

Induced resistance to *Puccinia sorghi* and tar spot complex (*Phyllachora maydis* and others) in maize (*Zea mays*)

Inducción de resistencia a *Puccinia sorghi* y complejo mancha de asfalto (*Phyllachora maydis* y otros) en maíz (*Zea mays*)

Federico Díaz Morales, Carlos De León García de Alba*, Cristian Nava Díaz, Posgrado en Fitosanidad-Fitopatología, Colegio de Posgraduados, Km 36.5 Carretera México-Texcoco, Montecillo, Texcoco, Estado de México, CP 56230, México; María del Carmen Mendoza Castillo, Posgrado en Genética, Colegio de Posgraduados, Km 36.5 Carretera México-Texcoco, Montecillo, Texcoco, Estado de México, CP 56230, México.

*Autor para correspondencia: cdeleon@colpos.mx.

Recibido: 18 de Julio, 2018.

Aceptado: 25 de Septiembre, 2018.

Díaz-Morales F, De León-García de Alba C, Nava-Díaz C and Mendoza-Castillo MC. 2018. Induced resistance to *Puccinia sorghi* and tar spot complex (*Phyllachora maydis* and others) in maize (*Zea mays*). Revista Mexicana de Fitopatología 37(1).

DOI: 10.18781/R.MEX.FIT.1807-6

Primera publicación DOI: 16 de Octubre, 2018.

First DOI publication: October 16, 2018.

Resumen. Para demostrar la eficiencia de productos inductores de la resistencia a enfermedades en maíz, en 2016 y 2017 se establecieron ensayos en el Campo Experimental de la Universidad Autónoma del Estado de México, Campus Toluca, con el híbrido de maíz comercial BG1384W, donde se estudió la eficiencia de seis agroquímicos como inductores de resistencia, incluyendo Fosetyl-Al, Acibenzolar-S-metil, *Bacillus subtilis*, Tebuconazole + Trifloxystrobin, Proteína Harpin y Clothianidin + *Bacillus firmus*, para controlar la roya común (*Puccinia sorghi* Schw.) y el complejo de

Abstract. In order to prove the efficiency of products reported to induce disease resistance in crops, in 2016 and 2017, trials were established in the Experimental Station of the Universidad Autónoma del Estado de México, Campus Toluca, with the commercial hybrid maize BG1384W. The products evaluated were Fosetyl-Al, Acibenzolar-S-metil, *Bacillus subtilis*, Trifloxystrobin + Tebuconazole, Harpin Protein and Clothianidin + *Bacillus firmus*. Efficiency of disease resistance inducers was studied in the control of common rust (*Puccinia sorghi* Schw.), and tar spot complex (*Phyllachora maydis* Maubl. and others), in two methods of application (soil and foliar application), and three dosages (recommended commercially, half of the recommended one, and recommended plus 50%) for each chemical. Agronomic data was recorded in a yield trial and disease severity for each disease. In 2016, severity was not affected by none of the products evaluated but Fosetyl-Al and Acibenzolar-S-metil increased grain yield. In 2017, Serenade decreased tar spot severity while Fosetyl-Al increased grain yield.

la mancha de asfalto (*Phyllachora maydis* Maubl. y otros), con dos formas de aplicación (al suelo y foliar) y tres dosis (comercial recomendada, mitad de la recomendada y recomendada más 50%) para cada agroquímico. Se registraron datos agronómicos en un ensayo de rendimiento y la severidad de las mencionadas enfermedades. En 2016, la severidad no fue afectada por ninguno de los agroquímicos, aunque se incrementó el rendimiento con las aplicaciones de Fosetil-Al y Acibenzolar-S-metil. En 2017, *Bacillus subtilis* disminuyó la severidad de la roya, mientras que Fosetil-Al redujo la severidad del complejo mancha de asfalto, pero mostró el rendimiento más bajo.

Palabras clave: inductores, resistencia, maíz, Fosetil-Al, *Bacillus subtilis*

El maíz es el cultivo más importante de México, desde el punto de vista alimenticio, industrial, político y social (Saint y López, 1997). En 2017, la superficie cosechada en el país fue de 1 144 590 ha, con un rendimiento de grano promedio de 6.477 t/ha (SIAP, SAGARPA, 2017). El maíz tiene varios problemas fitosanitarios, destacando entre los más importantes el carbón de la espiga (*Sporisorium reilianum* f. sp. *zeae*), que afecta la espiga y la mazorca, el carbón común (*Ustilago maydis*) que afecta principalmente a la mazorca, la roya común (*Puccinia sorghi* Schwein) y el complejo mancha de asfalto (CMA) (*Phyllachora maydis* Maubl. y otros) que atacan al follaje (CIMMYT, 2005). El CMA se reportó por primera vez en México por Maublanc (1904); posteriormente, se determinó que el CMA es causado por varios hongos, donde *P. maydis* es el primero que se establece para luego llegar *Monographella maydis* Müller y Samuels y por último, dentro de los estromas de *P. maydis* se asienta el hiperparásito *Coniothyrium phyllachorae* Maubl. (Hock *et al.*, 1992). Esta enfermedad

Key words: inducers, resistance, maize, Fosetil-Al, *Bacillus subtilis*

Maize is the most important crop in Mexico, from food, industrial, political and social points of view (Saint and López, 1997). In 2017, the area planted with maize in the country was 1 144 590 ha, with an average grain yield of 6.477 t/ha (SIAP, SAGARPA, 2017). Maize has several phytosanitary problems, some of the most important of which are head smut (*Sporisorium reilianum* f. sp. *zeae*), which affects the tassel and ear, common smut (*Ustilago maydis*) which affects mainly the ear, common rust (*Puccinia sorghi* Schwein) and the tar spot complex (TSC) (*Phyllachora maydis* Maubl. and others), which affects the leaves (CIMMYT, 2005). The TSC was first reported in Mexico by Maublanc (1904); the TSC was later determined to be caused by several fungi, where *P. maydis* is the first to be established, followed by *Monographella maydis* Müller and Samuels, and finally, inside the stromas of *P. maydis*, the hyperparasite *Coniothyrium phyllachorae* Maubl. settles (Hock *et al.*, 1992). This disease may cause losses of up to 100% (Martínez and Espinosa, 2014). Common rust is widely distributed in subtropical and temperate climates with a high relative humidity (CIMMYT, 2005).

It is necessary to use plant disease control alternatives which have been implemented to control diseases in other pathosystems, especially in profitable crops, such as vegetable crops. There are few studies on resistance induction on grasses. Plant treatments with several agents, including virulent or avirulent plant pathogens, non-pathogens, plant extracts, and synthetic chemicals, may induce resistance to the attack of pathogens (Walters and Fountaine, 2009). Induction of resistance is defined as the increase in the expression of natural defense mechanisms of plants that leads them to protect themselves from diseases and insects that include

puede causar pérdidas hasta del 100% (Martínez y Espinosa, 2014). La roya está ampliamente distribuida en climas subtropicales y templados con alta humedad relativa (CIMMYT, 2005).

