

Efecto de inductores de resistencia sobre la incidencia y severidad de la pudrición carbonosa en sésamo (*Sesamum indicum* L.)

Resistance inductors effect on the incidence and severity of charcoal rot in sesame plants (*Sesamum indicum* L.)

Efeito de indutores de resistência sobre a incidência e a severidade da podridão em gergelim (*Sesamum indicum* L.)

DOI: 10.34188/bjaerv8n2-061

Submetido: 10-02-2025

Aprovado: 31-03-2025

Edith Diana María Ruiz Díaz Lovera

Máster en Fitosanidad

Universidad Nacional de Asunción

Concepción. Paraguay

Correo electrónico: rdledith@gmail.com

Cristhian Javier Grabowski Ocampos

Epidemiología Molecular de bacterias fitopatógenas

Universidade Federal de Viçosa, Brasil

San Lorenzo. Paraguay

Correo electrónico: cgrabowski@agr.una.py

RESUMEN

El presente trabajo fue llevado a cabo en dos localidades, a fin de evaluar el efecto de inductores de resistencia sobre la incidencia y severidad de la pudrición carbonosa (*Macropomina phaseolina*) en el cultivo de sésamo (*Sesamum indicum* L.). El diseño experimental utilizado fue completamente al azar con seis tratamientos y cuatro repeticiones, donde las unidades experimentales estuvieron constituidas por cinco hileras del cultivo, mientras que los tratamientos estuvieron compuestos por la aplicación de los inductores de resistencia: extracto acuoso de Ka'a He'e (50cc/L), Acibenzolar-S-metil (1g/L), Fosfito de Potasio (5g/L), mezcla de oligoelementos con extracto vegetal (2,5cc/L), un testigo químico, Oxicloruro de Cobre + Mancozeb (5g/L) y un testigo absoluto, sin aplicación. Las determinaciones evaluadas fueron la incidencia y severidad. Las evaluaciones fueron realizadas semanalmente, analizando cada planta en sus tres estratos y las hojas previamente marcadas según escala diagramática. Con datos recabados, sumados a los reportes meteorológicos, fue trazada el área bajo la curva de progreso de la enfermedad. Los datos obtenidos fueron sometidos a un ANAVA y las medias comparadas por el test de Tukey al 5% de probabilidad. Donde se pudo constatar que, para la incidencia de la pudrición carbonosa en Concepción los inductores más efectivos fueron Acibenzolar-S-metil y MOEV; mientras que en San Lorenzo el inductor más efectivo fue el extracto de ka'a he'e. It was found that for the incidence of charcoal rot in Concepción the most effective inducers were Acibenzolar-S-methyl and MOEV, while in San Lorenzo the most effective inducer was ka'a he'e extract.

Palabras clave: inducción de resistencia, *Macrophomina phaseolina*, epidemiología.

RESUMO

O presente trabalho foi realizado em duas localidades, com o objetivo de avaliar o efeito de indutores de resistência sobre a incidência e severidade da podridão do caule (*Macropomina phaseolina*) em gergelim (*Sesamum indicum* L.). O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado com seis tratamentos e quatro repetições, onde as unidades experimentais foram constituídas por cinco linhas da cultura, enquanto os tratamentos foram compostos pela aplicação dos indutores de resistência: Extrato aquoso de Ka'a He'e (50cc/L), Acibenzolar-s-metil (1g/L), Fosfito de Potássio (5g/L), mistura de oligoelementos com extrato vegetal (2,5cc/L), uma testemunha química, Oxidocloreto de Cobre + Mancozeb (5g/L) e uma testemunha absoluta, sem aplicação. As determinações avaliadas foram a incidência e a severidade. As avaliações foram efectuadas semanalmente, analisando cada planta nos seus três estratos e as folhas previamente marcadas de acordo com uma escala diagramática. A área sob a curva de progresso da doença foi plotada utilizando os dados coletados, juntamente com os boletins meteorológicos. Os dados obtidos foram submetidos a uma ANAVA e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Verificou-se que, para a incidência da podridão do carvão vegetal em Concepción, os indutores mais eficazes foram o Acibenzolar-S-metil e o MOEV, enquanto em San Lorenzo o indutor mais eficaz foi o extrato de ka'a he'e. Verificou-se que, para a incidência da podridão do carvão vegetal em Concepción, os indutores mais eficazes foram o Acibenzolar-S-metil e o MOEV, enquanto em San Lorenzo o indutor mais eficaz foi o extrato de ka'a he'e.

Palavras-chave: resistência induzida, *Macrophomina phaseolina*, epidemiologia.

ABSTRACT

The present work was carried out in two locations to evaluate the effect of resistance inducers on the incidence and severity of charcoal rot (*Macropomina phaseolina*) in sesame (*Sesamum indicum* L.). The experimental design used was completely randomized with six treatments and four replications, where the experimental units were constituted by five rows of the crop, while the treatments were composed by the application of the resistance inducers: Ka'a He'e aqueous extract (50cc/L), Acibenzolar-s-methyl (1g/L), Potassium Phosphite (5g/L), mixture of trace elements with plant extract (2.5cc/L), a chemical control, Copper Oxychloride + Mancozeb (5g/L) and an absolute control, without application, at two moments of the phenological stage of the crop. The determinations evaluated were the incidence and severity of charcoal rot. The evaluations were carried out weekly, analyzing each plant in its three strata and the leaves previously marked according to a previously elaborated diagrammatic scale. Finally, the area under the disease progress curve was plotted with the help of the data collected and the meteorological reports. The data obtained were subjected to an ANAVA and the means were compared by Tukey's test at 5% probability. It was found that for the incidence of charcoal rot in Concepción the most effective inducers were Acibenzolar-S-methyl and MOEV, while in San Lorenzo the most effective inducer was ka'a he'e extract. It was found that for the incidence of charcoal rot in Concepción the most effective inducers were Acibenzolar-S-methyl and MOEV, while in San Lorenzo the most effective inducer was ka'a he'e extract.

Keywords: induced resistance, *Macropomina phaseolina*, epidemiology.

1 INTRODUCCIÓN

El éxito del sésamo paraguayo en el mercado internacional, se debe a la calidad del producto. La presencia de las multinacionales japonesas compradoras impregnó seriedad y estabilidad al sector sesamero (Friedmann y Weil 2009). Tanto el mercado seguro y el fácil manejo ha propiciado una expansión, y el temor a caer en pérdidas económicas a causa de problemas fitosanitarios, conlleva al uso, muchas veces, irracional de agro químicos que pone en riesgo la permanencia sostenible en mercados exigentes como el japonés (Ministerio de Agricultura y Ganadería MAG 2013).

