mercado popular.

Sin embargo, las parcelas experimentales que superaron los niveles de daño permitidos por el “Convenio para las negociaciones de una alianza estratégica de compra y venta de granos básicos entre la industria de harinas de maíz blanco y alimentos” fueron reclasificadas en la categoría C, la más baja.

Cuadro 12

Categorías de calidad de grano obtenida por repetición.

Tratamiento	Rendimiento kg/ha	Ajuste Rendimiento	Categoría
Dron	11,197.24	11,197.24	C
	10,831.32	10,771.53	B
	10,845.96	10,842.70	B
	11,350.93	11,267.50	B
Asperjadora	10,475.15	10,475.15	A
	9,733.55	9,733.55	A
	10,787.41	10,787.41	A
	10,538.58	10,538.58	A
Mochila	10,576.39	10,576.39	C
	9,964.08	9,964.08	C
	9,707.94	9,707.94	C
	10,841.08	10,841.08	C
Control Comercial	9,759.17	9,759.17	C
	10,194.61	10,194.61	C
	10,127.53	10,127.53	C
	9,849.43	9,849.43	C
Control Absoluto	6,199.95	6,199.95	C
	6,125.55	6,125.55	C
	4,798.47	4,798.47	C
	4,683.81	4,683.81	C

Los valores de rendimiento del tratamiento dron se ubicaron en dos categorías, B y C, lo que permitió lograr un ingreso más alto cuando se calculó el promedio por bloque experimental.

Los métodos con dron y asperjadora, al ubicarse en las categorías A y B, cumplieron con los requerimientos del acuerdo firmado por el gobierno de Honduras, que fija el precio del maíz a un valor de 21.31 dólares americanos por 100 libras, lo que les asignó un precio mayor según los estándares del mercado.

Sin embargo, los métodos que fueron clasificados en la categoría C, como la mochila a motor y el control comercial, se vendieron en los mercados populares de Tegucigalpa. Se tomó en cuenta el precio referencial registrado por el Sistema de Información de Mercados de Productos Agrícolas de Honduras (SIMPAH), que fijó un valor de 20.73 dólares por 100 libras en septiembre de 2024, fecha en la que el grano alcanzó la humedad de comercialización.

Finalmente, el control absoluto presentó los rendimientos más bajos en cada parcela experimental y su promedio fue clasificado exclusivamente en la categoría C. Esto evidenció su bajo desempeño, especialmente en términos de calidad, lo que resaltó la importancia de utilizar una técnica de fumigación adecuada con tecnología eficiente para obtener un mayor rendimiento y valor en el cultivo.

Beneficios Netos

Para obtener el beneficio neto, se restó el beneficio bruto, obtenido de la multiplicación entre el rendimiento ajustado y el precio acorde a la calidad, y el total de costos variables, los cuales incluyeron agua, adherente y método de aspersión.

Cuadro 13

Beneficios netos de los tratamientos

Tratamiento	Beneficio bruto (USD)	Costos totales que varían (USD)	Beneficio Neto (USD)
Control Absoluto	2,492.56	0	2,492.56
Mochila	4,761.43	76.93	4,684.51
Dron	4,860.24	77.56	4,782.68
Control Comercial	4,761.43	90.90	4,670.53
Asperjadora	4,893.17	108.63	4,784.54

En base a estos resultados, se determinó que el tratamiento asperjadora obtuvo el mayor beneficio neto (USD 4,784.54), seguido de él tratamiento dron (USD 4,782.6). Posteriormente, se ubicaron la mochila (USD 4,684.5) y el control comercial (USD 4,670.5). Finalmente, el control absoluto registró el menor beneficio neto (USD 2,492.56).

Análisis de Dominancia

Cuadro 14

Análisis de dominancia

Tratamiento	Beneficio bruto (USD)	Costos totales que varían (USD)	Beneficio Neto (USD)	
Control Absoluto	2,492.56	0	2,492.56	
Mochila	4,761.43	76.93	4,684.51	
Dron	4,860.24	77.56	4,782.68	
Control Comercial	4,761.43	90.90	4,670.53	D
Asperjadora	4,893.17	108.63	4,784.54	

En el Cuadro 8, se presentan los costos totales variables y los beneficios netos de cada uno de los métodos o tratamientos utilizados en el experimento para el control de plagas. Se ordenaron de menor a mayor tomando en cuenta los costos totales variables. Se observó que los beneficios netos aumentaron, con excepción del control comercial, cuyo beneficio neto fue menor en comparación con su predecesor en costos.

Por tal motivo, este tratamiento se consideró dominado, por lo que se marcó con una D y no se incluyó en la tasa de retorno marginal.

Para realizar el análisis de dominancia, se compararon en secuencia los tratamientos ordenados de forma ascendente, evaluando si un tratamiento presentó mayores costos y menores beneficios netos en relación con otro.

Este análisis permitió comprender que el productor no debe enfocarse únicamente en los rendimientos del cultivo, sino en los beneficios netos. Los tratamientos dominados, aunque mostraron un mayor rendimiento, no compensaron los costos adicionales que implicaron.

Tasa de Retorno Marginal

En el análisis de dominancia se descartó un tratamiento, sin embargo, esto no permitió obtener una recomendación definitiva.

Por tal motivo, para calcular la tasa de retorno marginal, se excluyó este tratamiento del análisis, considerando únicamente los tratamientos control absoluto, mochila, dron y asperjadora.

