

Epidemiología de la mancha de asfalto en maíz bajo diferentes estrategias de manejo¹

Carlos Efraín Puerto Hernández²

cpuerto@zamorano.edu

Gestión de calidad y administración

Universidad Zamorano, Honduras

Carolina Avellaneda

cavellaneda@zamorano.edu

Profesora Asociada

Departamento de Ciencia y Producción Agropecuaria

Universidad Zamorano, Honduras

Resumen. La mancha de asfalto causada por *Phyllachora maydis* Maubl. y *Monographella maydis* Müller y Samuels, es una enfermedad del cultivo de maíz (*Zea mays* L.) cuya epidemiología es poco conocida, lo que dificulta su manejo. El objetivo de este estudio fue caracterizar la dinámica temporal de la mancha de asfalto y evaluar el impacto en el rendimiento del cultivo de maíz en Honduras. El experimento consistió en un arreglo de parcelas divididas de un diseño de bloques completamente al azar de dos factores, fungicida (con y sin) e híbridos (DICTA96 y DK390RR). Los resultados mostraron diferencias significativas ($p < 0.001$) entre el área bajo la curva de progreso de la enfermedad (ABCPE) en el dosel bajo (979.2), medio (753.1) y superior (432.0) de las plantas. DICTA96 presentó una ABCPE más baja (189.8) que DK390RR (1248.3). La aplicación de fungicida redujo el ABCPE en las parcelas con (195.3) en relación con sin fungicida (1242.9). La enfermedad de la mancha de asfalto se incrementó más rápido de los 85 a 106 días después de la siembra en DK390RR. En el tratamiento sin fungicida se redujo el rendimiento de semilla significativamente en DK390RR, pero en DICTA96 no se presentaron diferencias significativas en rendimiento con y sin fungicida. Los resultados pueden ser la base para el desarrollo adecuado de estrategias de manejo de la mancha de asfalto en el cultivo de maíz.

Palabras clave: Control químico, severidad de la enfermedad, rendimiento de semilla, resistencia.

Epidemiology of maize tar spot under diverse management strategies

Abstract. Tar spot disease caused by *Phyllachora maydis* Maubl. y *Monographella maydis* Müller y Samuels in maize (*Zea mays* L.) which epidemiology is not well known and difficult management. The objective of the study was to characterize the temporal dynamic and impact of tar spot disease in maize crop yield in Honduras. The experiment consisted in a split plot arrangement of a complete randomized block design of two factors, fungicide application (with and without) and maize hybrids (DICTA96 and DK390RR). The results showed significant differences ($p < 0.001$) in the area below the curve of disease progress (ABCPE) at the lower (979.2), middle (753.1) and superior (432.0) plant canopies. DICTA96 presented lower ABCPE (189.8) than DK390RR (1248.2). Fungicide application reduced ABCPE in plots with (195.3) in relation to without fungicide (1242.9). Tar spot disease increases quicker from 85 to 106 days after planting in DK390RR. Under no fungicide treatment seed yield of DK390RR was significantly reduced; however, DICTA96 did not presented yield differences with and without fungicide application. The results can be used as base for an adequate development of strategies to manage tar spot disease in maize crop.

Keywords: Chemical control, disease severity, seed yield, resistance.

Introducción

A medida que la población mundial aumenta a aproximadamente nueve mil millones de habitantes a mediados del siglo XXI, se espera que la demanda de maíz (*Zea mays* L.) y otros cultivos básicos se incremente sustancialmente (Senker 2011). Dado el potencial limitado para expandir las tierras agrícolas, esta demanda tendrá que ser satisfecha principalmente a través del aumento en los rendimientos de los cultivos. Ante esta situación, países como los de América Central tienen un importante potencial, ya que presentan una amplia brecha en el rendimiento agrícola entre los rendimientos reales y los potenciales de los cultivos (van Ittersum et al. 1997). En el caso de maíz en

¹ Trabajo parcial de CE Puerto-Hernández para optar el título de Maestría en Ciencias en Agricultura Tropical Sostenible, Universidad Zamorano, Honduras.

² Autor para correspondencia.

América Central, esta brecha alcanza las 6.5 ton/ha (Hengsdijk y Langeveld 2009). En los contextos de baja productividad las mayores ganancias de rendimiento se podrían obtener a partir de un mejor manejo del agua, nutrientes y protección de los cultivos frente a plagas y enfermedades, lo cual podría ser una vía para garantizar la seguridad alimentaria (Irwin et al. 2018).

El maíz es uno de los cereales de mayor importancia a escala global, con una producción estimada de 1.13 billones de toneladas en la cosecha 2018–2019 (USDA 2020). El mayor productor de maíz en el mundo es Estados Unidos, donde se genera un 33.3% de la producción mundial; le siguen China con un 23.4%, Brasil con 8.6%, la Unión Europea con 5.5% y Argentina con 4.2%. (Reed 2019). En Honduras, el maíz es uno de los alimentos principales para la población. Representa el 48% y el 26% de las calorías consumidas por los habitantes de zonas rurales y urbanas, respectivamente (Eash et al. 2019). El maíz ocupa un 35% del área sembrada en el país, equivalente a 630,000 ha (Derlagen et al. 2019). Se estima que, en Honduras, como en otros países de América Central, la demanda de la población por granos básicos como el maíz está aumentando rápidamente, mientras que los rendimientos de este cultivo siguen siendo bajos (2.28 ton/ha) (Eash et al. 2019). De hecho, la producción nacional (675 mil toneladas en 2017) únicamente alcanza a satisfacer el 53% de la demanda nacional, mientras que el 47% restante debe ser importado (INE, 2018). Los factores limitantes del rendimiento de maíz incluyen el estrés hídrico, la deficiencia de nutrientes y la presión por plagas y enfermedades (Harvey et al. 2018). Una de las principales enfermedades que afecta los rendimientos del cultivo de maíz en Honduras desde el año 2007, es la mancha de asfalto (ProMED-mail 2011).

La mancha de asfalto (MA) es también conocida como el complejo de la mancha de asfalto, debido a que es causada por la interacción de dos patógenos, *Phyllachora maydis* Maubl (Phyllachorales: Phyllachoraceae) y *Monographella maydis* Müller y Samuels (Phyllachorales: Phyllachoraceae). Existe evidencia que *M. maydis* y *P. maydis* pueden estar presentes en el cultivo de forma independiente (Groves et al. 2020). En algunas zonas productoras de maíz la presencia de *P. maydis* ha sido reportada sin asociar con *M. maydis*. Según (Hock et al. 1992), *P. maydis* es un parásito obligado, mientras que se cree que *M. maydis* es un parásito facultativo que causa clorosis extensa en presencia de *P. maydis*. Adicionalmente se ha reportado la presencia de un tercer hongo, *Coniothyrium phyllachorae* Maubl. (Hock et al. 1992). Aunque *C. phyllachorae* a menudo se asocia con *P. maydis* y *M. maydis* en las hojas infectadas, su papel en el complejo mancha de asfalto aún no es claro. Se cree que es un hiperparásito o micoparásito, sin expresión evidente de síntomas del huésped (Bajet et al. 1994).

Los síntomas iniciales de MA son causados por *P. maydis*. Los primeros síntomas visibles aparecen como estromas, manchas ovaladas oscuras de forma irregular con relieves en la epidermis de las hojas inferiores y centrales de la planta (Loladze et al. 2019). Aproximadamente dos semanas después, el área necrótica que rodea los estromas se torna clorótica, formando un halo que se conoce como el síntoma de “ojo de pescado”, el cual se atribuye a la acción de *M. maydis*. Al tener las condiciones adecuadas, la enfermedad puede tornarse agresiva, provocando que los halos se unan y afectando toda la superficie de la hoja. Luego de la primera aparición de síntomas, la enfermedad avanza de las hojas inferiores a las superiores, cubriendo la totalidad de la planta (Pereida-Hernández et al. 2009). Hock et al. (1989) propusieron que la MA produce fitotoxinas, causando un efecto rápido de “quema del follaje”. Se ha sugerido que las condiciones óptimas para el desarrollo de la MA incluyen temperaturas entre 16 y 18 °C (\pm 5-7 °C), precipitación mensual promedio de 150 mm, y 10-20 días nublados por mes (Hock et al. 1992). Evaluaciones más recientes proponen que las condiciones óptimas para la proliferación de la MA incluyen una humedad relativa mayor a 70%, temperaturas máximas de 30 °C durante el día y de 15-22 °C durante la noche (Pereida-Hernández et al. 2009).

La MA ha sido reportada en varios países de América Latina y se consideraba que sólo estaba presente en las áreas tropicales de la región (Bajet et al. 1994; Hock et al. 1992). Sin embargo, en el 2015 la enfermedad fue detectada por primera vez en múltiples localidades en la franja maicera del medio oeste de los Estados Unidos (Mottaleb et al., 2018). Aún no está claro si *P. maydis* es un patógeno endémico en Estados Unidos que desarrolló la habilidad de infectar al maíz a través de cambios genéticos, o si fue introducido a través de personas, material vegetativo o los sistemas climáticos (Valle-Torres et al. 2020). Instituciones de investigación de la región centroamericana como ICTA, CENTA e INTA (2012) atribuyen la dispersión de la enfermedad en diferentes zonas geográficas a las condiciones generadas por el cambio climático. La severidad de la enfermedad varía según las localidades

geográficas, por lo cual ha sido necesario desarrollar una escala para caracterizarla (Hernandez-Ramos y Sandoval 2014; Quiroga et al. 2017).

