



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS MONTECILLO

POSTGRADO EN FITOSANIDAD

FITOPATOLOGÍA

RESISTENCIA INDUCIDA A CARBÓN DE LA ESPIGA (*Sporisorium reilianum* f.sp. *zeae*) y ROYA COMÚN (*Puccinia sorghii*) EN MAÍZ (*Zea mays* L.)

KARLA ERIKA VIGUERAS ISLAS

T E S I S
PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRA EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, ESTADO DE MÉXICO

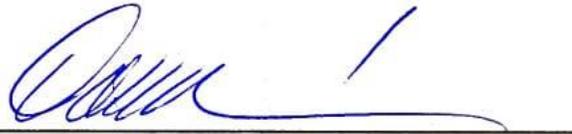
2021

La presente tesis titulada: "**RESISTENCIA INDUCIDA A CARBÓN DE LA ESPIGA (*Sporisorium reilianum* f.sp. *zeae*) y ROYA COMÚN (*Puccinia sorghi*) EN MAÍZ (*Zea mays* L.)**", realizada por la alumna: **KARLA ERIKA VIGUERAS ISLAS**, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRA EN CIENCIAS
FITOSANIDAD
FITOPATOLOGÍA

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO:



DR. CARLOS DE LEÓN GARCÍA DE ALBA

ASESOR:



DR. FRANCISCO MARCELO LARA VIVEROS

ASESOR:



DR. DANIEL NIETO ÁNGEL

Montecillo, Texcoco, Estado de México, julio de 2021.

RESISTENCIA INDUCIDA A CARBÓN DE LA ESPIGA (*Sporisorium reilianum* f.sp. *zeae*) Y ROYA COMÚN (*Puccinia sorghi*) EN MAÍZ (*Zea mays* L.)

Karla Erika Viguera Islas, M.C.

Colegio de Postgraduados, 2021.

RESUMEN

El maíz como el resto de cultivos es capaz de reconocer eficientemente a un patógeno y de activar las respuestas defensivas con las que cuenta, incluyendo las constitutivas e inducidas, cuyo fin es impedir o reducir la infección. La defensa o resistencia inducida considera sustancias inductoras, tal como inductores químicos sintéticos que estimulan el reconocimiento e invasión fitopatogena. La roya común *Puccinia sorghi* Schw. y el carbón de la espiga *Sporisorium reilianum* f. sp. *zeae* Kühn. representan una seria amenaza para la producción de maíz en los estados del altiplano del país, donde se siembran semillas de cultivares que han mostrado susceptibilidad. Por tanto, el objetivo del presente estudio fue evaluar la eficiencia de seis productos como inductores de resistencia, incluyendo Actigard® 50 GS, Alliete®, Consist Max®, AAS, Poncho Votivo® y Serenade® ASO en dos áreas experimentales del Valle del Mezquital, Hidalgo, México para el control de *P. sorghi* y *S. reilianum* f. sp. *zeae* en el cultivo de maíz bajo condiciones de campo. Los resultados mostraron que Consist Max® (trifloxystrobin+tebuconazol) con la dosis de 150 % de la comercial y aplicación en la etapa V7 destacó en el control de los patógenos en estudio. Para roya común presentó la menor área bajo la curva del progreso de la enfermedad en CL y UPFIM con 26.42 ± 0.26 y 78.84 ± 5.77 respectivamente, contra 91.43 ± 2.12 y 198.24 ± 0.73 del testigo. Respecto al carbón de la espiga, presentó la menor incidencia en CL con porcentajes de infección de 16.83 ± 1.04 vs 20.38 ± 1.79 del testigo.

Palabras clave: Maíz, carbón de la espiga, roya común, resistencia inducida.

INDUCED RESISTANCE TO HEAD SMUT (*Sporisorium reilianum* f. sp. *zeae*) AND COMMON RUST (*Puccinia sorghi*) IN MAIZE (*Zea mays* L.)

Karla Erika Viguera Islas, M.C.

Colegio de Postgraduados, 2021.

ABSTRACT

Maize, similar to other crops, is able to efficiently recognize a pathogen and activate available defense responses, including constitutive and induced, which can avoid or reduce the infection. The defense or induced resistance include inducing substances, such as systemic chemical inducers which increase the recognition and invasion of plant pathogens. The common rust *Puccinia sorghi* Schw. and head smut *Sporisorium reilianum* f. sp. *zeae* Kühn. are a threat to maize production in highlands of Mexico where seeds of susceptible cultivars are planted. The objective of this study was to evaluate the efficiency of six products reported as inducers of resistance, including Actigard® 50 GS, Alliete®, Consist Max®, AAS, Poncho Votivo® y Serenade® ASO, in two locations in the Mezquital Valley, Hidalgo State, Mexico, to control the common rust *Puccinia sorghi* and head smut *Sporisorium reilianum* f. sp. *zeae* in the maize crop under field conditions. Results showed that Consist Max® (trifloxystrobin+tebuconazol) with 150 % of the commercial dose applied at the V7 stage gave outstanding control of the pathogens under study. For common rust, the area under the disease progress curve in locations CL and UPFIM were 26.42 ± 0.26 and 78.84 ± 5.77 , respectively, against 91.43 ± 2.12 and 198.24 ± 0.73 of the check treatment. Concerning head smut, the lowest incidence was at CL with percentages of infection of 16.83 ± 1.04 against 20.38 ± 1.79 of the check.

Key words: Maize, head smut, common rust, induced resistance.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por la beca otorgada para la realización de mis estudios de postgrado.

Al Colegio de Postgraduados y al Postgrado de Fitopatología por brindarme la oportunidad de recibir formación académica de excelencia.

A mi consejero el Dr. Carlos De León por guiarme de inicio a fin en mi proyecto de investigación y mostrarme lo maravilloso que es el trabajo del campo mexicano, así como por inculcar en mí que el genio está siempre en la semilla.

Al Dr. Francisco Lara quien ha sido un elemento fundamental en mi formación académica y profesional desde mis estudios previos.

Al Dr. Daniel Nieto por recibirme desde mi llegada al CP, por siempre confiar en mí y brindarme el más incondicional apoyo. Asimismo a las personas que integran su núcleo de trabajo; Maestra Victoria Ayala, Dra. Alejandra Almaraz y Dr. Ibar Tlatilpa, por creer en mí e impulsarme a dar siempre el máximo esfuerzo.

A mis compañeros de postgrado por su amistad durante mis estudios. Especialmente a Mitzi Guiluu Patiño por siempre sumar apoyo a las actividades de mi investigación.

DEDICATORIA

A mi madre, Rosa Edith Islas por ser mi impulsora para alcanzar mis propósitos.

A José Luis Martínez, por nunca dejarme sola y apoyarme para realizar esta meta en mi vida.

“La vida no es fácil, para ninguno de nosotros. Pero... ¡que importa! Hay que perseverar y, sobre todo, tener confianza en uno mismo. Hay que sentirse dotado para realizar alguna cosa y esa cosa hay que alcanzarla, cueste lo que cueste”.

(Marie Curie)

CONTENIDO

RESUMEN	iii
ABSTRACT.....	iv
DEDICATORIA	vi
LISTA DE CUADROS.....	ix
I. INTRODUCCIÓN	1
II. OBJETIVOS	2
Objetivo general	2
Objetivos específicos	2
III. HIPÓTESIS.....	3
IV. REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
El cultivo del maíz.....	3
Importancia del maíz en el mundo y en México	4
Enfermedades que afectan al maíz.....	5
Roya común. <i>Puccinia sorghi</i> Schw.	6
Carbón de la espiga. <i>Sporisorium reilianum</i> f. sp. <i>zeae</i> (Kühn) Langdon and Fullerton.	8
Mecanismos de defensa de las plantas	11
Defensa constitutiva.....	12
Defensa inducida	12
Antecedentes y bases químicas de la resistencia inducida (RI).....	13
Tipos de resistencia inducida.....	14
Inductores de resistencia.....	15
Actigar (Acibenzolar S-metil: ASM).....	17
Alliete (Fosetil aluminio).....	18
Consist Max® (Trifloxystrobin+tebuconazol).....	19
Serenade® ASO (<i>Bacillus subtilis</i>).....	22
Poncho Votivo (<i>Bacillus firmus</i> + clotianidin).....	23
Ácido acetil salicílico (Acido 2-hidroxibenzoico).....	24
V. MATERIALES Y MÉTODOS	25
Descripción del área de estudio	25

Diseño y desarrollo del experimento	25
Germoplasma de maíz utilizado.....	26
Fuente de inóculo e inoculación de los patógenos	27
Inoculación de carbón de la espiga (<i>Sporisorium reilianum</i> f. sp. <i>zeae</i>).....	27
Inoculación de roya (<i>Puccinia sorghi</i>).	27
Análisis estadístico.....	30
VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	31
Caracterización morfológica del inóculo	31
Respuesta de los inductores de resistencia.....	31
Severidad.....	31
Incidencia	32
Mazorcas podridas	33
Aspecto de planta y mazorca.....	34
Intervalo de floración (ASI)	34
Índice de altura (IA).....	36
Mazorcas por planta y rendimiento de grano.....	36
VII. CONCLUSIONES.....	39
VIII. LITERATURA CONSULTADA.....	40

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1: Tratamientos evaluados en la inducción de resistencia en el cultivo de maíz para <i>Puccinia sorghi</i> y <i>Sporisorium reilianum</i> f. sp. <i>zeae</i>	26
Cuadro 2: Escala de evaluación para roya (<i>Puccinia sorghi</i>).	30
Cuadro 3: Severidad, incidencia y mazorcas podridas por unidad experimental (CL y UPFIM), en función de producto, etapa fenológica de aplicación y dosis evaluada.....	33
Cuadro 4: Aspecto de planta, aspecto de mazorca e intervalo de floración (ASI) por unidad experimental (CL y UPFIM), en función de producto, etapa fenológica de aplicación y dosis evaluada.....	35
Cuadro 5: Rendimiento, mazorcas por planta e índice de altura por unidad experimental (CL y UPFIM), en función de producto, etapa fenológica de aplicación y dosis evaluada.....	39

I. INTRODUCCIÓN

El maíz (*Zea mays* L.) es el principal cereal cultivado en el mundo, con la mayor producción y rendimiento respecto a otros granos (Saeed *et al.*, 2021). Su variedad de usos en la alimentación humana y animal, así como materia prima de productos industriales lo han posicionado como uno de los productos agrícolas más importantes. En México, centro de domesticación y de diversidad del maíz (Bellon *et al.*, 2021) este cultivo se considera fundamental en la seguridad alimentaria, además de su importancia cultural y simbólica, que con las condiciones agroclimáticas hacen posible su producción en todo el territorio nacional. Sin embargo, al igual que el resto de cultivos, está expuesto a distintos factores que limitan la máxima expresión de su potencial productivo, como son la presencia de fitopatógenos, siendo los organismos fungosos los más importantes y riesgosos para la producción (Marquez-Licona *et al.*, 2020). La roya común (*Puccinia sorghi* Schw.) es una de las principales enfermedades foliares de origen fúngico, que ocasiona serias pérdidas económicas en su producción (Ramirez-Cabral *et al.*, 2017), que con otras infecciones puede ser muy perjudicial para el cultivo. El carbón de la espiga, causado por el hongo fitopatógeno *Sporisorium reilianum* f. sp. *zeae* (Kühn) Langdon and Fullerton [sin. *Sphacelotheca reiliana* (Kühn) Clint.], tiene una distribución cosmopolita y representa una seria amenaza para la producción del cereal (Zhang *et al.*, 2021). Este basidiomiceto reemplaza las inflorescencias masculina y femenina por masas de teliosporas que son liberadas y diseminadas por el viento ocasionando una pérdida de rendimiento de hasta 50% bajo una infección severa (Márquez-Licona *et al.*, 2018). En México, una de las regiones más afectadas es el Valle del Mezquital, en el Estado de Hidalgo (De León, 2020) una zona de alta productividad con agricultura de riego que abastece más del 50% del maíz en el estado (Sánchez-Maya *et al.*, 2020). En ésta zona se siembra semilla de maíces híbridos que han mostrado susceptibilidad a éstas enfermedades, ocasionando perdidas significativas en la producción de grano.

Las técnicas de manejo del cultivo han intensificado el uso de la resistencia por la planta, no sólo genética, sino también la resistencia inducida al favorecer la interacción planta-patógeno y activar los sistemas de defensa para detener, aminorar o constrarrestar la infección de los patógenos. La resistencia inducida considera que las armas con las cuales las plantas se defienden involucran un gran número de moléculas exógenas denominadas inductores o agentes inductores (Cavalcanti, 2005), que al ser reconocidas por moléculas endógenas, activan el nivel de resistencia de las plantas, tanto a nivel local como en puntos distantes al sitio de infección, así como de participar en otras actividades fisiológicas (Schreiber y Desveaux, 2008; Gómez y Reis, 2011). Los agentes inductores pueden clasificarse según su naturaleza en bióticos y abióticos, estos últimos son producidos en forma sintética y en escala comercial. Con base en lo anterior, el objetivo del presente estudio, fue evaluar en dos áreas experimentales del Valle del Mezquital la eficiencia de seis productos como inductores de resistencia para el control de los hongos fitopatógenos *P. sorghi* y *S. reilianum* f.sp. *zeae*. en el cultivo de maíz en condiciones de campo.

II. OBJETIVOS

Objetivo general

Evaluar el efecto de seis productos como posibles inductores de resistencia para control de carbón de la espiga (*S. reilianum* f.sp. *zeae*) y roya común (*P. sorghi*) en plantas de maíz.

Objetivos específicos

- a. Determinar el (los) producto(s) con mayor inducción de resistencia al carbón de la espiga y roya común y su efecto en caracteres agronómicos.
- b. Evaluar el efecto de diferentes dosis de los productos a evaluar respecto a la dosis comercial recomendada de cada producto.
- c. Determinar la etapa fenológica de aplicación en que los productos muestren mayor eficiencia para controlar las enfermedades en estudio.

III. HIPÓTESIS

La incidencia y severidad de las enfermedades causadas en maíz por los hongos fitopatógenos *Sporisorium reilianum* f. sp. *zeae* y *Puccinia sorghi* se reduce significativamente con la aplicación de inductores de resistencia aplicados en una dosis y etapa fenológica determinada.

IV. REVISIÓN DE LITERATURA

El cultivo del maíz

El maíz es uno de los granos alimenticios más importantes que se conocen. Pertenece a la familia *Gramínea* o *Poaceae* y es la única especie cultivada de importancia económica del género *Zea* (Acosta, 2009). Es una gramínea anual, originaria y domesticada por pueblos indígenas de Mesoamérica desde hace unos diez mil años e introducida en Europa en el siglo XVII (Mendes-Ferrao, 1993). Diversos hallazgos, principalmente de cerámica y lítica, así como el estudio de sedimentos y depósitos de restos vegetales en contextos arqueológicos, muestran que el maíz fue domesticado hace aproximadamente 8 000 años a partir de su pariente cercano, el teocintle (*Z. perennnis* subsp. *diploperennis* Iltis, Doebley y Guzmán) (Galinat, 1988; Purseglove, 1985). Su evolución es producto de la interacción de procesos biológicos y ecológicos con la dinámica cultural e intereses del hombre (Benz, 1997). Este cereal ha evolucionado por selección realizada por los agricultores-mejoradores durante miles de años y por los mejoradores profesionales en los últimos 150 años (Muñoz, 2003). Su diversidad genética se puede atribuir, además de la selección realizada por el hombre desde su domesticación, a los numerosos nichos ecológicos y los efectos ambientales que diferentes condiciones climáticas ejercen sobre las poblaciones para lograr su adaptación (Carballoso *et al.*, 2000). Asimismo, al ser una planta alógama, su diversidad genética la hace muy variable genéticamente lo que es de gran utilidad para los programas de fitomejoramiento. La variación genética mencionada ha ocasionado que las razas nativas del maíz tengan una amplia variación morfológica y polimorfismo genético considerable, que permiten su cultivo en altitudes que varían desde el nivel del mar hasta 3 800 m de altitud y latitudes del ecuador hasta

50° Norte y Sur (Ortiz *et al.*, 2010). Es así como el maíz, debido a sus características que le permiten adaptarse a distintas condiciones ecológicas, se ha adaptado y se ha producido en todos los continentes donde ha sido introducido. De acuerdo con Wilkes (1979), México es el centro primario de diversidad genética y la zona andina el secundario, donde el cultivo ha tenido una rápida evolución y es considerado el cultivo más estudiado por su corto ciclo vegetativo, su gran diversidad, no sólo genética, sino también por su infinidad de usos (Gil-Muñoz *et al.*, 2004; Martínez-Cruz *et al.*, 2011).

Importancia del maíz en el mundo y en México

La producción de cereales tiene un papel preponderante en la actividad agrícola mundial, ya que con el crecimiento de la población humana, la demanda por éstos cultivo y oleaginosas se ha incrementado para ocupar la mayor parte de la superficie sembrada en las áreas más productivas del mundo (Satorre *et al.*, 2008). El maíz, junto con el trigo y el arroz, es uno de los tres cereales más importantes a nivel mundial, siendo actualmente el cereal con el mayor volumen de producción, superando al trigo y al arroz (FAOSTAT, 2019). A nivel mundial, la importancia del maíz se da por los diversos usos que tienen las diferentes partes de la planta. Según Taba *et al.* (2004), el principal uso del maíz es para la alimentación animal (78%) y después para consumo humano (13%), donde su aplicación es diversa. La versatilidad que tienen sus derivados es tal, que pueden encontrarse en un amplio rango de productos industriales.

De los 194 países reconocidos en el mundo, 157 son productores de maíz, 120 de trigo y 112 de arroz (Ortega-Corona *et al.*, 2013). La FAO (2019) indica que Estados Unidos de América ha dominado el comercio mundial del maíz con 34% de la producción total. Otros países productores como China, Brasil, Argentina, Ucrania, Indonesia, India, México, Rumanía y Canadá contribuyen con 46%; el 20% restante lo aportan 147 países. En México, en 2017 la producción de maíz fue de 27.8 Mt, mientras que, en 2020 la superficie sembrada fue de 7.5 Mha, siendo los principales estados productores Sinaloa (22%), Jalisco (14%), México (8%), Michoacán (7%), Guanajuato (6%), Guerrero (5%), Veracruz (5%), Chiapas (5%), Chihuahua (4%), Puebla (4%) y el resto de los estados representan el 20% remanente (SIAP, 2017).

Gran parte del territorio nacional es propicio para su producción, por lo que en los 32 estados de la República Mexicana se produce maíz grano. Según Ortega-Corona *et al.* (2013), los cambios que se pronostican debido a la modificación del clima provocado por las emisiones de gases contaminantes que favorecen la elevación de la temperatura, influirán para que continúe aumentando la superficie destinada al cultivo del maíz, tomando en cuenta su adaptabilidad a diversos ambientes, su potencial de rendimiento, diversidad de cultivares con valor agregado, los componentes nutracéuticos que contiene, su importancia en la alimentación humana y animal y su uso en diversas industrias de transformación. De acuerdo a Polanco y Flores (2008), en México ninguna otra planta cultivada tiene tanta importancia como el maíz, ya que se siembra en todos los estados, climas y altitudes, pero tiene además importantes valores culturales, simbólicos y espirituales. Sin embargo, su amplia diversidad no ha sido explorada a profundidad ni biológica ni genéticamente. Según la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO, 2012), México es el centro de origen del maíz y su diversidad es incomparable dadas sus 59 razas nativas. Las razas de maíz representan un elemento invaluable para estudiar el proceso evolutivo de esta planta; además de que constituyen un reservorio genético para el desarrollo de variedades con resistencia genética a patógenos (Goodman y Brown, 1988) y a condiciones ambientales adversas (Arteaga *et al.*, 2016).

