



Universidad Autónoma del Estado de México
Facultad de Ciencias Agrícolas

**PROGRAMAS DE ASPERSIÓN DE FUNGUICIDAS EN EL
MANEJO DE ROYA (*Uromyces viciae-fabae*) EN EL VALLE DE
TOLUCA**

TESIS

**QUE COMO REQUISITO PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO AGRÓNOMO FITOTECNISTA**

PRESENTA

ADRIANA CANO PEREA

ASESORES:

DR. EN C. JESUS RICARDO SANCHEZ PALE

DR. ÁLVARO CASTAÑEDA VILDOZOLA

ASESOR EXTERNO:

DRA. MAGNOLIA MORENO VELAZQUEZ

**CAMPUS UNIVERSITARIO “EL CERRILLO”, EL CERRILLO
PIEDRAS BLANCAS, MUNICIPIO DE TOLUCA, MÉX.,**

MAYO DE 2026



INDICE

Agradecimientos.....	ii
RESUMEN.....	ix
ABSTRACT	x
I. INTRODUCCIÓN.....	12
II. OBJETIVOS.....	14
II.1 Objetivos específicos.....	14
III. HIPÓTESIS.....	15
IV. JUSTIFICACION	16
V. REVISION DE LITERATURA.....	17
5.1 Cultivo del haba.....	17
5.2 Importancia económica y alimentaria	17
5.3 Relevancia en la dieta humana y animal	19
5.4 Características agronómicas del haba	20
5.4.1 Condiciones climáticas y de suelo	20
5.4.2. Requerimientos del cultivo.....	21
5.5. Morfología	21
5.6. Taxonomía (NCBI, 2024).....	22
5.7. Fenología	22
5.8. Problemas fitosanitarios más comunes	25
5.8.1. Roya del haba (<i>Uromyces vicia-fabae</i>).....	26
Ciclo biológico del patógeno	26

Factores que favorecen la infección	28
Sintomatología	29
Impacto de la roya en el cultivo	29
Manejo de la roya	30
5.9. Control químico y sus implicaciones	30
5.10. Buen uso de funguicidas	31
5.11. La resistencia a funguicidas	31
5.12. Importancia del FRAC	33
Soluciones propuestas para mitigar la resistencia	33
5.13. Rotaciones de funguicidas	34
5.14. Resultados de estudios previos sobre rotación de funguicidas en otros cultivos	
34	
5.15. Funguicidas usados en el presente estudio	36
Oxicloruro de cobre o cloruro de cobre tribásico	36
Clorotalonil	36
Azoxystrobin	37
Tebuconazole	37
Epoxiconazole	37
VI. MATERIALES Y METODOS.....	40
6.1. Ubicación del ensayo	40
6.2. Material genético	41
6.3 Programas de rotación evaluados.....	41
6.4. Establecimiento del ensayo.....	43

6.5.	Preparación de los funguicidas.....	44
6.6.	Variables evaluadas.....	44
6.7.	Diseño experimental.....	45
6.8.	Análisis estadístico.....	45
6.9	Eficiencia de control.....	46
VII.	RESULTADOS.....	47
7.1.	Altura de planta.....	47
	Altura final de planta (116 DDS).....	49
6.2	Incidencia de roya.....	50
6.3	Severidad.....	52
	Severidad en porte bajo de la planta.....	52
	Severidad en porte medio de la planta.....	54
	Severidad Porte alto.....	57
	Rendimiento.....	59
	Eficiencia de control.....	60
VIII	DISCUSION.....	63
IX	CONCLUSIONES.....	69
X.	REFERENCIAS.....	70

INDICE DE CUADROS

Cuadro 1.	Principales estados productores de haba seca en 2024.....	18
Cuadro 2.	Principales estados productores de haba verde en 2024.....	18
Cuadro 3.	Composición nutricional de las habas crudas y cocidas (Porción de 100g) (Dhull, 2022).	19
Cuadro 4.	Requerimientos de fertilizantes para habas (Kg/ha).	21
Cuadro 5.	Características de los funguicidas usados en el presente estudio.	38
Cuadro 6.	Programas de rotación evaluados para el control de la roya del haba	42
Cuadro 7.	Análisis de varianza de área bajo la curva de altura de planta a través del tiempo. 47	
Cuadro 8.	Valores medios del área bajo la curva de altura de planta a través del tiempo por programa de rotación.....	48
Cuadro 9.	Análisis de varianza de área bajo la curva de altura final de planta	49
Cuadro 10.	Separación de medias del área bajo la curva para la variable altura de planta (cm). 50	
Cuadro 11.	Análisis de varianza de área bajo la curva del progreso de la incidencia de roya a través del tiempo.....	50
Cuadro 12.	Separación de medias del área bajo la curva de la incidencia de roya a través del tiempo por cada tratamiento de rotación de funguicidas.	51
Cuadro 13.	Análisis de varianza de área bajo la curva del progreso de la severidad de roya en el porte bajo de la planta a través del tiempo.	52
Cuadro 14.	Separación de medias del área bajo la curva de la severidad de roya en el porte bajo a través del tiempo por tratamiento.	53

Cuadro 15.	Análisis de varianza de área bajo la curva del progreso de la severidad de roya en el porte medio de la planta a través del tiempo.	55
Cuadro 16.	Cuadro 16. Separación de medias del área bajo la curva de la severidad de roya en el porte medio a través del tiempo por tratamiento.	56
Cuadro 17.	Análisis de varianza de área bajo la curva del progreso de la severidad de roya en el porte alto de la planta a través del tiempo.	57
Cuadro 18.	Separación de medias del área bajo la curva de la severidad de roya en el porte alto a través del tiempo por tratamiento.	58
Cuadro 19.	Rendimiento estimado en t/ha para cada programa de rotación.	60
Cuadro 20.	Eficiencia de control en cada porte de la planta (Bajo, Medio y Alto).	61

INDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Estadios fenológicos de <i>Vicia faba</i> L.	25
Figura 2.	<i>Uromyces viciae-fabae</i> en <i>Pisum sativum</i> . A-B: Ecios. C-D: Uredinios. E-F: Telios. Barra de escala: A-F = 0,5 mm (Gautam, Payal, Avasthi & Verma, 2022, Figura 1).	20
Figura 3.	<i>Uromyces viciae-fabae</i> en <i>Pisum sativum</i> . A: Ecios. B: Aeciosporas. C: Uredinios. D: Urediosporas. E-F: Teliosporas. Barra de escala: A-F = 20 μ m (Gautam, Payal, Avasthi & Verma, 2022, Figura 2).	21
Figura 4.	<i>Uromyces viciae-fabae</i> en <i>Vicia faba</i> . A: Ecios. B-C: Uredinios. D: Telios. E: Urediosporas. F: Teliosporas. Barra de escala: A-D = 1 mm, E-F = 20 μ m (Gautam, Payal, Avasthi & Verma, 2022, Figura 3).	28
Figura 5.	Efecto de áreas no tratadas, que actúan como fuente de inóculo, en la fuerza de la selección para la resistencia.	33

Figura 6. Ubicación geográfica de la Facultad de Ciencias Agrícolas de la UAEMex, Toluca, Estado de México (Google Maps, 2025).....	40
Figura 7. Datos de temperaturas máximas y promedio de humedad presentados en la Facultad de Ciencias Agrícolas durante el año 2023 (Visual Crossing Corporation, 2024). 41	41
Figura 8. Croquis de los programas de rotación establecidos en campo	44
Figura 9. Escala diagramática para evaluar la severidad de roya	45
Figura 10. Grafica de alturas de planta a través del tiempo.....	48
Figura 11. Progreso de la enfermedad ocasionada por <i>Uromyces vicia faba</i> en Haba durante el ciclo primavera-verano 2023 en el Valle de Toluca.	52
Figura 12. Progreso de la severidad de la enfermedad ocasionada por <i>Uromyces vicia faba</i> en Haba en el porte bajo de la planta.....	54
Figura 13. Progreso de la severidad de la enfermedad ocasionada por <i>Uromyces vicia faba</i> en Haba en el porte medio de la planta.....	57
Figura 14. Progreso de la severidad de la enfermedad ocasionada por <i>Uromyces vicia faba</i> en Haba en el porte alto de la planta.....	59
Figura 15. Rendimiento total en gramos obtenido de dos cortes	60

ANEXOS

Imagen 1. Preparación del terreno para sembrar.	81
Imagen 2. Medición del terreno para establecer los tratamientos.	82
Imagen 3. Preparacion de la semilla para su posterior siembra.....	82

Imagen 4. Siembra del haba.	83
Imagen 5. Primeras plantas emergiendo.....	83
Imagen 6. Plantas a aproximadamente 23 DDS.	83
Imagen 7. Herramientas y deshierbe de los tratamientos.	84
Imagen 8. Fotos del terreno y los tratamientos.....	84
Imagen 9. Aplicación de los tratamientos.	85
Imagen 10. Sintomatología y estructuras de roya en hojas de haba.	86
Imagen 11. Fotos de las vainas de haba bajo los diferentes tratamientos	87

RESUMEN

El cultivo de haba (*Vicia faba* L.) es afectado por diversas enfermedades fúngicas, entre las que destaca la roya causada por *Uromyces viciae-fabae*, la cual reduce la producción y calidad. Aunque el control químico es la estrategia más utilizada, su uso continuo favorece la aparición de resistencia en los patógenos. Como alternativa, el Comité de Acción contra la Resistencia a Fungicidas (FRAC) recomienda la rotación de modos o sitios de acción (MoA) para retrasar este fenómeno. El objetivo de este estudio fue evaluar cuatro programas de rotación MoA de fungicidas para el manejo de la roya en haba. El experimento se estableció bajo un diseño de bloques completos al azar con seis tratamientos: cuatro programas de rotación (R1(OxiCu-Cl-Az-Tb), R2(OxiCu-Cl-Az-Ep), R3(Cl-OxiCu-Tb-Az) y R4(Cl-OxiCu-Ep-Az)), un tratamiento con aplicación continua de un mismo ingrediente activo (clorotalonil) y un testigo absoluto (sin fungicida), con cuatro repeticiones y unidades experimentales de 7.2 m². Se evaluó la variable altura de planta, incidencia, severidad, área bajo la curva del progreso de la enfermedad, rendimiento en vaina verde y eficiencia de control. Los resultados indicaron que no se observaron diferencias significativas entre los diferentes tratamientos para altura de planta durante el ciclo, aunque en la altura final se registró una diferencia de hasta 16 cm en la rotación 1 respecto al testigo. El testigo absoluto presentó la mayor incidencia, mientras que el programa R4 (Cl-OxiCu-Ep-Az) mostró el menor valor del área bajo la curva del progreso de la enfermedad a través del tiempo. El programa R3 (Cl-OxiCu-Tb-Az) detuvo el incremento de la incidencia a partir de los 81 días después de la siembra. En términos de severidad, la rotación R1 (OxiCu-Cl-Az-Tb) presentó los menores valores en los diferentes estratos de la planta. El mayor rendimiento se obtuvo con el programa 4, con 2,995 kg/ha, superando hasta en 792% al testigo absoluto. Sin embargo, factores ambientales como altas temperaturas y la presencia de otros patógenos, como *Botrytis* spp. y *Alternaria* spp., también influyeron en el desarrollo del cultivo. En conclusión, las rotaciones R1 y R4 mostraron la mayor eficiencia en el control de la roya, constituyendo una estrategia viable para el manejo integrado de la enfermedad y la mejora del rendimiento en haba.

Palabras clave: roya del haba, rotación de MoA, control.

ABSTRACT

The cultivation of fava beans (*Vicia faba* L.) is affected by several fungal diseases. One important pathogen due to its reduction of production and quality is rust caused by *Uromyces viciae-fabae*. Although chemical control is the most frequently utilized strategy, the continuous use of a single mode of action (MoA) or active ingredient favors pathogen resistance. As an alternative, the Fungicide Resistance Action Committee (FRAC) recommends rotation of MoA to slow down this phenomenon. The objective of this study was to evaluate four fungicide MoA rotation programs for the management of rust in fava beans. We established a completely randomized block experimental design with six treatments that included one treatment with constant application of the same active ingredient (clorotalonil), a negative control (no fungicide), and four rotation programs: R1(OxiCu-Cl-Az-Tb), R2(OxiCu-Cl-Az-Ep), R3(Cl-OxiCu-Tb-Az) and R4(Cl-OxiCu-Ep-Az). The design had four replicates, with each experimental unit measuring 7.2 m². We evaluated the variables plant height; incidence, severity, and area under the disease progress curve; yield of green pods; and control efficiency. We found no significant differences among the treatments in plant height during the cycle, although there was a final height difference of up to 16 cm between the rotation treatments and the negative control. Rust appeared 60 days after planting in all treatments. The negative control had the highest incidence, while the R4 program (Cl-OxiCu-Ep-Az) had the lowest area under the disease progress curve over time. The R3 program (Cl-OxiCu-Tb-Az) halted disease incidence at 81 days after planting. In terms of disease severity, the R1 program (OxiCu-Cl-Az-Tb) had the lowest values in the different strata of the plant. The R4 program had the highest yield with 2,995 kg/ha, up to 792% higher than the negative control. However, environmental factors such as high temperatures and the presence of other pathogens, such as *Botrytis* spp. and *Alternaria* spp., also influenced the development of the crop. In conclusion, rotations R1 and R4 showed the highest efficiency in controlling rust, constituting a viable strategy for the integrated management of the disease and improving the yield of green fava beans.

Keywords: fava bean rust, MoA rotation, control

I. INTRODUCCIÓN

El haba (*Vicia faba L.*) es una planta de porte recto, se cultiva en diversas regiones del mundo debido a su valor alimenticio y su adaptación a diferentes condiciones agroclimáticas. En México, el haba constituye un ingrediente tradicional de la gastronomía, consumiéndose en su estado verde como verdura cocida, o seca como leguminosa en guisos y en la popular sopa de habas (SIAP, 2026).

En el país, los principales estados productores de haba son Michoacán, Hidalgo, Puebla, Tlaxcala y el Estado de México, siendo el Valle de Toluca una de las regiones con mayor superficie cultivada. Sin embargo, en los últimos años el cultivo se ha visto afectado por diversas enfermedades fúngicas, entre las que destaca la roya, causada por *Uromyces viciae-fabae*. Esta enfermedad ataca principalmente la parte aérea de la planta desde las etapas tempranas de desarrollo hasta la madurez fisiológica, pudiendo causar daños severos en el follaje y reducciones significativas en el rendimiento y la calidad del grano (Agrosavia, 2023; Rojas-Tiempo et al., 2011).

De acuerdo con Fragoso-Benhumea et al. (2022), los primeros síntomas de roya en el Valle de Toluca se manifiestan alrededor de los 75 días después de la siembra (DDS) en el estrato bajo de la planta, y a los 90 DDS en los estratos medio y alto de variedades criollas. La incidencia puede alcanzar hasta el 100% a partir de los 135 DDS, con niveles de severidad entre 40 y 62% en hojas de los estratos bajo y medio, siendo menor el daño en la parte superior. Inicialmente, la enfermedad se presenta de forma agregada en manchones dentro de la parcela, aunque hacia el final del ciclo tiende a distribuirse de manera uniforme.

El control de la roya resulta fundamental para minimizar las pérdidas económicas del cultivo. Entre las estrategias más empleadas se encuentra el control químico, basado en la aplicación de fungicidas en momentos estratégicos del ciclo de vida del patógeno. Los fungicidas son sustancias destinadas a destruir o inhibir el desarrollo de hongos, levaduras y mohos (NCI, 2011). No obstante, su eficacia depende de la selección adecuada del ingrediente activo, el momento oportuno de aplicación y el respeto a las dosis e intervalos recomendados (Díaz et al., 2018).

Un uso inadecuado y repetitivo de los mismos productos puede inducir la resistencia del hongo a los fungicidas, fenómeno definido como la capacidad de una población para tolerar dosis que normalmente serían letales (World Health Organization [WHO], 1957). Por ello, se recomienda alternar fungicidas con diferentes modos de acción, de acuerdo con las guías del Comité de Acción contra la Resistencia a Fungicidas (Fungicide Resistance Action Committee [FRAC], 2025).

En el Valle de Toluca, se ha observado que muchos productores aplican fungicidas sin seguir las dosis ni los intervalos sugeridos por los fabricantes, además de que el cultivo de haba carece de registros oficiales sobre ingredientes activos autorizados. Estas prácticas podrían estar favoreciendo la aparición de poblaciones resistentes del hongo causante de la roya.

Por lo anterior, el objetivo del presente trabajo fue evaluar distintas rotaciones de fungicidas para determinar su eficacia en el control de la roya del haba y contribuir a la prevención del desarrollo de resistencia del patógeno en el Valle de Toluca.

II. OBJETIVOS

Evaluar cuatro programas de rotación de funguicidas en el manejo de la roya (*Uromyces viciae-fabae*) en el cultivo de haba (*Vicia faba* L.).

II.1 Objetivos específicos

- I. Determinar el nivel de incidencia de roya en cada rotación evaluada.
- II. Determinar el nivel de daño ocasionado en haba durante los diferentes muestreos en cada rotación.
- III. Determinar el área bajo la curva del progreso de incidencia y severidad de la roya (*Uromyces viciae-fabae*) en cada rotación evaluada.
- IV. Obtener el rendimiento de haba (*Vicia faba* L.) obtenido en cada programa de rotación de funguicidas.

III. HIPÓTESIS

Por lo menos una propuesta de rotación de funguicidas controlará los niveles de severidad e incidencia de Roya (*Uromyces viciae-fabae*) en haba (*Vicia faba L.*).

IV. JUSTIFICACION

El control químico de la roya en el cultivo de haba se basa en el uso de fungicidas que inhiben el desarrollo del hongo *Uromyces viciae-fabae*, agente causal de la enfermedad. Esta práctica es la herramienta principal de los agricultores, ya que permite un control rápido y eficaz, especialmente en condiciones ambientales favorables para la propagación de la enfermedad o cuando la infección alcanza niveles muy altos.

En los últimos años se ha observado un incremento en la severidad de la roya y su presencia durante los ciclos invernales, lo cual podría estar asociado con cambios en el régimen de temperaturas y con prácticas inadecuadas de manejo químico. En el Valle de Toluca, muchos productores aplican fungicidas de forma empírica, sin considerar las dosis, intervalos o recomendaciones técnicas del fabricante, ni los grupos químicos o modos de acción a los que pertenecen los productos. Esta situación representa un riesgo significativo, ya que el uso indiscriminado o repetido de los mismos ingredientes activos puede favorecer el desarrollo de resistencia en las poblaciones del hongo, reduciendo la eficacia de los tratamientos.

Por lo que es necesario promover un uso racional de los fungicidas, tomando en cuenta su modo de acción y la rotación de grupos FRAC, con el fin de minimizar la resistencia. Por lo anterior mencionado, se tiene la necesidad de evaluar diferentes programas de rotación de fungicidas con base en su modo de acción, para diseñar estrategias de control que contribuyan a disminuir la severidad de la roya del haba y, al mismo tiempo, prevenir la aparición de resistencia.