La incidencia de la MA reduce los rendimientos del maíz y repercute eventualmente en el precio de los alimentos. En México, Hock et al. (1992) y Bajet et al. (1994) reportaron en parcelas experimentales que la MA podía causar pérdidas de entre 30 y 46% de los rendimientos del cultivo. En la región de América Central, México y Colombia, en los periodos de incidencia de la enfermedad se reportan pérdidas de entre 30 a 100% en los campos afectados (Mottaleb et al. 2018). En términos económicos, se estimó que en Estados Unidos la pérdida de únicamente del 1% de la producción de grano equivaldría a 1.5 millones de toneladas métricas con un valor de 231.6 millones de dólares (Mottaleb et al., 2018).

Debido al limitado conocimiento existente sobre el comportamiento epidemiológico de la MA, resulta difícil para los agricultores predecir o anticipar su ataque hasta que los síntomas y daños son evidentes y los rendimientos ya han sido afectados. Los esfuerzos de investigación hasta el momento se han enfocado en caracterizar la sintomatología de la enfermedad en América Latina (Mahuku et al. 2013; Hernandez-Ramos y Sandoval 2014; Quiroga et al. 2017), y en Estados Unidos (Ruhl et al. 2016; Miller 2016; Kleczewski et al. 2019); y en identificar el rol de las diferentes especies involucradas en causar estos síntomas (McCoy et al. 2019). Otros estudios se enfocan en comprender la arquitectura genética de la resistencia a la MA en maíz y en aplicar técnicas de selección genómica para desarrollar cultivares resistentes (Cao et al. 2017).

Actualmente existen dos métodos principales para el control de la MA, la aplicación de fungicidas como método curativo y el uso de cultivares resistentes como método preventivo. De acuerdo con las prácticas tradicionales, el uso de fungicidas es un método eficaz para el control de MA en maíz. Pereyda-Hernández et al. (2009) encontraron que la aplicación de benomil resultó en rendimientos 55.1% superiores a los del testigo. Sin embargo, el uso de fungicidas genera costos de producción adicionales, y puede generar efectos a la salud y ambientales nocivos, por lo que en ocasiones se trata de minimizar su uso. En su lugar, los productores ubicados en localidades donde ya se conoce la incidencia de la enfermedad utilizan cultivares de maíz resistentes a la misma (Quiroga et al. 2017).

El conocer el comportamiento epidemiológico de la MA permitiría realizar un diagnóstico y tratamiento más acertado de su incidencia en campo. Los estudios epidemiológicos permiten una mejor comprensión de los cambios en la intensidad y severidad de la enfermedad y la manifestación de los síntomas en el tiempo a nivel de plantas, todo esto en función de las etapas de desarrollo del cultivo de maíz. Esta información permite a su vez identificar las etapas más intensas del ataque de la enfermedad, las de mayor vulnerabilidad del cultivo y los márgenes de tiempo con los que cuentan los agricultores para tomar medidas de control.

Con base en los antecedentes presentados, los objetivos del presente estudio fueron: (a) caracterizar la dinámica temporal de MA y su efecto en los rendimientos del cultivo de maíz bajo condiciones representativas para su producción en Honduras. Se evaluó la dinámica de la MA en dos híbridos de maíz relativamente utilizados en el país y con la aplicación o no de fungicidas. Al monitorear el comportamiento epidemiológico de MA a lo largo de todo un ciclo de cultivo en condiciones de campo en Honduras, se compararon los rendimientos obtenidos en los diferentes niveles de cada factor evaluado. La enfermedad fue evaluada en condiciones de campo, procurando condiciones óptimas para la proliferación de la MA y minimizando a su vez otras posibles fuentes de estrés. El estudio buscó generar información que facilite la toma de futuras decisiones con relación al manejo de la MA en el cultivo de maíz en Honduras.

Materiales y métodos

Ante la necesidad de mejorar la disponibilidad de alimentos básicos como el maíz, se realizó el presente estudio para conocer la epidemiología de mancha de asfalto, enfermedad que afecta la productividad de este cultivo, mediante el manejo agronómico y el uso de herramientas de detección y control en el campo. La investigación se hizo evaluando la presencia de síntomas de la mancha de asfalto en secciones y partes específicas de la planta de maíz, incluyendo la hoja de la mazorca (hoja 0) y la segunda por debajo de esta (hoja -2), y follaje del dosel bajo, medio y alto de las plantas, mediante observaciones para respaldar de manera integrada los resultados obtenidos. El estudio se realizó en la localidad de Santa Inés, San Antonio de Oriente, Francisco Morazán, Honduras, entre el 10 de

septiembre del 2019 hasta el 22 de abril del 2020. Se evaluó la aplicación de fungicida para el control de la MA en los híbridos de maíz DICTA96 y DK390RR, para generar datos que permitan recomendar prácticas de control de la MA.

El estudio se realizó en la Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano. La fase de campo se llevó a cabo entre el 3 de septiembre del 2019 al 20 de marzo del 2020 en un lote ubicado en la localidad de Santa Inés con un área de 4,985 m². El lote se encuentra ubicado a 765 msnm, a 13°59'09.37" latitud Norte y 86°59'10.32" longitud Oeste, en el municipio de San Antonio de Oriente, Francisco Morazán, Honduras. La zona presenta una precipitación promedio anual de 1,197 mm y una temperatura media anual de 24 °C. Durante el experimento se estimaron los grados de calor acumulados (GCA) según el sumatorio promedio de la temperatura máxima y mínima diaria y menos la temperatura base de 10 °C que representa las temperaturas debajo de las cuales no puede crecer el maíz (Dexton et al. 2019). Los GCA permitieron establecer puntos de comparación de las características propias del cultivo de maíz según la actividad metabólica, en respuesta a las condiciones geo-climáticas.

El experimento se condujo en un suelo franco-arcilloso con deficiencia de Mg, que fue preparado mediante un pase de rastra pesada y uno de rastra liviana. La siembra de la barrera esparcidoras de inóculo se realizó el 25 de septiembre del 2019 y la siembra de las parcelas experimentales el 4 de noviembre del 2019; es decir, 40 días después de la siembra (DDS) de las barreras. Se utilizó un sistema de riego por aspersión, para simular el efecto de la lluvia y mantener un microclima favorable para la proliferación de la enfermedad en el experimento, con una frecuencia de riego de cuatro veces por semana a razón de 8 mm por día en promedio. La fertilización se hizo con base en el análisis completo de suelo para estimular el desarrollo de la MA en el maíz y evitar condiciones de estrés diferentes a la enfermedad. También el control de plagas y malezas fue eficaz, con el propósito de evitar estrés biótico y así inferir que las variaciones fueran directamente causadas por la MA.

Las condiciones de suelo en el terreno donde se ubicó el experimento fueron de una CIC 7.42, pH 5.63, textura franco arcilloso, materia orgánica 1.82% (baja). La relación de bases fue normal, presentando deficiencia de magnesio. La fertilización del experimento se hizo de forma manual, procurando alcanzar rendimientos altos con base en las recomendaciones de Stewart et al. (2008). Se utilizó un fertilizante granulado, incluyendo urea, cloruro de potasio, nitrato de calcio y fosfato di amónico, a los 24, 39 y 63 DDS. Para la aplicación de fertilizantes se abrió un surco paralelo a 15 cm del surco de siembra, se aplicó a chorro corrido y se cubrió con azadón. En la fertilización foliar se aplicó aminoácidos, micronutrientes, con refuerzos de boro, a los 36, 39 y 70 DDS, con el propósito de fortalecer a la planta de maíz, ya que se observaron síntomas visibles de deficiencia de fósforo a los 40 a 52 DDS, y problemas de anegamiento en el sector oeste. Al momento de la siembra, la semilla fue tratada con imidacloprid/thiodicarb para evitar la incidencia de plagas del suelo. Durante los primeros 50 DDS las plantas mostraron síntomas de ataques de gusano cogollero en las parcelas experimentales, por lo que se realizaron dos aplicaciones curativas a los 36 y 49 DDS.

Se empleó un arreglo de parcelas divididas de un diseño de bloques completos al azar de dos factores, fungicida y acesión, con nueve repeticiones. Los niveles con y sin fungicidas estuvieron distribuidos en las parcelas y los híbridos DK390RR y DICTA96 en las subparcelas. Las dimensiones de cada parcela experimental fueron 7 m de largo × 6.4 m de ancho, con un área de 44.8 m² y con 9 surcos y 441 plantas por parcela. Las distancias de siembra fueron de 14.75 cm entre plantas y 0.8 m entre surcos, a una densidad de 85,000 plantas/ha. Las unidades experimentales del 1 a 18 no recibieron ninguna aplicación de fungicida y las unidades 19 a la 36 recibieron dos aplicaciones foliares de 440 mL/ha del fungicida Amystar® Xtra 28 SC (azoxystrobina/ciproconazol) a los 46 DDS (599 GCA) en la etapa V7-V8 y a los 70 DDS (895 GCA) en las etapas VT-R. Para evitar la deriva del fungicida hacia las parcelas sin fungicidas, todas las parcelas experimentales fueron sembradas a 2 m de separación y la parcela con fungicida fue ubicada en la sección sur del terreno acorde con la dirección N a S del viento. Adicionalmente, las aplicaciones se hicieron en las horas de menor velocidad del viento (5-6 pm).