Enfermedades que afectan al maíz

El maíz tiene varios agentes bióticos y abióticos que afectan su producción causando pérdidas que reducen la cantidad y calidad del producto cosechado. De acuerdo a Smith y White (1988), el maíz y los agentes bióticos capaces de causar enfermedades han coevolucionado, originando que aquellos ambientes propicios para el desarrollo del maíz también favorezcan a los patógenos que lo afectan. Dentro de los factores bióticos se encuentran las enfermedades fúngicas como el principal problema (Márquez-Liconá *et al.*, 2020). Entre ellas destacan, la pudrición de mazorca y tallo causada por diferentes especies del género *Fusarium* (Mendoza *et al.*, 2017; Rivas-Valencia *et al.*, 2011), entre las enfermedades foliares sobresalen los tizones ocasionados por *Exserohilum turcicum* y/o *Bipolaris maydis*, las royas

causadas por *Puccinia sorghi* o *P. polysora*, el complejo de la mancha de asfalto (*Phyllachora maydis*, *Monographella maydis* y *Coniothyrium phyllachorae*), la mancha foliar causada por *Cercospora zea-maydis* y el mildiu causado por *Peronosclerospora sorghi* (De León, 2008). En mazorca y espiga, la principal enfermedad es el carbón de la espiga causado por *Sporisorium reilianum* f. sp. *zeae* con reportes de incidencias de hasta 80% (Frederiksen, 1977) y pérdidas en rendimiento del 37.9% (Martínez y Ledezma, 1990).

Roya común. *Puccinia sorghi* Schw.

La roya común del maíz (*Puccinia sorghi*) es una de las enfermedades foliares más frecuentes del cultivo que junto con la roya por polysora (*P. polysora*) y la roya tropical (*Physopella zae*) representan enfermedades fungosas que dañan el área foliar. Afecta a diferentes tipos de maíz y se presenta anualmente con diferentes niveles de severidad dependiendo del cultivar empleado, de las especies presentes del patógeno y de las condiciones ambientales durante el ciclo del cultivo (González *et al.*, 2010). Esta enfermedad tiene distribución cosmopolita, presentándose en climas subtropicales, templados y en tierras altas donde hay bastante humedad (CIMMYT, 2004). A medida que el cultivo de maíz se extendió por todo el mundo desde América Central, *P. sorghi* se diseminó con el cultivo (White, 1999). El principal efecto de la roya común es una reducción del rendimiento de grano en cultivares susceptibles y moderadamente susceptibles. Las estimaciones de pérdidas varían ya que están asociadas con el porcentaje del área foliar afectada en las diferentes etapas de crecimiento del hospedante. Gran parte de la pérdida de rendimiento se debe también a la reducción del tamaño de la semilla (Hooker, 1985). Además, la roya afecta a la planta en otras formas (Kim y Brewbaker, 1976; Martínez, 1977), reduciendo la altura de la planta, el peso de la planta fresca, la longitud y diámetro de la mazorca, el contenido de aceite y de proteínas, y un incremento en la pudrición del tallo. En maíz dulce, el peso fresco y la calidad del grano también pueden reducirse como consecuencia de la infección (Rich y Waggoner, 1979).

Síntomas

La manifestación de la roya es más notable cuando las plantas se aproximan a la floración. En etapas iniciales de infección se le puede reconocer por la presencia de pústulas pequeñas y pulverulentas con formación de uredias con urediosporas de color café claro, tanto en el haz como en el envés de las hojas. Más adelante, la epidermis se rompe y las lesiones se vuelven negras a medida que la planta madura formando telias con teliosporas. El hongo pasa el invierno en las regiones de clima templado en especies de *Oxalis* spp. como hospedante alterno, en donde las plantas infectadas presentan pústulas (aecias con aeciosporas) de color anaranjado. Este es simplemente otro estadio del mismo hongo (CIMMYT, 2004; White, 1999).

Agente causal

El agente causal *P. sorghi*, fue descrito por primera vez por Schweinitz a partir de tejido vegetal pensando que era sorgo al que no infecta *P. sorghi* (Hooker, 1985). Es un hongo perteneciente al grupo Basidiomycota, biotrófico, heteroico y macrocíclico, que involucra cinco estados espóricos, incluyendo urediosporas (estado infectivo), teliosporas, basidiosporas, picniosporas y aeciosporas. El ciclo de vida incluye al maíz como hospedante uredial y telial. Los hospedantes aeciales son varias especies de *Oxalis*, principalmente *Oxalis corniculata* L., *O. stricta* L. y *O. europaea* Jord. (Mains, 1934; Robert, 1962). Las urediosporas (21-30 x 24-33 μm) son globoides a elipsoides, moderadamente equinuladas, de color marrón canela y paredes doradas de 1.5 a 2 μm de grosor (White, 1999). Las urediosporas se dispersan por el viento y la lluvia y continúan reinfectando al maíz durante la temporada de crecimiento. Las teliosporas (14-25 x 28-46-54 μm) reemplazan a las urediosporas en las pústulas a medida que la planta madura. Estas esporas son bicelulares, globoides a elipsoides, de color marrón a negro, con leves constricciones en los septos y adheridas a pedicelos una o dos veces la longitud de las esporas. Las paredes lateral, apical y el pedicelo miden 1-2, 5-7 y 50-80 μm , respectivamente (Cummins, 1941, 1956, 1971). Las aeciosporas (9-13-19 x 18-26 μm) son globoides a elipsoides de color castaño claro y se presentan en especies de *Oxalis*.

Ciclo de la enfermedad y epidemiología

La infección y la diseminación de *P. sorghi* están influenciadas por el ambiente. Temperaturas moderadas, de 17 a 25 °C son óptimas para la germinación de las urediosporas (McKeen, 1951; Weber, 1922). Las teliosporas germinan generalmente en la primavera para formar basidios en los que se producen pequeñas basidiosporas haploides, hialinas, de paredes delgadas. Estas esporas no infectan el maíz, pero germinan y penetran en las hojas de *Oxalis* spp. Las aeciosporas binucleadas son diseminadas por el viento y se depositan en las hojas del maíz. Estas infecciones dan lugar a urediosporas que serán el inóculo secundario del hongo. Las temperaturas moderadas (16-25°C) y la humedad relativa alta (>95%) favorecen el desarrollo y la diseminación de la roya. En general, la diseminación en el campo por urediosporas ocurre mejor cuando el aire es húmedo y las temperaturas bajan durante la noche, lo que resulta en la formación de rocío (Hooker, 1985). Las hojas pueden infectarse incluso en condiciones relativamente secas cuando el tejido del verticilo está húmedo durante el período mínimo requerido para la infección. El tejido de las hojas más jóvenes es más susceptible a la infección que las hojas adultas, posiblemente debido a las diferencias en la morfología de las hojas juveniles y adultas (White, 1999).

Carbón de la espiga. *Sporisorium reilianum* f. sp. *zeae* (Kühn) Langdon and Fullerton.

El carbón de la espiga es una enfermedad importante que puede ocasionar daños económicos significativos en zonas maiceras tanto secas y cálidas, como de altitud intermedia y clima templado (CIMMYT, 2004). Se ha descrito que bajo condiciones que favorecen su desarrollo, alcanza incidencias de hasta 80% (Frederiksen, 1977) y pérdidas en rendimiento del 37.9% (Martínez y Ledezma, 1990). La reducción en la producción causada por *S. reilianum* f. sp. *zeae* se debe principalmente a la infección sistémica y a la formación de soros (masas de teliosporas) que reemplazan parcial o totalmente a la mazorca y a la panoja durante la floración, afectando la producción de grano (Martínez *et al*, 2002). Algunas de las condiciones que favorecen el desarrollo del patógeno son la vulnerabilidad genética de los

cultivares utilizados (Fehr, 1993), el tipo de suelo, nivel de fertilidad, profundidad de siembra, y la temperatura y humedad del suelo (Matyac y Kommedahl, 1985).

Importancia económica del carbón de la espiga

El carbón de la espiga del maíz, causado por *Sporisorium reilianum* f. sp. *zeae* fue descrito por Kúhn en 1875 en un material colectado en Egipto, desde donde se cree se ha diseminado a todo el mundo donde se cultiva maíz y sorgo. Es un problema serio en EE.UU., México, Australia, Nueva Zelanda, China, Sudáfrica, Francia y otros países (Stromberg *et al.*, 1984; Bernardo *et al.*, 1992; Jin *et al.*, 2000). En México, la enfermedad fue reportada por primera vez en Amecameca, Edo. de México, infectando plantas de teocintle (Borlaug, 1946). A la fecha, se ha diseminado por varias regiones del país en localidades de Jalisco, Durango, Puebla, Querétaro, Hidalgo, Guanajuato, Michoacán, Oaxaca, Sonora, Tamaulipas y Aguascalientes, pero su distribución puede ser aún más extensa (Aquino-Martínez *et al.*, 2011). El Bajío es la zona en que ha tenido mayor importancia, causando pérdidas de hasta 30% (Martínez y Ledezma, 1990). Sin embargo, ésta problemática se ha extendido a otros estados del altiplano del país afectando maíces criollos e híbridos comerciales, con incidencias más altas que en el Bajío, mismas que repercuten en la producción. Tal es el caso del Valle del Mezquital, en el Estado de Hidalgo, en donde las pérdidas han alcanzado 50% de la producción, (Aguirre, 1988). Recientemente, esta enfermedad se ha reportado en los valles del Mezquital y de Toluca en donde se siembran semillas de cultivares susceptibles a la enfermedad (De León, 2020). La dispersión del patógeno, así como el incremento de la superficie en que se presenta la enfermedad, está ejemplificado en el Valle del Mezquital en donde en el año 1998 se reportaron 16.6 ha afectadas y en 2003 ya existían 1 275 ha (Pérez *et al.*, 2006). Es por ello que el Mezquital, debido a la alta incidencia de la enfermedad en condiciones naturales, ha sido seleccionado como área experimental para evaluar la respuesta de diverso germoplasma a la infección por *S. reilianum* f. sp. *zeae*. Al respecto, Márquez-Liconá *et al.* (2018), evaluaron la susceptibilidad y/o resistencia a este patógeno en 55 poblaciones de maíz nativo proveniente de Guerrero, Oaxaca, Puebla, Tlaxcala y Estado de México, en un ejido

localizado en ésta región, reportando incidencia de la enfermedad de hasta 50% en algunos cultivares del germoplasma evaluado.

Síntomas

La manifestación de síntomas ocurre en la floración. Los síntomas más notables son: a) el desarrollo anormal de las espigas (panojas), que se deforman desarrollando filodias; b) la formación de masas negras de teliosporas (soros) que se desarrollan en las florecillas masculinas individuales, y; c) el desarrollo de masas negras de teliosporas (soros) que sustituyen a las mazorcas, que dejan al descubierto los haces vasculares desgarrados (CIMMYT, 2004). Se pueden observar síntomas adicionales como el retraso del crecimiento ocasionado por el acortamiento de entrenudos (Stromberg *et al.*, 1984). Asimismo, se ha reportado que antes de afectar la etapa de floración con la formación de los soros en las mazorcas y/o espigas se pueden observar pequeñas manchas cloróticas en las hojas y acumulación de antocianinas en el tallo (Matyac y Kommedhal, 1985; Quezada-Salinas *et al.*, 2017). Estos síntomas son discretos y, a menudo, difíciles de detectar, especialmente en el campo, ya que las manchas cloróticas suelen ser reversibles (Martínez *et al.*, 2002).

Agente causal

El carbón de la espiga del maíz es causado por el hongo *Sporisorium reilianum* f. sp. *zeae* (Kühn) Langdon & Fullerton (Basidiomycota, Ustilaginaceae), sinónimo *Sphacelotheca reiliana* (Khün) Clinton. Es un hongo fitopatógeno dimórfico, que presenta una fase saprofítica haploide y una fase parasítica diplode. Se reproduce por medio de teliosporas de color marrón rojizo a negro, subglobosas, equinuladas, de 9-12 μm de diámetro que bajo condiciones de humedad y temperatura específicas, germinan formando un basidio de cuatro células, formando en cada una de ellas un gran número de basidiosporas, de aspecto de levadura, haploides, hialinas, unicelulares, subglobosas de 7-15 μm (White, 1999) que corresponden a la fase saprofítica haploide (Martínez *et al.*, 2002). Posteriormente, mediante el apareamiento de basidiosporas compatibles, se forma la fase parasítica diplode (Martínez *et al.*, 1999).

Ciclo de la enfermedad y epidemiología

El carbón de la espiga del maíz es una enfermedad sistémica y de origen edáfico (Lübberstedt *et al.*, 1999). Los soros, que sustituyen a las espigas y las mazorcas, envuelven las teliosporas del hongo, las cuales germinan en el suelo y dan origen a basidiosporas haploides que, cuando son compatibles, se fusionan para producir la hifa dicariótica infecciosa que penetra la raíz del maíz (Aquino-Martínez *et al.*, 2011). *S. reilianum* f.sp. *zea* infecta al maíz sólo a través de las raíces, cuando en la mayoría de otros ustilaginales la infección también ocurre por partes aéreas (Martínez *et al.*, 2002). El ciclo de la enfermedad inicia cuando las teliosporas presentes en mazorcas y panojas son diseminadas por el viento y lluvia para finalmente depositarse en el suelo (Martínez *et al.*, 2001), en donde sobreviven hasta cinco años (Matyac y Kommedahl, 1986). La infección ocurre durante la emergencia de las plántulas mediante las teliosporas presentes en el suelo (Xu *et al.*, 1999). En la planta, el hongo actúa como endófito biotrófico en el meristemo floral (Martínez *et al.*, 2000), que es parcial o totalmente invadido durante la esporogénesis (Martínez *et al.*, 2002), produciendo inflorescencias que son reemplazadas por soros negros llenos de teliosporas (Xu *et al.*, 1999). Sin embargo, poco se sabe sobre eventos anteriores de ésta interacción. Se tiene el conocimiento de que este hongo es muy discreto hasta la esporogénesis con síntomas que rara vez se perciben en las partes vegetativas de la planta. El crecimiento del micelio hasta el meristemo apical es importante en el desarrollo del hongo porque la esporogénesis depende de su presencia en el meristemo floral. Esta es una fase importante para el cultivo ya que el nivel de colonización por el hongo en el ápice puede causar la destrucción parcial o total de la mazorca después de la esporulación, resultando en pérdida total de rendimiento (Martínez *et al.*, 1999). La esporulación en la mazorca puede ser independiente de los soros en la espiga, aunque las plantas con carbón apical generalmente presentan soros con teliosporas sustituyendo la mazorca (Wang y Wang, 1989; Márquez-Licona, 2018).

Mecanismos de defensa de las plantas

El ataque de patógenos de origen biótico es una condición desfavorable que sufren las plantas y que, mediante la interacción planta-patógeno, se activan mecanismos

de defensa que funcionan como armas químicas y bioquímicas especializadas, cuyo fin es detener, aminorar o contrarrestar la infección. Estos mecanismos van asociados a un tipo de respuesta que se ha clasificado en dos categorías: uno de defensa constitutiva o preexistente y otro de respuesta inducible. Ambos sistemas de defensa son específicos según la especie resultantes de la memoria genética y la capacidad de la planta de sintetizar sustancias antipatógenicas (García y Pérez, 2003; Tofiño *et al.*, 2007).

Defensa constitutiva

Los sistemas de defensa constitutiva o preformada, se dividen en estructurales que incluyen la formación de cutinas, suberinas, ceras y tricomas, denominadas respuestas no activas, presentes esté o no la planta ante el ataque de un patógeno. En el caso de la lignina, a pesar de ser constitutiva de la planta, se convierte en un mecanismo de defensa que deja de considerarse pasivo, ya que su síntesis puede verse incrementada o disminuida ante el ataque de un patógeno o diversas condiciones ambientales (Heil, 2000, 2004). También se encuentran las llamadas defensas constitutivas activas, compuestas por sustancias asociadas a productos del metabolismo secundario, sintetizadas por la planta, que la protejen del ataque de patógenos generando condiciones adversas para su crecimiento en las células vegetales, como es el caso de algunos terpenos, fenoles, flavonoides, isoflavonoides, glucosinolatos, glicosidos cianogénicos, aminoácidos no proteicos y algunas proteínas, presentes en solanáceas, opiáceas, vides, entre muchas otras (Segura, 2006; Thatcher, 2005; Madriz, 2002).

Defensa inducida

Los sistemas de defensa inducida, también conocidos como resistencia inducida, se activan solamente como respuesta al ataque de un patógeno mediante sustancias que estimulan su reconocimiento y actúan sobre la planta impidiendo o retrasando la entrada del patógeno limitando su actividad en el tejido infectado (Collinge *et al.*, 1994). Es decir, cuando las plantas reconocen que están siendo afectadas por un patógeno, se pueden inducir varias respuestas a través de un factor llamado “elicitor” o “inductor” (Kiba *et al.*, 1996). Este es el caso de la

resistencia inducida la cual considera que las armas con las cuales las plantas se defienden involucran un gran número de moléculas exógenas denominadas inductores o agentes inductores (Cavalcanti, 2005), las que, al ser reconocidas por moléculas endógenas, activan el nivel de resistencia de las plantas, tanto a nivel local como en puntos distantes al sitio de infección, así como de participar en otras actividades fisiológicas (Schreiber y Desveaux, 2008; Gómez y Reis, 2011). Esta respuesta se inicia localmente al poco tiempo de detectarse el ataque del patógeno y puede amplificarse a toda la planta dependiendo del tipo de respuesta generada por el señalizador (Pérez *et al.*, 2016; Dotor y Cabezas, 2014). Es así como la resistencia inducida surgió como una importante alternativa de control de fitopatógenos (Barbosa *et al.*, 2008), que mediante la aplicación de bioproductos o productos químicos sintéticos que no actúen directamente contra los fitopatógenos, pero sí activando los procesos fisiológicos y bioquímicos propios de la planta evitando o reduciendo el progreso de la enfermedad (Guevara y Rodríguez, 2006).

Antecedentes y bases químicas de la resistencia inducida (RI)

El fenómeno biológico de RI se considera un método de manejo de enfermedades que se inicia a partir del documento publicado por Ray (1901), con el título: Ensayo de inmunización de las plantas contra enfermedades fúngicas. Este autor inoculó plantas de begonia con una cepa débilmente virulenta del hongo *Botrytis cinerea* y observó que esta cepa proporcionó resistencia a cepas más virulentas del hongo (Pers. & F.). Años más tarde, Carbonne y Kalaljev confirmaron éstos estudios y mostraron que éste tipo de resistencia también dependía del estado de la planta hospedante (Kessmann *et al.*, 1994). No obstante, la primera evidencia bioquímica de RI fue descubierta en 1959 por Kuc (Delgado-Oramas, 2020) a quien muchos consideran el "padre" de la investigación de la RI. Los primeros experimentos de Kuc y asociados, están relacionados con el fenómeno de la RI contra la roña del manzano. Desde entonces, diversos estudios han demostrado que las plantas tienen la capacidad de defenderse de agentes fitopatógenos a través de RI, considerando a la susceptibilidad como una excepción a lo que ocurre en forma natural (Gómez y Reis, 2011; Agrios, 2005). Riveros, 2001 menciona que esta resistencia no evita la aparición de la enfermedad, sino que reduce su severidad.

