



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO

**MAESTRÍA Y DOCTORADO EN CIENCIAS
AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES**

“Distribución Espacial de *Uromyces viciae-fabae* L. y *Rhizoctonia solani* Kühn en el cultivo de Haba (*Vicia faba* L.) en 3 localidades del Estado de México”

T E S I S

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE MAESTRA EN
CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES**

P R E S E N T A:

FRAGOSO BENHUMEA JUZYMA MAYVÉ



El cerrillo Piedras Blancas, Toluca, Estado de México,

15 de Noviembre 2022



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO

MAESTRÍA Y DOCTORADO EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y
RECURSOS NATURALES

“Distribución Espacial de *Uromyces viciae-fabae* L. y *Rhizoctonia solani* Kühn en
el cultivo de Haba (*Vicia faba* L.) en 3 localidades del Estado de México”

TESIS

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE MAESTRA EN CIENCIAS
AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES

P R E S E N T A:

FRAGOSO BENHUMEA JUJYMA MAYVÉ

COMITÉ DE TUTORES

DR. JESÚS RICARDO SÁNCHEZ PALE

DR. ÁLVARO CASTAÑEDA VILDÓZOLA

DR. OMAR FRANCO MORA

El Cerrillo Piedras Blancas, Toluca Estado de México, 15 de
Noviembre 2022.



RESUMEN

La Roya y la Marchitez de la raíz son enfermedades habitualmente presentes en el cultivo de haba en las diferentes regiones de México donde se produce. Su control se ha enfocado principalmente al uso de productos de origen sintético y al abandono de las huertas, que ha ocasionado un menor número de productores dedicados a cultivar la tierra. Un prerrequisito para el manejo de plagas de forma dirigida o focalizada es el conocimiento de la ubicación espaciotemporal donde se desarrolla una enfermedad dentro de la parcela, en momento epidemiológico en que el patógeno es más susceptible.

El desarrollo y expresión de una enfermedad se origina por la íntima relación que se establece entre sus diferentes componentes en el llamado triángulo de la enfermedad, que son, la interacción de un hospedero susceptible, un patógeno virulento y un ambiente favorable. Un cambio en el ambiente de un sistema de producción puede alterar la distribución geográfica en una parcela o en una región, así como la temporalidad de los problemas fitosanitarios, y la aparición de enfermedades infecciosas en donde antes no se conocían.

Este trabajo tuvo como objetivo conocer la distribución espacial y su modelaje al que se ajustaron la roya y marchitez de la raíz en el cultivo de haba, con la finalidad de para crear estrategias de manejo hacia una agricultura de precisión.

Este proyecto fue establecido en el ciclo primavera-verano 2021 en tres localidades del Estado de México (Zinacantepec, Toluca y Calimaya). En cada una se realizaron monitoreos constantes cada 15 días a partir de la fecha de siembra, se tomaron 121 puntos de referencia en 3 parcelas comerciales con una extensión de una hectárea, y se sometieron posteriormente a un análisis estadístico con el software "R". Se evaluaron 7 modelos matemáticos, y se calcularon semivariogramas para obtener los valores del nugget, la meseta y rango, para establecer un modelo estadístico que explicara el comportamiento de la roya y la marchitez de la raíz a través del tiempo.

A cada modelo se realizó su validación mediante validación cruzada de los parámetros de cada modelo ajustado, y procedió a llevar a cabo la técnica de interpolación para seleccionar el kriging con menor error estadístico que permitió generar mapas de dispersión basados en el nivel de dependencia espacial; dichos mapas fueron elaborados con en el programa Surfer 14.0 para poder apreciar la distribución de ambas enfermedades, y que sirva de base para generar un manejo integrado y preciso de la enfermedad.

Palabras Clave: Roya, Marchitez de Raíz, Severidad, Incidencia, Distribución espacial, Haba.

ABSTRACT

Rust and root wilt are diseases usually present in broad bean cultivation in the different regions of Mexico where it is produced. Its control has focused mainly on the use of products of synthetic origin and the abandonment of orchards, which has caused a smaller number of producers dedicated to cultivating the land. A prerequisite for directed or focused pest management is knowledge of the spatio-temporal location where a disease develops within the plot, at the epidemiological moment when the pathogen is most susceptible.

The development and expression of a disease originates from the intimate relationship established between its different components in the so-called disease triangle, which are the interaction of a susceptible host, a virulent pathogen, and a favorable environment. A change in the environment of a production system can alter the geographical distribution in a plot or in a region, as well as the timing of phytosanitary problems, and the appearance of infectious diseases where they were previously unknown.

The objective of this work was to know the spatial distribution and its modeling to which rust, and root wilt were adjusted in broad bean cultivation, to create management strategies towards precision agriculture.

The objective of this work was to know the spatial distribution and its modeling to which rust, and root wilt were adjusted in broad bean cultivation, to create management strategies towards precision agriculture.

This project was established in the spring-summer 2021 cycle in three locations in the State of Mexico (Zinacantepec, Toluca and Calimaya). In each one, constant monitoring was carried out every 15 days from the sowing date, 121 reference points were taken in 3 commercial plots with an extension of one hectare, and they were subsequently subjected to a statistical analysis with the "R" software. Seven mathematical models were evaluated, and semivariograms were calculated to obtain the nugget, plateau, and range values, to establish a statistical model that would explain the behavior of rust and root wilt over time.

Validation of each model was carried out by cross-validation of the parameters of each adjusted model, and the interpolation technique was carried out to select the kriging with the least statistical error, which allowed generating dispersion maps based on the level of spatial dependence; These maps were made with the Surfer 14.0 program to be able to appreciate the distribution of both diseases, and to serve as a basis for generating an integrated and precise management of the disease.

Keywords: Rust, Root wilt, Severity, Incidence, Spatial distribution, Broad bean.

A) CONTENIDO

DEDICATORIAS	¡Error! Marcador no definido.
RESUMEN.....	4
ABSTRACT.....	5
AGRADECIMIENTOS	¡Error! Marcador no definido.
A) CONTENIDO.....	6
B) ÍNDICE DE FIGURAS.....	9
ÍNDICE DE CUADROS.....	14
I. INTRODUCCIÓN GENERAL	15
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	17
2.1. HISTORIA Y CENTRO DE ORIGEN DEL HABA	17
2.2. SINONIMIAS	18
2.3. BOTÁNICA	19
2.4. CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS	21
2.5. PRODUCCIÓN E IMPORTANCIA A NIVEL MUNDIAL, NACIONAL Y ESTATAL	24
Roya (<i>Uromyces viciae-fabae</i> L.....	29
2.7. GEOESTADÍSTICA.....	33
2.8. DISTRIBUCIÓN ESPACIAL.....	34

2.9. ALGUNOS ESTUDIOS DE DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE ENFERMEDADES DEL HABA	36
III. JUSTIFICACIÓN	38
IV. HIPÓTESIS	39
V. OBJETIVOS	39
5.1. OBJETIVO GENERAL	39
5.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	39
VI. MATERIALES Y MÉTODOS	40
6.1. TIEMPO Y ESPACIO DE ESTUDIO	40
6.2. VARIABLES DE ESTUDIO	41
6.3. ANÁLISIS DE DATOS.....	42
6.4. MAPEO.....	43
6.5. ESCALA DIAGRAMÁTICA DE SEVERIDAD PARA ROYA.....	44
6.6. PRUEBA DE IDENTIDAD DE LOS PATÓGENOS DE ESTUDIO.....	45
VII. RESULTADOS	47
7.1. INCIDENCIA Y SEVERIDAD DE <i>Uromyces viciae-fabae</i>	47
7.2. CALIMAYA ESTADO DE MÉXICO.....	47
7.3. ZINACANTEPEC ESTADO DE MÉXICO	52
7.4. TLACOTEPEC ESTADO DE MÉXICO	56
7.5. ANÁLISIS ESPACIAL DE <i>Uromyces viciae-fabae</i> L.	60

7.5.1.	CALIMAYA	60
7.5.2.	ZINACANTEPEC	60
7.5.3.	TLACOTEPEC	61
7.6.	CALIMAYA MAPAS DE DISPERSIÓN <i>Uromyces</i>	66
7.7.	ZINACANTEPEC MAPAS DE DISPERSIÓN <i>Uromyces</i>	69
7.8.	TLACOTEPEC MAPAS DE DISPERSIÓN <i>Uromyces</i>	72
7.9.	INCIDENCIA DE <i>Rhizoctonia solani</i>	75
7.9.1.	CALIMAYA	75
7.9.2.	ZINACANTEPEC ESTADO DE MÉXICO	77
7.10.	RESULTADOS OBTENIDOS DE LOS PARÁMETROS DEL SEMIVARIOGRAMA Y LA VALIDACIÓN CRUZADA DE RHIZOCTONIA SOLANI	
	81	
7.11.	CALIMAYA MAPAS DE DISPERSIÓN	86
7.12.	ZINACANTEPEC MAPAS DE DISPERSIÓN	88
7.13.	TLACOTEPEC MAPAS DE DISPERSIÓN	91
CAPITULO I		94
VIII. DISCUSIONES GENERALES		104
IX. CONCLUSIONES GENERALES		106
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		107

B) ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Centro de Origen del cultivo de haba (rojo) y Dispersión Geográfica (verde) (Fuente: https://s10.lite.msu.edu/res/msu/botonl/b_online/schaugarten/ViciafabaL/Ackerbohne.html)	17
Figura 2. Variedad Vicia faba major (Fuente: https://stock.adobe.com/ar/search?k=%22vicia+faba+var+major%22&asset_id=302165904)	19
Figura 3 Variedad Vicia faba minor (fuente: https://www.dreamstime.com/broad-beans-vicia-faba-pods-seeds-clouse-up-var-major-image107079237)	19
Figura 4 Variedad <i>Vicia faba</i> equina (Fuente: <i>Vicia faba</i> en Otto Wilhelm Thomé, Flora von Deutschland, Österreich und der Schweiz, 1885).	20
Figura 5 Variedad <i>Vicia faba</i> paucijuga (Fuente: <i>Vicia faba</i> en Otto Wilhelm Thomé, Flora von Deutschland, Österreich und der Schweiz, 1885).	20
Figura 6 Morfología de la planta <i>Vicia faba</i> (Fuente: propia).	24
Figura 7. Gráficos de Producción de <i>Vicia faba</i> para grano seco y fresco a nivel nacional.	25
Figura 8. Producción de haba en el Estado de México. (Fuente: propia, datos del SIAP, 2020).	26
Figura 9. Triangulo de la Enfermedad según Betancourt ,2021.	27
Figura 10. Botrytis ciclo y síntoma en campo (Fuente: propia)	29
Figura 11. <i>Uromyces fabae</i> síntomas en campo y estructura (Fuente: propia).	30
Figura 12. <i>Ascochyta fabae</i> síntoma en campo y estructura (Fuente: propia)	31
Figura 13. <i>Rhizoctonia</i> síntoma de pudrición y estructura (Fuente: propia).	32
Figura 14. Diseño topológico para la toma de datos	40

Figura 15. Escala diagramática para medir la severidad de roya propuesta por Fragoso, 2022.	41
Figura 16. Cámara húmeda para realizar las pruebas de identidad de los patógenos de <i>Uromyces</i> y <i>Rhizoctonia</i>. (Fuente: Propia)	46
Figura 17. Progreso de la Incidencia de <i>Uromyces viciae fabae</i> en la parcela Parcela 1 de la localidad de Calimaya.	48
Figura 18. Progreso de la Severidad de <i>Uromyces viciae fabae</i> en la aprcela 1 de la localidad de Calimaya.	49
Figura 19. Progreso de la Incidencia de <i>Uromyces viciae fabae</i> en la parcela 2 de la localidad de Calimaya.	49
Figura 20. Progreso de la Severidad de <i>Uromyces viciae fabae</i> en la parcela 1 de la localidad de Calimaya	50
Figura 21. Profreso de la Incidencia de <i>Uromyces viciae fabae</i> en la parcela 3 de la locaidad de Calimaya	51
Figura 22. Progreso de la severidad de <i>Uromyces viciae fabae</i> en la parcela 3 de la localidad de Calimaya	51
Figura 23. Progreso de la incidencia de <i>Uromyces viciae fabae</i> en la parcela 1 de la localidad de Zinacantepec.	52
Figura 24. Progreso de la Severidad ocasionada por <i>Uromyces viciae fabae</i> en la parcela 1 de la localidad de Zinacantepec.	53
Figura 25. Progreso de la incidencia de <i>Uromyces viciae fabae</i> en la parcela 1 de la localidad de Zinacantepec	53
Figura 26. Progreso de la Severidad de <i>Uromyces viciae fabae</i> en la aprcela 2 en la localidad de Zinacantepec	54

Figura 27. Progreso de la Incidencia de Uromyces viciae fabae en la parcela 3 de la localidad de Zinacantepec.....	55
Figura 28. Progreso de la Severidad de Uromyces viciae fabae en la parcela 3 de la localidad de Zinacantepec.....	55
Figura 29. Progreso de la Incidencia de Uromyces viciae fabae en la parcela 1 del municipio de Tlacotepec.....	56
Figura 30. Progreso de la Severidad de Uromyces viciae fabae en la parcela 1 del municipio de Tlacotepec.....	57
Figura 31. Progreso de la Incidencia de Uromyces viciae fabae en la parcela 2 del municipio de Tlacotepec.....	57
Figura 32. Progreso de la Severidad de Uromyces viciae fabae en la parcela 2 del municipio de Tlacotepec.....	58
Figura 33. Progreso de la Incidencia de Uromyces viciae fabae en la parcela 3 del municipio de Tlacotepec.....	59
Figura 34. Progreso de la Severidad de Uromyces viciae fabae en la parcela 3 del municipio de Tlacotepec.....	59
Figura 35. Mapas de distribución espacial de U. viciae-fabae en la parcela 1 del municipio de Calimaya.....	66
Figura 36. Mapas de distribución espacial de U. viciae-fabae en la parcela 2 del municipio de Calimaya.....	67
Figura 37. Mapas de distribución espacial de U. viciae-fabae en la parcela 3 del municipio de Calimaya.....	68
Figura 38. Mapas de distribución espacial de U. viciae-fabae en la parcela 1 del municipio de Zinacantepec.....	69

Figura 39. Mapas de distribución espacial de <i>U. viciae-fabae</i> en la parcela 2 del municipio de Zinacantepec.....	70
Figura 40. Mapas de distribución espacial de <i>U. viciae-fabae</i> en la parcela 3 del municipio de Zinacantepec.....	71
Figura 41. Mapas de distribución espacial de <i>U. viciae-fabae</i> en la parcela 1 del municipio de Tlacotepec.	72
Figura 42. Mapas de distribución espacial de <i>U. viciae-fabae</i> en la parcela 2 del municipio de Tlacotepec.	73
Figura 43. Mapas de distribución espacial de <i>U. viciae-fabae</i> en la parcela 3 del municipio de Tlacotepec.	74
Figura 44. Progreso de la incidencia de <i>R. solani</i> en la parcela uno de la localidad de Calimaya	75
Figura 45. Progreso de la incidencia de <i>R. solani</i> en la parcela 2 de la localidad de Calimaya	76
Figura 46 Progreso de la incidencia de <i>R. solani</i> en la aprcela 3 de la localidad de Calimaya	76
Figura 47. Progreso de la incidencia de <i>R. solani</i> en la parcela 1 del municipio de Zinacantepec.....	77
Figura 48. progreso de la incidencia de <i>R. solani</i> en la parcela 2 de la localidad de Zinacantepec.....	78
Figura 49 <i>Progreso de la incidencia de R. solani</i> en la parcela 3 de la localidad de Zinacantepec.....	78
Figura 50. Progreso de la incidencia de <i>R. solani</i> en la aprcela 1 de la localidd de Tlacotepec	79

Figura 51. Progreso de la incidencia de R. solani en la parcela 2 de la localidad de Tlacotepec.	80
.....	
Figura 52. Progreso de la incidencia de R. solani en la parcela 3 de la localidad de Tlacotepec.	80
.....	
Figura 53. Mapas de distribución espacial de Rhizoctonia solani en la parcela 1 del municipio de Calimaya	86
.....	
Figura 54. Mapas de distribución espacial de Rhizoctonia solani en la parcela 2 del municipio de Calimaya.	87
.....	
Figura 55. Mapas de distribución espacial de Rhizoctonia solani en la parcela 3 del municipio de Calimaya.	88
.....	
Figura 56. Mapas de distribución espacial de Rhizoctonia solani en la parcela 1 del municipio de Zinacantepec.	88
.....	
Figura 57. Mapas de distribución espacial de Rhizoctonia solani en la parcela 2 del municipio de Zinacantepec.	89
.....	
Figura 58. Mapas de distribución espacial de Rhizoctonia solani en la parcela 3 del municipio de Zinacantepec.	90
.....	
Figura 59. Mapas de distribución espacial de Rhizoctonia solani en la parcela 1 del municipio de Tlacotepec.	91
.....	
Figura 60. Mapas de distribución espacial de Rhizoctonia solani en la parcela 2 del municipio de Tlacotepec.	92
.....	
Figura 61. Mapas de distribución espacial de Rhizoctonia solani en la parcela 3 del municipio de Tlacotepec.	93
.....	