De acuerdo con Rogg (2000) el control químico en la agricultura ha logrado mucho éxito para el desarrollo humano, pero lamentablemente el uso de estos productos se convirtió en el único método de control de plagas y enfermedades para la mayoría de los productores mundialmente.

La epidemiología estudia el cambio en la intensidad de la enfermedad causada por una población de patógenos en una población de plantas, en el tiempo y espacio, siendo sus objetivos enfocados hacia el estudio y cuantificación del desarrollo de epidemias para evaluar estrategias de control, prever niveles futuros de enfermedad, predecir pérdidas y conocer mejor los factores que influyen su desarrollo (Gepp y Mondino 2011).

La resistencia adquirida sistémica, es una de las alternativas del control biológico y es una estimulación a la planta a desarrollar y/o amplificar la resistencia a la infección causada por patógenos mediante el tratamiento con una variedad de inductores bióticos y abióticos (Riveros 2010).

Con la premisa de que los inductores promueven la resistencia, reduciendo la intensidad de la enfermedad y puedan ser una alternativa de control inteligente de enfermedades en sésamo, el presente trabajo propone determinar el efecto de inductores eficiencia en el manejo de la pudrición carbonosa, en las condiciones agroecológicas del Departamento Central y Concepción, mediante la cuantificación de la incidencia y la severidad de la pudrición carbonosa; y el contraste de los parámetros epidemiológicos en las condiciones climáticas de ambas zonas productoras sobre la epidemia y progreso.

2 MARCO TEÓRICO

2.1 IMPORTANCIA DEL CULTIVO DE SÉSAMO

El cultivo (*Sesamum indicum* L.) tiene características morfológicas y productivas que lo convierten en una excelente opción de diversificación agrícola y un gran potencial económico debido a la elevada calidad de su aceite y cuya necesidad se encuentra en constante ascenso, generando demanda de un mercado capaz de absorber cantidades superiores a las de la oferta actual

(De Araujo et al. 2006).

Paraguay figura como el sexto mayor exportador mundial de sésamo y uno de los principales proveedores de Japón, el mercado más exigente de este rubro. El cultivo tiene un gran impacto social ya que involucra a muchas familias de pequeños productores, quienes venden directamente a unas pocas empresas acopiadoras y exportadores de la semilla de sésamo, y, debido a buen precio del producto, el sésamo logró gran importancia desde hace unos años siendo su principal mercado el internacional el cual presenta una creciente demanda (IICA 2008).

2.2 PROBLEMAS FITOSANITARIOS

La diseminación de las enfermedades en un cultivar es realizada por la propia semilla infectada, una vez que la semilla pueda transmitir, tanto interna como externamente, hongos, virus o bacterias patógenas, además de transportar hongos saprófitos que puedan disminuir su poder germinativo. Estos patógenos ejercen influencia sobre el poder germinativo y el vigor de la planta, ya que se convierten en inóculo primario de enfermedades, siempre que las condiciones ambientales sean las apropiadas (De Araujo et al. 2006).

De acuerdo con De Araújo et al. (2004), la parte aérea del sésamo es notablemente susceptible a varias enfermedades, siendo varias de ellas responsables de pérdidas significativas en la producción.

La infección de las semillas y la mortalidad de las plántulas acarrearán pérdidas en la producción, restringiendo el área disponible para el cultivo. La pérdida puede ser muy alta, y caso hubiere una combinación de varias enfermedades de manera simultánea, la pérdida puede ser total (De Araujo et al. 2006).

La Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación SAGARPA (2010) menciona que las principales enfermedades de sésamo son causadas por hongos, entre los que se destaca principalmente, la pudrición carbonosa causada por *Macrophomina phaseolina*, la cual puede atacar a las plántulas inmediatamente luego de la siembra. Las mismas adquieren un color marrón llegando a pudrirse totalmente hasta llegar a la muerte. En caso de sobrevivir, las plantas senescentes son afectadas en la base del tallo, causando caída de las hojas superiores. Estas plantas tienen escaso crecimiento, quedando atrofiadas. Las raíces y el tallo pueden pudrirse. Aparecen lesiones marrones en tallos y ramas, las cuales dan una apariencia de quemadura. Las cápsulas también se ven afectadas, abriéndose prematuramente y exponiendo así las semillas (Wulff y Pascholatti 1995).

De acuerdo con Palacio 2009, el control biológico se sitúa como una alternativa o complemento del control químico. Sin embargo, el desarrollo de agentes de control biológico de

estas bacteriosis resulta muy complicado.

2.3 EPIDEMIOLOGÍA Y CONTROL DE LA PUDRICIÓN CARBONOSA

2.3.1 Epidemiología

La epidemiología abarca el estudio de la dinámica temporal, espacial y espacio- temporal de enfermedades en poblaciones, y la utilización de resultados de experimentos e investigaciones para describir, entender, comparar y predecir epidemias (Savary y Cooke 2006).

La intensidad es un componente importante en el desarrollo de estudios epidemiológicos y, French y Herbert (1980), la definen como el grado de daño que la enfermedad ejerce sobre un campo de cultivo y se compone a su vez de dos elementos, la incidencia, que se especifica como el número de unidades de plantas afectadas, expresado como porcentaje del número total; mientras que el otro elemento mencionado es la severidad, definida como la porción de tejido de las plantas afectadas, expresado como porcentaje del área total.

El desarrollo epidemiológico del patógeno *Macrophomina phaseolina* muestra que infecta a las plantas dentro de un amplio rango de temperaturas (20 a 35 °C) y está influenciado por condiciones de estrés hídrico, es decir, cuando las plantas son sometidas a cambios bruscos de disponibilidad hídrica en el suelo, se incrementa la incidencia de la enfermedad, siendo el bajo contenido de humedad en el suelo uno de los factores más significativos que puede contribuir para la infección de raíces y muerte de plantas Gacitúa et al. (2009). Asimismo, Olaya y Abawi mencionados por Rodríguez et al. (2001), demostraron en un experimento, que los microesclerocios de este patógeno que fueron mantenidos en el suelo a 30°C presentaron 100% de viabilidad.

Uno de los métodos utilizados para estimar el daño de enfermedades ha sido el uso de diagramas y escalas descriptivas que permiten correlacionar severidad e incidencia con la intensidad de las pérdidas. Cuando se realizan evaluaciones frecuentes sobre la misma parcela experimental o campo comercial, los porcentajes de severidad estimados se pueden graficar a través del tiempo. La curva obtenida define y mide toda la trayectoria de la epidemia sobre el cultivo. Las curvas de progreso de enfermedades sirven para comparar ataques de enfermedades en diferentes épocas y áreas geográficas (Castaño 2001).