En comparación con el control químico tradicional, la RI por agentes bióticos o abióticos no tiene efectos inmediatos drásticos en la reducción de la enfermedad, pero tiene un efecto más duradero. La reacción de resistencia comienza poco después de la aplicación del agente inductor y los beneficios duran entre tres semanas y dos meses, aunque existen reportes de duración de la resistencia hasta por seis meses (Kuc, 2001). La efectividad de esta tecnología también depende del diagnóstico y detección de la enfermedad y de la habilidad de la planta para activar sus defensas en períodos de desarrollo críticos cuando la planta es más susceptible, ya que la RI parece ser inefectiva una vez el patógeno se ha establecido (Vallad y Goodman, 2004). De acuerdo a Kuc, 2001 la ISR es más eficaz contra los hongos, menos eficaz contra las bacterias y menos eficaz contra los virus sistémicos. Algunos agentes químicos que inducen ISR son más eficaces contra algunas enfermedades que contra otras.

Tipos de resistencia inducida

El término RI identifica el fenómeno en su forma general, sin ahondar en un tipo específico de expresión o regulación de las defensas en las plantas. En la inducción de la defensa, el reconocimiento planta-patógeno juega una función central. Las plantas desarrollan respuestas que se activan de manera sistémica luego de la infección local, para aumentar la magnitud y velocidad de la respuesta defensiva (Delgado-Oramas, 2020). Así, las dos formas más definidas de respuesta sistémica son la Resistencia Sistémica Adquirida (RSA) y la Resistencia Sistémica Inducida (RSI), que, aunque son distintas, fenotípicamente son semejantes. La similitud se basa en que las plantas, después de ser expuestas a un agente inductor, activan sus mecanismos de defensa tanto en el sitio de infección como en áreas más distantes (respuestas sistémicas), de manera más o menos generalizada (Cavalcanti *et al.*, 2005). La diferencia entre RSA y RSI radica en la naturaleza del elicitador (molécula presente en el inductor) y las vías de señalización. De acuerdo al tipo de agente inductor o elicitador, un tipo de respuesta considera que la resistencia puede ser activada por la presencia sobre el tejido vegetal de organismos como hongos, virus, bacterias, nemátodos e incluso de insectos herbívoros, conocida como inducción biótica. Además, imitando la presencia de un patógeno o insecto, la

resistencia también puede ser generada por la presencia de moléculas sintéticas depositadas sobre los órganos vegetales, denominada inducción abiótica (Kuc, 2001). Respecto a las vías de señalización, la RSA es dependiente del ácido salicílico en asociación con la acumulación de las proteínas relacionadas con la patogénesis (PRP). En cambio, las señales generadas por la RSI, solamente siguen la ruta del ácido jasmónico y etileno y no involucra la síntesis de proteínas relacionadas con la patogénesis (Vallad y Goodman, 2004).

También, la RSI es potenciada por microorganismos como las rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal (PGPR), en la interacción planta-microorganismo (Elsharkawy *et al.*, 2012). Así, las dos vías de resistencia conducen al mismo final, siendo diferentes los genes, las vías y las señales químicas. Aunque las rutas son diferentes, pueden trabajar sinérgicamente y, en ambos casos, los genes relacionados con las defensas se expresan rápidamente y en elevados niveles ante la infección de un patógeno (Delgado-Oramas, 2020).

Inductores de resistencia

Para la activación de la RI es necesario que el patógeno sea detectado en el interior de la planta, lo cual ocurre a través de un proceso que incluye la presencia de un inductor o elicitor (Cavalcanti *et al.*, 2006; Farouk y Osman, 2011). Según Walters (2005), este elicitor generalmente proviene, y es específico para cada patógeno y requiere un receptor del ataque en el interior de la planta para que se induzca la respuesta de resistencia (Tripathi, 2010). Los inductores pueden clasificarse de acuerdo a su origen y naturaleza (Vargas, 2015). De acuerdo a su origen, se encuentran los inductores endógenos, que se producen naturalmente dentro de la planta al detectar la necesidad de crear defensas y los inductores exógenos que son creados por elicitores externos que se aplican para inducir la producción de defensas en la planta previniendo un ataque. Los inductores exógenos, pueden clasificarse según su naturaleza en bióticos y abióticos. Las moléculas activadoras exógenas bióticas producidas *in vivo*, son liberadas espontáneamente en los filtrados de cultivo de microorganismos patógenos o no, o pueden extraerse de tejido infectado por infiltración de un tampón que lave los espacios intercelulares donde ha estado colonizando el patógeno biotrófico (Riveros y Lepoivre 1998,

Waldmüller *et al.* 1992). En cuanto a las moléculas activadoras exógenas abióticas, que son sustancias producidas de forma sintética y en escala comercial, existen varios productos, incluyendo los denominados inductores químicos, que actualmente constituyen una nueva clase de pesticidas, llamados “fungicidas de cuarta generación” por su efecto completamente diferente de los fungicidas conocidos (Pascholati *et al.*, 2008). Esta diferencia es principalmente debida al mecanismo de acción de los inductores basado en conocimientos sobre inducción de resistencia (Gómez y Reis, 2011). Según Sticher *et al.* (1997) un producto químico es considerado inductor cuando cumple tres criterios básicos: 1) el compuesto y sus derivados no exhiben actividad antimicrobiana *in vitro* ni *in vivo*, 2) modifica la naturaleza de la interacción planta-patógeno de tal manera que parezca una asociación incompatible, induciendo mecanismos de defensa y, 3) es capaz de proteger plantas contra patógenos en diferente grado dependiendo de la magnitud de las defensas que fueron activadas. Entre estos se encuentran fosfitos de potasio o calcio, ácido salicílico, ácido jasmónico, etileno, cloruro férrico, especies de oxígeno activo, así como inductores propiamente dichos como acibenzolar S-metil, probenazole y fosetil aluminio, entre otros (Gómez y Reis 2011). El primer químico activador de resistencia, Probenazole, originalmente se registró en 1975 en Japón, como Oryzemat[®]. Desde entonces, muchos otros activadores han sido desarrollados como el Acibenzolar-S-metil (ASM), registrado como Actigard[®] (Syngenta), Proteína Harpin como Messenger[®] (Plant Health Care), entre otros (Walters *et al.*, 2013). Su empleo se ha reportado en varios cultivos incluyendo algunas leguminosas y monocotiledóneas, cucurbitáceas, arroz, algodón, banano, papa, tomate, tabaco, cacao, cítricos y muchos otros (Gómez y Reis, 2011). La aspersion es una forma común de utilización de éstas sustancias sintetizadas (Pascholati, 2008) y su uso ha sido reportado en varias investigaciones en laboratorio, invernadero y/o campo. De éste modo, el interés en las moléculas estimuladoras de los mecanismos naturales de defensa de la planta, de aplicación exógena, surgió por su contribución al control de patógenos y plagas, ya que presentan el potencial de disminuir y/o evitar el riesgo de desarrollo de poblaciones de patógenos o plagas resistentes a productos químicos, contrarrestar parcialmente

los daños químicos ocasionados por los pesticidas y originar un incremento del rendimiento de los cultivos (Delgado-Oramas, 2020). La eficiencia de los inductores de resistencia en el manejo de enfermedades depende de numerosos factores, como son el genotipo del hospedante y del patógeno, la dosis, la frecuencia de aplicación y la fitotoxicidad, entre otros (Walters, 2010; Castaño-Monsalve *et al.*, 2015). Su utilización está recomendada siguiendo un manejo integrado de enfermedades incluyendo los diferentes métodos de control incluyendo genético, biológico, cultural, químico y legal (Gómez y Reis, 2011). Los inductores de resistencia no necesariamente reemplazan a los fungicidas o bactericidas tradicionales pero su utilización alternada, o en conjunto, con éstos pesticidas puede llegar a reducir el número de aplicaciones y la dosis de aplicación. Además, se debe considerar que la activación de diferentes mecanismos de defensa disminuye el riesgo de desarrollar resistencia a éste tipo de productos.

Actigar (Acibenzolar S-metil: ASM)

Acibenzolar S-metil (ASM), es un inductor de resistencia sistémica adquirida (RSA) considerado como uno de los inductores químicos disponibles más estudiados. Su efecto fue reportado por primera vez en *Tobacco mosaic virus* (TMV) en tabaco (Ross, 1961; Vallad y Goodman, 2004; Walters *et al.*, 2005). El interés en éste producto se debe a la protección en varias especies de plantas contra un amplio espectro de fitopatógenos, incluyendo hongos, bacterias, nemátodos, virus y plantas parásitas (Buzi *et al.*, 2004; Cosme *et al.*, 2015; Mejia *et al.*, 2009). El ASM actúa como un análogo funcional del ácido salicílico en la vía de señalización de la RSA, influencia la expresión de genes y la actividad de varias enzimas relacionadas con la resistencia, así como la producción de lignina y compuestos fenólicos (Malolepsza, 2006). También, su aplicación incrementa la actividad de las proteínas relacionadas con la patogénesis, además de la quitinasa y peroxidasa, así como otras respuestas fisiológicas a enfermedades (McConchie *et al.*, 2007). La evidencia en estudios citológicos muestra que el efecto de protección ejercido por el ASM, puede explicarse por la reducción en el grado de colonización fungosa en tejidos radicales asociada con acumulación masiva de aposiciones de la pared que actúan como barreras estructurales. Este proceso de reforzamiento, mediado por

deposición temprana de calosa y fenoles, probablemente conduce a cambios drásticos tanto en la rigidez como en la vulnerabilidad de las células y tejidos (Benhamou, 1996). El ASM es absorbido por raíces, hojas y tallos y distribuido rápidamente por el xilema y floema, generalmente se aplica en aspersión foliar, pero también puede inducir resistencia sistémica cuando se aplica a la semilla (Morris *et al.*, 1998; Geetha y Shetty, 2002). Görlach *et al.* (1996) reportaron control de cenicilla, mancha foliar por *Septoria* (*Septoria* spp.) y roya foliar (*Puccinia recondita*) en trigo con la aplicación del ASM. Este inductor también mostró control del mildiu veloso del maíz causado por *Peronosclerospora sorghi* en campo cuando se aplicó como tratamiento a la semilla (Morris *et al.*, 1998).

Alliete (Fosetil aluminio)

El fosetil aluminio es el producto químico sistémico con fósforo más comercializado para el manejo de enfermedades. Este producto entró al mercado en los años 1970s cuando la compañía Francesa Rhône-Poulenc lo ofreció como ingrediente activo para el control de mildius y enfermedades causadas por el género *Phytophthora* (Achary *et al.*, 2017; Tkaczyk *et al.*, 2016). El producto controla eficientemente enfermedades foliares, del tallo y raíz causados por microorganismos del Phylum Oomycota como *Phytophthora*, *Pythium* y aquellos causantes de mildius en varios cultivos, además posee la característica de estimular reacciones de defensa contra el ataque de estos patógenos (Agrios, 2005). González y Menéndez (2007) reportaron una disminución del desarrollo del hongo *Pythium tracheiphilum*, utilizando Fosetyl-Al. Tremacoldi *et al.* (2010) en experimento *in vitro* encontraron que Fosetyl-Al y otros derivados mostraron una inhibición del crecimiento del micelio del hongo *Lasiodiplodia theobromae*. Acuña y Grabowski (2012) evaluaron en trigo la inducción de resistencia a la mancha amarilla (*Drechslera tritici-repentis*) y marrón (*Bipolaris sorokiniana*) mediante inductores de resistencia, entre ellos Fosetyl-Al, por medio de la insensibilidad *in vitro* de los patógenos y la eficiencia en el control de las enfermedades que ocasionan, reduciendo la severidad. Sus resultados probaron el efecto inhibitorio de Fosetyl-Al, siendo el producto que mostró el menor crecimiento de los patógenos *in vitro* con relación a otros productos. Al confirmar *in vivo* su respuesta en reducir la severidad de las manchas foliares, su efecto no

sobresalió ya que redujo el índice de severidad solamente en 46%. Sticher *et al.* (1997) y Acuña y Grabowski (2012) indican que no es posible demostrar que éste compuesto llene los requerimientos para ser considerado como inductor por su actividad antimicrobiana, sin embargo, es un potente elicitor de fitoalexinas sugiriendo su posible efecto inductor. Existen investigaciones que muestran que la aplicación de Fosetyl-Al participa en la producción de fitoalexinas y otros compuestos fenólicos, aunque otros estudios demuestran que la acumulación de fitoalexinas en plantas tratadas con Fosetyl-Al fue igual que en las plantas no tratadas, por lo que la respuesta de defensa en el hospedante no se puede asociar a las fitoalexinas (Guest, 1986). Lo anterior, según el criterio para determinar que un compuesto o sustancia sea inductor, involucra que no posea actividad antimicrobiana, pero que induzca a la planta a promover procesos bioquímicos que le confieran resistencia a enfermedades como activador biológico, impidiendo o retrasando la entrada del patógeno y limitando su actividad en el tejido y órgano (Kessmann *et al.*, 1994). Al respecto, Acuña y Grabowski (2012) afirman que el Fosetyl-Al no tiene características de un inductor de resistencia ya que presentó inhibición del crecimiento de la bacteria *Xanthomonas campestris pv. sesami* en condiciones *in vitro* pero no redujo la intensidad de la enfermedad *in vivo*.

Consist Max® (Trifloxystrobin+tebuconazol)

Consist Max® es un fungicida sistémico de acción preventiva y curativa que combina dos modos de acción para el control efectivo de enfermedades como cenicillas y royas. Los fungicidas estrobilurina y triazol son una adición importante a los productos químicos para el control de enfermedades de las plantas (Sharma *et al.*, 2019). Trifloxistrobina (metil (2E)-2-(metoxiimino)-2-[2-({[(E)-{1-[3-(trifluorometil) fenil] etiliden} amino] oxi } metil) fenil] acetato), es un fungicida selectivo de amplio espectro con actividad contra los hongos fitopatógenos en las clases *Ascomycetae*, *Deuteromycetae*, *Basidiomycetae* y *Oomycetae* (Kegley *et al.*, 2016). Inhibe la respiración en las células fúngicas al dirigirse al citocromo bc₁ en las mitocondrias. Además, actúa sobre la membrana celular afectando el crecimiento del tubo germinativo, la formación de apresorios, haustorios y otros órganos de fijación de los hongos (Romero-Velázquez *et al.*, 2015).

Se ha reportado que las subpoblaciones de hongos resistentes a estrobilurinas se controlan con fungicidas sistémicos de triazoles cuyo mecanismo de acción es diferente al de las estrobilurinas (Gisi *et al.*, 2002). Uno de estos fungicidas de triazol es el tebuconazole (RS-1-(4-clorofenil)-4,4-dimetil-3-(1H, 1,2,4-triazol-1-il metil) pentan-3-ol), inhibidor de la biosíntesis de ergosterol con acciones protectoras, curativas y erradicantes (Damicone, 2016; Kegley *et al.*, 2016; Klix *et al.*, 2007). Mientras que la trifloxistrobina controla la mancha café de pastos, mildiú polvoriento, sarna y mancha foliar de manzana, maní, uva y cucurbitáceas; el tebuconazol controla la roya, el mildiú polvoroso, las roñas y el tizón temprano de varias frutas y verduras (Mohapatra, 2014; Sahoo *et al.*, 2012). Debido al uso excesivo y repetitivo de fungicidas sistémicos, los hongos fitopatógenos tienden a desarrollar resistencia (Gisi *et al.*, 2002; Sierotzki y Scalliet, 2013), provocando una reducción en su eficiencia como fungicida del 15-80% (Blake *et al.*, 2017; FRAC, 2020; Hahn, 2014; Lucas *et al.*, 2015), o hasta el 100% (Pérez-Vicente, 2013). En estos casos, la eficiencia puede incrementarse mediante el uso de un nuevo fungicida o una combinación de fungicidas con modos de acción y que actúen en múltiples sitios de reacción del patógeno, como es el caso de la asociación trifloxystrobin y tebuconazol (Toquin *et al.*, 2009, 2012). Se ha demostrado que la aplicación de tebuconazole antes de la esporulación y trifloxistrobina después de la esporulación de las colonias es eficaz para controlar infecciones de *Erysiphe necator* (Schwein) Burrill en viñedos (Deliere *et al.*, 2010). Saha *et al.*, (2014) reportaron la eficacia *in vitro* e *in vivo* del fungicida combinado trifloxistrobina 25% + tebuconazol 50% contra el tizón temprano del jitomate causado por *Alternaria solani*. Gálvez-Patón *et al.* (2017) evaluaron el efecto *in vitro* de tres fungicidas en el crecimiento micelial de *Fusarium proliferatum*, siendo Flint Max®, con ingrediente activo tebuconazole+trifloxistrobina, el fungicida más efectivo en la inhibición del crecimiento micelial. También, Romero-Velázquez *et al.* (2015) reportaron la eficiencia del fungicida Tebuconazole+trifloxystrobin (Consist Max®) para controlar el crecimiento *in vitro* de *Didymella bryoniae* y *Fusarium oxysporum*. Existe también la evidencia del control efectivo de éste fungicida en Pucciniales. Pathan *et al.*, (2020) comprobaron la eficiencia de Tebuconazole+trifloxystrobin en la inhibición *in*

vivo de la roya del mirto (*Austropuccinia psidii*), en especies endémicas de Nueva Zelanda. Adicionalmente, Zúñiga-Silvestre *et al.* (2020) constataron la eficiencia del fungicida Consist Max® en el control de *Puccinia sorghi* en plantas de maíz.