V. REVISION DE LITERATURA

5.1 Cultivo del haba

El haba es una leguminosa anual conocida botánicamente como *Vicia faba* L. Este cultivo se conoce por varios nombres como haba, habichuela, alubia, faba, frijol, fabolines, habera, habita, habones y jaba, la mayoría de los cuales se refieren a un subgrupo específico y no a la especie completa (Oplinger et al., 1989; Koppert México, 2025). Alcanza una altura de 0.5–1.8 m y es una planta de porte recto y tallos resistentes de sección cuadrada. El fruto es una vaina ancha y carnosa de color verde que se vuelve negro-marrón al madurar, y tiene una piel vellosa. Actualmente, las variedades modernas, especialmente cultivadas para la producción alimentaria, tienen vainas de 15-25 cm de largo y un grosor de 2-3 cm. Cada vaina contiene de 3-8 semillas las cuales son redondas o con una forma más ovalada (Koppert México, 2025).

5.2 Importancia económica y alimentaria

El haba (*Vicia faba* L.) es la séptima legumbre de grano en importancia en el mundo, tiene un alto valor nutricional por su contenido de proteínas, hidratos de carbono, vitaminas y sales minerales. Se puede consumir en verde o ya madura y el follaje es muy apreciado para la alimentación del ganado (INTAGRI, 2023).

La producción de haba en el mundo en el año 2023 fue de 6 073 526 toneladas para haba seca y de 1637 887 toneladas para haba verde, con un rendimiento estimado de 2 182 kg/ha y 6 582kg/ha para haba seca y verde respectivamente (FAO, 2023).

Los principales países productores de haba seca en 2023 fueron: China (1 698 633 t), Etiopia (1 156 021 t), Reino Unido de Gran Bretaña e Irlanda del Norte (685 264 t) y Australia (635 000 t). Para haba verde fueron Argelia (312 576 t), China (192 112 t) y Egipto (172 093 t) (FAO, 2023).

México en el contexto mundial ocupa el lugar número 20 en producción de haba seca y el lugar número 7 en producción de haba verde.

En México durante 2024 se sembraron 16 406 ha de haba seca, se obtuvo una producción de 27 006 t con un rendimiento promedio de 1.65 t/ha y un valor producción de 322 764 miles de pesos. Para haba verde en el mismo año se sembraron 8 341 ha, se obtuvo una

producción de 53,806 t con un rendimiento promedio de 6.45 t/ha y un valor producción de 310 812 miles de pesos (SADER, 2024).

Los principales estados productores en 2024 de haba seca fueron Veracruz (12 883 t), Puebla (9 642 t) y Tlaxcala (2 992 t). Para haba verde fueron Puebla (2 1096 t), Estado de México (18 134 t), y Michoacán (8 678 t) (SADER, 2024)

En 2024 el Estado de México ocupó el 5° lugar en producción de haba seca y el 2° lugar en producción de haba verde (Cuadro 1 y 2).

Cuadro 1. Principales estados productores de haba seca en 2024.

Estado	Producción (Haba seca)
Veracruz	12,883.26
Puebla	9,642.73
Tlaxcala	2,992.54
Michoacán	625.91
México	393.9
Morelos	237.6
Hidalgo	200.73
Oaxaca	22.96
Guerrero	6.94

Fuente: SADER (2024)

Cuadro 2. Principales estados productores de haba verde en 2024.

Estado	Producción (Haba verde)
Puebla	21,096.86
México	18,134.71
Michoacán	8,678.83
Tlaxcala	3,321.18
Veracruz	1,309.67
Ciudad de México	522.4
Morelos	420.4
Hidalgo	276.8
Baja California	40
Baja California Sur	6.12

Fuente: SADER (2024).

Los principales municipios productores de haba seca en 2024 fueron Juchitepec (164 t), Atlacomulco (71 t) y Ozumba (40 t). De haba verde fueron Coatepec Harinas (1 960 t), Texcaltitlan (1 852), Tianguistenco (1363 t) y Toluca (1258 t) (SADER, 2024).

5.3 Relevancia en la dieta humana y animal

Las habas son una fuente rica de proteínas ricas en lisina, carbohidratos, minerales, vitaminas y numerosos compuestos bioactivos, especialmente polifenoles, flavonoides, vitaminas y minerales. Estos compuestos polifenólicos son conocidos por sus múltiples beneficios para la salud. También son una buena fuente de l-3,4-dihidroxifenilalanina (L-DOPA), precursora de la dopamina y potencialmente útil para el tratamiento de la enfermedad de Parkinson (Dhull et al., 2022).

Las habas descoloridas, arrugadas, infestadas y rotas presentan características de baja calidad.

Cuadro 3. Composición nutricional de las habas crudas y cocidas (Porción de 100g) (Dhull, 2022).

Composicion	Unidad ^b	Semillas inmaduras		Semillas maduras	
		Crudas ^b	Cocidas (con sal) ^b	Crudas ^b	Cocidas (sin sal) ^c
Proximatós					
Agua	g	81	83.7	10.98	--
Energía	kcal/kj	72/301	62/259	341/1425	110/460
Proteína	g	5.6	4.8	26.12	7.6
Lípidos totales (grasas)	g	0.6	0.5	1.53	0.4
Cenizas	g	1.1	0.9	3.08	--
Carbohidratos, diferencia	por g	11.7	10.1	58.29	19.6
Fibra dietética total	g	4.2	--	25	5.4
Minerales					
Calcio	mg	22	18	103	36.0
Hierro	mg	1.9	1.5	6.7	1.5
Magnesio	mg	38	31	192	43.0
Fósforo	mg	95	73	421	124.7

Potasio	mg	250	193	1,062	268.2
Sodio	mg	50	277	13	5.0
Zinc	mg	0.58	0.47	3.14	1.0
Vitaminas a					
Vitamina C, ácido ascórbico total	mg	33	19.8	1.4	0.3
Niacina	mg	1.5	1.2	2.832	0.7
Folato, total	µg	96	58	423	104.1
Vitamina A	UI	350	270	53	15.0
Vitamina K (filoquinona)	µg	nr	nr	9	2.9

a Tiamina, riboflavina, ácido pantoténico y vitamina B6: todos <1,0 mg en habas crudas y cocidas.

b USDA 2021

c Nutrition Data 2021

Además de los usos culinarios, la especie se cultiva para alimento animal y forraje, y como cultivo de cobertura para reducir la erosión y agregar nitrógeno al suelo (Byrne, 2023).

Como el haba es una leguminosa, presenta ciertas ventajas como periodos cortos de crecimiento y fijación biológica de nitrógeno (BNF), por lo que podría desempeñar un papel importante en los sistemas de cultivo, por ejemplo en cultivos intercalados, esto ayudaría a satisfacer la creciente demanda de alimentos (Mordor Intelligence, 2023).

5.4 Características agronómicas del haba

5.4.1 Condiciones climáticas y de suelo

El cultivo de haba tiene un manejo agronómico relativamente sencillo con algunas excepciones como su baja tolerancia al agua excesiva y a la sequía extrema. El cultivo de haba es tolerante a las heladas en las primeras etapas de su desarrollo, puede soportar temperaturas desde -5°C, pero en la etapa de floración la temperatura mínima es de 10°C para evitar el aborto de frutos. En general prefiere temperaturas uniformes templado-cálidas, mostrando mejor comportamiento en climas templado-húmedo que en climas cálidos-secos. Temperaturas superiores a los 30°C durante el periodo comprendido entre la floración y el cuajado de las vainas, pueden provocar abortos tanto de flores como de vainas inmaduras, aumentando la fibrosidad de estas (INTAGRI, 2023).

Es una planta poco exigente en relación con las condiciones del suelo, siendo los más convenientes los arcillosos silicios o calizos, con adecuada cantidad de materia orgánica, profundos y bien drenados, el pH óptimo oscila entre 7.3 y 8.2, y es relativamente tolerante a la salinidad (SIAP, 2021).

La siembra puede realizarse a chorrillo, dejándola caer sobre el surco; a golpe, a mano o con sembradora. Las semillas se disponen en líneas separadas de 50 a 60 cm. Entre planta y planta se dejarán de 25 a 30 cm. La germinación se produce de 8 a 12 días después de la siembra (INTAGRI, 2023).

5.4.2. Requerimientos del cultivo

Durante la primera fase del cultivo las habas obtienen el nitrógeno del suelo como las demás plantas posteriormente se produce la simbiosis con *Rhizobium leguminosarum* por lo que se debe de considerar la aplicación de pequeñas dosis de nitrógeno en la primera fase de la formación de la plántula (25 kg N/ha) especialmente en periodos fríos o cuando las condiciones medioambientales no favorecen a la simbiosis. El fósforo estimula el desarrollo del sistema radicular, la floración y, en consecuencia, el número de vainas y granos, además de aumentar el peso de los nódulos del *Rhizobium*. Por su parte, el potasio contribuye a la síntesis de carbohidratos y proteínas, regula la transpiración, mejora la resistencia a sequías, heladas y enfermedades criptogámicas, y también estimula la formación de vainas (Junta de Andalucía, 2015).

Cuadro 4. Requerimientos de fertilizantes para habas (Kg/ha).

Producción Esperada	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Hasta 1000	10–15	20–30	25–40
1000–2000	15–20	30–40	35–50
Mas de 2000	20-30	40-70	45-100

Fuente: Junta de Andalucía (2015).

5.5. Morfología

El haba presenta un sistema radicular bien desarrollado, capaz de formar nódulos mediante la asociación con bacterias del género *Rhizobium*, su tallo es de sección cuadrangular, hueco, de color verde y alcanza entre 0,8 y 1,5 m de altura, observándose en algunas variedades manchas de diferente intensidad. Sus hojas son compuestas, con 2

a 4 folíolos de forma oval y color verde oscuro, acompañadas de estípulas bastante desarrolladas que, en ocasiones, presentan manchas oscuras. Las flores se agrupan en inflorescencias que surgen de las yemas axilares en número de 2-8. Son de color blanco, a veces teñido de color violáceo. El fruto es una legumbre de forma y tamaño variable, con una producción de 1 a 4 vainas por nudo, cuyo interior presenta un tejido blanco que le confiere un aspecto y tacto característicos. Las semillas son de tamaño mediano a grande, de forma ovalada y color verde o crema, con una capacidad germinativa de hasta cuatro años (AgroEs, s.f.).

5.6. Taxonomía (NCBI, 2024)

Reino: Plantae

División: Magnoliophyta

Clase: Magnoliopsida

Orden: Fabales

Familia: Fabaceae

Subfamilia: Faboideae

Género: *Vicia*

Especie: *Vicia faba* L.

5.7. Fenología

Para Weber and Bleiholder et al. (1996) y Lancashire et al. (1991) el haba presenta los siguientes estados fenológicos:

0: Germinación

00 Semilla seca

01 Comienzo de la imbibición de la semilla

03 Fin de la imbibición de la semilla

05 La radícula (raíz embrional), fuera de la semilla

07 Brote fuera de la semilla (se ve la plúmula)

08 Brote crece hacia la superficie del suelo

09 Emergencia: El brote traspasa la superficie del suelo

Estadio principal 1: Desarrollo de las hojas (tallo principal)

- 10 Par de hojas escama visibles
- 11 Primera hoja verdadera desplegada
- 12 Dos hojas verdaderas desplegadas
- 13 Tres hojas verdaderas desplegadas
- 14-18 Desarrollo progresivo de hojas verdaderas
- 19 Nueve o más hojas verdaderas desplegadas

Estadio principal 2: Formación de brotes laterales

- 20 No hay brotes laterales
- 21 Comienzo del desarrollo de los brotes laterales: se observa el 1er. brote lateral
- 22 Dos brotes laterales visibles
- 23 Tres brotes laterales visible
- 24-28 Desarrollo progresivo de los brotes laterales.
- 29 Fin del desarrollo de brotes laterales: se observan nueve o más brotes laterales

Estadio principal 3: Crecimiento longitudinal del tallo principal

- 30 Inicio del crecimiento longitudinal del tallo
- 31 Un entrenudo alargado visible
- 32 Dos entrenudos alargados visibles
- 33 Tres entrenudos alargados visibles
- 34-38 Desarrollo progresivo de entrenudos alargados.
- 39 Nueve o más entrenudos alargados visibles

Estadio principal 4. Desarrollo de órganos vegetativos cosechables

No aplicable para *Vicia faba L.*, ya que la especie no presenta estructuras vegetativas de interés agronómico durante esta fase.

Estadio principal 5. Aparición del órgano floral (tallo principal)

- 50 Botones florales, presentes, aún rodeados por las hojas
- 51 Primeros botones florales, visibles fuera de las hojas
- 55 Primeros botones florales individuales, visibles por fuera de las hojas, pero aún cerrados
- 59 Primeros pétalos, visibles; muchos botones florales individuales, aún cerrados

Estadio principal 6. Floración (tallo principal)

- 60 Primeras flores, abiertas
- 61 Comienzo de la floración: flores del primer racimo, abiertas
- 63 Flores abiertas en 3 racimos de cada planta
- 65 Plena floración: flores, abiertas en 5 racimos de cada planta
- 67 La floración decae
- 69 Fin de la floración

Estadio principal 7. Formación del fruto

- 70 Primeras vainas (legumbres) han alcanzado su tamaño final ("legumbre plana")
- 71 10 % de las vainas (legumbres) han alcanzado su tamaño final
- 72 20 % de las vainas (legumbres) han alcanzado su tamaño final
- 73 30 % de las vainas (legumbres) han alcanzado su tamaño final
- 74 40 % de las vainas (legumbres) han alcanzado su tamaño final
- 75 50 % de las vainas (legumbres) han alcanzado su tamaño final
- 76 60 % de las vainas (legumbres) han alcanzado su tamaño final
- 77 70 % de las vainas (legumbres) han alcanzado su tamaño final
- 78 80 % de las vainas (legumbres) han alcanzado su tamaño final
- 79 Casi todas las vainas (legumbres) han alcanzado su tamaño final

Estadio principal 8. Maduración de frutos y semillas

- 80 Comienzo de la maduración: semillas, verdes; rellenando la cavidad de la vaina (legumbre)
- 81 10 % de las vainas (legumbres), maduras; semillas, secas y duras
- 82 20 % de las vainas (legumbres) maduras y oscuras; semillas, secas y duras
- 83 30 % de las vainas (legumbres) maduras y oscuras; semillas, secas y duras
- 84 40 % de las vainas (legumbres) maduras y oscuras; semillas, secas y duras
- 85 50 % de las vainas (legumbres) maduras y oscuras; semillas, secas y duras
- 86 60 % de las vainas (legumbres) maduras y oscuras; semillas, secas y duras
- 87 70 % de las vainas (legumbres) maduras y oscuras; semillas, secas y duras
- 88 80 % de las vainas (legumbres) maduras y oscuras; semillas, secas y duras
- 89 Madurez completa: casi todas las vainas (legumbres), oscuras; semillas, secas y duras.

Estadio principal 9. Senescencia

93 Los tallos comienzan a oscurecerse

95 50 % de los tallos marrones o negros

97 Planta, muerta y seca

99 Partes cosechadas

El crecimiento longitudinal del tallo puede ocurrir tempranamente en el estadio 19, en tal caso continuar con el estadio principal 3. El primer entrenudo extendido va del nudo del par de hojas escamas al nudo de la primera hoja verdadera.

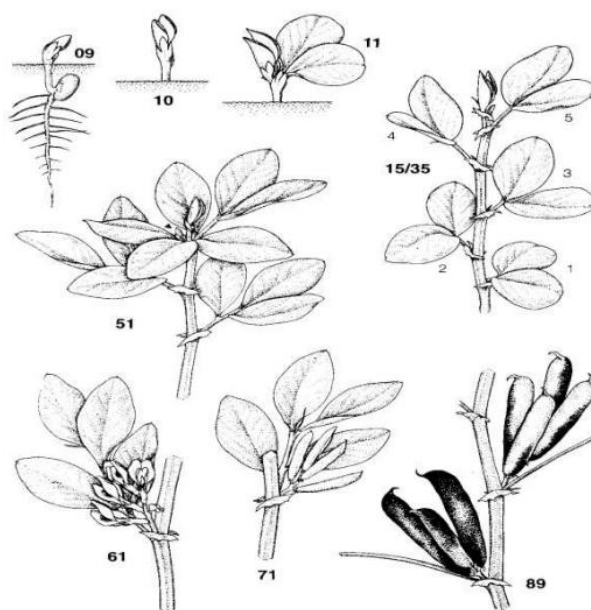


Figura 1. Estadios fenológicos de *Vicia faba* L. donde 09) emergencia, 10) par de hojas escama, 11) 1° hoja desplegada, 15/35) desarrollo de las hojas, formación de brotes laterales y crecimiento longitudinal del tallo principal, 51) primeros botones florales, 61) comienzo de la floración, 71) formación de frutos, 89) madurez completa de vainas (Bleiholder et al., 1996).

5.8. Problemas fitosanitarios más comunes

Vicia faba L. es altamente susceptible a diversas enfermedades y plagas que afectan su rendimiento y calidad. Entre las enfermedades fúngicas destacan la mancha chocolate (*Botrytis fabae*), la antracnosis del haba (*Colletotrichum fabae*), la fusariosis (*Fusarium oxysporum* f. sp. *fabae*) y la roya (*Uromyces viciae-fabae*). Asimismo, puede verse afectada por virus como el mosaico amarillo (*Faba bean yellow mosaic virus*), el enrollado de la hoja (*Faba bean leaf roll virus*) y la mancha del haba (*Faba bean necrotic*

yellow's virus). Las plagas de nematodos (*Meloidogyne spp.*) y los insectos, incluyendo pulgones (*Aphis fabae*), gorgojos (*Bruchus rufimanus*), barrenador de vainas (*Etiella zinckenella*) y minadores de hoja (*Liriomyza spp.*), constituyen otros factores que limitan a este cultivo (Checa, 1994; Agrosavia; Kumari et al., 2016; Stoddard et al., 2010)

5.8.1. Roya del haba (*Uromyces vicia-fabae*)

Uromyces vicia-fabae es un hongo de roya macrocíclico que presenta todas las estructuras de esporas conocidas en los Uredinales y es autoecio (autoico) por naturaleza, es decir, todas sus esporas se forman en un solo hospedero (Hahn et al., 1997). Es un hongo con reproducción sexual y asexual.

Ciclo biológico del patógeno

Su ciclo de vida empieza cuando después de invernar en los restos del cultivo que quedan tras la cosecha, en primavera se desarrollan **teliosporas diploides**, que producen un **metabasidio**. Tras la meiosis, el metabasidio genera **cuatro basidiosporas haploides** con dos tipos de apareamiento diferentes. Estas esporas inician la germinación al encontrar una superficie de hospedero adecuada y producen estructuras de infección. En primer lugar, se forman los picnidios de varios tipos de apareamiento, que contienen **picniosporas**. Estas picniosporas se intercambian entre picnidias de distintos tipos de apareamiento. Después de la **espermatización**, ocurre la **dicariorización** en la etapa temprana de los **ecios**. Una vez separados, los **ecios** producen **eciosporas dicariorotas**, que germinan y forman estructuras de infección. De los ecios se desarrollan las **uredias**, que producen **uredosporas**. La uredospora es el principal tipo de espora asexual de la roya, producida en grandes cantidades mediante infecciones repetidas de las plantas hospederas a lo largo del verano (Brown & Hovmoller, 2002).

Las **teliosporas** aparecen en las mismas fuentes que las uredias y se desarrollan a partir del mismo micelio (Singh, 1973). El principal medio de dispersión de la roya es el viento, aunque las esporas también pueden transportarse por pájaros e insectos, o como consecuencia de la actividad humana (Sanidad y Protección Vegetal, 2025). Las estructuras generales producidas por este patógeno de la roya se muestran en las Figs. 1, 2, 3.

