

**Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano**  
**Departamento de Ciencia y Producción Agropecuaria**  
**Ingeniería Agronómica**



Proyecto Especial de Graduación

**Selección en etapa temprana de poblaciones de maíz para resistencia a  
la mancha de asfalto y respuesta de variedades a micorriza “Mycoral®  
R”**

Estudiante

Francisco José Arévalo Castro

Asesores

Raphael Wesley Colbert Ph.D.

Iveth Yassmin Rodríguez M. Sc.

Carolina Avellaneda Barbosa Ph.D.

Honduras, julio 2022

**Autoridades**

**TANYA MÜLLER GARCÍA**

Rectora

**ANA M. MAIER ACOSTA**

Vicepresidenta y Decana Académica

**CELIA O. TREJO RAMOS**

Directora Departamento de Ciencia y Producción Agropecuaria

**HUGO ZAVALA MEMBREÑO**

Secretario General

## Contenido

Índice de Cuadros.....	5
Índice de Anexos.....	6
Índice de Figuras.....	7
Resumen.....	8
Abstract.....	9
Introducción.....	10
Materiales y Métodos.....	14
Ubicación de Estudio.....	14
Ensayo 1.....	14
Material Experimental.....	14
Prueba de Progenie por Autofecundación.....	15
Manejo del Experimento y Criterio de Selección.....	15
Ensayo 2.....	15
Material Experimental.....	15
Preparación de Sustrato.....	16
Aislamiento de Esporas y Condiciones Empleadas.....	17
Cálculo de Esporas Totales.....	17
Escaneo y Análisis de Raíces.....	18
Preparación y Medición de la Infección de Raíces.....	18
Manejo del Experimento y Variables Medidas.....	19
Diseño Experimental y Análisis Estadístico.....	19
Resultados y Discusión.....	20

	4
Ensayo 1 .....	20
Ensayo 2 .....	24
Conclusiones .....	28
Recomendaciones .....	29
Referencias.....	30
Anexos.....	32

### Índice de Cuadros

Cuadro 1 Características de las variedades usadas para desarrollar poblaciones de maíz resistentes al complejo de La Mancha de asfalto en el lote de la Vega 5 de Monte Redondo, Escuela Agrícola Panamericana, Honduras.....	14
Cuadro 2 Los materiales genéticos de variedades de maíz a utilizar en evaluación de la inoculación de micorriza en la casa malla 1 de la Unidad de Investigación y Desarrollo de Cultivos (UIDC), Escuela Agrícola Panamericana, Honduras.....	16
Cuadro 3 Efecto de Mycoral® R sobre las 16 variedades maíz a 40 días en la casa malla 1 de la Unidad de Investigación y Desarrollo de Cultivos (UIDC), Escuela Agrícola Panamericana, Honduras .....	24
Cuadro 4 Efecto de Mycoral® R sobre 16 variedades de maíz en la casa malla 1 de la Unidad de Investigación y Desarrollo de Cultivos (UIDC), Escuela Agrícola Panamericana, Honduras.....	26

## Índice de Anexos

Anexo A Prueba de normalidad de Shapiro-Wilks modificado.....	32
---------------------------------------------------------------	----

### Índice de Figuras

Figura 1 Total de individuos seleccionados con características de primera calidad en la población compuesta por las variedades de maíz CENTA Pasaquina x DICTA 96.....	21
Figura 2 Total de individuos seleccionados con características de primera calidad en la población compuesta por las variedades de maíz TUXPEÑO x DICTA 96.....	22
Figura 3 Total de individuos seleccionados con características de primera calidad en la población compuesta por las variedades de maíz DICTA MAYA x DICTA 96.....	23

## Resumen

El maíz (*Zea mays* L.) es uno de los cultivos de grano básico más importantes en Centro América y su producción es afectada por varios factores especialmente por la incidencia de enfermedades y la falta de adaptación al cambio climático. Una alternativa sostenible implica el mejoramiento genético para desarrollar variedades de maíz resistentes a las enfermedades comunes tal como el complejo de la mancha de asfalto y tolerancia a factores abióticos tales como la sequía y baja fertilidad de los suelos. Los objetivos de este estudio fueron 1) seleccionar en generación temprana (S0) poblaciones de maíz con resistencia a la mancha de asfalto y 2) evaluar la respuesta de variedades de maíz a la inoculación con micorrizas (Mycoral®). El ensayo 1 consistió en la evaluación de tres poblaciones (S0), en donde se utilizaron como madre las variedades CENTA Pasaquina, Tuxpeño, DICTA Maya y el padre DICTA 96; se sembraron 1200 plantas por población. Se realizó una intensidad de selección de 10% utilizando como criterios de selección altura de mazorca, resistencia al complejo de mancha de asfalto, turcicum y roya. En el segundo ensayo se evaluaron 16 variedades de maíz con y sin inoculación de micorrizas (Mycoral® R) en un diseño de bloques completos al azar con un arreglo de parcelas divididas con cuatro repeticiones. Se realizó el análisis de varianza y separación de medias mediante una prueba de DMS con un nivel de probabilidad  $\leq 0.05$  empleando el programa estadístico Infostat versión 2017. La intensidad de selección permitió la identificación de 120 líneas S1 (autofecundaciones) por población. Los resultados de la inoculación con micorriza no indicaron diferencias significativas entre la inoculación con Mycoral® R y las variedades de maíz. Sin embargo, se detectaron diferencias significativas entre las variedades de maíz en las variables de peso seco (PS), infección de micorrizas (%IM), largo de la raíz (LR), diámetro de la raíz (DR), Volumen de la raíz (VR). Las líneas S1 con resistencia a mancha de asfalto seleccionadas servirán para evaluar la segregación. El efecto no significativo de la inoculación con micorriza puede ser influenciado por el estado previo del contenido del sustrato usado.

*Palabras clave:* mancha de asfalto, Mycoral® R, micorrizas, poblaciones.

### Abstract

Corn (*Zea mays* L.) is one of the most important crops in Central America and its production is affected by several factors due to the incidence of diseases and lack of adaptation to climate change. A sustainable alternative involves breeding to develop corn varieties resistant to common diseases such as tar spot and tolerant to drought and low soil fertility. The objectives of this study were 1) to select early generation corn populations with resistance to tar spot to advance superior genotypes for further evaluation, and 2) to evaluate the response of corn varieties to mycorrhizal inoculation (Mycoral®). Trial 1 consisted of the evaluation of three populations (S0), where CENTA Pasaquina, Tuxpeño, DICTA Maya and DICTA 96 were used as mother varieties; 1200 plants were planted per population. A selection intensity of 10% was carried out using as selection criteria ear height, resistance to tar spot complex, turcicum and rust. In the second trial, 16 maize varieties with and without mycorrhizal inoculation (Mycoral® R) were evaluated in a randomized complete block design with a split plot arrangement with four replications. Analysis of variance and separation of means was performed using a LSD test with a probability level  $\leq 0.05$  using the statistical program Infostat version 2017. The selection intensity allowed the identification of 120 S1 lines (Self-fertilization) per population. The results of inoculation with mycorrhiza indicated no significant differences between inoculation with Mycoral® R and maize varieties. However, significant differences were detected between maize varieties in the variables dry weight (DW), mycorrhizal infection (%MW), root length (RL), root diameter (RD), root volume (RV). The selected S1 lines with resistance to tar spot stain will be used to evaluate segregation. The non-significant effect of mycorrhizal inoculation may be influenced by the previous state of the substrate content used.