El inóculo primario utilizado para infectar el lote experimental con la MA se colectó en la aldea de Talgua, municipio de Catacamas, departamento de Olancho, Honduras. Las plantas colectadas de la variedad "Cristeen" a los 90 DDS presentaron síntomas de MA en todas las hojas. Después del corte, las plantas se dejaron en el suelo durante tres horas para que perdieran la mayor cantidad de agua superficial. Las inoculaciones se realizaron a los 47 DDS en las barreras esparcidoras en los bordes del

lote experimental, sembradas 40 días antes del experimento con el híbrido HAZ 1 y la variedad Tuxpeño identificadas previamente como susceptibles a la MA en Zamorano. La inoculación del lote experimental se hizo a los 3 DDS del experimento. Partes de 150 plantas infectadas con MA colectadas en Talgua fueron utilizadas para la inoculación de las barreras mediante su distribución en los surcos, y atando porciones de hojas infectadas directamente a las plantas de la barrera. Groves et al. (2020) y Kleczewski et al. (2019) manifiestan que las esporas de MA se mantienen viables en el rastrojo y son capaces de sobrevivir al invierno.

Las barreras presentaron rocío visible durante los meses de noviembre y diciembre hasta las 10:00 am. Las condiciones óptimas para el desarrollo de la enfermedad es tener más de 11 horas de rocío durante 20 días consecutivos (Hernandez-Ramos y Sandoval 2014). Los síntomas iniciales de la enfermedad se observaron a los 14 días después de la inoculación (DDI) en las hojas bajas. A los 35 DDI, ambos materiales de las barreras (Tuxpeño y HAZ-1) mostraron una alta incidencia de MA (aprox. 80%).

La inoculación de la mancha de asfalto a través de barreras esparcidoras. Las plantas de maíz de las parcelas centrales estaban en la etapa V2 al momento de hacer la inoculación. Las barreras en la etapa V11 al momento de la inoculación. Las plantas de maíz de las parcelas centrales estaban en la etapa V4 al momento de aparecer los primeros síntomas en las barreras. Las plantas de las barreras estaban en las etapas VT-R al momento que la barrera presentó 80% de incidencia de mancha de asfalto. No hubo aparición inmediata de ojo de pescado, solo presentó un estroma individual con un halo amarillento.

Evaluación visual de la mancha de asfalto

La severidad, se define como el porcentaje de la superficie de la planta afectada por la enfermedad (Agrios 2005). En este estudio, la severidad de la MA mediante dos métodos: a) en hojas individuales en parcelas sin fungicida, y b) en grupos de hojas (dosel) en las parcelas sin y con fungicida; siendo el orden del suelo hacia la parte superior de las plantas, el dosel bajo (hojas 1 a 6), dosel medio (hojas 7 a 12), y dosel alto (hoja 13 hasta la última hoja antes de la espiga). Las evaluaciones se iniciaron al momento de la emergencia de la espiga (panícula) en aproximadamente un 75% de las plantas en las parcelas experimentales, desde los 70 DDS (895 GCA) hasta los 130 DDS (1,649 GCA), tratando de realizar una evaluación por semana, realizándose siete evaluaciones con el nivel (a) y seis con el nivel (b).

Para evaluar las hojas individuales en, se seleccionaron cinco plantas por parcela de los cinco surcos centrales. En cada planta seleccionada se etiquetaron dos hojas (10 hojas por parcela). La hoja de la mazorca fue identificada como hoja 0 por la mayor concentración de nutrientes, y, por ende, la salud de esta hoja explica en >50% de la variación en el rendimiento y la materia seca final (Kovács y Vyn 2017). Luego se identificaron las hojas más cercanas a la hoja de la mazorca, como las hojas -1 y -2 (hacia abajo de la mazorca) y las hojas 1, 2, 3... n hasta llegar a la espiga (hacia arriba de la mazorca). Las hojas -3, -4, -5... n hacia abajo de la mazorca no fueron tomadas en cuenta para la evaluación debido a que suelen morir por causas naturales (senescencia), independientemente de la influencia o no de MA (Nielsen 2000). La severidad de la MA en cada muestreo de cada una de las hojas seleccionadas fue evaluada entre 0 y 100%, según el porcentaje de la superficie de la hoja afectada por la enfermedad. Esta escala continua de severidad fue una adaptación para este estudio de la escala categórica descrita por Quiroga et al. (2017).

Después de cada evaluación se tomó una fotografía sobre un fondo azul de una sección de 24.5 cm de cada hoja que permitiera evidenciar en el tiempo el ataque de la enfermedad (la sección con menos síntomas en las hojas más afectadas y la sección con los primeros síntomas en las hojas menos afectadas). En cada hoja esta sección fue señalada con un marcador permanente para fotografiar la misma sección en cada una de las evaluaciones.

Para seleccionar las plantas a evaluar en el segundo método, se realizó en cada parcela un muestreo sistemático en zigzag de un 10% de las plantas por parcela, con base en el método propuesto por CIMMYT (1995). Se seleccionaron en cada muestreo cinco plantas continuas en cada uno de los nueve surcos de cada parcela (45 plantas por parcela). En las plantas seleccionadas se evaluaron los doseles bajo, medio y alto de las cinco plantas seleccionadas. Los valores de severidad (0 a 100%) de los nueve surcos fueron promediados para cada dosel por parcela.

El área bajo la curva de progreso de la enfermedad (ABCPE) se calculó integrando los trapezoides formados por los puntos de relación entre un muestreo (Y_i) y el muestreo previo (Y_{i-1}), mediante la ecuación 1 de Martínez (2009):

$$ABCPE = \sum \frac{Y_{i-1} + Y_i}{2} \times (t_i - t_{i-1}) \quad [1]$$

Este parámetro fue estimado a nivel de hojas (debajo, en la mazorca y arriba de la mazorca) y dosel de la planta (bajo, medio, alto).

La tasa relativa de incremento de la severidad (TRIS) representa la intensidad (severidad) con respecto al tiempo durante la evaluación de la enfermedad. Se obtiene al dividir la diferencia en la severidad y entre la diferencia en el tiempo transcurrido entre los muestreos, mediante la ecuación 2 (Huerta et al. 2009):

$$TRIS = [Y_t - Y_{t-1}] / [t - t-1] \quad [2]$$

Donde Y_t es el porcentaje de la hoja o dosel afectado por la MA registrado el día de muestreo t , Y_{t-1} es el porcentaje de la hoja o dosel afectado por la MA registrado el día de muestreo $t-1$, t es el día de muestreo más reciente en DDS, y $t-1$ es el día de muestreo previo en DDS.

Este parámetro fue estimado a nivel de hoja (hojas debajo, en y arriba de la mazorca) y dosel (bajo, medio, alto). Pedroza-Sandoval y Teliz-Ortiz (1993) usó la severidad promedio y la TRIS para mostrar de manera más específica el comportamiento de enfermedades en cultivos, de manera que fuese más específico por intervalos de tiempo la explicación del avance de la enfermedad. Por lo cual, las variables antes descritas deben ser evaluadas y consideradas por separado, para describir más comprensivamente el comportamiento de la MA.

Evaluación del rendimiento de grano

Para la evaluación de rendimiento de grano de las parcelas experimentales fueron cosechadas a los 125 DDS a un 34% de humedad del grano. La cosecha se realizó en los cinco surcos centrales en los que se hicieron la evaluación visual de la severidad de la MA a nivel de hoja. Se siguió la metodología de evaluación de rendimientos propuesta por CIMMYT (1995), cosechando las mazorcas de 100 plantas, en un área de 10.16 m², sin incluir las cinco plantas de cada externo de la parcela para estimar el rendimiento por hectárea. Las mazorcas para la medición de los parámetros de rendimiento se seleccionaron al azar. Después de la cosecha se secaron las muestras hasta alcanzar una humedad de grano de 12%, y se removieron las impurezas con una zaranda metálica antes de evaluar el rendimiento y calidad de grano.

Para el análisis estadístico se utilizó el programa “Statistical Analysis System” (SAS® Enterprise Guide 7.1). Las variables dependientes fueron el porcentaje de severidad a nivel de hoja, a nivel de dosel y los rendimientos. Para estimar las diferencias entre los niveles de cada factor, se utilizó un modelo lineal de efectos mixtos por medio de la función PROC MIXED. La aplicación de fungicidas, las accesiones y los tiempos de muestreo fueron considerados como efectos fijos, mientras que las repeticiones fueron consideradas como efectos aleatorios. El uso de este modelo permite disminuir la variación que generan factores como el tipo de suelo dentro del terreno cuyo efecto está estimado dentro del error debido a la distribución espacial de las repeticiones, la parcela principal y las subparcelas. El uso de este tipo de análisis estadístico y diseño experimental se tomó del estudio realizado por Yang (2010), que manifiesta las ventajas del uso de modelos lineales de efectos mixtos en experimentos agrícolas sobre el uso de modelos lineales generalizados.

Resultados

Las condiciones meteorológicas durante el experimento fueron una temperatura promedio de 23 °C (mínima de 19 °C y máxima de 31 °C), y una humedad relativa promedio de 76% (mínima de 40% y máxima de 93%). Si bien las temperaturas promedio diarias fueron relativamente uniformes, se observó un pico de temperaturas máximas diarias aproximadamente entre los 91 a 97 DDS. Los periodos de incremento de temperatura y humedad relativa observados coincidieron con los periodos de incremento observados en la TRIS de la MA a nivel de hoja.

La humedad relativa promedio fue de 77%. La humedad relativa mínima promedio durante el tiempo de muestreo fue 40%. La humedad relativa mínima se registró durante las horas de la tarde. A lo largo de todo el periodo se alcanzaron humedades relativas mínimas de 21% y máximas de 100%. Se observó un pico en la humedad relativa promedio y mínima aproximadamente entre los días 88 a 96%.