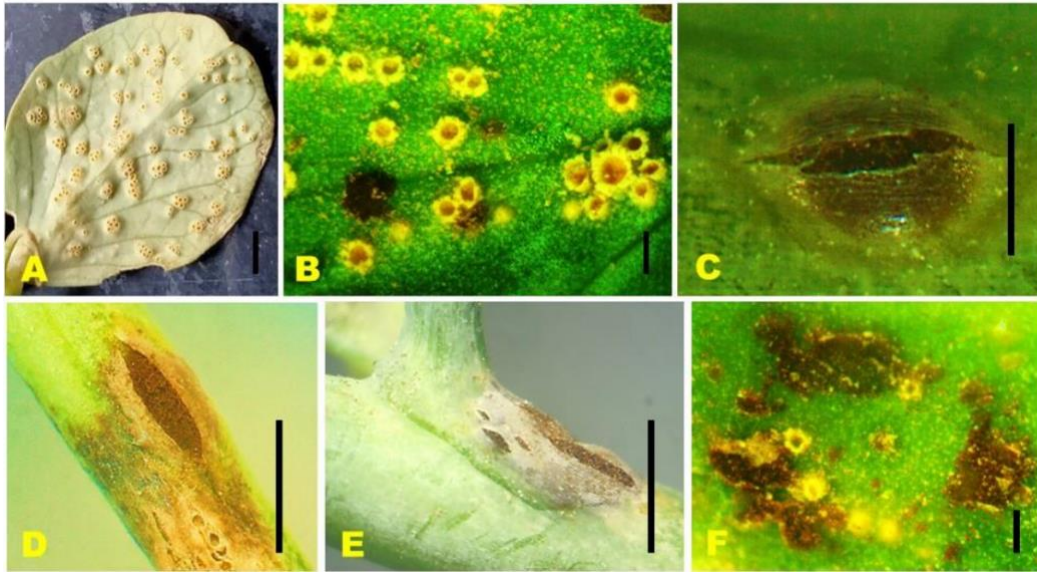


Figura 2. *Uromyces viciae-fabae* en *Pisum sativum*. A-B: Ecios. C-D: Uredinios. E-F: Telios. Barra de escala: A-F = 0,5 mm. Fuente: Gautam et al. (2022).

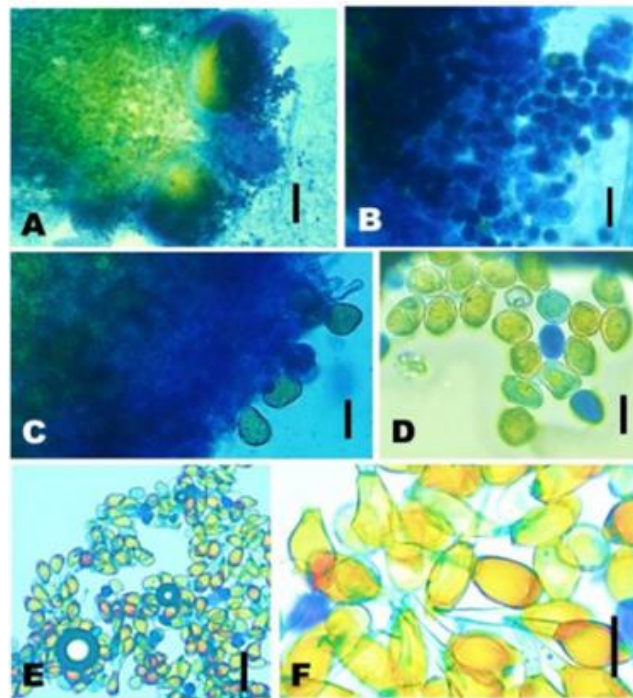


Figura 3. *Uromyces viciae-fabae* en *Pisum sativum*. A: Ecios. B: Aeciosporas. C: Uredinios. D: Urediosporas. E-F: Teliosporas. Barra de escala: A-F = 20 μ m Fuente: Gautam et al. (2022).

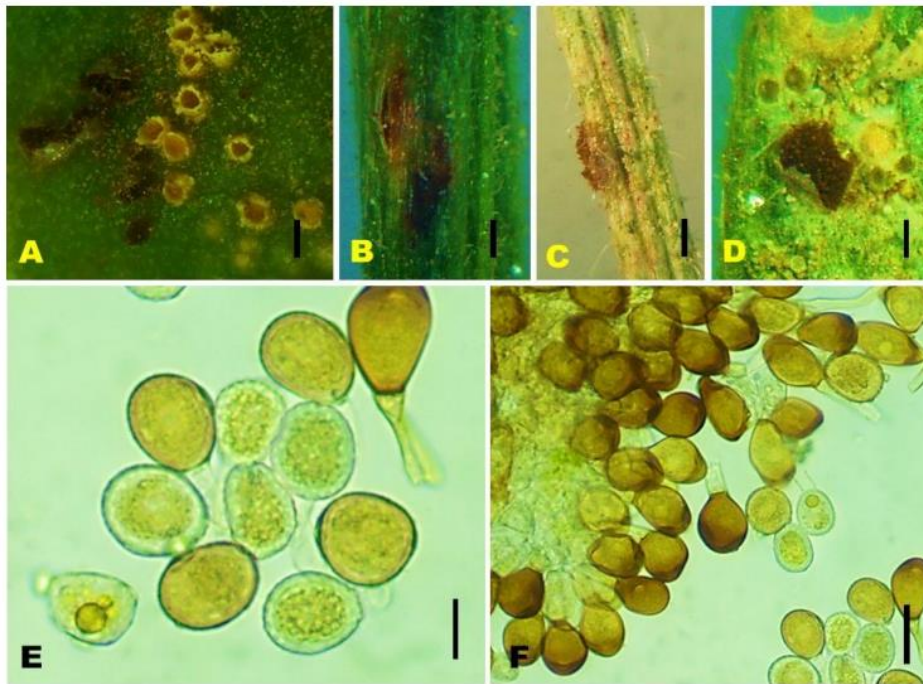


Figura 4. *Uromyces viciae-fabae* en *Vicia faba*. A: Ecios. B-C: Uredinios. D: Telios. E: Urediosporas. F: Teliosporas. Barra de escala: A-D = 1 mm, E-F = 20 μ m (Fuente: Gautam et al. (2022)).

Taxonomía (NCBI, 2024)

Reino: Fungi

División: Basidiomycota

Clase: Pucciniomycetes

Orden: Pucciniales

Familia: Pucciniaceae

Género: *Uromyces*

Especie: *Uromyces viciae-fabae* (Pers.) J. Schröt

Factores que favorecen la infección

Las altas temperaturas y la humedad favorecen la germinación de las basidiosporas y la formación de estructuras de infección, lo que facilita la propagación de la enfermedad. El follaje húmedo proporciona un ambiente ideal para el crecimiento del hongo y la

producción de esporas, mientras que el calor acelera su desarrollo y acorta el período de incubación, haciendo que los síntomas aparezcan más rápido y la enfermedad se propague con mayor rapidez (Johns, 2024).

También influye la susceptibilidad del huésped, ya que algunos cultivares de haba son más susceptibles a la roya que otros, la densidad del cultivo (un espaciamiento adecuado entre plantas va a permitir la circulación de aire y a su vez una disminución de la humedad), y el saneamiento previo a la siembra (eliminar restos de material vegetal que pudiera estar infectado) (Johns, 2024).

Sintomatología

Se observan principalmente pústulas amarillas/anaranjadas que se desarrollan en hojas, tallos y vainas infectadas y contienen las urediniosporas responsables de la propagación de la enfermedad, las hojas infectadas presentan clorosis especialmente alrededor de las pústulas, lo que les da un aspecto moteado. En infecciones graves, la planta pierde sus hojas, lo que reduce su capacidad de fotosíntesis y crecimiento, también se observan lesiones en tallos y vainas que aparecen como zonas oscuras y hundidas. Los granos de la vaina pueden deformarse o decolorarse debido a la infección, volviéndolos incomedibles (Johns, 2024).

Impacto de la roya en el cultivo

Las pústulas que se forman en las hojas interfieren con la absorción de radiación solar y con el intercambio gaseoso en las zonas foliares afectadas, lo que reduce la capacidad fotosintética de la planta y se traduce en una disminución significativa del rendimiento del cultivo (ITACyL, 2019).

Pichón-Posada (2019) señala que la mancha de chocolate (*Botrytis fabae* S.) y la roya (*Uromyces fabae* P.) son los principales factores bióticos que dañan al haba, que junto con la sequía provocan una rápida infección y la pérdida de hasta un 90 % del cultivo, esto en el estado de Puebla. Esto se debe a que las infecciones graves pueden diezmar el rendimiento de un cultivo porque afectan la capacidad de la planta para crecer y desarrollarse lo que provoca que las plantas produzcan menos vainas, más pequeñas o de baja calidad, lo que para un pequeño productor puede significar la pérdida total de su cosecha si no se actúa a tiempo (Johns, 2024).

Manejo de la roya

El manejo de la roya requiere la combinación de varias prácticas con diferentes enfoques para combatir a esta enfermedad. Entre las prácticas culturales se encuentran: rotar las habas con cultivos no hospedantes para romper el ciclo de la enfermedad y reducir los niveles del patógeno en el suelo, evitar el monocultivo, retirar restos de material vegetal infectado, establecer una adecuada densidad de siembra, y si es posible usar variedades resistentes.

Para el control biológico se recomienda fomentar las poblaciones de insectos, debido a que aunque las esporas pueden ser transportadas por el viento, a menudo son transmitidas por pulgones que se agrupan en las puntas de crecimiento de las plantas, de ahí la importancia de despuntar los extremos en crecimiento, y esto debe de ser acompañado con la conservación y el mantenimiento de setos y plantas refugio ya que mejoran la efectividad de sus enemigos naturales en la supresión de poblaciones de plagas, otra buena opción de control biológico es el uso de bioplaguicidas que contengan microorganismos benéficos, como *Bacillus subtilis* o especies de *Trichoderma*, que antagonizan a los patógenos fúngicos y promueven la salud de la planta (Johns, 2024). Algunas bacterias tienen efecto inhibitorio fuerte sobre la germinación o crecimiento del tubo germinal de las urediniosporas (Parker & Blakeman, 1984).

Generalmente en un manejo integrado de plagas (MIP) se recomienda recurrir al control químico como última opción, pero siendo realistas en el contexto agrícola actual es la primera alternativa que se toma. Se recomienda aplicar fungicidas con ingredientes activos como azoxistrobina, piraclostrobina o tebuconazol (Johns, 2024). ICAMEX (2025) recomienda que en caso de presentarse mancha de chocolate o roya se utilice oxiclورو de cobre (2 kg/ha) o clorotalonil 2787 (2 kg/ha) como tratamientos preventivos o de control.

5.9. Control químico y sus implicaciones

Aunque se ha señalado que el control químico debería emplearse como última opción, en la práctica suele ser la primera opción de los productores. Esto se debe a diversas razones como su rapidez y eficacia inmediata que ofrecen una garantía casi segura para proteger la producción, además, su aplicación resulta más sencilla en comparación con otras estrategias, como el control biológico, que requieren de una planeación previa, un manejo

más especializado y más tiempo. Los productos químicos también son fácilmente accesibles en el mercado y cuentan con el respaldo de empresas reconocidas que los promueven de manera constante. Finalmente, otro motivo importante es la cultura agrícola, ya que durante décadas los productores han dependido principalmente del control químico.

El problema de usar el control químico es que aumenta la resistencia de plagas, genera residuos contaminantes para el medio ambiente y afecta organismos benéficos. Por lo que es importante usarlos de manera correcta para disminuir riesgos.

5.10. Buen uso de funguicidas

El uso irresponsable de plaguicidas contribuye a acelerar el desarrollo de la resistencia de las plagas e incrementa los costos de producción. Del mismo modo, los plaguicidas tienen efectos agudos y crónicos en la salud, debido a su grado de exposición inadecuado, siendo estas intoxicaciones un importante problema en salud pública a nivel mundial (SAGARPA, 2019)

Si el uso del plaguicida es necesario, solamente deben usarse aquellos autorizados y permitidos por SENASICA (Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria). Es necesario conocer si el plaguicida es el recomendado para el problema identificado, la dosis correcta, el intervalo de seguridad, periodo de reentrada, que precauciones especiales deben tomarse en cuenta por las características del plaguicida. También es conveniente rotar la aplicación de plaguicidas; es decir, usar distintos grupos que sirvan para controlar una misma plaga. De esta forma se evita que las plagas se vuelvan resistentes a un solo producto (Ministerio de Agricultura y Ganadería, 2010).

5.11. La resistencia a funguicidas

La resistencia a los funguicidas es una adaptación hereditaria estable y de un hongo a un fungicida, lo que resulta en una menor sensibilidad del hongo al fungicida. La resistencia puede resultar de mutaciones genéticas únicas o múltiples. Los aislados resistentes suelen surgir de una tasa natural muy baja de mutación genética, y estos aislados se ven menos afectados o no se inhiben en absoluto por la dosis de aplicación indicada en la etiqueta. Dado que el fungicida puede controlar eficazmente los aislados sensibles, los aislados resistentes pueden volverse dominantes en las poblaciones de patógenos bajo la presión

de selección del uso de fungicidas con el tiempo, por lo que eventualmente pueden ocurrir fallas en el control de enfermedades (Ma & Michailides, 2005)

También se puede definir como la capacidad inherente y heredable de algunos biotipos, dentro de una determinada población, de sobrevivir y reproducirse después de la exposición a la dosis de un fungicida, que normalmente sería letal a una población normal (susceptible) de la misma especie, pudiendo ser a través de mutación, recombinación o alteración fisiológica (Muriel, 2017).

Las poblaciones de hongos menos sensibles a fungicidas ya están presentes en la naturaleza, incluso sin haber sido expuestas a los mismos, pero en baja frecuencia. La resistencia se genera cuando los fungicidas son aplicados, se eliminan aquellos individuos más sensibles de las poblaciones del patógeno, aumentando la frecuencia de los individuos menos sensibles, actuando, así como agente de selección (Figura 5) (Muriel, 2017).

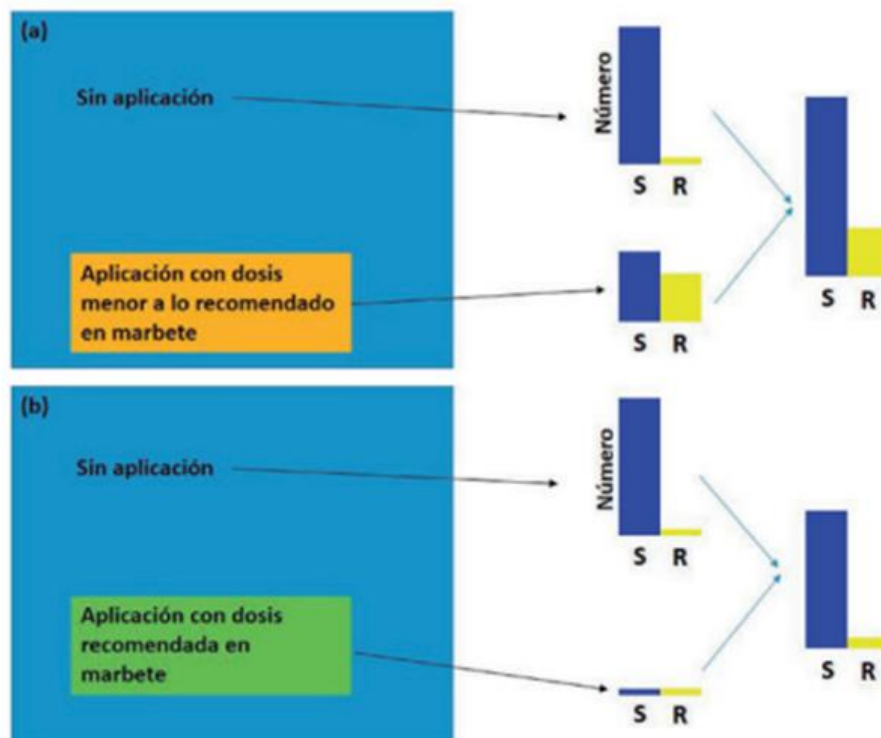


Figura 5. Efecto de áreas no tratadas, que actúan como fuente de inóculo, en la fuerza de la selección para la resistencia. (a) A la izquierda se muestra un área que contiene el cultivo de interés. Una porción del área es pulverizada con fungicida a una dosis menor que la recomendada. El número de individuos susceptibles (S) y resistentes (R) en cada porción se muestran en las dos primeras barras de la derecha. Debido a que las subpoblaciones de R y S están bien mezcladas, el cambio general, que se muestra en el gráfico de barras final, es menor que en la parte tratada del cultivo, es decir, la proporción de R es menor respecto del área tratada. (b) A dosis recomendadas, aunque la selección es más fuerte en el área tratada, el cambio global implica una menor proporción de R. Si se reduce el número absoluto de R que sobreviven en la parte tratada con dosis completa, también se reducirá consecuentemente la frecuencia de R en la próxima generación (Fuente: Shaw, 2009).

5.12. Importancia del FRAC

El FRAC (Fungicide Resistance Action Committee), en español Comité de Acción para la Resistencia a los Fungicidas, es una organización internacional formada por expertos de la industria fitosanitaria, instituciones de investigación y universidades. Su objetivo principal es prolongar la eficacia de los fungicidas que pueden encontrar problemas de resistencia y para limitar las pérdidas de cultivos en caso de que se produzca resistencia (FRAC, 2025). Una de las tareas principales de FRAC es clasificar los fungicidas en grupos según su modo de acción (MoA, por sus siglas en inglés).

Soluciones propuestas para mitigar la resistencia

No se puede evitar la evolución de la resistencia, pero puede retrasarse (Muriel, 2017). El manejo racional de fungicidas debe basarse en la aplicación de productos únicamente cuando se superan los umbrales de daño económico y respetar estrictamente las dosis y restricciones señaladas en la etiqueta. Es importante emplear mezclas de principios activos con diferente mecanismo de acción y alternar su uso entre y dentro de dichos mecanismos. Otra medida podría ser la incorporación de inductores de resistencia, como quitosanos o fosfitos y el empleo de semilla libre de patógenos, la implementación de prácticas culturales que disminuyan la incidencia de enfermedades y la integración del diagnóstico nutricional y la fertilización adecuada. En conjunto, estas estrategias permiten un control más eficiente de la resistencia (Carmona & Sautua, 2017).

Lamentablemente muchos casos, las medidas para prevenir la resistencia a fungicidas se implementan únicamente cuando productores y autoridades detectan una disminución en la eficacia del control en campo. Sin embargo, para ese momento la población resistente suele estar ya establecida en una proporción mayor a la población susceptible, resultado de múltiples generaciones de emergencia y selección. Esto significa que gran parte de la oportunidad para retrasar la evolución se ha perdido y que las estrategias aplicadas de forma reactiva han perdido su eficacia (Carmona & Sautua, 2017). Hobbelen et al. (2014) mencionan que las estrategias anti-resistencia deben ser implementadas desde la introducción de un nuevo principio activo al mercado para que sean efectivas

5.13. Rotaciones de fungicidas

Las rotaciones de fungicidas consisten en alternar el uso de productos con diferentes mecanismos de acción para controlar enfermedades en cultivos, evitando la aplicación consecutiva del mismo fungicida y previniendo así el desarrollo de resistencia en las poblaciones de hongos. Esta estrategia está basada en los lineamientos del Comité de Acción para la Resistencia de Fungicidas (FRAC).