*Keywords:* genetic crosses, Mycoral® R, mycorrhizae, tar spot complex.

## Introducción

El maíz (*Zea mays* L.) es uno de los cultivos de grano básico más importantes del mundo. El Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA) estima que la producción mundial de maíz 2021-2022 sería de 1,210.45 millones de toneladas, cerca de 4.31 millones de toneladas más que la proyección de abril (USDA 2022). La producción de maíz ha disminuido en los años anteriores y se han registrado pérdidas económicas a causa de la enfermedad patogénica de la mancha de asfalto (MA) o complejo de mancha de asfalto (CMA). La MA es causada por la interacción de *Phyllachora maydis* y *Monographella maydis*. *Coniothyrium phyllachorae*, posiblemente un mico parásito, se encuentra en ascostromata más viejos de *P. maydis*, que siempre aparece primero y causa manchas de asfalto. *M. maydis* sigue y es responsable del síntoma dañino del "ojo de pez" (Hock et al. 1992). Entre los factores que favorecen el desarrollo de la enfermedad destacan: la temperatura, niveles altos de fertilización nitrogenada, genotipos susceptibles, baja luminosidad, virulencia de los patógenos involucrados, alta humedad relativa y altitud 1300 a 2300 msnm (Ríos Herrera et al. 2017).

*P. maydis* se describe como un parásito obligado y *M. maydis* requiere de la presencia de *P. maydis* para su desarrollo, debido a que esto es un complejo, este describe el ataque de este patógeno como secuencial (Ceballos H 1991).

Según Hernández Ramos y Sandoval Islas (2015) al detallar la escala que permite determinar el nivel de daño que ha sufrido una planta se mostraron resultados que a nivel de campo el valor máximo de severidad del CMA observado fue de 100%, causando senescencia y muerte prematura de toda la planta; en contraste, el límite inferior resultó con 0 % de severidad. Considerando ambos límites, la escala logarítmica diagramática de severidad estuvo constituida por siete clases, representadas por los intervalos de 0(0-0), 3(1-6), 12(7-22), 38(23-55), 72(56-84), 91(85-95) y 98(96-100) % de área foliar necrosada.

Existen pocos registros del impacto económico que ocasiona esta enfermedad en las diferentes zonas productora, pero es bien conocida la incidencia y severidad en la época de postrema

cuando las condiciones favorables para el desarrollo de los patógenos son presentes [HR de 75 a 80% por alta precipitación (Jiménez Beitia 2021)].

El buen rendimiento de los cultivos en las últimas décadas se ha visto influenciado por el área de mejoramiento genético llevando al desarrollo de variedades resistentes a ciertas plagas y enfermedades y tolerancias a determinadas condiciones climáticas. Es por ello por lo que en las últimas dos décadas se han implementado muchas estrategias para adaptar las variedades de maíz a condiciones de sequías y suelos con baja fertilidad a través del mejoramiento genético y el uso de estimulantes con planes de fertilización adecuados. En los últimos años las enfermedades y plagas han sido los causantes de los principales problemas a nivel mundial en el área de producción de granos, muchos de estos han sido causados por la estacionalidad ya que suelen compartir las fechas de ciclos reproductivos de algunas plagas con las fechas de desarrollo de los cultivos.

El desarrollo de las variedades en los programas de mejoramiento debe considerar más de un rasgo y se han desarrollado métodos para la introgresión y selección de múltiples rasgos. Para la selección de múltiples rasgos los mejoradores deben determinar los rasgos que son más importantes, teniendo en cuenta las poblaciones y los recursos. Las estrategias básicas pueden incluir la selección en tándem, donde se intenta mejorar una población por varios rasgos seleccionando un rasgo a la vez durante varias generaciones. La selección en tándem es efectiva cuando no existe correlación entre los rasgos o la importancia relativa de cada rasgo cambia a lo largo los años. Otra estrategia es la selección independiente, consiste en seleccionar para rasgos múltiples en una generación en un orden específico de una sola población. Antes de utilizar la selección independiente, los mejoradores deben mantener una población suficientemente grande después de cada nivel para asegurar suficiente variación para los rasgos siguientes. Además, se debe aplicar una selección menos estricta en el primer rasgo para garantizar que hay suficiente variación para un rasgo correlacionado desfavorablemente y cuando las correlaciones genéticas no son importantes el orden de selección dependerá de la importancia del rasgo y de los fondos disponibles en el programa. Una de las mayores dificultades en

la selección de múltiples rasgos es la correlación negativa entre las características deseables. Para obtener genotipos deseables, es importante superar la correlación negativa entre los rasgos. Por lo tanto, se usa un índice de selección para mejorar los rasgos simultáneamente cuando existe una correlación negativa entre ellos. En este caso el mejorador desarrolla un nuevo rasgo único el "índice", que es una función de los múltiples rasgos que están bajo selección. Este método es para ponderar los rasgos en función de su importancia económica y la oportunidad de mejoramiento. La selección por índices es teóricamente el método más eficiente para mejorar el mérito de los cultivos, dado el concepto de valor genético agregado (Bernardo 2001)

En Centro América los pequeños productores cultivan sus parcelas de maíz en suelos marginales y de baja fertilidad. Para enfrentar el problema de pérdida de la fertilidad del suelo, se enfocan en la búsqueda de prácticas agroecológicas para mantener la sostenibilidad de los sistemas de producción de maíz en zonas marginales al mejorar la fertilidad del suelo sin el uso de insumos externos (Boada y Espinosa 2016). Los microorganismos del suelo son importantes en el mantenimiento de la fertilidad y en la nutrición de las plantas (Álvarez-Solis 2004)

Los hongos formadores de micorrizas arbusculares pertenecen a la clase Zigomicetos y se caracterizan porque producen, a lo largo de su ciclo de vida unas estructuras conocidas como arbusculos (en todos los casos) y vesículas (en la mayoría de ellos). Las vesículas son estructuras globosas e irregulares que actúan como órganos de reserva de lípidos. Los arbusculos son las estructuras responsables de la transferencia bidireccional de nutrimentos entre los simbioses, realizada en la interfase planta-hongo producida a este nivel. (Raddatz et al. 2001)

De acuerdo con Garzón (2015) las características que parecen estar asociadas a una mayor actividad micorrizal fueron las reportadas en loma y terraza y corresponden a niveles bajos de fosforó, pH extremadamente ácido, escasos contenidos de micronutrientes y niveles altos de materia orgánica y nutrientes. Determinó que la alta presencia de cepas nativas de micorrizas en cultivos que crecen

en suelos de baja fertilidad y niveles tóxicos de aluminio es un indicador de que la simbiosis participa benéficamente como mecanismo de nutrición vegetal.

