ISSN: 2806-5697
Vol. 6 – Núm. E2 / 2025

Evaluación agroeconómica de dosis de azufre en el manejo de mancha de asfalto del maíz

Agroeconomic evaluation of Sulfur rates in the management of Tar Spot disease of corn

Avaliação agroeconómica das doses de enxofre no manejo da mancha de asfalto do milho

Bermeo-Toledo, César Ramiro
Universidad Técnica Estatal de Quevedo
cbermeo@uteq.edu.ec
https://orcid.org/0000-0003-2803-5005

Granados-Rivas,Yanila Esther
Universidad Técnica Estatal de Quevedo
ygranados@uteq.edu.ec
https://orcid.org/0000-0003-1677-0280

Suárez-Chichande, Viviana Lisseth
Investigador Independiente
vivianitasuarez10@gmail.com
https://orcid.org/0000-0001-9599-0833

Herrera-Eguez, Favio Eduardo
Universidad Técnica Estatal de Quevedo
fherrerae@uteq.edu.ec
https://orcid.org/0000-0003-1376-423X

DOI / URL: https://doi.org/10.55813/gaea/ccri/v6/nE2/1058

Como citar:

Bermeo-Toledo, C. R., Granados-Rivas, Y. E., Suárez-Chichande, V. L., & Herrera-Eguez, F. E. (2025). Evaluación agroeconómica de dosis de azufre en el manejo de mancha de asfalto del maíz. *Código Científico Revista De Investigación, 6*(E2), 988–1006.

Recibido: 27/09/2025 **Aceptado**: 28/09/2025 **Publicado**: 30/09/2025

Resumen
La presente investigación tuvo como finalidad evaluar el efecto de distintas dosis de azufre sobre la severidad de la mancha de asfalto (*Phyllachora maydis*) en cultivos de maíz. El estudio se desarrolló en la Finca Experimental "La María" de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo, localizada en el Km 7 de la vía Quevedo–El Empalme. Se empleó el híbrido INIAP H-551, representativo de la región, durante dos ciclos de siembra. Se establecieron seis tratamientos (0, 12, 24, 36, 48 y 60 kg ha^{-1} de azufre), bajo un diseño completamente aleatorizado con tres repeticiones y análisis de varianza (ANOVA, $p<0.05$). La severidad de la enfermedad se cuantificó mediante evaluación visual y análisis digital con el software Leaf Doctor, cuya validación mostró una alta correlación ($R^2 = 0.84$). Los tratamientos con 48 y 60 kg ha^{-1} de azufre presentaron menor severidad, especialmente en hojas superiores, mientras que las hojas basales mostraron mayor afectación, lo que sugiere una fuente de inóculo proveniente del suelo o residuos de cultivos anteriores. Las variables agronómicas y el análisis económico indicaron que la dosis de 48 kg ha^{-1} optimiza el rendimiento y reduce costos. Se propone el uso de azufre como estrategia complementaria para disminuir aplicaciones de fungicidas en maíz.
Palabras clave: Leaf doctor, INIAP H-551, fertilización, evaluación, *Phyllachora maydis*.

Abstract
This research aimed to evaluate the effect of different sulfur application rates on the severity of tar spot (*Phyllachora maydis*) in maize crops. The study was conducted at the "La María" Experimental Farm of the Technical State University of Quevedo, located at Km 7 on the Quevedo–El Empalme road. The INIAP H-551 hybrid, representative of the region, was used across two planting seasons. Six treatments (0, 12, 24, 36, 48, and 60 kg ha^{-1} of sulfur) were assessed under a completely randomized design with three replications, applying ANOVA ($p<0.05$). Disease severity was quantified using visual rating scales and image analysis through the Leaf Doctor software, which was validated via correlation analysis ($R^2 = 0.84$). Treatments with 48 and 60 kg ha^{-1} of sulfur showed significantly lower disease severity, particularly in upper leaves, while basal leaves exhibited greater infection, suggesting inoculum presence from soil or previous crops. Agronomic variables such as yield and net weight, along with economic analysis, identified 48 kg ha^{-1} as the most effective treatment. The findings support the implementation of sulfur as a complementary strategy to reduce fungicide applications in maize cultivation.
Keywords: Leaf doctor, INIAP H-551, fertilization, disease rating, *Phyllachora maydis*.

Resumo
A presente investigação teve como objetivo avaliar o efeito de diferentes doses de enxofre sobre a gravidade da mancha do asfalto (Phyllachora maydis) em culturas de milho. O estudo foi realizado na Fazenda Experimental «La María» da Universidade Técnica Estadual de Quevedo, localizada no km 7 da estrada Quevedo-El Empalme. Utilizou-se o híbrido INIAP H-551, representativo da região, durante dois ciclos de plantio. Estabeleceu-se seis tratamentos (0, 12, 24, 36, 48 e 60 kg ha^{-1} de enxofre), sob um delineamento completamente aleatório com três repetições e análise de variância (ANOVA, $p<0,05$). A gravidade da doença foi quantificada por meio de avaliação visual e análise digital com o software Leaf Doctor, cuja validação mostrou uma alta correlação ($R^2 = 0,84$). Os tratamentos com 48 e 60 kg ha^{-1} de enxofre apresentaram menor gravidade, especialmente nas folhas superiores, enquanto as folhas basais mostraram maior afetação, o que sugere uma fonte de inóculo proveniente do solo ou resíduos de culturas anteriores. As variáveis agronómicas e a análise económica indicaram

que a dose de 48 kg ha^{-1} otimiza o rendimento e reduz os custos. Propõe-se o uso de enxofre como estratégia complementar para diminuir as aplicações de fungicidas no milho.
Palavras-chave: Leaf doctor, INIAP H-551, fertilização, avaliação, Phyllachora maydis.

Introducción

El maíz es un cultivo de gran relevancia histórica y cultural, especialmente en Mesoamérica, donde fue domesticado hace más de 5,000 años según evidencias arqueológicas encontradas en México (Carrillo, 2009). Esta planta fue clave para el desarrollo de las sociedades mesoamericanas, pues los primeros agricultores, descendientes de grupos de cazadores-recolectores, realizaron selecciones naturales para desarrollar diversas variedades (Saltos, 2018). No obstante, las condiciones de marginación y pobreza en muchas regiones de América están amenazando su diversidad, lo que resalta la importancia de valorar su origen y diversificación como una estrategia para su conservación (Serratos, 2009). El maíz pertenece a la familia de las Poaceae, que es consumido como la base alimentaria de muchas regiones de Latinoamérica (Macuri, 2016). Su descripción botánica señala que presenta raíces fasciculadas que funcionan como anclaje, un tallo simple y erecto de hasta 4 metros de altura, hojas lanceoladas y alternas con nervaduras paralelas, e inflorescencias masculinas en panículas y femeninas en mazorcas, donde se agrupan los granos (Marcillo, 2014; Coral, 2017; Morán, 2020). Los granos, compuestos por un pericarpio resistente, una capa de aleurona que les otorga color, y un endosperma que representa el 85-90% de su peso, tienen un embrión formado por la radícula y la plúmula (Espinosa et al., 2009).