***Bacillus* spp.**

Se ha demostrado que varias especies del género *Bacillus* inhiben el desarrollo de diferentes agentes fitopatógenos en cultivos como maíz, arroz y frutales, entre otros (Samaniego-Gómez *et al.*, 2017; Wang *et al.*, 2014; Li *et al.*, 2015). En la actualidad, especies como *B. subtilis*, *B. thuringiensis*, *B. pumilus*, *B. amyloliquefaciens* y *B. licheniformis* han sido estudiadas para reducir la incidencia de enfermedades de importancia agrícola (Raaijmakers y Mazzola, 2012). Entre las principales vías por las que estas cepas evitan el establecimiento y desarrollo de organismos fitopatógenos es a través de diferentes mecanismos incluyendo: a. la excreción de antibióticos, b. sideróforos, c. enzimas líticas, d. toxinas y e. induciendo resistencia sistémica de la planta (Layton *et al.*, 2011; Tejera-Hernández *et al.*, 2011). En éste último mecanismo, ha sido documentada la protección de cultivos agrícolas mediante la inducción de resistencia sistémica utilizando cepas del género *Bacillus* (Choudhary and Johri, 2009). Además, se debe considerar que la RSI es potenciada por rizobacterias PGPR, como sucede con *Bacillus* spp. en la interacción planta-microorganismo (Elsharkawy *et al.*, 2012). El efecto de especies de *Bacillus* como elicitores de RSI se ha descrito en cultivos agrícolas incluyendo tabaco, pepino, sandía, jitomate y chile contra enfermedades ocasionadas por hongos, nemátodos, bacterias y virus (Kloepper *et al.*, 2004), que resultan en una reducción del grado de la enfermedad. La obtención de RSI por éstas cepas se ha demostrado en ensayos de campo o invernadero. Se ha reportado que *B. subtilis*, *B. cereus*, *B. amyloliquefaciens*, *B. pasteurii*, *B. pumilus*, *B. mycoides* y *B. sphaericus* presentan la capacidad de inducción de resistencia hacia fitopatógenos (Choudhary y Johri, 2009; Kloepper *et al.*, 2004). Estas bacterias se caracterizan por producir diversas moléculas elicitoras que inducen respuesta sistémica en plantas, incluyendo lipopéptidos (Chowdhury *et al.*, 2015), fitohormonas (Ryu *et al.*, 2003) y compuestos volátiles. Estos últimos activan genes PR que protegen de la invasión de agentes patógenos, lo que se ha observado en plantas de tabaco donde PR2 codifica por

una β -1,3 glucanasa y PR3 codifica por una quitinasa que fueron activados en respuesta a compuestos volátiles de *Bacillus* sp., confiriendo resistencia a *Rhizoctonia solani* y *Phytophthora nicotianae* (Kim *et al.*, 2015). Además de los genes PR, *Bacillus* activa otros mecanismos de protección en plantas incluyendo cambios estructurales en la pared celular mediante la acumulación de lignina (Singh *et al.*, 2016) o la producción de metabolitos secundarios como flavonoides, fitoalexinas, auxinas o glucosinolatos en general (Pretali *et al.*, 2016). Singh *et al.* (2016) comprobaron este efecto al inocular *Bacillus amyloliquefaciens* B-16, que indujo la producción de múltiples proteínas PR y metabolitos secundarios como ácidos gálico y ferúlico, confiriendo resistencia contra *Bipolaris sorokiniana*. Zhang *et al.* (2009) aplicaron *B. subtilis* en tratamiento a semilla y directo al suelo en cultivo de soya para controlar *Fusarium oxysporum* y *F. graminearum* mostrando una reducción en la severidad de pudrición de raíces de 68 a 74%. También, Romero-Velazquez *et al.* (2015) reportaron que la inoculación con *B. subtilis* mostró un control biológico eficiente *in vitro* contra *Didymella bryoniae* y *Fusarium oxysporum*. Además, la mayoría de *Bacillus* spp. que provocan RSI también incrementan el redimiento de las plantas (Kloepper *et al.*, 2004). Desde la década de 1990, varios productos basados en rizobacterias promotoras del crecimiento de las plantas PGPR se comercializaron en EEUU y se siguen desarrollando otros. La mayoría de estos productos contienen cepas de *Bacillus* PGPR que, como se ha mencionado, inducen respuestas como RSI en las plantas (Choudhary y Johri, 2009; Kloepper *et al.*, 2004). Las vías de transducción específicas promovidas durante la RSI por *Bacillus* spp. varían dependiendo de la cepa bacteriana, la planta hospedante y el patógeno (Kloepper *et al.*, 2004).

Serenade® ASO (*Bacillus subtilis*)

Bacillus subtilis QST713, comercialmente Serenade® ASO, es un fungicida-bactericida de acción preventiva en el control o supresión de las enfermedades causadas por patógenos (Romero-Velázquez *et al.*, 2015). Este producto ha sido utilizado para inducir resistencia sistémica a enfermedades causadas por diferentes patógenos incluyendo oomicetos, hongos bacterias, nemátodos y virus. *B. subtilis* induce resistencia sistémica en las plantas hospedantes a través de la liberación de

compuestos volátiles como acetoína y 2,3-butanodiol (Kobayashi *et al.*, 2014). La eficiencia de Serenade®ASO se ha comprobado en frutales y hortalizas en el control de hongos fitopatógenos incluyendo especies de *Pythium*, *Rhizoctonia*, *Fusarium* y *Phytophthora*, entre otros (Villarreal-Delgado *et al.*, 2018). Reiss y Jørgensen (2017) reportaron la eficiencia de este producto al reducir la severidad de la roya amarilla del trigo (*Puccinia striiformis* f.sp. *tritici*) hasta un 60%, bajo una presión de enfermedad moderada. Lahlali *et al.*, 2013 reportaron que este biofungicida fue eficaz en reducir la infección de canola por *Plasmodiophora brassicae*. Otros reportes sugieren que *B. subtilis* induce resistencia contra *Aspergillus niger* en cacahuate (*Arachis hypogea*) (Syed *et al.*, 2020).

Poncho Votivo (*Bacillus firmus* + clotianidin)

Poncho Votivo® es un insecticida/nematicida sistémico que las raíces absorben de inmediato, promoviendo el crecimiento de plantas y raíces (Vagedes y Lindsey, 2020). El ingrediente activo, clotianidin (E)-1-(2-Cloro-1,3-tiazol-5-ilmetil)-3-metil-2-nitroguanidina (poncho), proporciona un control eficiente de insectos protegiendo a la planta encima y bajo el suelo (Poncho VOTIVO Seed Treatment, 2019). El componente, *Bacillus firmus* (votivo) bacteria Gram-positiva es benéfica por su protección del sistema radicular de maíz, algodón y soya contra la invasión de nemátodos parásitos de plantas (Tian *et al.*, 2007), colonizando rápidamente la rizosfera y compitiendo con los nemátodos por los exudados de las raíces, lo que reduce la atracción de nemátodos hacia las raíces, no matando a los nemátodos sino actuando como repelente. Mendoza *et al.* (2008) reportaron que *B. firmus* causa parálisis y mortalidad de *Radopholus similis*, *M. incognita* y *Ditylenchus dipsaci*, reduciendo la eclosión de huevos de *M. incognita*. Otros reportes indican que algunos aislamientos de *B. firmus* han reducido el daño causado por nemátodos agalladores (Giannakou *et al.*, 2004; Keren-Zur *et al.*, 2000; Mendoza *et al.*, 2008). El rendimiento de maíz en terrenos infestados con *Pratylenchus* spp. mejoró ligeramente cuando se trató la semilla con *B. firmus*, pero no afectó la densidad de nemátodos en el suelo y raíces (Jackson y Behn, 2010). También, se ha demostrado que *B. firmus* I-1582 (Bf I-1582) desencadenó resistencia sistémica en soya (*Glycine max*) infectada con *Heterodera glycines* y en algodón (*Gossypium hirsutum*)

parasitado por nemátodos agalladores pero no en maíz infectado con *M. incognita* (Schrimsher, 2013; Gattoni *et al.*, 2018).

Ácido acetyl salicílico (Acido 2-hidroxibenzoico)

El ácido salicílico, AS (ácido 2-hidroxibenzoico), es una hormona fundamental que desempeña funciones directas o indirectas en la regulación del crecimiento de las plantas así como en la resistencia a enfermedades (Vlot *et al.*, 2009). El AS induce resistencia sistémica adquirida (RSA), que al activarse proporciona una resistencia de amplio espectro contra una amplia gama de patógenos (Maldonado-Cruz *et al.*, 2008; Dotor y Cabezas, 2014). Durante la RSA, las plantas producen una o más señales que activan el mecanismo de resistencia en las partes no infectadas, preconditionando a la planta para resistir más ataques (Bektas y Eulgem, 2015). Desde finales de los años 1970s se ha reportado que el tratamiento de las plantas de tabaco con AS induce la expresión de genes de defensa (White, 1979) y aumenta la resistencia a la infección por el virus del mosaico del tabaco (TMV), que se manifiesta por una reducción del 90% en el número de lesiones en el tejido analizado (Bektas y Eulgem, 2015; Kumar, 2014). También, se ha reportado que la aplicación de AS a las plantas conduce a la acumulación de proteínas relacionadas con la patogénesis (Kumar, 2015). De igual manera, la importancia del AS en la señalización de RSA se demostró en experimentos posteriores con plantas transgénicas que sobreexpresan un gen de salicilato hidroxilasa bacteriano (gen nahG) que reduce eficazmente el nivel de AS endógeno y hace que la planta sea susceptible a enfermedades (Bektas y Eulgem, 2015). El papel del AS como señal de defensa se ha extendido a muchas especies de plantas. En calabacita se ha encontrado que el AS podría funcionar como un compuesto que transmite la señal de resistencia contra el TNV (Tobacco Necrosis Virus) (Mettraux *et al.*, 1990). El AS también ha mostrado ser útil en cultivos de jitomate hidropónico susceptible a infecciones fúngicas ya que su aplicación exógena activa la RSA contra *Alternaria solani* (Spletzer y Enyedi, 1999). En plátano también se ha demostrado el efecto del AS al controlar el desarrollo de *Colletotrichum* sp. sin alterar la calidad postcosecha de los frutos (Berumen *et al.*, 2015). La eficiencia del AS como inductor también se comprobó en la reducción de severidad de la septoriosis o mancha de la hoja del

trigo ocasionada por *Mycosphaerella graminicola*, incrementando el número de granos por espiga con un incremento del rendimiento (Ramos, 2016). Sin embargo, la glicosilación rápida del AS y su fitotoxicidad reprimen su eficiencia como producto fitosanitario, por lo que se han sintetizado varios análogos estructurales y funcionales estables más eficientes (Tripathi *et al.*, 2019).

V. MATERIALES Y MÉTODOS

Descripción del área de estudio

El estudio se realizó en dos áreas experimentales de la región del Valle del Mezquital, Estado de Hidalgo, durante el ciclo agrícola primavera-verano 2020. El primer experimento se estableció en el Centro de Innovación y Desarrollo Tecnológico del Ejido de Cinta Larga, Municipio de Mixquiahuala (CL) (20° 11' N, 99° 14' W, 2030 msnm). La siembra se realizó manualmente el 12 de marzo, a densidad de 85 000 semillas ha⁻¹. El segundo experimento se estableció con siembra mecanizada el 27 de marzo con la misma densidad de siembra, en el Campo Experimental Agrícola del Campus Central de la Universidad Politécnica de Francisco I. Madero (UPFIM), en Tepatepec (20°13' N, 99°05' W, 1980 msnm). Las prácticas de manejo del cultivo se realizaron de acuerdo al sistema de los sitios experimentales.

Diseño y desarrollo del experimento

Cada experimento se estableció utilizando un diseño de parcelas sub-subdivididas, con tres repeticiones (Cuadro 1), en donde las sub-sub parcelas representaron los seis productos químicos, incluyendo los fungicidas trifloxystrobin + tebuconazole (Consist Max®) y fosetil aluminio (Alliete®), y los inductores de resistencia *Bacillus subtilis* (Serenade® ASO), *Bacillus firmus* + clotianidin (Poncho Votivo®), Acibenzolar S metil (Actigard® 50 GS), ácido acetil salicílico (AAS) y un testigo absoluto (agua). Las sub parcelas incluyeron tres dosis en cada tratamiento incluyendo la dosis recomendada (100%), la mitad de la dosis recomendada (50%) y la dosis recomendada más el 50% (150%). Las parcelas mayores incluyeron dos etapas fenológicas de aplicación de los tratamientos en etapa V7 y VT (Hanway, 1966), en las que se realizó una aspersion foliar en el estado fenológico respectivo.

Las unidades experimentales fueron 147 parcelas de 4.8 m² cada una, con dos surcos de 3 m de largo, 0.75 m entre surcos y 25 cm entre plantas. La evaluación de los productos consistió en tres métodos: 1. aplicar cada uno de los seis productos como inductores de resistencia, 2. a partir de la dosis comercial recomendada seleccionar otras dosis para conocer su capacidad de superar la comercial y, 3. determinar la etapa fenológica con mejor eficiencia de control.

Cuadro 1: Tratamientos evaluados en la inducción de resistencia en el cultivo de maíz para *Puccinia sorghi* y *Sporisorium reilianum* f. sp. *zeae*.

Sub-sub parcelas	Sub parcelas			Parcelas mayores
	Dosis			Etapa fenológica*
Producto e ingrediente activo	50%	100%	150%	
Actigard® 50 GS (Acibenzolar S metil)	25 g ha ⁻¹	50 g ha ⁻¹	75 g ha ⁻¹	Foliar (V7) Foliar (VT)
Alliete® (Fosetil aluminio)	1.25 kg ha ⁻¹	2.5 kg ha ⁻¹	3.75 kg ha ⁻¹	Foliar (V7) Foliar (VT)
Consist Max® (trifloxystrobin+tebuconazol)	150 ml ha ⁻¹	300 ml ha ⁻¹	450 ml ha ⁻¹	Foliar (V7) Foliar (VT)
AAS (Ácido acetil salicílico)	0.5 g L ⁻¹	1 g L ⁻¹	2 g L ⁻¹	Foliar (V7) Foliar (VT)
Poncho® Votivo (<i>Bacillus firmus</i> + clotianidin)	40 ml ha ⁻¹	80 ml ha ⁻¹	120 ml ha ⁻¹	Foliar (V7) Foliar (VT)
Serenade® ASO (<i>Bacillus subtilis</i>)	2.5 L ha ⁻¹	5 L ha ⁻¹	7.5 L ha ⁻¹	Foliar (V7) Foliar (VT)
Testigo absoluto				

*Etapa fenológica: V7= En la etapa de la 7ª hoja; VT = Cuando aparecen las espigas (Hanway, 1966).

Germoplasma de maíz utilizado

El material genético evaluado en los dos sitios experimentales fue el híbrido Hacienda ASH-1758 con endosperma blanco identificado como susceptible a roya común (*Puccinia sorghi*) y carbón de la espiga (*Sporisorium reilianum* f. sp. *zeae*) por productores de maíz de la zona.

Fuente de inóculo e inoculación de los patógenos

En la Unidad Experimental de CL la infección de los dos patógenos de interés fue de incidencia natural sabiendo que causan daño severo en esa región. En el experimento establecido en el Campo Experimental Agrícola de la UPFIM todo el material experimental se inoculó artificialmente; incluyendo semilla y plantas.

Inoculación de carbón de la espiga (*Sporisorium reilianum* f. sp. *zeae*).

Para la inoculación del carbón de la espiga se utilizaron teliosporas colectadas el otoño de 2018 de plantas de maíz infectadas con *S. reilianum* f. sp. *zeae* en lotes con siembras de maíz en la Unidad Experimental de CL, Mixquiahuala Hgo. El material vegetal infectado se secó en invernadero por 10 d, para después colectar las teliosporas de los soros. La inoculación de la semilla experimental se realizó siguiendo la técnica descrita por Quezada-Salinas *et al.* (2013) con una concentración de teliosporas de 1.7×10^7 teliosporas mL⁻¹.

Inoculación de roya (*Puccinia sorghi*).

Durante el verano de 2019, se colectaron uredosporas de roya común de maíz en lotes sembrados con germoplasma diverso en el Campo Experimental Agrícola del Colegio de Postgraduados, Montecillo, Edo. de México (19° 28' 4.26" N y 98° 53' 42.18" W, a 2250 de altitud, cuyo clima es templado subhúmedo con oscilación térmica entre 5 y 7 °C, con lluvias en verano; temperatura media anual de 15 °C. Se utilizó un colector de esporas tipo ciclón y se seleccionaron hojas con presencia abundante de uredias. La colecta se realizó sobre el haz de las hojas. Las uredosporas fueron liofilizadas en un liofilizador LABCONCO y conservadas en refrigeración (5-6 °C) hasta su utilización. La inoculación de las plantas de maíz se realizó en la etapa V4 a V5, asperjando las hojas con una suspensión de 8×10^4 uredosporas ml⁻¹ con 10 ml de Tween 20 (Polisorbato 20) como adherente por cada 20 lt de suspensión a asperjar.

Caracterización morfológica del inóculo

La caracterización morfológica del inóculo de *P. sorghi* se realizó observando laminillas con muestras de material vegetal colectado de plantas de maíz y especies de *Oxalis*. En el caso de *S. reilianum* f. sp. *zeae* se observaron laminillas con

teliosporas del inóculo previamente colectado de mazorcas y espigas infectadas. Se realizaron preparaciones con glicerol 40 % y se midieron y caracterizaron las estructuras de los dos patógenos. Las estructuras se midieron con ayuda del software Image J 1.52 Entangle 2.0 para linux, con el objetivo 40x en un microscopio Rossbach MG-11T y la cámara Canon EOS 5D Mark II.

Variables evaluadas

El efecto de los productos químicos utilizados como inductores de resistencia a *Puccinia sorghi* y *S. reilianum* f.sp. *zeae* en plantas de maíz, se determinó midiendo los siguientes caracteres agronómicos:

1. Evaluación de las enfermedades: Para roya común y carbón de la espiga se evaluó severidad e incidencia, respectivamente. **Severidad:** En las dos áreas experimentales, la evaluación de la infección de roya se inició en el mes de junio cuando aparecieron los primeros síntomas de la enfermedad (en el inicio de la floración), haciendo evaluaciones con intervalos de 15 d. En la UPFIM se llevaron a cabo 5 muestreos de evaluación y en CL se logró hacer 3 evaluaciones debido al efecto de fuertes granizadas. La severidad de la enfermedad se estimó en porcentaje de área foliar afectada usando una escala arbitraria con 6 clases (Cuadro 2). Para comparar el efecto de cada tratamiento evaluado también se calculó el área bajo la curva del progreso de la enfermedad (ABCPE), por el método de integración trapezoidal (Campbell y Madden, 1990). **Incidencia:** La incidencia de la enfermedad se registró 35 días después del inicio de la floración, considerando como planta enferma aquella que presentó síntomas en la espiga, en la mazorca, o ambas. La incidencia del carbón de la espiga se determinó utilizando la fórmula de Van der Plank (1975): $I = PE / PT \times 100$. Donde: I= índice de incidencia (%), PE= plantas enfermas y PT= plantas totales.

2. Intervalo de floración (ASI: Anthesis Silking Interval): Se estimó con los días a 50% de floración masculina (días desde la siembra hasta la aparición de 50 % de plantas con anteras tirando polen) y días a 50 % de floración femenina (días desde la siembra hasta 50 % de plantas con estigmas emergiendo). Calculándolo con los días del 50 % de floración femenina menos el 50 % de días a antesis.

3. Índice de altura: Se determinó como el cociente entre la altura de planta y la altura de mazorca, que se midió, respectivamente, desde el nivel del suelo hasta la base de la espiga y desde el suelo hasta el nudo de inserción de la mazorca más alta.

4. Aspecto de planta y de mazorca: El aspecto de las plantas se registró cuando las plantas estaban comenzando a secarse de la base, considerando el vigor, la uniformidad de las plantas y la sanidad. El aspecto de la mazorca se determinó en la cosecha, para cada parcela (unidad experimental), considerando el porcentaje de mazorcas podridas e indeseables, el tamaño, llenado y uniformidad de grano y mazorcas. Para las dos variables se utilizó una escala de 5 clases, en donde 1=Muy buenas, 2=Buenas, 3=Regular, 4=No aceptable y 5=Muy malo.

5. Número de mazorcas sanas y podridas. Se determinó en la cosecha registrando el número total de mazorcas y el número de mazorcas podridas.

6. Porcentaje de humedad y peso de campo. La cosecha se realizó cuando el grano alcanzó la madurez fisiológica, considerando como indicador la capa de abscisión (capa negra) en la base del grano. El peso fresco de grano se registró al momento de la cosecha, tomando el peso de las mazorcas de cada parcela. El contenido de humedad del grano se estimó en cada parcela con el equipo Dickey John miniGAC plus, ajustando la humedad a 15 %.

7. Rendimiento de grano. Se estimó como el rendimiento por hectárea (tha^{-1}) ajustado el peso de campo a 15% de humedad, empleando la fórmula:

Rendimiento ajustado

$$= \frac{\bar{x} \text{ de plantas en la parcela}}{\text{No. actual de plantas en la parcela}} \times \frac{100 - \% \text{ hum}}{85} \times 0.8 \times \frac{10\,000}{\text{Superficie de la parcela}}$$

Los procedimientos y las unidades de medición empleados en el registro de datos se describen en Bolaños y Edmeades (1996) y Ángeles et al. (2010).