Es necesario utilizar alternativas de control de enfermedades de plantas que se han venido implementando para controlar enfermedades en otros patosistemas, especialmente en cultivos remunerativos como los hortalizas. En gramíneas, existen pocos estudios sobre inducción de resistencia. El tratamiento de plantas con varios agentes, incluyendo fitopatógenos virulentos o avirulentos, no patógenos, extractos de plantas y químicos sintéticos, pueden inducir resistencia al ataque de patógenos (Walters y Fountaine, 2009). La inducción de resistencia se define como el incremento de la expresión de mecanismos de defensa natural de las plantas que las incita a protegerse de enfermedades e insectos que incluyen tanto respuestas locales como sistémicas (Riveros, 2001; Edreva, 2004) que van desde las barreras físicas hasta las reacciones bioquímicas que alertan las células entre sí, para producir sustancias tóxicas que eliminan o inhiben la colonización por parte de la plaga (Riveros, 2001). Esta resistencia se incrementa cuando se estimula apropiadamente por factores exógenos (Choudhary *et al.*, 2007) sin alteración del genoma de la planta (Kilian *et al.*, 2000).

La resistencia inducida puede desencadenarse tanto por la pre-inoculación con agentes patógenos, no patógenos, simbiosis y saprófitos, o bien por la aplicación de determinados inductores abióticos, como el ácido salicílico o los metabolitos microbianos que estimulan a la planta para producir sustancias naturales de defensa contra patógenos (Quintero y Castaño, 2012). Cuando éstos son reconocidos por moléculas endógenas, tienen la función de activar o aumentar el nivel de resistencia de las plantas, tanto a nivel local o en puntos distantes al sitio de infección, así como de participar de otras

both local and systemic responses (Riveros, 2001; Edreva, 2004), which range from physical barriers to the biochemical reactions with which cells alert each other in order to produce toxic substances that eliminate or inhibit the pest colonization (Riveros, 2001). This resistance increases when an adequate stimulus is provided by exogenous factors (Choudhary *et al.*, 2007) without altering the plant genome (Kilian *et al.*, 2000).

Induced resistance may be triggered by pre-inoculation with pathogenic, non-pathogenic, symbiotic and saprophytic agents or with the use of certain abiotic inducers, such as salicylic acid or microbial metabolites which stimulate the plant to produce natural defense substances against pathogens (Quintero and Castaño, 2012). When these are recognized by endogenous molecules they activate or increase the levels of resistance of the plant, both locally or in distal points of the place of infection, as well as to participate in other physiological activities (Schreiber and Desveaux, 2008). The interest in molecules that stimulate the plant's natural mechanisms started during their participation in the control of pathogens and pests, since they have the potential to reduce and/or avoid the risk of emergence of pathogen populations or chemical-resistant pests, partially counteracting chemical damages caused by pesticides, and cause an increase in harvest yields (Guimarães *et al.*, 2008).

The first resistance-activating chemical, Probenazole, was registered in Japan in 1975 as Oryzmate®, and since then many other activators have been developed, such as Acibenzolar-S-methyl (ASM), registered as Actigard® (Syngenta), Harpin Protein as Messenger® (Plant Health Care), and others (Walters *et al.*, 2013). In strawberry plants, Fosetil-Al® (Bayer) induced resistance by reducing the severity of the crown rot (*Phytophthora cactorum*) and root rot (*P. fragariae*) (Eikemo

actividades fisiológicas (Schreiber y Desveaux, 2008). El interés en las moléculas estimuladoras de los mecanismos naturales de defensa de la planta, surgió a partir de su intervención en el control de patógenos y plagas, ya que presentan el potencial de disminuir y/o evitar el riesgo de emergencia de poblaciones de patógenos o plagas resistentes a productos químicos, contrarrestar parcialmente los daños químicos ocasionados por los plaguicidas y causar un incremento del rendimiento de las cosechas (Guimarães *et al.*, 2008).

El primer químico activador de resistencia, Probenazole, se registró en Japón en 1975, como Oryzemat[®] y 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). En plantas de fresa, Fosetil-Al[®] (Bayer) indujo resistencia al disminuir la severidad de la pudrición de la corona (*Phytophthora cactorum*) y la pudrición de las raíces (*P. fragariae*) (Eikemo *et al.*, 2003) y en tubérculos de papa mostró una mayor acumulación e incremento de las enzimas β -1,3-glucanasas y proteasas, fitoalexinas y compuestos fenólicos (Andreu *et al.*, 2006). El ASM, originalmente comercializado para el control de la cenicilla polvorienta (*Oidium* sp.) en trigo y cebada (Gorlach *et al.*, 1996), en la actualidad se utiliza para inducir resistencia contra un extenso rango de fitopatógenos, como roya (*Uromyces viciaefabae*) y quemadura por ascochyta (*Ascochyta fabae*) en haba, en condiciones de campo e invernadero (Sillero *et al.*, 2012). En el cultivo de pera, redujo la severidad de la roña (*Venturia nashicola*) con una eficiencia en el control de 42% (Faize *et al.*, 2004) y en plátano Dominico-Hartón (Musa AAB) fue eficiente al reducir la severidad de la Sigatoka negra (*Mycosphaerella fijiensis*) y amarilla (*M. musicola*) en 80% (Márquez y Castaño, 2007). La mezcla de Tebuconazole[®] con

et al., 2003), and in potato tubers, it displayed a greater accumulation and increase of enzymes β -1,3-glucanases and proteases, phytoalexins and phenolic compounds (Andreu *et al.*, 2006). ASM, originally commercialized to control powdery mildew (*Oidium* sp.) in wheat and barley (Gorlach *et al.*, 1996), is currently used to induce resistance to a wide range of plant pathogens, such as rust (*Uromyces viciaefabae*) and ascochyta blight (*Ascochyta fabae*) in broadbeans, under field and greenhouse conditions (Sillero *et al.*, 2012). In pear plantations, it reduced blight severity (*Venturia nashicola*) with a control efficiency of 42% (Faize *et al.*, 2004), and in Dominico-Hartón bananas (Musa AAB) it was efficient in the control of the black Sigatoka (*Mycosphaerella fijiensis*), and yellow Sigatoka (*M. musicola*) by 80% (Márquez and Castaño, 2007). Mixing Tebuconazole[®] with Trifloxystrobin[®], the combination of a triazole and a strobilurin, produced an increase in yield related to the control (Couretot *et al.*, 2013). The application of resistance inducers in Dominico-Hartón seedlings against Sigatoka, including Propiconazol[®], in the group of the triazoles, has proved to reduce the size of lesions and low severity rates for this disease (Mogollón *et al.*, 2011), due to the inhibition of the demethylation of the C-14 of the lanosterol, a precursor of ergosterol of the pathogen's cell membrane (Köller, 1992).

Species of the *Bacillus* genus are considered microbial factors producing various biologically active molecules, some of which are potential inhibitors of fungal growth (Schallmeyer *et al.*, 2004). *Bacillus subtilis* is extremely tolerant to environmental stresses, including soil factors and long-term storage (Brannen and Kenney, 1997). Strain QTS 713 of *B. subtilis* is antagonistic to many phytopathogenic fungi, with an effect on competition for nutrients, exclusion of the site, colonization, and the union of bacteria to the fungus.

Trifloxystrobin®, combinación de un triazol y una estrobilurina, generaron incremento en rendimiento respecto al testigo (Couretot *et al.*, 2013). La aplicación de inductores de resistencia en plántulas de Dominico-Hartón contra Sigatoka, incluyendo Propiconazol®, del grupo de los triazoles, demostró reducir el tamaño de las lesiones y bajos índices de severidad de esta enfermedad (Mogollón *et al.*, 2011), debido a la inhibición de la demetilación del C-14 del lanosterol, un precursor del ergosterol de la membrana celular del patógeno (Köller, 1992).