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Parámetros de los modelos ajustados a los semivariogramas y su validación obtenida de los monitoreos de <i>U. viciae-fabae</i> en Calimaya	63
Cuadro 2. Parámetros de los modelos ajustados a los semivariogramas y su validación obtenida de los monitoreos de <i>U. viciae-fabae</i> en Zinacantepec.....	64
Cuadro 3. Parámetros de los modelos ajustados a los semivariogramas y su validación obtenida de los monitoreos de <i>U. viciae-fabae</i> en Tlacotepec	65
Cuadro 4. Parámetros de los modelos ajustados a los semivariogramas y su validación obtenida de los monitoreos de <i>R. solani</i> en Calimaya.....	83
Cuadro 5. Parámetros de los modelos ajustados a los semivariogramas y su validación obtenida de los monitoreos de <i>R. solani</i> en Zinacantepec.	84
Cuadro 6. Parámetros de los modelos ajustados a los semivariogramas y su validación obtenida de los monitoreos de <i>R. solani</i> en Tlacotepec.....	85

I. INTRODUCCIÓN GENERAL

El haba ha tenido tradicionalmente un mercado importante en los países industrializados y es empleada para consumo humano y animal (Crépon *et al.*, 2010). Según el Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP, 2020), a nivel nacional su rendimiento va de las 0.95 a 3.32 toneladas por hectárea de grano seco y de 3.5 a 7.74 toneladas por hectárea en haba verde. El Estado de México ocupa el primer lugar a nivel nacional en la producción de haba verde, al aportar el 47.4% del total, el Estado de Puebla ocupa el primer lugar en producción de haba en grano con el 34.6% y Michoacán el 7.7%, por lo que estas tres localidades en conjunto conforman el 29.9% de la producción a nivel nacional.

En las últimas décadas, este cultivo ha tenido un descenso en el rendimiento por hectárea, esto, se debe fundamentalmente a la ausencia de variedades mejoradas que se adapten a las condiciones regionales para la mecanización del cultivo y también a los ataques de plagas y enfermedades, dentro de las cuales se encuentran las manchas foliares, como *Botrytis spp.*, *Uromyces viciae-fabae*, y *Ascochyta fabae*, y algunas en la raíz, tal es el caso de *Rhizoctonia solani*, que individualmente o en conjunto pueden destruir las plantaciones (López, 2013).

Los efectos de las enfermedades no solo se dan sobre la «cosecha no recuperable», sino también en los altos costos de producción en que se incurre al tratar de controlarlas, siendo la dependencia tecnológica la que genera la necesidad de mayor mano de obra, e insumos agrícolas para su producción (SIAP, 2020).

El conocimiento de la distribución espacial de una enfermedad es un aspecto muy importante para la generación de estrategias eficientes de manejo de manera integrada, siendo así una ventaja de la

geoestadística la caracterización de la distribución espacial a lo largo de múltiples escalas y direcciones, esto debido a que los métodos geoestadísticos proporcionan una medida de la dependencia espacial respecto a otros métodos porque consideran la naturaleza bidimensional de la distribución de los organismos, además de que permiten la elaboración de mapas útiles que muestran gradientes de intensidad de la enfermedad, (Sánchez *et al.*, 2011a)

En base a la información anterior se pretende realizar el análisis de la distribución espacial que expresan dos de las enfermedades de gran importancia económica (roya y marchitez de la raíz) en cultivos de haba del Valle de Toluca, con la finalidad de aportar las bases hacia un tratamiento focalizado que permita reducir el costo de insumos agrícolas a los productores, y tener un mejor rendimiento y calidad del cultivo.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. HISTORIA Y CENTRO DE ORIGEN DEL HABA

Vicia faba L. fue una de las primeras leguminosas domesticadas por el hombre, tiene su origen en la región mediterránea y en el suroeste de Asia, aunque no se conoce con exactitud en donde fue domesticada. Sin embargo, existen evidencias de su existencia en la época del neolítico temprano (5000 A.C.) en el cercano oriente, (Zohary,1972) menciona que el antepasado de *Vicia faba* fue la *Vicia galilea*, hecho que ayudo en la predicción del lugar de origen, haciendo mención de que fue en Asia Central. (Figura 1)

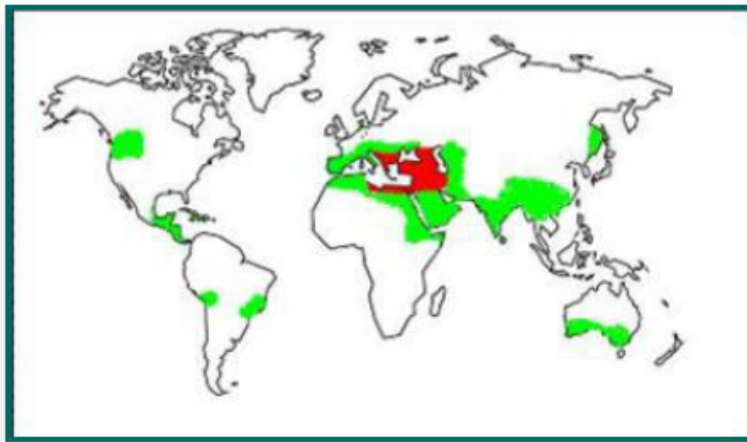


Figura 1 Centro de Origen del cultivo de haba (rojo) y Dispersión Geográfica (verde) (Fuente: https://s10.lite.msu.edu/res/msu/botonl/b_online/schaugarten/ViciafabaL/Ackerbohne.html)

Sus primeras descripciones fueron realizadas en China (100 A.C.) y Japón (700 años D.C.), aunque no fue hasta el 1313 D.C. cuando fue realmente determinado. La primera descripción formal fue realizada en Japón por Tashiki-Han (Griffiths,1983) en un diccionario de plantas publicado en 1631.

Las primeras variedades de semillas pequeñas en aparecer fueron *Vicia faba minor*, seguida por los tipos de semilla larga *Vicia faba major*, procedentes de China en el siglo XVI y las variedades nuevas de plantas de haba de tamaño largo (*Vicia faba major* y mediano, *Vicia faba equina*) que vinieron de Perú, Inglaterra, Francia y España en el año 1980. Lo que explica la existencia de dos tipos de *Vicia faba L.*; (semillas pequeñas y medianas) estudiadas para la producción de semilla seca y para la producción destinada al consumo en grano verde (semilla larga).

Las habas fueron traídas al nuevo continente en la época de la colonia. Llegaron a América en 1602 y fueron cultivadas por primera vez en la Costa Atlántica de los Estados Unidos de Norte América, tanto para producir grano seco o semilla, como para producir frutos verdes y tiernos (Pérez & González, 2003)

Esta especie fue introducida a México con la llegada de los españoles, hace casi 600 años. Actualmente se cultiva ampliamente en regiones templadas y subtropicales (Flores *et al.*, 2012).

2.2. SINONIMIAS

El nombre botánico del haba puede ser: *Vicia faba minor*; *Vicia faba major*; *Vicia faba equina* y *Vicia faba paucijuga*. Sin embargo, en los países de habla inglesa, a todas estas variedades botánicas se le conoce con nombre común de Broad Beans o Faba Bean, aunque países como Canadá, a la variedad *Vicia faba minor* y *Vicia faba equina* las distinguen llamándolas *Faba traba*.

2.3. BOTÁNICA

Según López (2013), taxonómicamente el haba se clasifica dentro de la del género *vicia*, de la sección *faba* debido al gran tamaño y menor número de cromosomas. Esto la convierte en una especie Diploide con seis pares de cromosomas ($2n=12$).

Algunos investigadores han sugerido cuatro subespecies o variedades botánicas las cuales son:

Vicia faba major: variedad empleada para el consumo humano, el tamaño de la semilla va de mediano a grande, su peso oscila entre 1 a 2.5 gramos y la altura de planta puede ir desde 1 a 2.5 metros. (Figura 2).



Figura 2. Variedad *Vicia faba major* (Fuente: https://stock.adobe.com/ar/search?k=%22vicia+faba+var+major%22&asset_id=302165904)

Vicia faba minor: se cultiva fundamentalmente para consumo animal y se cosecha en seco, el contenido de proteína es mayor, las semillas pequeñas y de forma elipsoidal, su peso es menor de 1 gramo y la vaina contiene de 1 a 5 semillas (Figura 3).



Figura 3 Variedad *Vicia faba minor* (fuente: <https://www.dreamstime.com/broad-beans-vicia-faba-pods-seeds-clouse-up-var-major-image107079237>)

Vicia faba equina: es también conocida como haba de caballo, y se utiliza para alimentar al ganado, las semillas son pequeñas y aplanadas, además de que la vaina posee de 3 a 4 semillas.