En Ecuador, aunque no es el centro de origen del maíz, se encuentra una de las mayores diversidades de este cultivo por unidad de área en el mundo (Tapia & Morillo, 2006). Las variedades más primitivas, como los canguiles, están en peligro de desaparecer debido a su limitado consumo, mientras que otras variedades se han adaptado a regiones específicas: en la Sierra Norte se cultivan maíces amarillos harinosos como Chaucha Sara y Jamtzi Huandango;

en la Sierra Central, blancos harinosos como Yura Sara; y en el Austro, maíces blancos y amorochados, como los Zhimas, usados para elaborar mote, un alimento tradicional andino (Chaqui, 2013; INIAP, 2003). Las clasificaciones comerciales incluyen variedades como maíz dentado, utilizado para pienso y alimentos; maíz pedernal, empleado en decoración y consumo; harina de maíz, fácil de moler; maíz dulce, vendido como vegetal fresco, congelado o enlatado; y palomitas, un tipo extremo de maíz Flint que explota al calentarse debido a su estructura (Garcés, 2020). Finalmente, las mejoras genéticas mediante hibridación han permitido optimizar el rendimiento y la adaptabilidad del maíz para distintos usos industriales y alimentarios (Garcés, 2020).

El híbrido de maíz INIAP H-551, desarrollado por el Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP), es el primer híbrido convencional dirigido a los agricultores de la zona central del litoral ecuatoriano. Este híbrido triple, resultado de siete años de investigación, supera en rendimiento al híbrido INIAP H-550 y a otros híbridos extranjeros previamente introducidos en la región (Crespo, Burbano & Vasco, 1990; Sáenz, 2015). El INIAP H-551 fue desarrollado a partir de tres líneas endogámicas (*S4 B-523 x S4 B-521* x *S4 B-520*), seleccionadas por su amplia base genética y alto potencial productivo (Sáenz, 2015). Sus características agronómicas incluyen una altura promedio de 216-230 cm, inserción de mazorca a 114-120 cm, y un peso de 424 g por cada 1,000 granos (Sáenz, 2015). En condiciones óptimas, presenta un rendimiento promedio de 6,595 kg ha^{-1} con 15% de humedad, aunque este valor puede variar según el manejo agronómico y las condiciones ambientales, como se evidenció en ensayos realizados en Buena Fe y Pichilingue, donde se obtuvieron rendimientos de 2,405 kg ha^{-1} y 4,291 kg ha^{-1}, respectivamente (Jiménez, 2006). Este híbrido requiere suelos francos, bien drenados, con un pH de 5.6 a 7.0, temperaturas promedio de 25 °C, y una pluviometría de 700 a 800 mm desde la siembra hasta la cosecha (Crespo, Burbano & Vasco, 1990). Aunque es susceptible a plagas y enfermedades, destaca por su estabilidad

productiva y alta tasa de retorno económico, alcanzando beneficios netos de $526.78 por hectárea, superior al rendimiento económico de cultivares criollos (Jiménez, 2006). Esto posiciona al INIAP H-551 como una opción competitiva y rentable para los productores de la región.

La mancha de asfalto, causada por el hongo Phyllachora maydis, es una de las enfermedades foliares más severas que afecta al maíz en regiones tropicales, causando pérdidas de rendimiento significativas que pueden oscilar entre el 30 % y el 100 % dependiendo de la etapa fenológica y las condiciones ambientales (Sánchez, 2016; Jaramillo, 2012). Esta enfermedad está relacionada con factores como el uso de semillas recicladas, condiciones climáticas favorables para los hongos, y prácticas agrícolas inadecuadas, como el monocultivo y el exceso de nitrógeno en el suelo (Sáenz, 2015; Hernández & Sandoval, 2015). P. maydis es un parásito obligado que no sobrevive en tejidos muertos, mientras que Monographella maydis, un hongo asociado, puede persistir en residuos hasta tres meses. La infección se inicia con pequeños puntos negros brillantes que progresan hasta necrosar las hojas, limitando la fotosíntesis y afectando el llenado de los granos (CENTA, 2014; Farinango, 2015). Si la infección ocurre antes de la floración, las pérdidas pueden ser totales debido a que las mazorcas no se desarrollan completamente (Ramírez-Hernández, 2014). En condiciones de alta humedad y temperaturas de 18-22 °C, la severidad de la enfermedad aumenta, especialmente cuando el cultivo enfrenta estrés abiótico o biótico (Hernández & Sandoval, 2015). La dispersión de la enfermedad ocurre a través de ascosporas y puede mantenerse entre ciclos agrícolas en residuos de cultivos previos (Oleas, 2014).

En América Latina, la incidencia de esta enfermedad es preocupante. En Ecuador, fue reportada desde 1982, mientras que en México se documentaron afectaciones significativas en cultivos de maíz en 2004 (Inlago, 2014; Ramírez-Hernández, 2014). En Venezuela, aunque su impacto es menor, se presenta en ambientes fríos y húmedos (CENTA, 2012). El manejo de la

mancha de asfalto requiere prácticas agrícolas sostenibles como rotación de cultivos, incorporación de rastrojos, densidades de siembra adecuadas y monitoreo frecuente del cultivo. La aplicación de fungicidas sistémicos combinados con protectores también es efectiva para su control (Bastidas et al., 2015; Ramírez-Hernández, 2014). La resistencia genética, aunque limitada, debe priorizarse en programas de mejoramiento, dado que la selección basada en resistencia horizontal es fundamental para enfrentar esta enfermedad de forma sostenible (Sánchez, 2016; Inlago, 2014). La enfermedad representa un reto significativo para la producción de maíz debido a su severidad, diseminación y las pérdidas económicas asociadas. La adopción de prácticas culturales y el desarrollo de variedades resistentes son claves para mitigar su impacto.