Debido a que el comportamiento de la MA fue diferente en el terreno, respecto a la acesión a través del tiempo, la estimación de los grados de calor acumulados permitió establecer un parámetro de comparación respecto al crecimiento y desarrollo de la plata de maíz, ya que las condiciones climáticas son variables por zona geográfica. Fue posible caracterizar el comportamiento de la MA relacionado a los GCA, mostrando que los días específicos después de la siembra y la actividad de la planta respecto a la temperatura. Durante el ciclo del cultivo de maíz la acumulación promedio de grados de calor fue de 14 grados por día.

Caracterización microscópica

El diagnóstico microscópico de las muestras procedentes de las trampas de esporas, determinaron que la presencia del hongo *P. maydis* fue predominante en las parcelas experimentales. Las características morfológicas observadas para la identificación de *P. maydis* fueron ascosporas (esporas sexuales) y esporas asexuales (conidias). La Figura 1 muestra la vista microscópica de las muestras de la parcela experimental. En la primera imagen, se muestra la vista 40 X de las ascosporas extraídas del interior del peritecio (punto negro) mostrando los síntomas de la MA. Luego se muestran las estructuras formadas por el peritecio eclosionado, paráfisis presente, filiforme, hialinas, septadas, más largas que la ascospora, contenida en una mucosa gelatinosa. Las ascosporas estaban dentro de ascos en un solo peritecio cubierto por estromas.

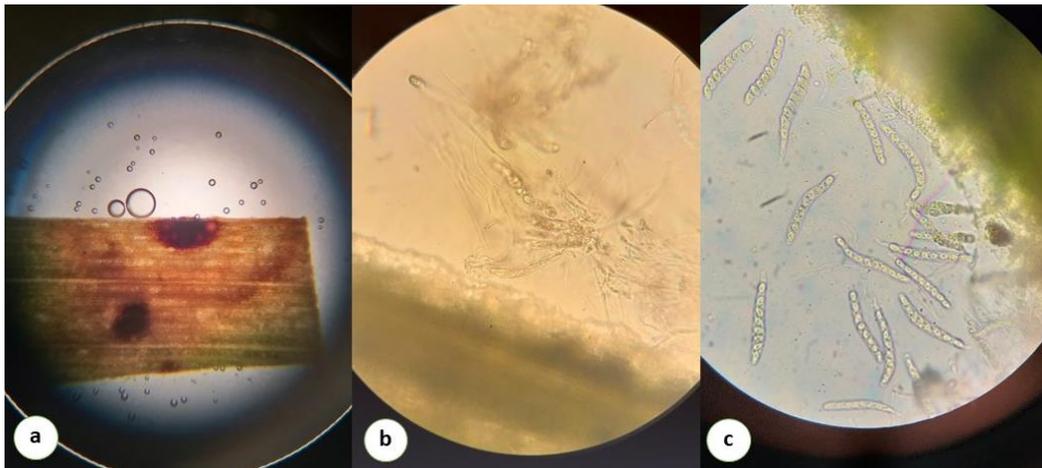


Figura 1. Identificación microscópica de *P. maydis*: a) Vista 20 X de las ascosporas extraídas del interior del peritecio (punto negro) de los síntomas de la MA; b) Peritecio eclosionado, paráfisis presente, filiforme, hialinas, septadas, más largas que la ascospora, contenida en una mucosa gelatinosa (40X). c) Ascosporas, ápice redondeado, con anillo apical refractivo, tallo corto esporulado (40X).

En la mayoría de las hojas evaluadas, los síntomas iniciales fueron detectados en la parte central, siendo consistente en la hoja 0 del material DK390RR. En casos esporádicos se presentaron síntomas en la parte distal de la hoja de ambos materiales evaluados. Los síntomas iniciales fueron lesiones elevadas oscuras, estromáticas de aspecto liso y brillante, de forma oval a circular, con 0.5 a 2.0 mm de diámetro y forma estrías hasta de 10 mm de longitud vistas en microscopio a 10X.

Severidad de la mancha de asfalto a nivel de hoja

Los síntomas de severidad de la MA y su evolución en el tiempo se describen con base en el material DK390RR sin la aplicación de fungicida, ya que este fue el material que presentó una mayor severidad de la enfermedad en comparación con DICTA96, presentando los primeros síntomas en la hoja a los 43 DDS según la evaluación visual. A partir de 75 DDS se detectaron los primeros síntomas de severidad de la MA en el segmento medio de la planta, y a los 90 DDS se incrementó el porcentaje de severidad

tanto a nivel de hoja como de la planta. En la mayoría de las hojas evaluadas, los síntomas iniciales fueron detectados en la parte central, y en casos esporádicos en la parte distal de la hoja. Los síntomas iniciales fueron lesiones elevadas oscuras, con estromas de aspecto liso y brillante, de forma oval a circular, con 0.5 a 2.0 mm de diámetro y formando estrías hasta de 10 mm de longitud vistas en microscopio a 10X. A los 92 DDS se observó un cambio notable en el avance de la MA, los estromas fueron rodeados por un halo de forma elíptica color verde claro, conocido como ojo de pescado, dispersos por toda la superficie de la hoja y de la planta. La superficie enferma de la hoja presentó un aspecto rugoso. La mayoría de las hojas evaluadas presentaron una severidad mayor al 90% los 118 DDS. Todas las plantas evaluadas del DK390RR sin fungicida presentaron un porcentaje de severidad variable, como se muestra en la curva de variación de la severidad durante el periodo de evaluación de la hoja 0 (Figura 2).

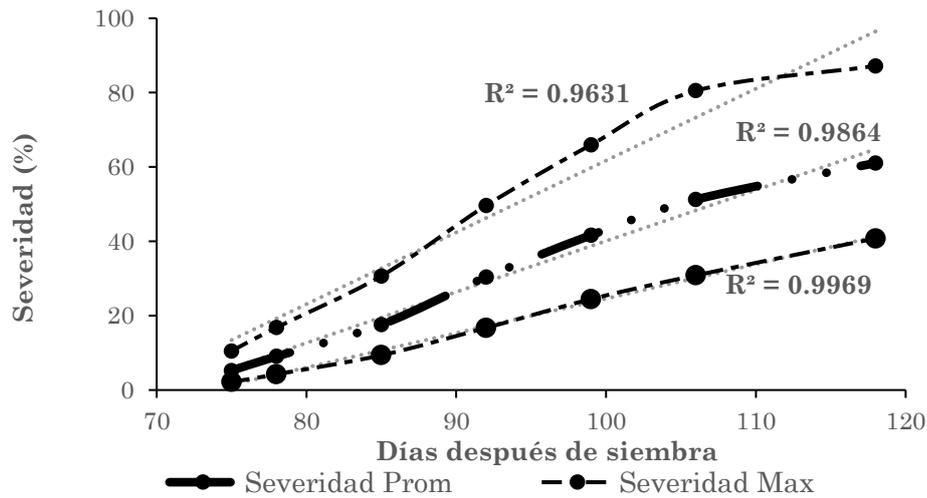


Figura 2. Curva de avance de la severidad del progreso de mancha de asfalto en la hoja de la mazorca (hoja 0) en el híbrido DK390RR sin fungicida.

Severidad en la hoja de la mazorca (hoja 0)

La tasa relativa de la severidad (TRIS) mostró que a nivel de la hoja 0, se presentaron dos picos de mayor incremento de la enfermedad, a los 92 y 118 DDS (Figura 3). En el periodo del día 75 al 92, la enfermedad avanzó a través del área foliar verde, afectando el área foliar sana y disminuyendo al día 99 por lo cual la tasa de incremento disminuyó hasta el día 99. El segundo pico se atribuye a la conjugación del ataque de la enfermedad y a la senescencia natural a la madurez fisiológica, observándose un segundo incremento aparente del TRIS.

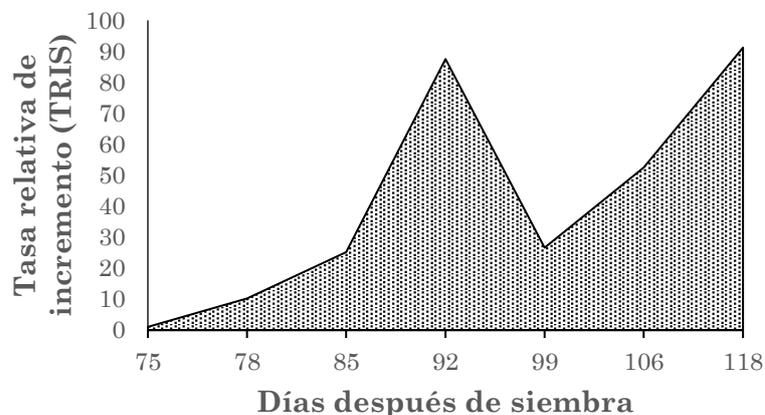


Figura 3. Tasa relativa de incremento de la severidad de la mancha de asfalto en la hoja de la mazorca (hoja 0) en el híbrido de maíz DK390RR sin fungicida.

A los 92 DDS, se observó un cambio notable en el avance de la MA a nivel de la planta y la hoja. Los estromas fueron rodeados por un halo de forma elíptica color verde claro, conocido como ojo de pescado. A los 99 DDS las hojas afectadas alcanzaron un 90% de superficie cubierta por la enfermedad. La Figura 4 muestra el progreso de la MA en la hoja 0 a través de ocho muestreos M1-M8), presentándose cambios físicos de la severidad del M5 a M6 (99 y 109 DDS).