Los objetivos de la investigación fueron seleccionar en generación temprana poblaciones S0 de maíz con resistencia al complejo de mancha de asfalto para avanzar genotipos superiores en evaluación posterior, y evaluar la respuesta de 16 variedades de maíz a la inoculación con micorrizas (Mycoral®).

## Materiales y Métodos

### Ubicación de Estudio

El ensayo 1 se realizó en lote de la Vega 5 de Monte Redondo y el ensayo 2 se llevó a cabo en la casa malla 1 de la Unidad de Investigación y Desarrollo de Cultivos, de la Escuela Agrícola Panamericana Zamorano, ubicada en el Valle del Yegüare, municipio de San Antonio de Oriente, Francisco Morazán, Honduras, a una altura de 800 msnm, precipitación anual de 1023 mm y con una temperatura promedio de 27 °C.

### Ensayo 1

#### *Material Experimental*

El material experimental utilizado en este experimento comprendió tres poblaciones (S0) desarrolladas a partir de la cruce de las variedades de maíz de polinización abierta Tuxpeño, CENTA Pasaquina y DICTA Maya y el híbrido DICTA 96 utilizado como progenitor masculino, resistente a la mancha de asfalto (Cuadro 1). Las tres poblaciones (S0) se sembraron en campo durante las temporadas de cultivo de postrera/verano del 2021, para realizar la autofecundación de las plantas resistentes con resistencia al complejo de la mancha de asfalto.

### Cuadro 1

*Características de las variedades usadas para desarrollar poblaciones de maíz resistentes al complejo de la mancha de asfalto en el lote de la Vega 5 de Monte Redondo, Escuela Agrícola Panamericana, Honduras.*

Variedades	Característica	Población
Tuxpeño	Variedad cultivada en Zamorano y excelente rendimiento	Tuxpeño x DICTA 96
CENTA Pasaquina	Tolerancia a sequía	CENTA Pasaquina x DICTA 96
DICTA Maya	Tolerancia a sequía	DICTA Maya x DICTA 96
DICTA 96	Resistencia a la mancha de asfalto	

### ***Prueba de Progenie por Autofecundación***

Se sembraron parcelas experimentales aisladas y en los bordes se sembró la variedad de maíz Tuxpeño, la cual se utilizó como esparcidor debido a que es susceptible a la mancha de asfalto, 1 mes antes de la siembra de las poblaciones (S0) para garantizar una alta presión de la enfermedad. La siembra se realizó a un distanciamiento de 0.25 m entre plantas y 0.90 m entre surcos para un total de 1200 plantas por cada población. Se identificaron plantas que no mostraban síntomas de mancha de asfalto y se procedió a colocar glassine (bolsas de papel traslúcido blanco) en la mazorca antes de la emergencia de los estigmas; una vez los estigmas alcanzaron los 2 cm de longitud y las anteras estaban liberando polen se procedió a realizar las autopolinizaciones para evitar contaminación de polen de plantas susceptibles.

### ***Manejo del Experimento y Criterio de Selección***

Los indicadores del desempeño a evaluar fueron determinados previo al establecimiento de las poblaciones experimentales. Este periodo experimental comprendió de un ciclo completo de maíz donde se controlaron indicadores como riego, fertilización, presencia de plagas y polinizaciones. A la madurez fisiológica (65 DDS) se evaluó la severidad del complejo de la mancha de asfalto (*Phyllachora maydis*, *Monographella maydis* y *Coniothyrium phyllachorae*), roya (*Puccinia sorghi*) y turcicum (*Exserohilum turcicum*) y se midió la altura de la mazorca. A la cosecha se seleccionaron plantas individuales que consistentemente mostraron resistencia al CMA, menor al 30% de roya (1-5) y menor al 20% de turcicum, altura de mazorca menor a 160 cm y con buen llenado de grano, con buena cobertura de mazorcas y sin pudrición.

## **Ensayo 2**

### ***Material Experimental***

Se sembraron 16 variedades de maíz (Cuadro 2) con y sin inoculación de Mycoral® bajo condiciones de casa malla para evaluar su respuesta y potencial adaptación en suelo de baja fertilidad.

**Cuadro 2**

*Los materiales genéticos de variedades de maíz a utilizar en evaluación de la inoculación de micorriza en la casa malla 1 de la Unidad de Investigación y Desarrollo de Cultivos (UIDC), Escuela Agrícola Panamericana Zamorano.*

Tratamiento	Variedad	Procedencia
1	Capulín	Honduras
2	Indio (Choluteca)	Honduras
3	Planta Baja	Honduras
4	Olotillo (Choluteca)	Honduras
5	Tuza Morada	Honduras
6	Olotillo Mejorado	Honduras
7	Joco	Honduras
8	Maicito	Honduras
9	Guanaco	Honduras
10	Taberón	Honduras
11	CENTA Pasaquina	El Salvador
12	ICTA B-7	Guatemala
13	ICTA B-15	Guatemala
14	DICTA Sequía	Honduras
15	DICTA Maya	Honduras
16	Tuxpeño	Honduras

***Preparación de Sustrato***

Se procedió a hacer la colecta de suelo en el lote Vega 4 de Monte Redondo (bajo contenido de materia orgánica, N y P) y el suelo se mezcló con arena en una relación 3:1. El sustrato se esterilizó para evitar la contaminación en una autoclave a 121°C, 15 PSI durante 20 minutos.

La limpieza y desinfección de los maceteros constó del enjuague de estos con detergente y abundante agua. Posteriormente se realizó una mezcla compuesta por esta agua y cloro al 5% durante 30 minutos para asegurar la desinfección de los maceteros ante cualquier posible patógeno u otro contaminante que pueda afectar la calidad del sustrato o desarrollo de la planta. Después del proceso de desinfección se procedió a introducir la mitad de una página en los maceteros para evitar pérdidas de sustrato durante su llenado y traslado dentro del invernadero. Cabe recalcar que cada macetero

que fue llenado y posicionado dentro del invernadero se le colocó una viñeta para identificarlo respectivamente como unidad experimental.

### ***Aislamiento de Esporas y Condiciones Empleadas***

Se cosechó una submuestra de 100 g de sustrato (suelo: arena) para determinar presencia de esporas de micorrizas nativas. Se vaciaron los 100 g en un beaker de 2 L y se usó una manguera delgada a presión regulada para desintegrar los grumos en el sustrato hasta quedar con las partículas arenosas y se dejó reposar 30 segundos más.