Cuadro 2: Escala de evaluación para roya (*Puccinia sorghi*).

Clase	Área foliar con pustulas (%)	Categoría
0	0	Sana
1	15	Resistente
2	30	Moderadamente resistente
3	45	Moderadamente susceptible
4	60	Susceptible
5	>60	Muy susceptible

Análisis estadístico

Los datos fueron sometidos a pruebas de normalidad (Shapiro-Wilks) y homogeneidad (Barret), las variables que cumplieron los supuestos fueron sometidas a un análisis de varianza y se realizó la comparación de medias mediante el método de la Diferencia Significativa Honesta de Tukey, considerando un nivel de significancia del 5%. Por otro lado, las variables que no cumplieron con los mencionados supuestos fueron analizados mediante métodos no paramétricos. En estos casos los datos se dividieron en dos conjuntos, uno de entrenamiento con el 70% de los datos disponibles y otro de validación con el 30% restante. Con los datos de entrenamiento se utilizaron modelos de bosques aleatorios (Breiman, 1996; Schmidt *et al.*, 2008), para estimar la respuesta de cada unidad experimental. El modelo resultante se aplicó a los datos del conjunto de validación y se calculó la desviación estándar para cada conjunto de datos. Este proceso se repitió tantas veces como el número de datos totales del experimento para asegurar que cada uno de los datos, estuviera en ambos conjuntos y evitar sobreajustes del modelo. Finalmente se calculó la media y desviación estándar de las variables estimadas por unidad experimental. Todos los análisis estadísticos fueron realizados utilizando el programa RStudio Team (2020).

VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caracterización morfológica del inóculo

En la observación microscópica de las muestras de maíz con síntomas de roya se observaron dos estructuras de esporas; a. uredosporas unicelulares de color café claro, globoides de 24.57 x 29.12 μm y paredes doradas de 1.20 μm de grosor, b. teliosporas bicelulares, de color marrón, globoides de 17.07 x 34.65 μm , paredes de 1.19 μm de grosor, adheridas a pedicelos de 55.15 μm de longitud, características que coinciden con lo reportado por Deadman *et al.* (2006). En las muestras con síntomas de carbón de la espiga, se observaron teliosporas unicelulares, color café oscuro, globosas a sublobosas de 9.75 x 10.23 μm de diámetro. Las características antes descritas coinciden con lo reportado por Márquez-Licona *et al.* (2020) para la especie *Sporisorium reilianum* f. sp. *zeae*.

Respuesta de los inductores de resistencia

Severidad

La enfermedad foliar causada por *Puccinia sorghi* se presentó en las dos áreas experimentales evaluadas. La comparación del efecto de los tratamientos mediante el área bajo la curva del progreso de la enfermedad (ABCPE) mostró que el testigo presentó la mayor área respecto a Consist Max®, Actigard 50 GS®, Alliete®, Serenade ASO®, AAS y Poncho Votivo®, resultado que indica que todos estos fueron eficientes en el control de la roya común (Cuadro 3). Sin embargo, el producto Consist Max® (trifloxystrobin+tebuconazol) destacó en el control de la enfermedad, ya que presentó la menor ABCPE para los tres y cinco muestreos realizados en el sitio experimental de CL y de la UPFIM, con parámetros de 26.42 \pm 0.26 y 78.84 \pm 5.77 respectivamente, contra 91.43 \pm 2.12 y 198.24 \pm 0.73 del testigo. En cuanto a la dosis, la aplicación con el 50 % superior a la dosis comercial mostró la mayor efectividad de los productos. Entre estados fenológicos, la aplicación temprana en V7 tuvo mejor control en comparación con VT. Este resultado coincide con lo reportado por Zúñiga-Silvestre *et al.* (2020) quienes evaluaron en maíz la respuesta de seis productos como inductores de resistencia, incluyendo al fungicida Consist Max® para el control de *P. sorghi*, identificando a

este último como el producto que brindó la mayor protección con aplicación foliar en estado fenológico V7. Ribero-Chagas *et al.* (2020) mencionan que normalmente cuando el maíz llega a la floración se presentan niveles más altos de daño de enfermedades foliares, por lo que, para reducir su intensidad, el manejo debe realizarse preferentemente en forma preventiva. Adicionalmente, Ayala-Aguilera *et al.* (2013), confirmaron la eficiencia de mezclas de fungicidas a base de estrobirulinas más triazoles, como es el caso de Consist Max®, para el control y menor severidad de la roya de la soya causada por *Phakopsora pachyrhizi*.

Incidencia

La enfermedad de carbón de la espiga causada por *Sporisorium reilianum* f. sp. *zeae* se presentó solamente en el experimento de CL. Todos los productos evaluados redujeron la incidencia de infección, respecto al testigo, sin embargo, la menor incidencia de la enfermedad la mostró Consist Max® con porcentaje de infección de 16.83 ± 1.04 vs 20.38 ± 1.79 del testigo (Cuadro 3). En cuanto a la dosis y etapa de aplicación, hubo un mayor control con la dosis de 150% de la comercial y con la aplicación temprana en V7. La respuesta de Consist Max® coincide con lo descrito por Wright *et al.* (2006) quienes encontraron que el tebuconazol y la azoxistrobina (una estrobirulina al igual que el trifloxystrobin), redujeron significativa y separadamente la incidencia (%) de carbón de la espiga con 6.1 y 4.5 respectivamente vs 8.7 del control. Yang *et al.* (2016) mencionan que el tebuconazol es un fungicida triazol que se aplica como tratamiento, debido a que muestra alta eficiencia para proteger al maíz de la infección del carbón de la espiga. Asimismo Anderson *et al.* (2015) reportaron la eficiencia del tebuconazol para reducir la infección por *S. reilianum* en aproximadamente 70 % comparado con el control. Este fungicida sistémico que combina dos modos de acción (trifloxistrobina-estrobilurina + tebuconazol-triazol), se considera una eficiente adición a los productos químicos para el control de enfermedades, debido a que se ha reportado que algunos hongos resistentes a estrobirulinas se han logrado controlar con fungicidas triazoles, cuyo mecanismo de acción es inhibir la biosíntesis de ergosterol (un esteroles esencial para la integridad de la membrana fúngica) (Gisi *et al.*, 2002; Thompson, 2002). La trifloxistrobina, un fungicida de amplio espectro con actividad

contra distintas clases de hongos, incluyendo Basidiomicetos, inhibe principalmente la respiración en las células fúngicas, además afecta la formación de estructuras necesarias para la fijación de los hongos, consiguiendo que este compuesto muestre acciones protectoras, curativas y erradicantes (Romero-Velázquez *et al.*, 2015).

Mazorcas podridas

En CL donde predominaron las mazorcas con síntomas de carbón de la espiga destacó el producto Poncho Votivo® (*Bacillus firmus* + clotianidin), con porcentaje de mazorcas podridas de 28.96 ± 1.35 vs 36.04 ± 1.07 del testigo (Cuadro 3). En la UPFIM no se identificaron mazorcas podridas.

Cuadro 3: Severidad, incidencia y mazorcas podridas por unidad experimental (CL y UPFIM), en función de producto, etapa fenológica de aplicación y dosis evaluada.

Productos	Severidad (ABCPE)		Incidencia	Mazorcas podridas
	CL	UPFIM	CL	CL
Testigo	91.43 ± 2.12	198.24 ± 0.73	20.38 ± 1.79	36.04 ± 1.07
Poncho Votivo®	84.76 ± 3.22	161.15 ± 1.30	17.20 ± 0.87	28.96 ± 1.35
Serenade® ASO	84.18 ± 2.00	166.75 ± 5.78	18.94 ± 2.35	30.10 ± 1.39
AAS	73.64 ± 4.39	165.84 ± 2.63	18.20 ± 1.67	36.57 ± 1.51
Actigard® 50 GS	54.97 ± 4.13	106.70 ± 7.13	18.15 ± 1.53	34.29 ± 1.52
Alliete®	54.75 ± 4.18	127.36 ± 4.16	19.31 ± 2.01	33.59 ± 2.56
Consist Max®	26.42 ± 0.26	78.84 ± 5.77	16.83 ± 1.04	30.76 ± 3.07
Dosis				
50	70.35 ± 22.52	146.51 ± 37.79	19.73 ± 1.64	34.14 ± 3.80
100	66.68 ± 20.71	143.15 ± 38.63	18.82 ± 1.83	32.05 ± 2.91
150	64.75 ± 22.02	141.00 ± 39.69	16.72 ± 1.09	32.47 ± 2.96
Etapas				
V7	66.48 ± 21.59	142.07 ± 41.17	16.41 ± 2.49	32.02 ± 3.71
VT	68.06 ± 22.01	144.14 ± 35.88	18.44 ± 1.33	33.78 ± 2.69

Aspecto de planta y mazorca

El carácter aspecto de planta se evaluó considerando el vigor, la uniformidad de las plantas y la sanidad. En CL Actigard® 50 GS y Consist Max® (1.67 ± 0.05 y 1.91 ± 0.08 , respectivamente) superaron al testigo (2.78 ± 0.02) y en la UPFIM Consist Max® y Poncho Votivo® (1.34 ± 0.03 y 1.48 ± 0.01 , respectivamente) mientras el testigo mostró 2.46 ± 0.04 (Cuadro 4). En el aspecto de mazorca, donde se consideró el porcentaje de mazorcas podridas y deformes, el tamaño, llenado y uniformidad de grano, destacó Poncho Votivo®, Serenade® ASO y Consist Max® con 1.93 ± 0.11 , 1.94 ± 0.19 y 1.99 ± 0.18 , respectivamente en CL, sin embargo, en la UPFIM todos los productos mostraron buen aspecto de mazorca.

Intervalo de floración (ASI)

El análisis de los datos obtenidos para este carácter mostró que en las dos unidades experimentales los productos Alliete® y Actigard® 50 GS presentaron el menor valor de ASI (Cuadro 4) con $1.78 \text{ d} \pm 0.18$ y 1.79 ± 0.09 para CL y 1.55 ± 0.17 y 1.54 ± 0.32 para UPFIM. El testigo manifestó el intervalo de floración máximo con $2.20 \text{ d} \pm 0.18$ y $2.41 \text{ d} \pm 0.32$, respectivamente. En cuanto a la dosis y estado fenológico, la mitad de la dosis comercial y la aplicación en V7 mostraron el menor intervalo de floración. Noriega *et al.* (2011), mencionan que la antesis ocurre uno o dos días antes de la emisión de los estigmas. Por tanto, el intervalo de floración en respuesta a los productos evaluados se considera aceptable para garantizar la fecundación. El intervalo de floración es un parámetro que indica la sincronía entre la aparición de inflorescencias masculinas y femeninas, determinante para asegurar la receptividad de los estigmas durante la antesis, evitando así que las plantas presenten protandria o protoginia, que repercute en la fecundación, desarrollo de granos de la mazorca y el rendimiento. De acuerdo con Monneveux y Ribaut (2006) un ASI largo es un indicador externo de una menor partición de asimilados hacia el jilote, lo que resulta en una lenta tasa de crecimiento de las espiguillas. Bolaños y Edmeades (1990), mencionan que el rendimiento decrece a medida que el intervalo de floración aumenta, disminuyendo aproximadamente 10 % por cada día de retraso en la emergencia de los estigmas desde 0 a 9 d. Estos autores mencionan que el rendimiento es prácticamente cero cuando el intervalo de floración excede los 10 d.

Cuadro 4: Aspecto de planta, aspecto de mazorca e intervalo de floración (ASI) por unidad experimental (CL y UPFIM), en función de producto, etapa fenológica de aplicación y dosis evaluada.

Productos	Aspecto de planta		Aspecto de mazorca		ASI	
	CL	UPFIM	CL	UPFIM	CL	UPFIM
Testigo	2.78 ± 0.02	2.46 ± 0.04	2.69 ± 0.05	1.00 ± 0	2.20 ± 0.18	2.41 ± 0.32
Poncho	2.21 ± 0.09	1.48 ± 0.01	1.93 ± 0.11	1.17 ± 0	1.88 ± 0.19	1.92 ± 0.18
Votivo®						
Serenade®	2.24 ± 0.09	2.32 ± 0.05	1.94 ± 0.19	1.00 ± 0	2.06 ± 0.28	2.20 ± 0.28
ASO						
AAS	2.50 ± 0.05	2.32 ± 0.08	2.17 ± 0.11	1.00 ± 0	2.04 ± 0.06	1.95 ± 0.13
Actigard®	1.67 ± 0.05	2.06 ± 0.08	2.21 ± 0.16	1.00 ± 0	1.79 ± 0.09	1.54 ± 0.32
50 GS						
Alliete®	2.48 ± 0.02	2.01 ± 0.07	2.45 ± 0.04	1.00 ± 0	1.78 ± 0.18	1.55 ± 0.17
Consist	1.91 ± 0.08	1.34 ± 0.03	1.99 ± 0.18	1.00 ± 0	1.93 ± 0.18	1.84 ± 0.09
Max®						
Dosis						
50	2.28 ± 0.36	2.03 ± 0.40	2.16 ± 0.32	1.02 ± 0.06	1.81 ± 0.22	1.83 ± 0.42
100	2.27 ± 0.36	2.00 ± 0.42	2.32 ± 0.23	1.02 ± 0.06	2.05 ± 0.18	1.86 ± 0.37
150	2.21 ± 0.35	1.96 ± 0.38	2.10 ± 0.29	1.02 ± 0.06	2.01 ± 0.19	2.06 ± 0.25
Etapa						
V7	2.30 ± 0.33	2.02 ± 0.41	2.19 ± 0.30	1.02 ± 0.06	1.91 ± 0.16	1.83 ± 0.23
VT	2.21 ± 0.38	1.97 ± 0.39	2.20 ± 0.29	1.02 ± 0.06	2.00 ± 0.27	2.00 ± 0.45

Índice de altura (IA)

El carácter índice de altura, descrito como el producto de dividir la altura de mazorca entre la altura de planta, presentó en CL diferencias estadísticas ($\alpha=0.05$) entre productos (Cuadro 5), con valores que oscilaron de 0.48 (testigo) a 0.54 (Actigard® 50 GS). En la UPFIM los valores variaron de 0.51 (Actigard® 50 GS) a 0.54 (Serenade® ASO). Al respecto, Reynoso *et al.* (2014), mencionan que coeficientes de alturas de mazorca y planta entre 0.4 y 0.5 garantizan menor porcentaje de acame de tallo y raíz. Por tanto, los valores de índice de altura que exhibieron la mayoría de productos evaluados en el presente estudio son aceptables. Por su parte, De León (2020), encontró en poblaciones de maíz blanco valores de IA que oscilaron entre 0.46 y 0.71. También Díaz-Morales *et al.* (2019), reportaron en germoplasma de maíz blanco valores de IA que variaron de 0.4 a 0.5.

Mazorcas por planta y rendimiento de grano

El carácter mazorcas por planta presentó comportamiento similar en las dos unidades experimentales, con una mazorca por planta (Cuadro 5). El rendimiento de grano, ajustado al 15 % de humedad mostró diferencias significativas entre productos en la unidad experimental de CL. Poncho Votivo® presentó el mayor rendimiento con 5.26 tha^{-1} , estadísticamente igual a Actigard® 50 GS y Serenade® ASO con 4.41 y 4.33 tha^{-1} , respectivamente. En la UPFIM, donde no se identificó incidencia de carbón de la espiga ni mazorcas podridas, sobresalió Consist Max® y Poncho Votivo® con 17.53 y 17.48, tha^{-1} . En cuanto a las dosis, en la UPFIM la dosis con 50 % superior a la comercial resultó en un aumento en rendimiento comparado con la dosis recomendada y el 50% de ésta. La respuesta de Poncho Votivo® respecto al rendimiento prevaleció en las dos unidades experimentales, además produjo baja incidencia de la infección de *S. reilianum* y el menor porcentaje de mazorcas podridas. Se ha discutido que éste compuesto, ampliamente utilizado como tratamiento a la semilla, promueve el crecimiento saludable de las plantas y raíces del maíz (Vagedes y Lindsey, 2020). El ingrediente activo Clotianidina (Poncho) se mueve sistémicamente dentro de la planta para proteger contra insectos que se encuentran por encima y bajo el suelo (Poncho VOTIVO Seed Treatment, 2019). El componente *Bacillus firmus* (VOTiVO) es benéfico por su

protección contra un amplio espectro de nemátodos que se alimentan de las raíces del maíz, ya que forma una barrera viva que crece dentro de éstas para su protección (Wilson y Jackson, 2013). También, se ha sugerido que el tratamiento con *B. firmus* aumenta la formación de aerénquima cortical de la raíz (RCA), aumentando así la exploración de las raíces del cultivo (Vagedes y Lindsey, 2020). La hormona de crecimiento vegetal que VOTiVO suministra a la planta aumenta los rendimientos incluso en ausencia de nemátodos, lo que ofrece ventajas en comparación con otros tratamientos de semillas (Poncho VOTIVO Seed Treatment, 2019). *Bacillus* es uno de los géneros de bacterias promotoras del crecimiento vegetal (PGRP) más versátiles, ya que puede promover el crecimiento de las plantas, mejorar el rendimiento, solubilizar el potasio y el fósforo y proteger a las plantas contra patógenos y plagas (Wu *et al.* 2015; Ferreira *et al.* 2019). En cuanto a su papel en la solubilización de fósforo (P), incrementa su disponibilidad y absorción aumentando el rendimiento de los cultivos al estimular el crecimiento y el desarrollo de las plantas (Richardson *et al.*, 2009). El maíz es particularmente sensible a la baja disponibilidad de fósforo (Postma y Lynch, 2011) y ha mostrado capacidad de respuesta a las aplicaciones de PGPR, que son protagonistas del aumento de la disponibilidad de fósforo en el suelo, ya que tienen la capacidad de intervenir en los procesos de fijación de éste, mostrando que su empleo en diversos cultivos favorece el rendimiento de las cosechas y mejora la fertilidad del suelo (Walker *et al.*, 2011). Rocha *et al.* (2019) mencionan que además, las cepas de *Bacillus* tienen esporas resistentes al calor y a la desecación, lo que aumenta su adaptación a la aplicación de campo y la formulación comercial de productos con una vida útil prolongada. Por su parte, Wagi y Ahmed, (2019) describen que este género también puede producir auxinas (AIA) que promueven cambios en el crecimiento vegetativo de las plantas. Gholami *et al.* (2009) reportaron la eficiencia en el aumento del crecimiento y rendimiento de maíz con la aplicación de PGPR. Asimismo, Morales *et al.* (2011) mencionan que en maíz, la inoculación de estos microorganismos se relaciona con un incremento en la germinación, altura de la planta, biomasa radical y aérea que mejora el rendimiento. Es así como las bacterias *B. subtilis* QST713 y *B. firmus* I-1582 son claves como ingredientes activos en

productos biológicos comercialmente disponibles, que son beneficiosos para la disponibilidad de nutrientes y para mejorar el potencial adaptativo de las plantas y consecuentemente la calidad del producto cosechado. En cuanto a la respuesta de Consist Max®, como potencializador de rendimiento, se relaciona con la menor ABCPE de *P. sorghi*, influyendo positivamente en el rendimiento de grano, ya que las características agronómicas, como la productividad, dependen del correcto manejo de enfermedades y nutrientes esenciales (Zambolim y Ventura, 2012).

