



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO
FACULTAD DE CIENCIAS AGRÍCOLAS

**ROTACIÓN DE FUNGICIDAS POR MODOS DE ACCIÓN
(MoA), PARA EL CONTROL DE PUDRICIÓN RADICULAR
(*Rhizoctonia solani*) EN *Vicia faba* L.**

TESIS

**QUE COMO REQUISITO PARCIAL PARA
OBTENER EL TÍTULO DE:**

INGENIERO AGRÓNOMO FITOTECNISTA

PRESENTA:

MERCEDES RIVERA MELCHOR

MODALIDAD: TESIS INDIVIDUAL

ASESORES:

**DR. JESÚS RICARDO SÁNCHEZ PALE
DRA. ALEJANDRA CONTRERAS RENDÓN**

ASESOR EXTERNO:

DR. ANDRÉS QUEZADA SALINAS



**CAMPUS UNIVERSITARIO “EL CERRILLO”, EL CERRILLO
PIEDRAS BLANCAS, TOLUCA, EDO. MÉX., A 18 DE MAYO
DEL 2026**

ÍNDICE

Número	Página
ÍNDICE	ii
ÍNDICE DE CUADROS	v
ÍNDICE DE FIGURAS	vii
RESUMEN	x
ABSTRACT	xii
I. INTRODUCCIÓN	1
II. OBJETIVOS	2
2.1 Objetivo general	2
2.2 Objetivos específicos	2
III. HIPÓTESIS	3
IV. REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
4.1 Origen y domesticación	4
4.2 Importancia del haba	4
4.3 Estados de la República mexicana productores de haba y rendimiento.....	5
4.4 El cultivo haba (<i>Vicia faba</i> L.)	6
4.5 Clasificación taxonómica del haba (<i>Vicia faba</i> L.).....	7
4.6 Condiciones edafoclimáticas para el desarrollo de <i>V. faba</i> L.	8
4.7 Fenología del haba (<i>Vicia faba</i> L.)	8
4.8 Hongos fitopatógenos que afectan a <i>V. faba</i> L.....	13
Enfermedades foliares en <i>Vicia faba</i> L.....	14
Mancha de chocolate (<i>Botrytis fabae</i> L.)	14
Roya (<i>Uromyces viciae fabae</i>).....	15
Mancha café (<i>Ascochyta fabae</i>).....	16
Cenicilla (<i>Sphaeroteca fuliginea</i> (Schelecht) Pollacci)	16
Enfermedades causadas por virus	16
Enfermedades de la raíz.....	17
Podredumbre radicular (<i>Aphanomyces euteiches</i>).....	17
Marchitez o pudrición radicular (<i>Fusarium oxysporum</i>).....	18
Pudrición radicular (<i>R. solani</i>)	19

4.9 Descripción del <i>R. solani</i>	20
4.10 Ciclo de vida de <i>R. solani</i>	21
4.11 Requerimientos para el desarrollo de hongo	24
4.12 Clasificación taxonómica de <i>R. solani</i>	24
4.13 Síntomas.....	25
4.14 Importancia económica y social de Pudrición radicular (<i>R. solani</i>)	27
4.15 Acciones de control.....	28
Control cultural	28
Control mecánico.....	29
Control biológico.....	29
Control genético.....	30
Control químico.....	30
4.16 Buen uso y manejo de plaguicidas.....	31
Plaguicida	31
Por su uso.....	32
Por la plaga que controlan	33
De acuerdo con su formulación	33
Por su grupo químico	33
4.17 Tipo de movilidad en la planta.....	34
Fungicidas de contacto	34
Fungicidas sistémicos.....	35
Fungicidas translaminares	36
4.18 Modo de Acción (MoA)	36
4.19 Resistencia de plaguicidas.....	38
4.20 Rotación de plaguicidas	39
Etiqueta de plaguicidas.....	40
Símbolos y palabras de advertencia	40
Equipo de protección individual	41
Época de aplicación de los fungicidas.....	42
Dosificaciones	43
Incidencia de la enfermedad.....	44
V. MATERIALES Y MÉTODOS	45
5.1 Ubicación del ensayo.....	45

5.2	Material genético	46
5.3	Tratamientos evaluados	46
5.4	Variable por evaluar	49
5.5	Diseño experimental	49
5.6	Análisis estadístico	50
VI.	RESULTADOS	51
6.1	Alturas de planta obtenida bajo las distintas propuestas de rotaciones de Modo de acción MoA para control de <i>R. solani</i> en haba.	51
6.2	Incidencia de <i>R. solani</i>	53
6.3	Rendimiento total en kilogramos de vaina verde en las diferentes propuestas de rotaciones de MoA para control de <i>R. solani</i> en haba.	56
6.4.	Eficiencia biológica	58
	Temperatura y humedad registrados	59
VII.	DISCUSIÓN	61
VIII.	CONCLUSIONES.....	67
IX.	BIBLIOGRAFÍA.....	68
X.	ANEXOS FOTOGRÁFICOS.....	89

ÍNDICE DE CUADROS

No.		Página
Cuadro 1.	Pictogramas del equipo principal requerido para una adecuada protección durante la manipulación y uso del producto. Fuente: SADER y SENASICA (2019).	41
Cuadro 2.	Ingredientes activos de los fungicidas, utilizados en cada rotación correspondientes a cada tratamiento.	47
Cuadro 3.	Fungicidas (Producto comercial) empleados en los tratamientos, así mismo el Modo de Acción, Grupo químico y Movimiento en la planta para el control de <i>R. solani</i> .	48
Cuadro 4.	Descripción de las dosis comerciales recomendadas y de aplicación de los fungicidas utilizados en cada tratamiento de rotación para <i>R. solani</i> .	48
Cuadro 5.	Resultados del análisis de varianza para la variable altura de planta alcanzada a los 113 dds ante el efecto de cinco rotaciones de fungicidas para el control de <i>R. solani</i> en haba.	51
Cuadro 6.	Separación de media para la variable altura de planta en haba a los 113 dds por cada propuesta de rotación	52
Cuadro 7.	Resultado del análisis de varianza obtenidos para el área bajo la curva de incidencia de <i>R. solani</i> durante el desarrollo del ensayo.	53

Cuadro 8.	Separación de media del área bajo la curva de la incidencia de <i>R. solani</i> en haba a través del tiempo por cada propuesta de rotación.	54
Cuadro 9.	Resultados del análisis de varianza para la variable rendimiento en haba de vaina verde considerando dos cosechas ante la presencia de cinco rotaciones de fungicidas para el control de <i>R. solani</i> en haba.	56
Cuadro 10.	Separación de media del rendimiento de haba en vaina verde, a través del tiempo por cada propuesta de rotación.	57

ÍNDICE DE FIGURAS

No.		Página
Figura 1.	Planta de haba, en estado saludable.	7
Figura 2.	Emergencia del haba a la superficie.	9
Figura 3.	Desarrollo del tallo principal.	9
Figura 4.	Inicia la floración.	11
Figura 5.	Formación y llenado de vaina.	12
Figura 6.	Hay llenado y crecimiento de vaina; se cosecha la vaina verde.	13
Figura 7.	Lesiones de forma irregular de un color café rojizo.	15
Figura 8.	Muerte de plántulas.	22
Figura 9.	Representación esquemática del presunto ciclo de la enfermedad de <i>R. solani</i> en cultivos de leguminosas. Fuente: Akber <i>et al.</i> (2023). <i>Frontiers in Microbiology</i> .	23
Figura 10.	Marchitamiento y podredumbre de raíces.	25
Figura 11.	Pudrición y muerte radicular.	26
Figura 12.	Marchitamiento y defoliación, un síntoma de <i>R. solani</i> .	27
Figura 13.	Distribución de la información en la etiqueta de plaguicidas.	40
Figura 14.	Área experimental.	45

Figura 15.	Incidencia de <i>R. solani</i> a través del tiempo en las plantas de haba ante diferentes tratamientos de rotación de MoA de fungicidas.	52
Figura 16.	Altura de planta (cm) de <i>Vicia faba</i> L. a través del tiempo ante diferentes tratamientos de rotación de MoA de fungicidas en control de <i>Rhizoctonia solani</i> .	55
Figura 17.	Rendimiento total en gramos obtenidos, en los diferentes tratamientos con manejo de rotación de fungicidas para control de <i>R. solani</i> en haba.	57
Figura 18.	Eficacia biológica sobre <i>Rhizoctonia solani</i> en haba ante diferentes tratamientos de rotación de fungicidas según su MoA, comparada con el testigo regional.	58
Figura 19.	Eficacia biológica sobre <i>Rhizoctonia solani</i> en haba ante diferentes tratamientos de rotación de fungicidas según su MoA, comparada con el testigo absoluto.	59
Figura 20.	Temperatura y humedad en el área de estudio de la FCA en 2023. Fuente: Visual Crossing (2025).	60
Figura 21.	Medición y distribución de tratamientos.	89
Figura 22.	Fertilización maicera y riego rodado antes de la siembra.	89
Figura 23.	Tratamiento de semillas previo a ser sembradas. Equipo de protección personal y mochila de aspersión manual.	90
Figura 24.	Emergencia del haba, estado saludable.	90
Figura 25.	Crecimiento del cultivo de haba, 30 a 40 dds.	91
Figura 26.	Comenzó la sintomatología, plantas decaídas.	91

Figura 27.	Conforme la enfermedad avanzaba se mostró manchas en la base de la planta, plantas decaídas (similar a deshidratación) y hojas enrolladas.	91
Figura 28.	La mancha basal en un comienzo era color rojizo, con forme ascendió se tornó marrón y negro, y la herida formaba un cráter.	92
Figura 29.	Pudrición radicular, marchitez/ caída de hojas y flores, lesiones color marrón/rojizo y muerte para la planta.	93
Figura 30.	Testigo absoluto y T5, más plantas muertas y daño en plantas de <i>Vicia faba</i> L.	94
Figura 31.	En la primera cosecha plantas de haba ya habían muerto, o estaban por morir.	94
Figura 32.	Plangas presentes en el cultivo: <i>Aphis fabae</i> (pulgón negro de las habas), frailecillo (<i>Macrodactylus nigripes</i>) y gusano barrenador (<i>Melanagromyza fabae</i>). Y los daños en haba por frailecillo y gusano barrenador.	95
Figura 33.	Comparación de vainas del T3 y el testigo absoluto. Peso de la vaina en la segunda cosecha.	96

RESUMEN

ROTACIÓN DE FUNGICIDAS POR MODOS DE ACCIÓN (MoA), PARA EL CONTROL DE PUDRICIÓN RADICULAR (*Rhizoctonia solani*) EN *Vicia faba* L.

Mercedes Rivera Melchor. Ingeniero Agrónomo Fitotecnista. Universidad Autónoma del Estado de México. Facultad de Ciencias Agrícolas.

Asesores: Dr. Jesús Ricardo Sánchez-Pale¹, Dra. Alejandra Contreras-Rendon².

¹⁻² Universidad Autónoma del Estado de México, Facultad de Ciencias Agrícolas. Campus universitario "El Cerrillo", El Cerrillo, Piedras Blancas, Toluca, México. Código Postal 50200.

Tel. (fax) 2-96-55-29 y 2-96-55-31. jrsanchezp@uaemex.mx; acontrerasr@uaemex.mx

El objetivo de la presente investigación fue evaluar cuatro propuestas de rotación de fungicidas con diferentes Modos o sitios de Acción (MoA) para controlar la pudrición radicular causada por *Rhizoctonia solani* en haba. El experimento se realizó en condiciones de campo. Se evaluaron cinco tratamientos de rotación: T1 (Ip+D-A+Ca+F-A+Be), T2 (D-A+Ca+F-A+Be+Ip), T3 (Ca+Ip+F-A+Be+D-A), T4 (Be+Ip+F-A+D-A+Ca), T5 (F-A+Ip+D-A+Be+Ca), así como un testigo absoluto (T6) y T7 (testigo regional a base de Captan), distribuidos en un diseño experimental de bloques completos al azar con cuatro repeticiones. La aplicación de cada MoA se realizó de forma semanal durante cada quince días, todas dirigidas al cuello de la planta. Se evaluó la Incidencia de la enfermedad, Altura de planta, Rendimiento y Eficiencia biológica, para obtener la rotación que controle la enfermedad y no afecte el rendimiento del haba. Los datos de incidencia se analizaron en el programa R para estimar el área bajo la curva del progreso de la enfermedad a través del tiempo por repetición por tratamiento. Los valores del área bajo la curva se analizaron en el programa SAS para realizar el análisis de varianza, y en el caso de existencia de diferencia significativa se realizó la prueba de separación de medias con Tukey ($\alpha=0.05\%$). Los resultados indicaron la existencia de diferencias significativas entre

las diferentes rotaciones. Se observó que algunas rotaciones lograron reducir la enfermedad de manera más efectiva que otras. La rotación T3 (con MoA de los ingredientes activos de Captan (Ca), Iprodiona (Ip), Fluazinam (F), Benomilo (Be) y Difenconazol (D)) logró reducir el progreso de la enfermedad a través del tiempo, al resultar efectiva contra *Rhizoctonia solani*. Ninguna rotación de MoA influyó negativamente en el crecimiento de la planta, pero destaca que las rotaciones con mayor eficiencia de control expresaron ligero desarrollo vegetativo por arriba del testigo. El testigo regional (Captan) expresó el mayor rendimiento. La rotación T3 también fue la de mayor eficiencia biológica con un 54% por arriba del testigo absoluto. Se evidenció que la eficacia biológica de las rotaciones va a depender de la secuencia o momento de aplicación dependiendo de la etapa fenológica del haba y de la expresión de la enfermedad, y no al aplicarlo de forma individual como captan. El hecho de determinar que la rotación de MoA de T3, con adecuada eficiencia biológica, permite disponer de una alternativa para retardar la aparición de la resistencia del hongo a los fungicidas, por lo que la presente investigación demuestra que rotar fungicidas con distintos modos de acción es una estrategia clave para controlar la marchitez del haba por *Rhizoctonia solani* de forma eficiente y sostenible.

Palabra clave: marchitez del haba, MoA, ingredientes activos, sitios de acción, eficiencia biológica.

ABSTRACT

MODE OF ACTION-BASED FUNGICIDE ROTATION FOR THE CONTROL OF ROOT ROT (*Rhizoctonia solani*) in *Vicia faba* L.

Mercedes Rivera Melchor. Ingeniero Agrónomo Fitotecnista. Universidad Autónoma del Estado de México. Facultad de Ciencias Agrícolas.

Advisors: Dr. Jesús Ricaardo Sánchez-Pale¹, Dra. Alejandra Contreras-Rendon².

¹⁻² Universidad Autónoma del Estado de México, Facultad de Ciencias Agrícolas. Campus universitario “El Cerrillo”, El Cerrillo, Piedras Blancas, Toluca, México. Postal Code 50200.

Tel. (fax) 2-96-55-29 and 2-96-55-31. jrsanchezp@uaaemex.mx; acontrerasr@uaemex.mx

The objective of the present study was to evaluate proposed rotations of fungicides that differ in their mode of action (MoA) for the control of root rot caused by *Rhizoctonia solani* in fava beans. The experiment was performed under field conditions. We evaluated five rotation treatments: T1 (Ip+D-A+Ca+F-A+Be), T2 (D-A+Ca+F-A+Be+Ip), T3 (Ca+Ip+F-A+Be+D-A), T4 (Be+Ip+F-A+D-A+Ca), T5 (F-A+Ip+D-A+Be+Ca), as well as a non-treated negative control (T6) and a positive control treated only with Captan (T7). The treatments were distributed in a randomized complete block experimental design with four replicates. For each treatment, we applied the corresponding fungicide once every 7 days, with two consecutive applications of each fungicide, in the order noted above. We evaluated the incidence of the disease, and the height, yield, and biological efficiency of the plant to determine which rotation best controlled the disease and least affected fava bean yield. The incidence data were analyzed using the program R to estimate the area under the disease progress curve over time per replicate, per treatment. The area under the curve values were analyzed in the program SAS to perform an analysis of variance, and in the case of significant differences, we performed Tukey's mean separation test at 0.05%. The results indicated the existence of significant differences among the different rotations, in that some rotations more effective than

others at reducing disease incidence. Rotation T3 (Captan (Ca), Iprodione (Ip), Fluazinam (F), Benomyl (Be) and Difenconazole (D)) reduced disease progression over time, making it the most rotation effective against *Rhizoctonia solani*. None of the MoA rotations negatively affected plant growth, and some of the most effective rotations for control showed a slight increase in plant growth relative to the negative control. The positive control (Captan) had the highest yield. The T3 rotation had the highest biological efficiency, 54% higher than the negative control. The results showed that the biological efficiency of the rotations depended on the sequence or timing of application of fungicides with different MoA, compared to the constant application of Captan in the positive control. This could be due to the phenological stage of the fava bean and the expression of the disease. The finding that the T3 MoA rotation had adequate biological efficiency suggests that this rotation is a viable alternative for control while preventing fungicide resistance. Our results show that rotating fungicides with distinct MoA is a key strategy for controlling root rot caused by *Rhizoctonia solani* in an efficient and sustainable way.

Key words: wilt, active ingredients, site of action, biological efficiency

I. INTRODUCCIÓN

El haba (*Vicia faba* L.) es originaria de Asia Central, donde se encuentran la mayor diversidad de variedades de esta especie. La existencia de esta especie data de aproximadamente 6000 a. C. en la región de medio Oriente (Global Bean, s. f.).

El haba es una planta que se cultiva en todo el mundo. Tiene porte recto; sus raíces son desarrolladas. El fruto tiene longitud variable. El número de granos oscila entre dos y nueve. El color de la semilla es verde amarillento cuando está verde, y amarillo cuando se seca. Su ciclo vegetativo normal, desde que se planta hasta que madura la semilla, es de 190 a 200 días (SAGARPA, 2017).

El volumen de producción de los cinco principales cultivos de legumbres en México fue alrededor de un millón 400 mil toneladas en este sentido, la producción de haba fue de 37 mil 578 toneladas, con un valor de 467 millones 783 mil pesos en 2021, y 12 entidades cuentan con producción, destacando Puebla y Veracruz que aportan el 85 por ciento en conjunto, con 17 mil 739 y 14 mil 218 toneladas, respectivamente (SADER, 2023).

El haba es afectada por varios patógenos del suelo, causando pudriciones radiculares y las plántulas mueren al momento de la germinación o posterior a esta. Los patógenos más comunes son *Rhizoctonia solani*, *Fusarium solani*, *Macrophomina phaseolina*, *Sclerotium rolfsii* y *Phythium* spp. (López y Guadarrama, 2016). Los hongos de los géneros (*Rhizoctonia* y *Sclerotium*) producen enfermedades graves en muchas plantas cultivadas, afectan raíces, tallos, tubérculos, cormos y otras estructuras que se desarrollan dentro del suelo (Agrios, 1991).

Rhizoctonia solani, es un patógeno con una diversidad en morfología, posee un rango de hospedantes amplio y agresividad (Ajayi-Oyetunde y Bradley, 2018). Este patógeno sobrevive como saprófito en el suelo en forma de esclerocios, lo cual es una fuente latente de infección para los cultivos, dado su amplio rango de hospedantes.

Para contrarrestar su efecto, se reporta que el uso de fungicidas para el tratamiento de semillas (por ejemplo, Tiram y Maneb, Benomilo, Carboxin, PCNB, Rizolex, Zineb, Captan, Benomilo en 1-3 g por gramo de semilla) proporcionan cierto control de la pudrición de las semillas y las enfermedades de las plántulas causadas por *R. solani* (Brenes, 1996). El Azoxystrobin y Propiconazol proporcionan un control eficaz de la enfermedad, pero deben aplicarse antes de que se produzca la infección (Jacobsen *et al.*, 2002; Khan & Bolton, 2010). Para el Valle de Toluca, se dispone de escasa información sobre la eficacia en el uso de fungicida en el manejo de esta enfermedad, por lo que el presente trabajo, tuvo por objetivo:

II. OBJETIVOS

2.1 Objetivo general

Evaluar la rotación de fungicidas con distintos Modos de Acción (MoA) para el control de la enfermedad de Pudrición radicular (*Rhizoctonia solani*) en haba (*Vicia faba* L.)

2.2 Objetivos específicos

1. Analizar la incidencia de la enfermedad Pudrición radicular bajo diferentes rotaciones de fungicidas con distintos Modos de Acción (MoA).
2. Determinar el rendimiento de haba (*Vicia faba* L.) en los diferentes Modos de Acción (MoA) de los fungicidas.

III. HIPÓTESIS

Al menos, un tratamiento de rotación de fungicidas con diferentes Modos de Acción (MoA) disminuye la expresión de la Pudrición radicular (*Rhizoctonia solani*) en haba (*Vicia faba* L.)

IV. REVISIÓN DE LITERATURA

4.1 Origen y domesticación

El haba (*Vicia faba* L.) es originaria de Asia Central, donde se encuentran la mayor diversidad de variedades de esta especie. La existencia de esta especie data de aproximadamente 6000 a. C. en la región de medio Oriente (Global Bean, s. f.). En América fueron cultivadas por primera vez en 1602 en la Costa Atlántica de los Estados Unidos de Norte América, tanto para producir frutos verdes y grano seco (Horwitz & Latimer, 2005).

4.2 Importancia del haba

A nivel global, el cultivo de haba abarca actualmente alrededor de 2.5 millones de hectáreas con una producción de 5.4 millones de toneladas y un rendimiento promedio de semilla de 2.1 toneladas/ha (FAOSTAT, 2023). Según datos de la FAO (2008), de los trece países que más consumen leguminosas en el mundo, nueve están en América Latina: Nicaragua, Brasil, México, Paraguay, Belice, Costa Rica, Guatemala y Honduras.

Entre los cinco países productores de haba en el mundo, destacan, China con 1.7 millones de toneladas, seguido de Etiopía con un millón de toneladas, mientras que, Reino Unido y Australia producen 547 y 327 mil toneladas, respectivamente (FAOSTAT, 2019).

Se utiliza como alimento humano en los países en desarrollo y también es destinada al consumo animal, principalmente a los cerdos, caballos y aves de corral en los países industrializados (Bond *et al.*, 1985).

Este cultivo no solo es valioso por sus propiedades alimenticias y medicinales que ofrece beneficios significativos para la salud humana (Prabhu y Rajeswari, 2018). En general, su consumo aporta beneficios para la salud como la prevención de enfermedades cardiovasculares cuando son consumidas con frecuencia (Bazzano *et al.*, 2001; Anderson y Ward, 2002).

En México, el cultivo de haba es importante para la región de los Valles Altos de la Mesa Central, que comprende al Estado de México, Tlaxcala, Puebla, Michoacán y Guanajuato; se cultiva también en las zonas altas de los estados de Veracruz y Chiapas. Este hecho se traduce en un germoplasma particular de la comunidad que se expresa en diversidad del gran o y de las maneras de preparación de platillos consumidos por las familias. Sin embargo, poco se conoce sobre las características de consumo consideradas por las amas de casa, las cuales forman parte de los caracteres relevantes de una especie cuando ésta es incluida en la dieta de los humanos (Jordán *et al.*, 2019).