Buhler (2014) hace énfasis en rotar fungicidas con diferentes mecanismos de acción (MoA), y no solo con diferentes nombres en las etiquetas, basándonos en la clasificación FRAC, también menciona que ni las combinaciones ni la alternancia de fungicidas impiden la selección de resistencias. Lo mejor que puede hacer cualquiera de estos enfoques es ralentizar (retrasar) el proceso. También sugiere no utilizar un fungicida de riesgo, pero recalca que esta no es una solución práctica porque muchos de los fungicidas modernos que corren el riesgo de sufrir problemas de resistencia proporcionan un control de enfermedades de amplio espectro y muy eficaz.

El conocimiento de la clasificación de los fungicidas es imprescindible para minimizar la presión de selección en las poblaciones de patógenos y retrasar la pérdida de sensibilidad a los tratamientos fúngicos (Aapresid, 2023).

5.14. Resultados de estudios previos sobre rotación de fungicidas en otros cultivos

Quezada (2017) indica que con el uso de rotación con base al MoA de fungicidas en rosa variedad tara, encontró que el mayor número de tallos de exportación, como parte importante del negocio del cultivo de la rosa, lo presentó el tratamiento del manejo

antiresistencia de los fungicidas Metrafenone - Albessilate- Bupirimato - Estrobilurina - Triflumizole - Spiroxamine – Azufre; y el mayor rendimiento por unidad de superficie en tallos de exportación lo presentó el tratamiento con la rotación de los fungicidas Metrafenone - Albessilate - Bupirimato - Estrobilurina - Triflumizole - Spiroxamine - Azufre.

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 por la cantidad de 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 no tratar con un fungicida o usar un solo grupo de MoA.

Rebollar-Alviter et al. (2012) encontraron una reducción en la incidencia y severidad de *Peronospora sparsa* con el uso de programas de aspersión con ingredientes activos que al inicio del programa asperjaron fosfito de potasio, así como la aspersión en drench de Mefenoxam. Valencia-Botín et al. (2013) determinaron que la rotación de dos MoA de fungicidas para el control de *Uromyces transversalis* en gladiolo expresaron mayor efectividad de manejo comparado al efecto mostrado con el uso de un solo MoA en las diferentes localidades evaluadas.

Enciso-Maldonado et al. (2022) indican que, al evaluar diferentes programas de aplicación de fungicidas en dos localidades con dos fechas de siembra diferente en roya asiática de la soja, redujeron la severidad entre 4 y 22% en la fecha temprana de siembra y, 8 y 17% en la fecha tardía en la primera localidad evaluada y entre 1 y 17% en la fecha temprana y entre 21 y 28% en la fecha tardía en una segunda localidad. La eficiencia de control fue menor en la fecha tardía, pero encontraron programas de aplicación de fungicidas con baja eficiencia de control (<40%). Los programas de aplicación de fungicidas alcanzaron rendimientos promedios de 3810 (en la etapa de siembra temprana) y 4539 kg ha⁻¹ (en la etapa de siembra "tardía") en la localidad uno y 3731 (en la fecha de siembra temprana) y 3252 (en la fecha de siembra "tardía") kg ha⁻¹ en una segunda localidad.

Quevedo et al. (2018) reportan que el uso de fungicidas protectantes y sistémicos en rotación y mezcla, además de aplicaciones de abonos foliares, en sus programas de control

contra *Sigatoka negra*, 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. Toporek & Keinath (2022) indican que las combinaciones de MoA más efectivas para el control de la enfermedad causada por *Pseudoperonospora cubensis* en pepino, no siempre dieron como resultado el mayor rendimiento. Por otro lado, Martin et al. (2022) indican que al evaluar la sensibilidad de *Colletotrichum* spp. a diferentes fungicidas en condiciones *In vitro*, estos variaron ampliamente en eficacia tanto dentro como entre grupos FRAC.

5.15. Fungicidas usados en el presente estudio.

Oxicloruro de cobre o cloruro de cobre tribásico

El oxicloruro de cobre ($\text{Cu}_2(\text{OH})_3\text{Cl}$) es una sustancia sólida cristalina verdosa que se encuentra de forma natural en algunos yacimientos de minerales, productos de la corrosión de los metales, arte y objetos arqueológicos y también en algunos sistemas biológico, es usado como fungicida y bactericida inorgánico de contacto ampliamente utilizado en la agricultura. Su acción es preventiva, ya que forma una película protectora sobre las superficies tratadas, impidiendo la germinación de esporas y el establecimiento de patógenos. Libera iones de cobre (Cu^{2+}) que actúan de manera multisitio, interfiriendo en enzimas y procesos vitales de hongos y bacterias. Aunque está permitido en agricultura orgánica en muchos países, su uso debe manejarse con precaución para evitar fitotoxicidad y la acumulación de cobre en suelos (FAO, 2000).

Clorotalonil

El clorotalonil (2,4,5,6-tetracloroisofaltonitrilo) es un compuesto orgánico que se utiliza principalmente como fungicida no sistémico de amplio espectro, con otros usos como protector de la madera, pesticida, acaricida y para controlar moho, hongos, bacterias y algas. Los productos que contienen clorotalonil se venden con los nombres Bravo, Echo y Daconil. Se registró por primera vez para su uso en EE. UU. En 1966. En 1997, el año

más reciente del que hay datos disponibles, fue el tercer fungicida más utilizado en EE. UU., sólo detrás del azufre y el cobre, con 12 millones de libras (5,4 millones de kilogramos) (US EPA, 1999).

Azoxystrobin

La azoxystrobina es un fungicida sistémico de amplio espectro perteneciente al grupo químico de las estrobilurinas. Se comercializó por primera vez en 1996 con la marca Amistar y en 1999 se había registrado en 48 países en más de 50 cultivos (University of Hertfordshire, 2025).

Tebuconazole

El tebuconazol es un fungicida de amplio espectro perteneciente al grupo de los triazoles con propiedades preventivas y curativas. Se introdujo en el mercado en 1989 y se utilizó inicialmente en cereales. Hoy en día, se utiliza en todo el mundo en una multitud de cultivos como cacahuets, plátanos y soya como fungicida foliar para controlar una gama de enfermedades fúngicas y como tratamiento de semillas en cebada (Tleuova et al., 2020 & McInnes et al., 2023)

Epoxiconazole

Es un ingrediente activo fungicida de la clase de los azoles desarrollado para proteger cultivos. Su función es inhibir la biosíntesis de ergosterol, un componente esencial de la membrana celular de los hongos, lo que provoca la muerte del hongo o detiene su crecimiento. Se caracteriza por ser de acción preventiva y curativa, y es eficaz contra enfermedades como roya, septoriosis, oídio y fusariosis, dependiendo del cultivo. (University of Hertfordshire, 2025a).

Cuadro 5. Características de los funguicidas usados en el presente estudio.

Fungicida	Grupo FRAC (código)	Modo de acción	Sitio de acción	Tipo (sistémico/contacto)	Principales patógenos controlados
Azoxystrobina	11 (QoI, estrobilurinas)	Inhibe la respiración mitocondrial	Complejo III (citocromo bc1, sitio Qo)	Sistémico translaminar	Royas (<i>Puccinia</i> spp.), oídios (<i>Erysiphe</i> spp.), mildiu (<i>Peronospora</i> , <i>Plasmopara</i>), antracnosis (<i>Colletotrichum</i> spp.)
Clorotalonil	M05 (isotiocianatos, multisitio)	Multisitio, desnaturaliza proteínas y enzimas	Varias enzimas celulares	Contacto	Tizones (<i>Alternaria</i> spp.), mildius (<i>Peronospora</i> spp.), antracnosis (<i>Colletotrichum</i> spp.), royas (<i>Puccinia</i> spp.)
Oxiclورو de cobre	M01 (cobre, multisitio)	Multisitio, inactiva proteínas y	Varias enzimas celulares	Contacto	Mildiu (<i>Plasmopara</i> , <i>Peronospora</i>), bacteriosis (<i>Xanthomonas</i> , <i>Pseudomonas</i>), royas, antracnosis

		enzimas por iones Cu ²⁺			
Tebuconazol	3 (DMI, triazoles)	Inhibe la biosíntesis de ergosterol	C14-demetilasa dependiente de citocromo P450	Sistémico	Royas (<i>Puccinia</i> spp.), mancha foliar (<i>Septoria</i> spp.), antracnosis, oídios
Epoxiconazol	3 (DMI, triazoles)	Inhibe la biosíntesis de ergosterol	C14-demetilasa dependiente de citocromo P450	Sistémico	Royas (<i>Puccinia</i> spp.), manchas foliares (<i>Septoria</i> spp., <i>Pyrenophora</i> spp.), oídios

Estrobilurinas (**QoI, FRAC 11**): alta eficacia preventiva, pero alto riesgo de resistencia.

Triazoles (**DMI, FRAC 3**): curativos y sistémicos, buen complemento a estrobilurinas.

Multisitio (**FRAC M**): bajo riesgo de resistencia, ideales en mezclas o rotaciones.

VI. MATERIALES Y METODOS

6.1. Ubicación del ensayo

El trabajo experimental se realizó en la Facultad de Ciencias Agrícolas de la Universidad Autónoma del Estado de México (UAEMéx), localizada en el Campus Universitario El Cerillo, a 18 km de la Ciudad de Toluca, México; a $19^{\circ}24'.598''$ Latitud Norte y $99^{\circ}41'.418''$ Longitud oeste, a una altura sobre 2,606 msnm.

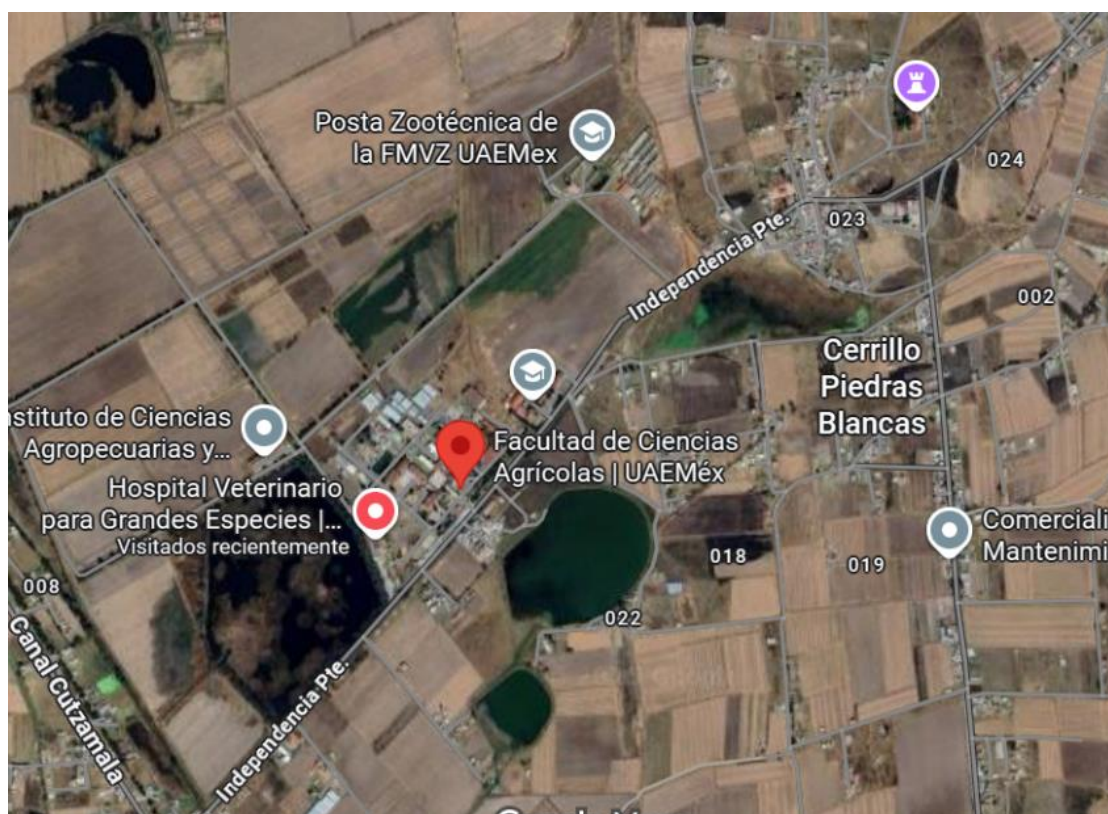


Figura 6. Ubicación geográfica de la Facultad de Ciencias Agrícolas de la UAEMéx, Toluca, Estado de México (Google Maps, 2025).

Los datos meteorológicos del lugar se obtuvieron de la plataforma Visual Crossing durante el desarrollo del ensayo, con los cuales se elaboró un diagrama de los datos de temperatura y humedad del año 2023.

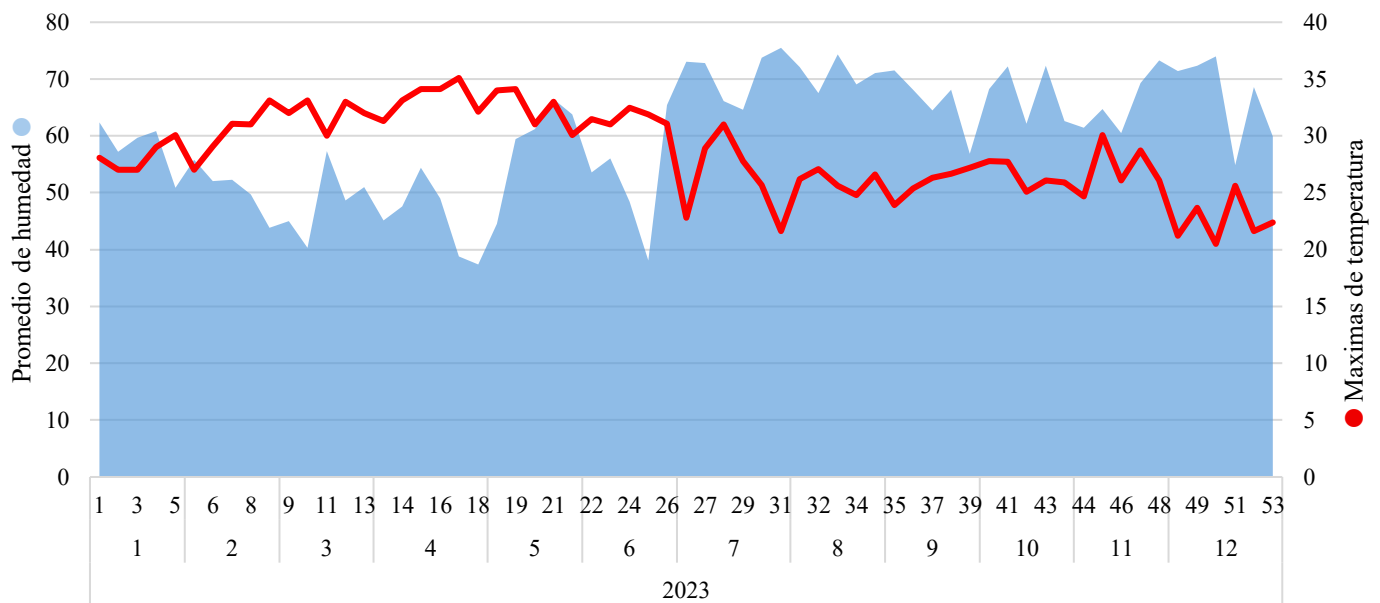


Figura 7. Temperaturas máximas y promedio de humedad presentados en la Facultad de Ciencias Agrícolas durante el año 2023 (Visual Crossing Corporation, 2025).

6.2. Material genético

Se utilizó semilla de la variedad criolla del Valle de Toluca, de los municipios de Calimaya y Zinacantepec. El método de siembra fue de siembra directa, a 30 cm de separación entre planta y planta. El total de surcos de cada tratamiento fueron de cuatro, cada uno de tres metros de longitud y con una distancia de separación de 0.80 m. El área de cada unidad experimental fue de 2.4 m de ancho por 3 m de largo. La semilla fue previamente tratada con carbendazim.

6.3 Programas de rotación evaluados

La enfermedad evaluada fue la roya del haba ocasionada por *Uromyces vicia-fabae*; se evaluaron cuatro programas de rotación de fungicidas considerando su sitio o mecanismo de acción (MoA) indicado en FRAC (2025), y cambiando su orden de aplicación. Se dispuso de un testigo regional y un testigo absoluto en cada uno.

Cuadro 6. Programas de rotación evaluados para el control de la roya del haba

Programas De rotación	Fungicidas	MoA	Movimiento en la planta
1 (OxiCu-Cl-Az-Tb)	Oxicloruro de Cobre	M01 Multisitio	Contacto
	Clorotalonil	M05	Contacto
	Azoxystrobin	11 (C3)	Sistémico
	Tebuconazole	3	Sistémico
2 (OxiCu-Cl-Az-Ep)	Oxicloruro de Cobre	M01 Multisitio	Contacto
	Clorotalonil	M05	Contacto
	Azoxystrobin	11 (C3)	Sistémico
	Epoxiconazole	3	Sistémico
3 (Cl-OxiCu-Tb-Az)	Clorotalonil	M05	Contacto
	Oxicloruro de Cobre	M01 Multisitio	Contacto
	Tebuconazole	3	Sistémico
	Azoxystrobin	11 (C3)	Sistémico
4 (Cl-OxiCu-Ep-Az)	Clorotalonil	M05	Contacto
	Oxicloruro de Cobre	M01 Multisitio	Contacto
	Epiconazole	3	Sistémico
	Azoxystrobin	11 (C3)	Sistémico
5 testigo regional (Cl-Cl-Cl-Cl)	Clorotalonil	M05	Contacto
	Clorotalonil	M05	Contacto
	Clorotalonil	M05	Contacto
	Clorotalonil	M05	Contacto
6 Testigo absoluto	Sin control	-	-

La rotación se diseñó alternando ingredientes activos con diferentes modos de acción (MoA) y tipos de movimiento dentro de la planta (contacto o sistémico). En los programas de rotación se emplearon fungicidas multisitio y de sitio específico. Los fungicidas multisitio, como el oxiclورو de cobre (M01) y el clorotalonil (M05), actúan por contacto y presentan un bajo riesgo de generar resistencia, por lo que se usaron al inicio de los programas como base preventiva. Después, se aplicaron fungicidas sistémicos de sitio específico, como azoxystrobin y triazoles (tebuconazol y epoxiconazole), los cuales ofrecen acción curativa y protección interna en la planta.

Los nombres comerciales de los fungicidas fueron Daconil (clorotalonil), Oxicob-85 (oxiclورو de Cobre), Poxicon (Epoxiconazole), Varón (Tebuconazole) y Axotrón (Azoxystrobin).

Los programas 1 y 2 iniciaron con oxiclورو de cobre y clorotalonil, seguidos de azoxystrobin y un triazol (tebuconazol o epoxiconazole).

Los programas 3 y 4 cambiaron el orden de los fungicidas de contacto (primero clorotalonil y después oxiclورو de cobre). También el azoxystrobin en estos programas fue el último en aplicarse, esto con el fin de observar si el orden de aplicación influía en el control de la roya.