Las especies en el género *Bacillus* son consideradas factores microbianos para la producción de varias moléculas biológicamente activas, algunas potencialmente inhibidoras del crecimiento de hongos (Schallmey *et al.*, 2004). *Bacillus subtilis* es extremadamente tolerante a estreses ambientales, incluyendo factores del suelo y almacenamiento a largo plazo (Brannen y Kenney, 1997). La cepa QTS 713 de *B. subtilis*, es antagonista de muchos hongos fitopatógenos, con efecto en la competencia por nutrientes, la exclusión del sitio, colonización y la unión de las bacterias al hongo. También, puede detener la germinación de las esporas de hongos fitopatógenos, interrumpiendo el crecimiento del tubo germinativo e inhibiendo la adhesión del patógeno a la hoja (EPA, 2006), debido a compuestos que muestran actividad fungicida. AgraQuest, reporta que la cepa QST 713 de *B. subtilis* induce resistencia sistémica de las plantas contra bacterias fitopatógenas. Otra especie importante del género *Bacillus* es *B. firmus*, reportada para el control de nemátodos, un proceso basado en varias interacciones, ya sea de la bacteria con los nemátodos o a través del hospedante, pero aún no se entienden completamente dichas interacciones supuestamente

It can also stop the germination of phytopathogenic fungi, interrupting the growth of the germ tube and inhibiting the adhesion of the pathogen to the leaf (EPA, 2006), due to compounds that display fungicidal activity. AgraQuest reports that strain QST 713 of *B. subtilis* induces systematic resistance of plants against phytopathogenic bacteria. Another important species of the *Bacillus* species is *B. firmus*, reported for the control of nematodes, a process based on several interactions of the bacteria with the nematodes or through the host, although there is still not a clear understanding of this interactions, allegedly based on several mechanisms that include enzyme action, degradation of root exudates and production of the phytohormone indol-acetic acid (EFSA, 2012). This microorganism, combined with Clothianidin, is effective against a variety of species, including a range of insect species (Coleóptera, Thysanóptera, Lepidóptera and Diptera).

The Harpin Protein was discovered by Wei *et al.* (1992), as an elicitor of the response of hypersensitivity caused by *Erwinia amylovora*. Currently, the product Messenger® of the company Planth Health, based on the Harpin Protein, activates a natural defense mechanism in the plant, known as systemic acquired resistance (SAR). Dong *et al.* (1999), reported that Harpin elicited a systemic resistance to *Peronospora parasítica* and *Pseudomonas syringae* pv. *tomato* in wild *Arabidopsis thaliana* plants. Based on this, the aim of this study was to evaluate agrochemicals reported as inducers of resistance to diseases, and to obtain preliminary information on the resistance-inducing effect in maize against common rust and the tar spot complex.

basadas en varios mecanismos que comprenden acción enzimática, degradación de exudados de raíz y producción de la fitohormona ácido indol-acético (EFSA, 2012). Este microorganismo, combinado con Clotianidin, es efectivo contra una variedad de especies de insectos (Coleóptera, Thysanóptera, Lepidóptera y Díptera).

La Proteína Harpin fue descubierta por Wei *et al.* (1992), como elicitor de la respuesta de hipersensibilidad provocada por *Erwinia amylovora*. Actualmente, el producto Messenger® de la empresa Planth Health, con base en la Proteína Harpin, activa un mecanismo natural de defensa en las plantas, referido como resistencia sistémica adquirida (EPA). Dong *et al.* (1999), reportaron que Harpin elicito resistencia sistémica a *Peronospora parasitica* y *Pseudomonas syringae* pv. *tomato* en plantas silvestres de *Arabidopsis thaliana*. Con base en lo anterior, el objetivo del presente estudio fue evaluar agroquímicos reportados como inductores de resistencia a enfermedades y obtener información preliminar del efecto inductor de resistencia en maíz contra la roya común y el complejo mancha de asfalto.

MATERIALES Y METODOS

El primer ensayo se sembró en el Campo Experimental de El Cerrillo, de la Universidad Autónoma del Estado de México (19° 10' 25" N - 99° 37' 02" O), el 7 de abril de 2016. Se utilizó un diseño experimental de parcelas sub-subdivididas, en donde las parcelas mayores incluyeron seis agroquímicos (Aliette, Actigard, Poncho Votivo, Serenade, Messenger y Consist Max) y un testigo absoluto. Como subparcelas se incluyeron dos métodos de aplicación (foliar y al suelo), haciendo la aplicación al suelo con aspersión al fondo del surco al momento de la siembra y la aplicación foliar

MATERIALS AND METHODS

The first trial was planted in the El Cerrillo Experimental Field, of the Autonomous University of the State of Mexico (19° 10' 25" N - 99° 37' 02" W), on April 7, 2016. A split split plot experimental design was used, in which main plots included six agrochemicals (Aliette, Actigard, Poncho Votivo, Serenade, Messenger and Consist Max) and one absolute control. As subplots, two application methods were included (foliar and on the soil), applying onto the soil by spraying the bottom of the furrow when planting, and foliar application was by spraying the plant 50 days after its emergence. Split splitplots consisted of 3 doses of the products: 1. Dose recommended on the product label, 2. Low dose, with 50% of the recommended dose, and 3. High dose, with the recommended dose plus 50% of this dose (Table 1). The experimental unit consisted of two 3 m long rows, 0.80 m between rows, with an area of 4.8 m² and three repetitions. The maize seed used was of the commercial hybrid BG1384W (Biogene). The control treatments consisted of only water. The infection was of a natural incidence.

The second planting cycle (April 5th, 2017) was set up in the same Experimental Field. Due to a low plant emergence due to an attack of the corn seed worm (*Hylemia* sp.), the trial was entirely replanted on May 10th, repeating the same experimental design. In order to register the severity of the diseases, scales were used for common rust (*Puccinia sorghi*) and the tar spot complex (*Phyllachora maydis* and others). In rust and tar spot, severity was estimated using a visual scale of 1-5, where: 1=Resistant (with pustules in 10% of the foliar area), 2=Moderately resistant (pustules in 20-30% of the foliar area), 3=Moderately susceptible (pustules in 40-50 % of the foliar area), 4=Susceptible (pustules in 60-70% of the foliar area) and 5=Very susceptible

se hizo vía aspersión a los 50 días de emergida la planta. Las sub-subparcelas consistieron de 3 dosis de los productos: 1. dosis recomendada en la etiqueta del producto, 2. dosis baja con 50% de la dosis recomendada y, 3. dosis alta con la dosis recomendada más 50% de ésta (Cuadro 1). La unidad experimental fue de dos surcos de 3.0 m de largo y 0.80 m entre surcos, con un área de 4.8 m² y tres repeticiones. Se utilizó semilla del híbrido comercial de maíz BG1384W (Biogene). Los tratamientos testigos consistieron de agua solamente. La infección fue de incidencia natural.