Cuadro 15*Tasa de retorno marginal*

Concepto	Control Absoluto	Mochila	Dron	Asperjadora
Beneficio Bruto	2,492.56	4,761.43	4,860.24	4,893.17
Costos que varían	0	76.93	77.56	108.63
Beneficio neto	2,492.56	4,684.51	4,782.68	4,784.54
Cambio en costos que varían	-	76.93	0.63	31.08
Cambio en beneficio neto	-	2,191.94	98.18	1.86
Tasa de retorno marginal	-	2,849%	15,614%	6%

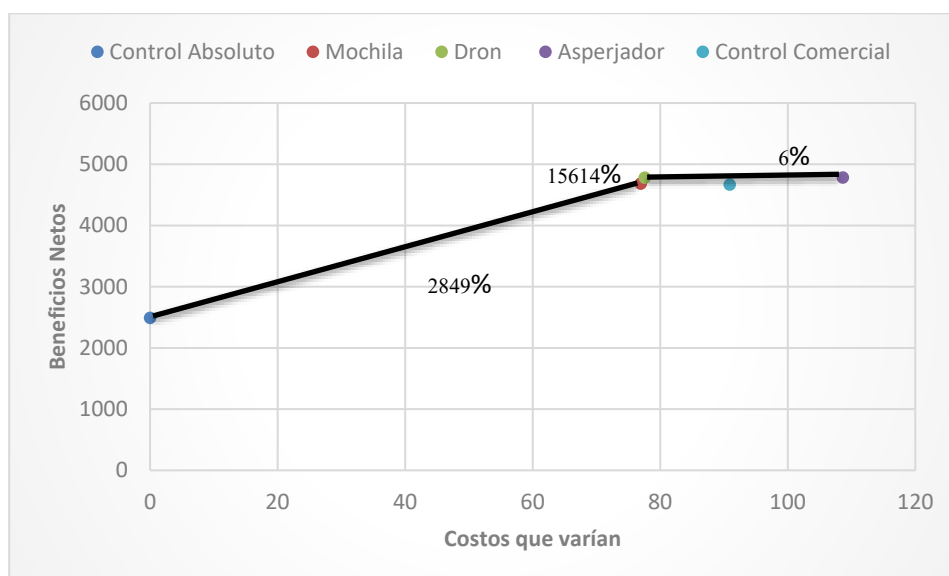
En el cuadro 9. Se muestran los cambios en beneficio neto y costo que varían entre el tratamiento, acorde como aumenta su valor en los costos totales que varían, para obtener la tasa de retorno marginal, se divide el cambio en beneficio neto sobre el cambio en costo que varía.

La tasa de retorno marginal (TRM) que se obtuvo entre el tratamiento Control absoluto y Mochila fue de 2,849%. La TRM entre los tratamientos Mochila y Dron fue de 15,614% y finalmente la TRM obtenida entre el tratamiento Dron y Asperjadora fue del 6%, estas tasas indican en porcentaje, el beneficio de invertir en este caso en una nueva tecnología, es decir, por cada dólar invertido, cual es el porcentaje adicional que se recuperará.

En la figura 14 se observa la curva beneficio neto, en una curva de beneficios netos, cada tratamiento se distingue con un punto, según sus beneficios netos y el total de los costos que varían. Las alternativas que no son dominadas se unen con una línea (Cimmyt, 1988), el tratamiento control comercial a pesar de que es dominado se lo ha indicado con un punto en la gráfica.

Figura 9

Curva de beneficio neto



Análisis de Sensibilidad

Cuadro 16

Análisis de sensibilidad de precios y su impacto en el beneficio neto del mercado de Tegucigalpa

Precio	Control Absoluto	Mochila	Dron	Control Comercial	Asperjadora
	2,492.56	4,684.51	4,782.68	4,670.53	4,784.54
16	1,923.12	3,596.72	4,510.73	3,582.74	4,784.54
16.5	1,983.21	3,711.52	4,539.43	3,697.54	4,784.54
17	2,043.31	3,826.32	4,568.14	3,812.35	4,784.54
17.5	2,103.41	3,941.12	4,596.84	3,927.15	4,784.54
18	2,163.50	4,055.92	4,625.54	4,041.95	4,784.54
18.5	2,223.60	4,170.72	4,654.24	4,156.75	4,784.54
19	2,283.70	4,285.52	4,682.94	4,271.55	4,784.54
19.5	2,343.80	4,400.33	4,711.64	4,386.35	4,784.54
20	2,403.89	4,515.13	4,740.34	4,501.15	4,784.54
20.5	2,463.99	4,629.93	4,769.04	4,615.96	4,784.54
21	2,524.09	4,744.73	4,797.74	4,730.76	4,784.54
21.3	2,560.15	4,813.61	4,814.96	4,799.64	4,784.54
21.5	2,584.19	4,859.53	4,858.90	4,845.56	4,827.83
22	2,644.28	4,974.33	4,973.70	4,960.36	4,942.63

En el cuadro 11 se presenta un análisis de sensibilidad en el que se evalúa la variación del precio del mercado de Tegucigalpa, los tratamientos Asperjadora en todas sus repeticiones y Dron en tres de sus cuatro repeticiones, no adoptan el precio del mercado Tegucigalpa en el análisis hasta que

este supera el precio del acuerdo comercial por el que se rigen, en este punto la mochila pasa a obtener el mayor beneficio neto entre los tratamientos, previamente lo tenía la asperjadora.

Cuadro 17

Análisis de sensibilidad del precio en las Tasas de Retorno Marginal (TRM)

Precio	Control Absoluto-Mochila	Mochila-Dron	Dron-Asperjadora
	2849%	15614%	6%
16	2176%	145363%	881%
16.5	2247%	131669%	789%
17	2318%	117976%	696%
17.5	2389%	104283%	604%
18	2460%	90590%	512%
18.5	2531%	76896%	419%
19	2602%	63203%	327%
19.5	2673%	49510%	235%
20	2744%	35817%	142%
20.5	2816%	22123%	50%
21	2887%	8430%	-42%
21.3	2929%	214%	-98%
21.5	2958%	-100%	-100%
22	3029%	-100%	-100%
22.5	3100%	-100%	-100%

En el cuadro 12 se presenta las distintas tasas de retorno marginal, variando los precios del mercado Tegucigalpa, para el caso de la TRM en los tratamientos de Mochila-Dron y Dron-Asperjadora se observa que este valor pasa a ser negativo en el punto en el que el precio del mercado está entre 21.3 y 21.5, esto se deriva a que en este punto el precio del mercado supera al del acuerdo comercial.