Este resultado coincide con lo reportado por Zuñiga-Silvestre *et al.* (2020), quienes identificaron a Consist Max® como el producto que produjo el mayor rendimiento en maíz con la dosis al 150% de la comercial. Este producto representa una adición de triazol y estrobirulina las que además del efecto fungicida también promueven alteraciones fisiológicas promoviendo la alteración de los niveles de fitohormonas en varios cultivos que influyen positivamente en el rendimiento de los granos (Lazo y Ascencio 2014). Según Gonçalves *et al.* (2012), el uso de los fungicidas estrobirulinas + triazoles proporcionan un aumento en el número de granos por mazorca y rendimiento de maíz. Henriques *et al.* (2014) y Rosa *et al.* (2017) también han reportado un efecto del tratamiento con fungicida sobre variables agronómicas como número de hileras por mazorca, peso del grano y productividad, que ocurre porque el fungicida permite que la planta alcance su máxima capacidad fotosintética por la conservación del área foliar, provocando más flujo de fotoasimilados en la planta en los momentos más críticos, como la floración y el llenado de grano. Por su parte, Zhang *et al.* (2010) describen que en trigo la aplicación de fungicidas a base de algún triazol ya sea tebuconazole o propiconazole, inducen el efecto “stay-green” en el follaje, por el que la hoja permanece verde por más tiempo, y por consiguiente, hay un retraso en la senescencia de la planta (Brinkman *et al.*, 2014), lo que permite mayor periodo de área foliar fotosintéticamente activa y mayor cantidad de asimilados disponibles para el llenado de grano, que a su vez se refleja en un mayor peso y rendimiento.

Cuadro 5: índice de altura, mazorcas por planta y rendimiento por unidad experimental (CL y UPFIM), en función de producto, etapa fenológica de aplicación y dosis evaluada.

Productos	Índice de altura		Mazorcas por planta		Rendimiento	
	CL	UPFIM	CL	UPFIM	CL	UPFIM
Poncho Votivo®	0.50 ab	0.52 a	1.10 a	0.99 a	5.26 a	17.48 a
Actigard® 50 GS	0.54 a	0.51 a	1.07 a	0.99 a	4.41 ab	16.25 a
Serenade® ASO	0.51 ab	0.54 a	1.07 a	1.04 a	4.33 ab	17.12 a
Consist Max®	0.51 ab	0.52 a	1.03 a	1.03 a	4.14 b	17.53 a
Testigo	0.48 b	0.52 a	1.07 a	1.03 a	3.93 b	17.02 a
AAS	0.50 b	0.53 a	1.00 a	1.00 a	3.90 b	16.94 a
Alliete®	0.50 b	0.52 a	1.02 a	1.00 a	3.83 b	16.44 a
Dosis						
150	0.51 a	0.53 a	1.05 a	1.01 a	4.41 a	17.40 a
50	0.51 a	0.52 a	1.09 a	1.00 a	4.28 a	16.84 ab
100	0.50 a	0.51 a	1.01 a	1.01 a	4.09 a	16.67 b
Etapas						
V7	0.50 a	0.52 a	1.07 a	1.02 a	4.34 a	17.09 a
VT	0.51 a	0.52 a	1.03 a	1.00 b	4.19 a	16.86 a

Valores con la misma letra para la misma columna son estadísticamente iguales (Tukey \leq 0.05).

VII. CONCLUSIONES

El fungicida Consist Max® (trifloxystrobin+tebuconazol) mostró la mayor efectividad en el control de la infección causada por *P. sorghi* y *S. reilianum* sp. *zeae*. Este producto puede ser considerado como un fungicida de cuarta generación, debido a su efecto antifúngico, su capacidad para activar las defensas de las plantas y como promotor de otras actividades fisiológicas, ya que influyó positivamente sobre el rendimiento de grano, seguido del producto Poncho Votivo® (Bacillus firmus + clotianidin). El cual produjo una baja incidencia de infección de carbón de la espiga, el menor porcentaje de mazorcas podridas y buen aspecto de mazorcas. La mejor dosis y estado fenológico de aplicación para el control de las enfermedades fue la dosis con el 50% superior a la dosis comercial y la aplicación temprana en V7.

VIII. LITERATURA CONSULTADA

Achary, V.M.M., Ram, B., Manna, M., Datta, D., Bhatt, A., Reddy, M.K. and Agrawal, P.K. 2017. Phosphite: a novel P fertilizer for weed management and pathogen control. *Plant Biotechnology Journal* 15(12):1493-1508.

Acosta, R. 2009. El cultivo del maíz, su origen y clasificación. El maíz en Cuba. *Cultivos Tropicales* 30(2): 113-120.

Acuña, E.M. y Grabowski C. 2012. Inducción de resistencia en plantas de trigo (*Triticum aestivum* L.) a la mancha amarilla (*Drechslera tritici-repentis*) y marrón (*Bipolaris sorokiniana*). *Investig. Agrar.* 14(2): 71-79.

Agrios, G.N. 2005. *Plant pathology*. 5th ed. Elsevier Academic Press, New York. 952 p.

Aguirre, B.M. 1988. Validación del maíz de riego H-135 en el Distrito de Desarrollo Rural 063 de Mixquiahuala, Hgo., En: Primera Reunión Científica Forestal y Agropecuaria. Centro de Investigaciones Forestales y Agropecuarias de Hidalgo. INIFAP. Pachuca, Hidalgo, México.

Anderson, S.J., Simmons, H.E. and Munkvold, G.P. 2015. Real-Time PCR Assay for Detection of *Sphacelotheca reiliana* Infection in Maize (*Zea mays*) Seedlings and Evaluation of Seed Treatment Efficacy. *Plant Dis.* 99:1847-1852.

Ángeles, G.E., Ortiz, T.E., López, P.A. y López, R.G. 2010. Caracterización y rendimiento de poblaciones de maíz nativas de Molcaxac, Puebla. *Revista Fitotecnia Mexicana* 33(4):287-296.

Aquino-Martínez, J.G., Sánchez-Flores, A., González-Huerta, A. and Sánchez-Pale, J.R. 2011. Resistencia de variedades e híbridos de maíz (*Zea mays*) a *Sporisorium reilianum* y su rendimiento de grano. *Revista Mexicana de Fitopatología* 29: 39-49.

Arteaga, M.C., Moreno-Letelier, A., Mastretta-Yanes, A., Vázquez-Lobo A., Breña-Ochoa, A., Moreno-Estrada, A., Eguiarte, L.E. and Piñero, D. 2016. Genomic variation in recently collected maize landraces from Mexico. *Genomics Data* 7: 38-45.

Ayala-Aguilera, L., Orrego-Fuente, A.L. y Martínez, R. 2013. Control químico de la roya de la soja (*Phakopshora pachyrhizi*), con diferentes fungicidas y estados fenológicos de la planta. *Investig. Agrar.* 10: 49:54.

Barbosa, M.A., Laranjeira, D. and Coelho, R.S. 2008. Custo fisiológico da resistência em algodoeiro sob diferentes níveis de nitrogênio. *Revista Summa Phytopathologica* 34 (4): 338-342.

Bektas, Y. and Eulgem, T. 2015. Synthetic plant defense elicitors. *Front. Plant Sci.* 5(804):1-17.

Bellon, M.R., Mastretta-Yanes, A., Ponce-Mendoza, A., Ortiz-Santa, M. D., Oliveros-Galindo, O., Perales, H., Acevedo, F. and Sarukhán, J. 2021. Beyond subsistence: the aggregate contribution of campesinos to the supply and conservation of native maize across Mexico. *Food Security* 13: 39-53.

Benhamou, N. 1996. Inductor Induced Plant Defense Pathways. In: *Trends. Plant. Sci.* 1: 233-240.

Benz, B.F. 1997. Diversidad y distribución prehispánica del maíz mexicano. *Arqueología mexicana* 5(25): 17-23.

Bernardo, R., Bourrier, M. and Oliver, J.L. 1992. Generation means analysis of resistance to head smut in maize. *Agronomie* 12(4): 303-306.

Berumen, G., Ochoa, V.A., Báez, R. y Gutiérrez, P. 2015. Efecto del ácido salicílico en la inducción de resistencia a *Colletotrichum* sp. en frutos de plátano durante postcosecha. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha* 16(1): 27-34.

Blake, J.J., Gosling, P., Fraaije, B.A., Burnett, F.J., Knight, S.M., Kildea, S. and Paveley, N.D. 2017. Changes in field dose–response curves for demethylation inhibitor (DMI) and quinone outside inhibitor (QoI) fungicides against *Zymoseptoria tritici*, related to laboratory sensitivity phenotyping and genotyping assays. *Pest Manag. Sci.* 74(2):302-313.

Bolaños, J. and Edmeades, G.O. 1990. La importancia del intervalo de la floración en el mejoramiento para la resistencia a sequía en maíz tropical. *Agron. Mesoam.* 1:45-50.

Bolaños, J. and Edmeades, G.O. 1990. La importancia del intervalo de la floración en el mejoramiento para la resistencia a sequía en maíz tropical. *Agron. Mesoam.* 1:45-50.

Borlaug, N.E. 1946. Diseases of teosinte in Mexico. *Phytopathology* 36: 395.

Breiman, L. 1996. Bagging predictors. *Mach Learn.* 24:123-140.

Brinkman, J.M.P., Deen, W., Lauzon, J.D. and Hooker, D.C. 2014. Synergism of nitrogen rate and foliar fungicides in soft red winter wheat. *J. Agron.* 106(2): 491-510.

Buzi, A., Chilosi, G., De Sillo, D. and Magro, P. 2004. Induction of resistance in melon to *Dydimella bryoniae* and *Sclerotinia sclerotiorum* by seed treatments with acibenzolar-S-methyl and methyl jasmonate but not with salicylic acid. *Phytopathology* 152: 34-42.

Campbell, C.L. and Madden, L.V. 1990. *Introduction to Plant Disease Epidemiology.* John Wiley and Sons Interscience. New York. 532 p.

- Carballoso, V., Mejía, A., Valderrama, S., Carballo, A. y González, F. 2000. Divergencia en poblaciones de maíz nativas de valles Altos de México. *Agrociencia* 34(2): 167-174.
- Castaño-Monsalve, J., Ramírez-Gil, J.C., Patiño-Hoyos, L.F. and Morales-Osorio, J.G. 2015. Alternativa para el manejo de *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary en *Solanum betaceum* Cav. mediante inductores de resistencia. *Revista de Protección Vegetal*, 30(3): 204-212.
- Cavalcanti, F.R., Resende, M.L.V., Carvalho, C.P.S., Silveira, J.A.G., Oliveira, J.T.A. 2006. Induced defence responses and protective effects on tomato against *Xanthomonas vesicatoria* by an aqueous extract from *Solanum lycocarpum* infected with *Crinipellis perniciosa*. *Control Biológico* 39: 408-417.
- Cavalcanti, L.S., Di Piero, R.M., Cia, P., Pascholati, S.F., De Resende, M.L.V. Romeiro, R. 2005. Indução de resistência em plantas a patógenos e insetos. FEALQ, Piracicaba. 11-153 p.
- Choudhary, D.K. and Johri, B.N. 2009. Interactions of *Bacillus* spp. and plants with special reference to induced systemic resistance (ISR). *Microbiological Research* 164(5): 493-513.
- Chowdhury, S.P., Hartmann, A., Gao, X. and Borriss, R. 2015. Biocontrol mechanism by root-associated *Bacillus amyloliquefaciens* FZB42- a review. *Frontiers in Microbiology* 6:1-11.
- CIMMYT. 2004. Enfermedades del maíz. Una guía para su identificación en campo. México. 118 p.
- Collinge, D.B., Gregersen, P.L. and Thordal-Christensen, H. 1994. The induction of gene expression in response to pathogenic microbes. Pp 391-433. In *Mechanisms of plant growth and improved productivity*. 1ra ed. Marcel Dekker, New York.
- CONABIO. 2012. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. <https://www.gob.mx/conabio> (Consultado noviembre 2020).
- Cosme, V.Y., Guzmán, P.R.A., Sandoval, I.S., Corona, T.T. y Mendoza, P.D. 2015. Efecto del acibenzolar S-metil en plantas de chile serrano (*Capsicum annuum*) infectadas con *Phytophthora capsici* en diferentes edades. *Revista Mexicana de Fitopatología* 33(2): 156-172.
- Cummins, G. B. 1941. Identity and distribution of three rusts of corn. *Phytopathology* 31: 856-857.
- Cummins, G.B. 1956. Host index and morphological characterization of the grass rusts of the world. *Plant Dis. Rep., Suppl.* 237: 1-52.
- Cummins, G.B. 1971. *The Rust Fungi of Cereals, Grasses, and Bamboos*. Springer-Verlag, Berlin. 570 p.

Damicone, J. 2016. Fungicide Resistance Management. Oklahoma Cooperative Extension Fact Sheets EPP-7663. Division of Agricultural Sciences and Natural Resources, Oklahoma State University.

De León, C. 2020. CP-Vero 1, white maize (*Zea mays*) synthetic variety resistant to head smut (*Sporisorium reilianum* f. sp. *zeae*) for Mexican highlands. Mexican Journal of Phytopathology 38(1): 170-175.

De León, C. 2020. CP-Vero 1, white maize (*Zea mays*) synthetic variety resistant to head smut (*Sporisorium reilianum* f. sp. *zeae*) for Mexican highlands. Mexican Journal of Phytopathology 38(1): 170-175

Deadman, M.L., Al-Sadi, A., Al-Maqbali, Y., Livingston, S. and Aime, M.C. 2006. First Report of *Puccinia sorghi* on Maize in Oman. Plant Dis. 90: 826.

De-León, C. 2008. Enfermedades importantes. Pp. 47-62. In: Rodríguez-Montessoro, R. y De-León, C. (Eds.). El cultivo del maíz. Temas selectos Vol. 1. Mundi-Prensa, México. 127 p.

De-León, C. 2020. CP-Vero 1, variedad sintética de maíz (*Zea mays*) blanco, resistente a carbón de la espiga (*Sporisorium reilianum* f. sp. *zeae*) para el altiplano de México. Revista Mexicana de Fitopatología 38(1): 1-6.

Delgado-Oramas, B.P. 2020. La resistencia inducida como alternativa para el manejo de plagas en las plantas de cultivo. Revista Protección Vegetal 35(1):1-12.

Deliere, L., Miclot, A.S., Sauris, P., Rey, P. and Calonnet, A. 2010. Efficacy of fungicides with various modes of action in controlling the early stages of an *Erysiphe necator*-induced epidemic. Pest Manag. Sci. 66(12):1367-1373.

Díaz-Morales, F., De León-García, C., Nava-Díaz, C. y Mendoza-Castillo, M.C. 2019. Inducción de resistencia a *Puccinia sorghi* y complejo mancha de asfalto (*Phyllachora maydis* y otros) en maíz (*Zea mays*). Rev. Mex. Fitopatol. 37: 1-15.

Dotor-Robayo, M. y Cabezas-Gutiérrez, M. 2014. Mecanismos de Resistencia Sistémica en Plantas. Revista Acta Iguazu 3(2):1-19.

Dotor-Robayo, M. y Cabezas-Gutiérrez, M. 2014. Mecanismos de Resistencia Sistémica en Plantas. Revista Acta Iguazu 3(2):1-19.

Elsharkawy, M.M., Shimizu, M., Takahashi, H. and Hyakumachi, M. 2012. Induction of systemic resistance against Cucumber mosaic virus by *Penicillium simplicissimum* GP17-2 in *Arabidopsis* and tobacco. Plant Pathology 61(5):964-976.

Elsharkawy, M.M., Shimizu, M., Takahashi, H. and Hyakumachi, M. 2012. Induction of systemic resistance against Cucumber mosaic virus by *Penicillium simplicissimum* GP17-2 in *Arabidopsis* and tobacco. Plant Pathology 61(5): 964-976.

FAOSTAT. 2019. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. <http://www.fao.org/faostat/en/#data> (Consultado noviembre 2020).

Farouk, S. and Osman, M.A. 2011. The effect of plant defense elicitors on common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) growth and yield in absence or presence of spider mite (*Tetranychus urticae* Koch) infestation. *Journal of Stress Physiology & Biochemistry* 7:5-22.

Fehr, W.R. 1993. Principles of cultivar development. Theory and technique Vol. 1. Macmillian, Ames, Iowa. 536 p.

Ferreira, M.H., Soares, H.M.V.M. and Soares, E.F. 2019. Promising bacterial genera for agricultural practices: an insight on plant growth-promoting properties and microbial safety aspects. *Sci. Total. Environ.* 682: 779-799.

FRAC. 2019. Fungicide Resistance Action Committee. Resistance overview. <https://www.frac.info/resistance-overview/>.

Frederiksen, R.A. 1977. Head smuts of corn and sorghum. Pp 89-105 p. In: A. S. T. Association. (Ed.). *Proc. Annu. Corn Sorghum Res. Conf.* 32nd. Washington, D.C.

Galinat, W.C. 1988. The origin of corn. In: *Corn and corn improvement*. Sprague, G.F. and Dudley, JW. Agronomy 18. 3rd ed. Madison, WI., USA. 986 p.

Gálvez-Patón, L., Redondas-Marreo, M.D. and Palmero-Llamas, D. 2017. In vitro and field efficacy of three fungicides against *Fusarium* bulb rot of garlic. *Eur J Plant Pathol.* 148: 321-328.

García, M. y Pérez, L. 2003. Fitoalexinas: Mecanismo de Defensa de las Plantas. *Revista Chapingo* 9: 5-10.

Gattoni, K., Xiang, N., Lawrenace, K. and Kloepper, J.W. 2018. Systemic induced resistance to the root-knot nematode cause by *Bacillus* spp, in *Proceedings of the 2018 Beltwide cotton conferences*. San Antonio, TX. 506-510 p.

Geetha, H.M. and Shetty, H.S. 2002. Induction of resistance in pearl millet against downy mildew disease caused by *Sclerospora graminicola* using benzothiadiazole, calcium chloride and hydrogen peroxide – a comparative evaluation. *Crop Prot.* 21(8): 601-610.

Gholami, A., Shahsavani, S. and Nezarat, S. 2009. The effect of Plant Growth Promoting Rhizobacteria (PGPR) on germination, seedling growth and yield of maize. *Int. J. Biol. Life Science* 5: 35-40.

Giannakou, I. O., Karpouzias, D. G. and Prophetou-Athanasiadou, D. 2004. A novel non-chemical nematicide for the control of root-knot nematode. *Appl. Soil Ecol.* 26:69-79.

Gil-Muñoz, A., López, P.A., Muñoz, O.A. y López-Sánchez, H. 2004. Variedades criollas de maíz (*Zea mays* L.) en el estado de Puebla. México: Diversidad y utilización. Pp. 18-25. In: Chávez-Servia, J.L., Tuxill, J. y Jarvis, D.I. *Manejo de la diversidad de los cultivos en los agroecosistemas tradicionales*. Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos. Cali, Colombia.