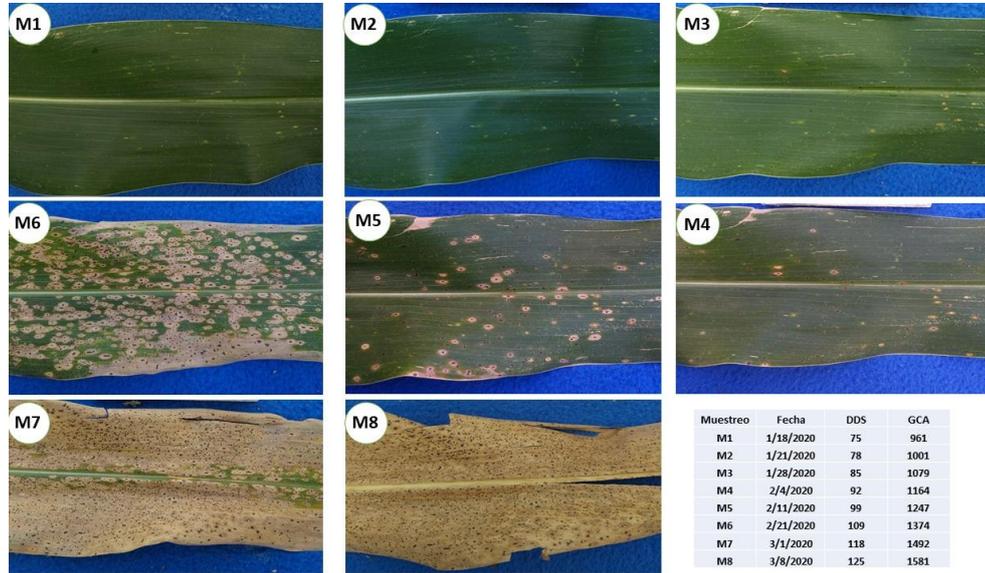


Figura 4. Evaluación de la hoja de la mazorca (hoja 0) en el híbrido de maíz DK390RR sin fungicida.

En la Figura 5 se observa el comportamiento del avance de la enfermedad en la hoja 0 en el híbrido DK390RR sin fungicida. Respecto a los intervalos en el área bajo la curva, el avance de la mancha de asfalto en la hoja 0 alcanzó el mayor incremento en área foliar afectada respecto al tiempo, entre los días 106 a 118. En cada uno de los periodos de evaluación de la MA, la tasa relativa de incremento de la severidad mostró los porcentajes de avance de la severidad.

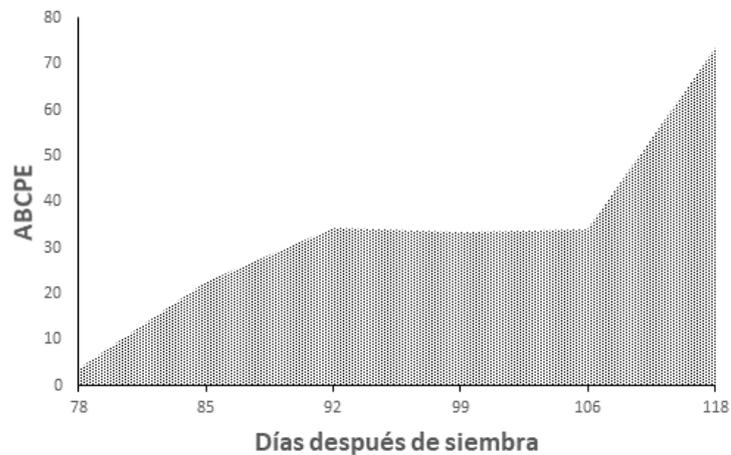


Figura 5. Área bajo la curva del progreso de la enfermedad (ABCPE) de la hoja 0 del híbrido DK390RR sin fungicida.

Hojas muestreadas debajo de la mazorca

Se observó que, a diferencia de la hoja 0, la hoja -2 presentó cambios en la severidad en los muestreos M4 a M5, a los 92 y 99 DDS (Figura 6). Un alto porcentaje de las hojas evaluadas senescieron al día 118. Desde el día que aparecieron los primeros síntomas de la MA hasta la senescencia completa de la hoja la madurez fisiológica transcurrió 43 días.

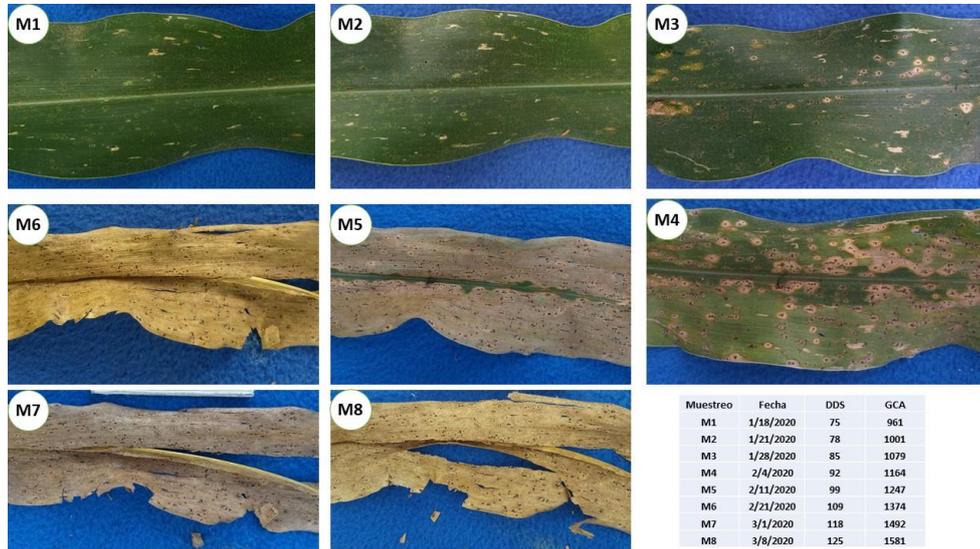


Figura 6. Evaluación de hoja -2 en el híbrido de maíz DK390RR sin fungicida.

En la hoja -2 en entre el día 78 al 92 DDS (1001-1164 GCA) y 106 al 118 DDS (1332-1492) hubo un aumento de la TRIS de la enfermedad (figura 7). Con respecto a los intervalos en el área bajo la curva, el avance de la MA en la hoja -2 alcanzó el mayor incremento en área foliar entre los días 78 al 92 (figura 8).

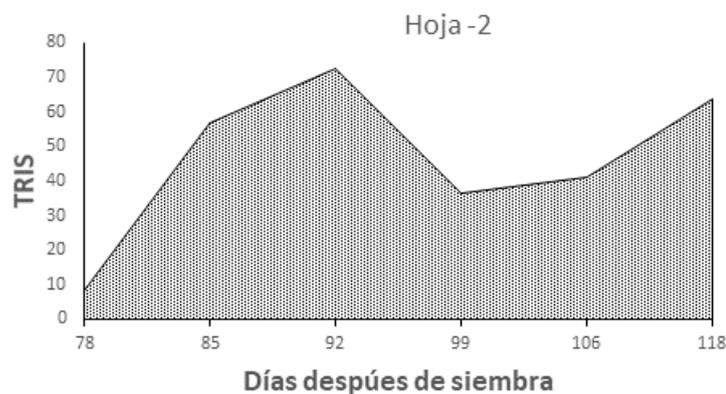


Figura 7. Tasa relativa de incremento de la severidad de MA en la hoja -2 en el híbrido DK390RR sin fungicida.

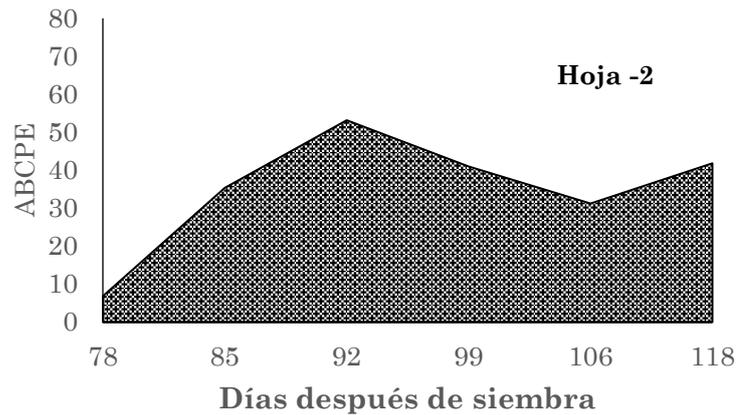


Figura 8. Área bajo la curva del progreso de la enfermedad (ABCPE) de la hoja -2 en el híbrido de maíz DK390RR sin fungicida.

El Cuadro 1 muestra el porcentaje de severidad promedio a nivel de hoja estimado para cada periodo y accesión con el método de cuadrados mínimos LSM. Los coeficientes progresivamente mayores de los periodos reflejan el incremento en el porcentaje de severidad de la MA en el tiempo. El porcentaje de severidad en la hoja 0 aumentó conforme avanzaba el ciclo reproductivo tanto del cultivo como de la enfermedad. Bajo el mismo escenario, se observaron diferencias significativas en el porcentaje de severidad de la hoja de la mazorca entre los materiales genéticos ($p < 0.0001$). El híbrido DICTA96 presentó un 24.69% menos de severidad en la hoja 0, respecto a la severidad evidenciada en las parcelas con DK390RR.