Forma parte de los alimentos básicos de nuestro país. Se ha comprobado su calidad nutritiva como complementos de otros cultivos destinados a la alimentación tanto humana como de animales domésticos al incrementar el contenido de proteínas, calcio, hierro y zinc, mejora el contenido de fibra dietética y ácidos grasos insaturados (Giménez *et al.*, 2016; Abd El-Hack, *et al.*, 2017; Tazart, *et al.*, 2016).

El haba tolera bajas temperaturas y la mayor producción se destina al autoconsumo, predominando ampliamente su asociación con maíz (*Zea mays* L.) y frijols (*Phaseolus vulgaris* L.), y fija nitrógeno atmosférico, por lo que se utiliza como cultivo de rotación. Su uso potencial se ha restringido por su susceptibilidad a enfermedades, ausencia de variedades estables y por el desconocimiento del adecuado y eficiente manejo tecnológico (Pérez y González, 2003; Kalia & Sood, 2004).

4.3 Estados de la República mexicana productores de haba y rendimiento

El volumen de producción de los cinco principales cultivos de legumbres en México fue alrededor de un millón 400 mil toneladas, la producción de haba sumó 37 mil 578 toneladas, con un valor de 467 millones 783 mil pesos en 2021, y 12 entidades cuentan con producción, pero Puebla y Veracruz aportan el 85 por ciento en conjunto, con 17 mil 739 y 14 mil 218 toneladas, respectivamente (SADER, 2023).

En México se siembran alrededor de 20 mil ha con haba y se cosechan 30 mil toneladas con un rendimiento promedio de 1.48 t ha⁻¹ (SIAP, 2019). En 2020, el Estado de México fue el principal productor de haba verde con 39,111 t (47.4%), seguido por Puebla con 28,529 t (34.6%) y Michoacán con 6,388 t (7.7%), por lo que estas tres entidades representaron el 29.9% de la producción nacional total (SIAP, 2020).

En México, el haba se consume en fresco y en seco; contiene entre 25 y 40% de proteína (Gutiérrez *et al.*, 2008) pero su cultivo no se ha explotado a gran escala por lo que su consumo es mínimo (0.552 kg per capita). Ésta especie es de gran importancia social y económica en los Valles Altos del Centro de México que comprende los estados de Puebla, México, Tlaxcala, Veracruz y Michoacán, donde cerca de 90% de la superficie se siembra en condiciones de temporal. En el Estado de México se siembran 256 ha de haba para semilla y 6 132 ha para la producción en verde, las cuales se establecen en condiciones de riego y temporal, con rendimientos promedio de 1.48 y 6.04 t ha⁻¹, respectivamente (SIAP, 2011).

4.4 El cultivo haba (*Vicia faba* L.)

El haba (*Vicia faba* L.) es una planta herbácea que se cultiva para alimentación humana y animal, especialmente en zonas de clima templado y frío. De acuerdo con la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), actualmente el haba se cultiva en todos los continentes, con una superficie estimada de 2,6 millones de hectáreas y una producción de 5,4 millones de toneladas (FAO, 2020).

Esta leguminosa se cultiva en todo el mundo, la planta es de porte recto; y con raíces desarrolladas. El fruto es una vaina con longitud variable; puede alcanzar hasta 35 centímetros. El número de granos, o habas, oscila entre dos y nueve. El color de la semilla es verde amarillento cuando está verde, y amarillo cuando se seca. Su ciclo vegetativo normal, desde que se planta hasta que madura la semilla, es de 190 a 200 días (SAGARPA, 2017) (Figura 1).



Figura 1. Planta de haba, en estado saludable.

4.5 Clasificación taxonómica del haba (*Vicia faba* L.)

Superreino: Eukariota

Reino: Viridiplantae

Filo: Streptophyta

Clase: Magnoliopsida

Orden: Fabales

Familia: Fabaceae

Género: *Vicia*

Especie: *Vicia faba*

(NCBI, 2024).

4.6 Condiciones edafoclimáticas para el desarrollo de *V. faba* L.

El cultivo de haba no es muy exigente con respecto a la de suelo. Resistente a heladas, produciéndose daño crítico con -1 °C, la floración es el período más sensible a estos eventos. La temperatura base mínima de crecimiento es 5 °C, con un óptimo de 15-20 °C y máximo de 28 °C. Para la floración, la temperatura ideal fluctúa entre 10-12 °C, mientras que para llenado de grano son 16 °C. Para germinación, la temperatura ambiental mínima es de 7 °C, óptima 22 a 28 °C y máxima 36 °C (Tapia y Bascur, 1992). Requiere a días largo para floración. El pH mínimo tolerado por este cultivo es de 5,0. Sin embargo, el desarrollo óptimo se encuentra entre 5,7 y 6,8, con un valor máximo de 8,6. Además, este cultivo tolera una conductividad eléctrica de 2,0 dS/m, con un máximo de 6,8 dS/m (Ciren, 2017).

4.7 Fenología del haba (*Vicia faba* L.)

En las leguminosas la fenología es regulada principalmente por la repuesta genética a la temperatura y fotoperiodo (Ellis *et al.*, 1990). La escala extendida BBCH es un sistema para una codificación uniforme de identificación fenológica de estadios de crecimiento para todas las especies de plantas mono y dicotiledóneas (López, 2013) y puede interpretarse de la siguiente manera:

Estadio 0 (germinación) La germinación inicia con el crecimiento del embrión dentro de la semilla, los factores esenciales para su desarrollo son: agua, oxígeno y temperatura. En este estadio se pueden encontrar los siguientes estadios secundarios: 00) semilla seca, 01) comienzo de la imbibición, 02) fin de la imbibición de la semilla, 03) salida de la radícula de la semilla (indicador visual de la germinación), 04) brote de la plúmula 12 fuera de la semilla, 05) el brote crece hacia la superficie del suelo, 06) emergencia (el brote sale por encima del suelo) (Fig. 2).



Figura 2. Emergencia del haba a la superficie.

Estadio 1 (desarrollo de hojas tallo principal) Una vez que la planta emerge a la superficie del suelo comienza el desarrollo de hojas y en forma simultánea el crecimiento del tallo. En este estadio se pueden distinguir los siguientes estadios secundarios: 10) son visibles el primer par de hojas escamas, 11) la primera hoja se despliega, 12) dos hojas abiertas, 13) tres hojas abiertas 1). El estadio puede continuar hasta la novena o más hojas (Figura 3).



Figura 3. Desarrollo del tallo principal.

Estadio 2 (formación de brotes laterales) Existen cultivares de *Vicia faba* que son monopódicas en estas no se distinguen estas fases, en este estadio se puede observar los siguientes estadios: 20) existen o no los brotes laterales, 21) inicia el desarrollo de los brotes laterales, 22) crecimiento del segundo brote lateral, 23) se detectan tres brotes laterales, 24) los brotes pueden llegar a 9 dependiendo la variedad.

Estadio 3 (crecimiento longitudinal del tallo principal) Al emerger la planta sobre el suelo comienza el crecimiento en longitud del tallo principal se la formación de brotes laterales y en algunas variedades de brotes superiores en este estadio se pueden apreciar los siguientes estadios secundarios: 30) comienza el crecimiento longitudinal del tallo, 31) se alarga y es visible el primer entrenudo extendido en este va la primera hoja verdadera, 32) dos entrenudos extendidos, 33) tres entrenudos alargados visiblemente, 34) los estadios continúan hasta 9 o más entre nudos alargados visiblemente. La escala no reporta un estadio 4.

Estadio 5 (aparición del órgano florar en el tallo principal) En este estadio se puede observar los siguientes estadios secundarios: 50) los botones florales están presentes, pero todavía se encuentran rodeados por las hojas, 51) los primeros botones florales son visibles fuera de las hojas, 55) los primeros botones florales son visibles, pero aún se encuentran cerrados, 59) los primeros pétalos son visibles y hay muchos botones florales.

Estadio 6 (flor en el tallo principal) Mwanamwenge *et al.* (1999) describieron diferencias entre cultivares, con sumas térmicas que variaron entre 657 y 1550 °Cd para alcanzar la floración. En este estadio se puede distinguir los siguientes estadios secundarios 60) se observan las primeras flores abiertas, 61) inicia la floración, 62) las flores del primer racimo están abiertas, 63) las flores de los primeros tres racimos están abiertas hasta el 50% de las flores, 65) las flores de los primeros cinco racimos están abiertas hasta el 50% de las flores (se dice que está en plena floración), 67) la floración decae, 69) llega al final de su floración (Figura 4).



Figura 4. Inicia la floración.

Estadio 7 (formación del fruto). Después del proceso de fecundación se da la formación de la vaina, la aparición de estas depende del genotipo y condiciones climáticas, en este estadio se puede ver los siguientes estadios secundarios: 70) las primeras vainas alcanzan su tamaño final, 71) el 10% de las vainas han alcanzado su tamaño final, 72) el 20 % de las vainas han alcanzado su tamaño final, 73) el 30% de las vainas han alcanzado su tamaño final, 74) el 40% de las vainas han alcanzado su tamaño final, 75) el 50% de las vainas han alcanzado su estado final, 76) el 60% de las vainas ha alcanzado su tamaño final, 77) el 70% de las vainas han alcanzado su tamaño final 78) 80% de las vainas han alcanzado su tamaño final, 79) del 90 a 99% han alcanzado su tamaño final (Fig. 5).



Figura 5. Formación y llenado de vaina.

Estadio 8 (maduración de frutos y semillas). En esta etapa la planta mueve todos los fotosintatos acumulados por la planta para almacenarlos en las semillas, en esta fase la planta llega a su madurez fisiológica. En este estadio se puede observar los siguientes estadios secundarios: 80) se inicia la maduración las semillas son de color verde es el inicio del llenado de la vaina (Figura 6), 81) el 10% de las vainas están maduras, las semillas toman consistencia seca y dura, 82) el 20% de las vainas están maduras, 83) el 30% de las vainas están maduras, 84) el 40% de las vainas están maduras, 85) el 50% de las vainas están maduras y tienen coloración oscura, 86) el 60% de las vainas están maduras y son de color oscuro, las semillas están secas y duras, 87) el 70% de las vainas están maduras, 88) el 80% de las vainas están maduras, 89) en este estadio se encuentran las vainas maduras del 90 al 99%, las semillas están secas y duras.

Estadio 9 (senescencia). Ellis *et al.* (1990), considerando una T_b de 0 °C, indicaron que el tiempo térmico requerido desde la siembra hasta la floración fue similar para un amplio número de cultivares y fue cercano a 1000 °Cd (grados-día). En este

estadio se distinguen los siguientes estadios secundarios: 93) los tallos comienzan a oscurecerse, 94) el 50% de los tallos son de un color marrón o negros esto depende de la variedad, 95) la planta está muerta y seca, 96) el producto ha perdido humedad y está listo para realizar la cosecha.



Figura 6. Hay llenado y crecimiento de vaina; se cosecha la vaina verde.

4.8 Hongos fitopatógenos que afectan a *V. faba* L.

Al haba lo atacan varios patógenos del suelo, por lo general causan pudriciones radiculares y las plántulas mueren al momento de la germinación o posterior a esta, en el caso de que ya esté presente la planta se produce una destrucción parcial o total del sistema radicular; los patógenos más comunes son *R. solani*, *Fusarium solani*, *Macrophomina phaseolina*, *Sclerotium rolfsii* y *Phythium* spp. (López y Guadarrama, 2016).

Las enfermedades son uno de los principales problemas en el cultivo de las leguminosas, ya que comprometen seriamente el rendimiento de estas (Tivoli *et al.*, 2006). El método de control más usado es el empleo de productos fitosanitarios, pero tiene un alto costo tanto económico como medio ambiental. La diversificación

de cultivos presenta, entre otras múltiples ventajas, una reducción de la incidencia de las enfermedades frente a los monocultivos, por lo que puede ser una alternativa eficiente al control químico (Boudreau, 2013).

Sin embargo, la producción de leguminosas ha sido difícil, debido a la relativa baja en rendimiento, causados principalmente por fitopatógenos, provocando que las plantas de leguminosas se desarrollen de forma anormal. Sin tener en cuenta los detalles del cultivo, del suelo o del fitopatógeno, la agricultura contemporánea emplea habitualmente grandes dosis de fertilizantes y plaguicidas para combatir estos organismos peligrosos (Abd-Elmagid *et al.*, 2020). Como consecuencia, una tierra menos fértil, el deterioro ambiental debido al uso excesivo de productos químicos y la aparición de patógenos resistentes a plaguicidas y otros tratamientos químicos (Tilman *et al.*, 2002; López y Castaño, 2012).

Enfermedades foliares en *Vicia faba* L.

De acuerdo con Coca-Morante (2007), señala que estas enfermedades foliares, (nuevas o emergentes) consisten principalmente de las manchas foliares causadas por hongos afectan la cantidad y calidad de la producción de haba (vaina verde y grano seco), se presentan desde la emergencia de su cultivo y en dependencia de la microrregión forma de manchas circulares que con el tiempo este se extiende cambiando de color en algunas veces y en otras manteniéndose.

Mancha de chocolate (*Botrytis fabae* L.)

Los síntomas en las hojas son pequeñas manchas circulares de 1 a 2 milímetros de diámetro, ovales u oblongas, de color café rojizo, con el centro deprimido y los márgenes de un color más intenso, que al avanzar forman un tizón de color café chocolate que ocasiona la defoliación de la planta. En los tallos las lesiones son de forma irregular de un color café rojizo, localizándose a lo largo de los mismos (Figura 7); cuando la infección se da en la etapa de floración y formación de vainas, causa la caída de las flores y la pudrición de las vainas; se puede encontrar también daño en las semillas, sin embargo, no constituye una fuente significativa de infección. Las

condiciones óptimas para el desarrollo del patógeno son: temperatura de 18-20 °C y humedad ambiental mayor al 80 % (López, 2013).



Figura 7. Lesiones de forma irregular de un color café rojizo.

Roya (*Uromyces viciae fabae*)

Esta enfermedad puede atacar cualquier parte aérea de la planta, y puede ser desde el estado de plántula hasta la madurez de las plantas. En las hojas, tallos y pecíolos el patógeno produce puntos cloróticos ligeramente levantados de color blanco a crema a medida que la enfermedad avanza, provoca la ruptura de la epidermis y aparece la masa de esporas de color café oscuro, las cuales son conocidas como pústulas de la roya (López, 2013).

Generalmente las pústulas se encuentran rodeadas por un halo clorótico de color amarillo, en las variedades susceptibles a esta enfermedad, las pústulas producen abundante esporulación y rápidamente llegan a cubrir las hojas y ocurre la necrosis,

cuando el daño es ligero las hojas se secan y se produce una defoliación prematura, los rendimientos se pueden reducir hasta en un 40% (López, 2013).

Mancha café (*Ascochyta fabae*)

Esta enfermedad es causada por un complejo de hongos pertenecientes al género *Ascochyta*, y recientemente se relaciona también con *Phoma medicaginis* var. *pinodella* (Tivoli & Banniza, 2007). Los síntomas pueden ser observados en hojas, tallos y vainas; el hongo *Ascochyta* spp., genera lesiones delineadas con bordes claros y necrosis progresiva del tallo. El hongo *P. medicaginis* var. *pinodella* causa una podredumbre en la base de la planta, las vainas se necrosan y la infección puede pasar a la semilla, que al utilizarse puede funcionar como inóculo para dispersar la enfermedad (Tivoli & Banniza, 2007).

Cenicilla (*Sphaeroteca fuliginea* (Schelecht) Pollacci)

Los síntomas que se observan son manchas pulverulentas de color blanco en la superficie de las hojas (haz y envés) que van cubriendo todo el aparato vegetativo llegando a invadir la hoja entera, también afecta a tallos y pecíolos e incluso frutos en ataques muy fuertes (López, 2013).

Las hojas y tallos atacados se vuelven de color amarillento y se secan. Las malas hierbas y otros cultivos como las cucurbitáceas, así como restos de cultivos son las fuentes del inóculo, y el viento es el encargado de transportar las esporas y dispersar la enfermedad (López, 2013).

Enfermedades causadas por virus

Estudios a nivel mundial han identificado por lo menos 24 virus que pueden infectar el haba, con diferentes grados de afectación en el cultivo (Duc *et al.*, 2015), reportando pérdidas en la cosecha entre el 20% y el 100%, dependiendo de la interacción huésped-virus, la incidencia de la infección, la gravedad de los síntomas y el desarrollo de la planta en el momento de la infección (Afshari *et al.*, 2020).

Las plantas de haba son afectadas por distintos tipos de virus. Estos se transmiten a través de semilla, uso de herramientas infectadas. Se manifiesta como enanismo en las plantas, necrosis, manchas como mosaicos y arrugamiento de las hojas, que llegan a deformarse al igual que las vainas (ORS-LP *et al.*, 2005).

Además, ORS-LP *et al.* (2005), indica que la propagación del virus se efectúa de manera mecánica y por medio de los insectos, tales como los áfidos: *Aphis fabae*, *Acyrtosiphon pisum* y *Myzus persicae*, que al alimentarse transmiten el virus involuntariamente. Además, puede transmitirse por el uso de semillas provenientes de cultivos contaminados hasta el 20%.

Pueden presentarse solos o combinados, observándose en las hojas áreas amarillo-claras o verde-oscuras, con enrollamiento, amarillamiento de las nervaduras de parte seca en las puntas. Si se localizan daños severos, estos se presentan antes de la floración y se observa enanismo de la planta y escasez de vainas y semillas. Los virus se multiplican rápidamente en relación directa con temperaturas cálidas y alta cantidad de pulgones o trips (López, 2013).

Enfermedades de la raíz

Las enfermedades de las raíces de las leguminosas son económicamente importantes y afectan grandes áreas de producción agrícola en muchos países del mundo. Las podredumbres de las raíces, causadas por *Aphanomyces euteiches*, *R. solani*, especies de *Fusarium*, y las marchiteces, causadas por varias formas especiales de *F. oxysporum*, son algunas de las enfermedades transmitidas por el suelo más destructivas de las leguminosas cultivadas, incluyendo el guisante, el garbanzo, la lenteja, la soja, el frijol, el haba, el lupino y la alfalfa (Pilet-Nayel *et al.*, 2024).

Podredumbre radicular (*Aphanomyces euteiches*)

La estimación de las pérdidas de cultivos debido a *A. euteiches* es difícil de establecer ya que pueden estar involucrados numerosos factores, incluida la combinación de varios hongos comunes del suelo que causan enfermedades de

podrición de la raíz. Sin embargo, la pudrición de la raíz del guisante causada por *A. euteiches* ha sido reconocida como una enfermedad grave transmitida por el suelo en varios estados americanos y en otras áreas de cultivo de guisantes del mundo, especialmente en Europa (Allmaras *et al.*, 2003; Huguet, 2001; Levenfors *et al.*, 2003).

En Francia, el patógeno fue descrito por primera vez por Labrousse (1933), pero se ha expandido recientemente en las regiones más productivas de guisantes de la cuenca parisina, causando una reducción en la superficie cultivada de guisantes (Huguet, 2001).

Aphanomyces euteiches puede infectar plantas a cualquier edad. Los primeros síntomas en el guisante se observan en las raíces, que están reblandecidas y empapadas de agua. El patógeno se propaga rápidamente en todas direcciones a través del tejido cortical y destruye las finas ramas de las raicillas que se alimentan. En casos graves, las plantas colapsan y mueren antes de formar ninguna vaina. Las plantas con infección tardía presentan un aspecto casi normal por encima del suelo y suelen producir semillas (Papavizas y Ayers, 1974).

Marchitez o pudrición radicular (*Fusarium oxysporum*)

Fusarium oxysporum está entre las especies más abundantes, cosmopolitas y complejas pues tiene más de 100 formas especiales caracterizadas por su alta especificidad en las plantas hospedantes que afecta, en este caso el cultivo de chícharo (López y Guadarrama, 2016).

Fusarium invade la planta bien sea de forma activa a través de las raíces o pasivamente a través de la zona callosa de esquejes jóvenes. Después de la penetración el patógeno se desarrolla dentro del sistema vascular de la planta. El flujo de agua y nutrientes disminuye, provocando síntomas en la parte aérea que van desde amarilleamiento ascendente, marchitez, defoliación, retraso del crecimiento, senescencia prematura y muerte de la planta (García-Ariza *et al.*, 2021).

Fusarium oxysporum penetra intercelularmente, o a través de heridas, por la raíz hasta alcanzar el xilema provocando su obstrucción. *F. solani* infecta la raíz o el cuello, progresando hacia abajo y ocasionando su pudrición (García-Ariza *et al.*, 2021).

Fusarium oxysporum expresa una coloración rojiza o marrón en el xilema de la raíz, y en ocasiones de la parte baja del tallo, visible al practicar un sajado vertical o en cortes transversales. *F. solani* expresa, normalmente por debajo del suelo, manchas rojizas o marrones que terminan pudriéndose (García-Ariza *et al.*, 2021).

Internamente puede observarse una decoloración café en los tejidos vasculares cuando la planta es atacada por *Fusarium oxysporum* las raíces permanecen inicialmente intactas, en contraposición a los ataques por otras especies de *Fusarium* que destruyen la base del tallo o las raíces. Se recomienda sembrar en suelos con buen drenaje, efectuar rotación de cultivos y tratar la semilla con 2 mililitros de Cruiser por kilogramo de semilla (López y Guadarrama, 2016).

Pudrición radicular (*R. solani*)

Las enfermedades causadas por *Rhizoctonia* son de distribución global, producen pérdidas en la mayoría de las plantas anuales, casi todas las hortalizas y plantas florales, en pastos, plantas de ornato perennes. El ahogamiento es quizá el síntoma más común que produce *Rhizoctonia* en la mayoría de las plantas que afecta. Se produce principalmente en suelos fríos y húmedos. Las plántulas muy jóvenes pueden ser destruidas o poco después de que han emergido del suelo (Morales, 2020).

Brierley *et al.*, (2016), la contribución relativa del inoculo de la semilla y del suelo influyen en el desarrollo del patógeno, así también, factores como la temperatura del suelo y la edad de la semilla afectan la emergencia y posteriormente afectaran la severidad de la enfermedad. De modo que la ocurrencia de gran parte de las infecciones de *Rhizoctonia solani* se presenta en las primeras etapas de desarrollo de la planta, dado que la resistencia de la planta en etapas avanzadas de infección se beneficia por la respuesta de los mecanismos de defensa (Zrenner *et al.*, 2021).