Se colocaron tres tamices [#40 (425 UM), #60 (250 UM), #200 (75 UM)] siendo el de arriba #40 y el de abajo #200 y se vació la mezcla sin perturbar el sedimento y pasar por los tamices, se repitió el procedimiento una vez más. Se vació la mezcla por los tamices y se volvió a llenar el beaker con dos litros de agua y se pasó por el tamiz, esto se repitió una vez más y sin dejar reposar el contenido (en total 1 L con reposo de 5 minutos y 2 sin reposar). Seguidamente se transfirió el material filtrado a un tubo para centrifugación con 50 mL de capacidad. Se centrifugó a 3000 rpm por 3 minutos. Se vació la mezcla en solución sin perturbar el sedimento (las esporas están mezclada con el sedimento). Se agregó una solución de sucrosa al 40% (p/v) y se agitó hasta que el sedimento quedara en suspensión y se centrifugó a 3000 rpm. Se vació la solución en un tamiz de #325 (45 micrómetros), se enjuagaron las esporas cuidadosamente durante un minuto para remover la sucrosa. El sedimento restante se eliminó. Para continuar con el conteo de esporas en el sustrato se transfirieron las esporas a un tubo para centrifuga y se aforó a 25 mL. De esta solución se colocó un gramo con esporas en un plato Petri de 5 cm de capacidad y se observó al estereoscopio.

### ***Cálculo de Esporas Totales***

El cálculo de conteo de esporas consistió en tomar de los 25mL, un 1 mL y contar en el estereoscopio el número de esporas, el total de esporas en un ml se multiplicó por los 25 mL y se dividió para los 100 gramos de suelo que teníamos en un inicio, el resultado fue las esporas en un gramo de suelo.

Ejemplo: X= números de esporas contadas en un mL.

Esporas totales:  $(X) (25 \text{ mL}) / 100 \text{ gr} =$  [1]

Una vez se determinó el número de esporas inicial en el sustrato se procedió a llenar los maceteros para al momento de la siembra inocular las 16 variedades de maíz con Mycoral® R, agregando 1 gramo de mycoral por planta y se sembró dos semillas y a los 8 días después de la siembra se procedió a eliminar una planta.

### ***Escaneo y Análisis de Raíces***

A los 40 días después de la siembra se procedió a cosechar el experimento para realizar el análisis de infección de Mycoral R en las raíces y el escaneo de raíces. Las raíces se lavaron y se dividieron en 3 partes cada una de acuerdo con su tamaño en la mayoría de los casos, se procedió a hacer el montaje de la raíz en una bandeja acrílica para contener la raíz sumergida en una lámina de agua destilada y se procedió a colocar cada raíz en un escáner de raíces. Después de la obtención de imágenes por medio del escáner EPSON Perfection V700 photo, se realizó un análisis de imagen para determinar largo de la raíz (LR, cm), diámetro de la raíz (DR, mm) y volumen de raíz (VR, cm<sup>3</sup>) por medio del programa WinRhizo® versión 2013, donde los resultados fueron arrojados en un documento compatible con el programa Notepad de Windows. Posteriormente se realizó la tabulación respectiva y análisis estadístico de los datos.

### ***Preparación y Medición de la Infección de Raíces***

Se prepararon los casetes con las 5 muestras de raíces por casete de un largo de 1.5 cm, los cuales fueron sumergidos en agua hasta que fueron teñidos. Para este proceso se dispensó en un beaker de un 1 litro una cantidad suficiente que cubriera los casetes de una solución con KOH al 10% durante 30 minutos. Se procedió a enjuagar el beaker 5 veces con abundante agua para eliminar los residuos de KOH. Seguidamente se dispensó en un beaker de 2 litros el 0.5% del contenido de agua del tinte azul de tripano y se calentó el tinte hasta que alcanzó 80 ° C sin haber incluido los casetes

hasta el momento y se deja por 30 minutos enfriar hasta que alcance la temperatura de 50° C. Para finalizar el proceso se introdujeron los casetes por 30 minutos en el tinte de azul de tripano al 0.5% (800 mL glicerina, 800 mL ácido láctico, 800 mL agua destilada y 1.2 gramos de tinte de azul de Tripano) y se procedió a hacer el montaje de placas y su lectura correspondiente al microscopio donde se evaluaron 7 campos por raíz en el microscopio para determinar la infección de micorrizas en la raíz.

#### ***Manejo del Experimento y Variables Medidas***

Tanto el experimento sin y con Mycoral R se fertilizó con 1 gramo de nitrato de amonio (34% nitrógeno) y se manejó adecuadamente el riego y presencia de plagas dentro del invernadero. Los índices de volumen, largo y diámetro de raíces se calcularon por medio de un escáner que posteriormente de haber obtenido la imagen fue sometida al programa de análisis de los índices anteriormente mencionados. Asimismo, los índices de peso seco e infección de raíces se vieron calculados por medio de uso de horno y balanza granulométrica en peso seco, y en infección de raíces mediante una lectura de placas que contenían un número determinado de raíces, luego calculando el porcentaje de infección obtenido en cada muestra.

#### ***Diseño Experimental y Análisis Estadístico***

Se utilizó un diseño de bloques completos al azar con arreglo de parcelas divididas, siendo la inoculación con y sin micorriza las parcelas principales y las 16 variedades las subparcelas. Se realizó un análisis de homogeneidad de varianzas y la normalidad de los datos usando la prueba de Shapiro-Wilk modificado. Se utilizó el programa de análisis estadístico "InfoStat" versión 2017 para realizar el análisis de varianzas y la separación de medias por DMS al 0.05 nivel de significancia.