Dentro de las estrategias para el control de la enfermedad se encuentra la fertilización utilizando algunos elementos como el azufre (Vivas et al., 2013). El azufre desempeña un papel crucial en la fisiología de las plantas, tanto como elemento estructural como funcional. Este elemento no solo es esencial para la síntesis de proteínas y hormonas vegetales, sino que también actúa como un sistema de defensa y detoxificación, ayudando a las plantas a enfrentar condiciones adversas como sequía, calor y frío (Morales-Soto et al., 2019). Asimismo, los metabolitos secundarios con azufre en su estructura, como los glucosinolatos y fitoalexinas, se activan ante ataques de patógenos o daños mecánicos, favoreciendo la resistencia de las plantas (Cabrera, Robledo, & Soto, 2018). Además, el azufre es ampliamente utilizado como fungicida, con efectos sobre hongos como los ascomicetos, así como en el control de ácaros y trips en sus fases larvarias (Morales-Soto et al., 2019). Aunque su mecanismo de acción no está completamente elucidado, se han propuesto hipótesis que incluyen la alteración de la cadena respiratoria mitocondrial y la oxidación de grupos sulfidrílicos, lo que resulta en fungotoxicidad (Williams & Cooper, 2004).

Por otro lado, la aplicación foliar de azufre puede ser metabolizada por las plantas, lo que refuerza su capacidad defensiva al convertirlo en compuestos activos como sulfatos o liberando sulfuro de hidrógeno como respuesta a patógenos (Morales-Soto et al., 2019). Este enfoque multifacético resalta la importancia del azufre como un recurso integral en el manejo fitosanitario y en el fortalecimiento de la resistencia vegetal. El azufre ha demostrado tener un impacto significativo en el cultivo del maíz, especialmente en condiciones de estrés hídrico. En un estudio realizado en la región de Bernardo de Irigoyen, se observó que la aplicación de azufre resultó en aumentos importantes en los rendimientos del maíz, incluso en situaciones donde el fósforo no mostró efectos significativos. Esto se atribuye a la movilidad del azufre en el suelo, lo que permite su absorción a mayores profundidades, facilitando su disponibilidad para las plantas durante períodos de sequía. Además, el azufre, al ser un componente esencial de las proteínas, puede mejorar la absorción de nitrógeno, lo que a su vez contribuye a un aumento en la producción de grano (Vivas et al., 2013).

Metodología

Localización de la investigación

El estudio se desarrolló en la Finca Experimental "La María" de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo, localizada en el Km 7 de la vía Quevedo – El Empalme, a 75 metros sobre el nivel del mar. Esta área, de clima tropical húmedo, registra una temperatura media anual de 24.8 °C, una precipitación media de 2252 mm, y una humedad relativa del 84%. El suelo presenta una textura franco-limosa, con pH promedio de 5.5, y una topografía plana, características adecuadas para el cultivo evaluado.

Tratamientos estudiados

Se analizaron seis tratamientos consistentes en diferentes dosis de azufre y un control con fertilización convencional. Las dosis de azufre fueron de 0, 12, 24, 36, 48 y 60 kg/ha (T1-

T6, respectivamente). Las dosis fueron tomadas de ensayos realizados previamente (Vivas et al., 2013). Cada tratamiento fue diseñado para evaluar el impacto del azufre en el rendimiento del cultivo de maíz.

Diseño experimental y análisis estadístico

El diseño experimental correspondió a un modelo de bloques completos al azar (DBCA) con seis tratamientos y tres repeticiones, resultando en un total de 18 unidades experimentales. Las variables de respuesta fueron sometidas a análisis de varianza (ANOVA), y las medias de los tratamientos se compararon mediante la prueba de Tukey ($p>0.05$). Los datos se tabularon en Excel 2016 y se procesaron en Infostat versión 2020.

Materiales y manejo del ensayo

Se utilizó como material genético el híbrido de maíz INIAP H-551, desarrollado por la EET Pichilingue del INIAP. La preparación del terreno incluyó labores mecanizadas como arada y rastra para garantizar un suelo suelto. Posteriormente, se delimitaron las parcelas experimentales, cada una de 16 m², siguiendo las especificaciones del diseño. La siembra se realizó manualmente, depositando dos semillas por golpe, con un distanciamiento de 0.25 m entre plantas y 0.80 m entre hileras. Tras 15 días, se efectuó el raleo para dejar una planta por sitio. Se aplicaron controles de malezas manuales y tratamientos químicos para el manejo de plagas y enfermedades. La fertilización se realizó de manera fraccionada en tres aplicaciones, siguiendo las dosis específicas por tratamiento.

Evaluación y cosecha

Las variables de estudio se midieron durante la etapa de cosecha, entre los 60 y 70 días posteriores a la siembra. Se realizaron mediciones in situ, además de evaluaciones del rendimiento, registrando los datos en libretas de campo y complementando con registros fotográficos. La cosecha se llevó a cabo manualmente al alcanzar la madurez fisiológica del

cultivo. Este enfoque permitió analizar el efecto de las diferentes dosis de azufre sobre el desarrollo y productividad del maíz.

Variables evaluadas

Porcentaje de daño por mancha de asfalto

El porcentaje de daño causado por la mancha de asfalto se determinó utilizando métodos visuales, basados en la escala de evaluación de Hernández & Sandoval (2015), y mediante el procesador de imágenes Leaf Doctor versión 1.1, desarrollado por la University of Hawaii at Manoa. Las evaluaciones se realizaron en plantas en pie, considerando tres niveles de altura de la planta (-2, -1 y +1 desde la mazorca). Además, se llevó a cabo un análisis de correlación entre los porcentajes obtenidos por ambos métodos.

Plantas cosechadas por parcela y por hectárea

El número de plantas cosechadas por parcela se determinó mediante conteo directo de las plantas en condiciones óptimas para la cosecha. Este dato se extrapoló a hectáreas utilizando una regla de tres simple.

Peso bruto y peso neto de la mazorca

Se seleccionaron aleatoriamente 10 mazorcas por parcela útil para determinar el peso bruto promedio, expresado en gramos. Posteriormente, las mismas mazorcas fueron desgranadas y se registró el peso neto de los granos, expresado también en promedio en gramos.

Rendimiento por hectárea

El rendimiento por hectárea se calculó a partir del rendimiento de cada parcela. Los datos obtenidos se extrapolaron mediante regla de tres simple y se expresaron en kilogramos por hectárea (kg/ha).

Análisis económico

El análisis económico se basó en el rendimiento de cada tratamiento y los costos asociados. Se calculó la relación beneficio-costo utilizando el precio oficial del maíz al

momento de realizar el ensayo de $ 0.44/kg según datos del Sistema de Información Púbica Agropecuaria (SIPA) (SIPA, 2021). Este análisis permitió determinar la viabilidad económica de los tratamientos evaluados.