(Figura 4)



Figura 4 Variedad *Vicia faba equina* (Fuente: *Vicia faba* en Otto Wilhelm Thomé, *Flora von Deutschland, Österreich und der Schweiz*, 1885).

Vicia faba paucijuga: es una subespecie silvestre que se encuentra en proceso de domesticación, tiene el comportamiento de una planta autógama y es caracterizada por tener pocos folíolos por hoja, vainas indehiscentes y semillas pequeñas (Figura 5).



Figura 5 Variedad *Vicia faba paucijuga* (Fuente: *Vicia faba* en Otto Wilhelm Thomé, *Flora von Deutschland, Österreich und der Schweiz*, 1885).

El haba es un cultivo herbáceo, anual, de germinación hipogea, de habito determinado o indeterminado.

2.4. CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS

Raíz

Es de tipo pivotante, profunda y de consistencia herbácea, tiene raíces laterales bien desarrolladas, los pelos absorbentes se encuentran en las partes más jóvenes de ellas, y son los órganos epidérmicos encargados de la absorción de agua y nutrimentos, es aquí mismo donde se pueden llegar a desarrollar nódulos, producto de una simbiosis entre la planta y bacterias de la especie de *Rhizobium leguminosarum*, en donde se fija el nitrógeno atmosférico (López, 2013).

Tallo

Es erguido, rígido, fistuloso, fuerte y robusto, de sección cuadrangular, alado, y tetragonal; herbáceo en los primeros estadios, y varían en altura de 0.5 a 2 metros, dependiendo de la variedad, densidad de siembra, fertilidad del suelo y condiciones ecológicas; llegan a ser leñosos a la cosecha. Producen macollos que nacen en el cuello de la planta o en la base del tallo y el número fluctúa dependiendo de la variedad; en casos óptimos puede llegar hasta 12, siendo su promedio 4 a 6 macollos (López, 2013).

Hoja

Las hojas son compuestas pinnadas, ubicadas en forma alterna al tallo y poseen de 4 a 7 folíolos de borde entero los que son casi siempre anchos y netamente faciales. La cara superior o haz, suele ser de color verde más intenso, menos nervosa que la cara inferior o envés. El raquis es bien

desarrollado y es considerado el eje mediano de la hoja; los foliolos se insertan casi directamente por la falta del peciolo. Las estípulas son apéndices que nacen en la base de las hojas y tienen la finalidad de proteger a las yemas.

La hoja se une al tallo por intermedio del peciolo en el nudo del tallo. El peciolo es bien diferenciado por su forma alargada y por ser aplanado o canaliculado hacia arriba. Las estípulas son apéndices que nacen en la base de la hoja, son semisajitadas y su finalidad es proteger las yemas (Horque, 2004).

Flor

Las flores son de simetría bilateral, zigomorfas, agrupadas en racimos en número de 2 a 12 flores, son hermafroditas, lo que significa que poseen ambos sexos en la misma flor, el gineceo es supero, unicarpelar y unilocular.

Tienen la corola más evolucionada, dialipétala con un pétalo superior llamado estandarte o vexilo, 2 laterales libres llamados alas y 2 inferiores soldados a lo largo de su línea de contacto. Este conjunto se llama quilla, el cual envuelve y protege los órganos sexuales de la flor.

Las flores blancas, cremosas o azuladas tienen manchas negras o pardas en las 2 alas; el estandarte tiene una mancha o lunar grande de color oscuro en la base, además de rayas características. El cáliz es de color verde, en forma de tubo por 5 sépalos unidos y termina en 5 lóbulos o dientes. (López, 2013).

El androceo consta de 10 estambres diadelfos, nueve de ellos soldados, formando un tubo que encierra el gineceo, quedando libre el décimo estambre. El gineceo está formado por una sola hoja carpelar, diferenciada en ovario, estilo y estigma. El ovario es cilíndrico, lateralmente comprimido,

donde los óvulos se insertan en una sola hilera en la sutura placentar o ventral. El estilo filiforme, con pelos debajo del estigma en forma de barba o cepillo. El estigma es especial; se encuentra protegido en la quilla. Es grueso, convexo, papiloso o viscoso, puede presentar del 5 al 60% de polinización cruzada (López, 2013).

Fruto

El fruto es en vaina o legumbre, gruesa, carnosa, alargada y algo comprimida, con las semillas dispuestas en una hilera ventral. La dehiscencia se produce en las suturas dorsal y ventral, separándose éste en dos valvas o mitades. Las vainas son de color verde al estado tierno y a la madurez se tornan coriáceas y de color negro. La disposición de los frutos varía, desde erguidos, formando un ángulo muy agudo con el tallo, hasta colgantes. Las dimensiones son variables de acuerdo con las variedades, pudiendo alcanzar desde 5 hasta 30 cm. Puede contener de 2 a 6 semillas comprimidas o grandes de color y tamaño diferentes (López, 2013).

Semilla

Las semillas son de forma ovalada, de superficie lisa, opaca y brillante, de coloración muy variada, que va desde colores oscuros hasta los claros; así el color puede ser negro, rojo, verde, morado, pardo, grisáceo, blanco-cremoso o blanco; también pueden ser jaspeadas o de dos colores, El tamaño de la semilla varía desde pequeñas, con un largo de aproximadamente 1.6 cm, hasta semillas grandes, con un largo aproximado de 3.5 cm. Exteriormente, el tegumento presenta varias partes o apéndices que sirven para reconocer las especies; entre ellas está el hilio o cicatriz, dejada en la semilla por la separación del funículo; éste es opaco, ovalado o lineal y generalmente de color negro (López, 2013) (Figura 6).



Figura 6 Morfología de la planta *Vicia faba* (Fuente: propia).

2.5. PRODUCCIÓN E IMPORTANCIA A NIVEL MUNDIAL, NACIONAL Y ESTATAL

El haba pertenece a la familia *Fabacea*, y es la séptima leguminosa de grano más importante del mundo (Crépon *et al.*, 2010).

Los 10 principales países productores de haba en 2018 fueron: China, Etiopía, Australia, Reino Unido, Alemania, Francia, Egipto, Sudán, Suecia y Marruecos, que aportan el 57% de la producción mundial total. China fue el principal productor en 2017 con 1'803,019 millones de toneladas, seguido de Etiopía y Australia (FAOSTAT, 2018).

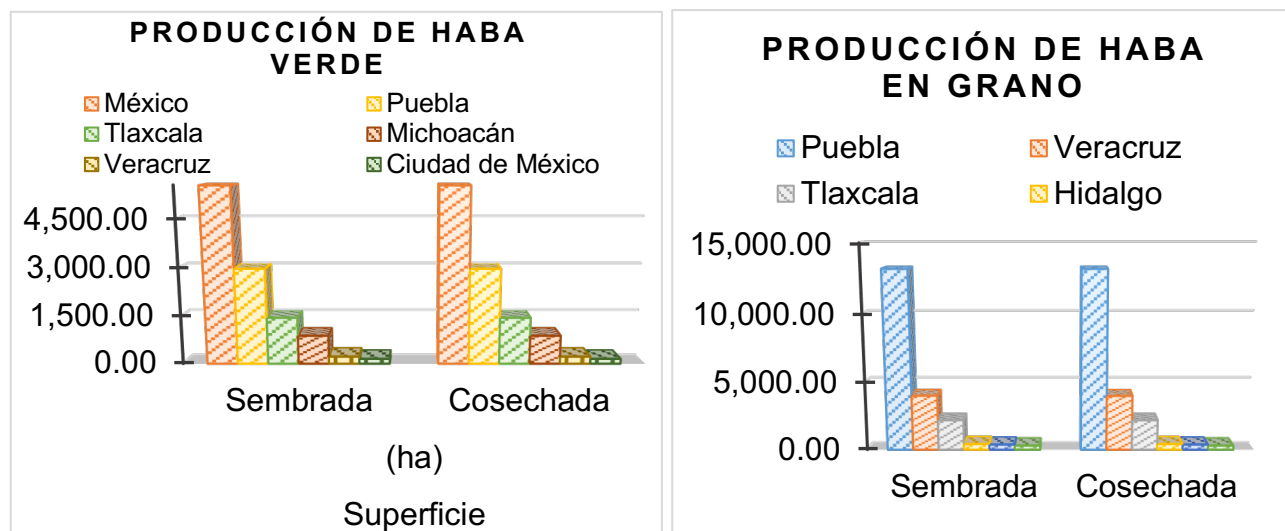


Figura 7. Gráficos de Producción de *Vicia faba* para grano seco y fresco a nivel nacional.