El segundo ciclo de siembra (5 de abril de 2017), se estableció en el mismo Campo Experimental. Debido a una baja emergencia de plantas por al ataque del gusano de la semilla de maíz (*Hylemia* sp.), el ensayo se sembró en su totalidad el 10 de mayo, repitiendo el mismo diseño experimental. Para registrar la severidad de las enfermedades, se emplearon escalas para roya común (*Puccinia sorghi*) y el complejo mancha de asfalto (*Phyllachora maydis* y otros). En roya y mancha de asfalto, la severidad se estimó usando una escala visual de 1-5, donde: 1=Resistente (con pústulas en 10% del área foliar), 2=Moderadamente resistente (pústulas en 20-30% del área foliar), 3=Moderadamente susceptible (pústulas en 40-50 % del área foliar), 4=Susceptible (pústulas en 60-70% del área foliar) y 5=Muy susceptible (pústulas en 100% del

(pustules in 100% of the foliar area). Agronomic data were collected from a yield trial (CIMMYT, 1985; IBPGR, 1991), including days at 50% of male and female flowering, plant and ear height, plant and ear aspect, number of healthy and rotten ears, weight of fresh grain at harvest adjusted to 15% humidity to obtain grain yield per hectare. The variables registered were placed under an analysis of variance (ANOVA) and values obtained were placed under a Tukey test.

RESULTS AND DISCUSSION

Planting cycle TO-2016. Acibenzolar-S-methyl and Tebuconazole + Trifloxystrobin and *Bacillus subtilis* delayed female flowering, whereas plots treated with Fosetil-Al and Cloatianidin + *Bacillus firmus* showed an acceleration in female flowering (Table 2). Male flowering was uniform throughout the experimental units. The difference in days between male and female flowering was of two days, which, according to López (1991), a minimal difference between pollen emission and the appearance of silks guarantee a good pollination and grain filling. On the other hand, for ASI (Anthesis-silking interval), Fosetil-Al showed the lowest value, which, according to Uribe Larrea *et al.* (2002), is a desirable characteristic, since a

Cuadro 1. Agroquímicos y dosis utilizadas en las evaluaciones TO-2016 y TO-201.
Table 1. Agrochemicals and doses used in evaluations TO-2016 and TO-201.

Ingred. activo	Nombre comercial	Baja (B)	Dosis Media (M)	Alta (A)
1. Fosetil-Al 80%	Aliette	625 g/ha	1250 g/ha	1875 g/ha
2. Acibenzolar-S-metil 500 g/l	Actigard	30 g/ha	60 g/ha	90 g/ha
3. Trifloxystrobin + tebuconazole	Consist Max	125 mL/ha	250 mL/ha	375 mL/ha
4. Cloatianidin 500 g/l + <i>Bacillus firmus</i>	Poncho Votivo	40 mL/ha	80 mL/ha	120 mL/ha
5. <i>Bacillus subtilis</i> 1 x 10 ⁹ UFC/g	Serenade	2.5 L/ha	5 L/ha	7.5 L/ha
6. Proteína Harpin 3%	Messenger	75 g/ha	150 g/ha	225 g/ha
7. Testigo		-----	-----	-----

área foliar). Se colectaron datos agronómicos de un ensayo de rendimiento (CIMMYT, 1985; IBPGR, 1991), incluyendo días a 50% de floración masculina y femenina, altura de planta y mazorca, aspecto de planta y de mazorca, número de mazorcas sanas y podridas, peso de grano fresco en cosecha ajustado a 15% de humedad para obtener rendimiento de grano por hectárea. Las variables registradas fueron sometidas a un análisis de varianza (ANAVA) y los valores obtenidos se sometieron a una prueba de comparación de medias de Tukey.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Ciclo de siembra TO-2016. Acibenzolar-s-metil y Tebuconazole + Trifloxystrobin y *Bacillus subtilis* retrasaron la floración femenina, en cambio las parcelas tratadas con Fosetil-Al y Cloatianidin + *Bacillus firmus* mostraron una aceleración en la floración femenina (Cuadro 2). La floración masculina fue uniforme en las unidades experimentales. La diferencia en días entre floración masculina y femenina fue de dos días, lo que, de acuerdo con López (1991), un desfase mínimo entre la emisión de polen y la aparición de los estigmas garantizan una buena polinización y el buen llenado de grano. Mientras que para ASI (Anthesis-silking interval), Fosetil-Al mostró el valor más bajo que, de acuerdo a Uribe-larrea *et al.* (2002), es una característica deseable ya que un valor alto de ASI provoca reducción del rendimiento debido a fallas en la polinización de los estigmas.

Las parcelas tratadas con Fosetil-Al mostraron un incremento estadísticamente significativo en altura de planta y mazorca, mientras que la Proteína Harpin las disminuyó. Para el balance de planta, todos los agroquímicos tuvieron los valores de 0.50, valor deseable en el cultivo para tener un balance adecuado de planta para evitar el acame.

high ASI value causes the reduction of yield, due to erratic silk pollination.

Plots treated with Fosetil-Al showed a statistically significant increase in plant and ear height, whereas the Harpin Protein reduced them. For the plant balance, all agrochemicals had values of 0.50, a desirable value in the crop to obtain an adequate balance to avoid lodging.

For the ear aspect, there were no statistical differences. Between treatments, the control (untreated plots) showed the lowest number of rotten ears, while plots treated with Fosetil-Al had the highest number of rotten ears. Regardless of this, Fosetil-Al and Acibenzolar-S-metil showed a statistically higher yield with 5.7 and 5.9 t ha⁻¹, respectively. The lowest yield obtained was with the Harpin Protein.

Based on the scale of severity used to evaluate the damage caused by the common rust and TSC, the plants displayed a lower severity of these two foliar diseases. For TSC, the product Clothianidin + *Bacillus firmus* y Fosetyl-Al showed the highest severity with 1.6 (Table 2) in comparison with the average of 1.4 and the control with 1.2. Likewise for rust severity, plants from plots treated with Clothianidin + *Bacillus firmus*, statistically had a higher severity value (1.3), compared with the average of 1.2 and the control of 1.0. Table 2 shows that, despite this observation, the plots treated with Clothianidin + *Bacillus firmus* had a higher yield in comparison to the control, which has a lower disease severity value. This may be attributed to the characteristics of *Bacillus*, given that these organisms contribute to the productivity of crops, since they are located in the rhizosphere and colonize the roots of plants, promoting the growth of rhizobacteria that contribute to a greater absorption of nutrients (Schallmeyer *et al.*, (2004).

Cuadro 2. Separación de medias de agroquímicos, vía de aplicación y dosis por el método Tukey ($\alpha=0.05$) para la variable características agronómicas y severidad de las enfermedades. TO-2016.**Table 2. Separation of measurements of agrochemicals, means of application and doses using Tukey's test ($\alpha=0.05$) for the variable of agricultural characteristics and disease severity. TO-2016.**