4.9 Descripción del *R. solani*

Rhizoctonia solani, se considera un hongo patógeno habitante natural del suelo que ocasiona pérdidas anuales entre el 20 y 40% en todo el mundo (Johnson and Leach, 2020). El teleomorfo *Thanatephorus cucumeris* produce esterigmas en basidios que van de doliformes a claviformes cortos. Sobre el estigma, producen basidiosporas hialinas, elipsoidales anchas a obovadas, lisas, de tamaño 7-12 x 4-8 μm : los basidios miden de 12 a 18 x 8 a 11 μm , los esterigmas (de 3 a 7) de 5 a 12 x 2,5 a 3,5 μm (Messiaen y Blancard, 1994; Da Silveira *et al.*, 2000).

Rhizoctonia solani existe principalmente en la naturaleza como hifas vegetativas y esclerocios. Pueden producir tres conjuntos de hifas: 1) hifas corredoras que son rectas y no infecciosas; 2) hifas lobuladas que son cortas, hinchadas y responsables de la formación de apresorios o almohadillas de infección en forma de cúpula; y 3) hifas especializadas que consisten en células monilioides cortas, anchas y de formas variadas que participan en la formación de esclerocios (Sneh *et al.*, 1991; Misra *et al.*, 1994).

Produce hifas de color marrón pálido a marrón, ramificándose casi en ángulos rectos, y constreñidas en el punto de la ramificación, miden de 6 a 10 μm de ancho, sin conexiones de abrazadera ni conidios. Las hifas adultas se vuelven rígidas debido al engrosamiento paredes celulares (Sneh *et al.*, 1991; Misra *et al.*, 1994).

Produce esclerocios que son estructuras de supervivencia formadas por masas compactas de células monilioides o hifas indiferenciadas; el color de los esclerocios va de blanco, marrón pálido y marrón oscuro. Debido a la presencia de melanina en las paredes celulares, los esclerocios se vuelven resistentes a las condiciones ambientales extremas. Estas se pueden encontrar a una profundidad aproximada de 15 cm del suelo. El patrón de distribución de los esclerocios es diverso (Sharon *et al.*, 2008; Desvani *et al.*, 2018).

Existe una diversidad considerable en la morfología de las colonias de *R. solani*, además de marcadores bioquímicos y moleculares, patogenicidad y agresividad

entre los miembros de esta especie, lo que ha permitido su clasificación en 14 grupos somáticamente incompatibles, también denominados grupos de anastomosis (AG) (Valentín *et al.*, 2016; Ajayi-Oyetunde and Bradley, 2018).

4.10 Ciclo de vida de *R. solani*

La *Rhizoctonia solani* fue considerada durante mucho tiempo un «hongo estéril», porque no parecía que produjera esporas. Sin embargo, el hongo genera basidiosporas, por lo que está incluido entre los basidiomicetos. El hongo persiste en los suelos infectados durante mucho tiempo. Suele producir únicamente micelio.

Según Ajayi-Oyetunde and Bradley (2018) el ciclo de *Rhizoctonia* comienza con la etapa sexual con la división nuclear en las hifas vegetativas, donde esta división se produce dentro de cada célula y ocurre de forma sincronizada en todas las células lo que genera la duplicación de células hijas, la mitad de estas emigra hacia el sector nuevo en crecimiento de la hifa creando una división con la formación de un septo.

Las hifas indiferenciadas o las células monilioides dan origen a esclerocios, que luego germinan en micelios y actúan como fuente de inóculo para infecciones y diseminación de enfermedades, las infecciones por *Rhizoctonia solani* suelen comenzar como esclerocios que germinan para producir micelios y luego abrirse camino hacia las leguminosas hospedantes. Además, se ha demostrado que *Rhizoctonia solani* se puede conservar en diferentes partes de las semillas, incluyendo la cubierta de la semilla, el endospermo y los embriones (Baker, 1947). *Rhizoctonia solani* se conserva generalmente en el suelo o restos vegetales como esclerocios o, en semillas, en forma de micelio.

La infección de micelio se produce también a través de los estomas y las heridas. El micelio crece en la superficie de la planta, formando acumulaciones de infección desde las cuales se infecta la planta. La forma de las hifas es característica: las hifas laterales emergen en ángulo recto entonces, *Rhizoctonia solani* puede penetrar la epidermis del huésped y crecer a lo largo de las paredes celulares de las células huésped.

Los esclerocios pueden germinar y desarrollar hifas, invadir la corteza de la raíz y se extiende persistentemente dentro y sobre la superficie de las raíces bajo condiciones ambientales favorables. Las semillas infectadas por *Rhizoctonia solani* es poco probable que germinen; incluso si lo hacen, el resultado es que las plántulas mueran poco después o enseguida de la emergencia (Figura 8), surgen esclerocios recurrentes, completando el ciclo de la enfermedad y poder sobrevivir durante años en entornos extremos como calor o frío, períodos prolongados sin alimento, agua, la presencia de productos químicos agresivos o altos niveles de radiación (Abbas *et al.*, 2022a).



Figura 8. Muerte de plántulas.

La forma teleomorfa permite la propagación de basidiosporas que son transportadas por el viento y la lluvia, pero esta forma rara vez se encuentra en los campos (Akber *et al.*, 2023). *Rhizoctonia solani* hiberna en el suelo, y la infección comienza con la germinación del micelio a través de la epidermis de la planta. En esta etapa, las plantas leguminosas producen un exudado que impulsa la respuesta de *Rhizoctonia solani* que injerta una unión hifal a la superficie del huésped, con la consiguiente formación de una estructura similar a un apresorio en forma de T (Abbas *et al.*, 2022b).

A partir de entonces, *Rhizoctonia* crece en la corteza radicular, lo que lleva a una colonización progresiva dentro de la raíz y en la superficie radicular. En condiciones

favorables, el hongo genera vetas oscuras que pueden provocar la pudrición y muerte radicular (Akber *et al.*, 2023). El ciclo de la enfermedad termina cuando los esclerocios, almacenados en las semillas infectadas o en los desechos vegetales, regresan al suelo, donde sobreviven durante mucho tiempo (Abbas *et al.*, 2022a) (Figura 9).

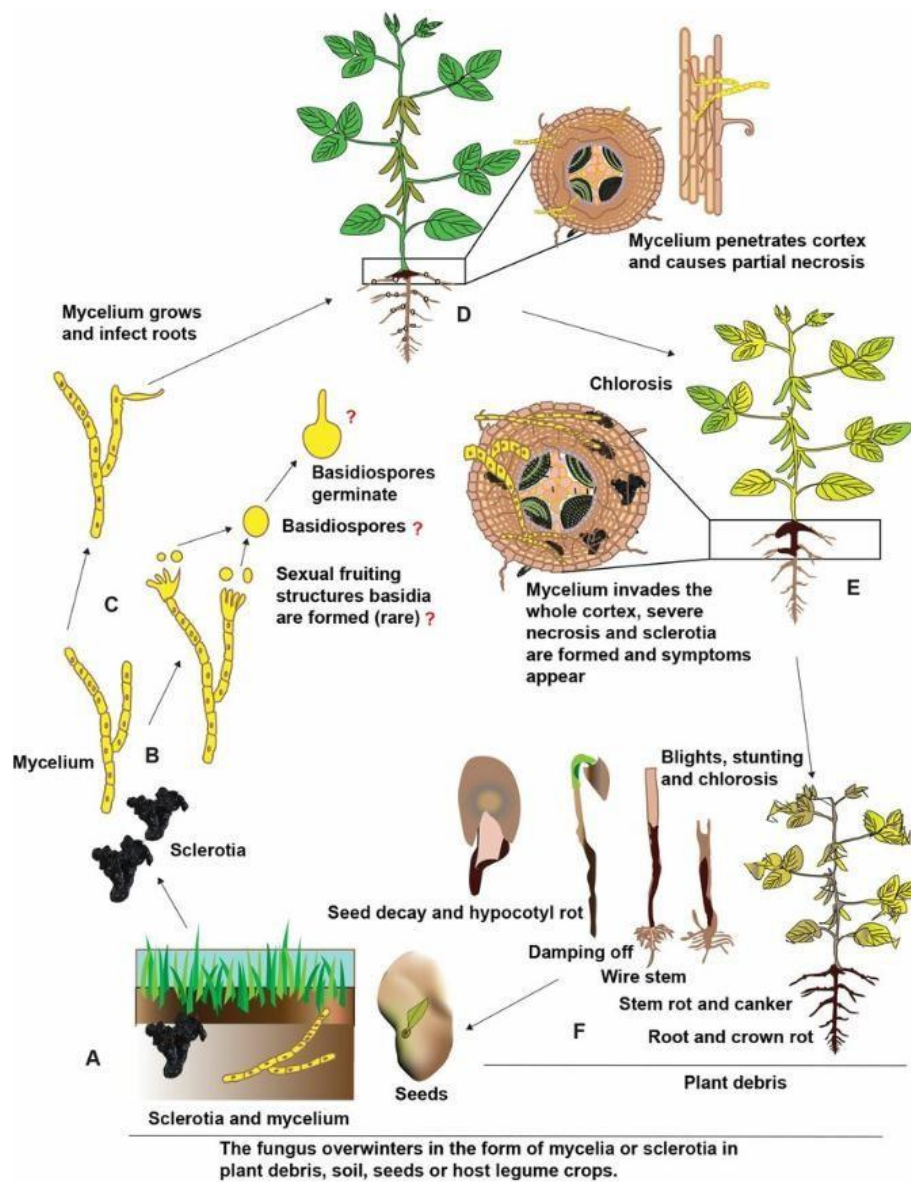


Figura 9. Representación esquemática del presunto ciclo de la enfermedad de *R. solani* en cultivos de leguminosas. Fuente: Akber *et al.* (2023). *Frontiers in Microbiology*.

4.11 Requerimientos para el desarrollo de hongo

Se requiere de la presencia de un hospedante susceptible para que la enfermedad se desarrolle mientras que el grado en que se propaga depende del grado de susceptibilidad de la población de plantas (Anees *et al.*, 2010). Es importante saber que *Rhizoctonia solani* sobrevive en condiciones ambientales desfavorables, donde puede sobrevivir en la ausencia de un huésped susceptible, la falta de nutrientes y en competencia con la microflora (Walker *et al.*, 2003). El patógeno sobrevive en el cultivo como micelio o esclerocios en los restos vegetales o en la región superior del suelo (20 a 25 cm) (Glenn & Sivasithamparam, 1990).

Brenes (1996) menciona que la enfermedad es más severa en suelos moderadamente húmedos que en suelos secos o bajo condiciones favorables (alta humedad relativa, altas temperaturas y mucha lluvia). Sin embargo, la mayoría de los aislados pueden infectar en un rango de 19° C a 30 °C. Aun así, algunos aislados pueden permanecer activos a temperaturas que alcanzan los 30° C, además, que la luz afecta el inicio del estado perfecto del hongo, que se desarrolla bajo condiciones de luz continua directa o indirecta, pero muestra una mayor producción de basidios y liberación de basidiosporas en periodos de oscuridad.

4.12 Clasificación taxonómica de *R. solani*

Superreino: Eucariota

Reino: Fungi

Filo: Basidiomycota

Clase: Agaricomycetes

Orden: Cantharellales

Familia: Ceratobasidiaceae

Género: *Rhizoctonia*

Especie: *Rhizoctonia solani*

(NCBI, 2024).

4.13 Síntomas

Los síntomas asociados con la infección por *R. solani* son varios y cambian según el huésped: lesión en hipocótilo, podredumbre de corona, tallo y raíz, presencia de plagas, tallo de alambre y marchitamiento (Ajayi-Oyentunde & Bradley, 2018). Al ser un patógeno transmitido por semillas, puede provocar podredumbre y descomposición de las semillas, marchitamiento pre-emergente y falla de germinación (Bradley *et al.*, 2002; Akber *et al.*, 2023) (Figura 10).

La infección por *R. solani* provoca anillamiento del hipocótilo parcial o completo durante la germinación y emergencia de las plántulas. Las lesiones en los hipocótilos y las raíces comienzan como áreas pequeñas que pueden aumentar con el tiempo, ovals, y alargadas. Además, ocasiona lesiones hundidas de color rojizo en el tallo inferior y en las raíces centrales de las plantas más viejas.



Figura 10. Marchitamiento y podredumbre de raíces.

Estas lesiones pueden rodear las raíces y los tallos, lo que mata a las raíces y debilita a las plantas. Las plantas son más susceptibles en las etapas de plántula y las infecciones en las plantas de más de cuatro semanas de edad a menudo tienen un pequeño impacto en la cosecha. Las infecciones graves causan retraso en el crecimiento de las plantas que eventualmente pueden llevar a la muerte de las plantas (Stockwell & Hanchey, 1984; Abawi, 1989; Carisse *et al.*, 2001).

Rhizoctonia solani puede penetrar la epidermis del huésped y crecer a lo largo de las paredes celulares de las células huésped. A partir de entonces, *Rhizoctonia* crece en la corteza radicular, lo que lleva a una colonización progresiva dentro de la raíz y en la superficie radicular. En condiciones favorables, el hongo genera vetas oscuras que pueden provocar la pudrición y muerte radicular (Akber *et al.*, 2023) (Figura 11).



Figura 11. Pudrición y muerte radicular.

La sintomatología de las raíces también tiene consecuencias en las partes aéreas del hospedante, donde los síntomas típicos de *Rhizoctonia solani* consisten en clorosis, tizones, retraso del crecimiento y marchitez foliar (Akber *et al.*, 2023). Los síntomas típicos son la podredumbre de la raíz, pero, en algunos casos, la infección también puede conducir a la defoliación de las partes aéreas (Torres *et al.*, 2016) (Figura 12), el marchitamiento de las plántulas tempranas o la podredumbre del tallo y la raíz en las plantas más viejas (Harikrishnan & Yang, 2007).



Figura 12. Marchitamiento y defoliación, un síntoma de *R. solani*.

4.14 Importancia económica y social de Pudrición radicular (*R. solani*)

Rhizoctonia solani posee una gran importancia económica, es la especie más importante dentro del género *Rhizoctonia*, un patógeno con una diversidad en morfología, por un amplio rango de hospedantes y de agresividad (Ajayi-Oyetunde & Bradley, 2018). *Rhizoctonia solani* JG Kühn es uno de los patógenos transmitidos

por el suelo más extendidos que infligen daños masivos a cultivos económicamente importantes en todo el mundo (Ajayi-Oyentunde & Bradley, 2018).

Rhizoctonia solani también exhibe un comportamiento transmitido por semillas en haba, en el que, en diferentes regiones del mundo, se ha informado como responsable de la podredumbre de la raíz, la podredumbre del cuello y la defoliación (Elwakil *et al.*, 2009; Paul *et al.*, 2022), y la frecuente mortalidad de las plantas. En el pasado, los daños económicos masivos causados por el hongo en este cultivo obligaron a los agricultores a abandonar sus tierras, con las consiguientes pérdidas económicas también agravadas por la disminución del valor de la parcela (Assunção *et al.*, 2011).

En muchas hortalizas, como en chícharo, calabaza, papa, entre otras, *Rhizoctonia solani* ocasiona la enfermedad denominada como *Rhizoctoniasis* o cáncer de raíces o tallos y costra negra cuando se presenta como esclerocios en la superficie de raíz y tubérculos. Este patógeno sobrevive como saprofito en el suelo en forma de esclerocios, lo cual es una gran amenaza para los cultivos, dado su amplio rango de hospedantes.

En el departamento de Nariño (Colombia), el control de *R. solani* se ha realizado mayormente mediante la aplicación de fungicidas; se ha estimado que al no realizar ningún tipo de manejo de la enfermedad las pérdidas en los rendimientos oscilan entre el 23 y 28% (Betancourth *et al.*, 2021; 2022).

4.15 Acciones de control

Control cultural

Se debe utilizar semilla sana, nueva y certificada, sembrar en lomillo alto, a profundidad mayor de 3 cm en suelos contaminados, evitar suelos encharcados. Eliminar residuos de cosecha anteriores, en caso de que el suelo este contaminado con *R. solani*, se deberá rotar con cultivos no susceptibles como maíz u otras gramíneas, se recomienda trabajar con labranza mínima y usar coberturas (malezas quemadas, restos de caña de maíz, etc.). En suelos muy contaminados barbechar

a 30 cm de profundidad, para disminuir la cantidad de inoculo en el suelo al incorporar los residuos de cosecha varios meses antes de realizar la siembra (Brenes, 1996).

La adición de nitrato de amonio a estas enmiendas orgánicas aumentó el crecimiento saprofito y la infección por el patógeno a medida que la relación C:N disminuyó de aproximadamente 60 a 100% a 20% (Kundu y Nandi, 1985). La severidad de la enfermedad disminuyó por una alta relación C:N ya que dentro de este ambiente las poblaciones de actinomicetos y bacterias antagonistas aumentaron y compitieron por el nitrógeno (Ariena *et al.*, 1996).

El estado nutricional de la planta puede influir en su susceptibilidad a la enfermedad, por lo que la fertilización será una estrategia importante en el manejo (Elmer y La Mondia, 1995). Las deficiencias de potasio, nitrógeno o calcio aumentan la incidencia o la severidad de *Rhizoctonia*, mientras que el potencial de enfermedad podría aumentar si se aplica en excesivo un fertilizante nitrogenado (Baker y Martinson, 1970).

Control mecánico

Efectuar una adecuada preparación de suelos con el objeto de destruir los esclerocios (organismos de resistencia), los cuales son habitantes del suelo y porque *Rhizoctonia solani* cumple parte de su ciclo de vida en el suelo. Esta labor se debe efectuar con anterioridad a la siembra (5-6 días efectuar dos pases de rastra) (Pabón, 1994).

Control biológico

Las rizobacterias tienen un efecto significativo en la reducción de la densidad del inóculo de *R. solani* y también suprimen su actividad saprofítica y patógena. El mecanismo de defensa de las rizobacterias es colonizar las raíces y defender de la infección (cualquier parte del tejido vegetal con base alimenticia, por ejemplo, la cubierta de la semilla, el endospermo, el embrión, la radícula emergente, los

cotiledones, el hipocótilo, etc.) contra el ataque de patógenos (Hernández *et al.*, 2018).

Se han utilizado aislados de *Trichoderma*, como agente de control biológico contra *Rhizoctonia solani* transmitido por el suelo mediante el uso de un método de cultivo dual y bioensayo en plantas de frijol para estudiar el efecto sobre el control de la enfermedad (Barakat *et al.*, 2007). En este estudio *Trichoderma* redujo en gran parte el índice de enfermedad de la planta de frijol causado por *Rhizoctonia solani* siendo el más efectivo *Trichoderma harzianum* que redujo la enfermedad en un 65% (Barakat *et al.*, 2007).

Control genético

Utilizar cultivares resistentes a *Rhizoctonia solani* es una estrategia eficaz para controlar la enfermedad, aunque se reportan variedades moderadamente resistentes, esta estrategia es una forma más eficaz y ambientalmente segura del manejo de la enfermedad (Navarrete-Maya y Acosta-Gallegos, 1999).

En un estudio realizado en que se analizaron varios genotipos de frijol para detectar su resistencia en campo y en invernadero a los hongos *Rhizoctonia solani* y *Fusarium* spp. En campo, los genotipos Pinto Villa, Wisc RRR, PI 203958 y BAT 477 mostraron resistencia intermedia a ambos hongos, pero en invernadero mostraron susceptibilidad. Esto indica que la incidencia y la severidad de los patógenos mostraron diferencias relacionadas con las condiciones climáticas registradas durante el ciclo del cultivo (Navarrete-Maya *et al.*, 2009).

Control químico

El control químico de enfermedades se refiere al uso de agentes químicos para inhiben la germinación, crecimiento y multiplicación de los patógenos que amenazan la nutrición humana, contribuyendo significativamente al aumento del rendimiento de los cultivos. Este método se emplea a menudo junto con técnicas de control biológico y físico de plagas para minimizar los efectos perjudiciales sobre el equilibrio biológico (Mukherjee, 2018; Gil, 2003).

Una manera de optimizar el rendimiento de los cultivos es reducir la incidencia de enfermedades, que en un principio se realiza a través de acciones preventivas, que involucran prácticas culturales como rotación de cultivos y empleo de plantas resistentes (Fernández *et al.*, 2019). No obstante, el uso de plaguicidas preventivos o curativos para el control de enfermedades es importante para el incremento de rendimiento y calidad de los cultivos en la agricultura moderna (Kawasaki & Lichtenberg, 2015).

4.16 Buen uso y manejo de plaguicidas

Plaguicida

Los plaguicidas se utilizan para proteger los cultivos contra insectos, malas hierbas, hongos y otras plagas. Son potencialmente tóxicos para los seres humanos y pueden tener efectos agudos y crónicos en la salud de las personas, dependiendo de la cantidad y la forma de exposición (OMS, 2022).

El artículo 2° del código internacional de conducta para la distribución y utilización de plaguicidas (FAO, 2013) define los plaguicidas como:

Cualquier sustancia o mezcla de sustancias destinadas a prevenir, destruir o controlar cualquier plaga, incluyendo los vectores de enfermedades humanas o de los animales, las especies no deseadas de plantas o animales que causan perjuicio o que interfieren de cualquier otra forma en la producción, elaboración, almacenamiento, transporte o comercialización de alimentos, productos agrícolas, madera y productos de madera o alimentos para animales, o que se le pueden administrar para combatir insectos, arácnidos u otras plagas en o sobre sus cuerpos.

El término incluye las sustancias destinadas a utilizarse como reguladoras del crecimiento de las plantas, defoliantes, desecantes, agentes para reducir la densidad de fruta o agentes para evitar la caída prematura de la fruta, y las sustancias aplicadas a los cultivos antes o después de la cosecha para proteger el

producto contra la deterioración durante el almacenamiento y transporte” (Ramírez, 2001).

Hoy en día se utilizan más de 1000 plaguicidas en todo el mundo para garantizar que las plagas no dañen ni destruyan los alimentos, cada plaguicida tiene diferentes propiedades y efectos toxicológicos. Desempeñan un papel importante en la producción de alimentos, protegen e incrementan el rendimiento y el número de veces al año que se puede plantar un cultivo en la misma tierra.

Esto es importante en los países que padecen períodos de escasez alimentaria, pueden prevenir grandes pérdidas de cultivos y seguirán desempeñando un papel en la agricultura. Sin embargo, los efectos de la exposición a los plaguicidas en los seres humanos y el medio ambiente son una preocupación constante (OMS, 2022).

El uso de plaguicidas para producir alimentos, tanto para alimentar a las poblaciones locales como para la exportación, deben cumplir con las buenas prácticas agrícolas, independientemente de la situación económica del país, donde los agricultores deben limitar la cantidad de plaguicida utilizado al mínimo necesario para proteger sus cultivos (OMS, 2022).

Existen diferentes formas de clasificar a los plaguicidas, lo cual contribuye a hacer un uso correcto de ellos, dado que existe una relación entre el problema y la plaga que controla posible solución que se presenta en campo (SADER y SENASICA, 2019).