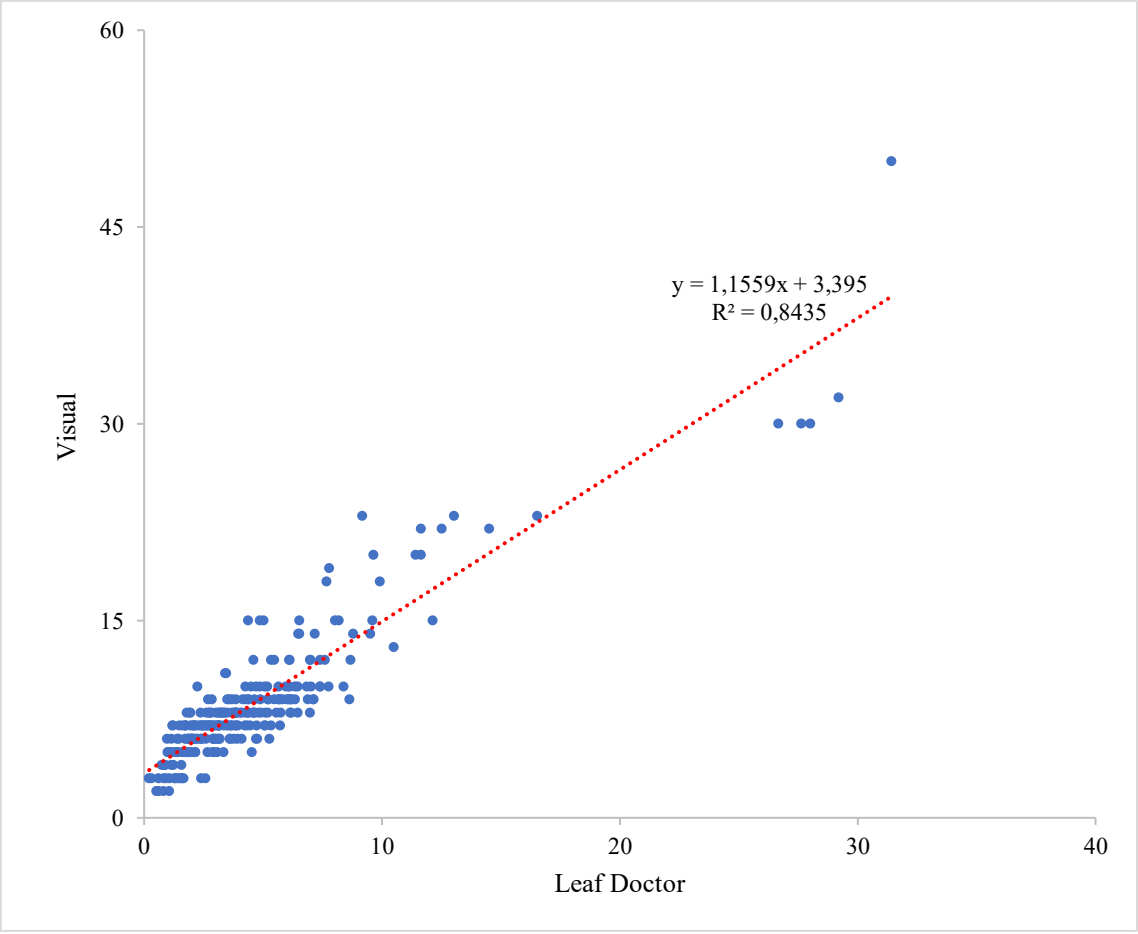
Resultados

Validación entre los métodos de evaluación de enfermedades utilizados

De acuerdo con el análisis de correlación realizado entre la evaluación visual y el del procesador de imágenes (Leaf Doctor 1.1), se demuestra que existió una correlación positiva entre los dos métodos de evaluación utilizados (R2: 0.84; Figura 1).

Figura 1

Correlación entre el porcentaje de daño a nivel foliar de la mancha de asfalto (Phyllachora maydis) usando escalas de evaluación visual y del programa Leaf Doctor en el cultivo de maíz (Zea mays). R2= 0.84. n=50