En cuanto a rendimiento la FAOSTAT en 2018 nos dice que podemos encontrar a Portugal en el primer lugar con 10.54 t ha^{-1} , seguido de Argentina y Uzbekistán. México ocupa el 34° lugar, con 1.56 t ha^{-1} . Según datos del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (2018) indica que a nivel Nacional los Estados de México y Puebla son los principales productores de vaina verde y en grano con un volumen de producción de 34,928.12 y 15,000.31 toneladas respectivamente y con un rendimiento promedio de 6.37 y 1.14 toneladas por hectárea (Figura 7).

Según datos del SIAP, en el 2020 la producción de haba verde en México fue de 82,537 toneladas (+15.0% en comparación con 2019), las cuales fueron obtenidas de 13,007 hectáreas cosechadas (+14.1%), por lo que el rendimiento promedio nacional quedó en 6.3 toneladas por hectárea (+0.7%). La superficie sembrada inicialmente fue de 13,007 hectáreas.

Los principales municipios productores son: Coatepec Harinas, Amanalco, Ocuilan, Texcaltitlán, Ixtlahuaca, Almoloya de Juárez, Tenango del Valle, Tianguistenco, Toluca y Villa de Allende (Figura 8)

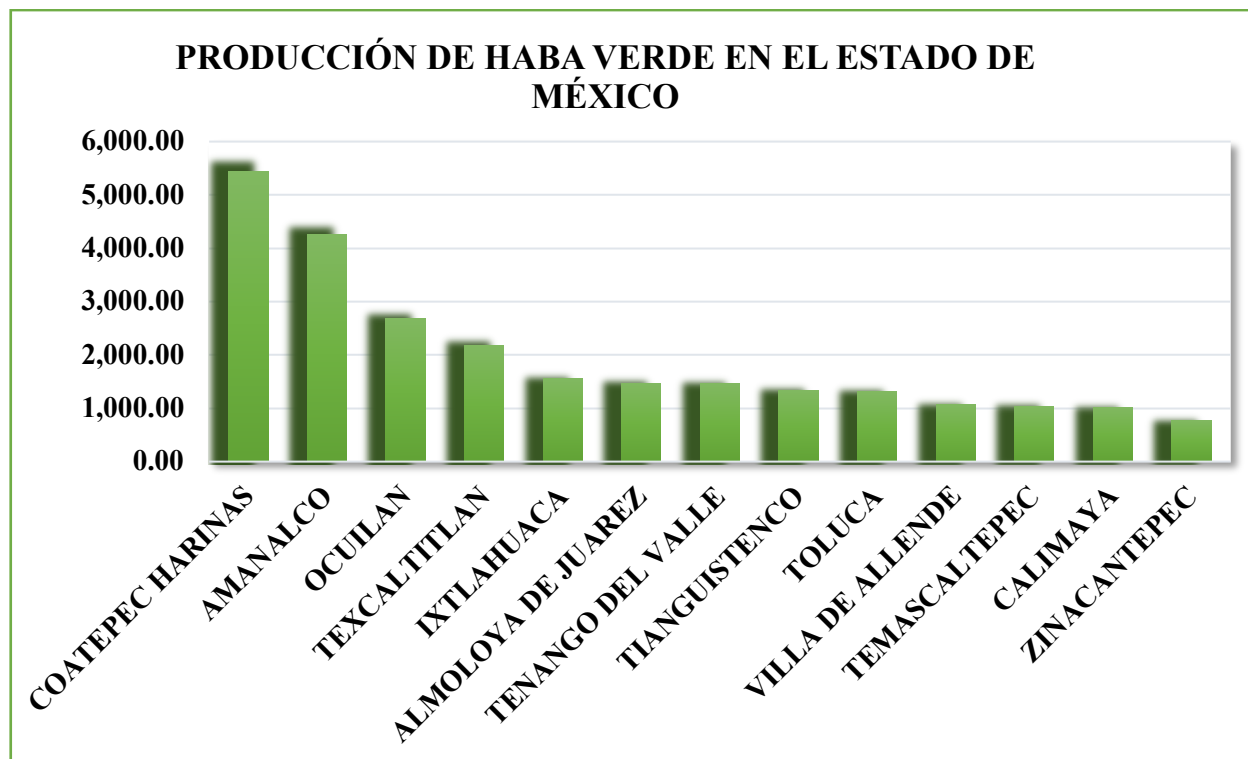


Figura 8. Producción de haba en el Estado de México. (Fuente: propia, datos del SIAP, 2020).

A pesar de la importancia que tiene esta leguminosa en los Valles Altos del Centro de México, su uso potencial se ha restringido, principalmente por la susceptibilidad a enfermedades y por la carencia de información sobre la diversidad y variabilidad genética, así como por el desconocimiento del adecuado y eficiente manejo de los componentes esenciales de los sistemas de producción, tanto extensivos como intensivos (Griffiths, 1983, Morales *et al.*, 2002 y Jordán *et al.*, 2019).

2.6. ENFERMEDADES

Las plantas sufren enfermedades cuando son atacadas por algún patógeno o son afectadas por un agente abiótico. Por lo tanto, para que se produzca alguna enfermedad en las plantas, deben entrar en contacto e interactuar por lo menos dos componentes, a saber, la planta hospedante y el patógeno. Los factores del ambiente que afectan mayormente el inicio y desarrollo de las enfermedades infecciosas de las plantas son la temperatura, la humedad, la luz, los nutrientes y el pH del suelo (Agrios, 2004)

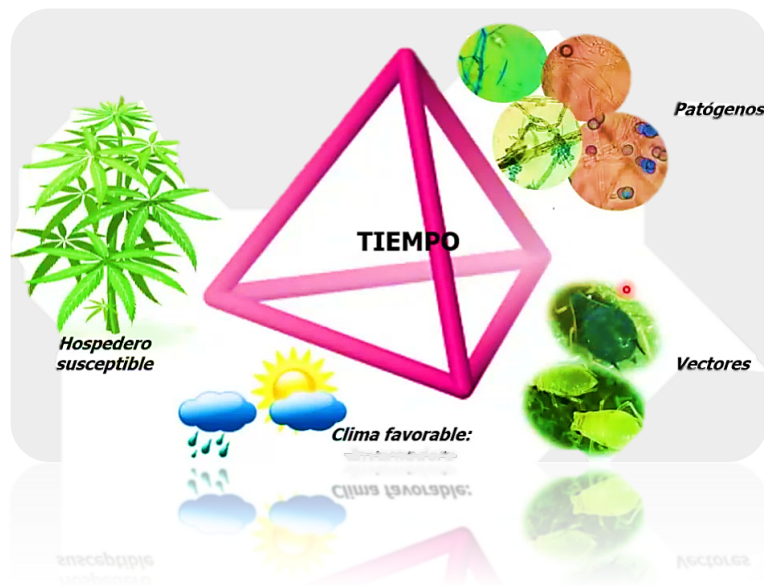


Figura 9. Triángulo de la Enfermedad según Betancourt ,2021.

Según Agrios, 2004 existen 5 factores que afectan el desarrollo de la enfermedad: el patógeno, el hospedante, el ambiente, el clima y el hombre, la interacción de los estos determinaran el grado de intensidad de la enfermedad sobre la planta (Figura 9).

En el cultivo del haba se presentan generalmente enfermedades de origen fungoso, y que pueden afectar hasta en un 80% la producción de grano por lo que es muy importante conocer el comportamiento de éstos (Choquehuanca, 2010).

Existen diversas variables que favorecen el desarrollo e incremento de los patógenos como las condiciones ambientales, la susceptibilidad de los materiales genéticos (variedades), la poca o escasa rotación de agroquímicos (resistencia del patógeno), el desbalance nutricional, entre otras (Meza, 2018).

Las enfermedades más reportadas dentro del cultivo de haba son principalmente: mancha chocolate (*Botrytis fabae*), mancha café (*Ascochyta fabae*), roya (*Uromyces viciae-fabae*), mancha circular de la hoja (*Alternaria alternata*), pudrición de raíz (*Rhizoctonia solani*) y algunos virus.

Botrytis (*Botrytis fabae* Sard.)

Es la principal enfermedad que afecta a las hojas, tallos, flores, vainas verdes y grano. La fase no agresiva se presenta desde la emergencia hasta la madurez del cultivo. Pertenece al orden de las *Helotiales*, dentro de la familia *Sclerotiniaceae*.

Etiología

Este hongo produce abundante micelio gris, conidióforos largos y ramificados que portan racimos de conidias ovoides, unicelulares, hialinas, produciéndose a menudo esclerocios de color negro (Horque, 2004).