Por su uso

- Agrícolas
- Forestales Urbanos
- Jardinería
- Pecuarios
- Domésticos
- Biocidas
- Salud pública

Por la plaga que controlan

- Insecticida
- Acaricida
- Herbicida
- Nematicida
- Bactericida
- Fungicida
- Molusquicida
- Rodenticida

De acuerdo con su formulación

Sólidos

- Polvo Técnico
- Polvo Soluble
- Polvo Humectable
- Gránulos Dispersables
- Granulados
- Tabletas o Pastillas
- Polvo para espolvoreo

Líquidos

- Concentrado emulsionable
- Líquidos miscibles
- Soluciones Suspensiones
- Cebo
- Aerosol o Gases
- Bolsas Hidrosolubles

Por su grupo químico

- Organoclorados
- Organofosforados
- Carbamatos
- Piretroides
- Bipiridilicos

- Biológicos

4.17 Tipo de movilidad en la planta

Los fungicidas pueden clasificarse según cómo interactúan con la planta y el patógeno. Esta clasificación incluye fungicidas de contacto, sistémicos y translaminar.

Fungicidas de contacto

La movilidad de los fungicidas dentro de la planta es crucial para determinar su eficacia y aplicación. Se clasifican en función de cómo se mueven después de ser absorbidos (SMEAP, 2025).

Movilidad Local

Estos fungicidas se mueven a corta distancia desde el punto de aplicación. Son absorbidos por las células cercanas, pero no se translocan ampliamente. Útiles para el control localizado de infecciones en puntos específicos de la planta (SMEAP, 2025).

Este tipo de fungicidas permanecen en la superficie de la planta donde es aplicado. Estos fungicidas no tienen ninguna actividad de control después de la infección. Requiere frecuencias de aplicaciones entre 7 y 14 días para proteger nuevas áreas de crecimiento de la planta y reemplazar el producto que ha sido quitado por lluvias o irrigación, o degradado por los factores medioambientales como la luz solar (Hewitt, 1998).

Son fungicidas inmóviles o de contacto que permanecen y ejercen su acción sobre la superficie donde se aplican. Su distribución en la planta depende del uso de técnicas de aspersión que permitan su penetración dentro del follaje o hasta los sitios donde son requeridos y, su movimiento, una vez aplicados, está supeditado a la redistribución ejercida por la lluvia, aunque ésta causa también pérdidas del producto (Gil, 2003).

Forman una barrera protectora que impide la germinación de esporas, la penetración en los espacios intracelulares y el desarrollo del hongo. No se mueven a través de los tejidos de la planta. Solamente, los fungicidas protectores de efecto preventivo son generalmente de acción múltiple, es decir, afectan simultáneamente varias funciones celulares. (SMEAP, 2025; Melgarejo, 2011).

Fungicidas sistémicos

Los fungicidas sistémicos se caracterizan por su capacidad de ser absorbidos por las plantas a través del follaje o las raíces y translocarse internamente hacia distintos tejidos. Generalmente, su movimiento ocurre en sentido ascendente a través del xilema y, en menor medida, en sentido descendente por el floema, aunque algunos compuestos pueden desplazarse en ambas direcciones dependiendo de sus características (Hewitt, 1998; Gil, 2003). Estos compuestos son móviles y utilizan el sistema de transporte de la planta, presentando además movilidad translaminar, lo que permite que su acción no solo se limite al sitio de deposición, sino que también se extienda al lado opuesto de la hoja (Gil, 2003).

Desde el punto de vista de su acción biológica, los fungicidas sistémicos actúan inhibiendo de manera específica uno o pocos sitios del metabolismo del patógeno, lo que les confiere una alta eficacia en el control de enfermedades (Gil, 2003). Gracias a su rápida penetración y distribución dentro de la planta, presentan un efecto curativo, entendido como la capacidad de detener el proceso de infección sin implicar la recuperación de los tejidos ya dañados (Melgarejo, 2011).

En este sentido, la acción curativa se traduce en la destrucción de patógenos criptogámicos durante su fase de incubación, deteniendo el desarrollo del hongo dentro del tejido vegetal, siempre que la aplicación se realice pocos días después de la infección. Cabe destacar que el término post-infección temprana no implica necesariamente la presencia de síntomas visibles de la enfermedad (Melgarejo, 2011).

Movilidad Acropétala

Los fungicidas se mueven desde el punto de aplicación hacia las partes superiores de la planta (hojas jóvenes y brotes) a través del xilema. Proporcionan protección al nuevo crecimiento y son efectivos para prevenir la propagación ascendente de enfermedades (SMEAP, 2025).

Movilidad Basipétala

Estos fungicidas se mueven desde las partes superiores (hojas, brotes, flores, frutos) hacia abajo hasta las raíces a través del floema. Menos comunes y generalmente menos eficaces en proteger el nuevo crecimiento. Útiles en situaciones específicas donde es crucial proteger las raíces y la base de la planta (SMEAP, 2025).

Fungicidas translaminares

Los fungicidas translaminares combinan los beneficios de los fungicidas de contacto y sistémicos. Se aplican en la superficie de la planta, pero se absorben en el tejido de las hojas, llegando a la cara inferior de las hojas y proporcionando protección desde ambos lados. Los fungicidas translaminares son particularmente efectivos contra enfermedades que afectan la cara inferior de las hojas, como el oídio.

4.18 Modo de Acción (MoA)

Dentro de cada modo de acción hay sitios específicos de acción. Estos sitios de acción o sitios objetivo son las enzimas específicas en un proceso celular al que muerden los fungicidas. En la literatura farmacéutica, la inhibición de una enzima específica se conoce como mecanismo de acción (algunos patólogos de plantas usan el término mecanismo de acción indistintamente con modo de acción).

A medida que el fungicida se acumula en la célula, el sustrato normal ya no puede acceder al sitio objetivo y los procesos celulares normales alcanzarán un nivel tan bajo, o pueden bloquearse por completo, observándose efectos adversos. Si bien los fungicidas comparten similitud con el sustrato fúngico en términos de su

estructura tridimensional, no son idénticos. Es posible que ocurran alteraciones en el sitio de objetivo que permitan que el sustrato fúngico continúe uniéndose y que los procesos celulares normales continúen, pero no permitan que el fungicida se una. Esta situación da lugar a una resistencia en el sitio objetivo (FRAC, 2023).

- Fungicidas uni-sitios: se denomina así a un fungicida cuya acción se realiza contra un sólo punto en el metabolismo del hongo o contra una sola enzima crítica o la proteína necesario para el hongo (Hewitt, 1998).
- Fungicidas multi-sitios: fungicida que afecta diferentes sitios metabólicos dentro del hongo (Hewitt, 1998).

En términos más precisos, implica el proceso celular particular que cada fungicida inhibe, donde existen sitios de acción definidos, como enzimas específicas a las que se unen los compuestos para ejercer su efecto (FRAC, 2019). Asimismo, este concepto también se relaciona con la forma en que el producto se mueve dentro de los tejidos de la planta hasta alcanzar su sitio de acción, interfiriendo con procesos biológicos esenciales del ciclo de vida del fitopatógeno (BDAC, 2011).

En este sentido, los fungicidas pueden inhibir el crecimiento de los hongos mediante la alteración de procesos celulares críticos, como la interferencia en el metabolismo de carbohidratos, el estímulo de mecanismos de defensa en la planta o incluso mediante cambios físicos en sus tejidos (Melgarejo, 1989). Por otro lado, algunos fungicidas son absorbidos y transportados a través de los tejidos vasculares, lo que les permite proteger áreas no tratadas directamente y eliminar infecciones ya establecidas, manteniendo actividad incluso después de la infección (SMEAP, 2025; Hewitt, 1998).

Finalmente, es importante señalar que, aunque se han identificado diversos modos de acción, el FRAC (Fungicide Resistance Action Committee) reconoce múltiples categorías incluyendo algunas aún no completamente comprendidas, las cuales clasifica como “modo de acción desconocido” hasta que se esclarezcan los procesos bioquímicos involucrados (FRAC, 2023).

Modos de acción (MoA) incluidos en la clasificación:

- A. Metabolismo de ácidos nucleicos.
- B. Proteínas motoras y del citoesqueleto.
- C. Respiración.
- D. Síntesis de aminoácidos y proteínas.
- E. Transducción de señales.
- F. Transporte o síntesis de lípidos/función o integridad de la membrana.
- G. Biosíntesis de esterol en las membranas.
- H. Biosíntesis de la pared celular.
- P. Inducción de defensas en la planta huésped.
- U. Modo de acción desconocido.
- NC. No clasificado.
- M. Productos químicos con actividad multi-sitio.
- BM. Productos biológicos con múltiples modos de acción.

(FRAC, 2019).

4.19 Resistencia de plaguicidas

La resistencia a los fungicidas se define como un cambio heredable en la susceptibilidad de una población de hongos, que provoca el fracaso repetido de un producto para alcanzar niveles adecuados de control aun cuando se aplica conforme a las recomendaciones de la etiqueta (FRAC, 2024). Este fenómeno se relaciona con la capacidad de los fitopatógenos para generar variación genética, lo que, aunado al uso constante de fungicidas sintéticos, incrementa el riesgo de

aparición de poblaciones resistentes, considerado de medio a alto para diversas moléculas (FRAC, 2024; Gikas *et al.*, 2022). Además, el uso continuo de estos productos no solo favorece la resistencia, sino que también implica problemas asociados como residuos tóxicos, contaminación ambiental y mayores costos de producción (Gikas *et al.*, 2022).

En términos generales, la pérdida de eficacia de insecticidas, fungicidas y herbicidas está ligada a la evolución natural de las plagas (insectos, hongos y malezas), que desarrollan mecanismos de adaptación frente al uso frecuente de un mismo ingrediente activo (AFIPA, s.f.). Por ello, la industria de la ciencia de los cultivos, en conjunto con agricultores, asesores y la academia, promueve el desarrollo de estrategias y herramientas para el manejo de la resistencia en campo (AFIPA, s.f.).

Entre las principales estrategias para prevenir o retrasar la evolución de la resistencia se encuentra la alternancia o rotación de fungicidas con diferentes modos de acción, lo cual reduce la presión de selección sobre cada grupo y constituye una práctica sostenible y eficaz. En este sentido, la clasificación propuesta por FRAC facilita la selección adecuada de productos, ya que para controlar poblaciones resistentes es necesario emplear fungicidas efectivos pertenecientes a distintos grupos o códigos de modo de acción (FRAC, 2024).

4.20 Rotación de plaguicidas

La rotación de plaguicidas implica el uso de una estrategia de manejo que implica alternar el uso de diferentes compuestos químicos con diferentes modos de acción para controlar plagas (plagas de insectos, enfermedades y malezas). El objetivo de la rotación de plaguicidas es evitar que las plagas desarrollen resistencia a un plaguicida en particular exponiéndolas a diferentes modos de acción, además de que tengan mayor efectividad a largo plazo, y reducir su impacto ambiental (Sela, 2023; Melgarejo, 2011).

Etiqueta de plaguicidas

La etiqueta de los plaguicidas es un documento legal de acuerdo con la NOM-232-SSA1-2009, donde se establecen los requisitos, indicaciones y características que debe contener el etiquetado de los plaguicidas, incluye información de gran relevancia para la aplicación e implementación de cuidados al momento de utilizar plaguicidas, información técnica del producto, equipo de protección personal, dosis, plaga, cultivos autorizados, etc.; información que es previamente evaluada por cada autoridad en el ámbito de su competencia (SADER y SENASICA, 2019) (Figura 13).

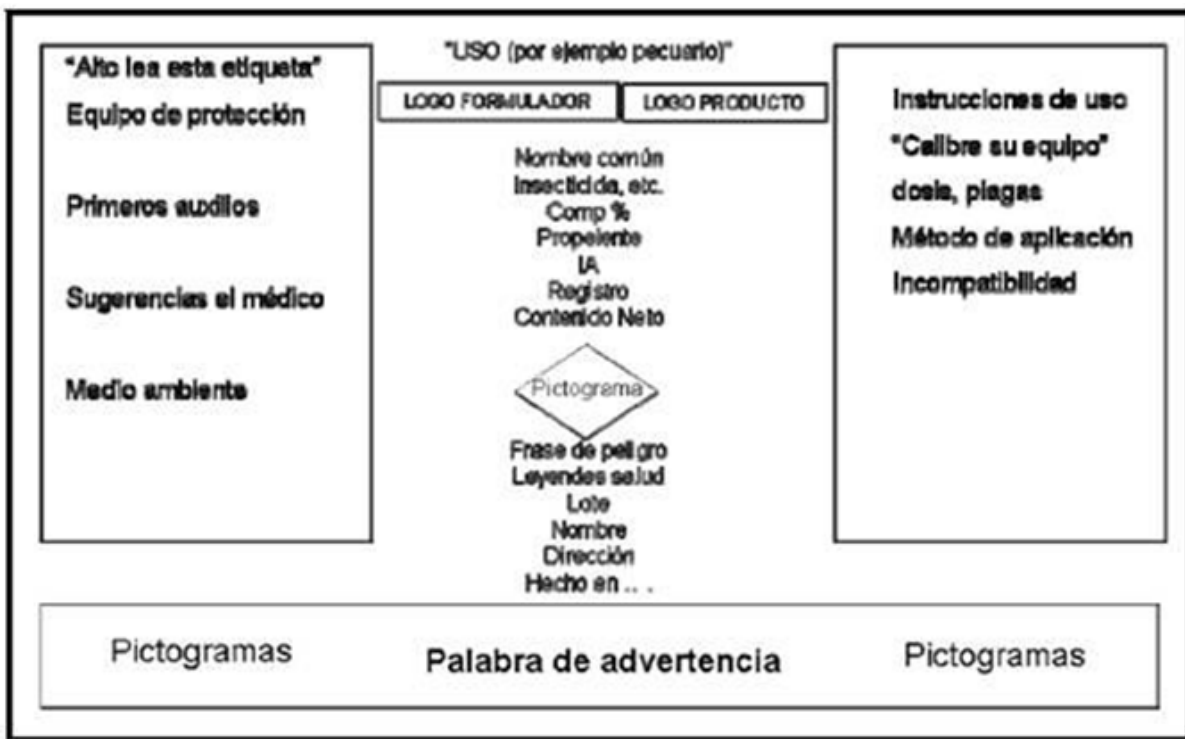








Figura 13. Distribución de la información en la etiqueta de plaguicidas.

Símbolos y palabras de advertencia

En la etiqueta se incluye una serie de símbolos que informan las especificaciones o recomendaciones sobre determinado tipo de plaguicida, los cuales son los establecidos en la normatividad. A continuación, se presentan los pictogramas y su significado (SADER y SENASICA, 2019) (Cuadro 1).

Cuadro 1. Pictogramas del equipo principal requerido para una adecuada protección durante la manipulación y uso del producto. Fuente: SADER y SENASICA (2019).

Almacenamiento		Mantener bajo llave, fuera del alcance de los niños.		
Actividad		Concentrado Líquido	Concentrado sólido	Utilice en Aplicación
		Use guantes	Use protección para la cara y ojos. Este se utilizará cuando exista riesgo de salpicadura	Lávese después del uso.
Recomendación		Use Botas	Use protección sobre nariz y boca	Use respirador Este icono se utilizará cuando las propiedades del producto, sea susceptible la exposición por esta vía, ya sean gas, líquido o sólido.
			Use delantal durante la aplicación.	Use overol durante la aplicación.
Precaución			Peligroso / nocivo para animales	Peligroso/ nocivo para peces: no contamine lagos, ríos, ni arroyos.

Equipo de protección individual

Los plaguicidas entran en contacto con el hombre a través de las vías de exposición existentes: respiratoria, digestiva, dérmica y ocular. Usando equipos de protección personal disminuye la posibilidad de que esto ocurra, de ese modo reducir significativamente las posibilidades de una intoxicación por plaguicidas. Los trabajadores deben utilizar equipos de protección durante la preparación, aplicación y almacenamiento de plaguicidas; las consideraciones para el equipo de protección personal se establecen en la etiqueta del producto.

En algunos casos, los plaguicidas necesitan un equipo de protección específico, debe incluir como mínimo: mascarilla, guantes, botas, camisa de manga larga, protección ocular. El equipo de protección personal debe cubrir las partes del cuerpo con las que puede hacer contacto el plaguicida en las diferentes (SADER y SENASICA, 2019).

Época de aplicación de los fungicidas

Para tomar la decisión de uso de control químico y definir qué tipo de fungicida aplicar; es fundamental el conocimiento del ciclo de vida del patógeno, su relación con el desarrollo fenológico del cultivo y con las condiciones climáticas (epidemiología), los síntomas de la enfermedad y su umbral de daño económico. El ciclo de vida de un microorganismo fitopatógeno típico presenta cuatro fases: Pre-penetración, Penetración, Invasión del tejido y Reproducción.

Dependiendo del momento de acción del compuesto en el ciclo de vida del patógeno, los fungicidas se clasifican como protectores residuales, cuando afectan la germinación, desarrollo del tubo germinativo y crecimiento y desarrollo del apresorio; curativos o terapéuticos, cuando inhiben el desarrollo del hongo una vez éste ha penetrado e invadido el hospedante pero aún no existe presencia de estructuras de reproducción (esporas, conidios, etc.), e irradiantes de contacto, cuando el producto detiene o inhibe la fase de reproducción del patógeno (Gil, 2003).

Los fungicidas protectores actúan en las fases de pre-penetración y los fungicidas sistémicos en las fases de penetración, invasión del tejido y reproducción. Idealmente, el control de un patógeno debe realizarse antes de su penetración en el hospedante mediante una única aplicación de un fungicida protector. Sin embargo, el flujo continuo de unidades infectivas del hongo beneficiado por condiciones favorables de clima y del cultivo, la pérdida de los depósitos fungicidas por efecto de la lluvia, la presencia de áreas del hospedante sin proteger por la aplicación deficiente del fungicida o por el crecimiento de la planta, y la penetración rápida del patógeno en la planta hospedante, hacen que para limitar el desarrollo

de una epidemia los fungicidas protectores deban aplicarse en repetidas ocasiones (Gil, 2003).

Con el fin de mantener la enfermedad en niveles bajos, la primera aplicación del fungicida debe realizarse cuando la incidencia de la enfermedad sea mínima o se inicie la ocurrencia de condiciones de clima y de cultivo adecuadas para el desarrollo del patógeno. Su frecuencia de aplicación está supeditada a la persistencia del producto aplicado y el número de aplicaciones depende del tiempo en el cual la presencia de la enfermedad ocasione daños económicos en el cultivo (Gil, 2003).

Las aplicaciones de estos fungicidas como erradicantes, cuando la enfermedad se encuentra en su máxima incidencia y severidad, no ejercen ningún control de la enfermedad (Rivillas *et al.*, 1999).

Uno de los factores importantes que inciden en el éxito del control químico de las enfermedades de las plantas es la forma correcta de aplicación. Sitios de aplicación de los fungicidas. La aplicación del o de los productos seleccionados para el control de un determinado patógeno se sugiere hacerla sobre el o los órganos susceptibles al ataque de dicho patógeno (Gil, 2003).

Dosificaciones

La dosificación es la que nos permite conocer las dosis o la cantidad de fungicida que se debe poner en nuestra mochila aspersor, no más ni menos (Huici, 2004). Para poder dosificar un Fungicida es necesario conocer la formulación y concentración del ingrediente activo (i.a.), después de esto se procede a hacer los cálculos siguiendo cualquiera de los dos métodos; el de la regla de tres o fórmula (Pérez & Forbes, 2010).

Según Porco & Terrazas (2009), para ciertas dosis recomendada en cc/ha, ml/ha o g/ha se toma en cuenta una hectárea utilizándose en plantas de 20 cm 200 L de agua, de 30 cm 300 L, de 40 cm 400 L, de 40 a 60 cm 400 L y en pleno follaje hasta un máximo de 600 litros de agua por hectárea. Huici (2004) señala que primero se selecciona una superficie de 100 m cuadrado, luego cargue una mochila de 10 L de

agua, luego fumigue los 100 m², y vea cuanto de agua ha utilizado en esos 100 m², repita esta operación 3 veces. Agua que gasta mi mochila= (1aplic+2aplic+3 aplic)/3.

Incidencia de la enfermedad

FAO (1986), indica que el termino incidencia se entiende como la presencia o no presencia de las enfermedades, generalmente se usa para evaluar infecciones sintéticas como ser Marchitamientos, Virosis, etc., por otro lado la severidad es el grado de ataque de las enfermedades al órgano de los cultivos, es decir en qué medida es afectada la planta por la presencia de la enfermedad en función del tiempo, así mismo por medio de un diagrama estandarizado resulta un método de evaluación más aconsejable, es el menos susceptible de error y con el cual la evaluación se puede efectuar en una hoja antes que toda la planta o en toda la parcela experimental.

V. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1 Ubicación del ensayo

El trabajo experimental se realizó en la Facultad de Ciencias Agrícolas de la Universidad Autónoma del Estado de México (UAEMéx), en el Campus Universitario El Cerillo, a 18 km de la Ciudad de Toluca, México; a 19°24′.598″ Latitud Norte y 99°41′.418″ Longitud oeste, a una altitud de 2,606 msnm (Figura 14).



Figura 14. Área experimental

El clima predominante es templado subhúmedo, con lluvias en verano y escasa precipitación pluvial en invierno (5%), poca oscilación térmica, temperatura media anual de 12.8 °C y precipitación promedio anual de 900 mm (González *et al.*, 2009).

El experimento se estableció en un suelo vertisol pélico de origen volcánico, el cual presenta bajo contenido de materia orgánica (1.01 a 2.36%). El color del horizonte superficial en seco es café grisáceo oscuro o gris oscuro con contenidos de arcilla de 20 a 36.4%. En el perfil del suelo se puede distinguir un horizonte con disturbios de labranza presentando compactaciones por piso de arado (Gil *et al.*, 2014).

5.2 Material genético

Se utilizó semilla criolla del Valle de Toluca, de los municipios de Calimaya y Zinacantepec. El método fue de siembra directa, a 20 cm de separación entre planta y planta. Cada tratamiento constó de 4 surcos, de 3 m de longitud y distanciados a 0.80 m.

5.3 Tratamientos evaluados

Se evaluaron 4 propuestas de rotación de fungicidas para el control de la pudrición basal en haba ocasionada *R. solani* considerando diferentes modos de acción (MoA) indicado en FRAC (2024), y modificando su orden de aplicación. Con un testigo regional (con un Ingrediente Activo) y un testigo absoluto (sin control) (Cuadro 2).

Cuadro 2. Ingredientes activos de los fungicidas, utilizados en cada rotación correspondientes a cada tratamiento.