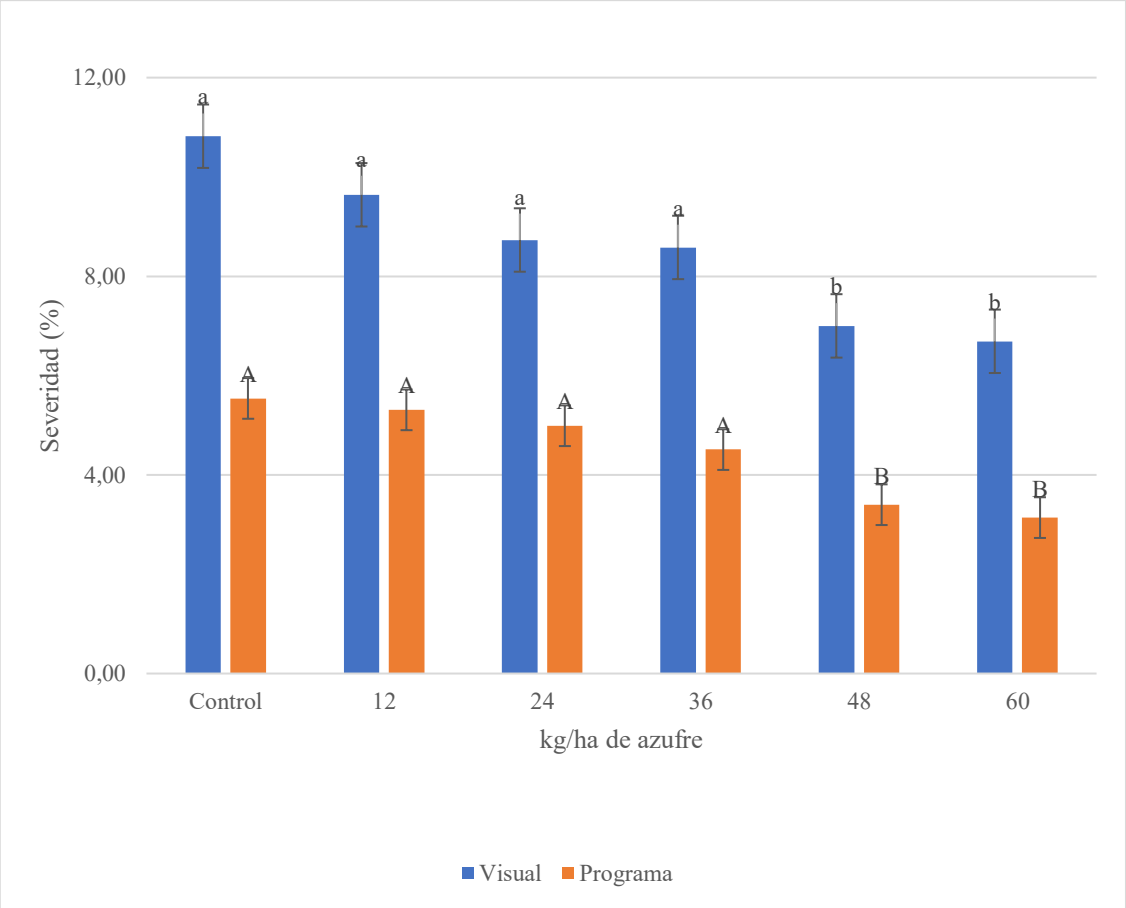


Nota: (Autores, 2025).

Al comparar la evaluación visual con el programa se evidenciaron similares separaciones de medias (Tukey: $p<0.05$). La evaluación visual que utilizó escalas convencionales obtuvo mayores valores en promedio en comparación con el programa Leaf Doctor. En ambos métodos utilizados, las dosis de 48 y 60 kg/ha de azufre tuvieron menor severidad foliar de la mancha de asfalto (Fig. 2).

Figura 2

Severidad de la mancha de asfalto (Phyllachora maydis) en hojas de maíz (Zea mays) bajo diferentes dosis de azufre. Las hojas fueron evaluadas según escalas de evaluación visual y del programa Leaf Doctor

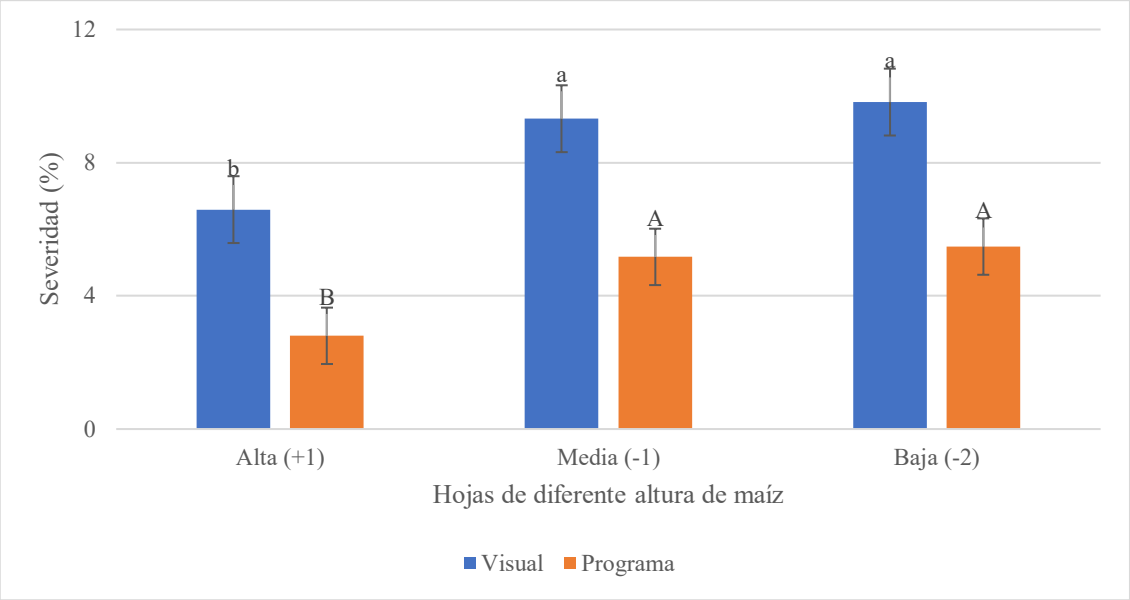


Nota: Letras diferentes presentan diferencias estadísticas (Tukey: $p<0.05$). Las barras representan el error estándar (Autores, 2025).

Las hojas ubicadas en el primer nodo después de la mazorca (altas; +1) presentaron menor severidad foliar de la mancha de asfalto en ambos métodos utilizados en comparación a las hojas medias (primer nodo antes de la mazorca; -1) y hojas bajas (segundo nodo antes de la mazorca -2) (Figura 3).

Figura 3

Severidad de la mancha de asfalto (Phyllachora maydis) en hojas de maíz (Zea mays) de diferente altura bajo diferentes dosis de azufre. Las hojas fueron evaluadas según escalas de evaluación visual y del programa Leaf Doctor.



Nota: Letras diferentes presentan diferencias estadísticas (Tukey: p<0.05). Las barras representan el error estándar (Autores, 2025).

Efecto de la mancha de asfalto en los componentes de rendimiento

No se observaron diferencias estadísticas significativas en el número de mazorcas cosechadas entre las diferentes dosis de azufre evaluadas. Sin embargo, en las variables de peso neto y rendimiento por tratamiento, el control presentó valores inferiores en comparación con los demás tratamientos. El tratamiento con 48 kg/ha de azufre destacó por obtener los valores más altos en comparación con el resto de los tratamientos (Tukey p<0.05; Tabla 1).

Tabla 1

Efecto de la mancha de asfalto (Phyllachora maydis) en los componentes de rendimiento del cultivo de maíz (Zea mays) bajo la aplicación de diferentes dosis de azufre.

Tratamiento (kg/ha azufre)	Número de mazorcas	Rendimiento total (kg)	Peso neto 10 mazorcas (kg)
Control	90.67 a	9.56 b	3.39 b
12	93.00 a	13.42 ab	7.06 ab
24	95.33 a	14.45 ab	8.35 ab
36	95.00 a	11.24 ab	4.84 ab
48	96.33 a	15.33 a	8.95 a
60	97.67 a	12.33 ab	6.53 ab
Valor P	0.64	0.02	0.04
C.V.	8.00	14.93	31.04

Nota: Promedios con la misma letra en cada grupo de datos no difieren estadísticamente según la prueba de Tukey (p≤0.05) (Autores, 2025).

Análisis Económico de Beneficio/Costo

En la Tabla 2, se presenta el análisis económico del rendimiento obtenido con los diferentes tratamientos en estudio en función de los respectivos costos de producción. En el control se registró menor rendimiento por parcela en comparación con el resto de los tratamientos. El tratamiento de 48 kg ha-1 obtuvo una mayor rentabilidad debido a sus mayores rendimientos. El precio de $ 0.44 kg^{-1} fue obtenido según datos del Sistema de Información Púbica Agropecuaria (SIPA) (SIPA, 2024).