Severidad de la mancha de asfalto a nivel de dosel

Respecto a la evaluación realizada por segmento de la planta, esta mostró que el avance de la enfermedad es de forma ascendente, es decir, del dosel bajo, al dosel medio y al superior, sucesivamente. Los primeros síntomas de la MA se observaron a partir de 40 DDS en el dosel bajo. El dosel medio de la planta mostró un pico en la TRIS (Figura 9) como en el ABCPE (Figura 10) a los 111 DDS. Esto difiere de la hoja -2 del dosel medio, la cual había mostrado picos en estos indicadores a los 92 DDS. Los síntomas en el dosel superior de la planta no presentaron un orden secuencial por hoja y no alcanzó una severidad mayor al 30% antes de madurez fisiológica.

Cuadro 1. Porcentajes de severidad promedio de la mancha de asfalto en la hoja 0 estimados a través del método de LSmeans.

Efecto	Severidad en hoja 0 (%)	Error Estándar	Valor t	Pr > t
Muestreo 1 (75 DDS)	2.37	3.02	0.79	0.4338
Muestreo 2 (78 DDS)	2.75	2.86	0.96	0.3376
Muestreo 3 (85 DDS)	7.71	2.93	2.62	0.0099
Muestreo 4 (92 DDS)	14.24	2.93	4.85	<.0001
Muestreo 5 (99 DDS)	20.62	2.93	7.01	<.0001
Muestreo 6 (109 DDS)	27.08	2.93	9.21	<.0001
Muestreo 7 (118 DDS)	35.24	2.93	11.99	<.0001
DICTA96	3.37	1.57	2.15	0.0339
DK390RR	28.06	1.57	17.85	<.0001

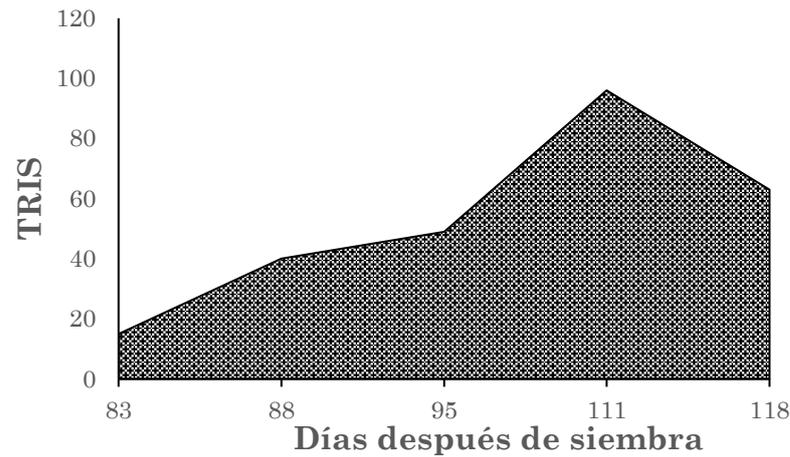


Figura 9. Tasa relativa de incremento de la severidad (TRIS) de la mancha de asfalto en el dosel medio en el híbrido de maíz DK390RR sin fungicida.

El Cuadro 2 muestra los porcentajes de severidad promedio por dosel para cada periodo de muestreo, los tratamientos con y sin fungicidas, los híbridos DICTA96 y DK390RR, fungicida (con y sin), y sus interacciones estimadas con el método de cuadrados mínimos LSM. Se observó un avance en porcentaje de severidad de la MA a nivel de dosel en cada uno de los periodos. También se evidenció un efecto significativo de la incidencia de la MA en las parcelas donde fue aplicado el fungicida ($p < 0.0001$).

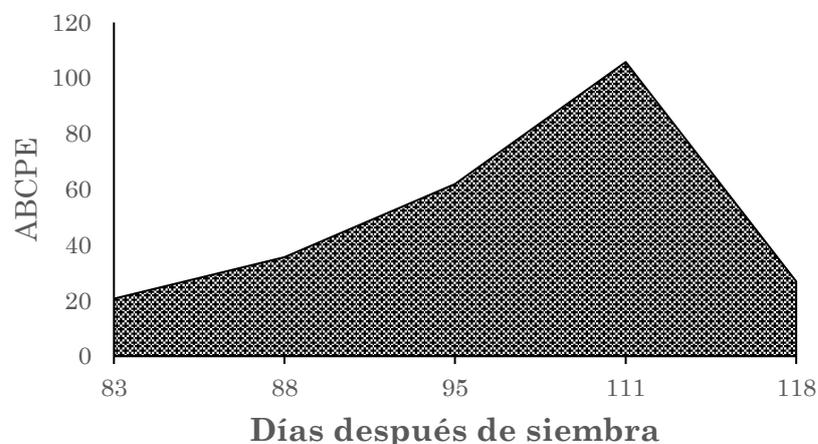


Figura 10. Área bajo la curva del progreso de la enfermedad (ABCPE) en el dosel medio en el híbrido DK390RR sin fungicida.

Al aplicar fungicida en las parcelas la severidad disminuyó un 44.65% la severidad con respecto a las parcelas sin fungicida. Asimismo, hubo una diferencia significativa en el porcentaje de severidad entre DICTA96 y el DK390RR, dado que el primer material presentó 45.29% menos severidad que el DK390RR en el dosel medio. De hecho, en el híbrido DICTA96 la severidad de la MA fue. Adicionalmente, se observó una interacción fungicida \times híbrido estadísticamente significativo, y DK390RR presentó un menor porcentaje de severidad de la MA en las parcelas con fungicidas, mientras que el DICTA96 no presentó diferencias en el porcentaje de severidad entre los niveles con y sin fungicida.

Cuadro 2. Porcentaje de severidad promedio en el dosel medio estimados a través del método de LSmeans.

Efecto	Severidad dosel medio (%)	Error Estándar	Valor t	Pr > t
Muestreo 1 (77 DDS)	4.9903	1.6386	3.05	0.0026
Muestreo 2 (83 DDS)	6.8206	1.6386	4.16	<.0001
Muestreo 3 (88 DDS)	9.4847	1.6386	5.79	<.0001
Muestreo 4 (95 DDS)	13.6497	1.6386	8.33	<.0001
Muestreo 5 (111 DDS)	16.1872	1.6386	9.88	<.0001
Muestreo 6 (118 DDS)	18.0247	1.6386	11	<.0001
Con fungicida	0.3464	0.9461	0.37	0.7146
Sin fungicida	22.706	0.9461	24	<.0001
DICTA96	0.03148	0.9461	0.03	0.9735
DK390RR	23.0209	0.9461	24.33	<.0001
Con fungicida x DICTA96	0	1.338	0	1
Con fungicida x DK390RR	0.6928	1.338	0.52	0.6052
Sin fungicida x DICTA96	0.06296	1.338	0.05	0.9625
Sin fungicida x DK390RR	45.3491	1.338	33.89	<.0001

El Cuadro 3 muestra el ABCPE promedio para los tratamientos con y sin fungicida, híbridos y sus interacciones estimadas con el método de cuadrados mínimos LSM. Se muestra el efecto de la MA en las parcelas sin fungicidas las que presentaron un ABCPE significativamente mayor que las parcelas con fungicida ($p < 0.0001$). También se evidencia una diferencia significativa en el ABCPE entre la accesión DICTA96 y el híbrido DK390RR ($p < 0.0001$). Adicionalmente, se observaron diferencias en la interacción fungicida \times híbrido. El material DK390RR presentó un ABCPE significativamente mayor en las parcelas con fungicidas respecto a las parcelas sin fungicidas; mientras que el material DICTA96 no presentó diferencias estadísticamente significativas entre estos los dos niveles (con y sin fungicida).

Rendimiento de semilla según el efecto de la MA

El cuadro 4 muestra los rendimientos promedio para los tratamientos con y sin fungicida, híbridos y sus interacciones estimadas con el método de cuadrados mínimos LSM. Se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre los niveles con y sin fungicida, reflejando el impacto de la MA en los rendimientos del cultivo de maíz ($p < 0.0001$). El rendimiento de las parcelas con fungicida fue mayor respecto al rendimiento a las de sin fungicida. Por otro lado, no se observaron diferencias significativas en rendimiento entre los dos materiales genéticos. Sin embargo, se observó una diferencia estadísticamente significativa en la interacción fungicida \times híbrido. El DK390RR presentó rendimientos significativamente mayores en las parcelas con fungicidas respecto a las parcelas sin fungicidas (Cuadro 4); mientras que, DICTA96 no presentó diferencias estadísticamente significativas con y sin fungicida.

Discusión

Las condiciones meteorológicas presentadas durante el experimento fueron adecuadas para el desarrollo de la enfermedad causada por la mancha de asfalto (MA) (Hock et al. 1992). La temperatura mínima promedio fue 15 °C con temperaturas mínimas de 9 °C y máximas de 43 °C. Tal como manifiesta Eash et al. (2019), es importante conocer las condiciones climáticas de cada región, ya que cada cultivo y agente causal de la enfermedad tiene una relación específica con el ambiente. En los muestreos para confirmar la presencia de la enfermedad se observaron ocho ascosporas ovales y ovoides de *P. maydis*, similar a los resultados obtenidos por Bajet et al. (1994), Miller (2016), Kleczewski et al. (2019), Telenko y Creswell (2019) y Valle-Torres et al. (2020). Las ascosporas con ápice redondeado, con anillo apical refractivo y tallo corto esporádico (Mardones et al. 2017). Dichos síntomas fueron similares a las descritas por Parbery (1966). Asimismo, la MA presentó tres tipos de síntomas diferentes: estromas

manifestados únicamente como puntos negros, ojo de pescado con borde oscuro y estromas con necrosis difusa y halos no definidos, similares a los observados en Estados Unidos por Kleczewski et al. (2019).

Cuadro 3. Área bajo la curva del progreso de la enfermedad (ABCPE) promedio en el dosel medio estimada a través del método de LSmeans.