Tratamientos (T)		T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7
Rotación	Semilla tratada						testigo absoluto	testigo regional <i>Aschochyta fabae</i>
1		Iprodiona (Ip)	Difenoconazol (D) - Azoxystrobin (A)	Captan (Ca)	Benomilo (Be)	Azoxystrobin (A)-Fluazinam (F)	Sin tratamiento	Captan (Ca)
2		Captan (Ca)	Azoxystrobin (A)-Fluazinam (F)	Iprodiona (Ip)	Iprodiona (Ip)	Difenoconazol (D) - Azoxystrobin (A)		Captan (Ca)
3		Azoxystrobin (A)-Fluazinam (F)	Benomilo (Be)	Benomilo (Be)	Difenoconazol (D) - Azoxystrobin (A)	Benomilo (Be)		Captan (Ca)
4		Benomilo (Be)	Iprodiona (Ip)	Iprodiona (Ip)	Captan (Ca)	Captan (Ca)		Captan (Ca)

Cuadro 3. Fungicidas (Producto comercial) empleados en los tratamientos, así mismo el Modo de Acción, Grupo químico y Movimiento en la planta para el control de *R. solani*.

Producto comercial	Ingrediente activo del fungicida	Modo de Acción (MoA)	Grupo químico	Movimiento en la planta
Rovral 50PH	Iprodiona (Ip)	E3	2	Contacto
Axotrón SC + Coatl 250 CE	Difenoconazol (D) - Azoxystrobin (A)	G1-C3	3-11	Sistémico-sistémico
Captán 50 WP	Captan (Ca)	M04	Multisitio	Contacto
Fluazinam 400 + Azoxystrobin 125 (No comercial)	Azoxystrobin (A)- Fluazinam (F)	C3-C5	11-29	Sistémico-contacto
Antrak 500PH	Benomilo (Be)	B1	1	Sistémico

Cuadro 4. Descripción de las dosis comerciales recomendadas y de aplicación de los fungicidas utilizados en cada tratamiento de rotación para *R. solani*

Producto comercial utilizado (Abreviatura del ingrediente activo)	Recomendación de la Dosis comercial g, mL /ha ⁻¹	Dosis de aplicación g o mL
Rovral 50PH (Ip)	300 g/ton de semilla 300 g/100 L de agua 2.0 kg/ha	6 g
Captán 50 WP (Ca)	2.0-3.0 Kg/ha	30 g
Axotrón SC (A)	1.0-2.0 L/ha	1.6 mL/L
Coatl 250 CE (D)	400-600 mL/ha	2 mL/L
Antrak 500PH (Be)	300-600 g/ha	4.5 g
Fluazinam 400 + Azoxystrobin 125 (F-A)	Dosis No comercial (1 L/ha)	0.5 ml/L

5.4 Variable por evaluar

En cada tratamiento se evaluó la incidencia de la enfermedad *R. solani* en los dos surcos centrales de cada repetición, además del rendimiento obtenido en vaina verde. Los monitoreos de la enfermedad y la altura se llevaron a cabo durante las diferentes etapas fenológicas del cultivo desde los cero hasta los ciento treinta y cinco días después de la siembra (dds), en intervalos semanales. Para la variable Incidencia (%), se determinó como el cociente entre plantas con síntomas y el total de plantas muestreadas por repetición y multiplicadas por 100.

$$\text{Incidencia de la enfermedad (\%)} = \frac{(\text{Numero de plantas infectadas} \times 100)}{\text{Numero de plantas evaluadas}}$$

También se consideró el evaluar la eficacia biológica de los fungicidas sobre la enfermedad. La eficiencia del químico como del producto químico se realiza mediante la fórmula de Henderson y Tilton (1986). Citado por Villca (1995), donde la evaluación de la eficiencia se realiza después de 48 horas de la aplicación de acuerdo con la siguiente formula.

$$E = 1 - \frac{T_d - t_a}{T_a - t_d} \times 100$$

Donde: E = Eficiencia del producto extracto o químico

Ta = Lectura Tratamiento antes de la aplicación

Td = Lectura del tratamiento después de la aplicación

ta = Lectura del testigo antes de la aplicación

td = Lectura del testigo después de la aplicación

5.5 Diseño experimental

El diseño experimental que se utilizó para evaluar la incidencia de la enfermedad fue el de bloques completos al azar con siete tratamientos dentro de ellos hay dos testigos y cuatro repeticiones. La unidad experimental fue de 7.2 m². En cada

repetición se consideraron 4 surcos, en los dos surcos centrales se obtuvo la incidencia y rendimiento obtenido en cada repetición por tratamiento.

5.6 Análisis estadístico

Por cada fecha de muestreo se utilizaron los valores obtenidos de incidencia de la enfermedad por repetición, por tratamiento para la realización del análisis de varianza por cada variable (ANOVA) usando PROC GLM del programa SAS System ver. 9.2 (Cary, N. C. USA). En los casos de significancia estadística entre los tratamientos, se procederá a la realización de separación de medias con la prueba de Tukey ($\alpha= 0.05\%$).

Por otro lado, los valores absolutos de incidencia por estrato de planta por cada fecha de evaluación se usaron para calcular el área bajo la curva del progreso de la enfermedad (ABCPE) (Madden *et al.*, 2006; Bivand *et al.*, 2008; R. Core Team, 2012) de cada unidad experimental a través del programa R usando la Librería Agricolae.

Los valores finales obtenidos de la curva del progreso de la incidencia de la enfermedad por tratamiento se sometieron a un análisis de varianza (ANOVA) usando PROC GLM del programa SAS (SAS System ver. 9.2 Cary, N. C. USA), para la comparación entre los valores medios de los diferentes tratamientos de rotación se realizó la prueba de separación de medias Tukey ($\alpha= 0.05\%$).

Se estimó la eficacia de control expresada en porcentaje de los diferentes tratamientos de rotación de MoA de fungicidas, con la expresión matemática de Abbot (1925), que relaciona la incidencia de la enfermedad entre unidades experimentales empleadas en las que se asume realiza un control, respecto a las unidades experimentales testigos, o no tratada.

VI. RESULTADOS

6.1 Alturas de planta obtenida bajo las distintas propuestas de rotaciones de Modo de acción MoA para control de *R. solani* en haba.

Los resultados del análisis de varianza para la variable altura de planta, indicó la existencia de diferencia significativa para el factor modelo y así mismo, para los tratamientos (Cuadro 5), por lo que al menos un tratamiento se comportó de manera diferente. Las diferencias entre las repeticiones de cada tratamiento fueron aceptables.

Cuadro 5. Resultados del análisis de varianza para la variable altura de planta alcanzada a los 113 dds ante el efecto de cuatro rotaciones de fungicidas para el control de *R. solani* en haba.

ANOVA					
FUENTE DE VARIACION	GL	SC	CM	FC	PT
MODELO	9	811.6686	90.1854	2.79	0.0308*
ERROR	18	582.88	32		
TOTAL	27	1,394.55			
C.V(%)	8.41				
TRATAMIENTO	6	638	106	3.28	0.0232*
BLOQUE	3	174	58	1.79	0.1855 ^{ns}

** Altamente significativo ($p \leq 0.01$); * significativo ($p \leq 0.05$); ns: no significativo; CM: cuadrado medio.

La separación de medias de altura promedio encontrada en cada propuesta de rotación indicó que el T3 (Ca+Ip+F-A+Be+D-A) expresó la mayor altura de planta seguido del T4 (Be+Ip+F-A+D-A+Ca), que fue estadísticamente diferentes al tratamiento 6 que correspondió al testigo absoluto. Es de destacar que todas las propuestas de rotación fueron estadísticamente similares, incluyendo al testigo

regional (Figura 15), es decir que, en términos estadísticos todas las rotaciones no afectaron la altura de planta alcanzada en cada una de ellas (Cuadro 6).

Cuadro 6. Separación de media para la variable altura de planta en haba a los 113 dds por cada propuesta de rotación.

Tratamientos	Media de tratamiento (cm)
Tratamiento 3 (T3)	71.10 a*
Tratamiento 4 (T4)	70.15 a
Testigo absoluto 6 (T6)	69.75 a
Tratamiento 1 (T1)	69.65 a
Tratamiento 2 (T2)	69.00 ab
Tratamiento 5 (T5)	67.75 ab
Testigo regional 7 (T7)	56.20 b

* Valores de las medias en la columna con las mismas letras indican igualdad en términos estadísticos Tukey ($\alpha = 0.05$).

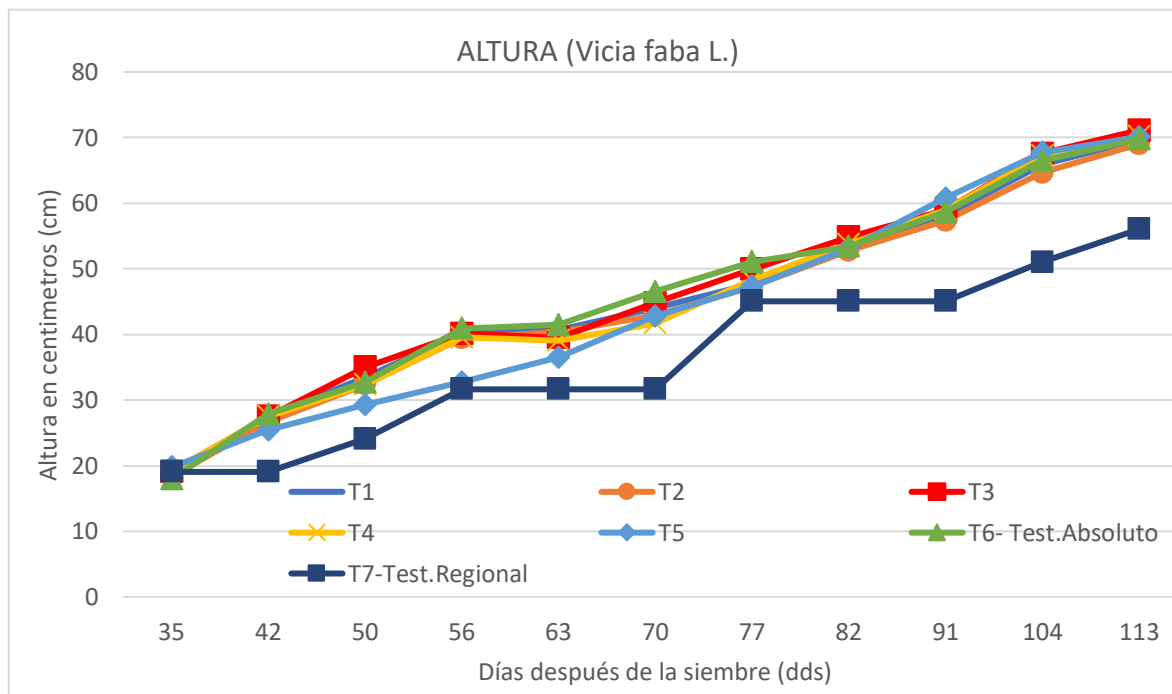


Figura 15. Altura de planta (cm) de *Vicia faba* L. a través del tiempo ante diferentes tratamientos de rotación de MoA de fungicidas en control de *Rhizoctonia solani*

6.2 Incidencia de *R. solani*

La manifestación de síntomas de la enfermedad inició a los 35 dds en los dos testigos, los tratamientos de rotación comenzaron a los 42 dds, indicativo que el efecto de tratamiento a la semilla dejó de ser eficiente a esta fecha después de la siembra, especialmente se observó su inicio en las zonas del terreno donde se acumula mayor humedad.

El análisis de varianza indicó la existencia de diferencia significativa entre los diferentes tratamientos evaluados (Cuadro 7).

Cuadro 7. Resultado del análisis de varianza obtenidos para el área bajo la curva de incidencia de *R. solani* durante el desarrollo del ensayo.

ANOVA					
Fuente de variación	GL	SC	CM	FC	PT
MODELO	8	0.4770886	0.0596361	2	0.1349 ^{ns}
ERROR	12	0.3580786	0.0298399		
TOTAL	20	0.8351672			
C.V(%)	5.990115				
TRATAMIENTO	6	0.4695881	0.0782647	2.62	0.0732*
BLOQUE	2	0.0075006	0.0037503	0.13	0.8830 ^{ns}

** Altamente significativo ($p \leq 0.01$); * significativo ($p \leq 0.05$); ns: no significativo; CM: cuadrado medio.

Los resultados del análisis de varianza para los valores obtenidos del área bajo la curva de *R. solani*, indicó diferencia significativa para modelo y para los tratamientos (Cuadro 8), por lo que al menos un tratamiento se comportó de manera diferente.

Cuadro 8. Separación de media del área bajo la curva de la incidencia de *R. solani* en haba a través del tiempo por cada propuesta de rotación.

Tratamiento (T)	Valor medio
Tratamiento 5 (T5)	1591 a*
Tratamiento 1 (T1)	906 b
Tratamiento 2 (T2)	835 b
Tratamiento 7 (Testigo regional) (T7)	667 b
Tratamiento 3 (T3)	714 b
Tratamiento 6 (Testigo Absoluto) (T6)	687 b
Tratamiento 4 (T4)	535 b

* Valores de las medias en la columna con las mismas letras indican igualdad en términos estadísticos Tukey ($\alpha = 0.05$).

La separación de medias indicó que el T5 (F-A+Ip+D-A+Be+Ca) fue estadísticamente diferente al resto de los tratamientos, al tener el mayor valor del área bajo la curva al expresar la incidencia a través del tiempo. La aplicación de los fungicidas no tuvo eficacia debido a que en su rotación se aplicó inicialmente Fluazinam-Azoxystrobin a la semilla e Iprodiona a la primera aplicación (38 dds) dirigida al cuello de la planta, por su actividad preventiva; ambos ingredientes activos resultaron insuficientes para evitar el desarrollo de la enfermedad, al observar un fuerte incremento desde los 42 días en adelante, y de forma continua, aparentando un incremento exponencial (Figura 16). También es indicativo que los fungicidas utilizados en la tercera opción de rotación (Difenoconazol) y cuarta (Benomilo) aplicación no fueron efectivos para retardar y/o controlar el desarrollo de la enfermedad visualizada en campo.

Los Tratamientos 1 (Ip+D-A+Ca+F-A+Be) y 2 (D-A+Ca+F-A+Be+Ip) expresaron una similitud estadística y numérica en el valor del área bajo la curva, pero el desarrollo de sus curvas no fue similar en la expresión de la enfermedad a través del tiempo (Figura 17). De tal forma que en el T1 expresó un incremento a partir de 91 dds, por

arriba de lo expresado en el Tratamiento dos. La incidencia final alcanzada en el Tratamiento 1 fue de 35.3 % mientras que en T2 fue de 32.2 %.

El tratamiento 4 (Be+Ip+F-A+D-A+Ca) fue la que expresó la menor área bajo la curva del progreso de la enfermedad, así como la menor incidencia de la enfermedad (32.2 %). Se observó un comportamiento de crecimiento continuo de incidencia a través del tiempo; contrario a los restantes tratamientos que expresaron etapas de crecimiento exponencial de la enfermedad (Figura 16).

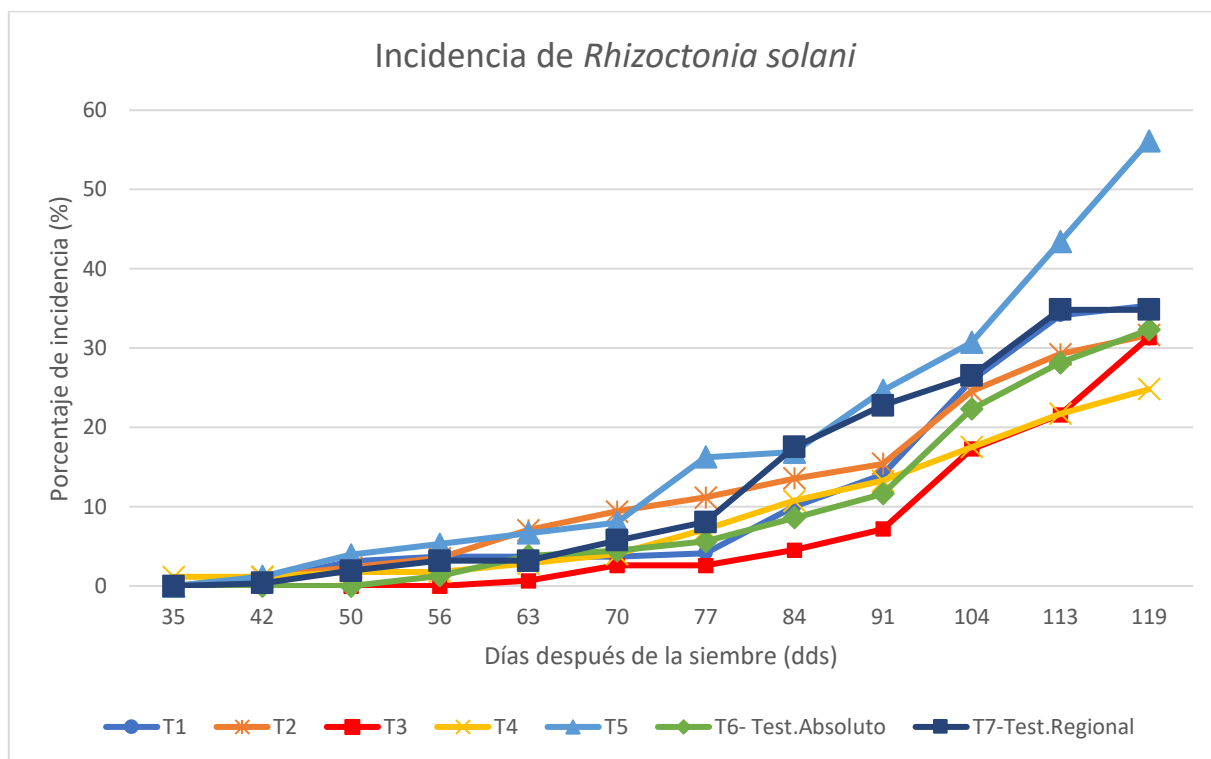


Figura 16. Incidencia de *R. solani* a través del tiempo en las plantas de haba ante diferentes tratamientos de rotación de MoA de fungicidas.

6.3 Rendimiento total en kilogramos de vaina verde en las diferentes propuestas de rotaciones de MoA para control de *R. solani* en haba.

El análisis de varianza para la variable rendimiento de haba verde indicó que se careció de diferencia significativa entre los diferentes tratamientos de rotación de fungicidas (Cuadro 9).

Cuadro 9. Resultados del análisis de varianza para la variable rendimiento en haba de vaina verde considerando dos cosechas ante la presencia de cuatro rotaciones de fungicidas para el control de *Rhizoctonia solani* en haba.

ANOVA					
FUENTE	DE				
VARIACION	GL	SC	CM	FC	PT
MODELO	9	0.52323873	0.05813764	1.72	0.1564*
ERROR	18	0.60822340	0.03379019		
TOTAL	27	113,146,213			
C.V(%)	7.640,617				
TRATAMIENTO	6	0.51559813	0.08593302	2.54	0.0582*
BLOQUE	3	0.00764060	0.00254687	0.08	0.9725 ^{ns}

** Altamente significativo ($p \leq 0.01$); * significativo ($p \leq 0.05$); ns: no significativo; CM: cuadrado medio.

Los valores medios indicaron que el tratamiento 7 (Captan) fue el que tuvo en promedio de las dos cosechas con rendimiento estimando 2,688.40 kg /ha, seguido del T3 (Ca+Ip+F-A+Be+D-A) 1,721.89 kg/ha, T2 (D-A+Ca+F-A+Be+Ip) 1767.06 Kg/ha, el T4 (Be+Ip+F-A+D-A+Ca) obtuvo 1578.62 kg/ha, tratamiento 1 (Ip+D-A+Ca+F-A+Be) estimo 1423.14 kg/ha y finalmente el tratamiento cinco (F-A+Ip+D-A+Be+Ca) mostro un rendimiento de 955 kg/ha, además, fueron estadísticamente

similares. El testigo absoluto tratamiento 6 representó el menor rendimiento total entre las propuestas de rotación de fungicidas, mostrando un estimado de 751 kg/ha (Figura 17).

Cuadro 10. Separación de media del rendimiento de haba en vaina verde, a través del tiempo por cada propuesta de rotación.

Tratamientos (T)	Media de tratamiento	
	(g/planta)	Rendimiento (kg/ha)
Testigo regional 7 (T7)	2.587 a*	2,688.40
Tratamiento 3 (T3)	2.4933 ab	1,721.89
Tratamiento 2 (T2)	2.4564 ab	1,767.06
Tratamiento 1 (T1)	2.4171 ab	1,423.14
Tratamiento 5 (T5)	2.3951 ab	944.84
Tratamiento 4 (T4)	2.3774 ab	1,578.62
Testigo absoluto 6 (T6)	2.1146 b	751.00

* Valores de las medias en la columna con las mismas letras indican igualdad en términos estadísticos. Tukey ($\alpha = 0.05$).

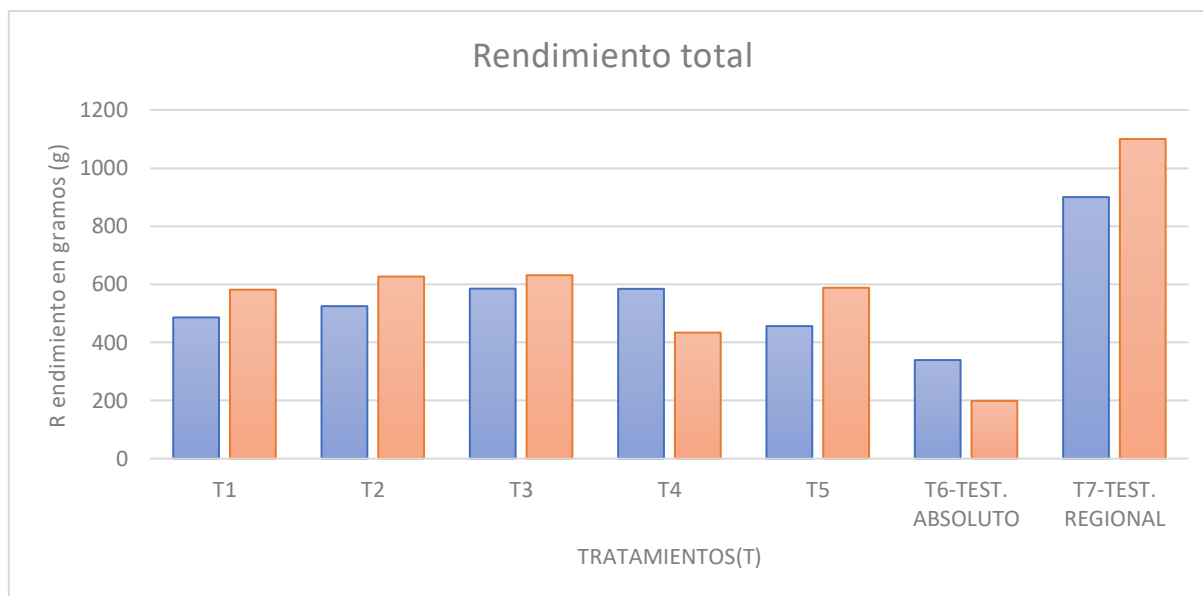


Figura 17. Rendimiento total en gramos obtenidos, en los diferentes tratamientos con manejo de rotación de fungicidas para control de *R. solani* en haba.