Tabla 2

Análisis económico de la aplicación de diferentes dosis de azufre para el control de la mancha de asfalto (Phyllachora maydis) en el cultivo de maíz (Zea mays) bajo la aplicación de diferentes dosis de azufre

Tratamiento (kg/ha de S)	Rendimiento (kg)	Ingreso ($)	Costo ($)	Beneficio Neto ($)	Relación B/C	Rentabilidad (%)
Control	9.56	4.21	1.80	2.41	2.34	133.7
12	13.02	5.73	1.90	3.83	3.02	201.5
24	14.45	6.36	1.95	4.41	3.26	226.1
36	11.24	4.95	2.00	2.95	2.47	147.3
48	15.33	6.75	2.05	4.70	3.29	229.0
60	12.33	5.43	2.10	3.33	2.58	158.3

Nota: Precio oficial maíz SIPA (2024): $0.44/kg (Autores, 2025).

Discusión

Las discrepancias entre la evaluación visual y los resultados obtenidos con Leaf Doctor subrayan la necesidad de utilizar herramientas precisas para evitar decisiones equivocadas en el manejo de la enfermedad. Como señalan Martinelli et al. (2015) y Barbedo (2014), los algoritmos de procesamiento de imágenes ofrecen una mayor exactitud en la evaluación de enfermedades vegetales, eliminando la subjetividad inherente a las evaluaciones visuales. Esto refuerza la importancia de adoptar métodos tecnológicos para mejorar la calidad y confiabilidad de los datos en la investigación fitopatológica (Bock et al., 2021).

En el presente estudio, se confirmó la susceptibilidad a errores al utilizar la escala visual para evaluar la severidad de la mancha de asfalto en el cultivo de maíz. Este hallazgo refuerza la importancia de herramientas tecnológicas como Leaf Doctor, que demostró ser más precisa

debido a su algoritmo para el procesamiento de imágenes. Este algoritmo permite identificar áreas afectadas basándose en el reconocimiento de píxeles correspondientes a tejidos vegetales sanos y dañados (Pethybridge & Nelson, 2015). La evaluación visual, en contraste, depende significativamente de la experiencia y destreza del investigador (Ramanujan, 2015). Coincidiendo con lo observado por Sherwood et al. (1983) y Bock et al. (2021), las evaluaciones visuales pueden sobreestimar la enfermedad, especialmente en hojas con múltiples lesiones pequeñas, mientras que herramientas como Leaf Doctor permiten minimizar estos errores.

En cuanto a la distribución de la severidad de la enfermedad, se observó que esta es mayor en las hojas bajas, lo que podría explicarse por la dinámica de la enfermedad que inicia desde la base de la planta por monocultivo o restos de cultivos anteriores. Esta situación también se relaciona con las condiciones de microclima, como mayor humedad debido a la sombra de las hojas superiores, favoreciendo el desarrollo del patógeno (Chaves-Barrantes & Gutiérrez-Soto, 2017). En las hojas medias, el nivel de severidad también fue elevado, posiblemente debido a la susceptibilidad de las hojas jóvenes y la acumulación de inóculo en el cogollo (Argueta, 2016). Este patrón coincide con investigaciones previas que describen la progresión rápida de la enfermedad en presencia de condiciones predisponentes (Varón & Sarria, 2007; Inlago, 2014).

Respecto al efecto de las dosis de azufre, los resultados muestran que las dosis de 48 kg ha^{-1} y 60 kg ha^{-1} lograron una reducción significativa en la severidad de la enfermedad. Sin embargo, los resultados también sugieren que la forma de aplicación del azufre podría influir en su eficacia. Según Bloem et al. (2014), la aplicación foliar de azufre es más eficiente debido a una asimilación más rápida, lo que activa mecanismos de defensa natural en las plantas. En este contexto, Molina (2005) y Álvarez et al. (2012) mencionan que el azufre promueve la producción de cisteína, un metabolito clave en la resistencia a patógenos. Es necesario

considerar la aplicación de azufre utilizando diferentes fuentes de fertilizantes para determinar si existe consistencia en la dosificación recomendada.

En términos de rendimiento y rentabilidad, el tratamiento con 48 kg ha^{-1} de azufre fue el más eficiente, equilibrando la reducción de la severidad de la enfermedad con un retorno económico positivo. Sin embargo, los tratamientos con dosis superiores a 48 kg ha^{-1} no justificaron la inversión adicional posiblemente a las condiciones climáticas del ensayo, como una mayor precipitación, que podría haber favorecido la lixiviación del azufre (Inlago, 2014). Según Eriksen et al. (1998) y Lucheta & Rodrigues (2012), estas condiciones pueden reducir la disponibilidad de azufre en el suelo, especialmente en suelos con alta lixiviación o saturados de agua. Además, la baja solubilidad del sulfato de amonio, la fuente utilizada en este estudio podría haber limitado su efectividad, como también se observó en el trabajo de Alfaro et al. (2006).

Finalmente, se destaca la necesidad de realizar estudios adicionales para evaluar el impacto de diferentes fuentes y modos de aplicación de azufre bajo condiciones climáticas variables. Además, investigaciones futuras podrían enfocarse en la interacción entre genotipos de maíz y la aplicación de azufre para identificar materiales genéticos con mayor capacidad de asimilación y resistencia a la enfermedad. Esto permitirá optimizar las estrategias de manejo integrado de la mancha de asfalto, promoviendo prácticas agrícolas sostenibles y rentables. Los planes de fertilización que incorporan micronutrientes ha demostrado ser una herramienta viable para manejar enfermedades en diferentes cultivos de la zona de Los Ríos (Herrera-Eguez et al., 2024; Avellaneda Vázquez, J. P., & Herrera-Eguez, F. E., 2024; Conforme et al., 2024; Carvajal et al., 2023; Herrera Egüez, F. E. et al., 2023; Perez Jacome, F. J., & Herrera Eguez, F. E., 2023; Vinces et al., 2022; Guerra Fernández, W. D., & Herrera Eguez, F. E., 2022).