Cuadro 18

Sensibilidad del beneficio neto ante costos que varían y precio del maíz en el C. Absoluto

		Precio del maíz en Control Absoluto											
		50%	60%	70%	80%	90%	100%	110%	120%	130%	140%	150%	
		2,492.56	10.37	12.44	14.52	16.59	18.66	20.74	22.81	24.89	26.96	29.03	31.11
Costos que varían	50%	0.00	1,246.28	1,495.54	1,744.79	1,994.05	2,243.31	2,492.56	2,741.82	2,991.08	3,240.33	3,489.59	3,738.84
	60%	0.00	1,246.28	1,495.54	1,744.79	1,994.05	2,243.31	2,492.56	2,741.82	2,991.08	3,240.33	3,489.59	3,738.84
	70%	0.00	1,246.28	1,495.54	1,744.79	1,994.05	2,243.31	2,492.56	2,741.82	2,991.08	3,240.33	3,489.59	3,738.84
	80%	0.00	1,246.28	1,495.54	1,744.79	1,994.05	2,243.31	2,492.56	2,741.82	2,991.08	3,240.33	3,489.59	3,738.84
	90%	0.00	1,246.28	1,495.54	1,744.79	1,994.05	2,243.31	2,492.56	2,741.82	2,991.08	3,240.33	3,489.59	3,738.84
	100%	0.00	1,246.28	1,495.54	1,744.79	1,994.05	2,243.31	2,492.56	2,741.82	2,991.08	3,240.33	3,489.59	3,738.84
	110%	0.00	1,246.28	1,495.54	1,744.79	1,994.05	2,243.31	2,492.56	2,741.82	2,991.08	3,240.33	3,489.59	3,738.84
	120%	0.00	1,246.28	1,495.54	1,744.79	1,994.05	2,243.31	2,492.56	2,741.82	2,991.08	3,240.33	3,489.59	3,738.84
	130%	0.00	1,246.28	1,495.54	1,744.79	1,994.05	2,243.31	2,492.56	2,741.82	2,991.08	3,240.33	3,489.59	3,738.84
	140%	0.00	1,246.28	1,495.54	1,744.79	1,994.05	2,243.31	2,492.56	2,741.82	2,991.08	3,240.33	3,489.59	3,738.84
	150%	0.00	1,246.28	1,495.54	1,744.79	1,994.05	2,243.31	2,492.56	2,741.82	2,991.08	3,240.33	3,489.59	3,738.84

Cuadro 19*Sensibilidad del beneficio neto ante costos que varían y precio del maíz en Mochila*

		Precio del maíz en Mochila											
		50%	60%	70%	80%	90%	100%	110%	120%	130%	140%	150%	
		4,684.51	10.37	12.44	14.52	16.59	18.66	20.74	22.81	24.89	26.96	29.03	31.11
costos que varían	50%	38.46	2,342.25	2,818.40	3,294.54	3,770.68	4,246.83	4,722.97	5,199.11	5,675.26	6,151.40	6,627.54	7,103.69
	60%	46.16	2,334.56	2,810.70	3,286.85	3,762.99	4,239.13	4,715.28	5,191.42	5,667.56	6,143.71	6,619.85	7,095.99
	70%	53.85	2,326.87	2,803.01	3,279.15	3,755.30	4,231.44	4,707.58	5,183.73	5,659.87	6,136.01	6,612.16	7,088.30
	80%	61.54	2,319.17	2,795.32	3,271.46	3,747.60	4,223.75	4,699.89	5,176.04	5,652.18	6,128.32	6,604.47	7,080.61
	90%	69.24	2,311.48	2,787.63	3,263.77	3,739.91	4,216.06	4,692.20	5,168.34	5,644.49	6,120.63	6,596.77	7,072.92
	100%	76.93	2,303.79	2,779.93	3,256.08	3,732.22	4,208.36	4,684.51	5,160.65	5,636.79	6,112.94	6,589.08	7,065.22
	110%	84.62	2,296.10	2,772.24	3,248.38	3,724.53	4,200.67	4,676.81	5,152.96	5,629.10	6,105.24	6,581.39	7,057.53
	120%	92.31	2,288.40	2,764.55	3,240.69	3,716.83	4,192.98	4,669.12	5,145.26	5,621.41	6,097.55	6,573.69	7,049.84
	130%	100.01	2,280.71	2,756.85	3,233.00	3,709.14	4,185.28	4,661.43	5,137.57	5,613.71	6,089.86	6,566.00	7,042.14
	140%	107.70	2,273.02	2,749.16	3,225.30	3,701.45	4,177.59	4,653.74	5,129.88	5,606.02	6,082.17	6,558.31	7,034.45
	150%	115.39	2,265.33	2,741.47	3,217.61	3,693.76	4,169.90	4,646.04	5,122.19	5,598.33	6,074.47	6,550.62	7,026.76

Cuadro 20*Sensibilidad del beneficio neto ante costos que varían y precio del maíz en Dron*

		Precio del maíz en Dron											
		50%	60%	70%	80%	90%	100%	110%	120%	130%	140%	150%	
		4,782.68	10.37	12.44	14.52	16.59	18.66	20.74	22.81	24.89	26.96	29.03	31.11
Costos que varían	50%	38.78	4,226.28	4,345.32	4,464.35	4,583.39	4,702.42	4,821.46	5,198.80	5,674.94	6,151.09	6,627.23	7,103.37
	60%	46.53	4,218.53	4,337.56	4,456.60	4,575.63	4,694.67	4,813.70	5,191.04	5,667.19	6,143.33	6,619.47	7,095.62
	70%	54.29	4,210.77	4,329.81	4,448.84	4,567.88	4,686.91	4,805.95	5,183.29	5,659.43	6,135.57	6,611.72	7,087.86
	80%	62.05	4,203.01	4,322.05	4,441.09	4,560.12	4,679.16	4,798.19	5,175.53	5,651.68	6,127.82	6,603.96	7,080.11
	90%	69.80	4,195.26	4,314.29	4,433.33	4,552.37	4,671.40	4,790.44	5,167.78	5,643.92	6,120.06	6,596.21	7,072.35
	100%	77.56	4,187.50	4,306.54	4,425.57	4,544.61	4,663.65	4,782.68	5,160.02	5,636.16	6,112.31	6,588.45	7,064.59
	110%	85.31	4,179.75	4,298.78	4,417.82	4,536.85	4,655.89	4,774.93	5,152.27	5,628.41	6,104.55	6,580.70	7,056.84
	120%	93.07	4,171.99	4,291.03	4,410.06	4,529.10	4,648.13	4,767.17	5,144.51	5,620.65	6,096.80	6,572.94	7,049.08
	130%	100.82	4,164.24	4,283.27	4,402.31	4,521.34	4,640.38	4,759.41	5,136.75	5,612.90	6,089.04	6,565.18	7,041.33
	140%	108.58	4,156.48	4,275.52	4,394.55	4,513.59	4,632.62	4,751.66	5,129.00	5,605.14	6,081.29	6,557.43	7,033.57
150%	116.34	4,148.72	4,267.76	4,386.80	4,505.83	4,624.87	4,743.90	5,121.24	5,597.39	6,073.53	6,549.67	7,025.82	