## Resultados y Discusión

### Ensayo 1

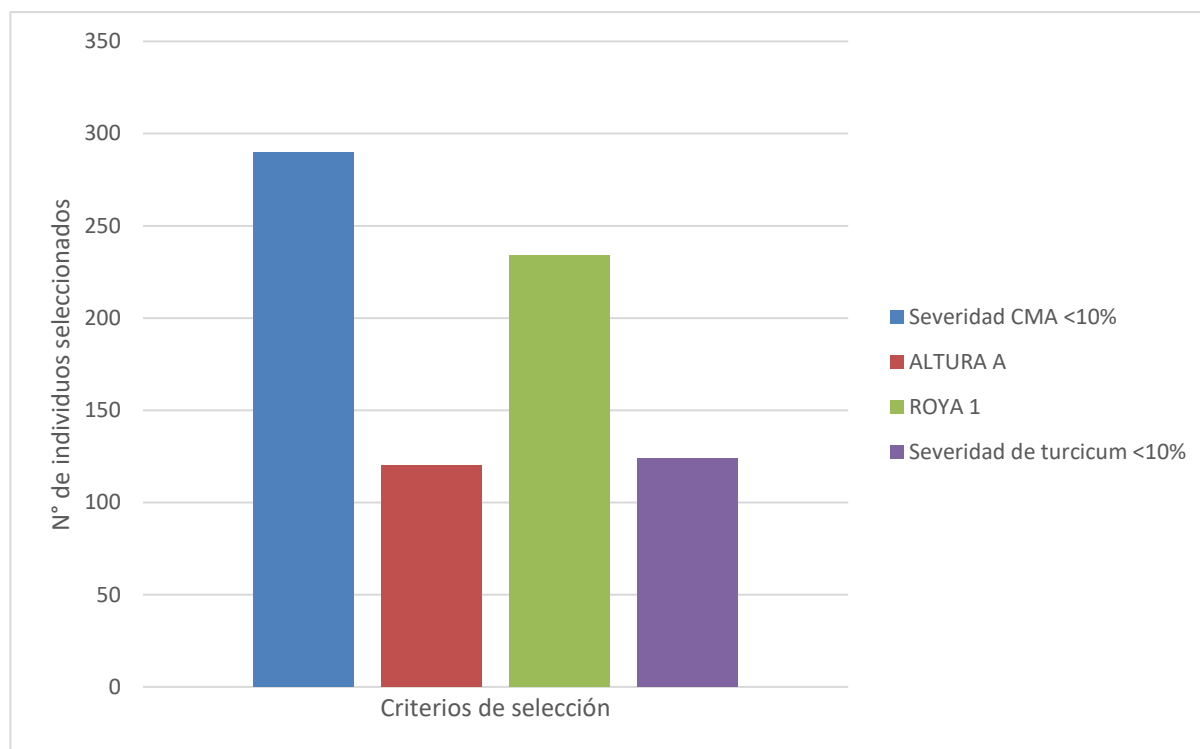
La selección de poblaciones con resistencia a mancha de asfalto por medio de autopolinizaciones de la (S0) fue realizada para obtener las poblaciones bases para evaluación posterior. En la población con el cruce CENTA Pasaquina x DICTA 96 se seleccionaron 120 individuos, que se les catalogó como tratamientos y se realizó un conteo de semillas de cada mazorca para determinar la disponibilidad de material genético y la proporción que tendría el experimento en el siguiente ciclo. Los individuos seleccionados fueron de altura <150 cm, con porcentaje de turcicum de 0-30 y ubicados en la escala de severidad de roya 1 (Figura 1).

Cerna et al. (2021) menciona que en Honduras se ve afectada la rentabilidad de la producción de maíz debido a que los métodos de supresión de la patología del complejo de mancha de asfalto son preventivos o curativos aumentando la carga química sobre el cultivo y el suelo respectivamente. Asimismo, es necesario reconocer que el mejoramiento genético es considerado como una respuesta ante la problemática de susceptibilidad del CMA, suelos con baja fertilidad y sequias atípicas afirma Cao S et al. (2017).

Se hace referencia a que en los programas de mejoramiento se debe de considerar más de un rasgo para el desarrollo de variedades, y en el caso de una gran gama de rasgos se deben determinar los rasgos más importantes de acuerdo con el material genético disponible y los recursos económicos para llevar a cabo el desarrollo de poblaciones. Los rasgos de interés en esta etapa se basan sobre los parámetros de altura de mazorca, severidad de turcicum y la roya usando una escala de severidad.

**Figura 1**

*Total de individuos seleccionados con características de primera calidad en la población compuesta por las variedades de maíz CENTA Pasaquina x DICTA 96.*



En la Figura 1 se puede apreciar la selección realizada bajo los parámetros establecidos previo al establecimiento de las poblaciones, donde la población CENTA Pasaquina x DICTA 96, cumplió con los parámetros de selección (10%) y no se tuvo que compensar una ausencia de individuos de primera calidad como en la siguiente población. Es por esto por lo que se almacenaron 120 sobres como principal selección para el establecimiento del ciclo 2 de la población, sin embargo, el resto de material experimental fue almacenado en el banco de germoplasma de la unidad para su uso en posteriores ensayos.

De acuerdo con Bernardo (2001) se debe emplear una estrategia de selección de acuerdo con el objetivo planeado, es por esto que un índice de selección hace referencia teóricamente, como uno de los métodos más eficientes para mejorar el mérito de los cultivos, tomando en cuenta que el

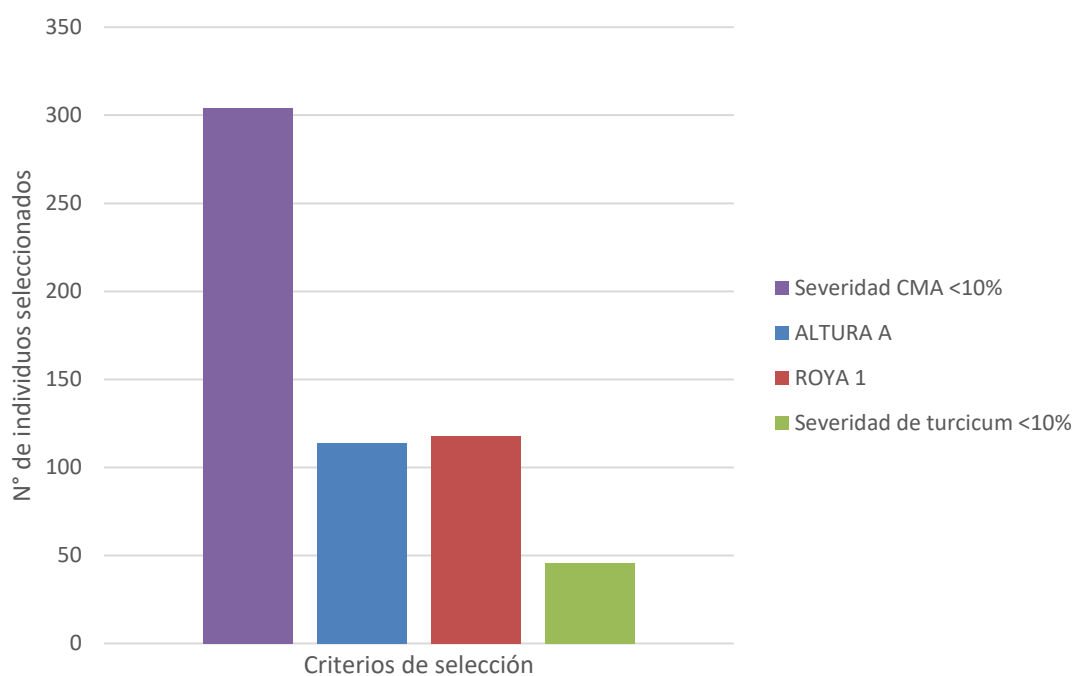
objetivo principal es la selección temprana de poblaciones con resistencia a mancha de asfalto y las características genéticas ya se habían catalogado previamente, fue necesario la implementación de los criterios.

Asimismo, la población DICTA Maya x DICTA 96 y la población Tuxpeño x DICTA 96, se les realizó una selección de 120 individuos con los parámetros de altura, severidad de turcicum y roya mencionados en la población CENTA Pasquina x DICTA 96.

En la población Tuxpeño x DICTA 96, no hubo tantos individuos que presentaran características de primera calidad (Figura 2), por lo que fue necesario realizar selección compensando la falta de individuos por los individuos con los parámetros de altura "B" (>150 cm), roya 2 y porcentajes de turcicum iguales o inferiores a 10% como se ve expresado en la figura 2.