La curva de progreso de la enfermedad, según Michereff (2000) usualmente expresa el avance parcelado de la enfermedad versus el tiempo, es la mejor representación de una epidemia. A través de ella se diseñan estrategias de control y niveles futuros de la enfermedad son previstos. Son útiles para la construcción de cualquier patosistema. Independientemente de la situación considerada, varios parámetros importantes de la curva de progreso de la enfermedad pueden ser caracterizados, entre los que se destacan la época de inicio de la epidemia (t_0), cantidad de inóculo

inicial (y_0), tasa de aumento de la enfermedad (r), forma y área bajo la curva de progreso de la enfermedad, cantidades máximas ($y_{\text{máx}}$) y final (y_f) de enfermedad y duración de la epidemia.

2.3.2 Control de la pudrición carbonosa

Para el manejo de la pudrición carbonosa Partridge (2013) afirma que el control cultural debe ser implementado, debido a que no existen fungicidas disponibles para el control eficaz de esta enfermedad, siendo la rotación de cultivo muy útil para su manejo, siempre y cuando se realice durante un tiempo recomendable como para disminuir efectivamente el número de microesclerocios.

Rodríguez et al. (2001) refieren que, además de la rotación de cultivo, otro tema relacionado con la concentración del patógeno en el suelo es la preparación del mismo, siendo este importante para la desagregación y distribución de microesclerocios en la parcela, afirmando con esto la idea de que la infección de las raíces con *M. phaseolina*, se ve favorecida por el sistema de siembra convencional, ya sea por la redistribución de los microesclerocios, como así también la pérdida de humedad del suelo.

2.4 INDUCCIÓN DE RESISTENCIA COMO ALTERNATIVA DE MANEJO DE ENFERMEDADES

Riveros (2010) afirma que la resistencia inducida en plantas consiste en una respuesta sistémica de éstas a posteriores ataques de patógenos o plagas. Esta propiedad encierra un enorme potencial de utilidad agronómica, que ha suscitado gran interés por un mayor estudio de las bases moleculares y genéticas de la resistencia inducida. Este término, se emplea para identificar el fenómeno en forma general, sin ahondar en un tipo específico de expresión o regulación de defensa en las plantas.

Una alternativa para reducir la severidad de enfermedades causadas por fitopatógenos es la inducción a la resistencia sistémica adquirida (SAR), siendo éste un método potencial a ser aplicado contra las enfermedades. La SAR puede ser a través de la aplicación de inductores como fitohormonas, jasmonatos, etileno y ácido salicílico (Van Loon y Pieterse 2006).

De entre los procesos de defensa fisiológica en plantas puede ocurrir aumento de actividad de proteínas relacionadas a la patogenicidad explosión oxidativa, acumulación de fitoalexinas, lignificación y aumento de la rigidez de la pared. (Durrant y Dong mencionados por Grassier 2006).

2.5 INDUCTORES DE RESISTENCIA

2.5.1 Fosfito de Potasio

El fosfito, también llamado “fosfonato”, es una sal del ácido fosforoso o fosfónico. No debe confundirse con los conocidos fertilizantes a base de fosfatos que provienen del ácido fosfórico. Que contiene cuatro átomos de oxígeno (H_3PO_4), el ácido fosforoso (H_3PO_3) y los compuestos relacionados contienen solo tres átomos de oxígeno. Los fosfitos son más solubles que los fosfatos (Carmona y Sautua 2013).

Entrenamiento y Desarrollo de Agricultores EDA (2008) afirma que el fosfito (HPO_3^{2-}) es un estimulador en la formación de las fitoalexinas. Las fitoalexinas son unos compuestos flavonoides con diferentes funciones antimicrobianas, que, al entrar en el tejido de la planta es reconocido como un metabolito del hongo invasor, por los cuales se activa la formación de fitoalexinas para su control. El fosfito no es utilizable como fósforo en la planta directamente, pero la planta lo metaboliza a fosfato, ya que es la forma asimilable de fósforo para la planta. Así que al usar un fosfito se causa una estimulación del SAR inicialmente y luego la planta utiliza este como nutriente.

Carmona y Sautua (2013) mencionan que estos son compuestos utilizados como parte del manejo integrado de enfermedades en cultivos como papa, tomate, vid, hortalizas, césped, etc.

2.5.2 Acibenzolar-S-metil

El ester 2-metil benzo-(1,2,3)-tiadiazole-7-carbotiólico, de nombre químico acibenzolar-S-methyl (ASM) es el compuesto más estudiado y más eficiente que puede llevar a la activación de genes que codifican la resistencia de plantas, además de no presentar fitotoxicidad en vegetales. Es fácilmente translocado por los tejidos de la planta de manera sistémica, Kessmann et al. mencionados por Costa y Moraes (2006).

Gorlach et al. (1996) afirman que el Acibenzolar-S-metil es un fungicida preventivo que actualmente está aprobado para su uso por la UE. No es altamente soluble en agua, pero es altamente soluble en la mayoría de disolventes orgánicos. No es volátil. Es ligeramente móvil, pero no es persistente en el suelo ni los sistemas acuáticos.

Mackenzie mencionado por Dallagnol et al. (2006) indica que el ASM una vez que es incluido como parte integral del programa de manejo de cultivos, no mejora solamente el control de las enfermedades sino también promueve el aumento del rendimiento y disminuye los niveles de las enfermedades de postcosecha. Este compuesto es definido como un análogo del ácido salicílico que, al igual que éste promueve en las células de las plantas la producción de proteínas específicas relacionadas con la patogénesis, tales como β ,1-3 glucanasa y quitinasa que son capaces de degradar

la pared celular de hongos y bacterias patogénicos.

2.5.3 Extracto de ka'a he'e

Stevia rebaudiana Bertonii es una planta originaria del Sudeste de Paraguay, de la parte selvática subtropical de Alto Paraná. Esta planta fue usada ancestralmente por sus aborígenes, como edulcorante y medicina (Shock citado por Landázuri y Tigrero 2009).

Alonzo Torrez mencionado por Silez y Clementelli (2010) refiere que existe un método del uso de *Stevia* en forma de extracto líquido en la agricultura, el cual consiste en aplicar al suelo o directamente a los cultivos por vía foliar o por riego. Al aplicar al suelo el extracto de *Stevia* se logra disminuir los microorganismos patógenos e incrementar los antagonistas y se mejora la fertilidad del suelo. Esto hace que aumente la capacidad inmunológica del vegetal, permitiendo el ahorro de productos fitosanitarios. Este método fue recientemente descubierto de forma accidental y es desarrollado por el Japón, aprovechando los rastrojos de *Stevia* como insumos de la producción agrícola.