	FM	FF	RFM	AIP	AIM	BMP	AsM	MP	RG	SCMA	SR
Aliette	108.2 a*	109.4 b*	1.0 b*	178.7 a*	94.0 a*	0.5 ab*	1.9 a*	1.1 a*	5.7 a	1.6 a*	1.2 ab*
Testigo	108.2 a	110.2 ab	1.0 a	165.2 abc	78.0 bc	0.4 c	2.2 a	0.1 b	4.7 abc	1.2 b	1.0 b
Serenade	108.4 a	110.2 a	1.0 a	159.0 bc	81.5 abc	0.5 abc	2.2 a	0.3 ab	4.7 abc	1.3 ab	1.1 ab
Poncho Votivo	108.0 a	109.4 b	1.0 a	174.4 ab	87.1 abc	0.5 bc	2.3 a	0.7 ab	5.6 ab	1.6 a	1.3 a
Messenger	108.4 a	110.0 ab	1.0 a	153.3 c	74.5 c	0.5 bc	2.5 a	0.4 ab	3.3 c	1.3 ab	1.1 ab
Actigard	108.4 a	110.3 a	1.0 a	171.9 abc	88.3 ab	0.5 abc	2.4 a	0.7 ab	5.9 a	1.3 ab	1.3 ab
Consist Max	108.4 a	110.3 a	1.0 a	154.3 c	84.7 abc	0.5 a	2.5 a	0.5 ab	3.4 bc	1.4 ab	1.2 ab
Suelo	108.3 a	110.0 a	1.0 a	165.3 a	83.2 a	0.5 a	2.2 a	0.5 a	4.6 a	1.3 a	1.2 a
Foliar	108.3 a	110.0 a	1.0 a	165.1 a	84.9 a	0.5 a	2.4 a	0.6 a	5.0 a	1.4 a	1.2 a
Alta	108.3 a	110.0 a	1.0 a	165.4 a	86.65 a	0.5 a	2.2 a	0.6 a	4.8 a	1.4 a	1.1 b
Media	108.2 a	109.9 a	1.0 a	164.1 a	82.09 a	0.5 a	2.4 a	0.6 a	4.9 a	1.4 a	1.2 ab
Baja	108.4 a	110.0 a	1.0 a	166.1 a	86.65 a	0.5 a	2.3 a	0.4 a	4.7 a	1.4 a	1.23 a
CV	0.6	0.7	0.7	6.8	13.4	11.7	23.7	118.8	27.4	22.7	21.2
Media	108.3	109.9	1.0	165.2	84.0	0.5	2.3	0.5	4.8	1.4	1.2

*Valores seguidos de la misma letra no son diferentes entre ellos / Values followed by the same letter display no differences with one another.

FM=días a 50% de floración masculina, FF=días a 50% de floración femenina, RFM=relación floración femenina/masculino, AIP=altura de planta, AIM=altura de mazorca, BMP=balance de mazorca/planta, AsM=aspecto de mazorca, MP=mazorcas podridas, RG=rendimiento de grano ajustado, SCMA=severidad de complejo mancha de asfalto, SR=severidad de roya común / FM=days to 50% of male flowering, FF=days to 50% of female flowering, RFM= female/male flowering ratio, AIP=plant height, AIM=ear height, BMP=ear/plant balance, AsM=ear aspect, MP=rotten ears, RG=yield of grain, adjusted, SCMA=severity of tar spot complex, SR=severity of common rust.

En aspecto de mazorca, estadísticamente no hubo diferencias. Se observó que entre los tratamientos, el testigo (parcelas sin tratar) presentó el valor más bajo de número de mazorcas podridas, mientras que las parcelas tratadas con Fosetil-Al presentaron el mayor número de mazorcas podridas. A pesar de esto, Fosetil-Al y Acibenzolar-S-metil mostraron un rendimiento estadísticamente más alto con 5.7 y 5.9 t ha⁻¹, respectivamente. El rendimiento más bajo se obtuvo con la Proteína Harpin.

En base a la escala de severidad utilizada para evaluar daño por roya común y el CMA, las plantas mostraron menor severidad por estas dos enfermedades foliares. Para CMA, el producto Clotianidin

Planting cycle TO-2017. Fosetil-Al was found to accelerate flowering, while Acibenzolar-S-methyl and Trifloxystrobin + Tebuconazole delayed it (Table 3). For the variable female/male flowering, it was found that agrochemicals, means of application and dose had the same effect, indicating a minimum difference between pollen emission and the appearance of silks, which guarantee an adequate grain (López, 1991). Acibenzolar-S-methyl registered the greatest plant height with 173.5 cm, followed by Tebuconazole + Trifloxystrobin with 172.3 cm., and *Bacillus subtilis* presented the lowest plant height with 152.4 cm. However, there was no significant difference in ear height. In plant balance, Tebuconazole + Trifloxystrobin

+ *Bacillus firmus* y Fosetil-Al mostraron la mayor severidad de 1.6 (Cuadro 2) comparado con la media de 1.4 y el testigo con 1.2. De igual manera, para la severidad de la roya, las plantas de las parcelas tratadas con Clotianidin + *Bacillus firmus* tuvieron, estadísticamente, un valor de severidad más alto (1.3), comparado con la media de 1.2 y el testigo de 1.0. El Cuadro 2 muestra que, a pesar de esta observación, las parcelas tratadas con Clotianidin + *Bacillus firmus* tuvieron mayor rendimiento comparado con el testigo que tuvo el valor menor de severidad. Esto se puede atribuir a las características de *Bacillus*, dado que estos organismos contribuyen a la productividad de los cultivos al localizarse en la rizósfera y colonizar las raíces de las plantas promoviendo el crecimiento de rizobacterias que contribuyen a una mayor absorción de nutrientes Schallmeyer *et al.* (2004).

Ciclo de siembra TO-2017. Se determinó que Fosetil-Al aceleró la floración, mientras que Acibenzolar-S-metil y Trifloxystrobin + Tebuconazole la retrasaron (Cuadro 3). Para la variable relación de floración femenina/masculina se obtuvo que tanto para agroquímicos, vía de aplicación y dosis, tuvieron el mismo efecto, indicando un desfase mínimo entre la emisión de polen y la aparición de los estigmas, garantizando el buen llenado del grano (López, 1991). Acibenzolar-S-metil registró la mayor altura de planta con 173.5 cm, seguido de Tebuconazole + Trifloxystrobin con 172.3 cm., mientras que *Bacillus subtilis* presentó la menor altura con 152.4 cm. Sin embargo, no presentaron diferencia significativa en altura de mazorca. En el balance de planta, Tebuconazole + Trifloxystrobin y Acibenzolar-S-metil tuvieron el valor deseable de 0.5.

El aspecto de plantas se vio afectado de manera negativa con el fungicida Fosetil-Al, en cambio las plantas de las parcelas no tratadas presentaron el mejor aspecto. En aspecto de mazorcas, éste fue igual en todas las parcelas a pesar de que algunas

and Acibenzolar-S-metil had the desirable plant balance value of 0.5.

Plant aspect was negatively affected with the fungicide Fosetil-Al and plants from the untreated plots had the best aspect. Ear aspect was equal in all plots, despite some of them having desirable or undesirable aspects. This coincides with Guimarães *et al.* (2008), who reported that the use of inducers may lead to physiological effects, as in the case of Acibenzolar-S-methyl applied on cotton plants that presented a reduction in plant height, dry and fresh weight of stems, due to the activation of the resistance imposing a demand of energy in the plants (Dietrich *et al.*, 2005), and a reduction of metabolites for growth and other important physiological processes (Heil *et al.*, 2002).

The highest grain yield was obtained with Tebuconazole + Trifloxystrobin (5.7 t ha⁻¹), and the lowest, with Fosetil-Al (3.6 t ha⁻¹). The results for yield with the Tebuconazole + Trifloxystrobin treatment coincide with reports by Couretot *et al.* (2013), who mention that the mixture of triazoles and estrobilurines increases yield.