Sintomatología:

En la fase inicial del desarrollo del cultivo, la enfermedad se puede presentar en forma de manchas características de color chocolate sobre las hojas (fase no agresiva), posteriormente alcanza a los

tallos, flores y vainas. En la fase agresiva de la enfermedad (floración, formación y maduración de vainas), las partes afectadas se ven como manchas necrosadas con abundante formación de una felpa de color gris marrón sobre la misma (CoCa, 2004) (Figura 10).

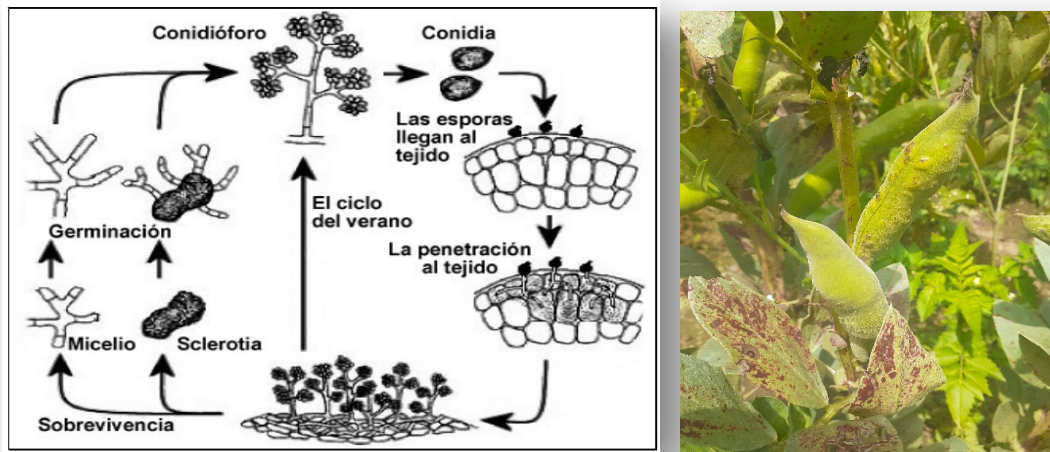


Figura 10. *Botrytis* ciclo y síntoma en campo (Fuente: propia)

Roya (*Uromyces viciae-fabae* L.)

Del orden de las *Uredinales*, perteneciente a la familia *Pucciniaceae* es una de las principales enfermedades en el cultivo del haba, es causada por hongos de los géneros *Puccinia spp.*, *Uromyces viciae-fabae*. Se presenta, generalmente, a partir de la última etapa de floración y hasta la maduración del cultivo. Afecta únicamente a las hojas de las partes medias y basales de la planta. (Figura 11)

Etiología:

El agente causal de la roya del haba ha sido identificado como *Uromyces fabae*. Las uredosporas muestran sus características típicas del género *Uromyces*. Las pústulas sobre las hojas conservan el estado uredial (CoCa, 2004)

Sintomatología:

Se presentan juntamente con otras manchas foliares, como la mancha chocolate. Las pústulas son características de las royas, vistas como polvillos de color café marrón (conformadas por las masas de las uredosporas del hongo). Las pústulas se encuentran en el centro de un halo clorótico presentes en el haz y en el envés de las hojas. En otros casos dentro del halo se presentan varias pústulas dispuestas en círculos o irregularmente (CoCa, 2004).

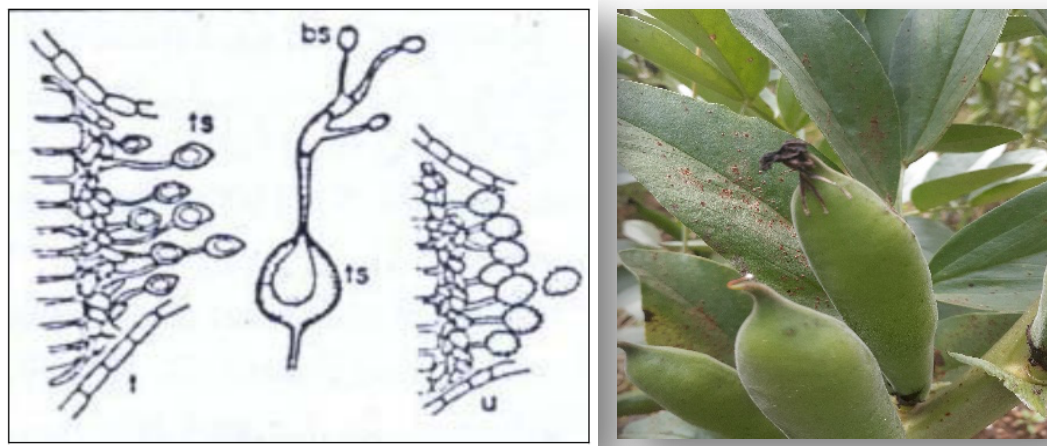


Figura 11. *Uromyces fabae* síntomas en campo y estructura (Fuente: propia).

Mancha café (*Ascochyta fabae* Sperg.)

Es una enfermedad causada por hongos de la familia *Sphaeropsidaceae* del género *Ascochyta* de gran importancia mundial, por sus efectos destructivos en la producción de haba. Normalmente afecta hojas, tallos, vainas y granos, se estima reducciones de producción que van del 13 al 20%. (Figura 12).

Etiología:

El agente causal es *Ascochyta fabae* Speg., sus picnidias sobre las lesiones de las vainas son fácilmente visibles por ser prominentes y de color pardo oscuro. Presentan ostiolo y tiene pared delgada, vista al microscopio muestra una forma circular de borde oscuro y una parte central traslucida formada por la masa de conidias. Las conidias son hialinas, rectas o ligeramente curvadas, mayormente con una septa y otros con dos a tres septas (CoCa, 2004).

Sintomatología:

Se presentan en las vainas de la primera floración (tercio inferior) a manera de lesiones irregulares, ligeramente hundidas y de color marrón oscuro a negruzco. Cuando estas lesiones coalescen las vainas quedan cubiertas de un manchón negro, que gradualmente ocasionan el secamiento de las vainas, antes de completar su madurez natural (Agrios, 2004).

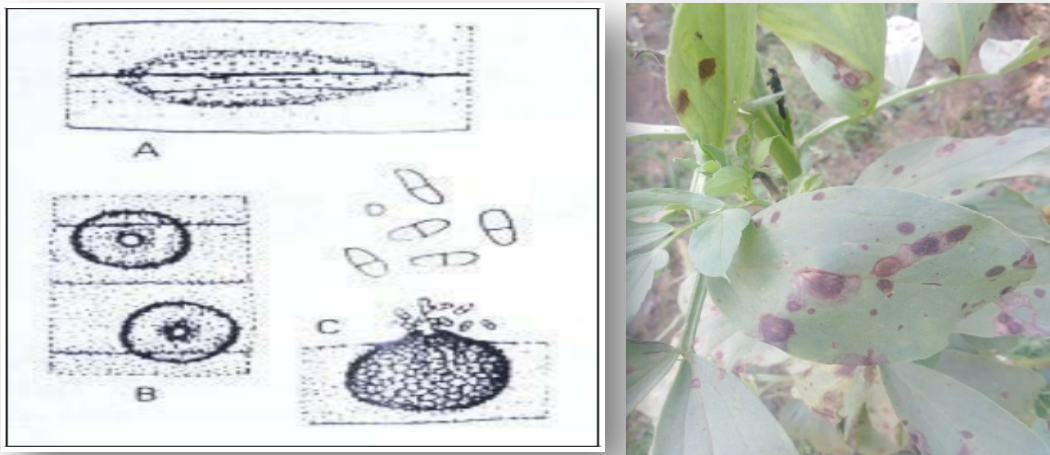


Figura 12. *Ascochyta fabae* síntoma en campo y estructura (Fuente: propia)

Pudrición o Marchitez de Raíz (*Rhizoctonia solani* Khün)

Causada principalmente por *Rhizoctonia solani*, perteneciente al orden de los *Agonomycetales* de la familia de los *Agonomycetaceae* produce una pudrición en raíz difícil de identificar (Figura 13).

Sintomatología:

En plántulas los tallos presentan estrangulamiento cerca de la superficie del suelo, ocasionando pudrición de raíces y muerte de la emergencia; en plantas más desarrolladas la enfermedad avanza progresiva y lentamente, adquiriendo mayor severidad al inicio de floración. A este nivel las hojas se tornan de color verde pálido o amarillo, provocando detención en el crecimiento y marchitamiento de la planta. En estados avanzados del ataque, las plantas pueden ser extraídas del suelo fácilmente (Horque, 2004).



Figura 13. *Rhizoctonia* síntoma de pudrición y estructura (Fuente: propia).