2.5.4 Oxidloruro de Cobre + Mancozeb

Esta mezcla resulta en un fungicida que reúne las propiedades fungicidas del Mancozeb (etileno bis de manganeso, ditiocarbamato) y del Oxidloruro de Cobre para alcanzar un mejor nivel de control de las enfermedades fúngicas en diferentes cultivos. Presenta una gran actividad fungicida inicial y una buena persistencia en la planta, prolongando el control y ofreciendo propiedades de adherencia que le permiten resistir más al lavado por lluvias. Su efecto fungicida es preventivo, por lo tanto, es necesario aplicarlo en los primeros síntomas o cuando las condiciones del tiempo (humedad, rocío, lluvias) favorezcan el desarrollo de las enfermedades fungosas (Dow Agro Sciences 2012).

3 METODOLOGÍA

El experimento fue realizado en el campo experimental de la Facultad de Ciencias Agrarias (FCA) de la Universidad Nacional de Asunción (UNA), sede San Lorenzo y en la Colonia Reconstrucción, Distrito de Loreto, Departamento de Concepción, Paraguay.

3.1 MATERIAL BIOLÓGICO

Plantas de sésamo (*Sesamum indicum*, L.), provenientes de semillas de la variedad Escoba blanca.

El extracto de Ka'a He'e (*Stevia rebaudiana*, Bertoni) utilizado fue a partir de un producto comercialmente preparado.

3.2 MATERIAL QUÍMICO

Los productos de origen químico fueron los inductores Acibenzolar-S-Metil, Fosfito de Potasio y una mezcla de oligoelementos con extracto vegetal (MOEV).

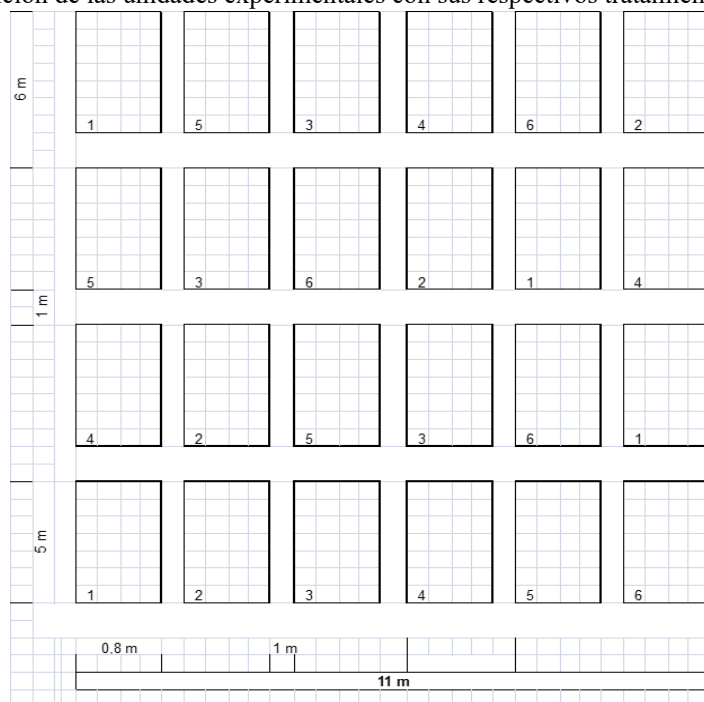
3.3 CARACTERIZACIÓN DEL LUGAR Y DESCRIPCIÓN DEL EXPERIMENTO

Cada una de las parcelas tuvo un área de 625m²; con un espaciamiento de 0,10 cm entre plantas y 0,80 cm entre hileras, tal como lo especifica la Figura 1.

El manejo de malezas se realizó con un control manual a través de carpidas durante el periodo crítico comprendido entre los 20 y 50 días después de la emergencia (Lezcano 2006), luego, el propio desarrollo de las plantas fue impidiendo el crecimiento de las mismas.

Las plantas de sésamo fueron tratadas en dos periodos de su desarrollo con extracto de Ka'a He'e, Acibenzolar-S-Metil (Bion®), Fosfito de Potasio y mezcla de oligoelementos con extracto vegetal (MOEV). Posteriormente, fueron seleccionadas diez plantas por hilera y marcadas con cintas de color. De las plantas seleccionadas, fueron marcados tres estratos, inferior, medio y superior con el objetivo de medir el desarrollo de la enfermedad también en cada uno de ellos. Además, se llevó un registro diario de la temperatura y humedad en las dos localidades, para luego realizar el cálculo del promedio de ambas.

Figura 1. Disposición de las unidades experimentales con sus respectivos tratamientos y dimensiones.



3.4 DISEÑO EXPERIMENTAL Y TRATAMIENTOS

El diseño experimental utilizado fue Completamente al Azar con seis tratamientos, donde cada unidad experimental estuvo constituida por cinco hileras del cultivo. Los tratamientos estuvieron compuestos por la aplicación de los inductores, extracto acuoso de Ka'a He'e, Acibenzolar-s-metil, Fosfito de Potasio, mezcla de oligoelementos con extracto vegetal (MOEV), y un testigo químico (Oxicloruro de Cobre + Mancozeb) y un testigo absoluto, sin aplicación. Siendo las dosis de cada tratamiento detalladas en la Cuadro 1.

Cuadro 1. Descripción de los productos y dosis empleados como tratamientos aplicados sobre plantas de Sésamo (*Sesamum indicum* L.).

Tratamiento	Descripción	Dosis (cc/L)
T1	Testigo	Agua
T2	Extracto acuoso de Ka'a He'e	50cc/L
T3	Acibenzolar-S-metil (<i>Bion</i> ®)	1g/L
T4	Fosfito de Potasio (Fos-K)	5g/L
T5	MOEV (Brotolom Total)	2,5cc/L
T6	Oxicloruro de Cobre + Mancozeb	5g/L

Aplicación de los productos

Los productos fueron aplicados con pulverizador tipo mochila, en dos momentos, en los siguientes estados fenológicos de la planta, la etapa inicial de crecimiento en V1 y en el estado reproductivo de R2 según la descripción de Rincón y Salazar (1996).

3.5 EVALUACIÓN DE LAS VARIABLES

3.5.1 Incidencia de la pudrición carbonosa

Esta variable fue evaluada a través del conteo del número de plantas muertas a causa de esta enfermedad. Los datos fueron registrados semanalmente, a partir de una semana después de la primera aplicación de los productos.