## Figura 2

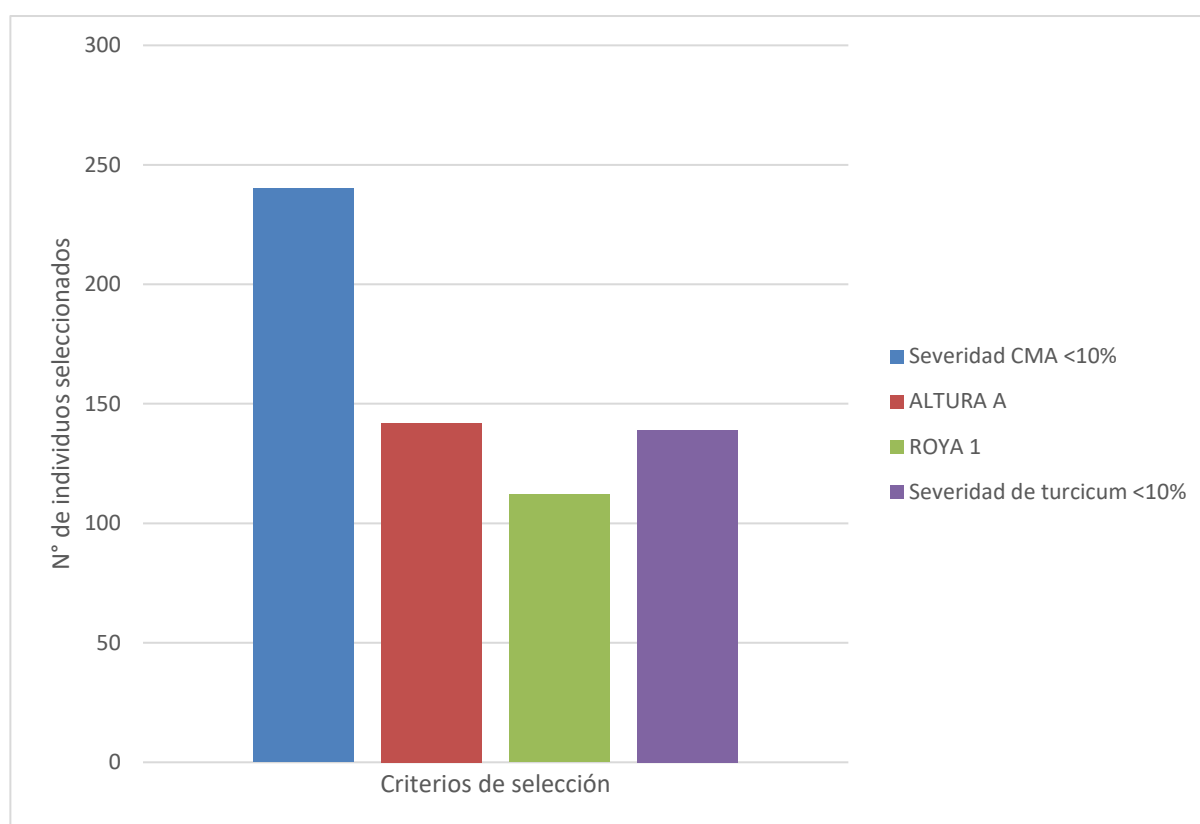
*Total de individuos seleccionados con características de primera calidad en la población compuesta por las variedades de maíz Tuxpeño x DICTA 96.*



La población DICTA Maya x DICTA 96, fue de la que mejores resultados se obtuvo en cuanto a la selección de individuos, ya que 114 plantas mostraron altura de mazorca (<150 cm), sin embargo, en el parámetro de severidad de turcicum se realizó una selección más amplia debido a que los otros parámetros se alineaban con hasta el 30% de turcicum.

### Figura 3

*Total de individuos seleccionados con características de primera calidad en la población compuesta por las variedades de maíz DICTA Maya x DICTA 96.*



Salinas Jiménez et al. (2016) afirma que para formar las posibles poblaciones y aprovechar la heterosis en algunos cruzamientos es importante la etapa de identificación y selección de líneas con características sobresalientes. De igual forma, la oportunidad de contar con genes que puedan determinar caracteres cuantitativos deseables permite que estos se puedan concentrar mediante

selección paulatina y recombinación para generar poblaciones superiores, con alto potencial de rendimiento de acuerdo con Herrera-Cabrera et al. (2004).

Con las líneas S1 obtenidos en el ciclo 1 de estas poblaciones se puede dar seguimiento para evaluar la segregación de las progenies seleccionadas.

## Ensayo 2

La evaluación preliminar de las variedades de maíz que poseen una mejor respuesta a la inoculación con micorrizas en suelos de baja fertilidad se realizó en continuación a la selección de poblaciones de maíz. Raddatz et al. (2001) menciona que las micorrizas VAM (Vesicular Arbuscular Mycorrhiza) poseen un efecto directo para las plantas en cuanto a la absorción de agua y nutrientes. Además, tiene un efecto fitosanitario benéfico, ya que aumenta la resistencia a agentes que puedan generar un daño a la planta, favoreciendo al genotipo y demostrando que la simbiosis generada puede servir como un mecanismo de adaptación para la planta ante condiciones difíciles.

Los resultados indicaron diferencias significativas ( $P < 0.05$ ) entre la inoculación y variedad, y entre las variedades ( $P < 0.05$ ) en la variable de peso seco (PS (g), de los cuales la variedad Planta Baja e Indio (Choluteca) obtuvieron los valores más altos (Cuadro 3).

## Cuadro 3

*Efecto de Mycoral® R sobre 16 variedades maíz a 40 días en la casa malla 1 de la Unidad de Investigación y Desarrollo de Cultivos (UIDC), Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras.*

Variedad	Peso seco (PS (g))	Peso seco (PS (g) con Mycoral® R	Peso seco (PS (g) sin Mycoral® R
Planta Baja	15.63 a	16.25 a	15 abc
Indio (Choluteca)	14.5 ab	13 abcdefghi	16 ab
Olotillo (Choluteca)	14.5 ab	14.25 abcdef	14.75 abcd
CENTA Pasaquina	14.13 abc	13.5 abcdefgh	14.75 abcd
Tuxpeño	14 abc	13.5 abcdefgh	14.5 abcde
Capulin	13.25 abcd	11.25 efghijk	15.25 abc
DICTA Maya	13 bcde	13.75 abcdefg	12.25 cdefghij
Maicito	12.88 bcde	12.5 cdefghij	13.25 abcdefghij

Variedad	Peso seco (PS (g))	Peso seco (PS (g) con Mycoral® R	Peso seco (PS (g) sin Mycoral® R
Olotillo			
Mejorado	12.63 bcde	10 ijk	15.25 abc
Guanaco	12.5 bcde	11 fghijk	14 abcdef
Taberón	12.3 bcde	11.25 efghijk	13.5 abcdefgh
Tuza Morada	11.75 cdef	8.5 k	15 abc
ICTA B-7	11.75 cdef	12 cdefghij	11.5 defghijk
Joco	11.5 def	12.75 bcdefghi	10.25 hijk
DICTA Sequía	10.63 ef	10.25 hijk	11 fghijk
ICTA B-5	9.88 e	9.25 jk	10.5 ghijk
E.E.	0.84		1.18
P Valor	0.0009		0.0255
CV%		18.46	
R2		0.81	

Nota. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )

Según Minero Ascencio (2003) en la evaluación de métodos de inoculación de maíz y frijol con micorrizas VAM, el PSBA (peso seco de la biomasa aérea) presentó mayores resultados en el testigo sin encontrarse diferencias entre el testigo y aplicar Mycoral® R granulado o en polvo. De hecho, en la respuesta de las variedades a micorrizas se observó un comportamiento similar en condiciones controladas de invernadero donde las medias con mayores proporciones numéricas fueron de las unidades experimentales de los testigos y se ubicaron en los primeros lugares respectivamente.