- Gisi, U., Sierotzki, H., Cook, A. and McCaffery, A. 2002. Mechanisms influencing the evolution of resistance to Qo inhibitor fungicides. *Pest Manag. Sci.* 58: 859-867.
- Gisi, U., Sierotzki, H., Cook, A. and McCaffery, A. 2002. Mechanisms influencing the evolution of resistance to Qo inhibitor fungicides. *Pest Manag. Sci.* 58: 859-867.
- Gómez, D.E. and Reis, E.M. 2011. Inductores abióticos de resistencia contra fitopatógenos. *Quím. Viva.* 10(1): 6-17.
- Gonçalves, M.E.M.P., Gonçalves-Junior, D., Silva, A.G., Campos, H.D., Simon, G.A., Santos, C.J.L., Sousa, M.A. 2012. Viabilidade do controle químico de doenças foliares em híbridos de milho no plantio de safrinha. *Nucleus*, 9(1): 49-62.
- González, A.J. y Menéndez, F. 2007. Ensayo in vitro de eficacia de fungicidas frente a *Pythium tracheiphilum* en lechuga. *Phytoma España* 167:30-35.
- González, M., Ghío, A., Incremona, M., Cruciani, M., González, A., Papucci, S., Castellarín, J.M. y Pedrol, H.M. 2010. Roya de maíz en el Sur de Santa Fe, Oliveros y Zavalla; campaña 2009/2010. *Para Mejorar la Producción 44-Maíz*: 75-77.
- Goodman, M.M. and Brown, W.L. 1988. Races of Corn. Pp. 33-79. In: *Corn and Corn Improvement-Agronomy Monograph*. 3rd ed. ASA-CSSA-SSSA, Wisconsin, USA.
- Görlach, J., Volrath, S., Knaufbeiter, G., Hengy, G., Beckhove, U., Kogel, K.H., Oostendorp, M., Staub, T., Ward, E., Kessmann, H. and Ryals, J. 1996. Benzothiadiazole, a novel Class of Inducers of Systemic Acquired Resistance, Activates Gene Expression and Disease Resistance in Wheat. *Plant Cell* 8(4): 629-643.
- Guest, D. 1986. Evidence from light microscopy of living tissue that fosetyl-al modifies the defense response in tobacco seedlings following inoculations by *Phytophthora nicotianae* var. *nicotianae*. *Physiological and Molecular Plant Pathology* 29(2): 251-261.
- Guevara, I. and Rodríguez-Gálvez, E. 2006. Inductores químicos de resistencia en la supresión de la marchites del algodónero causada por *Fusarium oxysporum* f. sp. *vasinfectum* en sistema hidropónico. *Universalia* 11(1): 2-8.
- Hahn, M. 2014. The rising threat of fungicide resistance in plant pathogenic fungi: botrytis a case study. *J Chem Biol.* 7(4):133-141.
- Heil, M. 2000. Different Strategies for Studying Ecological Aspects of Systemic Acquired Resistance (SAR). *Journal of Ecology* 88: 707-708.
- Heil, M. 2004. Induction of Two Indirect Defences Benefits Lima Bean (*Phaseolus lunatus*, Fabaceae) in Nature. *Journal of Ecology* 92: 527-536.
- Henriques, M.J., Oliveira-Neto, A.M., Guerra, N., Oliveira, N.C., Camacho, L.R.S., Gonzalo-Júnior, O.A. 2014. Controle de Helmintosporiose em milho pipoca com a

aplicação de fungicidas em diferentes épocas. *Revista Ciências Exatas e da Terra e Ciências Agrárias* 9(2): 45-57.

Hooker, A.L. 1985. Corn and sorghum rusts. Pp. 207-236. In: Bushnell, W.R. and Roelfs, A.P. *The Cereal Rusts*. Vol. II. Academic Press, Orlando, USA.

Jackson, T. A. and Behn, J. L. 2010. Evaluation of VOTIVO biological seed treatment nematicide on lesion nematodes of corn in Nebraska. *Plant Dis. Manage. Rep.* 4:N033.

Jin, Q.M., Li, J.P., Zhang, X.W., Wang, G.X., Song, S.Y., Liu, Y.C. and Wang, L.X. 2000. Establishment IPM of system of corn diseases and pest insects in the spring corn belt. *J. Maize Sci.* 8: 84-88.

Kegley, S.E., Hill, B.R., Orme, S. and Choi, A.H. 2016. PAN Pesticide Database, Pesticide Action Network. North America, Oakland, California, USA.

Keren-Zur, M., Antonov, J., Bercovitz, A., Feldman, K, Husid, A., Kenan, G., Markov, N. and Rebhun, M. 2000. *Bacillus firmus* formulations for the safe control of root-knot nematodes. *Proc. Brighton Crop Prot. Conf. Pests Dis.* 2A:47-52.

Kessmann, H., Staub, T., Hofman, C., Maetzke, T., Herzog, J., Ward, E., Uknes, S. and Ryals, J. 1994. Induction of Systemic Acquired Disease Resistance in Plants by Chemicals. *Annual Review of Phytopathology* 32: 439-459.

Kessmann, H., Staub, T., Hofman, C., Maetzke, T., Herzog, J., Ward, E., Uknes, S. and Ryals, J. 1994. Induction of Systemic Acquired Disease Resistance in Plants by Chemicals. *Annual Review of Phytopathology* 32: 439-459.

Kiba, A., Toyoda, K., Ichinose, Y., Yamada, T. and Shiraishi, T. 1996. Specific Response of Partially Purified cell-wall-bound ATPase to Fungal Suppressor. *Plant Cell Physiology* 37: 207-214.

Kim, J.S., Lee, J., Lee, C.H., Woo, S.Y., Kamg, H., Seo, S.G. and Kim, S.H. 2015. Activation of pathogenesis-related genes by the rhizobacterium, *Bacillus* sp. JS, which induces systemic resistance in tobacco plants. *Plant Pathology Journal* 31(2):195-201.

Kim, S.K. and Brewbaker, J.L. 1976. Effects of *Puccinia sorghi* rust on yield and several agronomic traits of maize in Hawaii. *Crop Sci.* 16(6): 874-877.

Klix, M.B., Verreet, J.A. and Beyer, M. 2007. Comparison of the declining triazole sensitivity of Gibberellazeae and increased sensitivity achieved by advances in triazole fungicide development. *Crop Protect.* 26: 683-690.

Kloepper, J.W., Ryu, C.M. and Zhang, S. 2004. Induced systemic resistance and promotion of plant growth by *Bacillus* spp. *Phytopathology* 94(11): 1259-1266.

Kobayashi, K.K., Sekine, K.T. and Nishiguchi, M. 2014. Breakdown of plant virus resistance: can we predict and extend the durability of virus resistance? *Journal of General Plant Pathology* 80(4): 327-336.

Kuc, J. 2001. Concepts and direction of induced systemic resistance in plants its application. *European Journal of Plant Pathology* 107: 7-12.

Kuc, J., Barnes, E., Daftsios, A. and Williams, E. 1959. The effect of amino acids on susceptibility of apple varieties to scab. *Phytopathology* 49: 313-315.

Kumar, D. 2014. Salicylic acid signaling in disease resistance. *Plant Sci.* 228:127-134.

Kumar, D., Haq, I., Chapagai, D., Tripathi, D., Donald, D., Hossain, M. and Devaiah, S. 2015. Hormone signaling: current perspectives on the roles of salicylic acid and its derivatives in plants. In: R. Jetter (Ed.), *The Formation, Structure, and Activity of Phytochemicals. Recent Advances in Phytochemistry.* 45 p.

Lahlali, R., Peng, G., Gossen, B.D., McGregor, L., Yu, F.Q., Hynes, R.K., Hwang, S.F., McDonald, M.R. and Boyetchko, S.M. 2013. Evidence that the biofungicide Serenade (*Bacillus subtilis*) suppresses clubroot on canola via antibiosis and induced host resistance. *Phytopathology* 103(3):245-254.

Layton, C., Maldonado, E., Monroy, L., Corrales, L.C. y Sánchez, L.C. 2011. *Bacillus* spp.; perspectiva de su efecto biocontrolador mediante antibiosis en cultivos afectados por fitopatógenos. *Nova* 9(16): 177-187.

Lazo, J.V. y Ascencio, J. 2014. Algunas respuestas morfométricas y fisiológicas inducidas por el fungicida Opera® (Pyraclostrobin + Epoxiconazole) en la planta de maíz (*Zea mays* L.). *Rev. Fac. Agron.* 31: 39-59.

Li, Y., Gu, Y., Li, J., Xu, M., Wei, Q. and Wang, Y. 2015. Biocontrol agent *Bacillus amyloliquefaciens* LJ02 induces systemic resistance against cucurbits powdery mildew. *Frontiers Microbiology.* 6:883.

Lübberstedt, T., Xia, X.C., Tan, G, Liu, X. and Melchinger, A.E. 1999. QTL mapping of resistance to *Sporisorium reilianum* in maize. *Theor Appl Genet* 99: 593-598.

Lucas, J.A., Hawkins, N.J. and Fraaije, B.A. 2015. The evolution of fungicide resistance. *Adv. Appl. Microbiol.* 90: 29-92.

Madriz, K. 2002. Mecanismos de defensa en las interacciones planta-patógeno. *Manejo Integrado de Plagas* 63: 22-32.

Mains, E.B. 1934. Host specialization of *Puccinia sorghi*. *Phytopathology* 24: 405-411.

Maldonado-Cruz, E., Ochoa-Martínez, D. L. y Tlapal-Bolaños, B. 2008. Efecto del ácido acetil salicílico y *Bacillus subtilis* en la infección causada por Cucumber mosaic virus en calabacita. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 14(1): 55-59.

Malolepsza, U. 2006. Induction of disease resistance by acibenzolar-S-methyl and O-hydroxyethylorutin against *Botrytis cinerea* in tomato plants. *Crop Protection* 25: 956-962.

Márquez-Licona, G., Castillo-González, F., Vargas-Hernández, M., De León, C., Solano-Báez, A., Leyva-Mir, S. y Téliz-Ortíz, D. 2020. Resistencia a *Sporisorium reilianum* f. sp. zae en germoplasma nativo de maíz. *Rev. Mex. Fitopatol.* 39(1): 1-20.

Márquez-Licona, G., Castillo-González, F., Vargas-Hernández, M., De León, C., Solano-Báez, A., Leyva-Mir, S. y Téliz-Ortíz, D. 2020. Resistencia a *Sporisorium reilianum* f. sp. zae en germoplasma nativo de maíz. *Rev. Mex. Fitopatol.* 39: 1-20.

Márquez-Licona, G., Leyva-Mir, S.G., De León, C., HernándezVargas, M., Téliz-Ortiz, D., Kolařík, M. and Castillo-González, F. 2018. Artificial inoculation of maize seeds with *Sporisorium reilianum* f. sp. zae. *Maydica* 63: 1-8.

Martinez, C., Buée, M., Jauneau, A., Bécard, G., Dargent, R. and Roux, C. 2001. Effects of a fraction from maize root exudates on haploid strains of *Sporisorium reilianum* f. sp. zae. *Plant and Soil* 236: 145-153.

Martínez, C., Jauneau, A., Roux, C., Savy, C. and Dargent, R. 2000. Early infection of maize root by *Sporisorium reilianum* f. sp. zae. *Protoplasma* 213: 83-92.

Martinez, C., Roux, C. and Dargent, R. 1999. Biotrophic development of *Sporisorium reilianum* f. sp. zae in vegetative shoot apex of maize. *Phytopathology* 89(3): 247-253.

Martínez, C., Roux, C., Jauneau, A. and Dargent, R. 2002. The biological cycle of *Sporisorium reilianum* f. sp. zae: an overview using microscopy. *Mycologia* 94 (3): 505-514.

Martinez, C.A. 1977. Effects of *Puccinia sorghi* on yield of flint corn in Argentina. *Plant Dis. Rep.* 61(4): 256-258.

Martínez, J.L. y Ledezma, J. 1990. Control químico del carbón de la espiga *Sphacelotheca reiliana* (Kühn) Clint., del maíz en el Valle de Zapopan, Jalisco. *Revista Mexicana de Fitopatología* 8: 68-70.

Martínez-Cruz, M., Ortiz-Pérez, R., Rios-Labrada, H. y Acosta-Roca, R. 2011. Evaluación de la variabilidad morfoagronómica de una colección cubana de maíz (*Zea mays* L.). *Cultivos Tropicales* 32(4): 35-43.

Matyac, C.A. and Kommedahl, T. 1985. Factors affecting the development of head smut caused by *Sphacelotheca reiliana* on corn. *Phytopathology* 75: 577-581.

McConchie, R., McDonald, K., Anwaral, B. and Morris, S. 2007. Systemic acquired resistance as a strategy for disease management in rockmelon (*Cucumis melo* var. *reticulatus*). In: III International Symposium on Cucurbits. *Acta Horticulturae* 731: 205-210.

McKeen, W.E. 1951. An exceptionally early outbreak of corn rust in Canada. *Plant Dis. Rep.* 35(8): 367.

Mejía, D., Rodas, E., Patiño, L. y González, E. 2009. Efecto del acibenzolar-s-metil sobre el desarrollo de la virosis causada por potyvirus en tomate de árbol. *Agron Col.* 27(1): 87-93.

Mendes-Ferrao, J.E. 1993. A aventura das plantas e os descubrimentos portugueses. Instituto de Investigacao Cientifica Tropical. 2da ed. Lisboa, Portugal. 241 p.

Mendoza, A. R., Kiewnick, S. and Sikora, R. A. 2008. In vitro activity of *Bacillus firmus* against the burrowing nematode *Radopholus similis*, the root-knot nematode *Meloidogyne incognita* and the stem nematode *Ditylenchus dipsaci*. *Biocontrol Sci. Technol.* 18:377-389.

Mendoza, J.R., Kok, C.R., Stratton, J., Bianchini, A. and Hallen-Adams, H.E. 2017. Understanding the mycobiota of maize from the highlands of Guatemala, and implications for maize quality and safety. *Crop Protection* 101: 5-11.

Metraux, J. P., Signer, H., Ryals, J., Wrad, E., Wyss-Benz, M., Gaudin, J., Raschdorf, K., Schmid E., Blum, W. and Inverardi, B. 1990. Increase in salicylic acid at the onset of systemic acquired resistance in cucumber. *Science* 250:104-106.

Mohapatra, S. 2014. Persistence and dissipation kinetics of trifloxystrobin and tebuconazole in onion and soil. *J. Environ. Sci. Health B* 49(7): 513-520.

Monneveux, P. and Ribaut, J.M. 2006. Secondary traits for drought tolerance improvement in cereals, in *Drought Adaptation in Cereals*. Ed. Ribaut, J.M. The Haworth Press, Inc. Binghamton. 97-143 p.

Morales, Y., Juárez, D., Aragón, C., Mascarua, M., Bustillos, M., Fuentes, L., Martínez, R. and Muñoz, J. 2011. Growth response of maize plantlets inoculated with *Enterobacter* spp., as a model for alternative agriculture. *Rev. Argent. Microbiol.* 43: 287-293.

Morris, S.W., Vernooji, B., Titatarn, S., Starret, M., Thomas, S., Wiltse, C.C., Frederiksen, R.A., Bhandhufalck, A., Hulbert, S. and Uknes, S. 1998. Induced resistance responses in maize. *Mol Plant Microbe Interact.* 11(7): 643-658.

Muñoz, A. 2003. Prehistoria e Historia, Diversidad, Potencial, Origen Genético y Geográfico, Glosario Centli-Maíz. Colegio de Postgraduados, Texcoco, México. 210 p.

Noriega-González, L., Preciado-Ortiz, R., Andrio-Enríquez, E., Terrón-Ibarra, A. y Covarrubias-Prieto, J. 2011. Fenología, crecimiento y sincronía floral de los progenitores del híbrido de maíz QPM H-374C. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 2(4): 489-500.

Ortega-Corona, A., Guerrero-Herrera, M. y Preciado-Ortiz, R.E. 2013. Diversidad y distribución del maíz nativo y sus parientes silvestres en México. 1ra ed. Biblioteca Básica de Agricultura, México. 261 p.

Ortiz, R., Taba, S., Chávez-Tovar, V.H., Mezzalama, M., Xu, Y., Yan, J. and Crouch, J.H. 2010. Conserving and Enhancing Maize Genetic Resources as Global Public Goods—A Perspective from CIMMYT. *Crop Science* 50: 13-28.

Pascholati, S.F., Leite, B., Stangarlin, J.R., Cia, P. 2008. Interação Planta-Patógeno: fisiologia, bioquímica e biologia molecular. FEALQ, Piracicaba. 627 p.

Pathan, A.K., Cuddy, W., Kimberly, M.O., Adusei-Fosu, K., Rolando, C.A. and Park, R.F. 2020. Efficacy of Fungicides Applied for Protectant and Curative Activity Against Myrtle Rust. *Plant Dis.* 104(8):2123-2129.

Pérez, J.P., Bobadilla, M.M., Velásquez, C.G., Zacatenco, M.A. y Espinoza, C.A. 2006. Logros y aportaciones de la investigación en maíz de riego en el Valle del Mezquital, Hidalgo. Pp. 55-65. En: Memorias de veinte años de investigación y desarrollo tecnológico. Campo Exptl. Pachuca, Hidalgo, INIFAP, Pachuca, México.

Pérez-Martínez, S., Solorzano, E., Sosa-Del-Catillo, D. and Martínez-Coca, B. 2016. Induction of tomato resistance to *Alternaria solani* Sor. by biological and chemical activators in the field. *Rev. Protección Veg.* 3(1): 201-212.

Pérez-Vicente, L. 2013. Manual on Fungicides and Fungicide Resistance Monitoring in Banana. Prepared for a Regional Workshop on Fungicides and Fungicide Resistance in Banana, 17–22 June 2013, Roseau, Dominica. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome. Pp. 1-67.

Polanco, A. y T. Flores, M. 2008. Bases para una política de I&D e innovación de la cadena de valor del maíz. Foro Consultivo Científico y Tecnológico, A.C., México.

Poncho VOTIVO Seed Treatment. 2019. Farming and crop protection. Florham Park, NJ: BASF Corporation. Retrieved from <https://agriculture.basf.us/crop-protection/products/poncho-votivo.html>.

Postma, J. A. and Lynch, J. P. 2011. Theoretical evidence for the functional benefit of root cortical aerenchyma in soils with low phosphorus availability. *Ann. Bot.* 107: 829-841.

Pretali, L., Bernardo, L., Butterfield, T.S., Trevisan, M. and Lucini, L. 2016. Botanical and biological pesticides elicit a similar Induced Systemic Response in tomato (*Solanum lycopersicum*) secondary metabolism. *Phytochemistry* 130:56-63.

Purseglove, J.W. 1985. Tropical crops: Monocotyledons. English Language Book Society/Longman. Singapore. 607 p.

Quezada-Salinas, A., Moreno-Velázquez, M., De León-García de Alba, C., Nava-Díaz, C. and Solano-Báez, A.R. 2017. Genetic resistance to *Sporisorium reilianum*

f. sp. zeae in selected maize (*Zea mays* L.) lines with white and yellow endosperm. Mexican Journal of Phytopathology 35(3): 534-548.

Quezada-Salinas, A., Moreno-Velázquez, M., De León-García, C., Nava-Díaz, C. Solano-Báez, A.M. 2017. Resistencia genética a *Sporisorium reilianum* f. sp. zeae en líneas seleccionadas de maíz (*Zea mays* L.) con endospermo blanco y amarillo. Revista mexicana de fitopatología 35(3): 534-548.

Raaijmakers, J. M. and Mazzola, M. 2012. Diversity and natural functions of antibiotics produced by beneficial and plant pathogenic bacteria. Annu Rev Phytopathol 50:403:424.