3.6 SEVERIDAD DE LA PUDRICIÓN CARBONOSA

Para la evaluación de la pudrición carbonosa se cuantificó el porcentaje de tejido afectado a través de una escala numérica de severidad de la misma. Esto se realizó a los 100 días posteriores a la siembra con ayuda de una escala de la enfermedad del cultivo, obtenida a partir de muestras vegetales escaneadas, que presentaban signos y síntomas de la enfermedad dentro del cultivo, utilizando para ello 10 plantas de sésamo, en las 2 hileras centrales en cada unidad experimental; donde el grado de severidad de las mismas fue comparado con las notas de 0 a 3, que presentaba la escala adaptada según la metodología descrita por Zanella et al. (2020), asentándolas en una planilla. El índice cualitativo de la escala diagramática se adaptó añadiendo intervalos equidistantes del 25%

de gravedad, donde: 0) 0 a 25% de severidad; 1) 25% a 50% de severidad; 2) 50% a 75% de severidad, y 3) 75% a 100% de severidad.

3.7 CÁLCULO DEL ÁREA BAJO LA CURVA DE PROGRESO DE LA ENFERMEDAD

Fue elaborada la curva de progreso para la pudrición carbonosa, calculando y determinando las principales variables epidemiológicas para las dos regiones. Para el cálculo de la tasa de desarrollo (r) de la pudrición carbonosa se tomaron los valores de los promedios de severidad semanal y se transformaron a proporción. También se tuvo en cuenta la diferencia de días transcurridos desde la primera evaluación y la última, para lo cual se utilizó la siguiente fórmula:

$$r = \frac{1}{t_1 - t_0} \left(\text{Log}_e \frac{X_1}{1 - X_1} - \text{Log}_e \frac{X_0}{1 - X_0} \right)$$

Donde:

t₁: Tiempo final de evaluación; t₀: Tiempo inicial de evaluación;

X₁: Severidad final y X₀: Severidad inicial.

Con los datos de la intensidad de la pudrición carbonosa se construyó el gráfico del área bajo de la curva de progreso de la enfermedad (ABCPE), mediante la ecuación propuesta por Shaner y Finney (1977).

Análisis de datos

Los datos obtenidos fueron analizados estadísticamente de manera a conocer si hubo significancia entre los tratamientos que fueron aplicados al cultivo, para ello se aplicó el Test de Tukey al 5% de error.

4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 EFECTO DE INDUCTORES SOBRE LA INCIDENCIA DE LA PUDRICIÓN CARBONOSA

En el Cuadro 3 se puede notar los resultados comparativos de los porcentajes de incidencia de la pudrición carbonosa (*Macrophomina phaseolina*) en las plantas de sésamo.

Cuadro 3. Incidencia de la pudrición carbonosa (*Macrophomina phaseolina*) en plantas de sésamo (*Sesamum indicum* L.).

Tratamiento	Producto	Incidencia (%)			
		San Lorenzo		Concepción	
1	Testigo Absoluto	37	c	14.0	a
2	Extracto de Ka'a he'e	28	f	7.5	ab
3	Acibenzolar-S-metil	38	b	6.4	b
4	Fosfito de Potasio	42	a	9.9	ab
5	MOEV	36	d	6.5	b
6	Oxícloruro de cobre + Mancozeb	32	e	9.2	ab

*Test de Tukey: las medias con letras diferentes en las columnas, indican diferencia significativa al 5 % de probabilidad de error.

En el mismo se puede distinguir que, para la parcela ubicada en San Lorenzo, la menor intensidad de la enfermedad se obtuvo con el producto Ka'a he'e con 28%, difiriendo éste estadísticamente de todos los demás tratamientos; mientras que el mayor valor se observó con el Fosfito de Potasio con un 42%, el cual también presentó diferencias estadísticas con todos los demás tratamientos.

Paralelamente a esto, en Concepción, se observaron valores extremos que oscilaron entre 6,4% y 14%, siendo éstos correspondientes al Acibenzolar-S-metil y al testigo absoluto, respectivamente. En esta localidad el testigo presentó diferencias estadísticas sólo con el acibenzolar-S-metil y MOEV. En este sentido, Acuña y Grabowski (2012) probando el efecto inductor de productos como el extracto de Ka'a he'e, MOEV, Acibenzolar-S-Methyl, Fosetyl Al en plantas de trigo (*Triticum aestivum* L.) contra la mancha amarilla (*Drechslera tritici-repentis*) y marrón (*Bipolaris sorokiniana*), hallaron que todos los productos probados ejercieron acción inductora sobre las plantas tratadas, siendo más efectivo el extracto de Ka'a he'e.

Sobrinho et al. (2007) evaluando la dinámica de la fenilalanina amonio liasa (FAL) y la peroxidasa en plantas de poroto tratadas con Acibenzolar-S-Metil, constataron la efectividad de este inductor ya que aumentó la actividad de estas enzimas, consideradas claves en el proceso de inducción de resistencia, observando que el aumento de la actividad enzimática de ambas se dio ya entre las 60 y 72 horas luego de la inoculación.

4.2 EFECTO DE INDUCTORES SOBRE LA INTENSIDAD DE LA PUDRICIÓN CARBONOSA

En el Cuadro 4 se presentan los resultados correspondientes a la severidad final de la pudrición carbonosa (*Macrophomina phaseolina*) observada en las plantas de sésamo en los estratos inferior, medio y superior, en las localidades de Concepción y San Lorenzo.

Cuadro 4. Severidad final de la en plantas de sésamo (*Sesamum indicum* L.).

Tratamiento	Severidad final (%)	
	Concepción	San Lorenzo
Testigo Absoluto	80.8 a	46 a
Extracto de Ka'a he'e	72.6 b	45 a
Acibenzolar-S-metil	55.4 c	41 a
Fosfito de Potasio	53.6 c	32 a
MOEV	51.8 c	33 a
Oxicloruro de Cobre + Mancozeb	80.0 a	39 a
C.V (%)	3.27	38

* Medias seguidas por la misma letra en las columnas no difieren entre sí por el Test de Tukey al 5% de probabilidad de error.

Los resultados de porcentaje de severidad presentaron al testigo absoluto como el tratamiento que tuvo el valor más elevado (80.8%); mientras que el menor porcentaje de incidencia se obtuvo con la MOEV (51.8%). En este caso, el testigo fue estadísticamente diferente de todos los demás, así como el ka'e he'e que también difirió estadísticamente de todos los demás tratamientos; sin embargo, el acibenzolar-S-metil, el Fosfito de Potasio y la MOEV no fueron diferentes entre sí, pero sí presentaron diferencias estadísticas cuando fueron comparados con los demás productos.