Cuadro 21

Sensibilidad del beneficio neto ante costos que varían y precio del maíz en C. Comercial

		Precio del maíz en Control Comercial											
		50%	60%	70%	80%	90%	100%	110%	120%	130%	140%	150%	
		4,670.53	10.37	12.44	14.52	16.59	18.66	20.74	22.81	24.89	26.96	29.03	31.11
Costos que varían	50%	45.45	2,335.27	2,811.41	3,287.55	3,763.70	4,239.84	4,715.98	5,192.13	5,668.27	6,144.41	6,620.56	7,096.70
	60%	54.54	2,326.18	2,802.32	3,278.46	3,754.61	4,230.75	4,706.89	5,183.04	5,659.18	6,135.32	6,611.47	7,087.61
	70%	63.63	2,317.09	2,793.23	3,269.37	3,745.52	4,221.66	4,697.80	5,173.95	5,650.09	6,126.23	6,602.38	7,078.52
	80%	72.72	2,308.00	2,784.14	3,260.28	3,736.43	4,212.57	4,688.71	5,164.86	5,641.00	6,117.14	6,593.29	7,069.43
	90%	81.81	2,298.91	2,775.05	3,251.19	3,727.34	4,203.48	4,679.62	5,155.77	5,631.91	6,108.05	6,584.20	7,060.34
	100%	90.90	2,289.82	2,765.96	3,242.10	3,718.25	4,194.39	4,670.53	5,146.68	5,622.82	6,098.96	6,575.11	7,051.25
	110%	99.99	2,280.73	2,756.87	3,233.01	3,709.16	4,185.30	4,661.44	5,137.59	5,613.73	6,089.87	6,566.02	7,042.16
	120%	109.08	2,271.64	2,747.78	3,223.92	3,700.07	4,176.21	4,652.35	5,128.50	5,604.64	6,080.78	6,556.93	7,033.07
	130%	118.17	2,262.55	2,738.69	3,214.83	3,690.98	4,167.12	4,643.26	5,119.41	5,595.55	6,071.69	6,547.84	7,023.98
	140%	127.26	2,253.46	2,729.60	3,205.74	3,681.89	4,158.03	4,634.17	5,110.32	5,586.46	6,062.60	6,538.75	7,014.89
150%	136.35	2,244.37	2,720.51	3,196.65	3,672.80	4,148.94	4,625.08	5,101.23	5,577.37	6,053.51	6,529.66	7,005.80	

Cuadro 22

Sensibilidad del beneficio neto ante costos que varían y precio del maíz en Asperjadora

		Precio del maíz en Asperjadora											
		50%	60%	70%	80%	90%	100%	110%	120%	130%	140%	150%	
		4,784.54	10.37	12.44	14.52	16.59	18.66	20.74	22.81	24.89	26.96	29.03	31.11
Costos que varían	50%	54.32	4,838.86	4,838.86	4,838.86	4,838.86	4,838.86	4,838.86	5,183.26	5,659.40	6,135.55	6,611.69	7,087.84
	60%	65.18	4,827.99	4,827.99	4,827.99	4,827.99	4,827.99	4,827.99	5,172.40	5,648.54	6,124.68	6,600.83	7,076.97
	70%	76.04	4,817.13	4,817.13	4,817.13	4,817.13	4,817.13	4,817.13	5,161.53	5,637.68	6,113.82	6,589.97	7,066.11
	80%	86.91	4,806.27	4,806.27	4,806.27	4,806.27	4,806.27	4,806.27	5,150.67	5,626.81	6,102.96	6,579.10	7,055.25
	90%	97.77	4,795.40	4,795.40	4,795.40	4,795.40	4,795.40	4,795.40	5,139.81	5,615.95	6,092.10	6,568.24	7,044.38
	100%	108.63	4,784.54	4,784.54	4,784.54	4,784.54	4,784.54	4,784.54	5,128.94	5,605.09	6,081.23	6,557.38	7,033.52
	110%	119.50	4,773.68	4,773.68	4,773.68	4,773.68	4,773.68	4,773.68	5,118.08	5,594.23	6,070.37	6,546.51	7,022.66
	120%	130.36	4,762.81	4,762.81	4,762.81	4,762.81	4,762.81	4,762.81	5,107.22	5,583.36	6,059.51	6,535.65	7,011.79
	130%	141.22	4,751.95	4,751.95	4,751.95	4,751.95	4,751.95	4,751.95	5,096.36	5,572.50	6,048.64	6,524.79	7,000.93
	140%	152.09	4,741.09	4,741.09	4,741.09	4,741.09	4,741.09	4,741.09	5,085.49	5,561.64	6,037.78	6,513.92	6,990.07
	150%	162.95	4,730.22	4,730.22	4,730.22	4,730.22	4,730.22	4,730.22	5,074.63	5,550.77	6,026.92	6,503.06	6,979.20

El análisis realizado a los tres tratamientos y dos controles mostró diferentes niveles de sensibilidad principalmente a los costos que varían, el Control Absoluto, en el cuadro 13 fue el más estable, esto debido a que carece de estos costos, teniendo ventaja en su comportamiento, sin embargo, su limitado rendimiento económico fue su gran desventaja, incluso en escenarios donde los precios eran muy elevados su Beneficio neto fue bajo.