2.7. GEOESTADÍSTICA

Es una rama de la estadística que comprende un conjunto de herramientas y técnicas que sirven para analizar y predecir los valores de una variable que se muestra distribuida en el espacio o en el tiempo de una forma continua, su aplicación va orientada a los Sistemas de Información Geográfica (SIG), también definida como la estadística relacionada con los datos geográficos, de ahí que se le conozca como estadística espacial. La geoestadística debe de llevarse a cabo en tres etapas:

1. Análisis exploratorio de los datos: una etapa de aplicación de la estadística, en donde se estudian los datos muestrales sin tener en cuenta su distribución geográfica. Se comprueba la consistencia de los datos, eliminándose los erróneos e identificándose las distribuciones de las que provienen.
2. Análisis estructural: estudio de la continuidad espacial de la variable. Se calcula el variograma, u otra función que explique la variabilidad espacial, y se ajusta al mismo un variograma teórico.
3. Predicciones. Estimaciones de la variable en los puntos no muestrales, considerando la estructura de correlación espacial seleccionada e integrando la información obtenida de forma directa en los puntos muestrales, así como la conseguida indirectamente en forma de tendencias conocidas.

Una vez definidos los puntos del variograma experimental, será necesario ajustar un modelo a dichos puntos. Los modelos básicos más usados son los denominados esférico, exponencial, gaussiano, potencial, lineal y el efecto pepita puro, pudiéndose combinar linealmente (Moral, 2004).

En cualquier trabajo geoestadístico, el principal objetivo es la caracterización de la variable investigada en todas las localizaciones, partiendo de la información suministrada por los puntos muestrales. Los métodos de estimación geoestadística son conocidos como Krigeado o krigeaje

(kriging en la literatura inglesa, en honor de Danie Krige, quien formuló por primera vez esta metodología en 1951).

El Krigado considera tanto la distancia como la geometría de la localización de las muestras, se minimiza la varianza del error esperado (diferencia entre el valor real y el estimado), emplea un modelo conceptual con una función aleatoria asociada a los valores reales, y muestran una gran flexibilidad para la interpolación, pudiéndose estimar valores puntuales o en bloques, así como métodos para incorporar información secundaria que esté relacionada con la variable principal.

2.8. DISTRIBUCIÓN ESPACIAL

Los métodos de la geoestadística proporcionan una medida más directa de la dependencia espacial, ya que tienen en cuenta la naturaleza bidimensional de la distribución de organismos. Además, permiten crear mapas útiles que generan gradientes de intensidad de la enfermedad (Sánchez *et al.*, 2011)

El número de individuos por punto en el espacio, y los mecanismos de orientación de algunas poblaciones de una variación esquematizada mediante una tabla de frecuencias, cuya distribución sea similar a una de las probabilísticas teóricas conocidas, es lo que se interpreta como distribución espacial (Badii *et al.*, 1994)

La mayoría de las poblaciones naturales son estacionales y discontinuas, y la estabilidad solo se presenta en los modelos teóricos.

En base a esto, es difícil muestrear repetidamente una población para tener una distribución de frecuencias bien definida. Los muestreos de campo raramente producen distribuciones consistentes porque son afectados erráticamente por factores como depredación, parasitismo, pérdida de hospedero, mortalidad física por lluvias, deshidratación, etc. En la práctica lo que puede medirse en un programa de muestreo es la media y la varianza, y estas dos se pueden combinar de varias formas para producir coeficientes o índices de agregación, como apoyo conceptual para el manejo de datos. Al aumentar la población de una especie, esta puede variar también y muy fácilmente, el patrón de distribución espacial (Badii *et al.*, 1994).

Estadísticamente, cuando un cambio de la distribución de una población afecta la distribución de otra, se dice que existe dependencia entre ambas poblaciones.

El patrón de distribución espacial en términos generales se clasifica en uno de tres tipos existentes básicos:

Aleatorio, cada individuo tiene la misma probabilidad de ocupar cualquier punto o Unidad Muestreal (UM), cada punto (UM) tiene la misma probabilidad de contener cualquier individuo y la presencia de un individuo en un punto (UM) es independiente de otros individuos.

Uniforme, cuando se encuentra a un individuo en un punto (UM) se reduce la probabilidad de encontrar otro individuo en la misma Unidad Muestreal. Este tipo de dispersión es indicativo de la competencia y territorialidad.

En agregados, este nos dice que encontrando un individuo en un punto (UM) incrementa la probabilidad de encontrar otro individuo en la misma Unidad Muestreal. Este tipo de dispersión es una indicación de atracción entre los individuos (Badii *et al.*, 2011)

Epidemiología

El desarrollo de enfermedades en poblaciones vegetales se considera como epidemia.

La epidemia, es el cambio (dinámica) en la intensidad en una población de un hospedante a través del tiempo y el espacio (Madden *et al.*, 2008).

En el aspecto espacial se considera el análisis y estudios de la dispersión que expresa la enfermedad (Madden *et al.*, 2008) indican que su estudio se puede realizar a través de Índices de dispersión (radio varianza media); Índice de Lloyd de agrupamiento medio; Índice de Lloyd de agregación; Índice de Morisita e Índice de ley de potencia de Taylor.

Con la aparición de la tecnología GPS, se ha implementado la técnica de geoestadística al estudio espacial de las epidemias, para determinar los patrones espaciales que expresan (Carvalho *et al.*, 2009).

2.9. ALGUNOS ESTUDIOS DE DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE ENFERMEDADES DEL HABA

Uno de los pocos trabajos reportados en distribución espacial de enfermedades de haba pertenece a Omri *et al.* (2020) quien estudió y caracterizó el desarrollo temporal y espacial del tizón *Ascochyta* durante los ciclos agrícolas 2010 - 2011 y 2011 - 2012 en tres campos de haba ubicados en Oued Mliz, Oued Beja y Mornag, Túnez, utilizando análisis matemáticos y geoestadísticos.

El análisis empírico mostró que el efecto de las ubicaciones en la dinámica de la epidemia se explica por un efecto ambiental altamente significativo (temperatura, eventos de lluvia). Y estas diferencias en la dinámica epidémica fueron confirmadas por el análisis de parámetros según el modelo.

El análisis de la dinámica de la estructura espacial de la enfermedad mediante el índice de irregularidades de Lloyd (LIP) y la distribución de la enfermedad mapeada en diferentes fechas mostró que LIP se estimó mediante una función exponencial que disminuyó con el tiempo en todos los casos, la enfermedad se distribuye al azar. Sin embargo, de acuerdo con el mapeo, la distribución de la enfermedad se agregó en términos de severidad incluso al final de las epidemias, lo que indica diferentes dinámicas temporales, como cambios en la distancia desde la fuente del inóculo.

Por lo anterior es muy importante el estudio de la distribución espacial de estas enfermedades para poder desarrollar un método focalizado de control.

III. JUSTIFICACIÓN

El desarrollo y expresión de una enfermedad se origina por la íntima relación que se establece entre sus diferentes componentes en el llamado triángulo de la enfermedad, como son la interacción de un hospedero susceptible, un patógeno virulento y un ambiente favorable. Un cambio en el ambiente de un pato sistema puede alterar la distribución geográfica en parcela o en una región, así como su temporalidad de los problemas fitosanitarios, con la aparición de enfermedades infecciosas en donde no se conocían.

Para el manejo de la enfermedad ante estos escenarios se requiere focalizar las medias de control, para tal fin es necesario conocer la ubicación de aparición del agente causal y posterior desarrollo contra el que se debe atacar, así como conocer su propagación dentro de la parcela, esto con la finalidad de tener un método más eficiente de aplicación de insumos agrícolas de una manera más certera y basada en el correcto uso del Manejo integrado de enfermedades, que será beneficioso al productor y al medio ambiente, ya que siendo focalizado un método de aplicación se reduce el consumo de plaguicidas, baja los costos de producción y además se tienen mejores resultados en cuanto a la calidad del producto.

IV. HIPÓTESIS

Es posible modelar el comportamiento espacial de *Uromyces fabae* y *Rhizoctonia solani*, en el cultivo de *Vicia faba*.

V. OBJETIVOS

5.1. OBJETIVO GENERAL

Conocer y determinar la distribución espacial de la Roya (*Uromyces viciae-fabae*) y la Marchitez de Raíz (*Rhizoctonia solani*) en el cultivo de Haba (*Vicia faba* L.).

5.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar el nivel de severidad e incidencia de *Uromyces viciae-fabae* y *Rhizoctonia solani* en el cultivo de *Vicia faba*, en tres localidades del Estado de México.
- En base al modelo geoespacial que tenga menor error estadístico estimar el modelo que mejor explique la distribución espacial en *Uromyces viciae-fabae* y *Rhizoctonia solani*.
- Obtención de mapas de distribución espacial que explique el comportamiento de ambas enfermedades.
- Generar y validar una escala diagramática de severidad para roya.