6.4. Eficiencia biológica

El tratamiento 3 (Ca+Ip+F-A+Be+D-A) expreso una eficacia de control global de 54% respecto al testigo, destacando que su periodo de mayor eficacia fue a los 84 y 91 dds, alcanzando una eficacia de 74 y 69% respectivamente. La segunda mayor eficacia de control global se expresó con el T4 (Be+Ip+F-A+D-A+Ca) que expreso una uniformidad de control desde los 74 días hasta el final del ciclo. Las restantes rotaciones alcanzaron eficacia de control de 21% en T1 y 20% en T2. La única rotación que no expreso eficacia de control fue el tratamiento 5 (F-A+Ip+D-A+Be+Ca) (Figura 18).

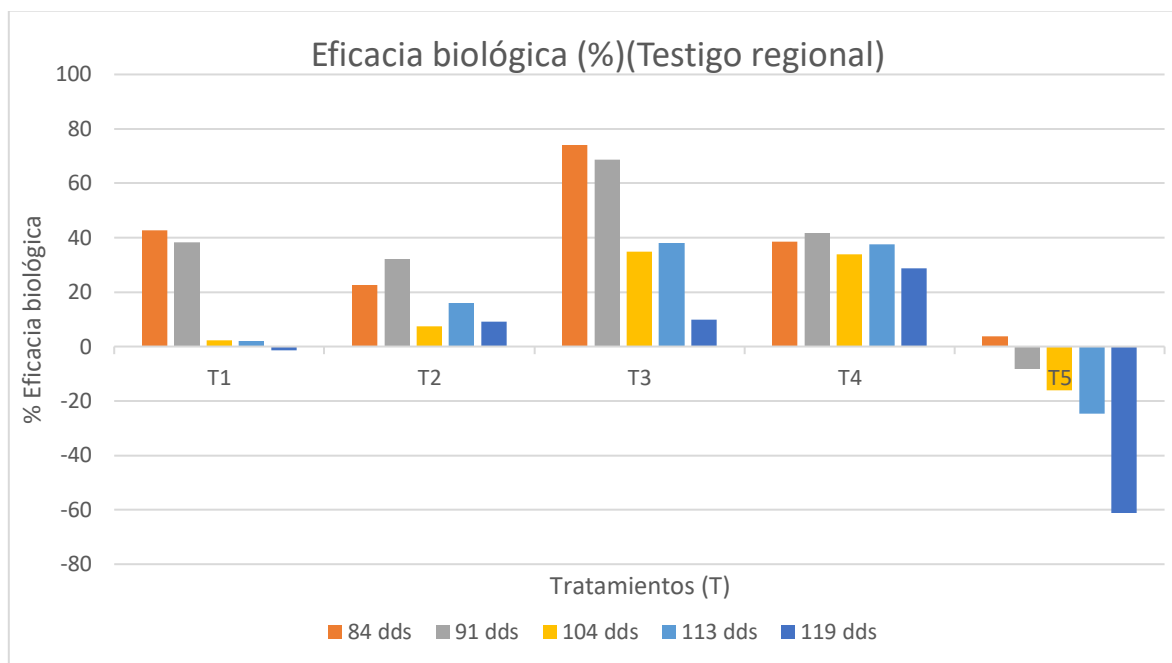


Figura 18. Eficacia biológica sobre *Rhizoctonia solani* en haba ante diferentes tratamientos de rotación de fungicidas según su MoA, comparada con el testigo regional.

Cuando se tomó como referencia los valores de incidencia del testigo absoluto los resultados de la prueba de Abbot indicaron que, el T3 (Ca+Ip+F-A+Be+D-A) expresó su mayor eficacia en las diferentes fechas de estudio, aunque la menor eficacia se presentó al final del ciclo. Caso contrario el T4 (Be+Ip+F-A+D-A+Ca) no presentó

eficacia en las dos primeras fechas de muestreo, pero a partir de los 104 dds expresó estabilidad en su eficacia (Figura 19).

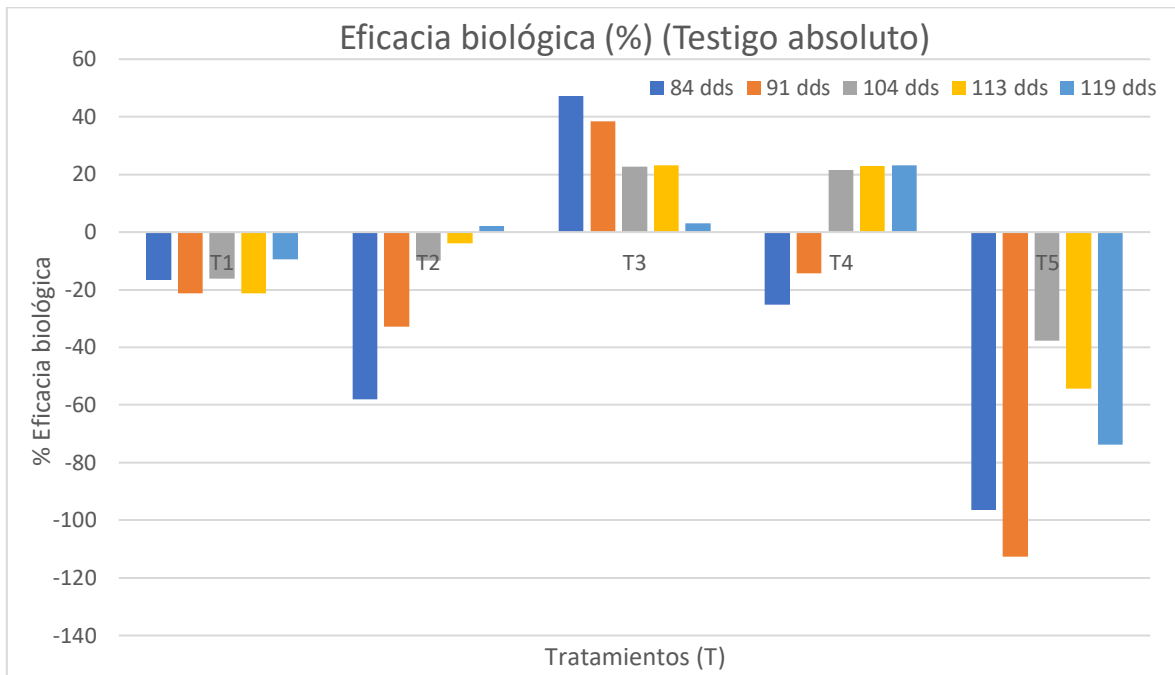


Figura 19. Eficacia biológica sobre *Rhizoctonia solani* en haba ante diferentes tratamientos de rotación de fungicidas según su MoA, comparada con el testigo absoluto.

Temperatura y humedad registrados

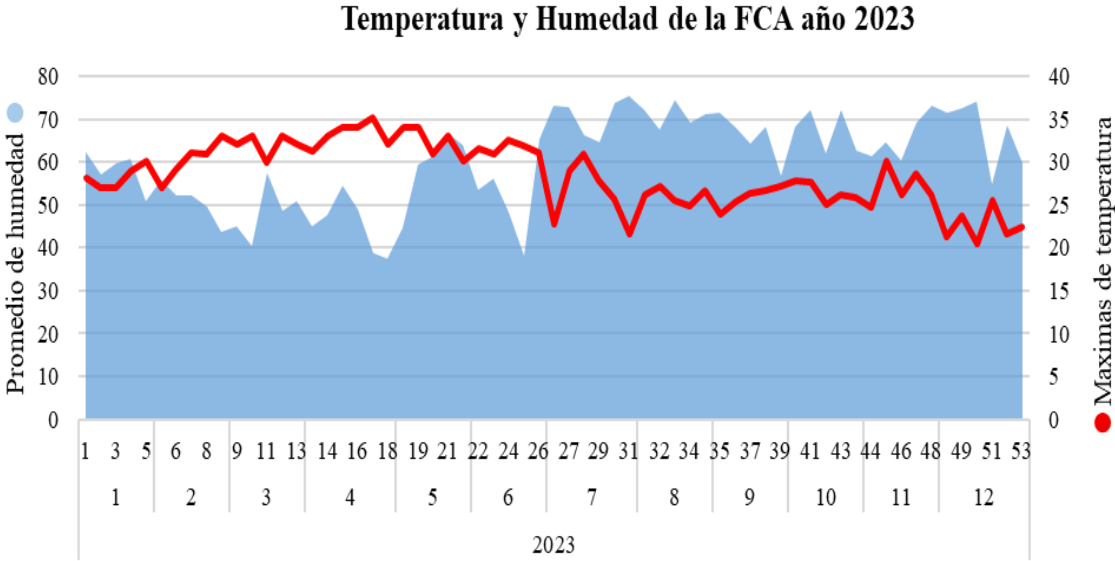
Durante el ciclo de cultivo del haba, desde la preparación del terreno hasta la etapa de cosecha, se registró la presencia de una onda de calor en el municipio de Toluca, así como en otras regiones del país. Este evento climático ocurrió en el periodo que coincide con una fase importante del desarrollo del cultivo.

Durante los primeros días de abril se registró tendencia en ascenso de temperaturas de 25.6 °C en el municipio de Toluca, lo que refleja un incremento térmico significativo en comparación con los valores promedio característicos de la región, alcanzando los 27 °C (Figura 20).

De acuerdo con Emilio Rangel, asistente del Observatorio Meteorológico de la Universidad Autónoma del Estado de México, esta temperatura fue registrada por el observatorio meteorológico, evidenciando condiciones de calor superiores a las habituales para el Valle de Toluca durante ese periodo. Estos registros fueron reportados por el medio de comunicación Milenio (Jasso, 2023), destacando la presencia de temperaturas atípicamente elevadas en la región.

De acuerdo con el titular de Protección Civil del Estado de México, Vilchis (2023), y con base en los pronósticos emitidos por el Servicio Meteorológico Nacional, del 11 al 18 de junio (semana 24-25) (Figura 20) se registraron temperaturas superiores a los 28 °C en diversos municipios de la entidad mexiquense, incluido Toluca, como la tercera ola de calor. Estas condiciones térmicas representan valores elevados en comparación con los promedios climatológicos de la región, lo que pudo influir en el desarrollo fisiológico y productivo del haba, ya que se encontraba en la etapa de floración y formación del fruto (56-67 dds).

Figura 20. Temperatura y humedad en el área de estudio de la FCA en 2023.



Fuente: Visual Crossing (2025).

VII. DISCUSIÓN

Esta investigación surge ante la necesidad que aqueja a los productores de haba al verse afectados severamente por *R. solani* en distintas zonas de la región del Valle de Toluca, Estado de México, lo que ha generado pérdidas significativas en la producción. El presente estudio se planteó bajo la hipótesis de que al menos una propuesta de rotación de fungicidas con diferentes modos de acción (MoA) puede disminuir la expresión de la pudrición radicular causada por *R. solani* en el cultivo de haba (*V. faba* L.).

En México, al igual que en otras partes del mundo, las especies del género *Rhizoctonia* se encuentran asociadas a un amplio número de plantas huésped. Los esclerocios de *R. solani* tienen la capacidad de sobrevivir durante varios años en estado saprofítico sobre restos vegetales presentes en el suelo. Además, este patógeno presenta estructuras vegetativas como hifas y esclerocios, las cuales pueden germinar cuando las condiciones ambientales son favorables (Morel, 2023).

El nivel de incidencia determinado ocurrió por arriba del 50%, por cada planta dañada, equivalen a la mitad de las plantas sembradas en el Testigo, y en menor cantidad en los tratamientos evaluados. Seguramente el mayor nivel de incidencia estuvo influenciado por las condiciones ambientales presentes, en especial por el incremento en el régimen de temperaturas (Figura 20).

Los resultados encontrados en el tratamiento T3, concuerdan con las pérdidas indicadas por Chang *et al.* (2014) quienes reportan niveles de daños que oscilan en 19%, en cultivos de haba alrededor del mundo. Los síntomas iniciaron a las 3 semanas (21 días) posterior a la siembra cuando se observó la marchitez de la planta acompañada de daños similares a cancro (Assunção *et al.*, 2011) o lesiones negras en tallo y raíz, las hojas se decoloraron y cambiaron a color amarillo, la planta se marchitó por el estrangulamiento a nivel del cuello, hasta morir, estos síntomas fueron similares a los observados en campo en los diferentes tratamientos.

El terreno en el que se estableció el ensayo tuvo antecedentes de no sembrarse haba por al menos 8 años, pero el hecho que se expresó indica que el hongo fue capaz de sobrevivir en el suelo, aun en condiciones adversas, en forma de esclerocios, que han logrado persistir por este lapso. Una vez establecido en el suelo, el patógeno prolifera en las raíces de las plántulas e infecta las plántulas cercanas a través del micelio. El hongo puede propagarse fácilmente a través de agua, suelo o herramientas contaminadas (Gossen *et al.*, 2016), este comportamiento puede haberse expresado en la parcela de estudio.

Agrios (2008) indica que la incidencia de la enfermedad depende del historial del cultivo en la parcela y de las condiciones ambientales que le favorecen, por lo que las condiciones de la zona son favorables para la expresión de la enfermedad. Por persistir en el suelo, dentro de las acciones de manejo en futuras plantaciones, se deben considerar la eliminación de maleza que hospede al patógeno, así como el saneamiento del cultivo, en especial los cercanos a la parcela, pero se deben complementar con el uso de semilla sana, surcos elevados con buen drenaje y buena aireación del suelo, así como el distanciamiento entre plantas y la aplicación efectiva de fungicidas podrían influir en una menor incidencia de la enfermedad (Gossen *et al.*, 2016; Singh *et al.*, 2012).

La emergencia de plantas fue del 83% en promedio, el resto no logró germinar. Las plántulas que comenzaron a morir mostraron daño en raíces y cuello por *R. solani*, en este sentido, Sánchez y Cárdenas (1988) mencionaron que en la etapa de plántula este patógeno causó el mayor daño al cultivo, disminuyendo el desarrollo de la planta. Además, en la etapa de desarrollo del haba se presentaron temperaturas por encima de los 25° C en el Valle de Toluca, por arriba de la temperatura óptima para el desarrollo de la pudrición por *R. solani* que es de 15 a 20 °C (De la Garza, 1996); además, Abawi y Pastor-Corrales (1990) mencionan que las condiciones de humedad del suelo deben ser de moderadas a altas para que ocurra la enfermedad, aprovechando el temporal sobre la superficie del suelo se presentaron encharcamiento incitando el crecimiento del hongo.

De igual forma se debe de considerar que *R. solani* con frecuencia afecta a las semillas durante la germinación, en las plántulas induce muerte pre o post emergente y en plantas en crecimiento y desarrollo llega a podrir la raíz. Los aislamientos de *R. solani* responsables de la pudrición de la raíz del frijol pertenecen a los AG 1, 2-2, 4 y 5 (Engelkes y Windels 1996; Karaca *et al.*, 2002; Eken y Demirci, 2003; Nerey *et al.*, 2010) pero en haba no se conoce el tipo de AG que causa la enfermedad.

Es evidente que en le región del Valle de Toluca se requiere implementar un Manejo Integrado de Plagas (MIP), con un enfoque holístico de agricultura sostenible que se centre en manejar plagas a través de una combinación de medidas de control físico, cultural, biológico y químico, que sean asequibles, ambientalmente racionales y socialmente aceptables.

Esto incluye el uso responsable de la protección de cultivos y los productos biotecnológicos de las plantas y variedades de semillas mejoradas (Croplifela, 2023). Sin embargo, la mayoría de los métodos se ven afectados por la resistencia de la plaga, entendida como un mecanismo básico de sobrevivencia y que ocurre a través de la selección y presión natural, así como la aptitud física de la plaga.

Con base a los resultados de eficacia nos permiten sugerir que el tratamiento T3 como la rotación más satisfactoria para el control de *Rhizoctonia* en haba, sin embargo, se sugiere mantener la primera opción de rotación con el fungicida Captan en cualquier otra propuesta de rotación de se pueda proponer, debido a que en la rotación del tratamiento T3 (Ca+Ip+F-A+Be+D-A) expresó la mayor eficacia de control durante un mayor intervalo de tiempo desde el inicio del experimento o siembra.

Telenko *et al.* (2022) indican que en evaluaciones de rotación de MoA de fungicidas para el manejo de mancha de asfalto (*Phyllachora maydis*) en maíz, encontraron que, al comparar grupos de tratamientos con fungicidas con diferentes MoA, los productos fungicidas foliares que tenían dos o tres MoA redujeron el nivel de daño de las manchas de asfalto en comparación con los productos sin tratamiento y con

un solo MoA. Además, el grupo de fungicidas que contenía los tres MoA aumentó significativamente el rendimiento en comparación con las plantas no tratadas con un fungicida o usar un solo grupo de MoA.

En la rotación T3 se combinó movimiento de la planta (modo de acción) de contacto y sistémicos en concordancia con lo que reportan Quevedo *et al.* (2018) que sugiere el uso de fungicidas protectantes y sistémicos en rotación y mezcla, además de aplicaciones de abonos foliares, en los programas de control contra *Sigatoka negra*, debido a que presentaron valores estadísticamente diferentes a las otras fincas en donde aplicaron una mayor cantidad de ciclos con fungicidas sistémicos.

Marten *et al.* (2017) al evaluar diversos fungicidas para el control de *Zymoseptoria tritici*, indican que sus resultados alientan la adopción de mezclar y alternar fungicidas en las estrategias de aspersión para minimizar el riesgo de acumulación de resistencia y prolongar la vida efectiva de los fungicidas.

La semilla de haba utilizada fue tratada con Captan, permitiendo la emergencia y desarrollo de plántula, siendo efectiva para comenzar el ciclo. Se reporta que el uso de fungicidas para el tratamiento de semillas (Captan o Benomilo en 1-3 g por gramo de semilla) proporcionan cierto control de la pudrición de las semillas y las enfermedades de las plántulas causadas por *R. solani* (Brenes, 1996). En este sentido, pero bajo condiciones de laboratorio, *R. solani* en tratamiento de semillas de algodón, con combinaciones de fungicidas como Pencicurón más Captan, Carboxina más Captan, Quintoceno más Captan, aumentó significativamente el porcentaje de emergencia de plántulas y disminuyó el índice de enfermedades en plántulas de algodón (Lisker & Meiri, 1992). Por otro lado, las semillas de *Pisum sativum* tratadas con Iprodiona para el control de *R. solani*, la semilla emergió y germinó, sin complicaciones mostrando resultados favorables (Pereira Da Silva *et al.* 2013).

Los resultados favorables en el manejo de *Rhizoctonia* con la inclusión de Captan, Iprodiona y Benomilo en T3, están en orden con lo reportado por Miraflores (2024) pero en el cultivo de chícharo en el Valle de Toluca, que encontró una reducción en

la incidencia de la enfermedad en un 60%. Lo anterior pueden deberse a que el Captan es un producto de contacto que evita la germinación de la espora y al estar en contacto con el micelio, que es una parte del cuerpo del hongo, tiene el mismo efecto por ser de contacto, normalmente se recomienda como un fungicida preventivo para el control de estos y otros hongos fitopatógenos.

Captan se ha utilizado para controlar enfermedades como *Fusarium spp.*, y *R. solani* en cultivos de frutales, ornamentales y hortícolas, entre los que se encuentran: chícharo, chile, tomate, mango, manzano, vid, zanahoria. Todos ellos relacionados con agentes causales de enfermedades radicales (Lara & Raya, 2023).

Cristóbal-Alejo *et al.* (2006) reportan que Azoxystrobin, mostró las menores tasas de infección aparente en los tratamientos para el control de *Alternaria solani* Jones & Grout. como inductor de la mancha foliar. En la tercera opción de rotación del tratamiento T3 (56 dds) Azoxystrobin se aplicó mostrando un resultado favorable, ya que, la planta de haba no mostro síntomas, similar a lo reportado por Jacobsen *et al.* (2002); Khan & Bolton (2010), donde mencionaron que Azoxystrobin proporcionan un control eficaz de la enfermedad, pero deben aplicarse antes de que se produzca la infección.

Basándonos en los resultados obtenidos, la estrategia de intercalar fungicidas preventivos, iniciando con el fungicida de contacto captan, seguido de Iprodiona y, en una segunda propuesta rotación, como Azoxystrobin, permitió reducir el impacto de la enfermedad en comparación con los demás tratamientos evaluados. Resultados similares fueron reportados por Chávez *et al.* (2024), quienes encontraron que la Iprodiona logró una inhibición del 100 % del crecimiento de *R. solani* después de siete días, constituyéndose como el tratamiento más efectivo en *Ullucus tuberosus*, seguido por Azoxystrobin, en una evaluación realizada en condiciones In vitro. En bioensayos con Iprodiona, *R. solani* presentó sensibilidad en medios de cultivo (Holguin, 1999).

En el caso del tratamiento T4, donde la semilla fue tratada con Benomilo como fungicida de acción sistémica, la respuesta frente *R. solani* no fue visible en los

primeros días si no a partir de los 35 días después de la siembra (dds) que comenzó a observarse la incidencia de la enfermedad. Estos resultados coinciden a lo reportado por Guillén *et al.* (2018), quienes señalaron que a los 7 días después del tratamiento (DDT) se alcanzaron los mayores porcentajes de eficacia de control con Benomilo (87.5%), seguido por Difenconazol (75%) en el control de *Mycosphaerella citri*. En este sentido, podría inferirse que, si Benomilo se aplicará en las primeras etapas del ciclo del cultivo, seguido por aplicaciones de Difenconazol, podrían mostrar un mayor nivel de control de *R. solani*, considerando que en el presente estudio estos productos fueron aplicados hacia el final del ciclo del cultivo de haba.

Asimismo, Guillén *et al.* (2018) reportan que a los 14 DDT se observó un mejor control con Difenconazol y con la combinación Azoxistrobina+Difenconazol (87.5 %), sin diferencias significativas entre ambos tratamientos. No obstante, después del día 21 los fungicidas evaluados mostraron una reducción en su eficacia, registrando valores inferiores al 50 %.

Mientras que Rodríguez *et al.* (2001) encontró que una sola aplicación de la mezcla de Propiconazole+ Difenconazol (75+75 g/ha) puede ser empleada para un control eficaz del añublo de la vaina del arroz. Ou *et al.* (2024) determinaron la sensibilidad de *R. solani* a *Difenconazol*, mientras que con Azoxistrobin no mostró cambios significativos para el control de *R. solani*. Por otro lado, los grupos de compatibilidad de *R. solani* AG-4 HGIII, *R. zaeae*, *R. binucleada* AG-A y G, mostraron insensibilidad a fungicidas como Benomilo y Azoxystrobin (Rabago-Zavala *et al.*, 2025).