Como respuesta a la adaptación, el porcentaje de infección de micorriza (%IM) no mostró diferencias significativas ( $P > 0.05$ ) con y sin la inoculación de micorrizas (Mycoral® R). Minero Ascencio (2003) mencionó que la variable de infección de raíces (IR) no mostró diferencias con el testigo debido a una posible infección del testigo con micorrizas nativas, asimismo, al hacer un conteo de esporas en el sustrato esterilizado se descubrió que aun existía presencia de esporas de micorrizas nativas en el sustrato compuesto por suelo colectado y arena. Asimismo, se tomaron las variedades en base a su destacamento en esta variable y de acuerdo con el análisis de varianza realizado, se determinó que no existían diferencias significativas ( $P > 0.05$ ) entre las variedades, sin embargo, numéricamente la variedad Tuxpeño y Planta Baja presentaron los mejores resultados de acuerdo con el Cuadro 4. Garzón (2015) afirma que la alta presencia de cepas nativas en cultivos que crecen en suelos de baja fertilidad y niveles tóxicos de aluminio es un indicador de que la simbiosis participa benéficamente como mecanismo de nutrición vegetal y al realizar el ensayo con un sustrato

compuesto por suelo de baja fertilidad, surgió la hipótesis de que esas condiciones pudieron afectar positivamente a las variedades testigos, de modo que favoreció la simbiosis entre las cepas nativas y el material experimental y hubo una inoculación natural que al igual que en el ensayo del 2003 afectó los resultados del ensayo actual (Cuadro 4).

#### Cuadro 4

*Efecto de Mycoral® R sobre 16 variedades de maíz en la casa malla 1 de la Unidad de Investigación y Desarrollo de Cultivos (UIDC), Escuela Agrícola Panamericana, Honduras.*

Variedad	Porcentaje de infección micorriza (%IM)	Largo de la raíz (LR (cm))	Diámetro de la raíz (DR (mm))	Volumen de la raíz (VR (cm <sup>3</sup> ))
Tuxpeño	68.93	8518.49 bcde	0.46 abcdef	13.78 bcde
Planta Baja	68.21	10000.45 abc	0.47 abcd	17.08 ab
ICTA B-7	63.21	7583.57 de	0.43 ef	11.02 e
DICTA Sequía	60.71	7186.93 e	0.45 bcdef	11.52 e
Tuza Morada	60.35	9564.75 abcd	0.49 ab	17.86 ab
DICTA Maya	58.21	7326.26 e	0.45 cdef	11.10 e
Olotillo (Choluteca)	56.78	10432.36 ab	0.46 abcdef	16.76 abc
ICTA B-15	54.28	8319.21 bcde	0.42 f	11.93 de
Maicito	53.92	9879.24 abc	0.44 def	15.14 abcde
Capulin	53.21	9669.97 abcd	0.46 abcde	16.43 abc
Joco	53.21	8389.11 bcde	0.49 a	15.80 abcd
Taberón	49.28	7674.60 de	0.48 abc	14.15 abcde
Guanaco	46.43	8453.40 bcde	0.46 abcde	14.32 abcde
CENTA Pasaquina	45.71	7403.57 e	0.47 abcd	12.64 cde
Olotillo Mejorado	45	8266.05 cde	0.48 ab	14.69 abcde
Indio (Choluteca)	44.28	11486.42 a	0.45 bcdef	18.25 a
E.E.	5.98	753.74	0.01	1.5
P Valor	0.0793	0.0035	0.015	0.0074
CV%	30.68	24.34	7.98	29.14
R2	0.83	0.71	0.76	0.72

*Nota.* Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )

También se evaluó el efecto en las 16 variedades de maíz en base a la variable de longitud de la raíz (cm) y se observaron diferencias significativas ( $P < 0.05$ ) entre las variedades. De hecho, entre las variedades que presentaron los mejores resultados están indio y Olotillo (Choluteca) respectivamente.

Asimismo, en la variable de diámetro de la raíz (DR) de las 16 variedades de maíz a 40 días, no se encontraron diferencias significativas ( $P > 0.05$ ) entre las unidades experimentales inoculadas y testigos. Las variedades testigo parecieron tener un mejor comportamiento en contraste con sus homólogos inoculados ya que según la variable de infección de micorrizas, así como la infección natural de micorrizas nativas en los testigos tuvo un mayor porcentaje, también el largo de la raíz se vio afectado por los resultados obtenidos en las otras variables medidas (Cuadro 4).

Al hacer la evaluación de diámetro de la raíz de las 16 variedades de maíz, tomando en cuenta solo su rendimiento, se encontraron diferencias significativas ( $P < 0.05$ ) entre las mismas, siendo así, que las variedades que mejor respondieron durante el periodo experimental fueron Joco y Tuza Morada.

Según Minero Ascencio (2003) en la variable de volumen de raíz (VR) en maíz a floración no se observaron diferencias significativas en su estudio experimental, al igual que en maíz a 40 días no se observaron diferencias significativas ( $P > 0.05$ ) entre el tratamiento y el testigo, esto da soporte al efecto encontrado en el método de inoculación con Mycoral® R en el desarrollo del cultivo de frijol y maíz en el 2003. Sin embargo, en el desempeño de las variedades se encontraron diferencias significativas ( $P < 0.05$ ) entre los genotipos de acuerdo con el análisis de varianza realizado. Entre las variedades se destacan indio (Cholulteca) y Tuza Morada, aunque entre estas dos no exista diferencias estadísticas, si existen diferencias numéricas claras que diferencian el desempeño de estos materiales experimentales. De acuerdo con los resultados obtenidos, cabe destacar la importancia del asocio entre cepas de micorrizas y variedades de maíz con características que puedan generar una sinergia en condiciones adversas de desarrollo como lo son baja fertilidad de suelos y sequías.

### **Conclusiones**

La selección en las poblaciones fue efectiva para las características deseables, las poblaciones con resistencia al complejo de mancha de asfalto servirán como un preliminar para el establecimiento del ciclo 2 (S1).