La Mochila a motor, en el cuadro 14 fue la que más destacó por que su beneficio neto creció con el precio en escenarios favorables, y con el aumento de los costos que varían presentó disminución de su beneficio neto, es decir fue sensible a estos, sin embargo, a diferencia del C.A. no tuvo limitantes en su rentabilidad en escenarios con precios altos, esto gracias a sus costos que varían más bajos en comparación a los demás tratamientos.

Por su parte, los tratamientos de Dron y Asperjadora presentes en los cuadros 15 y 17 respectivamente, compartieron una alta estabilidad, mantuvieron los beneficios netos constantes, esto gracias a la calidad obtenida de su grano lo que logró tomar el precio del acuerdo comercial, es decir precios inferiores a 21.31 USD, no se vio afectado, tuvieron por esta razón una ventaja adicional al garantizar un precio mínimo, y por ende un beneficio neto más estable en condiciones desfavorables del mercado, sin embargo, al ser los costos que varían superiores en la asperjadora tuvo sensibilidad a las variaciones de estos.

Finalmente, el Tratamiento del Control comercial, presentó mayor sensibilidad los costos que varían, mostrando reducciones marcadas en su beneficio neto, lo que es una limitante ante tecnologías más estables.

Tasa de Retorno Mínima Aceptable

En el cuadro 10, se presentó las tasas de retorno marginal al cambiar de una tecnología a otra, La tasa de retorno mínima aceptable es entendible como la tasa mínima en los que es conveniente invertir.

Si la tecnología es nueva para el agricultor (por ejemplo, el control químico de malezas en un lugar donde hasta ahora los agricultores han practicado el deshierbe manual) y además requiere que éste adquiera nuevas habilidades, una tasa de retorno mínima del 100% constituye una estimación razonable. (Cimmyt, 1988)

Al analizar las tasas de retorno marginal, se infiere que la transición de control absoluto a mochila y, posteriormente, de mochila a dron es económicamente conveniente, pues las tasas sobrepasan el valor de 100% recomendado, sin embargo, la transición de dron a control comercial no es aceptable al tener una TRM del 2% inferior a la recomendación.

En el Cuadro 11 se analizan los cambios en las distintas tasas de retorno marginal al variar los precios del mercado en Tegucigalpa. Según el concepto de la tasa de retorno mínima, la tecnología más

conveniente sería la Asperjadora para precios entre 0 y 20 dólares, el Dron entre 20 y 21 dólares, y la Mochila para valores superiores a 21 dólares.

Teóricamente, esta clasificación es válida, pero al profundizar en los cálculos se observa que la diferencia de costos entre la Mochila y el Dron es de apenas 0.628 dólares por hectárea. Este bajo cambio en los costos puede generar fácilmente una diferencia significativa en la tasa de retorno marginal (TRM).

Bajo este contexto, al agricultor le convendría analizar el panorama con mayor detenimiento y evaluar si, bajo expectativas de precios superiores a 21.3 dólares, realmente le resulta más conveniente quedarse con la Mochila o el Dron, dado que las diferencias en los beneficios netos son mínimas.

Como resumen general se puede mencionar lo siguiente.

En cuanto a severidad, estadísticamente hablando, los tratamientos con dron (0.45), mochila (0.46) y control comercial (0.41) presentaron valores significativamente más bajos que el control absoluto (0.64). La asperjadora (0.54), aunque mostró un valor intermedio, no se incluyó en el grupo de menor severidad estadísticamente hablando.

Respecto al daño causado por insectos en grano, los tratamientos mochila (0.0006), dron (0.0029), control comercial (0.0031) y asperjadora (0.0031) mostraron resultados estadísticamente similares y significativamente mejores que el control absoluto (0.0078).

En general, podemos decir que estos cuatro tratamientos (dron, mochila, control comercial y asperjadora) tuvieron un control similar de plagas.

En rendimiento, el tratamiento con dron presentó el mayor valor promedio (11,056 Kg/Ha), aunque sin diferencias estadísticas respecto a asperjadora (10,384 Kg/Ha), mochila (10,272 Kg/Ha) y control comercial (9,982.68 Kg/Ha), todos superiores significativamente al control absoluto (5,451.95 Kg/Ha).

Respecto al beneficio neto, la asperjadora alcanzó el valor más alto con USD 4,784.54, seguida muy de cerca por el dron con USD 4,782.68 y luego por la mochila con USD 4,684.51. El control comercial

obtuvo un beneficio ligeramente inferior (USD 4,670.53), mientras que el control absoluto mostró el menor beneficio (USD 2,492.56).

En cuanto a la tasa de retorno marginal (TRM), aunque la literatura menciona que a precios superiores a USD 21.30 por unidad la tasa entre mochila y dron se vuelve negativa, el cambio en beneficio neto es mínimo (USD 0.63), constante en todos los escenarios de precios evaluados. Esta pequeña diferencia en beneficio hace que, en términos prácticos, el uso del dron siga siendo preferible debido a su facilidad operativa, precisión y potencial ahorro en tiempo y mano de obra.

En conclusión, considerando control de plagas, rendimiento y rentabilidad económica, se recomienda utilizar el dron DJI Agras T10 en todas las condiciones evaluadas, independientemente de ligeras variaciones en los precios del maíz.

Cuadro 23

Resumen económico de tratamientos según costos variables, beneficios, punto de equilibrio y tasa de retorno marginal

Tratamiento	Beneficio bruto (USD)	Costos totales que varían (USD)	Beneficio Neto (USD)	Precio del maíz (USD)	Punto de Equilibrio	Punto de equilibrio Cantidad.	Tasa de Retorno Marginal
Control Absoluto	2,388.79	0.00	2,388.79	20.74	0.00	0.00	
Mochila	4,500.87	76.93	4,423.94	20.74	76.93	3.71	2849%
Dron	4,927.99	77.56	4,850.43	21.31	77.56	3.64	15614%
Control Comercial	4,373.94	90.90	4,283.04	20.74	90.90	4.38	Dominado
Asperjadora	4,675.52	108.63	4,566.89	21.31	108.63	5.10	6%

Nota. El tratamiento "Control Comercial" fue dominado por presentar menor beneficio neto con mayores costos variables frente a alternativas más eficientes. La tasa de retorno marginal se calcula respecto al tratamiento anterior inmediato no dominado.