El programa 5 (testigo regional) consistió en el manejo convencional utilizado por productores locales, fue usado solo clorotalonil.

El programa 6 (testigo absoluto) no recibió ningún tipo de control químico para comparar la eficacia de los tratamientos. Los intervalos de aplicación fueron de entre 10-14 días.

6.4. Establecimiento del ensayo

El ensayo se estableció los días 20 y 21 de abril de 2023, en un terreno de la Facultad de Ciencias Agrícolas, donde también se establecieron otros ensayos de haba. Se realizó una siembra directa colocando de una a dos semillas en cada espacio. Los programas de rotación tuvieron la siguiente distribución

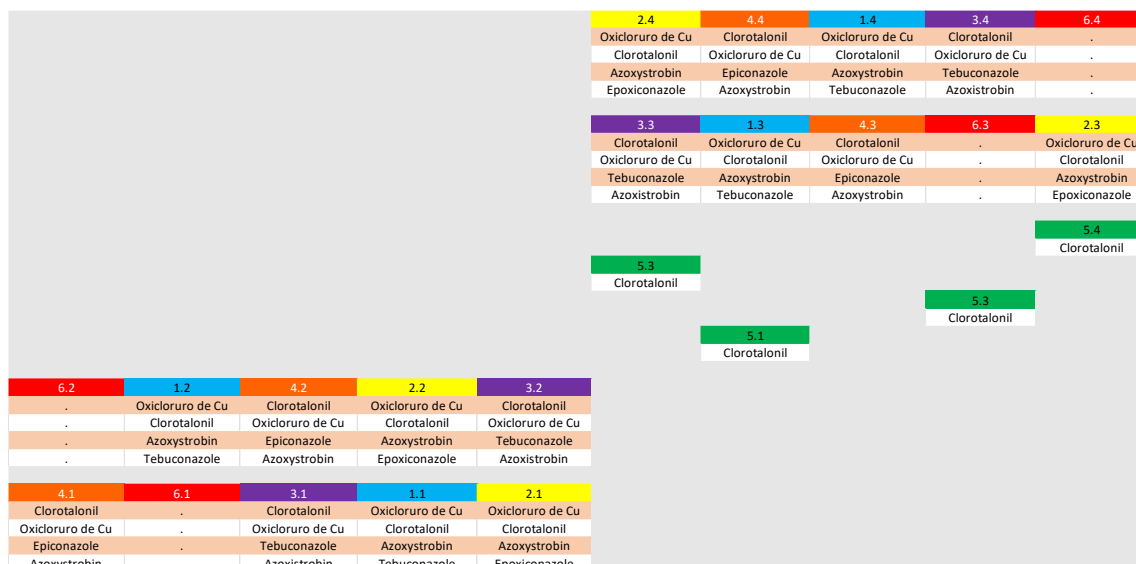


Figura 8. Croquis de los programas de rotación establecidos en campo

6.5. Preparación de los funguicidas

En cada aplicación se reguló el pH del agua con un regulador de pH (DAP-PLUS), se calculó la dosis para cada producto en las unidades experimentales según las indicaciones del producto. Las aplicaciones se hicieron con una aspersora manual, en cada cambio de funguicida se enjuagó la aspersora para que no existiera contaminación

6.6. Variables evaluadas

Por cada programa de rotación de funguicidas se evaluó la incidencia y severidad de cada enfermedad, los conteos se realizaron en los dos surcos centrales de cada repetición, además del rendimiento obtenido (kg) en vaina verde.

Los monitoreos de cada enfermedad se llevaron a cabo durante las diferentes etapas fenológicas del cultivo desde los cero hasta los ciento diez y seis días después de la siembra (DDS), en intervalos de entre 1-14 días.

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.

La severidad se determinó en base a la escala diagramática de severidad propuesta y validada por Fragoso-Benhumea et al. (2022), indicada en la figura 7, en 10 plantas seleccionadas por repetición, y cada planta se dividió en tres estratos según su porte en: alto, medio y bajo. En cada porte se evaluó el nivel de daño de la enfermedad.

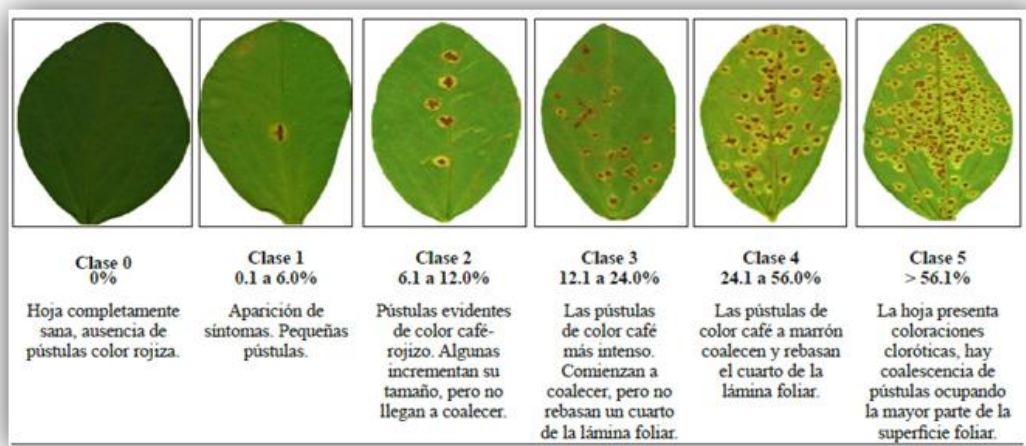


Figura 9. Escala diagramática para evaluar la severidad de roya

Finalmente, se cuantifico el rendimiento en vaina verde (kg) obtenido en cada repetición por tratamiento, se realizaron dos cortes durante el experimento y de igual manera se tomaron los dos surcos centrales.

6.7. Diseño experimental

El diseño experimental que se utilizó para la evaluación de la enfermedad fue de bloques completos al azar, con cinco tratamientos, y cuatro repeticiones, que originaron un total de 20 unidades experimentales. La unidad experimental fue de 7.2 m².

6.8. Análisis estadístico.

Por cada fecha de muestreo se utilizaron los valores obtenidos de incidencia y severidad de cada 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 realizó la separación de medias con la prueba de Tukey $\alpha = 0.05\%$.

Por otro lado, los valores absolutos de incidencia y severidad 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 y severidad de cada 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 $\alpha= 0.05\%$.

6.9 Eficiencia de control

Se uso el parámetro de severidad para calcular la eficiencia de control porque detecta mejor que tanto daño causa la roya en la planta y no solo si está presente como el parámetro de incidencia. Se realizo la eficiencia de control por cada porte (alto, medio y bajo) utilizando la media de tratamientos. Para obtener este dato se usó la fórmula de Abbott la cual se utiliza para calcular el porcentaje de eficacia o control de un plaguicida, ajustando la mortalidad observada por la mortalidad natural en el grupo testigo (Abbott 1925). Su fórmula básica es:

$$**Eficiencia de control** (\%) = \left(1 - \frac{\mathbf{Tratamiento}}{\mathbf{Testigo}} \right) \times 100$$

Donde:

- Tratamiento = valor final del tratamiento (incidencia, severidad, número de insectos, etc.)
- Testigo = valor final del testigo sin aplicar nada.

VII. RESULTADOS

7.1. Altura de planta

El análisis de varianza indicó la ausencia de diferencia significativa entre los diferentes programas de rotación y su efecto en la altura de planta, por lo que los programas evaluados se comportaron de forma similar en términos estadísticos, indicativo que ninguno tuvo efecto negativo o como inductor de una mayor altura de la planta (Cuadro 7).

Cuadro 7. Análisis de varianza de área bajo la curva de altura de planta a través del tiempo.

Fuente de variación	Grados de libertad (GL)	Suma de cuadrados (sc)	Cuadrado de la media	F _c	P _T
Modelo	8	1913476.33	239184.54	1.07	0.4297 ^{N/S}
Error	15	3339380.59	222625.37		
Total	23	5252856.93			
Tratamiento	5	934915.61	186983.12	0.84	0.5419 ^{N/S}
Bloque	3	978560.72	326186.98	1.47	0.2639 ^{N/S}
G.L.					
C.V.	10.10				

** Altamente significativo ($P \leq 0.01$); *Significativo ($P \leq 0.05$); N/S No significativo. G.L.: Grados de Libertad. C.V.: Coeficiente de variación.

La altura alcanzada a través del tiempo indico que todos los programas de rotación fueron similares en términos estadísticos. Sin embargo, fue evidente que los programas 4 (Cl-OxiCu-Ep-Az) y 3 (Cl-OxiCu-Tb-Az) expresaron la mayor altura acumulada a través del tiempo; mientras que el programa 5 (Cl-Cl-Cl-Cl) expresó la menor altura acumulada (Cuadro 8), que fue similar su comportamiento al testigo (Figura 9).

Cuadro 8. Valores medios del área bajo la curva de altura de planta a través del tiempo por programa de rotación.

Tratamiento	Media de tratamientos
R4 (Cl-OxiCu-Ep-Az)	4915.8
R3 (Cl-OxiCu-Tb-Az)	4800.3
R1 (OxiCu-Cl-Az-Tb)	4745.5
R2 (OxiCu-Cl-Az-Ep)	4731.7
TESTIGO	4467.3
R5 (Cl-Cl-Cl-Cl)	4344.8

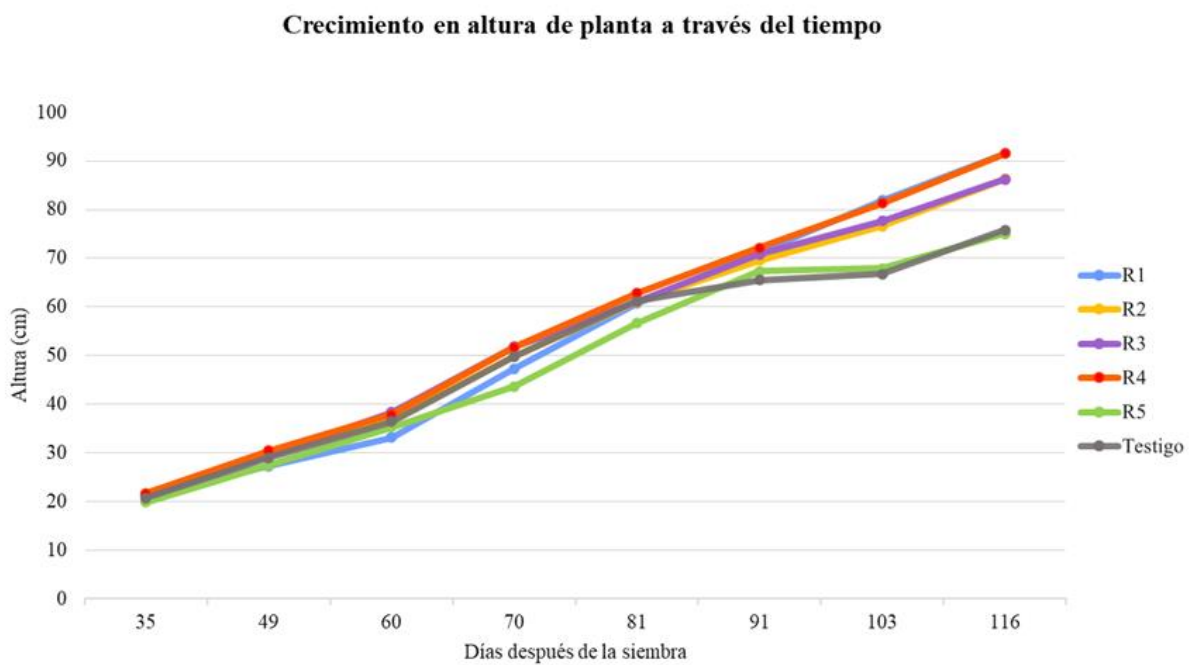


Figura 10. Progreso de la altura de planta de haba a través del tiempo en los diferentes programas de rotación de fungicidas evaluados.

Altura final de planta (116 DDS)

El análisis de varianza para la variable de altura final de planta a los 116 días indicó la existencia de diferencia significativa entre los programas (Cuadro 9) por lo que al menos un programa de rotación se comportó de forma diferente.

Cuadro 9. Análisis de varianza de área bajo la curva de altura final de planta

Fuente de variación	Grados de libertad (GL)	Suma de cuadrados (sc)	Cuadrado de la media	Fc	P _T
Modelo	8	1196.91	149.61	2.95	0.0339*
Error	15	760.80	50.72		
Total	23	1957.71			
Tratamiento	5	1022.18	204.43	4.03	0.0161*
Bloque	3	174.75	58.24	1.15	0.3618 ^{N/S}
G.L.					
C.V.	8.42				

** Altamente significativo ($P \leq 0.01$); *Significativo ($P \leq 0.05$); N/S No significativo. G.L.: Grados de Libertad. C.V.: Coeficiente de variación.

La prueba de separación de medias indicó tres grupos de la respuesta (Cuadro 10). El primer grupo que incluye a los programas 1 (OxiCu-Cl-Az-Tb) y 4 (Cl-OxiCu-Ep-Az) que presentaron las mayores alturas promedio, seguidas por el segundo grupo con los programas 2 (OxiCu-Cl-Az-Ep) y 3 (Cl-OxiCu-Tb-Az), y el tercer grupo compuesto por el programa 5 (Cl-Cl-Cl-Cl) y el testigo que presentaron las alturas menores de planta (Figura 9). Existió 16 cm de diferencia entre la mayor altura expresada en el programa 1 respecto al testigo, que puede indicarnos que menor longitud de planta implica menor cantidad de flores, y por tanto menor cantidad de vaina.

Cuadro 10. Separación de medias del área bajo la curva para la variable altura de planta (cm).

Tratamiento	Media de tratamientos (cm)
R1 (OxiCu-Cl-Az-Tb)	91.550 a
R4 (Cl-OxiCu-Ep-Az)	91.500 a
R2 (OxiCu-Cl-Az-Ep)	86.350 ab
R3 (Cl-OxiCu-Tb-Az)	86.200 ab
R5 (Cl-Cl-Cl-Cl)	75.950 b
TESTIGO	75.500 b

*Valores con la misma letra en la columna indican igualdad en términos estadísticos (t Test (LSD))

6.2 Incidencia de roya

La expresión de la enfermedad de la enfermedad de roya ocasionada por *Uromyces viciae-fabae* en haba para el Valle de Toluca durante el ciclo primavera-verano inicio a los 60 DDS. La enfermedad se vio influenciada por la presencia de una ola de calor que se registró desde los 41 DDS hasta los 63 DDS (Figura 7).

La prueba de análisis de varianza para la variable área bajo la curva de incidencia, indicó la existencia de diferencia altamente significativa (Cuadro 11), por lo que al menos un programa de rotación se comportó de manera diferente al resto.

Cuadro 11. Análisis de varianza de área bajo la curva del progreso de la incidencia de roya a través del tiempo.

Fuente de variación	Grados de libertad (GL)	Suma de cuadrados (sc)	Cuadrado de la media	Fc	P_T
Modelo	8	3180216.77	397527.09	8.21	0.0003**
Error	15	726259.07	48417.27		

Total	23	3906475.85			
Tratamiento	5	2927818.47	585563.69	12.09	0.0001**
Bloque	3	252398.30	84132.76	1.74	0.2022 ^{N/S}
G.L.					
C.V.	5.64				

** Altamente significativo ($P \leq 0.01$); *Significativo ($P \leq 0.05$); N/S No significativo. G.L.: Grados de Libertad. C.V.: Coeficiente de variación.

La prueba de separación de medias (Cuadro 12) permitió diferenciar tres tipos de expresión de la enfermedad, el primer grupo correspondió al testigo absoluto que expreso la mayor presencia de la enfermedad a través del tiempo desde las fechas iniciales de la enfermedad hasta finalizar la evaluación, le siguieron los programas 5 (Cl-Cl-Cl-Cl) y 3 (Cl-OxiCu-Tb-Az) que acumularon valores de la presencia de la enfermedad desde su inicio a los 70 y continuo hasta los 81 días. Es preciso indicar que el programa 3 (Cl-OxiCu-Tb-Az) fue el único que no expreso aumento en la incidencia de la enfermedad desde los 81 días y hasta el final del ciclo por lo que el ingrediente activo tebuconazol detuvo el avance de la enfermedad.

Cuadro 12. Separación de medias del área bajo la curva de la incidencia de roya a través del tiempo por cada tratamiento de rotación de fungicidas.

Tratamiento	Media de tratamientos
Testigo	4595.7 a*
R5 (Cl-Cl-Cl-Cl)	3963.5 b
R3 (Cl-OxiCu-Tb-Az)	3877.3 b
R1 (OxiCu-Cl-Az-Tb)	3777.6 bc
R2 (OxiCu-Cl-Az-Ep)	3724.8 bc
R4 (Cl-OxiCu-Ep-Az)	3455.3 c

*Valores con la misma letra en la columna indican igualdad en términos estadísticos (Tukey α 0.05).

El tercer grupo correspondió a los programas 1 (OxiCu-Cl-Az-Tb) y 2 (OxiCu-Cl-Az-Ep) que expresaron los valores intermedios de desarrollo de la enfermedad a través del tiempo. Finalmente, el programa 4 (Cl-OxiCu-Ep-Az) fue el que expreso el menor

progreso de la enfermedad a través del tiempo (Figura 10), expresando la menor incidencia de la enfermedad desde su inicio hasta el final del ciclo del haba.

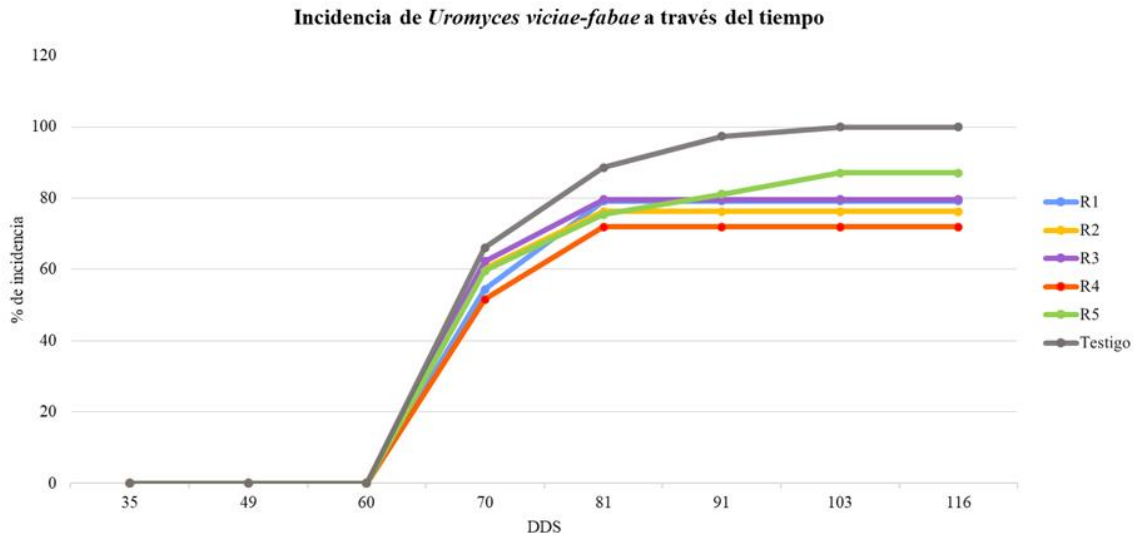


Figura 11. Progreso de la enfermedad ocasionada por *Uromyces viciae-fabae* en haba en los diferentes programas de rotación de fungicidas durante el ciclo primavera-verano 2023 en el Valle de Toluca.