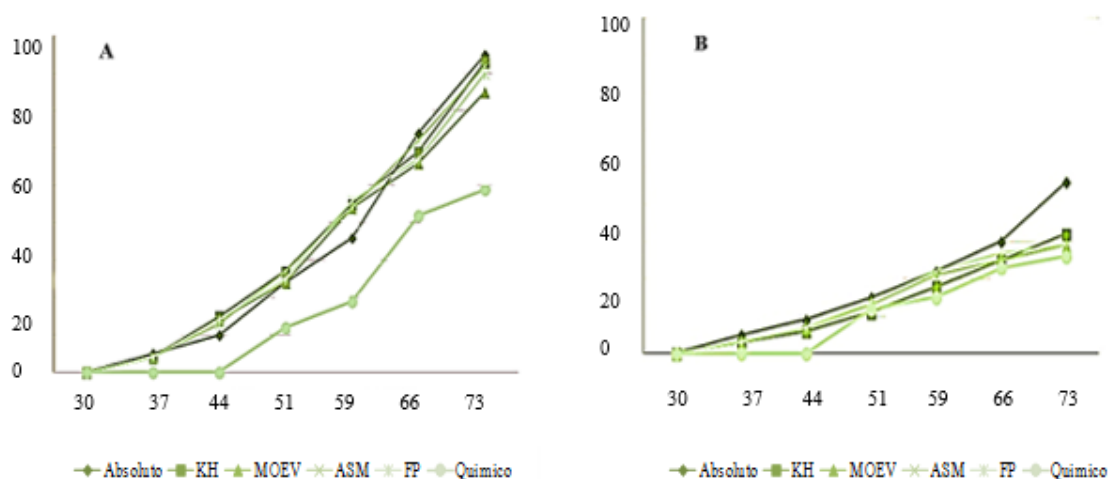
Por otro lado, para los resultados observados en San Lorenzo, el menor valor de severidad final pudo obtenerse en las unidades tratadas con Fosfito de Potasio (Fos-k) con 32%, seguido inmediatamente por el tratamiento con MOEV cuyo valor fue de 33%, sin embargo no presentaron diferencia estadística alguna.

Mogollón y Castaño (2011) al evaluar varios inductores sobre el desarrollo de *Mycosphaerella* spp. en plántulas de banano, consideraron al Fosfito de Potasio como el mejor tratamiento debido a que las plántulas tratadas con este producto mostraron mayor altura y reducción en el grado de evolución de los síntomas, índice de severidad y tasa de desarrollo de las sigatokas, además fue más notorio el retardo del momento de aparición de los síntomas de las sigatokas amarilla y negra. Igualmente, Simán 1993 menciona que la presencia con mayor o menor intensidad de una enfermedad en un estrato de la planta está ligada al tipo de patógeno, siendo mayor en el estrato inferior en casos de patógenos persistentes en el suelo.

En la Figura 4 se encuentran las curvas de progreso de la pudrición carbonosa (*Macrophomina phaseolina*) de manera comparativa (severidad en función del tiempo) para las dos localidades en el estrato inferior, donde los síntomas iniciaron en la misma época, esto es cercano al período reproductivo y, donde claramente se nota que para Concepción los valores fueron superiores y siempre crecientes con el paso del tiempo; sin embargo, la curva de progreso correspondiente a San Lorenzo denotan valores menores de severidad de la enfermedad y en donde se revela una estabilidad de la enfermedad al final del ciclo del cultivo, tanto para los tratamientos, con MOEV y Acibenzolar-S-metil.

Además, se puede visualizar en la misma que el área bajo la curva de severidad de la pudrición carbonosa (*Macrophomina phaseolina*) en Concepción es notoriamente mayor que la observada en San Lorenzo, para el mismo periodo.

Figura 4. Curvas de progreso de la pudrición carbonosa (*Macrophomina phaseolina*) del sésamo en el estrato inferior en las localidades de Concepción (A) y San Lorenzo (B). Paraguay.

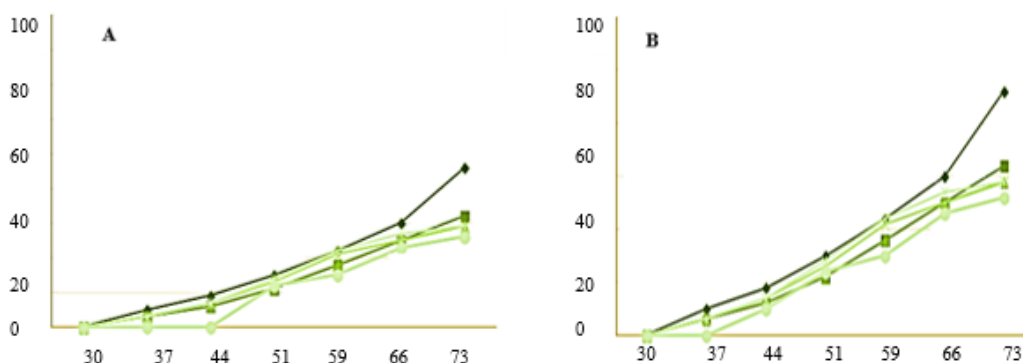


Así como el ASM presentó una reducción de la severidad en este trabajo, también Nascimento et al. (2008), encontraron que el ASM fue el producto que redujo en mayor cantidad las pérdidas en pos cosecha causadas por *Colletotrichum gloeosporioides* en frutos de mamón, afirmando que este resultado se debió a que este inductor resulta ser más persistente que otros en condiciones tropicales.

Así mismo, Cavalcanti et al. (2006), al realizar aplicaciones de este producto en plantas de tomate y evaluar su efecto inductor frente a la mancha bacteriana (*Xanthomonas campestris* pv. *vesicatoria*); encontraron resultados similares. En este notaron una reducción de la severidad de la enfermedad en las plantas. Este fenómeno lo explicaron a partir del notorio incremento en la producción de la enzima Peroxidasa, responsable de actividades inmunitarias en las plantas.

En la Figura 5 se encuentran representados los valores de progreso de la pudrición carbonosa (*Macrophomina phaseolina*) para el estrato superior, donde las curvas se muestran claramente diferentes en ambas localidades, pero, similares en el sentido de ser ambas crecientes en función del tiempo transcurrido y si son comparadas al estrato inferior se puede percibir que la severidad es notoriamente mayor en este último.

Figura 5. Curvas de progreso de la pudrición carbonosa (*Macrophomina phaseolina*) del sésamo en el estrato superior en las localidades de Concepción (A) y San Lorenzo (B), Paraguay. 2014.



Meyer et al. (2013) notaron una reducción de la germinación miceliogénica y un aumento en el número de esclerocios inviables al utilizar este producto en la evaluación del efecto de varios tratamientos de biocontrol del moho blanco sobre la viabilidad de esclerocios de *Sclerotinia sclerotiorum*.