For this cycle, two evaluations were done for the severity of *P. sorghi*, in which, as in the first cycle, averages indicate that plants of the plot range from moderately resistant to resistant (Table 3). In the first evaluation, Serenade® (*Bacillus subtilis*) reduced the severity of rust, which coincides with reports by the company AgraQuest, who indicate that *B. subtilis* induces the natural resistance of plants. Also, Maget and Peypoux (1994) mention that compounds called Iturines, produced by this organism, display activity against plant pathogenic fungi. Various reports indicate that this bacteria can stop germination of the pathogen's spores by interrupting the growth of the germinative tube and inhibiting the union of the pathogen with the plant leaf (EPA, 2006).

In the second rust evaluation, there were no significant differences in the severities of the plants

Cuadro 3. Separación de medias de tratamientos, vía de aplicación y dosis por el método Tukey ($\alpha=0.05$) para la variable características agronómicas y severidad de las enfermedades. TO-2017.**Table 3. Separation of averages of treatments, means of application and doses using Tukey's test ($\alpha=0.05$) for the variable of agricultural characteristics and disease severity. TO-2017.**

Factor	FM	FF	RFM	AIP	AIM	BMP	AsP	AsM	MP	RG	SCMA	SR1	SR2
Aliette	103.4 a	104.2 a	1.0 a	152.6 a	68.8 a	0.4 a	2.6 a	3.6 a	0.7 a	3.6 b	1.9 b	1.6 ab	1.9 a
Testigo	103.0 ab	104.3 a	1.0 a	171.0 a	78.9 a	0.4 a	1.9 b	2.5 a	1.2 a	5.3 ab	2.7 a	1.5 ab	1.8 a
Serenade	102.9 ab	104.0 a	1.0 a	152.4 a	67.7 a	0.4 a	2.3 ab	3.2 a	0.9 a	4.3 ab	2.2 ab	1.4 b	1.9 a
Poncho Votivo	102.8 ab	103.9 a	1.0 a	160.7 a	70.9 a	0.4 a	2.1 ab	2.9 a	1.1 a	4.8 ab	2.1 ab	1.7 ab	1.8 a
Messenger	102.7 ab	103.6 a	1.0 a	155.9 a	69.7 a	0.4 a	2.1 ab	3.2 a	1.1 a	5.2 ab	2.4 ab	1.6 ab	1.8 a
Actigard	102.5 b	103.9 a	1.0 a	173.5 a	80.5 a	0.5 a	2.1 ab	2.9 a	1.2 a	5.3 ab	2.6 ab	2.0 a*	2.0 a
Consist Max	102.4 b	104.0 a	1.0 a	172.3 a	80.3 a	0.5 a	2.1 ab	2.6 a	1.0 a	5.7 a	2.5 ab	1.8 ab	1.9 a
Suelo	102.9 a	104.0 a	1.0 a	164.7 a	74.7 a	0.4 a	2.2 a	3.0 a	1.0 a	4.8 a	2.4 a	1.7 a	1.9 a
Foliar	102.7 a	103.9 a	1.0 a	161.2 a	72.9 a	0.4 a	2.2 a	3.0 a	1.0 a	5.0 a	2.3 a	1.6 a	1.8 a
Alta	102.9 a	103.9 a	1.0 a	159.9 a	72.2 a	0.4 a	2.2 a	3.0 a	0.9 a	4.9 a	2.3 a	1.7 a	1.9 a
Media	102.8 a	104.0 a	1.0 a	166.3 a	75.7 a	0.4 a	2.1 a	2.9 a	1.3 a	5.0 a	2.5 a	1.6 a	1.9 a
Baja	102.7 a	104.0 a	1.0 a	161.7 a	73.5 a	0.4 a	2.2 a	3.1 a	0.9 a	4.7 a	2.3 a	1.7 a	1.7 a
CV	0.9	0.9	0.9	9.6	16.3	11.3	24.7	26.8	107.9	22.3	27.8	25.7	30.1
Media	102.8	104.0	1.0	162.6	73.8	0.4	2.2	3.0	1.0	4.9	2.3	1.7	1.9

*Valores seguidos de la misma letra no son diferentes entre ellos / Values followed by the same letter display no differences with one another.

FM=días a 50% de floración masculina, FF=días a 50% de floración femenina, RFM=relación floración femenino/masculino, AIP=altura de planta, AIM=altura de mazorca, BMP=balance de mazorca/planta, AsP=aspecto de planta, AsM=aspecto de mazorca, MP=mazorcas podridas, RG=rendimiento de grano ajustado, SCMA=severidad de complejo mancha de asfalto, SR=severidad de roya común primera evaluación, SR2=severidad de roya común segunda evaluación / FM=days to 50% of male flowering, FF= days to 50% of female flowering, RFM= female/male flowering ratio, AIP=plant height, AIM=ear height, BMP=ear/plant balance, AsP=plant aspect, AsM=ear aspect, MP=rotten ears, RG=yield of grain, adjusted, SCMA= severity of tar spot complex, SR=severity of common rust, first evaluation, SR2= severity of common rust, second evaluation.

tuvieran o no plantas con aspecto deseable. Esto concuerda con Guimarães *et al.* (2008), quienes reportan que la utilización de inductores puede conducir a efectos fisiológicos, como sucedió al aplicar Acibenzolar-S-metil en plantas de algodón que presentaron una reducción de altura de planta, peso fresco y seco de brotes, debido a que la activación de la resistencia impone demanda de energía de la planta (Dietrich *et al.*, 2005) y reducción de metabolitos para el crecimiento y otros procesos fisiológicos importantes (Heil *et al.*, 2002).

El mayor rendimiento de grano se obtuvo con Tebuconazole + Trifloxystrobin (5.7 t ha⁻¹) y el menor con Fosetil-Al (3.6 t ha⁻¹). Los resultados

treated; however, Serenade® (*Bacillus subtilis*), which gave the lowest severity value in the first evaluation, is found in the same statistical group with the other products. In order to maintain the previously observed effect it may be necessary to make a second application, as mentioned by Rohilla *et al.* (2001), who point out that the degree of protection provided by the application of a fungicide, whether on the ground or foliar, decreases with time. There are also various reports of resistance elicitors which do not provide a significant control of the disease when compared to the control (Mogollón and Castaño, 2011) since, in the field, the expression of induced resistance

obtenidos en rendimiento con el tratamiento de Tebuconazole + Trifloxystrobin coinciden con lo reportado por Couretot *et al.* (2013) quienes mencionan que la mezcla de triazoles y estrobilurinas incrementa el rendimiento.

Para éste ciclo, se realizaron dos evaluaciones de la severidad de *P. sorghi*, las que, al igual que en el primer ciclo, las medias indican que las plantas de las parcelas van de moderadamente resistentes a resistentes (Cuadro 3). En la primera evaluación, Serenade® (*Bacillus subtilis*) redujo la severidad de la roya, lo que coincide con lo reportado por la compañía AgraQuest quienes indican que *B. subtilis* induce resistencia natural de las plantas. También, Maget y Peypoux (1994) mencionan que compuestos denominados Iturines, generados por éste organismo, muestran actividad contra muchos hongos fitopatógenos. Diversos reportes indican que esta bacteria puede detener la germinación de las esporas de los patógenos al interrumpir el crecimiento del tubo germinativo e inhibir la unión del patógeno a la hoja de la planta (EPA, 2006).