6.3 Severidad

Severidad en porte bajo de la planta

La prueba de análisis de varianza para la variable área bajo la curva de severidad en el porte bajo de la planta, indicó la existencia de diferencia altamente significativa (Cuadro 13), por lo que al menos una rotación se comportó de manera diferente al resto de las rotaciones en la expresión del daño de la enfermedad en las hojas de haba.

Cuadro 13. Análisis de varianza de área bajo la curva del progreso de la severidad de roya en el porte bajo de la planta a través del tiempo.

Fuente de variación	Grados de libertad (GL)	Suma de cuadrados (sc)	Cuadrado de la media	Fc	P _T
---------------------	-------------------------	------------------------	----------------------	----	----------------

Modelo	8	2863765.76	357970.72	94.63	0.0001**
Error	15	56740.04	3782.66		
Total	23	2920505.80			
Tratamiento	5	2859082.96	571816.59	151.17	0.0001**
Bloque	3	4682.79	1560.93	0.41	0.7463
					N/S
G.L.					
C.V.	13.99				

** Altamente significativo ($P \leq 0.01$); *Significativo ($P \leq 0.05$); N/S No significativo. G.L.: Grados de Libertad. C.V.: Coeficiente de variación.

La prueba de separación de medias (Cuadro 14) indicó que en el testigo absoluto se presentó el mayor valor del daño a través del tiempo, expresó un 200% más de daño respecto al programa 5 (Cl-Cl-Cl-Cl) que fue la más cercana. Es pertinente mencionar que el testigo fue estadísticamente diferente a todas las rotaciones. Por otro lado, los programas 5 (Cl-Cl-Cl-Cl), 3 (Cl-OxiCu-Tb-Az) y 2 (OxiCu-Cl-Az-Ep) expresaron los valores medios de daño a través del tiempo. El programa 1 (OxiCu-Cl-Az-Tb) fue el que presentó los menores valores de severidad a través del tiempo en el porte bajo de la planta por lo que se asume que inhibió el desarrollo del daño de la enfermedad. Sin embargo, desde los 91 DDS no se observaron cambios significativos en el incremento del daño de la enfermedad con esta rotación (Figura 11), es pertinente mencionar que el programa 5 (Testigo regional) fue el que expresó un incremento mayor hacia el final del ciclo.

Cuadro 14. Separación de medias del área bajo la curva de la severidad de roya en el porte bajo a través del tiempo por tratamiento.

Tratamiento	Media de tratamientos
Testigo	1181.58 a
R5 (Cl-Cl-Cl-Cl)	409.36 b
R3 (Cl-OxiCu-Tb-Az)	392.69 b

R2 (OxiCu-Cl-Az-Ep)	311.81 bc
R4 (Cl-OxiCu-Ep-Az)	182.11 cd
R1 (OxiCu-Cl-Az-Tb)	159.44 d

*Valores con la misma letra en la columna indican igualdad en términos estadísticos (Tukey α 0.05).

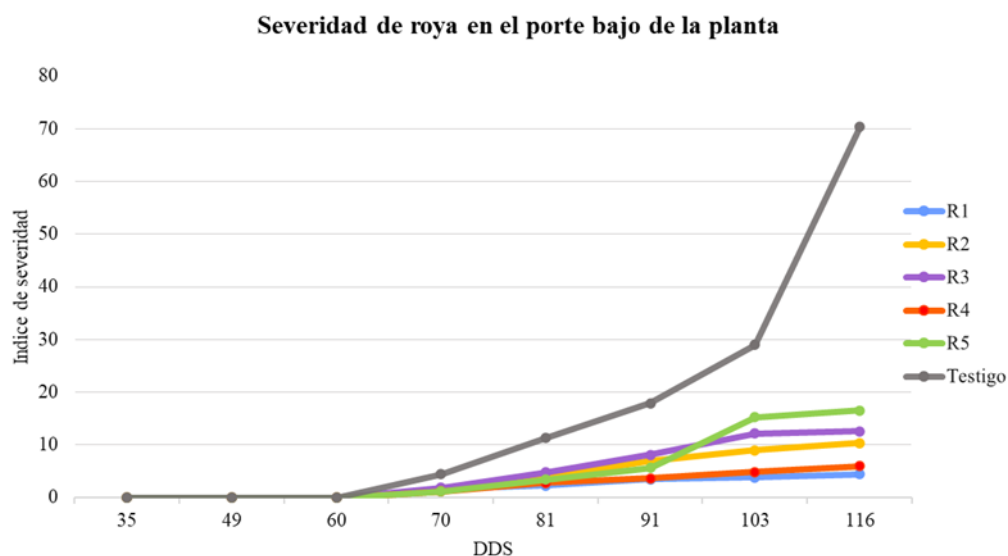


Figura 12. Progreso de la severidad de la enfermedad ocasionada por *Uromyces viciae-fabae* en haba en el porte bajo de la planta por efecto de los diferentes programas de rotación de fungicidas evaluados.

Severidad en porte medio de la planta

El análisis de varianza para los valores obtenidos del área bajo la curva del progreso de la severidad de roya en el porte medio de la planta indicó la existencia de diferencia significativa entre los diferentes programas de rotación de fungicidas (Cuadro 15), por lo que al menos uno de los programas expresó un comportamiento diferente.

Cuadro 15. Análisis de varianza de área bajo la curva del progreso de la severidad de roya en el porte medio de la planta a través del tiempo.

Fuente de variación	Grados de libertad (GL)	Suma de cuadrados (sc)	Cuadrado de la media	Fc	P _T
Modelo	8	3369525.17	421190.64	139.05	0.0001**
Error	15	45434.71	3028.98		
Total	23	3414959.82			
Tratamiento	5	3328531.150	665706.23	219.78	0.0001**
Bloque	3	40994.02	13664.67	4.51	0.0191*
G.L.					
C.V.	12.50				

** Altamente significativo ($P \leq 0.01$); *Significativo ($P \leq 0.05$); N/S No significativo. G.L.: Grados de Libertad. C.V.: Coeficiente de variación.

En el porte medio la separación de medias igualmente indicó que el testigo absoluto presentó el mayor valor de daño, un 236 % más respecto al programa 5 (Cl-Cl-Cl-Cl) que fue el más cercano, seguida de los programas 3 y 2 que presentaron los valores medios de daño. Muy similar a lo expresado en el porte bajo. Los programas 4 (Cl-OxiCu-Ep-Az) y 1 (OxiCu-Cl-Az-Tb) expresaron los menores valores de severidad a través del tiempo en el porte medio de la planta de haba y fueron estadísticamente similares, por lo que ambas propuestas son satisfactorias para el control de roya. Desde los 91 DDS no se observaron cambios significativos en el incremento del daño de la enfermedad con estos dos programas (Figura 12), es pertinente mencionar que en el resto de las rotaciones se observó un incremento al final del ciclo.

Cuadro 16. Separación de medias del área bajo la curva de la severidad de roya en el porte medio a través del tiempo por tratamiento.

Tratamiento	Media de tratamientos
Testigo	1258.59 a
R5 (Cl-Cl-Cl-Cl)	373.85 b
R3 (Cl-OxiCu-Tb-Az)	331.16 b
R2 (OxiCu-Cl-Az-Ep)	300.02 bc
R4 (Cl-OxiCu-Ep-Az)	196.72 c
R1 (OxiCu-Cl-Az-Tb)	181.07 c

*Valores con la misma letra en la columna indican igualdad en términos estadísticos (Tukey α 0.05).

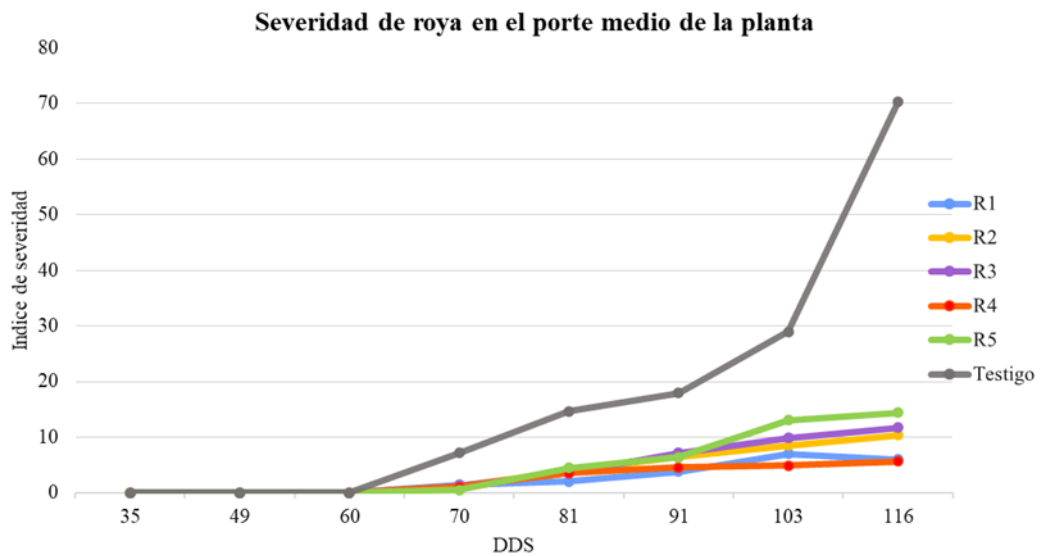


Figura 13. Progreso de la severidad de la enfermedad ocasionada por *Uromyces viciae-fabae* en haba en el porte medio de la planta por efecto de los diferentes programas de rotación de fungicidas evaluados.

Severidad Porte alto

El análisis de varianza para la variable área bajo la curva de la severidad en el porte alto indico la existencia de diferencia altamente significativa (Cuadro 17) por lo que al menos un programa se comportó de manera diferente durante el ensayo.

Cuadro 17. Análisis de varianza de área bajo la curva del progreso de la severidad de roya en el porte alto de la planta a través del tiempo.

Fuente de variación	Grados de libertad (GL)	Suma de cuadrados (sc)	Cuadrado de la media	Fc	P _T
Modelo	8	1177440.72	147180.09	121.26	0.0001**
Error	15	18205.914	1213.72		
Total	23	1195646.63			
Tratamiento	5	1175181.76	235036.35	193.65	0.0001**
Bloque	3	2258.96	752.98	0.62	0.6126
					N/S
G.L.					
C.V.	15.14				

** Altamente significativo ($P \leq 0.01$); *Significativo ($P \leq 0.05$); N/S No significativo. G.L.: Grados de Libertad. C.V.: Coeficiente de variación.

La separación de medias para el porte alto arrojó que el testigo absoluto de nuevo presentó los mayores valores de severidad a través del tiempo, sin embargo, en este porte se expresaron los menores valores de severidad respecto al porte medio y bajo. El programa 3 fue el que presentó el mayor valor de severidad de las rotaciones, pero fue estadísticamente diferente al testigo y similar a los programas 5 (CI-CI-CI-CI) y 2

(**OxiCu-Cl-Az-Ep**) que presentaron los valores medios; y nuevamente los programas 4 (**Cl-OxiCu-Ep-Az**) y 1 (**OxiCu-Cl-Az-Tb**) presentaron los menores valores de severidad a través del tiempo, pero ahora en el porte alto, y fueron estadísticamente diferentes al resto de las rotaciones y al testigo (Cuadro 18). Estas dos rotaciones no expresaron cambios a través del tiempo en la severidad a partir de los 81 DDS (Figura 13).

En general en severidad las rotaciones 4 (**Cl-OxiCu-Ep-Az**) y 1 (**OxiCu-Cl-Az-Tb**) presentaron los valores más bajos de severidad a través del tiempo en los tres portes comparado con el testigo que alcanzo valores de hasta más de un 200% comparado con la rotación que le seguía en valores.

Cuadro 18. Separación de medias del área bajo la curva de la severidad de roya en el porte alto a través del tiempo por tratamiento.

Tratamiento	Media de tratamientos
Testigo	702.57 a
R3 (Cl-OxiCu-Tb-Az)	206.70 b
R5 (Cl-Cl-Cl-Cl)	199.85 b
R2 (OxiCu-Cl-Az-Ep)	173.86 b
R4 (Cl-OxiCu-Ep-Az)	56.26 c
R1 (OxiCu-Cl-Az-Tb)	41.11 c

*Valores con la misma letra en la columna indican igualdad en términos estadísticos (Tukey α 0.05).

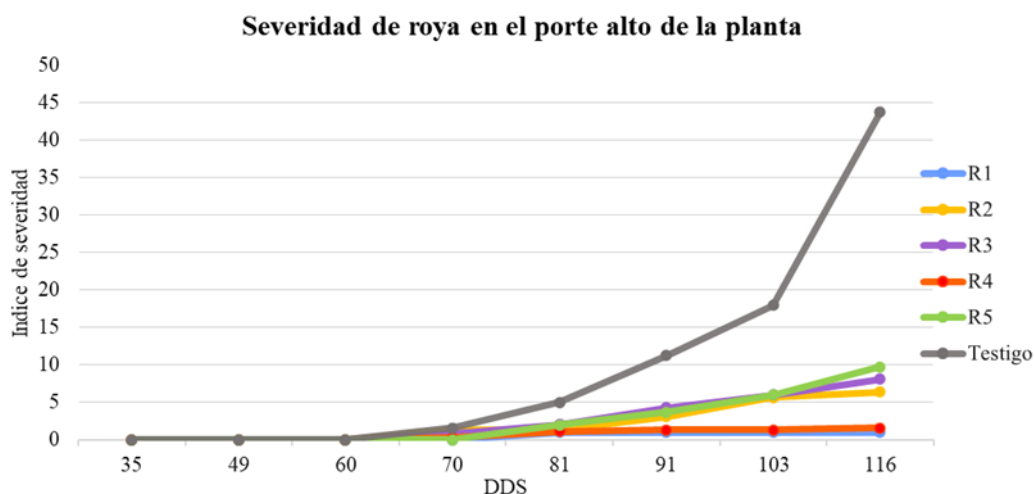


Figura 14. Progreso de la severidad de la enfermedad ocasionada por *Uromyces viciae-fabae* en haba en el porte alto de la planta.

Rendimiento

Respecto a rendimiento los resultados indican que el programa 4 (**Cl-OxiCu-Ep-Az**) (Figura 15) se obtuvo el mayor rendimiento de haba verde, con una producción estimada de 2,995 kg/ha, superior en un 68% aproximadamente respecto a los programas 1 (**OxiCu-Cl-Az-Tb**) y 2 (**OxiCu-Cl-Az-Ep**), y un 73% comparado con el programa de rotación 3 (**Cl-OxiCu-Tb-Az**). Es de destacar que se obtuvo un 219% más comparado con el programa 5 (**Cl-Cl-Cl-Cl**) que fue el testigo regional donde no hubo rotación solo se aplicó un ingrediente activo que fue el clorotalonil, y un 792% más de rendimiento respecto al testigo absoluto (Cuadro 19).

Es preciso indicar que para la zona en donde se desarrolló el estudio existió una gran cantidad de aborto floral por las altas temperaturas, presentes en la ola de calor del año 2023, y por la presencia de otros patógenos como fue botrytis y o Tizón asociado a una especie de alternaria.

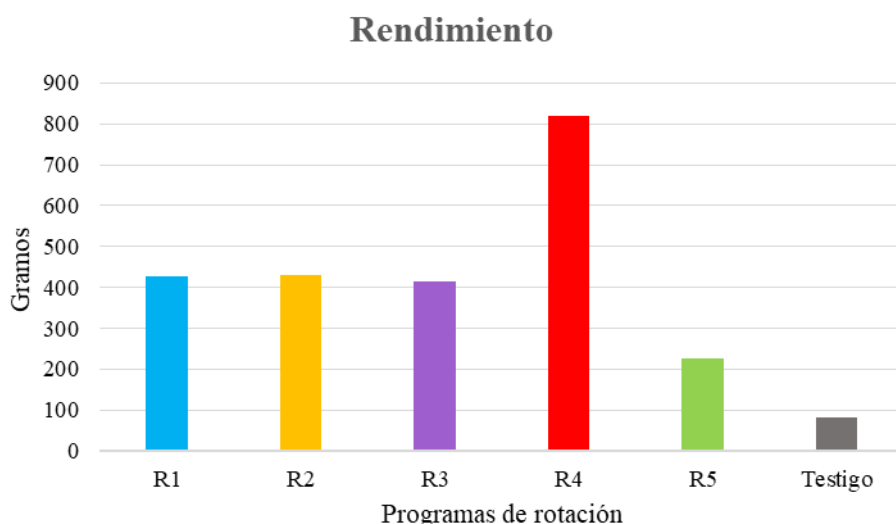


Figura 15. Peso total de haba verde por tratamiento de los dos surcos centrales, obtenido en dos cortes

Cuadro 19. Rendimiento estimado en t/ha para cada programa de rotación.

Tratamiento	Rendimiento estimado (t/ha)
R1 (OxiCu-Cl-Az-Tb)	1.775
R2 (OxiCu-Cl-Az-Ep)	1.792
R3 (Cl-OxiCu-Tb-Az)	1.729
R4 (Cl-OxiCu-Ep-Az)	2.995
R5 (Cl-Cl-Cl-Cl)	0.938
Testigo	0.335

Eficiencia de control

La capacidad de los fungicidas para controlar el desarrollo de la roya en haba se mide al considerar su eficiencia en evitar la expresión de la enfermedad en la aparición de síntomas y sus daños en el tejido afectado, es decir, en la capacidad del hongo para dañar al tejido que es posible medirla por medio de la severidad que expresa en el tejido. Considerando lo anterior, se determinó que los tratamientos R1 (OxiCu-Cl-Az-Tb) y R4 (Cl-OxiCu-Ep-Az) fueron los que expresaron la mayor eficiencia de control en los tres

estratos de la planta en donde se midió la expresión de la enfermedad, por lo que los fungicidas considerados en dichas rotaciones representan la mejor alternativa para el manejo de la enfermedad.

Cuadro 20. Eficiencia de control en cada porte de la planta (Bajo, Medio y Alto).

Porte bajo		
Tratamientos	Media Area bajo la curva	Eficiencia de control (%)
Testigo	1181.58 a	-----
R5 (Cl-Cl-Cl-Cl)	409.36 b	65.35
R3 (Cl-OxiCu-Tb-Az)	392.69 b	66.76
R2 (OxiCu-Cl-Az-Ep)	311.81 bc	73.61
R4 (Cl-OxiCu-Ep-Az)	182.11 cd	84.58
R1 (OxiCu-Cl-Az-Tb)	159.44 d	86.50
Porte Medio		
Tratamientos	Media Area bajo la curva	Eficiencia de control
Testigo	1258.59 a	-----
R5 (Cl-Cl-Cl-Cl)	373.85 b	70.29
R3 (Cl-OxiCu-Tb-Az)	331.16 b	73.68
R2 (OxiCu-Cl-Az-Ep)	300.02 bc	76.16
R4 (Cl-OxiCu-Ep-Az)	196.72 c	84.36
R1 (OxiCu-Cl-Az-Tb)	181.07 c	85.61
Porte Alto		
Tratamientos	Media Area bajo la curva	Eficiencia de control
Testigo	702.57 a	-----
R3 (Cl-OxiCu-Tb-Az)	206.70 b	70.57
R5 (Cl-Cl-Cl-Cl)	199.85 b	71.55
R2 (OxiCu-Cl-Az-Ep)	173.86 b	75.25
R4 (Cl-OxiCu-Ep-Az)	56.26 c	91.99
R1 (OxiCu-Cl-Az-Tb)	41.11 c	94.14

*Valores con la misma letra en la columna indican igualdad en términos estadísticos (Tukey α 0.05).