Comparación con Otros Estudios

Según un estudio en el que se compara el uso de pulverizadores de mochila, boom y dron para el manejo de malezas en soja, la mayor eficiencia de control de malezas (%) se observó en la aplicación de herbicidas (T2) PE y POE mediante rociador de mochila, la cual fue estadísticamente a la par con la

aplicación de herbicidas PE y POE (T4) mediante pulverizador de drones y la aplicación de herbicidas PE y POE (T6) mediante pulverizador de barra (Hiremath et al., 2024). Esta investigación, destaca que los métodos de aplicación con mochila, dron y boom ofrecen una eficiencia estadísticamente equivalente en el control de malezas.

En contraste, en la presente investigación realizada en maíz tuxpeño blanco, la prueba de Tukey sugirió que el control absoluto presentó la mayor severidad de daño de insectos con diferencias significativas frente a los demás tratamientos. Sin embargo, los tratamientos aplicados con mochila, dron y control comercial se agruparon con las menores severidades, mientras que la asperjadora ocupó una posición intermedia. A diferencia del estudio en soya, en este caso no se encontró equivalencia entre la asperjadora y los tratamientos más eficientes, ya que la asperjadora no tuvo el mismo desempeño relativo en este experimento. Una posible explicación es que en el estudio de soya se evaluó específicamente la eficiencia de control de malezas, mientras que en el presente trabajo se analizó la severidad del daño por insecto en el cultivo, a pesar de esta diferencia en los enfoques de evaluación, al analizar el daño por insectos, se encontró que el control absoluto presentó el mayor daño, con diferencias significativas frente a los demás tratamientos, esto es coherente con la lógica agronómica, en la que un manejo fitosanitario deficiente suele propiciar condiciones favorables para el establecimiento de plagas, por tanto, al igual que en el experimento contrastado, los tratamientos tecnificados contribuyeron a reducir los factores que afectan la sanidad del cultivo.

Este comportamiento sugiere que existe una actitud similar en los tratamientos evaluados en ambos estudios, ya que los métodos dron, boom y mochila se destacaron por su efectividad, independientemente de si el parámetro observado fue la presión de malezas o el daño por insectos. Esto permite inferir que los tratamientos se comportan de forma consistente en distintos contextos productivos y variables de evaluación, lo que fortalece la investigación aportada en el presente.

Respecto al rendimiento, los tratamientos con dron, asperjadora, mochila y comercial superaron significativamente al control absoluto, como lo indica la prueba de agrupamiento de medias de Tukey.

Este resultado confirma que el uso de tecnología en la aplicación de insumos tiene un efecto directo sobre la productividad del cultivo, en línea con lo observado en otros estudios.

Aunque el presente estudio no evaluó directamente el componente de mano de obra, se considera relevante mencionar lo reportado por investigaciones previas, las cuales concluyen que el despliegue de drones conduce a reducciones sustanciales de mano de obra, superando las logradas por los pulverizadores de mochila y barra, lo que equivale a una reducción del 85% en comparación con el deshierbe manual (Partel et al., 2021). Este hallazgo resalta una ventaja adicional del uso de drones, ya que no solo contribuyen a un manejo agronómico más efectivo, sino que también pueden optimizar el uso de recursos laborales, aspecto clave en la sostenibilidad económica de los sistemas productivos.

Conclusiones

el dron DJI Agras T10 representó la alternativa más rentable y eficiente para la aplicación de agroquímicos en maíz, lo que contribuyó a una mayor rentabilidad, según la tasa de retorno marginal el cambio de tecnología de mochila a Dron representa la mejor opción esto tomando como base la tasa de retorno mínima aceptable.

El método de aspersión más eficiente en el control de plagas, según las pruebas no hubo diferencia significativa en los tres métodos de aspersión, todas lograron reducir el daño y minimizaron el impacto de insectos en el grano. Sin embargo, en el control absoluto presentó el mayor daño por insecto con diferencia significativa.

Los cambios en el precio del maíz afectaron directamente la rentabilidad de los métodos de aspersión evaluados. A precios elevados, el dron DJI Agras T10 se mantuvo como la opción más rentable debido a su eficiencia operativa y menor consumo de insumos, mientras que la asperjadora Jacto Columbia 2000 y la mochila a motor ofrecieron menores márgenes de ganancia. Sin embargo, cuando el precio del maíz disminuyó, la rentabilidad se redujo en todos los tratamientos, impactando en mayor medida a aquellos con un costo de servicio inicial más alto. Estos resultados confirmaron la importancia de considerar la volatilidad del mercado al seleccionar un método de aspersión, asegurando una estrategia financiera adaptable a las variaciones en los precios del cultivo.

Recomendaciones

Se recomienda adoptar el dron DJI Agras T10 para la aplicación de agroquímicos en el cultivo de maíz, dado que su eficiencia y rentabilidad evaluadas a través de indicadores como la tasa de retorno marginal que contribuyen a optimizar el uso de recursos y a maximizar los beneficios económicos en comparación con el método tradicional mediante mochila.

Para garantizar la efectividad del método de aspersión seleccionado, se recomienda establecer un sistema de monitoreo continuo que evalúe el impacto en la producción y la calidad del grano. La evaluación periódica de la incidencia de plagas, el rendimiento del cultivo y las condiciones del suelo permitirá realizar ajustes oportunos en la estrategia de aplicación, asegurando que el método elegido se mantenga como una alternativa rentable y eficiente.