Conclusión

La investigación permitió evidenciar que la aplicación de azufre tiene un impacto significativo en la reducción de la severidad de la mancha de asfalto en el cultivo de maíz, especialmente en dosis de 48 y 60 kg ha^{-1}. Además, se validó la eficacia del programa Leaf Doctor para la evaluación de la enfermedad, mostrando una alta correlación con los métodos visuales tradicionales. Los hallazgos sugieren que la dosis de 48 kg ha^{-1} no solo reduce la incidencia de la enfermedad, sino que también optimiza variables agronómicas clave como el rendimiento y el peso neto, favoreciendo la rentabilidad del cultivo. Asimismo, la mayor severidad de la enfermedad en hojas bajas respalda la hipótesis de un inóculo proveniente del suelo y cultivos previos. En conjunto, estos resultados destacan el potencial del azufre como una estrategia complementaria para el manejo integrado de la mancha de asfalto, contribuyendo a la reducción del uso de fungicidas y promoviendo una producción más sostenible de maíz.

Referencias bibliográficas

Alfaro, M., Bernier, R., & Iraira, S. (2006). Efecto de fuentes de azufre sobre el rendimiento y calidad de trigo y pradera en dos andisoles. *Agricultura Técnica, 66*(3), 283–294.

Álvarez, C., Bermudez, M., Romero, L., Gotor, C., & Garcia, I. (2012). Cysteine homeostasis plays an essential role in plant immunity. *New Phytologist, 193*, 165–177.

Argueta, M. (2016). *Evaluación de cien híbridos de maíz blanco (Zea mays L.) en las localidades: Nueva Concepción, Escuintla y Santa Catarina Mita, Jutiapa, Guatemala, C.A.* [Tesis de licenciatura, Universidad de San Carlos de Guatemala].

Avellaneda Vázquez, J. P., & Herrera-Eguez, F. E. (2024, July 10). *Dosis de silicio como nueva estrategia para el control de la mancha marrón (Bipolaris oryzae) en arroz (Oryza sativa L.)*. Editorial Grupo AEA. https://www.editorialgrupo-aea.com/index.php/EditorialGrupoAEA/catalog/book/81

Barbedo, J. (2014). An automatic method to detect and measure leaf disease symptoms using digital image processing. *Plant Disease, 98*, 1709–1716.

Bastidas, Y., Chassaigne, A., Alezones, J., & Hernández, A. (2015). Comportamiento agronómico y fitopatológico de variedades de maíz (Zea mays L.) en los estados Yaracuy y Guárico, Venezuela. *Bioagro, 27*(1), 17–26.

Bloem, E., Haneklaus, S., & Schnug, E. (2014). Milestones in plant sulfur research on sulfur-induced-resistance (SIR) in Europe. *Frontiers in Plant Science, 5*(77), 1–12.

Bock, C., Chiang, K., & Del Ponte, E. (2021). Plant disease severity estimated visually: A century of research, best practices, and opportunities for improving methods and practices to maximize accuracy. *Tropical Plant Pathology, 46*(4), 475–491. https://doi.org/10.1007/s40858-021-00439-z

Cabrera, M., Robledo, J., & Soto, A. (2018). Actividad insecticida del caldo sulfocálcico sobre *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Curculionidae). *Boletín Científico Centro de Museos de Historia Natural*, 22*(2), 24–32.

Carrillo, C. (2009). El origen del maíz: naturaleza y cultura en Mesoamérica. *Ciencias, 92*, 4–13.

Carvajal, I. A. V., Rivas, Y. E. G., Egüez, C. G. H., & Herrera-Eguez, F. E. (2023). Effect of the application of silicon in the control of *Phytophthora capsici* in bell pepper (*Capsicum annuum*) using image processing software. *Journal of Survey in Fisheries Sciences, 10*(3S), 5887–5897.

CENTA. (2014). *Guía para identificar el complejo mancha de asfalto en el cultivo de maíz en El Salvador*. http://www.centa.gob.sv/docs/guias/granos%20basicos/GUIA%20MANCHA%20ASFALTO%20MAIZ.pdf

Chaqui, C. (2013). *Formación de una variedad experimental de maíz amarillo suave (Zea mays L.) tipo "Mishca" a partir de medios hermanos y hermanos completos, Tumbaco, Pichincha* [Tesis de licenciatura no publicada, Universidad Central del Ecuador].

Chaves-Barrantes, N., & Gutiérrez-Soto, M. (2017). Respuestas al estrés por calor en los cultivos: Tolerancia y tratamiento agronómico. *Agronomía Mesoamericana, 28*(1), 255–271.

Conforme, N., Puyi, C., Saucedo, S., & Herrera-Egüez, F. E. (2024). Assessment of the severity of anthracnose (*Colletotrichum lindemuthianum*) using image processing software in beans (*Phaseolus vulgaris* L.) var. cuarentón under the influence of silicon application. *African Journal of Biological Sciences, 6*(8), 2045–2056. https://doi.org/10.48047/AFJBS.6.8.2024.2045-2056

Coral, J. (2017). *Caracterización morfológica y agronómica de dos genotipos de maíz (Zea mays L.) en la zona media de la parroquia Malchinguí* [Tesis de licenciatura no publicada, Universidad Central del Ecuador].

Crespo, S., Burbano, M., & Vasco, A. (1990). *INIAP 551 Híbrido de maíz para la zona central del litoral* (Boletín Divulgativo N° 112). INIAP.

Eriksen, J., Murphy, M., & Schnug, E. (1998). The soil sulphur cycle. In E. Schnug (Ed.), *Sulphur in agroecosystems* (pp. 39–74). Kluwer Academic Publishers.

Espinosa, E., Mendoza, M., Castillo, F., Ortiz, J., Delgado, A., & Carrillo, A. (2009). Acumulación de antocianinas en pericarpio y aleurona del grano y sus efectos genéticos en poblaciones criollas de maíz pigmentado. *Revista Fitotecnia Mexicana, 32*(4), 303–309.

Farinango, V. (2015). *Evaluación fitosanitaria y potencial agronómico de la variabilidad de maíz de Cotacachi y Saraguro en las principales zonas maiceras de Imbabura y Loja* [Tesis de licenciatura no publicada, Universidad Central del Ecuador].

Guerra-Fernández, W. D., & Herrera-Eguez, F. E. (2022). *Polisulfuro de calcio en el manejo fitosanitario del cultivo de cacao CCN-51*. Ediciones GESICAP.

Hernández, L., & Sandoval, J. (2015). Escala diagramática de severidad para el complejo mancha de asfalto del maíz. *Revista Mexicana de Fitopatología, 33*(1), 95–103.