VIII DISCUSION

La tendencia actual de manejo químico de enfermedades ocasionadas por patógenos de origen fúngico es usar fungicidas con diferentes sitios o modos de acción de forma alternativa o rotarlos dentro del mismo ciclo de cultivo, o aún mejor dentro del ciclo de la enfermedad (FRAC, 2025), con la finalidad de retardar la posible aparición de resistencia en el patógeno.

En la producción de haba del Valle de Toluca se carece de la implementación de rotación de fungicidas por diferente sitio o modo de acción (MoA), de tal forma que el control de la roya del haba se a basado con el uso de un solo ingrediente activo como el Clorotalonil, por costumbre o recomendación entre productores.

Para implementar un programa de rotación de fungicidas es necesario conocer el comportamiento del patógeno en el área de estudio. En este caso existe un estudio realizado por Fragoso-Benhumea *et al.* (2022) en el que indica que la enfermedad tiene un periodo de inicio de aparición a los 75DDS, en el área de estudio del ensayo su inicio fue entre los 60 y 70 DDS, menor a lo reportado por Fragoso-Benhumea *et al.* (2022), pero en altitudes mayores a los 2700 msnm. Se considera que a 2600 msnm su menor tiempo de expresión se asoció con una mayor presión de la enfermedad, así como una mayor temperatura por la ola de calor prevalente durante el desarrollo del ensayo. Sin embargo, es de destacar que desde el punto de vista de control es satisfactorio tener estas condiciones de la enfermedad para evaluar la eficacia de los fungicidas en rotación.

La primera variable que se evaluó fue altura de planta, pero el análisis de varianza del área bajo la curva de altura de planta a través del tiempo no mostró diferencias significativas entre los programas de rotación evaluados, lo que indica que ninguno de los tratamientos afectó de manera negativa el crecimiento del haba al rotarlos. Esto sugiere que los fungicidas empleados, tanto de contacto como sistémicos, no presentaron efectos fitotóxicos o estimulativos que limiten el desarrollo vegetativo, a pesar de lo reportado por Carvalho (2025) observo una reducción en el crecimiento de plantas de café tratadas con triazol más estrobilurina, para controlar cercosporiosis y la roya del café, explico que podría deberse a la acción del triazol, que inhibe la biosíntesis de la hormona giberelina, especialmente el ingrediente activo Epoxiconazol, utilizado en los programas 2 y 4. Child *et al.* (1993) afirman que los fungicidas del grupo químico de los triazoles tienen la capacidad de inhibir la biosíntesis de giberelinas (GAs), lo que ralentiza el

desarrollo de la planta. Aunque es cierto, también este efecto podría verse agravado si se excede la dosis de triazol aplicada, a una aplicación incorrecta o a la falta de agua que permita la acumulación del producto.

Sin embargo, en la evaluación final (116 días después de la siembra), sí se observaron diferencias significativas entre tratamientos. Los programas 1 (Oxicloruro de Cobre–Clorotalonil–Azoxystrobin–Tebuconazol) y 4 (Clorotalonil–Oxicloruro de Cobre–Epiconazole–Azoxystrobin) obtuvieron las mayores alturas promedio (91.55 y 91.50 cm, respectivamente), mientras que el testigo absoluto alcanzó solo 75.5 cm. Esta diferencia de aproximadamente 16 cm entre los programas de mayor eficacia de control y el testigo puede deberse al uso alternado de fungicidas de distinto mecanismo de acción, que favorecieron indirectamente el desarrollo del cultivo al mantener un mejor control de la roya, reduciendo el estrés causado por la infección. También se observó que el uso repetido de un solo fungicida (como en el testigo regional) probablemente redujo su efectividad, lo que no permitió un control de la enfermedad y, por tanto, un menor crecimiento vegetativo.

Los resultados muestran que, aunque los fungicidas no modifican significativamente la altura de la planta durante todo el ciclo, su rotación adecuada contribuye a mantener un crecimiento saludable al mantener a la planta libre de estrés por una enfermedad.

En el caso de la variable de incidencia, los primeros síntomas de la enfermedad se observaron después de los 60 días después de la siembra (DDS), coincidiendo con una ola de calor registrada entre los 41 y 63 DDS, posterior a las altas temperaturas registradas empezó a llover y aumento la humedad en el ambiente (Fig. 7). Este comportamiento concuerda con lo reportado por Joseph & Hering (1997) quienes encontraron que las uredosporas germinan bien en un rango de 5 °C a 26 °C, siendo la temperatura de germinación más rápida alrededor de 20 °C, temperaturas más altas impiden el desarrollo de la enfermedad, también se menciona que la infección depende de la presencia de una película de humedad (es decir, de que las hojas estuvieran húmedas). Encontraron que, a 20 °C, algunas infecciones ocurrieron con apenas 4 horas de humedad foliar, pero periodos de humedad más largos (hasta 24 horas) aumentaron la infección. Algo parecido sucedió durante el ensayo, ya que antes y durante la ola de calor no se presentó la enfermedad por las altas temperaturas y la falta de humedad sin contar el efecto de las aplicaciones de los fungicidas de contacto, en cuanto empezaron las lluvias la incidencia aumento considerablemente, pero se estabilizo cuando empezaron las aplicaciones con

triazoles y estrobilurinas a excepción del programa 5 (Testigo regional) y obviamente el testigo absoluto.

El análisis de varianza mostró diferencias altamente significativas en el área bajo la curva del progreso de la incidencia, por lo que los programas de rotación controlaron la enfermedad de manera diferente. La prueba de separación de medias permitió agrupar los tratamientos en tres grupos. El testigo absoluto presentó la mayor presencia de la enfermedad durante todo el ciclo, seguido de los programas 5 (uso repetido de clorotalonil) y 3 (Clorotalonil–Oxicloruro de Cobre–Tebuconazole–Azoxystrobin), mientras que los programas 1 y 2 mostraron niveles intermedios. El menor progreso de la enfermedad se observó en el programa 4 (Clorotalonil–Oxicloruro de Cobre–Epiconazole–Azoxystrobin), lo que indica que es una combinación o rotación de MoA altamente efectiva para reducir la incidencia de roya en el cultivo de haba

El desempeño de la enfermedad en el testigo y del programa 5 evidencia la limitación de aplicar un solo fungicida de contacto, ya que el uso repetitivo de un mismo modo de acción puede reducir su eficacia a lo largo del tiempo. Además, los fungicidas de contacto, como el clorotalonil, actúan solo sobre la superficie foliar y no protegen el tejido nuevo, lo que permite la reinfección en condiciones favorables. En cambio, la combinación de fungicidas sistémicos y de contacto en los programas de rotación permitió un control más duradero, reduciendo el avance de la enfermedad a lo largo del ciclo.

El análisis del área bajo la curva del progreso de la severidad mostró diferencias altamente significativas entre las rotaciones evaluadas en los tres portes de la planta (bajo, medio y alto). En general, los resultados indican que las rotaciones R1 (OxiCu–Cl–Az–Tb) y R4 (Cl–OxiCu–Ep–Az) fueron las más efectivas para reducir la severidad a través del tiempo, mientras que el testigo presentó los valores más altos de daño foliar, con incrementos superiores al 200% respecto al tratamiento más eficiente.

En el porte bajo, el testigo registró los valores más altos de la enfermedad, seguido de las rotaciones R5, R3 y R2, las cuales expresaron niveles intermedios de daño. La rotación R1 presentó los valores más bajos de severidad, lo que sugiere una protección adecuada de las primeras hojas, donde normalmente se establecen las primeras infecciones y desarrollo de pustulas. En el porte medio, los valores fueron similares ya que de la misma manera los programas R1 y R4 mantuvieron los valores más bajos de severidad y fueron estadísticamente iguales entre sí, es decir tuvieron menor cantidad de infecciones y

desarrollo de pústula. Este resultado es importante, ya que las hojas del porte medio y alto contribuyen de manera importante al llenado de vaina y rendimiento final por la actividad fotosintética que realizan al recibir mayor cantidad de luz solar.

En el porte alto, se observó una menor severidad comparado con los portes bajo y medio, aun así, el testigo continuó expresando los valores más altos, confirmando que la ausencia de control químico permite el avance de la enfermedad hacia las hojas jóvenes. Las rotaciones R1 y R4 mantuvieron niveles bajos de severidad sin incrementos después de los 81 días después de la siembra, indicativo de una menor cantidad de infecciones y menor cantidad de pústulas.

Finalmente, los resultados obtenidos para el rendimiento de haba verde mostraron diferencias notables entre los programas de rotación. El programa R4 (Cl-OxiCu-Ep-Az) registró el mayor rendimiento, con una producción estimada de 2.995 t/ha, superando en 68% a los programas R1 y R2, y en 73% a la rotación R3. En comparación con el testigo regional (R5, Cl-Cl-Cl-Cl), el incremento fue del 219%, mientras que respecto al testigo absoluto se observó un aumento de 792%, lo que demuestra el impacto significativo de una la rotación fungicidas Cl-OxiCu-Ep-Az como favorable en el rendimiento.

El mayor rendimiento del programa R4 coincide con sus bajos valores de incidencia y severidad observados durante el ciclo, lo que sugiere que el adecuado control de la roya se tradujo directamente en una mayor capacidad fotosintética y llenado de vainas por tener tejido sano en las plantas tratadas con este programa de rotación.

Por otro lado, los programas R1 (OxiCu-Cl-Az-Tb) y R2 (OxiCu-Cl-Az-Ep) presentaron rendimientos intermedios, lo cual puede atribuirse a un control eficiente, pero no tan prolongado, de la enfermedad, especialmente durante las etapas finales del ciclo. La rotación R3 (Cl-OxiCu-Tb-Az) mostró un rendimiento un poco menor a los programas intermedios esto podría deberse al ingrediente triazol y su orden en la rotación, que fue muy similar a la rotación 4 que presenta los mejores valores. El epoxiconazole, presente en R4, podría haber ofrecido una mayor estabilidad frente a las condiciones de alta temperatura observadas durante el ensayo, en comparación con el tebuconazole utilizado en R3. González et al. (2013) en su estudio en el que se evaluaron la eficacia de tres fungicidas para controlar roya de la hoja en cebada maltera, mencionan que la eficacia del uso de fungicidas depende de las condiciones ambientales presentes al momento de

la aplicación, en el mismo estudio epoxiconazole y tebuconazole fueron eficaces para el control de roya en cebada maltera.

La baja productividad del testigo regional (R5), donde se utilizó únicamente clorotalonil en todas las aplicaciones, demuestra las limitaciones del uso repetido de un solo ingrediente activo de contacto, permitiendo la reinfección y el avance de la roya durante el ciclo. Aunque también ese menor rendimiento podría asociarse con la menor altura de planta dado que implica una reducción de 16 cm y significa de 5-6 racimos florales y de 3-5 flores menos respecto a los demás tratamientos evaluados.

Los valores de producción obtenidos fueron bajos en comparación con los rendimientos promedio reportados para haba en verde (3 a 10 t/ha), lo que puede atribuirse a que el ensayo solo consideró dos cortes y a posibles limitaciones de manejo y condiciones ambientales particularmente la ola de calor registrada entre los 41 y 63 DDS, provocaron aborto floral y reducción del cuajado de vainas, además de favorecer la aparición de otros patógenos como *Botrytis* y *Alternaria*. Estos factores ambientales pudieron limitar el potencial productivo absoluto del cultivo, pero no modifican la tendencia observada entre tratamientos, donde las rotaciones que mejor controlaron la roya fueron también las que maximizaron el rendimiento.

Resulta evidente que nuestros resultados expresan que en el manejo de la roya se deben de usar en un inicio ingredientes activos con un movimiento en la planta de contacto seguido de dos funguicidas sistémico o curativos para un mejor control de la enfermedad tal como se expresaron en la rotación 4 y 2. Es de destacar el tratamiento 1 expresó la menor severidad de la enfermedad, indicativo de que hubo menos cantidad de pústulas en las hojas del haba, ocasionado por la rotación de los diferentes sitios de acción como puede ser Az y Tb , sin descartar el efecto preventivo de OxiCu y Cl que no permitieron infecciones iniciales en gran cantidad. Díaz (2018) menciona que es importante no permitir que la enfermedad se establezca y progrese en etapas tempranas de crecimiento. El uso del funguicida clorotalonil como única alternativa de manejo químico realizada por los productores del valle de Toluca puede ser sustituida por la rotación 4 y 2, sin descartar la 1.

Estas combinaciones permitieron disminuir el progreso de la enfermedad a lo largo del ciclo, reduciendo la expresión del daño en todos los cortes de la planta. Los compuestos

multisitio (oxicloruro de cobre y clorotalonil) proporcionaron protección preventiva, mientras que los triazoles (tebuconazole y epoxiconazole) y la estrobilurina (azoxystrobin) aportaron efectos curativos y sistémicos, interrumpiendo el desarrollo del hongo en la planta.

IX CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos en la presente investigación demuestran que el uso de programas de rotación de fungicidas con distintos modos de acción influye de manera significativa al reducir la incidencia, severidad e incrementar el rendimiento del cultivo de haba en el Valle de Toluca.

La incidencia y severidad de la roya se vieron significativamente reducidas en los tratamientos con rotaciones entre fungicidas con distinto modo de acción, destacando las rotaciones R1 (OxiCu–Cl–Az–Tb) y R4 (Cl–OxiCu–Ep–Az) como las más eficaces. Los sitios de acción de la rotación 4 fueron los más satisfactorios en controlar la roya del haba.

La mayor incidencia de *Uromyces vicia-fabae* se expresó en niveles de 100% en el testigo absoluto y la menor con 71.9% en rotación 4. La menor severidad en los tres portes de la planta se expresó con la rotación 1. Mientras que el mayor nivel de severidad se expresó en el testigo absoluto. La rotación 4 fue la más eficiente en manejar la roya del haba, al expresar menor incidencia, menor nivel de severidad en los tres portes de la planta y mayor rendimiento.

Los resultados muestran que un programa de manejo basado en rotaciones de fungicidas puede minimizar los efectos de la roya y aumentar el rendimiento.

X. REFERENCIAS

- Aapresid (Asociación Argentina de Productores en Siembra Directa). 2023. ¿Cómo manejamos los MOA de Fungicidas? Disponible en: <https://www.aapresid.org.ar/blog/manejamos-moa-fungicidas?saveValoracion=1#form-validacion>. Fecha de consulta: 28 de diciembre de 2023.
- Abbott, W. S. (1925). *A method of computing the effectiveness of insecticide*. Journal of Economic Entomology, 18(2), 265–267 <https://doi.org/10.1093/jee/18.2.265a>
- AgroEs. (s.f.). Información Técnica de Agricultura - Agro Productos Agrícolas y Agroalimentarios Habas: descripción, morfología y ciclo. AgroEs. Recuperado el 19 de septiembre de 2025, de <https://www.agroes.es/cultivos-agricultura/cultivos-huerta-horticultura/haba/357-habas-descripcion-morfologia-y-ciclo>
- Agrosavia. (s.f.). Enfermedades del cultivo de haba (*Vicia faba* L.). Recuperado de: Agrosavia. 2023. Disponible en: https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/30737/28302_18560.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Fecha de consulta: 4 de noviembre de 2023.
- Bivand, R., Pebesma, E. and Gómez, R. V. (2008). *Applied spatial data analysis with R*. Spring. New York. USA. 374 p.
- Bleiholder, H., Weber, E., Lancashire, P. D., Feller, C., Buhr, L., Hess, M., ... Hack, H. (1996). *Growth stages of mono- and dicotyledonous plants. BBCH Monograph*. Federal Biological Research Centre for Agriculture and Forestry.
- Brown JK, Hovmoller MS. 2002 – Aerial dispersal of pathogens on the global and continental scales and its impact on plant disease. *Science* 297, 537–541.
- Buhler, W. 2014. Proactive Fungicide Resistance Avoidance. Pesticide Environmental Stewardship. Center for Integrated Pest Management. North Caroline State University. Disponible en: <https://pesticidestewardship.org/resistance/fungicide->

resistance/proactive-fungicide-resistance-avoidance/. Fecha de Consulta: febrero de 2024.

Byrne, P. 2023. Habas (*Vicia faba*) . En: Chen K, Byrne P. (Eds.) Cultivos indígenas poco estudiados. Fort Collins, Colorado: Universidad Estatal de Colorado. Fecha de acceso. Disponible

en <https://colostate.pressbooks.pub/understudiedindigenouiscrops/chapter/fava-bean/>

Carmona, M. A., & Sautua, F. J. (2017). La problemática de la resistencia de hongos a fungicidas: causas y efectos en cultivos extensivos. *Agronomía & Ambiente*, 37(1), 1-19. <http://ri.agro.uba.ar/files/download/revista/agronomiayambiente/2017carmonamarcelo.pdf>

Carvalho, D. A., Freitas, M. L. O., Pereira, M. L. S., Costa, T. S., & Ferreira, L. O. (2025). Triazole + strobilurin controls cercosporiosis and coffee rust, and biostimulants + sucrose reduces phytotoxicity. *Research, Society and Development*, 14(2), e5114248208. <https://doi.org/10.33448/rsd-v14i2.48208>

Checa, O. E. (1994). *Manejo agronómico del cultivo de haba (Vicia faba)*.. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/20.500.12324/1149>

chemicals triapenthenol and tebuconazole and interactions with gibberellin. *Plant Growth Regulation* 13, 203-212, 1993.