Se recomienda la implementación de un plan de extensión agrícola con el objetivo de promover de manera integral los avances tecnológicos alcanzados entre los productores locales. Dicho plan debe incluir demostraciones de campo, talleres de capacitación y distribución de material técnico, con el fin de facilitar la adopción de tecnologías eficientes, como el uso del dron DJI Agras T10, técnicas de aspersión optimizadas y prácticas orientadas a maximizar la rentabilidad del cultivo de maíz, especialmente en un contexto marcado por la volatilidad de los precios agrícolas.

Referencias

- Acevedo, P., Galves, O., Acevedo, D. A. y Marin, D. (2022). Evaluación tecnológica y de explotación de la asperjadora Jacto Columbia Cross AD-18 en Villa Clara. *Ingeniería Agrícola*, 12(2). <https://revistas.unah.edu.cu/index.php/IAgric/article/view/1582>
- Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional. (2012). *Producción de maíz bajo el manejo integrado de cultivo*. <https://dicta.gob.hn/files/2012,-Manual-de-produccion-de-maiz,-G.pdf>
- Agritotal. (2025, 16 de mayo). *Pulverización con drones ¿más cerca de la aplicación aérea o terrestre?* - Agritotal. <https://www.agritotal.com/nota/pulverizacion-con-drones-mas-cerca-de-la-aplicacion-aerea-o-terrestre>
- Barahona, R. (2023). *Plan de negocio para la implementación de una empresa de servicios integrales basada en tecnología UAV (drones) en aspersión de cultivos en la zona de Choluteca, Honduras* [Proyecto especial de graduación., Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras]. bdigital.zamorano.edu. <https://bdigital.zamorano.edu/items/0adddb98-d2a5-46d2-927a-cf779db7ba26>
- Barrios, M. y Basso, C. (2018). Efecto de la fertilización nitrogenada sobre componentes del rendimiento y Calidad nutricional del grano de seis híbridos de maíz. *Bioagro*, 30(1). https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1316-33612018000100004
- Cimmyt (1988). From agronomic data to farmer recommendations : an economics training manual. <https://www.semanticscholar.org/paper/4eec2e4e4f7a8a3d5302e2a49505d578e68d5aed>
- Cochran, W. G. y Cox, G. M. (1992). *Experimental designs* (2. ed., Wiley classics library ed.). Wiley classics library. Wiley. <https://zbmath.org/?q=an:0850.62005>
- Consejo Hondureño de la Empresa Privada. (2021). *Mercado de Granos Bsicos en Honduras | COHEP*. https://www.cohep.org/sdm_downloads/mercados-granos-basicos-honduras-jul2021/
- Damajer. (s.f). *Pulverizador de mochila a motor Jacto PJM-25*. https://damajer.com/catalogo/pulverizador-de-mochila-a-motor-jacto-pjm-25/?srsltid=AfmBOobRxxA7lvZyxHwv8bMy9aiMZA56fw_nXwHOMTG66-LMaIqTQc2&v=929493f558ce
- DJI Agriculture. (2025). *DJI Agras T10 – Specifications*. <https://ag.dji.com/t10/specs>
- Evans, E. A. (2005). Análisis Marginal: Un Procedimiento Económico para Seleccionar Tecnologías o Prácticas Alternativas. *EDIS*, 2005(11). <https://doi.org/10.32473/edis-fe573-2005>
- Hernández-Trejo, A., Estrada Drouaillet, B., Rodríguez-Herrera, R., García Giron, J. M., Patiño-Arellano, S. A. A. y Osorio-Hernández, E. (2019). Importancia del control biológico de plagas en maíz (*Zea mays L.*). *Revista Mexicana De Ciencias Agrícolas*, 10(4), 803–813. <https://doi.org/10.29312/remexca.v10i4.1665>
- Hiremath, C., Khatri, N. y Jagtap, M. P. (2024). Comparative studies of knapsack, boom, and drone sprayers for weed management in soybean (*Glycine max L.*). *Environmental Research*, 240(Pt 1), 117480. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2023.117480>

- Huaman, T. (2024). *Determinación de Peso Hectolítrico en granos - Determinación de Peso Hectolítrico en cereales 1 - Studocu*. <https://www.studocu.com/pe/document/universidad-peruana-union/industria-de-cereales-y-cultivos-andinos/determinacion-de-peso-hectolitrico-en-granos/105347167>
- Jacto. (s.f). *Columbia Cross Pulverizadores de barras*. <https://jacto.com/mexico/products/pulverizadores-de-barras/columbia-cross>
- Jaramillo, P. (2023). *Comparación de la calidad de aplicación de glifosato en maíz mediante el uso del dron DJI Agras T10 y el asperjador Jacto Columbia 2000* [Proyecto Especial de Graduación]. Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras. <https://bdigital.zamorano.edu/items/9d445d6c-758c-42aa-b6ac-9c0511971a56>
- Jaramillo C, H. E. (2015). *Actualización de la tarifa de agua potable y estimación de la disponibilidad de pago por la protección de la Reserva Biológica Uyuca, Zamorano, Honduras: Actualización de la tarifa de agua potable y estimación de la disponibilidad de pago por la protección de la Reserva Biológica Uyuca, Zamorano, Honduras* [Proyecto Especial de Graduación, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras]. [bdigital.zamorano.edu. https://bdigital.zamorano.edu/items/49fdc70f-3eb3-4f0f-850a-2d79610f9c1d](https://bdigital.zamorano.edu/items/49fdc70f-3eb3-4f0f-850a-2d79610f9c1d)
- Kime, L. y Pennsylvania State University. (2014). *Presupuestos para Tomar Decisiones Agrícolas*. <https://extension.psu.edu/presupuestos-para-tomar-decisiones-agricolas>
- Lezaun, J. (s.f). *Gusano cogollero del maíz: Ciclo de vida, insecticidas y opciones de control biológico - CropLife Latin America*. <https://croplife.org/es/plagas/listado-de-plagas/gusano-cogollero>
- Limagrain Field Seeds. (2019). *Guía de manejo: Spodoptera frugiperda, gusano cogollero en maíz* (núm. 6). [chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.lgsemillas.com/ensayos/Informe-Tecnico-N6-LG-Semillas.pdf](https://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.lgsemillas.com/ensayos/Informe-Tecnico-N6-LG-Semillas.pdf)
- Lozano, M., López Saigua, V. D. y Fray Velasteguí, S. A. (2015). *Eficacia de la ergonomía postural y su incidencia en las complicaciones musculoesqueléticas aplicado a los agricultores de 30 a 40 años de edad que acuden al centro de fisioterapia del gobierno autónomo descentralizado de la parroquia rural Licito durante el periodo julio- diciembre 2015* [Tesis]. Universidad Nacional de Chimborazo, Ecuador. <http://dspace.unach.edu.ec/handle/51000/1170>
- Medina, M., García, D., Clavero, T. y Iglesias, J. (2007). Estudio comparativo de *Moringa oleifera* y *Leucaena leucocephala* durante la germinación y la etapa inicial de crecimiento. *Zootecnia Trop*, 25(2). https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0798-72692007000200004
- Orús, A. (2024). *Tema: El maíz en el mundo*. <https://es.statista.com/temas/12914/el-maiz-en-el-mundo/#topicOverview>
- Ovando, R. (2021). *Análisis de parcela, preguntas y respuestas*. https://idp.cimmyt.org/analisis-de-parcela-preguntas-y-respuestas/?utm_source
- Partel, V., Costa, L. y Ampatzidis, Y. (2021). Smart tree crop sprayer utilizing sensor fusion and artificial intelligence. *Computers and Electronics in Agriculture*, 191, 106556. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2021.106556>