En este sentido, Da Rocha (2013) afirma que la eficacia de los inductores y de la respuesta de resistencia adquirida depende de una serie de factores (dosis, genética de las plantas, frecuencia de las aplicaciones y patógeno); siendo los mejores resultados obtenidos al combinar los inductores con otros insumos para el cultivo, tales como fertilizantes con micronutrientes en la incorporación de cationes (Cu, Mn y Zn), ya que estos cationes, coadyuvan al transporte de iones de calcio en el ámbito celular e incrementan la acción de hormonas de crecimiento y la actividad del ARN, entre otras tareas celulares.

Bedigian (2010) relata que la enfermedad se desarrolla con mayor intensidad en el período de copiosas lluvias y humedad relativa elevada, pudiendo las pérdidas llegar hasta un 60% de pérdida en las cápsulas, como lo reportó Dawson citado por Naqvi (2012), en Turquía.

Igualmente, Langham (2008) menciona que el sésamo es más susceptible a la falta o exceso de humedad, principalmente, en su etapa reproductiva, la cual puede verse acortada dependiendo de las condiciones ambientales, hecho que, según el autor, no favorece la buena producción del cultivo.

5 CONCLUSIONES

- Todos los productos probados redujeron tanto la incidencia como la severidad de la pudrición carbonosa.
- Para la pudrición carbonosa en Concepción los inductores más efectivos fueron Acibenzolar-S-metil (6,4%) y MOEV (6,5%).
- Para la pudrición carbonosa en San Lorenzo el inductor más efectivo fue el extracto de ka'a he'e (28%).

REFERENCIAS

- Acuña, E.; Grabowski, C. 2012. Inducción de resistencia en plantas de trigo (*Triticum aestivum* L.) a la mancha amarilla (*Drechslera tritici-repentis*) y marrón (*Bipolaris sorokiniana*) (en línea). Disponible en <http://www.agr.una.py/revista/index.php/ria/article/viewFile/254/235>
- Bedigian, D. 2010. Sesame: The genus *sesamum* (en línea). Disponible en <https://books.google.com.py/books?id=o9PLBQAAQBAJ&pg=PA362&lpg=PA362&dq=bedigian+xanthomonas+campestris&source=bl&ots=OU7kWiBEI8&sig=5VubbeN8wWKIuP8dPHhdcZECg&hl=es&sa=X&ved=0CDQQ6AEwA2oVChMIImfvesLecyAIVxXQCh0JFQf4#v=onepage&q=bedigian%20xanthomonas%20campestris&f=false>
- Carmona, M.; Sautua, F. 2013. Impacto de la nutrición y de fosfitos en el manejo de enfermedades en cultivos extensivos de la región pampeana (en línea). Disponible en [http://www.agroconsultasonline.com.ar/documento.html/Impacto%20de%20la%20nutrici%F3n%20y%20de%20fosfitos%20en%20el%20manejo%20de%20enfermedades%20en%20cultivos%20extensivos%20de%20la%20Regi%F3n%20Pampeana%20\(2011\).pdf?op=d&documento_id=13](http://www.agroconsultasonline.com.ar/documento.html/Impacto%20de%20la%20nutrici%F3n%20y%20de%20fosfitos%20en%20el%20manejo%20de%20enfermedades%20en%20cultivos%20extensivos%20de%20la%20Regi%F3n%20Pampeana%20(2011).pdf?op=d&documento_id=13)
- Castaño, J. 2001. Principios Básicos de la Fitoepidemiología. Manizales, CO: Universidad de Caldas. 398p.
- Cavalcanti, F.; Resende, M.; Zacaroni, A.; Ribeiro, P.; Costa, J.; De Souza, R. 2006. Acibenzolar-S-Metil e Ecolife® na indução de respostas de defesa do tomateiro contra a mancha bacteriana (*Xanthomonas vesicatoria*) (en línea). Disponible en http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-41582006000400007
- Costa, R.; Moraes, J. 2007. Efeitos do ácido silícico e do acibenzolar-S-methyl sobre *Schizaphis graminum* (Rondani) (Hemiptera: Aphididae) em plantas de trigo (en línea). Disponible en http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1519-566X2006000600018
- Dallagnol, L.; Navarini, L.; Ugalde, M. Silveiro, R.; Catellam, R. 2006. Utilização de Acibenzolar-S-Methyl para controle de doenças foliares da soja (em línea). Disponible en http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-54052006000300007&script=sci_arttext
- Da Rocha, A. 2013. Resistencia sistémica adquirida: Buscando plantas más sanas (en línea). Disponible en http://issuu.com/agrotec/docs/info_agrotec__22/7
- De Araujo, A.; De Sousa, T.; Dos Santos, J. 2004. Distribuição da Mancha Angular do Gergelim em Cinco Densidades de Semeadura (en línea). Campina Grande, BR. Consultado Disponible en <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CNPA/19636/1/COMTEC220.PDF>
- De Araujo, A.; Soares, J.; De Macedo, N.; Firmino, P. 2006. Gergelim. Sistemas de Producao. BR: EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária)
- Dow AgroSciences. 2012. Cobrethane: Etiqueta web. Disponible en <http://www.dowagro.com/es-ec/latamnorte/productos/proteccion-de-cultivos/fungicida/cobrethane>
- EDA (Entrenamiento y Desarrollo de Agricultores). 2008. El uso del ácido salicílico y fosfonatos (fosfitos) para activación del sistema de resistencia adquirida de la planta (en línea). Disponible en http://www.mcahonduras.hn/documentos/PublicacionesEDA/Manuales%20de%20produccion/EDA_Produccion_Uso_de_Acido_Salicilico_Y_Fosfitos_01_08.pdf

French, E.; Hebert, T. 1980. Métodos de Investigación Fitopatológica. CRC: IICA (Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas). 277p

Friedmann, A.; y Weil, B. 2009. Sésamo, Innovación en Agronegocios (en línea). Consultado Disponible en <http://www.mag.gov.py/usaidd/sesamo-innovacion-en-agronegocios%202009.pdf>

Gepp, V.; Mondino, P. 2011. Control Químico (en línea). Disponible en <http://www.pv.fagro.edu.uy/cursos/pvh/DocsPVH/C-QUIMICO.pdf>

Gacitúa, S.; Sanfuentes, E.; Rubilar, R. 2009. Efecto de la densidad de inóculo y humedad del suelo en la incidencia de la pudrición carbonosa de la raíz (*Macrophomina phaseolina* (Tassi) Goid.) en plántulas de *Pinus radiata* D. Don. (en línea). Disponible en <http://www.secforestales.org/buscador/pdf/5CFE01-521.pdf>

Gorlach, J.; Volrath, S.; Knauf-Beiter, G.; Hengy, G.; Beckhove, U.; Kogel, K.; Oostendorp, M.; Staub, T.; Ward, E.; Kessmann, H.; Ryals, J. 1996. Benzothiadiazole, a Novel Class of Inducers of Systemic Acquired Resistance, Activates Gene Expression and Disease Resistance in Wheat (en línea). Disponible en <http://www.plantcell.org/content/8/4/629.full.pdf+html>