Herrera Egüez, F. E., Granados Rivas, Y. E., Plaza Zambrano, P. M., & Ramírez Orobio, J. J. (2023). Assessment of Downy Mildew (*Pseudoperonospora cubensis*) control in cucumber (*Cucumis sativus*) using image processing under silicon (SiO_2) application. *Journal of Advanced Zoology, 44*(S1), 1016–1024. https://doi.org/10.53555/jaz.v44iS1.902

Herrera Eguez, F. E., Herrera Eguez, C. G., Ramírez Montesdeoca, W. A., & Beltrán Muñoz, L. E. (2024). Exploring silicon dose effects on disease and cadmium control in CCN-51 cacao (*Theobroma cacao*) via image processing. *Nanotechnology Perceptions, 20*(S13), 340–356. https://doi.org/10.62441/nano-ntp.vi.2480

INIAP. (2003). *Guía técnica de cultivos*. Estación Experimental Santa Catalina.

Inlago, Y. (2014). *Evaluación de la resistencia y manejo de la variabilidad de maíz (Zea mays L.) de Cotacachi, Imbabura* [Tesis de licenciatura, Universidad Central del Ecuador].

Jaramillo, M. (2012). *Evaluación del rendimiento de tres variedades de maíz (Zea mays), con dos distancias de siembra, en la Parroquia Zumba, cantón Chinchipe, provincia de Zamora Chinchipe* [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional de Loja].

Jiménez, E. (2006). *Evaluación de dos híbridos y una variedad criolla de maíz (Zea mays L.) bajo tres distanciamientos de siembra en el cantón Quinindé, provincia de Esmeraldas* [Tesis de licenciatura, Universidad Tecnológica Equinoccial].

Lucheta, A., & Rodrigues, M. (2012). Sulfur in agriculture. *Revista Brasileira de Ciência do Solo, 36*(5), 1369–1379. https://doi.org/10.1590/S0100-06832012000500001

Macuri, E. (2016). *Estudio de la diversidad fenotípica del maíz (Zea mays L.) en la sierra baja y media del Perú* [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional Agraria La Molina].

Marcillo, J. (2014). *Respuesta del híbrido de maíz (Zea mays L.) DK-7088 a la fertilización con macro y microelementos, bajo riego por goteo en el cantón Balzar-Guayas* [Tesis de licenciatura, Universidad de Guayaquil].

Martinelli, F., Scalenghe, R., Davino, S., Panno, S., Scuderi, G., Ruisi, P., & Dandekar, A. M. (2015). Advanced methods of plant disease detection: A review. *Agronomy for Sustainable Development, 35*, 1–25. https://doi.org/10.1007/s13593-014-0246-1

Molina, V. (2005). *Extracción de proteína foliar de maíz a los 10, 25 y 40 días de la siembra y análisis de sus aminoácidos* [Tesis de licenciatura, Universidad Zamorano].

Morales-Soto, A., Moreno-Ramos, D., Del Pozo-Núñez, E., García-Cruz, I., & Lamz-Piedra, A. (2019). Efecto de tres hongos benéficos y azufre sobre insectos nocivos en el cultivo del frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.). *Cultivos Tropicales, 40*(3), e01.

Morán, E. (2020). *Estimación de curvas de absorción de nutrientes para el cultivo de maíz híbrido (Zea mays), en tres zonas productoras de la provincia de Los Ríos* [Tesis de licenciatura, Universidad Técnica de Babahoyo].

Oleas, C. (2014). *Control de la mancha de asfalto (Phyllachora maydis) en el cultivo de maíz*

(Zea mays) en la provincia de Bolívar, cantón San José de Chimbo, sector Yacán [Tesis de licenciatura, Universidad Técnica de Ambato].

Pérez, F., & Herrera, F. (2023). *Escalas de valoración de dosis de silicio para el control de Sigatoka Negra (Pseudocercospora fijiensis) en el cultivo de banano (Musa acuminata L.)* [Tesis de licenciatura, Universidad Técnica Estatal de Quevedo].

Pethybridge, S., & Nelson, S. (2015). Leaf Doctor: A new portable application for quantifying plant disease severity. *Plant Disease, 99*(10), 1310–1316.

Ramanujan, K. (2015). Free app helps diagnose leaf-or-death situations. *Cornell Chronicle*. https://news.cornell.edu/stories/2015/10/free-app-helps-diagnose-leaf-or-death-situations

Ramírez-Hernández, R. (2014). *Identificación, incidencia y severidad de la mancha de asfalto, en Colatlán Ixhuatlán de Madero, Veracruz* [Tesis de licenciatura, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro].

Sáenz, C. (2015). *Potencial agronómico y variación económica de híbridos de maíz cristalino duro (Zea mays L.) en tres zonas agroecológicas del litoral ecuatoriano* [Tesis de licenciatura, Universidad Técnica Estatal de Quevedo].

Saltos, H. (2018). *Análisis de las influencias de las políticas públicas agropecuarias en el incremento de la producción de maíz duro seco, provincia de Manabí, periodo 2013–2017* [Tesis de licenciatura, Universidad de Guayaquil].

Sánchez, V. (2016). *Causas e impacto de la incidencia de la mancha de asfalto en el ámbito productivo-económico del maíz en la zona de Mocache, primer semestre 2016* [Tesis de licenciatura, Universidad Técnica Estatal de Quevedo].

Serratos, J. (2009). *El origen y la diversidad del maíz en el continente americano.* Universidad Autónoma de la Ciudad de México.

Tapia, C., & Morillo, E. (2006). Diversidad agrícola andina. *Ecuador Terra Incognita, 42*, 1–10.

Varón de Agudelo, F., & Sarria Villa, G. A. (2007). *Enfermedades del maíz y su manejo: Compendio ilustrado*. Instituto Colombiano Agropecuario (ICA).

Vinces-Tachong, R. E., Vélez-Ruiz, M. C., Gaibor-Fernández, R. R., & Herrera-Eguez, F. E. (2022). Implementación del procesamiento de imágenes para la evaluación de la mancha de asfalto (*Phyllachora maydis*) en maíz (*Zea mays*). *Terra Latinoamericana, 40,* e1066. https://doi.org/10.28940/terra.v40i0.1066

Vivas, H., Vera, N., Albrecht, R., Martins, L., Quaino, O., & Hotián, J. (2011). Fósforo y azufre aplicados en una secuencia cada dos cultivos. *Fertilizar, 10*, 10–13.

Williams, J., & Cooper, R. (2004). The oldest fungicide and newest phytoalexin – A reappraisal of the fungitoxicity of elemental sulphur. *Plant Pathology, 53*(3), 263–279. https://doi.org/10.1111/j.0032-0862.2004.01010.x