Child, D. R., Evans, E. D., Allen, J., & Arnold, M. G. (1993). Growth responses in oilseed rape (*Brassica napus* L.) to combined applications of the triazole

CropLife International / FRAC. (2025). FRAC Code List 2025 [PDF]. <https://www.frac.info/media/ljsi3qrv/frac-code-list-2025.pdf>

Dhull, S. B., Kidwai, M. K., Noor, R., Chawla, P., & Rose, P. K. (2022). A review of nutritional profile and processing of faba bean (*Vicia faba* L.). *Legume Science*, 4(3), e129. <https://doi.org/10.1002/leg3.129>

- Díaz, C., Huizar, L., Leyva, M. S. G., Villaseñor, M. H. E., Vargas, H., Mateo, H., Santa R. R., Valdez, R. Y. R. & Martínez, C. E. (2018). Control químico de la roya lineal en diferentes etapas de desarrollo del trigo en Terrenate, Tlaxcala. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 9(5), 1067-1074. <https://doi.org/10.29312/remexca.v9i5.1510>
- Enciso-Maldonado, G. A., Núñez-Ramírez, R. A., Montoya-García, C. O., Schlickmann-Tank, J. A., Maidana Ojeda, M., Mendoza-Duarte, M. J., Aguilar-Cubilla, E. D. & Sanabria, A. D. 2022. Efecto de la época de siembra y diferentes programas aplicación de fungicidas sobre la severidad de la roya asiática de la soja. *Investigaciones y estudios - UNA*, 13(2), 37-48. <https://doi.org/10.47133/IEUNA22204b>
- Environmental Protection Agency (EPA). (1999). Chlorothalonil: Reregistration eligibility decision (RED) (EPA 738-R-99-004). <https://archive.epa.gov/pesticides/reregistration/web/pdf/0097red.pdf>
- Equipo Editorial INTAGRI (Instituto para la Innovación Tecnológica en la Agricultura). (2023). *El cultivo de haba*. Intagri S.C. <https://www.intagri.com/articulos/hortalizas/el-cultivo-de-haba>
- FAO. (2000). Copper oxychloride (Plant protection product data sheet). Food and Agriculture Organization of the United Nations. Recuperado de <http://www.fao.org/agriculture/crops/thematic-sitemap/theme/pests/jmps/en/>
- FAO. (2023). FAOSTAT: Producción agrícola [Base de datos]. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. <https://www.fao.org/faostat/es/#data/QCL>
- FRAC (Fungicide Resistance Action Committee). (2025). FRAC code list. Recuperado el 26 de septiembre de 2025, de <https://www.frac.info/>
- Fragoso-Benhumea, J. M., Sánchez-Pale, J. R., Castañeda-Vildózola, Á., Franco-Mora, O., Gutiérrez-Ibáñez, A. T., Contreras-Rendón, A., & García-Velasco, R. (2022).

- Diagrammatic scale for rust severity assessment in broad bean (*Vicia faba*). *Revista Mexicana de Fitopatología: la revista oficial de la Sociedad Mexicana de Fitopatología*, 40(3), 474–482. <https://doi.org/10.18781/r.mex.fit.2206-2>
- Gautam, A. K., Payal, Avasthi, S., & Verma, R. K. (2022). Biology, disease development, distribution and control of rust pathogen *Uromyces viciae-fabae*. *Plant Pathology & Quarantine*, 12(1), 60–76. <https://doi.org/10.5943/ppq/12/1/5>
- González, G. M., Zamora, D. M., Huerta, Z. R. & Solano, H. S. (2013). Eficacia de tres fungicidas para controlar roya de la hoja en cebada maltera. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 4(8), 1237-1250. Recuperado en 13 de octubre de 2025, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342013000800010&lng=es&tlng=es.
- Google Maps. (2025). Facultad de Ciencias Agrícolas | UAEMéx [Mapa]. Recuperado el 14 de octubre de 2025, de <https://www.google.com/maps/place/Facultad+de+Ciencias+Agrícolas+%7C+UAEMéx/@19.4098097,-99.6918048,2484m/data=!3m1!1e3!4m6!3m5!1s0x85d270cdecc6d55f:0xab3bc95b5941be71!8m2!3d19.4081544!4d-99.6892762!16s%2Fg%2F11b6v36tr4?entry=ttu>
- Hahn, M, Neef, U., Struck, C., Gottfert, M., Mendgen, K. 1997 – A putative amino-acid transporter is specifically expressed in haustoria of the rust fungus *Uromyces fabae*. *Molecular PlantMicrobe Interaction* 10: 438–45.
- Hobbelen, P. H. F., Paveley, N. D., & van den Bosch, F. (2014). The emergence of resistance to fungicides. *PLoS ONE*, 9(3), e91910. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0091910>
<https://repository.agrosavia.co/server/api/core/bitstreams/9aa19df3-0432-41e4-bd9b-f7a658405e3d/content>

- ICAMEX (Instituto de Investigación y Capacitación Agropecuaria, Acuícola y Forestal), (2025). *Cultivo de haba humedad residual y temporal*. Gobierno del Estado de México. Recuperado el 25 de septiembre de 2025, de <https://icamex.edomex.gob.mx/haba>
- INTAGRI, 2023 *El cultivo de haba*. Intagri. <https://www.intagri.com/articulos/hortalizas/el-cultivo-de-haba>
- ITACyL. (2019). *LE-E-04 Roya en leguminosas*. Instituto Tecnológico Agrario de Castilla y León. https://plagas.itacyl.es/documents/109511/301887/LE-E-04%2BROYA%2BEN%2BLEGUMINOSAS-W.pdf/60ef4e9e-87d3-a718-8964-6efb8d73eacb?t=1560241555771&utm_
- Johns, J. (2024). Broad bean rust: What it is and how to tackle it. Gardening With Jason. <https://gardeningwithjason.com/broad-bean-rust-what-it-is-and-how-to-tackle-it>
- Junta de Andalucía. (2015). *Guía del cultivo de habas (v1.2)*. Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera (IFAPA). Recuperado de <https://www.juntadeandalucia.es/agriculturaypesca/ifapa/servifapa/registro-servifapa/9a7c3d25-ce0e-4b14-8c98-4355cb72123e/download>
- Koppert México. (2025). *Habas (Vicia faba)*. Koppert México. Recuperado en 2025, de <https://www.koppert.mx/cultivos/cultivos-herbaceos/habas>
- Kumari, S. G., & Makkouk, K. M. (2007). Virus diseases of faba bean (*Vicia faba* L.) in Asia and Africa. *Plant Viruses*, 1(1), 93–105. https://www.researchgate.net/profile/Safaa-Kumari/publication/298158358_Virus_Diseases_of_Faba_Bean_Vicia_faba_L_in_Asia_and_Africa/links/56e6797b08ae68afa1137fb3/Virus-Diseases-of-Faba-Bean-Vicia-faba-L-in-Asia-and-Africa.pdf
- Lancashire, p. d., Bleiholder, h., Van den Boom, t., Langelüddeke, p., Stauss, r., Weber, e., y Witzemberger, a. (1991). A uniform decimal code for growth stages of crops and weeds.

Annals of Applied Biology, 119(3): 561–601. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.1991.tb04895.x>

Ma, Z., & Michailides, T. J. (2005). Advances in understanding molecular mechanisms of fungicide resistance and molecular detection of resistant genotypes in phytopathogenic fungi. *Crop Protection*, 24(10), 853-863. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2005.01.011>

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>.

Martin PL, Krawczyk T, Pierce K, Thomas C, Khodadadi F, Acimović SG, Peter KA. Fungicide Sensitivity of *Colletotrichum* Species Causing Bitter Rot of Apple in the Mid-Atlantic U.S.A. *Plant Dis*. 2022 Feb;106(2):549-563. doi: 10.1094/PDIS-06-21-1142-RE. Epub 2022 Feb 8. PMID: 34353127.

McInnes, E. F., Papineni, S., Rinke, M., Schorsch, F., & Marxfeld, H. A. (2023). Agrochemicals. In W. M. Haschek, C. G. Rousseaux, M. A. Wallig, & B. Bolon (Eds.), *Haschek and Rousseaux's Handbook of Toxicologic Pathology* (4th ed., Vol. 3, pp. 727–763). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-443-16153-7.00011-3>

Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG). (2010). *Uso y manejo de plaguicidas*. <https://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/t01-10313.pdf>

Mordor Intelligence. (2023). *Tamaño del mercado de habas y análisis de participación: tendencias de crecimiento y pronósticos (2024-2029)*. Recuperado de <https://www.mordorintelligence.com/es/industry-reports/fava-bean-market>

Muriel, J. (2017). *Estrategias de control sustentable en enfermedades en cultivos de cereales*. Comité de Acción de Resistencia a Fungicidas (FRAC). Recuperado de <https://frac-argentina.org/descarga-archivos/CAS-Julio-Muriel-FRAC.pdf>

- NCBI (National Center for Biotechnology Information). (2024). *Uromyces viciae-fabae* (taxid 55588). En NCBI Taxonomy Browser. Recuperado de <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/Taxonomy/Browser/wwwtax.cgi?command=show&mode=node&id=55588&lvl=>
- NCI Diccionario de cáncer. (2011). Instituto Nacional del Cáncer. Disponible en: <https://www.cancer.gov/espanol/publicaciones/diccionarios/diccionario-cancer/def/fungicida>. Fecha de consulta: noviembre de 2023
- Nutrition Data. (2021). Broad bean (*Faba bean*), mature seeds, cooked, boiled, without salt nutrition facts and calories. <https://nutritiondata.self.com/facts/legumes-and-legume-products/4322/2> (accessed July 26, 2021).
- Oplinger, E. S., Putnam, D. H., Doll, J. D., & Combs, S. M. (1989). *Faba bean*. En *Alternative Field Crops Manual*. Purdue University Center for New Crops & Plant Products. <https://www.hort.purdue.edu/newcrop/afcm/fababean.html>
- Oseph, M. E., & Hering, T. F. (1997). Effects of environment on spore germination and infection by broad bean rust (*Uromyces viciae-fabae*). *The Journal of Agricultural Science*, 128(1), 51–59. <https://doi.org/10.1017/S0021859696003787>
- Parker, A., & Blakeman, J. P. (1984). Microflora associated with urediniospores of *Uromyces viciae-fabae* and effects on urediniospore germination. *Transactions of the British Mycological Society*, 83(2), 331–335. [https://doi.org/10.1016/S0007-1536\(84\)80241-7](https://doi.org/10.1016/S0007-1536(84)80241-7)
- Pichón Posada, S. E. (2019). *Efecto de la densidad de siembra y fertilización nitrogenada en el cultivo de haba (Vicia faba L.) en el Valle de Toluca, Estado de México* [Tesis de maestría, Colegio de Postgraduados]. COLPOS Digital. <http://colposdigital.colpos.mx:8080/xmlui/handle/10521/4446>

- 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*) en el área foliar del banano. *Revista Científica Agroecosistemas* 6(1): 128-136. Recuperado de <https://aes.ucf.edu.cu/index.php/aes>.
- Quezada, F. W. O. 2017. Manejo anti-resistencia de la cenicilla (*Oidium* sp) en el cultivo del rosal (*Rosa* sp .), bajo condiciones de invernadero. Tesis de licenciatura. Universidad Técnica de Babahoyo. Ecuador. Disponible en: <http://dspace.utb.edu.ec/handle/49000/3207>. Fecha de consulta: 28 de diciembre de 2023.
- R. Core Team. (2012). A language for modeling and environment for statistical computing. R foundation for statistical computing. Vienna Austria. Disponible en: URL:<http://www.R-project.org/>. Fecha de consulta: 10 de diciembre de 2019
- Rebollar-Albiter, A., Silva-Rojas, H.V., López-Cruz, I., Boyzo-Marín, J., Ellis, M.A. 2012. Fungicide spray programs to manage downy mildew (dryberry) of blackberry caused by *Peronospora sparsa*. *Crop protection* 42:49-53
- Rojas-Tiempo, J., Díaz-Ruiz, R., Álvarez-Gaxiola, F., Ocampo-Mendoza, J., & Escalante-Estrada, A. (2012). Tecnología de producción de haba y características socioeconómicas de productores en Puebla y Tlaxcala. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 3(1), 35–49. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342012000100003
- SADER (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural). (2024). *Anuario Estadístico de la Producción Agrícola*. Dirección General del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (DGSIA). https://nube.agricultura.gob.mx/cierre_agricola
- SAGARPA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación). (2019). Manual para el buen uso y manejo de plaguicidas en campo. Gobierno de México. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/452645/MANUAL_PARA_EL_BUE_N_USO_Y_MANEJO_DE_PLAGUICIDAS_EN_CAMPO.pdf

- Sanidad y Protección Vegetal. (2025). Roya de la judía, garbanzo y haba cultivo leguminosas (*Uromyces appendiculatus*, *U. ciceris-arietini*, *U. viciae-fabae*). Recuperado de https://sanidadyproteccionvegetal.com/roya-leguminosas/?srsltid=AfmBOoqy2IMqiL3toESWUpDvsd_tz0ENd9tQniGDmM5V7x7zD3KyCO3N
- Schoch, C. L., et al. (2020). *NCBI Taxonomy: a comprehensive update on curation, resources and tools. Database (Oxford)*. doi:10.1093/database/baaa062.
- NCBI. (n.d.). *Vicia faba var. major* [Taxonomy ID 1215880]. Recuperado de <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/Taxonomy/Browser/wwwtax.cgi?command=show&mode=node&id=1215880>
- Shaw, M. W. (2009). Fungicide resistance: The dose rate debate. *Outlooks on Pest Management*, 20(3), 100-103. <https://doi.org/10.1564/20jun02>
- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). (2021). Haba verde [PDF]. Gobierno de México. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/726671/Haba_verde_web.pdf
- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). (2026). *Haba verde: una leguminosa de alto valor nutricional*. Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. Recuperado de https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/726671/Haba_verde_web.pdf
- Singh, R. S. 1973 – *Plant Diseases*. Oxford and IBH, New Delhi, 512pp.
- Stoddard, F. L., Nicholas, A. H., Rubiales, D., Thomas, J., & Villegas-Fernández, A. M. (2010). *Integrated pest management in faba bean*. *Field Crops Research*, 115, 308–318. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2009.07.002>
- 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>.
- Tleuova, A. B., Wielogorska, E., Talluri, V. S. S. L. P., Štěpánek, F., Elliott, C. T., & Grigoriev, D. O. (2020). Recent advances and remaining barriers to producing novel formulations of fungicides for safe and sustainable agriculture. *Journal of Controlled Release*, 326, 468–481. <https://doi.org/10.1016/j.jconrel.2020.07.035>
- Toporek, S. M. and Keinath A. P. 2022. Efficacy of Fungicides Used to Manage Downy Mildew in Cucumber Assessed with Multiple Meta-Analysis Techniques. *Phytopathology* 112: 1651-1658. <https://doi.org/10.1094/PHYTO-10-21-0432-R>.
- U.S. EPA Environmental Protection Agency. *Reregistration Eligibility Decision (RED) for Chlorothalonil*, EPA-738-R-99-004. EPA Office of Prevention, Pesticides and Toxic Substances, Washington, D.C. (Publicado en 1999) — disponible como **0097red.pdf** en el archivo de la EPA.
- University of Hertfordshire. (2025a). Epoxiconazole (BAS 480F). PPDB – Pesticide Properties DataBase. <https://sitem.herts.ac.uk/aeru/ppdb/en/Reports/267.htm>
- University of Hertfordshire. (2025b). Azoxystrobin (Ref: ICI 5504). Pesticide Properties DataBase. <https://sitem.herts.ac.uk/aeru/ppdb/en/Reports/54.htm>
- USDA (US Dept of Agriculture). (2021). Food Data Central (Nutrient Database). <https://fdc.nal.usda.gov/> (accessed on January 26, 2021).
- Valencia-Botín, A. J., Jeffers, S. N., Palmer, C. L., and Buck, J. W. 2013. Fungicides used alone, in combinations, and in rotations for managing gladiolus rust in Mexico. *Plant Dis.* 97:1491-1496. <https://doi.org/10.1094/PDIS-03-13-0272-RE>
- Visual Crossing Corporation. (2024). Historical weather data for Toluca, Mexico [Data set]. Visual Crossing. <https://www.visualcrossing.com/weather>

Weber, E., y Bleiholder, H. (1990). Erläuterungen zu den BBCH-Dezimal-Codes für die Entwicklungsstadien von Mais, Raps, Faba-Bohne, Sonnenblume und Erbse – mit Abbildungen. *Gesunde Pflanzen*, 42(11): 308–321.

WHO (World Health Organization). (1957). Expert Committee on Insecticides: seventh report [of a meeting held in Geneva from 10 to 17 July 1956]. World Health Organization.

ANEXOS



Imagen 1. Preparación del terreno para sembrar.



Imagen 2. Medición del terreno para establecer los tratamientos.



Imagen 3. Preparación de la semilla para su posterior siembra.



Imagen 4. Siembra del haba.



Imagen 4. Primeras plantas emergiendo.



Imagen 5. Plantas a aproximadamente 23 DDS.



Imagen 6. Herramientas y deshierbe de los tratamientos.



Imagen 7. Fotos del terreno y los tratamientos.

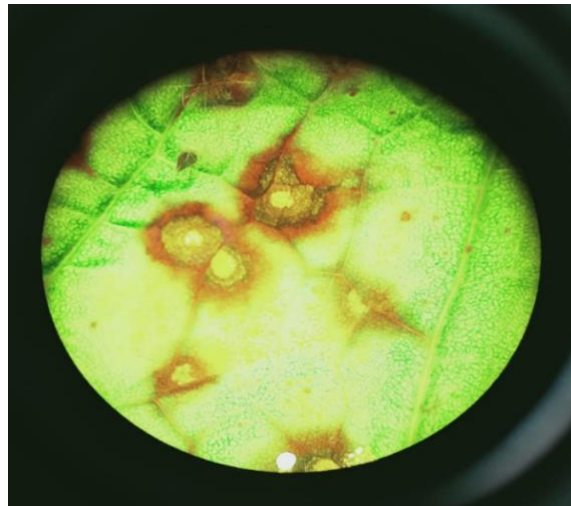


Imagen 8. Aplicación de los tratamientos.

A)



B)



C)

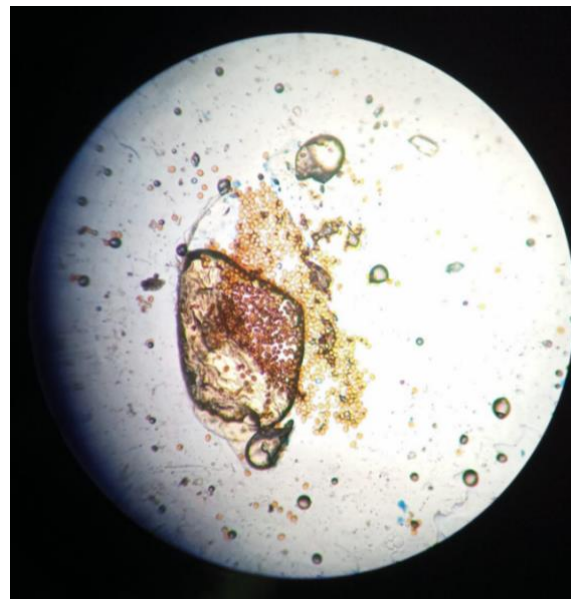


Imagen 9 Sintomatología y estructuras de roya en hojas de haba

A) Planta de haba en campo con síntomas característicos de roya del haba. Se observan pústulas de color café a marrón oscuro distribuidas en el follaje.

B) Observación microscópica del tejido foliar afectado. Se aprecian pústulas con tonalidad café-rojiza.

C) Observación microscópica de estructuras reproductivas del patógeno. Se observa una espora de forma ovalada a elipsoidal, con uredosporas típicas de *Uromyces viciae-fabae*.



Imagen 10. Fotos de las vainas de haba bajo los diferentes tratamientos

En el **Testigo**, se observan vainas con mayor presencia de manchas necróticas y deformaciones. El tratamiento **T1** presenta vainas con daño visible, aunque menor en comparación con el testigo. En **T2**, las vainas muestran afectación intermedia, con presencia moderada de lesiones. El tratamiento **T3** presenta una mayor severidad de daño, con abundantes manchas necróticas distribuidas en la superficie. En **T4**, aunque se observan lesiones visibles en las vainas, se registró el mayor rendimiento en cosecha, y también se observan vainas más uniformes lo que indica que el daño no disminuyó significativamente la producción. Finalmente, el tratamiento **T5** presentó algunas vainas con mejor apariencia visual pero de igual forma presentó vainas con deformaciones y pequeñas, sin embargo, se obtuvo un bajo rendimiento.