Efecto	ABCPE	Error estándar	Valor t	Pr > t
Con fungicida	6.6944	7.9382	0.84	0.4055
Sin fungicida	125.83	7.9382	15.85	<.0001
DICTA96	0.4944	7.9382	0.06	0.9507
DK390RR	132.03	7.9382	16.63	<.0001
Con fungicida x DICTA96	-5.7E-14	11.2264	0	1
Con fungicida x DK390RR	13.3889	11.2264	1.19	0.2421
Sin fungicida x DICTA96	0.9889	11.2264	0.09	0.9304
Sin fungicida x DK390RR	250.67	11.2264	22.33	<.0001

Cuadro 4. Rendimientos promedios de los tratamientos con y sin fungicidas, híbridos de maíz DICTA 96 y DK390RR, y la interacción fungicida × híbridos estimados a través del método de LSmeans.

Efecto	Rendimiento de grano (kg/ha)	Error estándar	Valor t	Pr > t
Con fungicida	6.6944	7.9382	0.84	0.4055
Sin fungicida	125.83	7.9382	15.85	<.0001
DICTA96	0.4944	7.9382	0.06	0.9507
DK390RR	132.03	7.9382	16.63	<.0001
Con fungicida x DICTA96	-5.7E-14	11.2264	0	1
Con fungicida x DK390RR	13.3889	11.2264	1.19	0.2421
Sin fungicida x DICTA96	0.9889	11.2264	0.09	0.9304
Sin fungicida x DK390RR	250.67	11.2264	22.33	<.0001

La propagación de la MA sucede con la liberación de ascosporas de los estromas, las cuales se dispersan por el viento o la lluvia (Pereida-Hernández et al. 2009; Valle-Torres et al. 2020). En el experimento el sistema de riego por aspersión utilizado simuló el efecto de la lluvia y la salpicadura, lo que facilitó la dispersión de la enfermedad en toda la planta y todas las parcelas. La fase inicial se caracterizó por puntos cloróticos, que a través del tiempo desarrollaron estromas sin halo. Es decir, no presentaron el síntoma típico de ojo de pescado tal como se ha reportado en algunas localidades en México (Pereida-Hernández et al. 2009). Al día 78 (1001 GCA) después de la siembra se observaron los primeros síntomas de halos cloróticos alrededor de los estromas. La MA presentó un incremento de mayor velocidad de avance desde el día 85 al 92, donde alcanza su mayor tasa de desarrollo, resultados similares se obtuvieron en el estudio realizado por Coutiño (2017). En el dosel bajo las hojas presentaron un 15% de severidad al momento de la senescencia, ya que este dosel es el primero en morir naturalmente y que la planta inicia a translocar nutrientes al dosel medio en la etapa de floración (Baret et al. 2018). A los 78 DDS se iniciaron los primeros síntomas de halos cloróticos alrededor de los estromas

en el dosel medio. Según Valle-Torres et al. (2020), la enfermedad tiene un periodo de incubación ente 18 a 20 días.

Es importante destacar que las evaluaciones hechas en este estudio permitieron observar el comportamiento gradual de la enfermedad, mostrando que a los 70 DDS (etapa reproductiva-floración) los síntomas de MA aumentaron con mayor rapidez en las hojas. La fase inicial se caracterizó por puntos cloróticos, que a través del tiempo desarrollaron estromas sin halo, sin presentar el síntoma típico de ojo de pescado tal como se ha reportado en algunas localidades (Pereida-Hernández et al. 2009). Solo las parcelas con DK390RR presentaron síntomas en todas las plantas y en todas las secciones de la planta.

Los periodos de aparición de los primeros síntomas de la MA en los diferentes doseles observados en este estudio corresponden al periodo 88-95 DDS, la enfermedad se distribuyó en la planta con el patrón discutido anteriormente (doseles bajo, medio, alto). Este periodo corresponde a la etapa reproductiva y de formación de grano (Sandy et al. 2018). Asimismo, Hernandez-Ramos y Sandoval (2014), reportaron la aparición de síntomas de MA en un período similar a los de este estudio en la región del Bajío en México. En cuanto al porcentaje de severidad, el experimento mostró un comportamiento similar a los encontrados por Garrido (2017).

En el estudio de Cao et al. (2017) evaluó la MA con el objetivo de crear materiales resistentes para la MA y encontrar los intervalos de incremento de la enfermedad y evaluar el efecto en el rendimiento, para generar materiales resistentes como una alternativa para contrarrestar los efectos negativos de la MA en los rendimientos de maíz. La presente investigación presenta una caracterización de la epidemiología de la mancha de asfalto en dos híbridos comerciales de maíz y el uso de fungicidas para el control de la enfermedad y medir los efectos en el rendimiento. Al respecto, los resultados indican la importancia de la resistencia genética a la enfermedad de la MA observada en DICTA96 y su potencial como progenitor en programas de mejoramiento, como también la respuesta favorable al uso de fungicidas efectivos para reducir los síntomas de la enfermedad y evitar los efectos en la reducción del rendimiento y la calidad de grano en el cultivo de maíz.

Conclusiones

El presente estudio indica que la dinámica temporal de la sintomatología y progreso de la mancha de asfalto (MA) afecta los rendimientos del cultivo de maíz bajo condiciones representativas de la producción en Honduras. El efecto de la MA sobre los rendimientos varió en función del híbrido utilizado y de la aplicación de fungicida para su control. Estos efectos de la MA fueron caracterizados y cuantificados mediante métodos visuales de incidencia y severidad de la enfermedad, en laboratorio y campo.

Las diferencias observadas en la incidencia y severidad de daños y en el progreso de la enfermedad causados por la MA en los híbridos de maíz incluidos en el estudio, permite sugerir la importancia de un buen manejo del cultivo, implementación de prácticas agrícolas como el uso racional de fungicidas, monitoreo oportuno de la MA, y el desarrollo de variedades resistentes mediante la búsqueda de resistencia genética en un mayor número de cultivares de germoplasma de maíz y el mejoramiento genético. Lo manifestado anteriormente, es el futuro de la investigación a nivel mundial, para garantizar herramientas a productores para contrarrestar la inseguridad alimentaria, como una alternativa importante en el manejo de esta enfermedad. Por otro lado, la respuesta diferencial del uso de fungicida en estos híbridos de maíz para el control de la enfermedad sugiere la importancia de una validación más amplia de estos productos, o encontrar alternativas de control partiendo de las características genéticas para identificar aquellos con mejor valor económico, accesibilidad a los agricultores, y con un menor efecto ambiental. Estas y otras prácticas deben considerarse en el manejo de la MA bajo una estrategia integrada y de buenas prácticas agrícolas.

Algunos aspectos sobre el comportamiento de los agentes causales del complejo de la MA todavía requieren ser investigados. Es necesario desarrollar técnicas para el aislamiento y manejo del patógeno en el laboratorio, su caracterización molecular, y las técnicas que faciliten el manejo de inóculo para asegurar una infección uniforme y deseable en las investigaciones de campo. Estos avances permitirán facilitar el desarrollo de variedades resistentes mediante el mejoramiento genético, y las evaluaciones de prácticas para un manejo eficiente y efectivo para el control de la enfermedad de manera económica

y sin deterioro al ambiente en campos de agricultores. Este estudio provee bases para el manejo y control sostenible del cultivo de maíz en Honduras.