Así mismo, Sanzón Gómez *et al.* (2025) reportan que, en su evaluación con concentraciones de 5, 10 y 100 ppm de Fluazinam fueron estadísticamente iguales con un rango de inhibición de 62.10 a 65.75%. Y la mezcla de Fluazinam+Tiofanato-metil puede recomendarse para el control de *R. solani* (Moratelli, 2012).

Una de las prácticas esenciales de un manejo integral es la prevención contra la resistencia. Un enfoque proactivo que utilice diversas tácticas de control de enfermedades es la forma más eficaz de evitar la resistencia a los fungicidas. El

objetivo principal de esta estrategia preventiva es reducir la presión de selección en los campos, granjas o sitios para reducir el inóculo del patógeno y crear condiciones menos favorables para que ocurra la enfermedad. Hacer lo que sea necesario para evitar la resistencia a los fungicidas, es una buena alternativa para superar la resistencia una vez que aparece (Buhler, 2024).

VIII. CONCLUSIONES

La rotación de fungicidas con diferentes Modos de Acción (MoA) para el control de la pudrición radicular causada por *R. solani* en haba (*V. faba* L.) permitió evidenciar diferencias significativas en la incidencia de la enfermedad, el rendimiento y la eficiencia biológica de control entre los tratamientos evaluados.

La rotación de MoA con T3 (Ca+Ip+F-A+Be+D-A) y 4 (Be+Ip+F-A+D-A+Ca) fueron los más eficientes para reducir la incidencia de pudrición radicular y mantener un rendimiento aceptable, mientras que el T5 (F-A+Ip+D-A+Be+Ca) resultó el menos efectivo, tanto en control de la enfermedad como en productividad.

En cuanto a la incidencia de la enfermedad, se determinó que el T4 (Be+Ip+F-A+D-A+Ca) mostró la menor incidencia final (32.2%) y un comportamiento más estable en la reducción del progreso de *R. solani* a lo largo del ciclo, demostrando que la adecuada combinación y secuencia de MoA influye directamente en la supresión de la enfermedad. Por lo contrario, el tratamiento 5 (F-A+Ip+D-A+Be+Ca) presentó la mayor área bajo la curva y la mayor progresión de la enfermedad, evidenciando una baja eficacia de control.

Respecto al rendimiento del cultivo, aunque el testigo regional (Captan) alcanzó el valor más alto (2,688.40 kg/ha), el T3 (Ca+Ip+F-A+Be+D-A) se posicionó como la mejor rotación de inducir rendimiento entre las propuestas, con un rendimiento de 1,721.89 kg/ha y la mayor eficacia biológica global (54%). Este tratamiento destacó además por mantener un equilibrio entre control de la enfermedad, crecimiento vegetal y productividad, confirmando la importancia de integrar fungicidas con diferentes MoA de manera estratégica.

IX. BIBLIOGRAFÍA

- Aapresid (Asociación Argentina de Productores en Siembra Directa). (2023). ¿Cómo manejamos los MOA de Fungicidas? Disponible en <https://www.aapresid.org.ar/blog/manejamosmoafungicidas?saveValoracion=1#form-validacion> Fecha de consulta: 28 de diciembre de 2023.
- Abawi, G. S. y Pastor–Corrales, M. A. (1990). Root rots of beans in Latin America: Diagnosis, research, methodologies and management strategies. Centro Internacional de Agricultura Tropical. Cali, Colombia 114 p.
- Abawi, G.S. (1989). Root rots. In: Schwartz HF, Pastor-Corrales MA (eds) Bean production problems in the tropics, 2nd edn. Cali, Colombia, pp 105–157.
- Abbas, A., Fang, X., Iqbal, S., Naqvi, S.A.H., Mehmood, Y., Rao, M.J., Hassan, Z., Ortiz, R.M., Baazeem, A., Moustafa, M., *et al.* (2022c). Distribución geográfica de *Rhizoctonia solani* asociada a la soja del Grupo de Genética Poblacional y Anastomosis. *Genes*. 13:2417. doi: 10.3390/genes13122417.
- Abbas, A., Mubeen, M., Zheng, H., Sohail, M. A., Shakeel, Q., Solanki, M. K., *et al.*, (2022a). *Trichoderma* spp. genes involved in the biocontrol activity against *Rhizoctonia solani*. *Frontiers in Microbiology*, 13, 884469. doi: 10.3389/fmicb.2022.884469.
- Abd El-Hack, M. E., Alagawany, M., Laudadio, V., Demauro, R. y Tufarelli, V. (2017). Dietary inclusion of raw faba bean instead of soybean meal and enzyme supplementation in laying hens: Effect on performance and egg quality. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 24: 276-285.
- Abd-Elmagid, W.M., Aly, M.M.E.S. & El-Sharkawy, R. M. (2020). Control of peanut root and pod rots diseases using certain bioagents. *Journal of Phytopathology and Disease Management*, 7, 79–90.

- AFIPA (Asociación Nacional de Fabricantes e Importadores de Productos Fitosanitarios Agrícolas). (s. f.). Manejo de resistencias. [practic-agricolas/manejo-de-resistencias/](#)
- Afshari, N., Hemmati, R., & Sheikh, F. (2020). Characterization of *Fusarium avenaceum* from faba bean (*Vicia faba*) in Iran, genetic diversity, aggressiveness, and cultivar evaluation. *Journal of Plant Pathology*, 102(1), 135–142. <https://doi.org/10.1007/s42161-019-00399-z>
- Agrios, G.N. (1991). *Fitopatología*. Trad. por Manuel Guzmán. 2a ed. México, Limusa. 838 p. <https://www.cytacunoc.gt/wp-content/uploads/2019/05/Evaluacion-de-la-integraci%C3%B3n-de-metodos-para-el-control-de-la-costra-negra-1.pdf>.
- Agrios, G.N. (1996). *Fitopatología* 2ª edición México D.F. LIMUSA. pp. 37 – 95, 134–530.
- Agrios, G. N. (2008). *Plant pathology* (5th ed.). Elsevier Academic Press.
- Ajayi-Oyetunde, O.O. & Bradley, C.A. (2018). *Rhizoctonia solani*: Taxonomía, biología poblacional y manejo de la enfermedad de las plántulas de soja causada por *Rhizoctonia*. *Plant Pathol.* 67:3–17. doi: 10.1111/ppa.12733.
- Akber MA, Mubeen M., Sohail MA, Khan SW, Solanki MK, Khalid R., Abbas A., Divvela PK, Zhou L. (2023). Distribución global, detección tradicional y moderna, diagnóstico y enfoques de manejo de *Rhizoctonia solani* asociada a cultivos de leguminosas. *Front. Microbiol.* 13:5246. doi: 10.3389/fmicb.2022.1091288.
- Allmaras, R.R., Fritz, V.A., Pflieger, F.L. y Copeland, S.M. (2003). Deterioro del drenaje interno y podredumbre radicular por *Aphanomyces euteiches* en guisantes causada por compactación del suelo en un suelo de textura fina. *Soil Til. Res.* 70: 41–52.

- Anderson, J. W. & Ward, A. K. (2002). Pulses and lipemia: Short and long-term effects: A potential in the prevention of cardiovascular disease. *British Journal of Nutrition*, 88 (Suppl. 3), S263-S271.
- Anees M, Edel-Hermann V, Steinberg C. 2010. Build up of patches caused by *Rhizoctonia solani*. *Soil Biology and Biochemistry*, 42(10): 1661-1672.
- Ariena, H.C., Bruggen, V., Grünwald, N.J., & Bolda, M. (1996). Cultural methods and soil nutrient status in low and high input agricultural systems, as they affect *Rhizoctonia* species.
- Assunção, I.P., Nascimento, L.D., Ferreira, M.F., Oliveira, F.J., Michereff, S.J., Lima, G.S. (2011). Reacción de genotipos de haba a *Rhizoctonia solani* y estabilidad de la resistencia. *Hortico. Sujetadores*. 2011;29:492–497. doi: 10.1590/S0102- 05362011000400008.
- Baker R, Martinson CA. (1970). Epidemiology of diseases caused by *Rhizoctonia solani*. In: Parmeter, J. R. (ed.). 1970. *Rhizoctonia solani*, Biology and Pathology. pp 172-188. University of California Press, Berkeley, CA
- Baker, K.F. (1947). Transmisión de semillas de *Rhizoctonia solani* en relación con el control del marchitamiento fúngico de las plántulas. *Fitopatología* 37:912–924.
- Barakat, R.M., Al-Mahareeq, F., Ali-Shtayeh, M.S. & Al-Masir, M.I. (2007). Biological control of *Rhizoctonia solani* by indigenous *Trichoderma* spp. isolates from palestine. *Hebron University Research Journal* Vol. 3(1):1-15.
- BAYER (2025). Modos de acción de los fungicidas. Ciencia de los cultivos BAYER. Recuperado de: <https://www.cropscience.bayer.us/articles/bayer/fungicide-modes-action>
- Bazzano, L. A., He, J., Ogden, L. G., Loria, C., Vupputuri, S., Myers, L. y Whelton, P. K. (2001). Legume consumption and risk of coronary heart disease in US men, and women. *Arch Intern Med.*, 161, 2573-2578.

- BDAC (Biblioteca Digital Agropecuaria de Colombia). (2011). Revista Ventana al Campo. Fungicidas. Mecanismo de acción de los fungicidas. Disponible en: 64405_64953.pdf (agrosavia.co). Fecha de consulta: enero de 2024.
- Bégueret, J., Turcq, B., and Clavé, C. (1994). Vegetative incompatibility in filamentous fungi: het genes begin to talk. *Trends in Genetics* 10:441-446.
- Betancourth, C., Sañudo, B., Flórez, C., y Salazar, G. (2021). Manejo de la costra negra de la papa (*Rhizoctonia solani*) con el establecimiento de abonos verdes. *Información Tecnológica*, 32(2): 165-174.
<https://doi.org/10.4067/S0718-07642021000200165>.
- Betancourth, C., Sañudo, B., Flórez, C., y Salazar, G. (2022). Eficacia de biofungicidas para el manejo de la costra negra (*Rhizoctonia solani* Kühn) de la papa en Nariño, Colombia, *Información Tecnológica*, 33(1), 279-288.
<https://doi.org/10.4067/S0718-07642022000100279>
- Bivand, R., Pebesma, E. and Gómez, R. V. (2008). *Applied spatial data analysis with R*. Springer. New York. USA. 374 p.
- Bond, D. A., Lawes, D. A., Hawtin, G. C., Saxena, M. C. y Stephens, J. S. (1985). Faba bean (*Vicia faba* L.). En: R. J. Summerfield y E. H. Roberts (eds.), *Grain Legume Crops* (pp. 199-265). London, UK: William Collins Sons London, UK.
- Boudreau, M.A. (2013). *Annual Review of Phytopathology*, 51 499-519.
- Bradley CA, Hartman GL, Wax LM, Pedersen WL. (2002). Influencia de herbicidas en la pudrición radicular e hipocótila de la soja causada por *Rhizoctonia*. *Crop Prot.* 8:679–687. doi: 10.1016/S0261-2194(02)00021-2.
- Brenes, B.M. (1996). Epidemiología y manejo de la mustia hilachosa del frijol común causada por *Rhizoctonia solani*. San José, CR. Recuperado de: http://www.mag.go.cr/congreso_agronomico_X/a50-2388-II_031.pdf

Brierley, J., Hilton, A.J. y otros tres autores. (2016). The relative importance of seed- and soil-borne Inoculum of *Rhizoctonia solani*AG-3 in causing black scurf on potato. *Potato Research* 59(2):181-193. <https://doi.org/10.1007/s11540-016-9320-1>

Buhler, W. (2024). Proactive Fungicide Resistance Avoidance. Pesticide Environmental Stewardship. Center for Integrated Pest Management. North Carolina State University. Disponible en: <https://pesticidestewardship.org/resistance/fungicide-resistance/proactive-fungicide-resistance-avoidance/>. Fecha de Consulta: Febrero de 2024.

Carisse, O., El Bassam, S., & Benhamou, N. (2001). Effect of *Microsphaeropsis* sp. strain P130A on germination and production of sclerotia of *Rhizoctonia solani* and interaction between the antagonist and the pathogen. *Phytopathology* 91: 782–791.

Chang, K. F., Conner, R. L., Hwang, S. F., Ahmed, H. U., McLaren, D. L., Gossen, B. D., & Turnbull, G. D. (2014). Effects of seed treatments and inoculum density of *Fusarium avenaceum* and *Rhizoctonia solani* on seedling blight and root rot of faba bean. *Canadian Journal of Plant Science*, 94(4), 693–700. <https://doi.org/10.4141/cjps2013-339>

Chávez, C. V., Navarro, S.Y. R., Martínez, M. R. M. y Narváez E. M. (2024). Evaluación in vitro de fungicidas y un extracto natural de canela en el control de *Rhizoctonia solani* en *Ullucus tuberosus*. *Acta Agronómica*, Vol 73, (3). Ppg: 323. DOI10.15446/acag.v73n3.119320

Ciren. (2017). Haba. Recuperado: <https://www.ciren.cl/wp-content/uploads/2017/12/Haba.pdf>

Coca-Morante, M. (2007). Manchas foliares del haba (*Vicia faba* L.). Facultad de Ciencias Agrícolas, Pecuarias, Forestales y Veterinarias Dr. "Martín

Cárdenas". Universidad Mayor de San Simón. Cochabamba - Bolivia. pp. 2.
www.agr.umss.edu.bo

Cristóbal-Alejo, J., Zaletas-Meléndez, E., Tun-Suárez, J.M, Latournerie-Moreno, L., & Ruiz-Sánchez, E. (2006). Control químico y epidemiología de la mancha foliar del chile habanero (*Capsicum chinense* jacq.) En Yucatán, México. *Fitosanidad* 10 (3):217-220.

Croplifela. (2023). Manejo de la resistencia. Disponible en: https://www.croplifela.org/images/ES/PDF_ES/Manejo-de-la-Resistencia.pdf. Fecha de consulta: 28 de diciembre de 2023.

Da Silveira, S.F., Alfenas, A.C., Ferreira, F.A., Sutton, J.C. 2000. Characterization of *Rhizoctonia* species associated with foliar necrosis and leaf scorch of clonally propagated Eucalyptus in Brazil. *European Journal of Plant Pathology*, 106(1): 27-36.

De la Garza, G. J. L. (1996). *Fitopatología general*. Universidad Autónoma de Nuevo León. Monterrey, Nuevo León. 515 p.

Desvani, S.D., Lestari, I.B., Wibowo, H.R., Supyani-Poromarto, S.H., Hadiwiyono. (2018). Morphological characteristics and virulence of *Rhizoctonia solani* isolates collected from some rice production areas in some districts of Central

Duc, G., Aleksic, J., y otros nueve autores. (2015). Faba Bean. En A. De Ron (Ed.), *Grain legumes*, 141–178, Springer

Ellis, R.H., Summerfield, R.J., and Roberts, E.H. (1990). Flowering in Faba Bean: Genotypic Differences in Photoperiod Sensitivity, Similarities in Temperature Sensitivity, and Implications for Screening Germplasm. *Annals of Botany*, 65: 129- 138.

Elmer WH, & La Mondia JA. (1995). Influence of mineral nutrition on strawberry blackroot rot. *Adv. Strawberry Res.* 14:42-48

- Elwakil, M.A., El-Refai, I.M., Awadallah, O.A., El-Metwally, M.A., Mohammed, M.S. (2009). Patógenos transmitidos por semillas de haba en Egipto: Detección y patogenicidad. *Plant Pathol. J.* 2009;8:90–97. doi: 10.3923/ppj.2009.90.97.
- Engelkes, C.A. & Windels, C.E. (1996). Susceptibility of sugar beet and beans to *Rhizoctonia solani* AG-2-2 IIB and AG-2-2 IV. *Plant Dis* 80: 1413– 1417.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). (1986). Manual para patólogos vegetales, Rec. por commonwealch mycological institutet. pacific press. Lima – Perú. pp 30-149.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). (1995). Manual sobre el almacenamiento y el control de existencias de plaguicidas. Colección FAO: Eliminación de plaguicidas 3. P. 35. Obtenido de: <http://www.fao.org/docrep/012/v8966s/v8966s00.pdf>, Consultado el día [9/11/2023].
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). (2008). FAOSTAT, Base de datos estadísticos sustantivos de la Organización. Roma (disponible en <http://faostat.fao.org>).
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). (2013). Código Internacional de Conducta para la Gestión de Plaguicidas. Edit. OMS y FAO, 2015, ISBN 978-92-5-308548-4. 3-7 pp.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura) (2020). Cultivo de haba <https://onx.la/65d96>
- FAOSTAT. (2019). Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy.
- FAOSTAT. (2023). FAO Stats Data. <https://www.fao.org/faostat/es/#data>
- Fernández B, L., Almasia, N., Bazzini, A., Colombo, R., Hopp, E., Vazquez-Rovere, C., & Godeas, A. (2019). The overexpression of antifungal genes enhances

resistance to *Rhizoctonia solani* in transgenic potato plants without affecting arbuscular mycorrhizal symbiosis. *Crop Protection*.
<https://doi.org/10.1016/j.cropro.2019.05.031>

Flores-Carrera, L. S., Pérez-López D.D.J., Sangerman-Jarquín, D.M., Rubí-Arriaga M., González-Huerta A. y Ramírez-Dávila, J.F. (2022). Densidad de población y fertilización orgánica en habas del centro mexiquense. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 13(2). Recuperado de:
<http://cienciasagricolas.inifap.gob.mx/index.php/agricolas/article/view/3131/47>

FRAC (Fungicide Resistance Action Committee). (2019). Clasificación de fungicidas y bactericidas según el modo de acción. Primera edición. 4-5. España FRAC Fungicide Resistance Action Committee

FRAC (Fungicide Resistance Action Committee). (2023). FRAC Mode of Action (MoA). Disponible en: <https://www.frac.info/>.

Fragoso, B. J. M., Sánchez, P. J. R. Castañeda, V. A., Franco, M. O., García, V. R., Gutiérrez, I. A. T., Contreras, R. A. (2022). Escala diagramática para evaluar la severidad de roya en haba (*Vicia faba*). *Revista mexicana de Fitopatología*. DOI: <https://doi.org/10.18781/R.MEX.FIT.2206-2>.

Fungicide Resistance Action Committee. (2024). FRAC code list 2024: Fungal control agents sorted by cross-resistance pattern and mode of action. [FRAC. https://www.frac.info/docs/default-source/publications/frac-code-list/frac-code-list-2024-final.pdf](https://www.frac.info/docs/default-source/publications/frac-code-list/frac-code-list-2024-final.pdf)

García-Ariza, M.C.; Fernández-Villán, M.; Fuertes-Marcos, E.; Rodríguez Martínez, A. y Caminero-Saldaña, C. (2021). Fusariosis en leguminosas (*Fusarium* spp.). En *Fichas de apoyo de plagas y enfermedades: Leguminosas*. Instituto Tecnológico Agrario de Castilla y León (ed). LE-E-07. <https://plagas.itacyl.es/leguminosas-de-grano>

- Gikas, G., Parla-Kidis, P., Mav-Ropoulos, T., y Vryzas, Z. (2022). Particularidades de los fungicidas y los factores que afectan su destino y eficacia de eliminación. <https://doi.org/10.3390/su14074056>, *Su tinción*, 14(7), 4056.
- Gil, G. H., Martínez, R. C. G., Estrada, C. G. (2014). Impacto del sistema de labranza y dosis de nitrógeno en el rendimiento y calidad nutricional de forraje de avena. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 5: 951-964.
- Gil, V. L. F. (2003). Control químico de enfermedades. En *Enfermedades del cafeto en Colombia* (pp. 48–54). Cenicafé. https://doi.org/10.38141/10791/0025_5
- Giménez, M. A., Drago, S. R., Bassett, M. N., Lobo, M. O. y Sammán, N. C. (2016). Nutritional improvement of corn pasta-like product with broad bean (*Vicia faba*) and quinoa (*Chenopodium quinoa*). *Food Chemistry*, 199, 150-156.
- Glenn, O.F. & Sivasithamparam, K. (1990). The effect of soil compaction on the saprophytic growth of *Rhizoctonia solani*. *Plant and Soil* 121, 282e286.
- Global Bean. (s. f.). *Faba bean*. Recuperado el 5 de mayo de 2025, de <https://www.globalbean.eu/publications/faba-bean/>
- González, H.A., Sahagún, C.J., Vázquez, L.M., Rodríguez, J.E., Pérez, D.J., Domínguez, L.A., Franco, M.O. y Balbuena, A. (2009). Identificación de variedades de maíz sobresalientes considerando el modelo AMMI y los índices de Eskridge. *Agric. Téc. Méx.*, 35: 189-200.
- Gossen, B. D., Conner, R. L., Chang, K. F., Pasche, J. S., McLaren, D. L., Henriquez, M. A., Chatterton, S., & Hwang, S. F. (2016). Identifying and managing root rot of pulses on the northern Great Plains. *Plant Disease*, 100(10), 1965–1978. <https://doi.org/10.1094/PDIS-02-16-0184-FE>
- Guillén-Sánchez, D., Hernández-Pérez, R., Andrade-Rodríguez, M., López-Martínez, V., Alia-Tejacal, I. y Juárez-López, P. (2018). Eficacia de seis fungicidas sobre *Mycosphaerella citri* en naranja 'Valencia' en el estado mexicano de Morelos. *Centro Agrícola*, 45 (1), 5-13. Recuperado en 08 de

marzo de 2026, de
http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0253-57852018000100001&lng=es&tlng=en.

Gutiérrez, N. C. M.; Ávila, M.; Moreno, T. and Torres, A. M. (2008). Development of SCAR markers linked to *zt-2*, one of the genes controlling absence of tannins in faba bean. *Australian J. Agric. Res.* 59:365-373.

Harikrishnan R., & Yang, X.B. (2007). Recuperación de grupos de anastomosis de *Rhizoctonia solani* desde diferentes posiciones latitudinales e influencia de la temperatura en su crecimiento y supervivencia. *Plant Dis.* 2007;88:817–823. doi: 10.1094/PDIS.2004.88.8.817.

Hernández, P. D., Díaz, C. M-, Quiñones, R. R., Santos, B. R, Portal, G. N., Herrera I. L. (2018). Control de *Rhizoctonia solani* en frijol común con rizobacterias y productos naturales. *Centro Agrícola*, 45(2): 55-60

Hewitt, H.G. (1998). *Fungicides in crop protection*. CAB International, Wallingford. 221 p.

Holguin, P.R.J. (1999). Niveles de tolerancia a fungicidas de diferente grupo toxicológico y pruebas de adaptabilidad de *Rhizoctonia solani* r. *cerealis* de las regiones paperas de Coahuila, Nuevo León, Chihuahua, Guanajuato y Toluca. Tesis de maestría.
<http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/handle/123456789/48474>

Horwitz, W., & Latimer, G. W. (2005). *Official methods of analysis of AOAC International*. Gaithersburg, Md: AOAC International.