En la segunda evaluación de roya, no se encontraron diferencias en las severidades de las plantas tratadas, sin embargo, Serenade® (*Bacillus subtilis*), que en la primera evaluación resultó con el menor valor de severidad, se encuentra en el mismo grupo estadístico con los otros productos. Posiblemente, para mantener el efecto previamente observado sea necesario realizar otra aplicación, tal como mencionan Rohilla *et al.* (2001), quienes indican que el grado de protección que proporciona la aplicación de un fungicida, ya sea al suelo o foliar, disminuye con el tiempo. También, existen varios reportes de elicitores de resistencia que no proporcionan un control significativo de la enfermedad comparado con el testigo (Mogollón y Castaño, 2011) debido a que, en campo, la expresión de la resistencia inducida está influenciada por el ambiente, el genotipo y la nutrición (Walters *et al.*, 2005).

is influenced by the environment, genotype and nutrition (Walters *et al.*, 2005).

Fosetil-Al showed a higher efficiency by reducing the severity of the TSC, presenting the lowest value in comparison to the control, which had the highest value for severity (Table 3). The active ingredient of this product is reported as a resistance inducer in several crops, including strawberry, since it reduces the severity of crown rot (*P. cactorum*), root rot (*P. fragariae*) (Eikemo *et al.*, 2003), and in potato tubers, when applying it to control *P. infestans*, where it showed a greater accumulation and increase of enzymes β -1,3-glucanases, proteases, phytoalexins and phenolic compounds (Andreu *et al.*, 2006), related with plant defenses. Although Fosetil-Al displayed the lowest TSC severity value, it did not increase grain yield. Guimarães *et al.* (2008), mention that inducing resistance in plants may have physiological effects, since the activation of resistance imposes high demands of energy on the plant (Dietrich *et al.*, 2005) and a reduction of metabolites for growth and other important plant processes (Heil and Baldwin., 2002).

CONCLUSIONS

Both diseases in which resistance inducers were evaluated were present in both planting cycles. In the TO-16 cycle, none of the agrochemicals reduced the severity of rust and TSC, although Tebuconazole + Trifloxystrobin increased grain yield. For cycle TO-2017, Serenade proved to be the best agrochemical in reducing the severity of *P. sorghi*, while Fosetil-Al showed the best effect on reducing the severity of the TSC, but Tebuconazole + Trifloxystrobin induced a higher grain yield. The disease severities were not affected by the application method. There were significant

Fosetil-Al mostró mayor eficiencia al disminuir la severidad del complejo mancha de asfalto presentando el valor más bajo, comparado con el testigo que tuvo el valor más alto de severidad (Cuadro 3). El ingrediente activo de éste producto está reportado como inductor de resistencia en varios cultivos incluyendo fresa, al disminuir la severidad de la pudrición de la corona (*P. cactorum*) y pudrición de raíces (*P. fragariae*) (Eikemo *et al.*, 2003) y en tubérculos de papa, al aplicarlo para el control de *P. infestans*, en donde mostró una mayor acumulación e incremento de las enzimas β -1,3-glucanasas, proteasas, fitoalexinas y compuestos fenólicos (Andreu *et al.*, 2006), relacionadas con defensas de las plantas. Aunque Fosetil-Al mostró el valor más bajo de severidad de CMA, no aumentó el rendimiento en grano. Guimarães *et al.* (2008), mencionan que inducir resistencia en plantas puede tener costos fisiológicos debido a que la activación de la resistencia impone altas demandas de energía a la planta (Dietrich *et al.*, 2005) y reducción de metabolitos para el crecimiento y otros procesos importantes para la planta (Heil y Baldwin., 2002).

CONCLUSIONES

Las dos enfermedades en que se evaluaron los inductores de resistencia se presentaron en los dos ciclos de siembra. En el ciclo TO-2016, ninguno de los agroquímicos redujo la severidad de la roya y mancha de asfalto, pero el Tebuconazole + Trifloxystrobin incrementaron el rendimiento de grano. Para el ciclo TO-2017, Serenade mostró ser el mejor agroquímico para reducir la severidad de *P. sorghi*, mientras que Fosetil-Al mostró el mejor efecto en reducción de la severidad del CMA, pero Tebuconazole + Trifloxystrobin indujo un mayor rendimiento de grano. La severidad de las enfermedades no se vio afectada por el método de aplicación. Hubo diferencias significativas entre dosis