El uso de Mycoral<sup>®</sup> R en las 16 variedades de maíz evaluadas no mostró una respuesta significativa en las variables medidas que diferencie el desempeño de las variedades durante el experimento excepto peso seco (g), sin embargo, se observa una diferencia entre las variedades.

### **Recomendaciones**

Planificar el establecimiento del ciclo 2 de selección en las poblaciones con resistencia a mancha de asfalto y evaluar el comportamiento de las progenies para avanzar generaciones de plantas superiores

Realizar otros estudios bajo condiciones en campo de baja fertilidad de suelos con diferentes proporciones del bioestimulante haciendo evaluación de las mismas variables.

Realizar el experimento evaluando días a floración masculino y femenino y otras variables de rendimiento durante el ciclo de cultivo.

## Referencias

- Álvarez-Solis A-M. 2004. Actividad microbiana del suelo bajo diferentes sistemas de producción de maíz en los altos de Chiapas, México. *Agrociencia*; [consultado el 10 de jul. de 2022]. 38:13–22. Español. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=30238102>.
- Bernardo R. 2001. Breeding Potential of Intra- and Interheterotic Group Crosses in Maize. *Crop Science*. 41(1):68–71. doi:10.2135/cropsci2001.41168x.
- Boada R, Espinosa J. 2016. Factores que limitan el potencial de rendimiento del maíz de polinización abierta en campos de pequeños productores de la Sierra de Ecuador. *Siembra*. 3(1):67–82. <https://revistadigital.uce.edu.ec/index.php/SIEMBRA/article/view/262>. doi:10.29166/siembra.v3i1.262.
- 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):plantgenome2016.10.0099. doi:10.3835/plantgenome2016.10.0099.
- Ceballos H DA. 1991. Inheritance of resistance to Tar spot complex in maize. [Tesis]. Mexico: Centro Internacional de Maiz y Trigo; [consultado el 27 de jun. de 2022]. [https://www.apsnet.org/publications/phytopathology/backissues/Documents/1992Articles/Phyto82n05\\_505.PDF](https://www.apsnet.org/publications/phytopathology/backissues/Documents/1992Articles/Phyto82n05_505.PDF).
- Cerna MJG, Colbert RW, Rodriguez IY, Sotomayor JCR. 2021. Comportamiento agronómico de accesiones de maíz de Honduras bajo estrés de sequía. *CEIBA*. (Edición Zamorano Investiga):36–51.
- Garzón. 2015. Importancia de las micorrizas arbusculares (MA) para un uso sostenible del suelo en la Amazonia Colombiana. *SciELO*; [consultado el 5 de jul. de 2022]. <http://www.scielo.org.co/pdf/luaz/n42/n42a14.pdf>.
- Hernández Ramos L, Sandoval Islas JS. 2015. Escala Diagramática de Severidad para el Complejo Mancha de Asfalto del Maíz. *Revista mexicana de fitopatología*. 33:95–103.
- Herrera-Cabrera BE, Castillo-González F, Sánchez-González JJ, Hernández-Casillas JM, Ortega-Pazkca RA, Major-Goodman M. 2004. Diversidad del maíz Chalqueño. *Agrociencia*. 38(2):191–206.
- 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. <https://doi.org/10.1007/BF00442777>. doi:10.1007/BF00442777.
- Jiménez Beitia. 2021. Evaluando la resistencia de accesiones de maíz a la mancha de asfalto mediante criterios epidemiológicos y sensores remotos [Tesis]. Honduras: Escuela Agrícola Panamericana Zamorano, MATS; [consultado el 10 de jul. de 2022]. <https://www.zamorano.edu/2021/08/21/evaluando-la-resistencia-de-accesiones-de-maiz-a-la-mancha-de-asfalto/>.
- Minero Ascencio. 2003. Evaluación de métodos de inoculación de maíz y frijol con micorrizas VAM [Tesis]. Honduras: Escuela Agrícola Panamericana Zamorano, Ciencia y Producción Agropecuaria; [consultado el 7 de ene. de 2022]. <https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/17d63f5f-be98-43d2-b4d0-7937940006e2/content>.
- Raddatz et al. 2001. Vam y la resistencia de las plantas contra causante de daños: Micorriza Vesículo-Arbuscular (VAM): Producción de inoculante e inoculación, control de calidad. 1ª ed. Cali, Colombia: [sin editorial]. p. 23–53. 2001; [actualizado 2001; consultado el 27 de jun. de 2022].

- Ríos Herrera EN, Ochoa Fuentes YM, Cerna Chávez E, Landeros Flores J, Cepeda Siller M, Rodríguez Guerra R. 2017. Hongos asociados a la mancha de asfalto en el cultivo de maíz en México. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*. 8:457–462.
- Salinas Jiménez V, Raya Pérez JC, Aguirre Mancilla CL, Chablé Moreno F, Ramírez Pimentel JG, García Rodríguez G, Covarrubias Prieto J. 2016. Prueba temprana en líneas S1 de maíz. *Phyton (Buenos Aires)*. 85(2):203–209.
- USDA. 2022. Producción Mundial de Maíz 2021/2022. [sin lugar]: ProduccionAgricolaMundial.com ; [consultado el 5 de jul. de 2022]. <http://www.produccionagricolamundial.com/cultivos/maiz.aspx>.
- Rodríguez L. 2017. Superficie sembrada de maíz creció 63500 manzanas en 16 años. *El heraldo. Honduras* [accedido 2019 mayo 3] <https://www.elheraldo.hn/economia/1128223-466/superficie-sembrada-dema%C3%ADz-creci%C3%B3-63500-manzanas-en-16-a%C3%B1os>
- Ruhl, G., Romberg, M. K., Bissonnette, S., Plewa, D., Creswell, T. y Wise, K. A. (2016). First Report of Tar Spot on Corn Caused by *Phyllachora maydis* in the United States. *Plant Disease*, 100(7), 1496. <https://doi.org/10.1094/pdis-12-15-1506-pdn>
- Salinas Jiménez, V, Raya Pérez, JC, Aguirre Mancilla, CL, Chablé Moreno, F, Ramírez Pimentel, JG, García Rodríguez, G, & Covarrubias Prieto, J. (2016). Prueba temprana en líneas S1 de maíz. *Phyton (Buenos Aires)*, 85(2), 203-209. Recuperado en 08 de julio de 2022, de [http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1851-56572016000200005&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1851-56572016000200005&lng=es&tlng=es).

## Anexos

### Anexo A

#### *Prueba de normalidad de Shapiro-Wilks modificado*

Variable	n	Media	D.E.	W*	p(Unilateral D)
RDUO PS (g)	128	0.00	1.41	0.98	0.5086
RDUO %IM	128	0.00	10.06	0.98	0.5116
RDUO LR (cm)	128	0.00	1269.03	0.99	0.9952
RDUO Dia (mm)	128	0.00	0.02	0.98	0.3077
RDUO Vol (cm3)	128	0.00	2.52	0.98	0.3452