Huguet, B. (2001) *Maladie du pois*. *Fitoma* 6: 36 – 38.

Huici, R. O. (2004). *Aplicación de Plaguicidas en Campo*. Procedimientos a seguir para una correcta calibración y dosificación. cartilla elaborada por el proyecto PLAGBOL. La Paz-Bolivia. pp.14 – 19.

- Jacobsen, B.J., Zidack, N.K., Mickelson, J. & Ansley, J. (2002). Integrated management strategies for *Rhizoctonia* crown and root rot. 2001 Sugarbeet Res. Ext. Rept. 32:293-295.
- Jasso, B., (2023). Toluca registró su más alta temperatura en 2023; esperan calor disminuya en segunda mitad de junio. Milenio.
Recuperado: <https://www.milenio.com/politica/comunidad/toluca-registro-su-mas-alta-temperatura-en-2023>
- Johnson, S., and Leach, S. (2020). Potato Facts: *Rhizoctonia* Diseases on Potatoes, The University of Maine, <https://extension.umaine.edu/publications/2273e/>
- Jordán-Aguilar, Bladimir, Díaz-Ruiz, Ramón, Ocampo-Fletes, Ignacio, Jacinto-Hernández, Carmen, Escalante-Estrada, José Alberto Salvador, & Pérez-Ramírez, Efraín. (2019). Características relacionadas con el consumo de haba consideradas por las amas de casa de la región productora de Puebla y Tlaxcala, México. Estudios sociales. Revista de alimentación contemporánea y desarrollo regional, 29(54), e19761. Epub 06 de octubre de 2020. <https://doi.org/10.24836/es.v29i54.761>
- Kalia, P. and Sood, S. (2004). Genetic variation association analyses for pod yield and other agronomic and quality characters in an Indian Himalayan collection of broad bean (*Vicia faba* L.). J. Breed. Genet. 36(2):55-61.
- Karaca, GH, Ozkoc I, Erper I. 2002. Determination of the anastomosis grouping and virulence of *Rhizoctonia solani* Kühn isolates associated with bean plants grown in Samsun/Turkey. Pakistan J Biol Sci 5: 434–437.
- Kawasaki, K. & Lichtenberg, E. (2015). Quality versus Quantity Effects of Pesticides: Joint Estimation of Quality Grade and Crop Yield, doi: 10.22004/ag.econ.204848, Agricultural and Applied Economics, 12(3): 204848

- Khan, M.F.R. & Bolton, M. (2010). Management of *Rhizoctonia* root and crown rot of sugarbeet. Plant Disease Management. NDSU extension service. North Dakota State University.
- Kundu PK, Nandi B. 1985. Control of *Rhizoctonia* disease of cauliflower by competitive inhibition of the pathogen using organic amendments in soil. Plant and Soil. 83:357-362.
- Labrousse, F. (1933) Notes de pathologie végétale. Rev. Pathol. Vegetal. Ent. Ag. 19:71 – 84 .
- Lara, C. M.B. & Raya, M. Y. A. (2023). Identificación del agente causal de la pudrición de raíz y corona en zarzamora cv.Tuppy y su control in vitro. eCUCBA: 10(20): 121-131. Recuperado de <http://e-cucba.cucba.udg.mx/index.php/e-Cucba/article/view/304/314>
- Levenfors, J.P., Wikström, M., Persson, L. & Gerhardson, B. (2003) Patogenicidad de *Aphanomyces* spp. de diferentes cultivos leguminosos en Suecia. Eur. J. Plant Pathol. 109:535–543.
- Lisker, N. & Meiri, A. (1992). Control of *Rhizoctonia solani*damping-off in cotton by seed treatment with fungicides. Crop protection V11 (2): 155-159. [https://doi.org/10.1016/0261-2194\(92\)90099-Q](https://doi.org/10.1016/0261-2194(92)90099-Q)
- López, C. N., y Castaño, Z. J. (2012). Characterization of phytopathogenic fungi, bacteria, nematodes, and viruses in four commercial varieties of Heliconia (Heliconia sp.). Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín, 65, 6697–6710.
- López, R. M. (2013). Tecnología de producción del cultivo de haba para el Estado de México. Instituto de Investigación y capacitación Agrícola, Acuícola y Forestal del estado de México. México.

- López, R. M. (2013). Tecnología de producción del cultivo de haba para el Estado de México. ICAMEX grupo produce estado de México. Primera Edición. Pg. 52-57.
- López, R. M. y Guadarrama, G. M. E. (2016). Cultivo y manejo de leguminosas de grano comestible en el Estado de México. Primera edición. Pg.87. Recuperado de:
<https://icamex.edomex.gob.mx/sites/icamex.edomex.gob.mx/files/files/publicaciones/2015/Cultivo%20y%20Manejo%20de%20Leguminosas%202015.pdf>
- Madden, L.V., Hughes, G. and van den Bosch, F. (2006). The study of plant disease epidemics. APS press. American phytopathological society. St Paul, Minnesota, USA.
- Marten H. H., Fejer, J. A., Nistrup J. L. (2017). Anti-resistance strategies for fungicides against wheat pathogen *Zymoseptoria tritici* with focus on DMI fungicides, *Crop Protection* 99: 108-117,
<https://doi.org/10.1016/j.cropro.2017.05.009>.
- Melgarejo, J. (1989). Modo de acción de los fungicidas (mimeografiado). Rhone Poulenc Agrochimie, Bogotá.
- Melgarejo, J. (2011). Mecanismo de acción de los fungicidas. *Revista ventana al campo*. Recuperado de:
https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/19031/64405_64953.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Messiaen, C.M, y Blancard, D. (1994). Enfermedades de las hortalizas. Tercera Edición. Editorial Mundi-Prensa. Madrid España. 576 p.
- Miraflores, U. W. (2024). ROTACIÓN DE FUNGICIDAS PARA EL CONTROL DE *R. solani*. y *Ascochyta* spp., EN *Pisum sativum* L., cv. EARLY PERFECTION

326. UAEMex. Tesis de Licenciatura. URI:
<http://hdl.handle.net/20.500.11799/141265>

Misra, J.K., Merca, S.D. & Mew, T.W. (1994). Fungal pathogens. In: Mew TW, Misra JK (eds) Manual of rice seed health testing. IRRI, Manila, 75–89.

Morales, R. (2020). Evaluación de la integración de métodos para el control de la costra negra (*Rhizoctonia solani* Kühn) en el cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L.). ICTA.
<https://www.icta.gob.gt/publicaciones/Informes%20Finales%20IICA-CRIA%202020/7%20PAPA/Control%20de%20Costra%20NegraRoberto%20MoralesICTA/Evaluacion%20de%20la%20integraci%C3%B3n%20de%20metodos%20para%20el%20control%20de%20la%20costra%20negra.pdf>.

Moratelli, F., Theodoro G.D.F., Buriola, P.M.B., Sehn, K.K. y Pereira, R. S.G.S. (2012). Controle do tombamento de plântulas de algodoeiro, causado por *Rhizoctonia solani*, através do tratamento de sementes. Biosci. J., Uberlândia, Vol 28 (4): 580-588. Recuperado:
https://www.researchgate.net/profile/Gustavo-Theodoro/publication/280728866_CONTROLE_DO_TOMBAMENTO_DE_PLANTULAS_DE_ALGODOEIRO_CAUSADO_POR_Rhizoctonia_solani_AT_RAVES_DO_TRATAMENTO_DE_SEMENTES_CONTROL_DAMPING_OFF_ON_COTTON_SEEDLINGS_CAUSED_BY_Rhizoctonia_solani_THROUGH_SEED_TRE/links/55c34cb708aebc967df00b29/CONTROLE-DO-TOMBAMENTO-DE-pLANTULAS-DE-ALGODOEIRO-CAUSADO-POR-Rhizoctonia-solani-ATRAVESDO-TRATAMENTO-DE-SEMENTES-CONTROL-DAMPING-OFF-ON-COTTON-SEEDLINGS-CAUSED-BY-Rhizoctonia-solani-THROUGH-SEED-T.pdf

Morel. (2023). Selección de ciclámenes Híbridos F1. Los hongos. *Rhizoctonia solani*. Disponible en: 98
<https://www.cyclamen.com/es/profesional/enfermedades/8/22> Fecha de consulta: octubre de 2023.

- Mukherjee, P. K. (2018). Chapter 4 - Qualitative Analysis for Evaluation of Herbal Drugs. 79-149, <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813374-3.00004-1>
- Mwanamwenge, S.P. Loss, K.H.M. Siddique, P.S. Cocks. (1999). Effect of water stress during floral initiation, flowering and podding on the growth and yield of faba bean (*Vicia faba* L.). *European Journal of Agronomy*, 2, 1-11pp.
- Navarrete-Maya, R. & Acosta-Gallegos, J. (1999). Reacción de variedades de frijol común a *Fusarium* spp. y *Rhizoctonia solani* en el altiplano de México. *Agronomía Mesoamericana*
- Navarrete-Maya, R., Trejo-Albarrán, E., Navarrete-Maya, J., Prudencio-Sains, J.M., Acosta-Gallegos, J.A. (2009). Reacción de genotipos de frijol a *Fusarium* spp. y *Rhizoctonia solani* bajo condiciones de campo e invernadero. *Agricultura técnica en México* 35(4): 459-470.
- NCBI (National Center for Biotechnology Information). (2024). Fecha de consulta: 10 de noviembre de 2024. Recuperado de <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/Taxonomy/Browser/wwwtax.cgi>
- Nerey, Y., Pannecouque, J., Hernandez, H.P., Diaz, M., Espinosa, R., De Vos S., Van Beneden, S., Herrera, L. & Höfte, M. (2010). *R. solani* causing root and hypocotyl rot in *Phaseolus vulgaris* in Cuba. *J Phytopathol* 158: 236–243.
- OMS (Organización Mundial de la Salud). (2022). Residuos de plaguicidas en los alimentos. Disponible en: Residuos de plaguicidas en los alimentos (who.int). Fecha de consulta: Julio de 2023.
- OMS (Organización Mundial para la Salud). (1996). The WHO recommended classification of pesticides by hazard and Guidelines to Classification. International Programme of Chemical Safety. Ginebra. WHO/IPCS/96.
- ORS - LP (OFICINA REGIONAL DE SEMILLA – LA PAZ). (2005). PROYECTO ACHACACHI, PREFECTURA LA PAZ Y JICA. Producción de Haba para consumo y semilla. La Paz, Bolivia. p: 48.

- Ou M., Hu K., Min Li M., Liu S., Zhang X., Lu X. M., Zhan X., Liao X., Li M. & Li R. (2024). Resistance risk assessment of *Rhizoctonia solani* to four fungicides. Vol.81 (2). Ppg 867-883. <https://doi.org/10.1002/ps.8490>
- Pabón, F.A. (1994). Programa de choque tecnológico. Pudrición de la vaina en arroz. Manejo y control. Recuperado de: https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/31614/38523_20919.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Papavizas, G. y Ayers, W. (1974) Especies de *Aphanomyces* y sus enfermedades radiculares en guisantes y remolacha azucarera. Departamento de Agricultura de EE. UU., Servicio de Res. Agrícola, Boletín Técnico 1485: 158.
- Paul, S.K., Gupta, D.R., Mahmud, N.U., Muzahid, A.N.M., Islam, M.T. (2022). Primer informe de podredumbre de cuello y raíz en haba causada por *Rhizoctonia solani* AG-2-2 IIB en Bangladesh. Plant Dis. 2022;106:1072. doi: 10.1094/PDIS-08-21-1603-PDN.
- Pereira, Da S. P., Alves De F. R. & Marcos-Nascimento W. (2013). Pea seed treatment for *Rhizoctonia solani* control. Journal of Seed Science, 35(1). <https://www.scielo.br/j/jss/a/HDHwSRMrfwLNRcksdYDrWSq/?lang=en>
- Pérez, L. D. J. y González, H. A. (2003). Cultivo y mejoramiento de haba. 1ª. Edición. Universidad Autónoma del Estado de México (UAEM). Toluca, Estado de México. 101 p.
- Pérez, W. & Forbes, G. (2010). División de manejo integrado de cultivos como puedo calcular la dosis por mochila si recomiendan la cantidad del producto por hectárea. Lima – Perú. Consultado el 22 de septiembre de 2012. email: cipotato@cgiar.org.

- Pilet-Nayel, M.L., Coyne C.J., Le May, C. & Banniza. (2024). Editorial: Enfermedades de las raíces de las leguminosas. Doi: 10.3389/fpls.2024.1393326
- Porco, F. & Terrazas, J. 2009. Manual de Enfermedades en plantas Página 97 de 132 herbáceas y arbóreas Haba. La Paz – Bolivia. pp. 125 – 126.
- Prabhu, S. and Rajeswari, D. (2018). Nutritional and biological properties of *Vicia faba* L.: A perspective review. International Food Research Journal 25: 1332-1340.
- Quevedo, G.J., Infante, N.J.C. & García, B.R.M. (2018). Efecto del uso predominante de fungicidas sistémicos para el control de *Sigatoka* negra (*Mycosphaerella Fijiensis* Morelet) en el área foliar del banano. Revista Científica Agroecosistemas 6(1): 128-136. Recuperado de <https://aes.ucf.edu.cu/index.php/aes>.
- R. Core Team. (2012). A lenguaje for modeling and environment for statical computing. R fundation for statical computing. Vienna Austria. Disponible en: URL:http://www.R_proyect_org/ Fecha de consulta: 10 de diciembre de 2019
- Rabago-Zavala, K., Valenzuela-Escoboza, F.A., López-Valenzuela, B.E., Ayala-Armenta, Q.A. & Pérez-Mora, J.L. (2025). Sensibilidad de especies de *Rhizoctonia* de frijol y maíz a fungicidas químicos. Revista mexicana de ciencias agrícolas. Recuperado de: DOI: 10.29312/remexca.v16i7.3836
- Ramírez, J.A. & Lacasaña, M. (2001). Plaguicidas: clasificación, uso, toxicología y medición de la exposición. Arch Prev Riesgos Labor [Internet] 2001 [citado 18 oct 2013];4(2):67-75. Disponible en: http://www.sistemamid.com/panel/uploads/biblioteca/2014-05-01_11-59-0899004.pdf

- Rivillas, O.C.A., Leguizamón C.J.E., Gil, V.L.F. (1999). Recomendaciones para el manejo de la roya del cafeto en Colombia. Boletín Técnico Cenicafé No 19: 1- 36.
- Rodríguez, H. A., Cardona, R., Arteaga, de R. L. y Alemán, L. (2001). Control químico del añublo de la vaina causado por *Rhizoctonia solani* Kühn en arroz. Bioagro 13(1): 32-38. Recuperado: <https://www.redalyc.org/pdf/857/85713105.pdf>
- SADER (2023, 10 de febrero). Legumbres, uno de los pilares alimenticios que ofrece el campo mexicano. Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. Gobierno de México. <https://www.gob.mx/agricultura/prensa/legumbres-uno-de-los-pilares-alimenticios-que-ofrece-el-campo-mexicano>
- SADER y SENASICA (2019). MANUAL PARA EL BUEN USO Y MANEJO DE PLAGUICIDAS EN CAMPO. Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria SENASICA- Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural SADER. Primera edición. 27-48. [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/452645/MANUAL PARA E L BUEN USO Y MANEJO DE PLAGUICIDAS EN CAMPO.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/452645/MANUAL_PARA_E_L_BUEN_USO_Y_MANEJO_DE_PLAGUICIDAS_EN_CAMPO.pdf)
- SAGARPA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación). (2017). Estado de México primer productor de haba verde. Recuperado de: <https://www.gob.mx/agricultura%7Cedomex/articulos/estado-de-mexico-primer-productor-de-haba-verde>
- Sánchez, A. J. H. y Cárdenas, A. M. (1988). Etiología y daños de las pudriciones radicales del frijol *Phaseolus vulgaris* L. en el estado de Durango. Revista Chapingo. 58–59:43–49.
- Sanzón Gómez, D., Aparicio Muñiz, A. de J., & Franco Medel, P. E. (2025). Evaluación de la sensibilidad de *Fusarium* sp. aislado de lechuga (*Lactuca sativa*) a fungicidas químicos y extractos vegetales. Jóvenes en la Ciencia, 37, 1–7. <https://doi.org/10.15174/jc.2025.4954>

- Sela, G. (2023). La rotación de esticidas. Recuperado: <https://croapaia.com/es/blog/rotacion-de-pesticidas/>
- Sharon M, Kuninaga S, Hyakumachi M, Naito S, Sneh B. 2008. Classification of *Rhizoctonia* spp. using rDNA-ITS sequence analysis supports the genetic basis of the classical anastomosis grouping. *Mycoscience* 49: 93–114.
- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). (2011). Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). Cierre de la producción agrícola por estado.
- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). (2019). Anuario estadístico de la producción agrícola. <http://infosiap.siap.gob.mx/aagricola-siap-gb/identidad/index.jsp>
- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2020. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Disponible en: <https://www.gob.mx/siap> Recuperado de: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/726671/Haba_verde_web.pdf
- Singh, D., Sangle, U., Kumar, B., Tripathi, H., Singh, K., & Gupta, A. K. (2012). Integrated disease management of faba bean (*Vicia faba* L.). In *Faba bean (Vicia faba L.): A potential leguminous crop of India* (pp. 279–301). ICAR Research Complex for Eastern Region.
- SMEAP. (2025). Fungicidas, Grupos y Modos de Acción. Recuperado de <https://SMEAPmexico.org/manejo-de-fungicidas-en-la-agricultura-moderna/>
- Sneh, B., Burpee, L. & Ogoshi, A. (1991). Identification of *Rhizoctonia* species. 133pp. APS Press, St. Paul, MN, USA.
- Stockwell V, Hanchey P. (1984). The role of the cuticle in resistance of beans to *Rhizoctonia solani*. *Phytopathology* 74: 1640–1642.

- Tapia, F. y Bascur, G. (1992). El haba: un cultivo con proyecciones. 2. Requerimientos climáticos, manejo y costos de producción [en línea]. Investigación y Progreso Agropecuario La Platina, Nov-Dic, 73: 33-40. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.14001/34830> (Consultado: 16 noviembre de 2024).
- Tazart, K., Lamacchia, C., Zaidi, F. y Haros, M. (2016). Nutrient composition and in vitro digestibility of fresh pasta enriched with *Vicia faba*. Journal of Food Composition and Analysis, 47, 8-15.
- Telenko, D.E.P., Chilvers, M.i., Byrne, A. M., Check, J.C., Da Silva, C.R., Kleczewski, N.M., Roggenkamp, E.E, Ross, T.J., and Smith, D.L. (2022). Fungicide Efficacy on Tar Spot and Yield of Corn in the Midwestern United States. <https://doi.org/10.1094/PHP-10-21-0125-RS>
- Tilman, D., Cassman, K. G., Matson, P. A., Naylor, R., Polasky, S. (2002). Agricultural sustainability and intensive production practices. Nature, 418, 671– 677. doi: 10.1038/nature01014.
- Tivoli, B., Banniza, S. (2007). Comparison of the Epidemiology of Ascochyta Blights on Grain Legumes. European Journal of Plant Pathology, 119(1), 59-76. DOI 10.1007/s10658-007-9117-9.
- Tivoli, B., Baranger, A., Avila, CM. (2006). Técnicas de cribado y fuentes de resistencia a enfermedades foliares causadas por los principales hongos necrotróficos en leguminosas de grano. Euphytica 147, 223–253 <https://doi.org/10.1007/s10681-006-3131-4>
- Torres, S.V., Vargas, M.M., Godoy-Lutz, G., Porch, T.G., Beaver, J.S. (2016). Los aislamientos de *Rhizoctonia solani* pueden producir síntomas de tizón hilachoso y pudrición radicular en frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.). Plant Dis. 2016;100:1351–1357. doi: 10.1094/PDIS-11-15-1270-RE.

- Valentín, T. S. Vargas, M.M., Godoy-Lutz, G., Porch, T.G., Beaver, J.S. (2016). Isolates of *Rhizoctonia solani* produce both web blight and root rot symptoms in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Plant Disease* 100(7): 1351-1357
- Vilchis, E. A. (2023). Ante ola de calor, protección civil de toluca emite recomendaciones. Ayuntamiento de toluca. Recuperado de: <https://www2.toluca.gob.mx/wp-content/uploads/2023/06/Comunicado-Num.-387-2023.pdf>
- Villca, R. 1995. Control Integrado de plagas del Haba (vicia faba) Tesis Ing. Agr. Facultad de Ciencias Agrícolas y Pecuarias. Universidad mayor de San Simón. Cochabamba – Bolivia. pp. 107.
- Visual Crossing. (2025). Weather query builder. Visual Crossing. Recuperado el 5 de mayo de 2026, de <https://www.visualcrossing.com/weather-query-builder/brazil/?v=wizard>
- Walker, T.S. Bais, H.P., Grotewold, E. & Vivanco, J. M. (2003). Root exudation and rhizosphere biology. *Plant Physiology* 132, 44e51.
- Zrenner, R., Verwaaijen, B., Genzel F., Flemer B. & Grosch R. (2021). Transcriptional changes in potato sprouts upon interaction with *Rhizoctonia solani* indicate pathogen- induced interference in the defense pathways of potato. *International Journal of Molecular Sciences* 22(6): 3094. <https://doi.org/10.3390/ijms22063094>

X. ANEXOS FOTOGRÁFICOS



Figura 21. Medición y distribución de tratamientos.



Figura 22. Fertilización maicera y riego rodado antes de la siembra.



Figura 23. Tratamiento de semillas previo a ser sembradas. Equipo de protección personal y mochila de aspersión manual.



Figura 24. Emergencia del haba, estado saludable.



Figura 25. Crecimiento del cultivo de haba, 30 a 40 DDS.



Figura 26. Comenzó la sintomatología, plantas decaídas.



Figura 27. Conforme la enfermedad avanzaba se mostró manchas en la base de la planta, plantas decaídas (similar a deshidratación) y hojas enrolladas.



Figura 28. La mancha basal en un comienzo era color rojizo, con forme ascendió se tornó marrón y negro, y la herida formaba un cráter.



Figura 29. Pudrición radicular, marchitez/ caída de hojas y flores, lesiones color marrón/rojizo y muerte para la planta.



Figura 30. Testigo absoluto y T5, más plantas muertas y daño en plantas de *Vicia faba* L.



Figura 31. En la primera cosecha plantas de haba ya habían muerto, o estaban por morir.



Figura 32. Plangas presentes en el cultivo: *Aphis fabae* (pulgón negro de las habas), frailecillo (*Macroductylus nigripes*) y gusano barrenador (*Melanagromyza fabae*). Y los daños en haba por frailecillo y gusano barrenador.



Figura 33. Comparación de vainas del T3 y el testigo absoluto. Peso de la vaina en la segunda cosecha.