differences between doses, since the severity of rust decreased when using high doses of agrochemicals.

~~~~~ End of the English version ~~~~~

ya que la severidad de la roya disminuyó al utilizar dosis altas de los agroquímicos.

## LITERATURA CITADA

- Andreu BA, Guevara GM, Wolski E, Daleo G, and Caldiz D. 2006. Enhancement of the natural disease resistance of potatoes by chemicals. *Pest Management Science* 62:162-170.
- Brannen PM, and Kenney DS. 1997. Kodiak®-a successful biological-control product for suppression of soil-borne plant pathogens of cotton. *Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology* 19:169-171.
- Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT). 1985. Managing trials and reporting data for CIMMYT's international maize testing program, Mexico, D.F. Disponible en línea: <https://repository.cimmyt.org/xmlui/bitstream/handle/10883/697/13201.pdf>
- Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT). 2005. Enfermedades del maíz. Una guía para su identificación en campo. Disponible en línea: <https://repository.cimmyt.org/xmlui/bitstream/handle/10883/715/25905.pdf>
- Choudhary DK, Prakash A, and Johri BN. 2007. Induced systemic resistance (ISR) in plants: mechanism of action. *Indian Journal of Microbiology* 47:289-297.
- Couretot L, Parisi L, Hirsch M, Suarez ML, Magnone G. y Ferraris G. 2013. Principales enfermedades del cultivo de maíz en las últimas campañas y su manejo. 7 p. Disponible en línea: [https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta\\_pergamino\\_principales\\_enfermedades\\_del\\_cultivo\\_d.pdf](https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta_pergamino_principales_enfermedades_del_cultivo_d.pdf)
- Dietrich R, Ploss K, and Heil M. 2005. Growth responses and fitness costs after induction of pathogen resistance depend on environmental conditions. *Plant, Cell and Environment* 28:211-222.
- Dong H, Delaney TP, Bauer DW, and Beer SV. 1999. Harpin induces disease resistance in Arabidopsis through the systemic acquired resistance pathway mediated by salicylic acid and the NIM1 gene. *The Plant Journal* 20(2):207-215. Disponible en línea: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1046/j.1365-3113x.1999.00595.x>
- Edreva A. 2004. A novel strategy for plant protection: Induced resistance. *Journal of cell and Molecular Biology* 3:61-69. Disponible en línea: <https://pdfs.semanticscholar.org/a974/c0471debbdc5b0d53d70a59923d842e4f50.pdf>
- Eikemo H, Stensvand A, and Tronsmo AM. 2003. Induced resistance as a possible means to control diseases of strawberry caused by *Phytophthora* spp. *Plant Disease* 87(4):345-

350. Disponible en línea: <https://apsjournals.apsnet.org/doi/pdfplus/10.1094/PDIS.2003.87.4.345>
- Environmental Protection Agency (EPA). 2006. *Bacillus subtilis* Strain 713 (006479) Biopesticide. [http://www.epa.gov/pesticides/biopesticides/ingredients/tech\\_docs/tech\\_006479.html](http://www.epa.gov/pesticides/biopesticides/ingredients/tech_docs/tech_006479.html) (consulta, mayo 2018)
- European Food Safety Authority (EFSA). 2012. Conclusion on the peer review of the pesticide risk assessment of the active substance *Bacillus firmus* I-1582. EFSA Journal 10:2868.
- Faize M, Faize L, Koike N, Ishizaka M, and Ishii H. 2004. Acibenzolans-methyl-induced resistance to Japanese pear scab is associated with potentiation of multiple defense responses. *Phytopathology* 94:604-612.
- Guimarães BMA, Laranjeira D, and Barbosa RS. 2008. Physiological cost of induced resistance in cotton plants at different nitrogen levels. *Summa Phytopathologica* 34:338-342.
- Gorlach J, Volrath S, Knauf F, Hengy G, Beckhove U, Kogel KH, 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* 8:629-643.
- Heil M, and Baldwin IT. 2002. Fitness costs of induced resistance: emerging experimental support for a slippery concept. *Trends in Plant Science* 7:61-67.
- Hock J, Dittrich U, Renfro BL, and Kranz J. 1992. Sequential development of pathogens in the maize tar spot disease complex. *Mycopathologia* 117:157-161.
- International Board for Plant Genetic Resources (IBPGR). 1991. Descriptors for maize. International Maize and Wheat Improvement Center. México City. 88p. Disponible en línea: [https://www.bioversityinternational.org/fileadmin/user\\_upload/online\\_library/publications/pdfs/104.pdf](https://www.bioversityinternational.org/fileadmin/user_upload/online_library/publications/pdfs/104.pdf)
- Kilian M, Steiner U, Krebs B, Junge H, Schmiedeknecht G, and Hain R. 2000. FZB24 *Bacillus subtilis*-mode of action of a microbial agent enhancing plant vitality. *Pflanzenschutz-Nachrichten Bayer* 53:72-93.
- Köller W. 1992. Antifungal agents with target sites in sterol functions and biosynthesis. p.119-206. In: Koller W. Target Sites of Fungicide Action. CRC Press. Boca Raton, Florida. 328 p. Disponible en línea: <https://books.google.com.mx/books?hl=es&lr=&id=Or1HDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PT183&dq=Antifungal+agents+with+target+sites+in+sterol+functions+and+biosynthesis&ots=8UcS3RIWfM&sig=bIHRbeUnQw9H9FMY8VYLDwSRluQ#v=onepage&q=Antifungal%20agents%20with%20target%20sites%20in%20sterol%20functions%20and%20biosynthesis&f=false>
- López L. 1991. Cultivos herbáceos “Cereales”. Vol I. Ediciones Mundi-Prensa. España. 539 p.
- Maget DR, and Peypoux F. 1994. Iturins, a special class of poreforming lipopeptides: biological and physicochemical properties. *Toxicology* 87:151-174.
- Martínez SJ y Espinosa PN. 2014. Sugerencias para el control del “complejo mancha de asfalto” del maíz en la Frailesca, Chiapas. Folleto para productores No. 13. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Centro de Investigación Regional Pacífico Sur. Campo experimental centro de Chiapas Ocozacoautla, Chiapas, México. 15 p. Disponible en línea: [https://www.researchgate.net/publication/271586181\\_Sugerencias\\_para\\_el\\_control\\_del\\_complejo\\_mancha\\_de\\_asfalto\\_del\\_maiz\\_en\\_La\\_Frailesca\\_Chiapas](https://www.researchgate.net/publication/271586181_Sugerencias_para_el_control_del_complejo_mancha_de_asfalto_del_maiz_en_La_Frailesca_Chiapas) DOI:10.13140/2.1.3799.5842
- Márquez C, Castaño ZJ. 2007. Inducción de resistencia a sigatocas en plántulas de plátano Dominico-Hartón. *Agro-nomía* 15(2):49-57. Disponible en línea: [https://kipdf.com/induccin-de-resistencia-a-sigatocas-en-plantulas-de-platano-dominico-harton\\_5afd547d8ead0e41128b4633.html](https://kipdf.com/induccin-de-resistencia-a-sigatocas-en-plantulas-de-platano-dominico-harton_5afd547d8ead0e41128b4633.html)
- Maublanc, A. 1904. Espèces nouvelles de champignons inférieurs. *Bulletin de la Société Mycologique de France*. 20(2):70-74. Disponible en línea: <https://ia800703.us.archive.org/0/items/mobot31753002525548/mobot31753002525548.pdf>
- Mogollón OA y Castaño ZJ. 2011. Efecto de inductores de resistencia en plántulas de plátano dominico hartón (*Musa balbisiana* AAB) contra *Mycosphaerella* spp. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales* 35:463-472.
- Quintero VC y Castaño ZJ. 2012. Evaluación de inductores de resistencia para el manejo de nematodos fitoparásitos en plántulas de plátano. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*. 36:575-586.
- Riveros AS. 2001. Moléculas activadoras de la inducción de resistencia, incorporadas en programas de agricultura sostenible. Manejo integrado de plagas 61: 4-11. Disponible en línea: [www.sidalc.net/REPDOC/A2124E/A2124E.PDF](http://www.sidalc.net/REPDOC/A2124E/A2124E.PDF)
- Rohilla R, Singh US, and Singh RL. 2001. Mode of action of Acibenzolar-S-methyl against sheath blight of rice, caused by *Rhizoctonia solani* Kühn. *Pest Management. Science* 58:63-69.
- Saint G y López PMA. 1997. Producción de maíz y políticas agrícolas en Centro América y México CIMMYT. San José, Costa Rica. 39p. Disponible en línea: [libcatalog.cimmyt.org/Download/cim/64574.pdf](http://libcatalog.cimmyt.org/Download/cim/64574.pdf)
- SIAP-SAGARPA. 2014. Servicio de información agroalimentaria y pesca- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Anuario Estadístico de la Producción Agrícola. <https://datos.gob.mx/busca/dataset/datos-estadisticos-de-la-produccion-agricola-generada-a-nivel-nacional/resource/91fb244e-4f49-4c97-9f6d-eae06a4fdb74> (consultado, mayo 2018).
- Schallmeyer M, Singh A, and Ward OP. 2004. Developments in the use of *Bacillus* species for industrial production. *Canadian Journal of Microbiology* 50:1-17.
- Schreiber K, and Desveaux D. 2008. Message in a bottle: Chemical biology of induced resistance in plants. *The Plant Pathology Journal* 24:245-268.
- Sillero JC, Rojas MM, Avila CM, and Rubiales D. 2012. Induction of systemic acquired resistance against rust, ascochyta blight and broomrape in faba bean by exogenous application of salicylic acid and benzothiadiazole. *Crop Protection* 34:65-69.
- Uribe-larrea M, Cárcova J, Otegui ME, and Westgate ME. 2002. Pollen production, pollination dynamics, and kernel set in maize. *Crop Science* 42:1910-1918.
- Walters DR, Walsh D, Newton A, and Lyon G. 2005. Induced resistance for plant disease control: maximizing the efficacy of resistance elicitors. *The American Phytopathological Society* 95:1368-1373.

- Walters DR, and Fountaine JM. 2009. Practical application of induced resistance to plant diseases: an appraisal of effectiveness under field conditions. *Journal of Agricultural Science* 147:523–535.
- Walters DR, Ratsep J, and Havis ND. 2013. Controlling crop diseases using induced resistance: Challenges for the future. *Journal of Experimental Botany* 64:1263-1280.
- Wei Z, Laby R, Zumoff C, Bauer D, Ho SY, Collmer A, and Beer S. 1992. Harpin, elicitor of the hypersensitive response produced by the plant pathogen *Erwinia amylovora*. *Science* 257:85-88.