Ramirez-Cabral, N.Y.Z., Kumar, L. and Shabani, F. 2017. Global risk levels for corn rusts (*Puccinia sorghi* and *Puccinia polysora*) under climate change projections. Journal of Phytopathology 165(9): 563-574.

Ramos, E.F. 2016. Caracterización de los efectos de la aplicación del inductor de resistencia Ácido salicílico (AS) sobre la expresión de síntomas causados por el patógeno *Mycosphaerella graminicola* y sobre la formación de la espiga y los componentes de rendimiento de dos cultivares comerciales de trigo. Tesis para optar al título de Magister en Protección Vegetal de la Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. UNLP. 101 p.

Ray, J. 1901. Les maladies cryptogamiques des vegetaux. Revue Generale de Botanique 13: 145-151.

Reiss, A. and Jørgensen, L.N. 2017. Biological control of yellow rust of wheat (*Puccinia striiformis*) with Serenade®ASO (*Bacillus subtilis* strain QST713). Crop Protection 93: 1-8.

Reynoso, C.A., González, A., Pérez, D.J., Mora, O.F., Torres, J.L., Velázquez, G.A., Breton, C., Balbuena, A. y Mercado, O. 2014. Análisis de 17 híbridos de maíz sembrados en 17 ambientes de los Valles Altos del centro de México. Rev. Mex. Cienc. Agríc. 5: 871-882.

Ribeiro-Chagas, J.F., Vêras-da Costa, R., Rodrigues-dos Santos, G., Abadia-Ventura, M.V. and Costa, E.M. 2020. Foliar fungal diseases control and productivity depending on the phosphite and fungicide application in two corn hybrids. Biot.Veg. 20(1): 33-41.

Rich, S. and Waggoner, P.E. 1979. Growth and rust (caused by *Puccinia sorghi*) of sweet corn cultivars in Connecticut. Plant Dis. Rep. 63: 1012-1015.

Richardson, A.E., Hocking, P.J., Simpson, R.J. y George, T.S. 2009. Mecanismos de las plantas para optimizar el acceso al fósforo del suelo. Crop Pasture Sci. 60: 124-143.

Rivas-Valencia, P., Virgen-Vargas, J., Rojas-Martínez, I., Cano-Salgado, A. y Ayala-Escobar, V. 2011. Evaluación de pudrición de mazorca de híbridos de maíz en Valles Altos. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas 2(6): 845-854.

Riveros, A.S. 2001. Moléculas activadoras de la inducción de resistencia, incorporadas en programas de agricultura sostenible. *Manejo Integrado de Plagas* (61): 4-11.

Riveros, A.S. and Lepoivre, P.H. 1998. Alternativas bioquímicas para el control indirecto de *Sigatoka* en *Musceas*. Pp. 436-447. In Reunión ACORBAT. Guayaquil, Ecuador.

Robert, A.L. 1962. Host ranges and races of the corn rusts. *Phytopathology* 52: 1010-1012.

Rocha, I., Ma, Y., Souza-Alonso, P., Vosátka, M., Freitas, H. and Oliveira, R.S. 2019. Seed coating: a tool for delivering beneficial microbes to agricultural crops. *Front Plant Sci.* 10: 1-16.

Romero-Velázquez, S.D., Tlapal-Bolaños, B., Cadena-Iñiguez, J., Nieto-Ángel, D. and Arévalo-Galarza, M. de L. 2015. Hongos causantes de enfermedades postcosecha en chayote (*sechium edule* (jacq.) Sw.) y su control in vitro. *Agronomía Costarricense* 39(2): 19-32.

Romero-Velázquez, S.D., Tlapal-Bolaños, B., Cadena-Iñiguez, J., Nieto-Ángel, D. y Arévalo-Galarza, M. de L. 2015. Hongos causantes de enfermedades postcosecha en chayote (*Sechium edule* (Jacq.) SW.) y su control in vitro. *Agronomía Costarricense* 39(2): 19-32.

Rosa, W.B., Duarte-Júnior, J.B., Queiroz, S.B., Perego, I., Mattei E. 2017. Desempenho agrônômico de cinco híbridos de milho submetidos à aplicação de fungicida em diferentes estádios fenológicos. *Revista Engenharia na Agricultura*, 25(5): 428-435.

Rosss, A.F. 1961. Systemic acquired resistance induced by localized virus infection of plants. *Virology* 14:340-358.

RStudio Team. 2020. RStudio: Integrated Development for R. RStudio, PBC, Boston, MA.

Ryu, C-M., Hu C-H., Reddy, M.S. and Kloepper, J.W. 2003. Different signaling pathways of induced resistance by rhizobacteria in *Arabidopsis thaliana* against two pathovars of *Pseudomonas syringae*. *New Phytologist* 160(2): 413-420.

Saeed, F., Hussain, M., Arshad, M.S., Afzaal, M., Munir, H., Imran, M., Tufail, T. and Anjum, F.M. 2021. Functional and nutraceutical properties of maize bran cell wall non-starch polysaccharides. *International Journal of Food Properties* 24(1): 233-248.

Saha, S., Purath, A.S., Jadhav, M.R., Loganathan, M., Banerjee, K. and Rai, A.B. 2014. Bioefficacy, residue dynamics and safety assessment of the combination fungicide trifloxystrobin 25% + tebuconazole 50% 75 WG in managing early blight of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *J. Environ. Sci. Health B* 49(2): 134–141.

Sahoo, S.K., Jyot, G., Battu, R.S. and Singh, B. 2012. Dissipation kinetics of trifloxystrobin and tebuconazole on chili and soil. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 88 (3):368-371.

Samaniego-Gómez, B.Y., Reyes-Ramírez, A., Moreno-Valenzuela, O.A. y Tun-Suárez. 2017. Resistencia sistémica inducida contra virus fitopatógenos mediada por la inoculación con la rizobacteria *Bacillus* spp. *Rev Protección Veg.* 32(1):10-22.

Sánchez-Maya, H.E., Mercado-Flores, Y., Téllez-Jurado, A., Pérez-Camarillo, J.P., Mejía, O. and Anducho-Reyes, M.A. 2020. Molecular Variation of the Phytopathogenic Fungus *Sporisorium reilianum* in Valle del Mezquital, Hidalgo. *Front. Ecol. Evol.* 8(36): 1-11.

Satorre, E.H., Benech-Arnold, R., Slafer, G.A., De La Fuente, E.B., Miralles, D.J., Otegui, M.E. y Savin, R. 2008. Producción de Granos. Bases funcionales para su manejo. 3ra ed. Editorial Facultad de Agronomía, Buenos Aires, Argentina. 783 p.

Schmidt, K., Behrens, T. and Scholten, T. 2008. Instance selection and classification tree analysis for large spatial datasets in digital soil mapping. *Geoderma* 146: 138-146.

Schreiber, K. and Desveaux, D. 2008. Message in a Bottle: Chemical Biology of induced Resistance in Plants. *Plant Pathology Journal* 24 (3): 245-268.

Schrimsher, D.W. 2013. The Studies of Plant Host Resistance to the Reniform Nematode in Upland Cotton and the Effects Of *Bacillus firmus* GB-126 on plant-Parasitic Nematode. MS thesis, Auburn University, Auburn, AL.

Segura, J. 2006. Introducción al Desarrollo. Concepto de Hormona Vegetal. Pp. 351-376. In Azcon-Bieto, J. and Talón M. *Fundamentos de Fisiología Vegetal*. McGraw-Hill, Interamericana.

Sharma, K. K., Tripathy, V., Rao, C. S., Bhushan, V. S., Reddy, K. N., Jyot, G., Sahoo, S. K., Singh, B., Mandal, K., Banerjee, H., Banerjee, T., Bhattacharya, S., George, T., Beevi, N., Sharma, K., Tayade, A., Gopal, M. and Walia, S. 2019. Persistence, dissipation, and risk assessment of a combination formulation of trifloxystrobin and tebuconazole fungicides in/on tomato. *Regulatory Toxicology and Pharmacology* 108: 1-10.

SIAP. 2017. Servicio de información agroalimentaria y pesquera. <https://www.gob.mx/siap> (Consultado noviembre 2020).

Sierotzki, H. and Scalliet, G. 2013. A review of current knowledge of resistance aspects for the next-generation succinate dehydrogenase inhibitor fungicides. *Phytopathology* 103 (9): 880-887.

Singh, U.B., Malvivya, D., Wasiullah, Singh, S., Imran, M., Pathak, N., Alam, M., Rai, J.P., Singh, R.K., Sarma, B.K., Sharma, P.K. and Sharma, A.K. 2016. Compatible salt-tolerant rhizosphere microbe-mediated induction of phenylpropanoid cascade and induced systemic responses against *Bipolaris sorokiniana* (Sacc.) Shoemaker

causing spot blotch disease in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Applied Soil Ecology* 108: 300-306.

Smith, D.R. and White, D.G. 1988. Diseases of corn. Pp. 687-766. In: Sprague, G.F. and Dudley, J.W. *Corn and Corn Improvement*. American Society of Agronomy, Madison, WI.

Spletzer, M.E. and Enyedi, A.J. 1999. Salicylic acid induces resistance to *Alternaria solani* in hydroponically grown tomato. *Phytopathology* 89:722-727.

Sticher, L., Mauch-Mani, B. and Métraux, J.P. 1997. Systemic Acquired Resistance. *Annual Review of Plant Pathology* 35: 235-270.

Sticher, L., Mauch-Mani, B. and Métraux, J.P. 1997. Systemic acquired resistance. *Annual Review of Phytopathology* 35:235-270.

Stromberg, E.L., Stienstra, W.C., Kommedahl, T., Matyac, C.A., Windels, C.E. and Gealdelmann, J.L. 1984. Smut expression and resistance of corn to *Sphacelotheca reiliana* in Minnesota. *Plant Dis.* 68: 880-884.

Stromberg, E.L., Stienstra, W.C., Kommedahl, T., Matyac, C.A., Windels, C.E. and Gealdelmann, J.L. 1984. Smut expression and resistance of corn to *Sphacelotheca reiliana* in Minnesota. *PI Dis* 68: 880-884.

Syed, S., Tollamadugu, N. and Lian, B. 2020. *Aspergillus* and *Fusarium* control in the early stages of *Arachis hypogaea* (groundnut crop) by plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) consortium. *Microbiological research* 240: 126562.

Taba, S., Van-Ginkel, M., Hoisington, D. and Poland, D. 2004. Wellhausen-Anderson Plant Genetic Resources Center: Operations manual. CIMMYT, México. 24 p.

Tejera-Hernández, B., Rojas-Badía, M.M. y Heydrich-Pérez, M. 2011. Potencialidades del género *Bacillus* en la promoción del crecimiento vegetal y el control de hongos fitopatógenos. *Revista CENIC, Ciencias Biológicas* 42(3):131-138.

Thatcher, L. 2005. Plant defense response: what have we learnt from *Arabidopsis*? *Functional Plant Biology*. 32(1): 1-19.

Thompson L, 2002. Antifúngicos. *Rev. chil. infectol.* 19: 22-25.

Tian, B., Yang, J. and Zhang, K. 2007. Bacteria used in the biological control of plant-parasitic nematodes: populations, mechanisms of action, and future prospects. *FEMS Microb. Ecol.* 61:197-213.

Tkaczyk, M., Kubiak, K.A., Sawicki, J., Nowakowska, J.A. and Oszako, T. 2016. The use of phosphates in forestry. *Forest Research Papers* 77(1):76-81.

Tofiño, A.R., Romero, H.M. y Ceballos, H. 2007. Efecto del estrés abiótico sobre la síntesis y degradación de almidón. Una revisión. *Agronomía Colombiana* 25(2): 245-254.

Toquin, V., Barja, F., Sirven, C., Gamet, S., Mauprivez, L., Peret, P., Latorse, M.P., Zundel, J.L., Schmitt, F., Lebrun, M. and Beffa, R. 2009. Novel Tools to Identify the Mode of Action of Fungicides as Exemplified with Fluopicolide. In: Gisi, U., Chet, I. and Gullino, M.L. (Eds.). *Recent Developments in Management of Plant Diseases. Plant Pathology in the 21st Century*. Springer, Netherlands. Pp. 19-36.

Toquin, V., Latorse, M.P. and Beffa, R. 2012. Fluopicolide: a new anti-oomycetes fungicides? In: Kramer, W., Schirmer, U., Jeschke, P. and Witschel, M. (Eds.). *Modern Crop Protection Compounds*. 2nd ed. Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim. 831 p.

Tremacoldi, C.R., Dias, D.P., Coelho, I.L., Ishida, A.K.N. 2010. Inductor de resistência e óleos essenciais no controle da resinose do coqueiro. In: XLIII Congresso Brasileiro de Fitopatologia. *Tropical Plant Pathology*. Vol. 35. 69 p.

Tripathi, D. 2010. Role of SABP2 in Systemic Acquired Resistance Induced by Acibenzolar-S-Methyl in Plants. Faculty of the Department of Biological Sciences.

Tripathia, D., Raikhyb, G. and Kumar D. 2019. Chemical elicitors of systemic acquired resistance—Salicylic acid and its functional analogs. *Current Plant Biology* 17:48-59.

Vagedes, R.S. and Lindsey, A.J. 2020. Early season growth of corn as influenced by seed treatment. *Agrosyst Geosci Environ*. 3: 1-6.

Vagedes, R.S. and Lindsey, A.J. 2020. Early season growth of corn as influenced by seed treatment. *Agrosyst Geosci Environ*. 3: 1-6.

Vallad, G.E. and Goodman, R.M. 2004. Systemic Acquired Resistance and Induced Systemic Resistance in Conventional Agriculture. *Crops Science* 44:1920–1934.

Vargas, LI. 2015. Inducción de resistencia como estrategia defensiva ante la invasión patógena en soja (*Glycine max* (L.) Merr.). Universidad Nacional de Córdoba, Facultad de Ciencias Agropecuarias Escuela para Graduados, Argentina. 59 p.

Villarreal-Delgado, M.F., Villa-Rodríguez, E.D., Cira-Chávez, L.A., Estrada-Alvarado, M.I., Parra-Cota, F.I. y Santos-Villalobos, S. 2018. El género *Bacillus* como agente de control biológico y sus implicaciones en la bioseguridad agrícola. *Revista mexicana de fitopatología* 36(1): 95-130.

Vlot, A.C., Dempsey, D.A. and Klessing, D.F. 2009. Salicylic Acid, a Multifaceted Hormone to Combat Disease. *Annu. Rev. Phytopathol.* 47:177–206

Wagi, S. and Ahmed, A. 2019. *Bacillus* spp.: potent microfactories of bacterial IAA. *PeerJ*. 7: 1-14.

- Waldmüller, T., Cosio, E.G., Grisebach, H. and Ebel, J. 1992. Release of highly elicitor active glucans by germinating zoospores of *Phytophthora megasperma* f.sp. *glycinea*. *Planta* 188(4): 498-505.
- Walker, V., Bertrand, C., Bellvert, F., Moëgne-Loccoz, Y., Bally, R. and Comte, G. 2011. Host plant secondary metabolite profiling shows a complex, strain-dependent response of maize to plant growth-promoting rhizobacteria of the genus *Azospirillum*. *New Phytol.* 189: 494-506.
- Walters, D. 2010. Induced resistance: destined to remain on the sidelines of crop protection?. *Phytoparasitica* 38:1-4.
- Walters, D.R. and Boyle, C. 2005. Induced resistance and allocation costs: What is the impact of pathogen challenge? *Physiological and Molecular Plant Pathology* 66(1): 40-44
- Walters, D.R., Ratsep, J. and Havis, N.D. 2013. Controlling crop diseases using induced resistance: challenges for the future. *Journal of Experimental Botany* 64(5): 1263-1280.
- Wang, J.H. and Wang, Q.M. 1989. Study on the relation between DIMBOA and resistance to *Sphacelotheca reiliana* in maize. *Acta Phytopathologica Sinica* 10: 187-191.
- Wang, X., Wang, L., Wang, J., Jin, P., Liu, H. and Zheng, Y. 2014. *Bacillus cereus* AR156-Induced Resistance to *Colletotrichum acutatum* Is Associated with Priming of Defense Responses in Loquat Fruit. *PLoS ONE*. 9(11): e112494.
- Weber, G.F. 1922. Studies on corn rust. *Phytopathology* 12: 89-97.
- White, D., Davis, W., Nickels, J., King, J. and Bobbie, R. 1979. Determination of the sedimentary microbial biomass by extractible lipid phosphate. *Oecologia*, 40(1): 51-62.
- White, D.G. 1999. *Compendium of Corn Diseases*. 3rd ed. American Phytopathological Society, St Paul, Minnesota, USA. 78 p.
- Wilkes, H.G. 1979. Mexico and Central America as a centre for the origin of agriculture and the evolution of maize. *Crop Improv* 6(1): 1-18.
- Wilson, M.J. and Jackson, T.A. 2013. Progress in the commercialization of bionematicides. *Biol. Control* 58: 715:722.
- Wright, P.J., Fullerton, R.A. and Koolaard, J.P. 2006. Fungicide control of head smut (*Sporisorium reilianum*) of sweetcorn (*Zea mays*). *N. Z. J. Crop Hortic. Sci.* 34: 23-26.
- Wu, L., Wu, H.J., Qiao, J., Gao, X. and Borriss, R. 2015. Novel Routes for Improving Biocontrol Activity of *Bacillus* Based Bioinoculants. *Front. Microbiol.* 6: 1-13.

Xu, M.L., Melchinger, A.E. and Lübberstedt, T. 1999. Species specific detection of the maize pathogens *Sporisorium reilianum* and *Ustilago maydis* by dot blot hybridization and PCR-based assays. *Plant Dis.* 83: 390-395

Yang, L., Yang, D., Yan, X., Cui, L., Wang, Z. and Yuan, H. 2016. The role of gibberellins in improving the resistance of tebuconazole-coated maize seeds to chilling stress by microencapsulation. *Sci. Rep* 6: 1-12.

Zambolim, L., Ventura, J.A. 2012. Mecanismos gerais dos nutrientes sobre a severidade de doenças de plantas. Pp. 25-45. In Zambolim, L., Ventura, J.A., Zanão-Júnior, L.A. Efeito da nutrição mineral no controle de doenças de plantas.: Universidade Federal de Viçosa\Departamento de fitopatologia. Viçosa, MG.

Zhang, B., Zhang, N., Zhang, Q., Xu, Q., Zhong, T., Zhang, K. and Xu, M. 2021. Transcriptome Profiles of *Sporisorium reilianum* during the Early Infection of Resistant and Susceptible Maize Isogenic Lines. *Journal of Fungi* 7(2): 150.

Zhang, J.X., Xue, A.G. and Tambong, J.T. 2009. Evaluation of Seed and Soil Treatments with Novel *Bacillus subtilis* Strains for Control of Soybean Root Rot Caused by *Fusarium oxysporum* and *F. graminearum*. *Plant disease* 93(12), 1317-1323.

Zhang, Y.J., Zhang, X., Chen, C.J., Zhou, M.G. and Wang, H.C. 2010. Effects of fungicides JS399-19, azoxystrobin, tebuconazole, and carbendazim on the physiological and biochemical indices and grain yield of winter wheat. *Pestic Biochem Phys.* 98(2): 151-157.

Zúñiga-Silvestre, C.A., De León, C., Ayala-Escobar, V. and González-Hernández, V. 2020. Induced resistance to common rust (*Puccinia sorghi*), in maize (*Zea mays*). *Emir. J. Food Agric.* 32(1):11-18.