Literatura citada

- Agrios GN. 2005. Plant pathology. 5ta ed., USA: Elsevier Academic Press.
- Bajet NB, Renfro BL, Carrasco JMV. 1994. Control of tar spot of maize and its effect on yield. *International Journal of Pest Management* 40(2):121–125. doi:10.1080/09670879409371868.
- Baret F, Madec S, Irfan K, Lopez J, Comar A, Hemmerlé M, Dutartre D, Praud S, Tixier MH. 2018. Leaf-rolling in maize crops: from leaf scoring to canopy-level measurements for phenotyping. *Journal of Experimental Botany* 69(10):2705–2716. doi:10.1093/jxb/ery071
- Cao S, Loladze A, Yuan Y, Wu Y, Zhang A, Chen J, Huestis G, Cao J, Chaikam V, Olsen M, et al. 2017. Genome-Wide Analysis of Tar Spot Complex Resistance in Maize Using Genotyping-by-Sequencing SNPs and Whole-Genome Prediction. *The Plant Genome* 10(2):0. doi:10.3835/plantgenome2016.10.0099.
- CIMMYT. Manejo de los ensayos e informe de los datos para el Programa de Ensayos Internacionales de Maíz del CIMMYT. 1995. repositorycimmyt.org. <http://hdl.handle.net/10883/764>.
- Coutiño B. 2017. Mejoramiento genético de maíz ante el complejo mancha de asfalto en el sureste de México. *Revista Mexicana de Fitopatología* 35:16–20. <https://rmf.smf.org.mx/suplemento/Suplemento352017.html>
- Derlagen C, De Salvo CP, Egas Yerovi JJ, Pierre G. 2019 Dec. Análisis de políticas agropecuarias en Honduras. doi:10.18235/0002274.
- Eash L, Fonte SJ, Sonder K, Honsdorf N, Schmidt A, Govaerts B, Verhulst N. 2019. Factors contributing to maize and bean yield gaps in Central America vary with site and agroecological conditions. *The Journal of Agricultural Science* 157(04):300–317. doi:10.1017/s0021859619000571.
- Endicott S, Brueland B, Keith R, Schon R, Bremer C, Farnham D, DeBruin J, Clausen C, Strachan S, Carter P. Maíz, crecimiento y desarrollo. https://www.corteva.es/content/dam/dpagco/corteva/eu/es/es/files/otros-documentos/maiz-crecimiento_desarrollo.pdf
- Garrido E. 2017. Mecanismo de infección del maíz por los hongos involucrados en el complejo mancha de asfalto. *Revista Mexicana de Fitopatología* 35:14–15. <https://rmf.smf.org.mx/suplemento/Suplemento352017.html>
- Groves CL, Kleczewski NM, Telenko DEP, Chilvers MI, Smith DL. 2020. *Phyllachora maydis* ascospore release and germination from overwintered corn residue. *Plant Health Progress* 21(1):26–30. doi:10.1094/php-10-19-0077-rs
- Harvey CA, Saborio-Rodríguez M, Martínez-Rodríguez MR, Viguera B, Chain-Guadarrama A, Vignola R, Alpizar F. 2018. Climate change impacts and adaptation among smallholder farmers in Central America. *Agriculture & Food Security* 7(1). doi:10.1186/s40066-018-0209-x.
- H Hengsdijk, J W A Langeveld. 2009. Yield trends and yield gap analysis of major crops in the world. Wageningen: Wettelijke Onderzoekstaken Natuur & Milieu.
- Hernandez-Ramos L, Sandoval J. 2014. Escala diagramática de severidad para el complejo mancha de asfalto del maíz. *Revista Mexicana de Fitopatología* 33:95–103. <https://rmf.smf.org.mx/suplemento/Suplemento332015.html>
- Hock J, Dittrich U, Renfro BL, Kranz J. 1992. Sequential development of pathogens in the maize tar spot disease complex. *Mycopathologia* 117(3):157–161. doi:10.1007/bf00442777
- Hock J, Kranz J y Renfro BL. 1989. El complejo mancha de asfalto de maíz, su distribución geográfica, requisitos ambientales e importancia económica en México. *Revista Mexicana de Fitopatología* 7:129–135.
- Huerta-Palacios G, Holguín-Meléndez F, Benítez-Camilo FA, Toledo-Arreola J. 2009. Epidemiología de la Antracnosis [*Colletotrichum gloeosporioides* (Penz.) Penz. and Sacc.] en Mango (*Mangifera indica* L.) cv. Ataulfo en el Soconusco, Chiapas, México. *Revista Mexicana de Fitopatología* 27(2):93–105. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=61212195002>.
- Irwin EG, Culligan PJ, Fischer-Kowalski M, Law KL, Murtugudde R, Pfirman S. 2018. Bridging barriers to advance global sustainability. *Nature Sustainability* 1(7):324–326. doi:10.1038/s41893-018-0085-1
- Kleczewski N, Chilvers M, Mueller D, Plewa D, Robertson R, Smith D, and Telenko D. 2019. Corn Disease Management: Tar Spot. *Crop Protection Network*. doi.org/10.31274/cpn-20190620-008.

- Kovács P, Vyn TJ. 2017. Relationships between Ear-Leaf Nutrient Concentrations at Silking and Corn Biomass and Grain Yields at Maturity. *Agronomy Journal* 109(6):2898–2906. doi:10.2134/agnonj2017.02.0119.
- Lake D, Yost M, Israelsen C. 2019 May 1. Utilizing Growing Degree Days for Corn Production. All Current Publications. https://digitalcommons.usu.edu/extension_curall/1992.
- Loladze A, Rodrigues FA, Toledo F, San Vicente F, Gérard B, Boddupalli MP. 2019. Application of Remote Sensing for Phenotyping Tar Spot Complex Resistance in Maize. *Frontiers in Plant Science* 10:552. doi:10.3389/fpls.2019.00552
- Mahuku G., San Vicente F. y Sherestha R. 2013. Complejo de la mancha de asfalto del maíz: hechos y acciones. Folleto Técnico. CIMMYT-MasAgro. México. 6 p.
- Mardones M, Trampe-Jaschik T, Oster S, Elliott M, Urbina H, Schmitt I, Piepenbring M. 2017. Phylogeny of the order Phyllachorales (Ascomycota, Sordariomycetes): among and within order relationships based on five molecular loci. *Persoonia - Molecular Phylogeny and Evolution of Fungi*. 39(1):74–90. doi:10.3767/persoonia.2017.39.04.
- McCoy AG, Roth MG, Shay R, Noel ZA, Jayawardana MA, Longley RW, Bonito G, Chilvers MI. 2019. Identification of Fungal Communities Within the Tar Spot Complex of Corn in Michigan via Next-Generation Sequencing. *Phytobiomes Journal* 3(3):235–243. doi:10.1094/pbiomes-03-19-0017-r.
- Miller C. 2016. Tar spot of corn detected for the first time in Florida. UF/IFAS Extension Palm Beach County. <https://discover.pbcgov.org/coextension/agriculture/pdf/Tar%20Spot%20of%20Corn.pdf>
- Mottaleb KA, Loladze A, Sonder K, Kruseman G, San Vicente F. 2018. Threats of Tar Spot Complex disease of maize in the United States of America and its global consequences. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change* 24(2):281–300. doi:10.1007/s11027-018-9812-1.
- Bob R, Nielsen. Corn Growth & Development What Goes On From Planting To Harvest? https://www.agry.purdue.edu/ext/pubs/AGRY-97-07_v1-1.pdf.
- Parbery D. 1967. Studies on graminicolous species of *Phyllachora* Nke. in Fckl. V. A taxonomic monograph. *Australian Journal of Botany* 15(2):271. doi:10.1071/bt9670271.
- Pedroza-Sandoval A, Gaxiola J. 2009. Análisis del área bajo la curva del progreso de las enfermedades (ABCPE) en patosistemas agrícolas. En: Bautista-Martínez N, Soto-Rojas L, Pérez-Pacheco R, editores. *Tópicos Selectos de Estadística Aplicados a la Fitosanidad*. Colegio de Postgraduados. p. 180–189. 10.13140/2.1.4475.7767.
- Pedroza-Sandoval A, Teliz-Ortiz D. 1993. Dinámica temporal de un complejo epidémico foliar en el cultivo del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) Usando diferentes prácticas de manejo. *Revista Mexicana de Fitopatología* 11(2):118–123. https://www.researchgate.net/profile/aurelio-pedroza-sandoval/publication/268810943_dinamica_temporal_de_un_complejo_epidemico_foliar_en_el_cultivo_del_frijol_phaseolus_vulgaris_l_usando_diferentes_practicas_de_manejo/links/54776e120cf2a961e482b7f7/dinamica-temporal-de-un-complejo-epidemico-foliar-en-el-cultivo-del-frijol-phaseolus-vulgaris-l-usando-diferentes-practicas-de-manejo.pdf
- Pereyda-Hernández J, Hernández-Morales J, Sandoval-Islas JS, Aranda-Ocampo S, de León C, Gómez-Montiel N. 2009. Etiología y manejo de la mancha de asfalto (*Phyllachora maydis* Maubl.) del maíz en Guerrero, México. *Agrociencia* 43(5):511–519. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952009000500006&lng=es&tlng=es
- ProMED-mail. (2011). Honduras, tar spot, maize: spread. Latin America Current Event & News. Recuperado de <https://latinamericacurrentevents.com/honduras-tar-spot-maize-spread/3255/>
- Quiroga R, Garrido E, Rosales M. 2017. Manual técnico: manejo integrado del complejo mancha de asfalto del maíz en México. (Manual técnico). Universidad Autónoma de Chiapas, México.
- Reed C. 2019. Maíz estadounidense: almacenamiento en climas tropicales. Kansas State University, International Grains Program. <https://grains.org/wp-content/uploads/2018/10/Corn-Storage-in-Tropical-Climates-Spanish.pdf>
- Ruhl G, Romberg MK, Bissonnette S, Plewa D, Creswell T, Wise KA. 2016. First Report of Tar Spot on Corn Caused by *Phyllachora maydis* in the United States. *Plant Disease* 100(7):1496. doi:10.1094/pdis-12-15-1506-pdn.
- Senker P. 2011. Foresight: the future of food and farming, final project report. *Prometheus* 29(3):309–313. doi:10.1080/08109028.2011.628564
- Telenko D, Creswell T. 2019. Diseases of Corn: Tar Spot. BP-90-W. Purdue Extension. <https://www.extension.purdue.edu/extmedia/BP/BP-90-W.pdf>.

- USDA. 2020. Crop Production 2019 Summary. United States Department of Agriculture. https://www.nass.usda.gov/Publications/Todays_Reports/reports/cropan20.pdf.
- Valle-Torres J, Ross TJ, Plewa D, Avellaneda MC, Check J, Chilvers MI, Cruz AP, Dalla Lana F, Groves C, Gongora-Canul C, et al. 2020. Tar Spot: An understudied disease threatening corn production in the Americas. *Plant Disease* 104(10):2541–2550. doi:10.1094/pdis-02-20-0449-fe.
- van Ittersum MK, Rabbinge R. 1997. Concepts in production ecology for analysis and quantification of agricultural input-output combinations. *Field Crops Research*. 52(3):197–208. doi:10.1016/s0378-4290(97)00037-3.
- Yang R-C. 2010. Towards understanding and use of mixed-model analysis of agricultural experiments. *Canadian Journal of Plant Science* 90(5):605–627. doi:10.4141/cjps10049

Recibido octubre 10, 2021; aceptado noviembre 10, 2021.

Cómo citar: Puerto-Hernández CE, Avellaneda C. 2021. Epidemiología de la mancha de asfalto en maíz bajo diferentes estrategias de manejo. *Ceiba. Zamorano Investiga*: 65–82.