Grasser, K. 2006. Annual Plant Reviews, Regulation of Transcription in Plants (en línea). Consultado 20 jun 2015. Disponible en https://books.google.com.py/books?id=Fx Bj3Snge0C&pg=PA270&lpg=PA270&dq=duffant+don g&source=bl&ots=85moK0YYmo&sig=2Y0LGZDBdEiQqStgA286ODHp_oo&hl=es&sa=X&ved=0CEkQ6AEwBWoVChMI0c_9goGfyAIVyIWQCh3T9QQF#v=onepage&q=duffant%20dong &f=false

IICA (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura). 2008. Evolución y situación del sésamo (en línea). Disponible en <http://www.iica.org.py/observatorio/producto-paraguay-sesamo-presentaci%C3%B3n.htm>

Landázuri, P.; Tigrero, J. 2009. Stevia rebaudiana Bertoni, una planta medicinal (en línea). Disponible en <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/3521/1/B-ESPE-000801.pdf>

Langham, D. 2008. Sesame: The genus *Sesamum* (en línea). Disponible en https://books.google.com.py/books?id=o9PLBQAAQBAJ&pg=PA269&lpg=PA269&dq=xanthomonas+campestris+pv.+sesami+conditions+precipitation&source=bl&ots=OU6nShBFB4&sig=1GDf620hLUk3aNTdlrd-3xyNNUw&hl=es&sa=X&ei=DIyZVe7AK8Lp-QHlir_ABQ&sqi=2&ved=0CGUQ6AEwCA#v=onepage&q=xanthomonas%20campestris%20pv.%20sesami%20conditions%20precipitation&f=false

Lezcano, N. 2006. El cultivo del sésamo (en línea). Disponible en <http://mag.gov.py/triptico%20de%20Sesamo.pdf>

MAG (Ministerio de Agricultura y Ganadería). 2013. Preocupación del Paraguay en relación al Sésamo (en línea). Disponible en <http://www.mag.gov.py/?idx=937330>

Meyer, M.; Campos, H.; Godoy, C.; Utiamada, C.; Machado, A.; Pimenta, C. 2013. (en línea). Disponible en <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/122276/1/CT109-OL.pdf>

Michereff, S. 2000. Epidemiologia de Doenças das Plantas (en línea). Disponible en <http://www.cca.ufsc.br/labfitop/2008-2/epidemiologia%20sami.pdf>

Mogollón, A.; Castaño, J. 2011. Efecto de Inductores de Resistencia en Plántulas de Plátano Dominico-Hartón (Musa Balbisiana Aab) Contra *Mycosphaerella* spp. (en línea). Consultado 25 abr 2015. Disponible en http://accefyn.org.co/revista/Vol_35/137/463-471.pdf

Nascimento, L.; Rodrigues, N.; Nery, L. 2008. Controle de *Colletotrichum gloeosporioides* em mamoeiro, utilizando extratos vegetais, indutores de resistência e fungicida (en línea). Disponible en http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1807-86212008000300003

Partridge, D. 2013. *Macrophomina Phaseolina*. (en línea). Disponible en http://www.cals.ncsu.edu/course/pp728/Macrophomina/macrophominia_phaseolinia.HTM
Rincón, C.; Salazar, N. 1996. Descripción de las etapas de desarrollo del ajonjolí. (en línea). Disponible en http://sian.inia.gob.ve/repositorio/revistas_ci/Agronomia%20Tropical/at4704/arti/rincon_c2.htm

Riveros, A. 2010. Inducción de Resistencia en Plantas: Interacción Planta - Patógeno. San José, CRC: IICA (Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas). 261p.

Rogg, H. 2000. Manejo integrado de plagas en cultivos de la Amazonía Ecuatoriana (en línea). Disponible en <https://books.google.com.py/books?id=X-uTHzXmJloC&pg=PA4&lpg=PA4&dq=CONTROL+QUIMICO+ROGG+2000&source=bl&ots=pwxW6aeOUh&sig=ALPtvxl6WoAdONgESUxkw3RJ3zo&hl=es&sa=X&ved=0CCIQ6AEwAmoVChMI7fal34OGyQIVSB6QCh3qPgds#v=onepage&q=CONTROL%20QUIMICO%20ROGG%202000&f=false> SHANER Y FINNY

SAGARPA (Secretaría De Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca Y Alimentación). 2010. Información Técnica de Ajonjolí (*sesamum indicum*) en México (en línea). Consultado 06 jun 2013. Disponible en <http://www.fao.org/docrep/013/i1500e/mexico.pdf>

Simán, J. 1993. Manejo Integrado de Plagas (em línea). Disponible en <https://books.google.com.py/books?id=BOUOAQAIAAJ&printsec=frontcover&hl=es#v=onepage&q&f=false>

Savary, S.; Cooke, B. 2006. Plant Disease Epidemiology: Facing Challenges of the 21st Century. NL: Springer. 87p

Shaner, G.; Finney, R. 1977. The Effect of Nitrogen Fertilization on the Expression of Slow-Mildewing Resistance in Knox Wheat (en línea). Disponible en https://www.apsnet.org/publications/phytopathology/backissues/Documents/1977Articles/Phyto67n08_1051.pdf

Silez, H.; Clementelli, A. 2010. Respuesta del cultivo de tomate (*Lycopersicum sculentum*) a la aplicación del extracto de Stevia en la zona norte de santa cruz (en línea). Disponible en http://www.revistasbolivianas.org.bo/scielo.php?pid=S8888-88882010000100005&script=sci_arttext

Sobrinho, A.; Cavalcanti, L.; Brunelli, K.; Menten, J. 2007. Dinâmica de fenilalanina amoniase e peroxidase em feijão-caupi tratado com acibenzolar-s-metil (em línea). Disponible en <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/61820/1/FS14Athayde.pdf>

Van Loon, LC; Rep, M.; Pieterse, CMJ. 2006. Significance of inducible defense-related proteins in infected plants. Annual Review of Phytopathology 44, 135–162.

Wulff, N.; Pascholatti, S. 2005. Doenças das Plantas Cultivadas. Sao Paulo, BR: Editora Agronômica Ceres. 658p.

Zanella, E. J., Berghetti, J., Scheidt, B. T., Casa, R. T., Bogo, A., Gonçalves, M. J. e Martins, F. C. (2020). Charcoal rot severity and yield components of common bean cultivars inoculated with *Macrophomina phaseolina*. *Summa Phytopathologica*, 46(4), 299-304.