- Pecina Martínez, J. A., Mendoza Castillo, Ma. del Carmen, López Santillán, J. A., Castillo González, F., Mendoza Rodríguez, M. y Ortiz Cereceres, J. (2011). Rendimiento de grano y sus componentes en maíces nativos de Tamaulipas evaluados en ambientes contrastantes. *Rev. Fitotec. Mex*, 34(2). https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-73802011000200006
- Peña, J., Meléndez, L., Costar, A. y Álvarez, A. (2015). *Evaluación de poblaciones y daños de insectos plaga en el maíz del bajo gállego*. chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgiclfindmkaj/https://digital.csic.es/bitstream/10261/47768/3/AlvarezA_Malaga3_2009.pdf?utm_
- Quintero, Cardoso, Jaime. (2009). *Guía para el uso y manejo seguro de plaguicidas en cultivos ornamentales y poscosecha 2009*. chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgiclfindmkaj/https://rutadelasostenibilidad.org/wp-content/uploads/2019/05/GUA-PLAGUICIDAS_Guia_Plaguicidas.pdf?utm_
- ResearchGate. (2025, 5 de febrero). *Figure 3. Davis scale value (Davis and Williams 1992)*. https://www.researchgate.net/figure/Davis-scale-value-Davis-and-Williams-1992_fig2_352375782
- Secretaría de Agricultura y Ganadería de Honduras. (2022). *Análisis de Coyuntura*. <https://www.upeg.sag.gob.hn/wpcontent/uploads/2022/03/AC-MAI%CC%81Z-V20.4.pdf>
- Supriya, C., MuraliArthanari, P., Kumaraperumal, R. y Sivamurugan, A. P. (2021). Optimization of Spray Fluid for Herbicide Application for Drones in Irrigated Maize (*Zea mays L.*). *International Journal of Plant & Soil Science*, 137–145. <https://doi.org/10.9734/ijpss/2021/v33i2130665>
- Trader, E. (2023). *¿Drones o barras de pulverización? Comparación técnica para cultivos extensivos*. <https://euromactrader.com/2024/11/28/drones-o-barras-de-pulverizacion>
- Valdez-Torres, J. B., Soto-Landeros, F., Osuna-Enciso, T. y Báez-Sañudo, M. A. (2012). Modelos de predicción fenológica para maíz blanco (*Zea mays L.*) y gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda* J. E. Smith). *Agrociencia*, 46(4). https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952012000400007

Anexos

Anexo A

Toma de coordenadas para la ubicación de estacas con ayuda del módulo de Topografía y sistema de información geográfica



Anexo B

Parcelamiento del terreno experimental



Anexo C

Siembra de maíz con estudiantes del módulo de Producción de Granos y Semillas



Anexo D

Aplicación de plaguicidas con mochila motorizada.



Anexo E

Aplicación de plaguicidas con Dron DJI Agras T10.



Anexo F

Aplicación de plaguicidas con Asperjadora tipo Boom Jacto Columbia 2000.



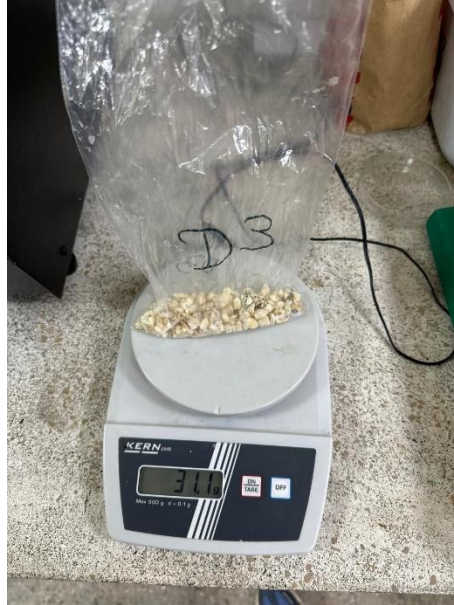
Anexo G

Monitoreo de plagas y toma de datos.



Anexo H

Peso de 100 granos de maíz.



Anexo I

Medición de Humedad y Lbs Bushel.



Anexo J

Proceso de evaluación de calidad de grano de maíz en laboratorio, utilizando tamices para la separación.



Anexo K

Clasificación de impurezas en grano de maíz, incluyendo restos de pericarpio, cabellos de elote y partículas extrañas durante el análisis de calidad en laboratorio.



Anexo L

Daño por Helicoverpa zea (gusano elotero) en maíz, con destrucción de granos y presencia de larva alimentándose del elote.



Anexo M

Daño causado por Spodoptera frugiperda (gusano cogollero) en maíz, evidenciado por excremento y perforaciones en el cogollo.