VI. MATERIALES Y MÉTODOS

6.1. TIEMPO Y ESPACIO DE ESTUDIO

El presente trabajo se desarrolló durante el ciclo agrícola primavera-verano 2021. Se tomaron en consideración tres parcelas comerciales, con una extensión de una hectárea, en tres municipios del Estado de México seleccionados al azar, pero dentro de las localidades que presentaban una mayor incidencia de enfermedades foliares y de raíz en el cultivo de haba.

Las localidades seleccionadas fueron Zinacantepec, Toluca y Calimaya cuyas coordenadas geográficas fueron (2,123,460 UTM N; 417,460 UTM O), (2,123,580 UTM N; 426,120 UTM O), (2,115,960 UTM N; 427,990 UTM O), respectivamente.

En cada parcela se establecieron 121 puntos de muestreo, con 4 plantas por punto de las cuales se registró su posición geográfica mediante un sistema de posicionamiento global diferencial (dGPS) Modelo SPS351, Trimble, USA, siendo así que cada sitio geoposicionado fue el punto de muestreo a través del tiempo (Figura 14).

Los monitoreos se llevaron a cabo durante las diferentes etapas fenológicas del cultivo desde los cero hasta los ciento treinta y cinco días después de la siembra (DDS), y se dividieron las plantas en tres estratos según su porte en alto, medio y bajo.



Figura 14. Diseño topológico para la toma de datos

6.2. VARIABLES DE ESTUDIO

En cada una de las localidades monitoreadas se evaluó la severidad e incidencia de *Uromyces viciae-fabae* L. y en el caso de *Rhizoctonia solani* Kühn, solo se evaluó el grado de incidencia expresado en porcentaje.

Severidad

En el caso de Roya, la severidad fue evaluada según la escala diagramática propuesta por Fragoso, *et al.*, 2022 (Figura 15) donde se pueden observar seis clases con intervalos de cero hasta cien por ciento, cuyo nivel de daño fue determinado mediante la fórmula de Severidad real de la enfermedad (S), donde $S = \text{área enferma} / \text{área total de la imagen} * 100$.

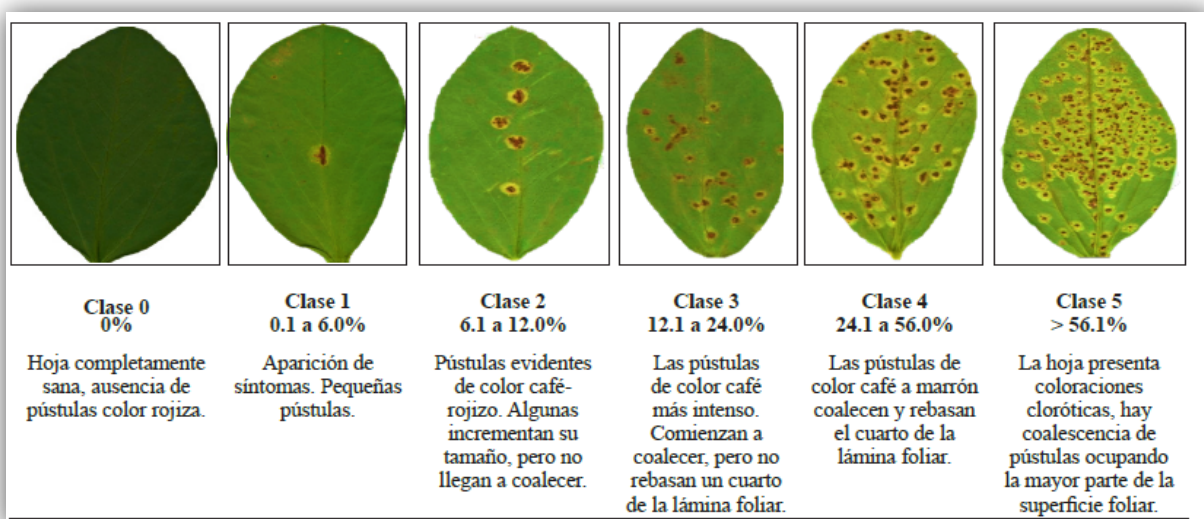


Figura 15. Escala diagramática para medir la severidad de roya propuesta por Fragoso, 2022.

Incidencia

Se determino la variable Incidencia (%), como el cociente entre plantas con síntomas y el total de plantas muestreadas y multiplicadas por 100.

6.3. ANÁLISIS DE DATOS

Con los datos de severidad e incidencia obtenidos, así como su ubicación geográfica por cada sitio de muestreo y por fecha, se estimaron los semivariogramas experimentales para ajustarlos a un modelo teórico.

Análisis Geoespacial. Se estimaron semivariogramas de acuerdo con Quiñones *et al.* (2020):

$$\gamma^*(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{(N)(H)} [z(x_i + h) - z(x_i)]^2$$

donde: $\gamma^*(h)$ = valor experimental del semivariograma para el intervalo de distancia h .

$N(h)$ = número de pares de puntos muestrales separados por el intervalo de distancia h .

$z(x_i)$ = valor de la variable de interés en el punto muestral x_i y $z(x_i + h)$ es el valor de la variable de interés en el punto muestral $x_i + h$.

Y se ajustó a un semivariograma teórico preestablecido mediante el programa estadístico “R”, empleando la librería gstat (Quiñones *et al.*, 2020) en donde se evaluaron 7 modelos espaciales (Esférico, Exponencial, Gaussiano, Lineal, Matern, Bessel y Pentaesférico) para seleccionar el que mejor se ajustara a la semivarianza experimental de los valores de incidencia (Cressie, 1985).

El ajuste a cada modelo permitió la estimación del rango, meseta y efecto pepita. El nivel de dependencia espacial se calculó considerando el valor del cociente que resulte de dividir el efecto pepita (error aleatorio) y la meseta (cuando la distancia h tiende al infinito en el semivariograma), expresado en porcentaje, donde con menos de 25% es alto, entre 26 y 75% es moderado y mayor a 76% es bajo (Quiñones *et al.*, 2015), esto con la finalidad de determinar la fuerza de agregación entre las poblaciones de las enfermedades.

6.4. MAPEO.

Se procedió a la interpolación evaluando 3 métodos de kriging (universal, simple y ordinario), mediante la técnica de validación cruzada. Se selecciono el krigeado que presentó menor error de precisión para realizar la interpolación con base al Error Medio ($ME = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [z(x_i) - \tilde{z}(x_i)]$), el

cual debe ser muy cercano a cero (Quiñones *et al.*, 2020); de igual forma se determinó Error

Cuadrático Medio ($RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [z(x_i) - \tilde{z}(x_i)]^2}$) donde un semivariograma se considera

apropiado si como regla general, el valor estadístico es cercano a cero (Ramírez *et al.*, 2012), y la

Media Estandarizada del Error de Predicción ($MSPE) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{ME}{\sigma^2(x_i)}$), que debe ser cercana a cero

(Quiñones *et al.*, 2020).

El resultado del Kriging es una capa espacial en formato Geotiff obtenida con la librería Rgdal del programa estadístico “R” que fue editado en el programa Surfer 14.0 (Surface Mapping System, Golden Software Inc. 809, 14th Street Golden, CO, 804011866, USA) para visualizar la influencia de cada modelo en la distribución espacial de *Roya* y *Rhizoctonia*.

6.5. ESCALA DIAGRAMÁTICA DE SEVERIDAD PARA ROYA

En cada parcela se tomó una muestra dirigida de 20 hojas, cada una seleccionada minuciosamente para que existiera una amplia diversidad de niveles de daño y hojas sanas. Para su traslado, las hojas se cubrieron con papel periódico y se colocaron en una prensa botánica con la finalidad de evitar daño, o contaminación y fueron trasladadas a la Facultad de Ciencias Agrícolas de la Universidad Autónoma del Estado de México. De esta colección se seleccionó una muestra de 110 hojas con diferentes niveles de daño, las cuales se sometieron a un proceso de clasificación visual en rangos variables; y posteriormente las hojas se ingresaron a una impresora multifuncional de la marca HP-® LASERJET PRO MFP M127fn para ser digitalizadas como imágenes (Scapin *et al.*, 2014).

Las hojas digitalizadas fueron sometidas a una primera evaluación por 20 evaluadores sin conocimientos previos, para que les asignaran un porcentaje de enfermedad. Esta evaluación se hizo considerando el porcentaje de severidad real (S) de la enfermedad, con base en la fórmula: $\text{severidad} = (\text{área enferma} / \text{área total de la imagen}) * 100$ (Nutter *et al.*, 2006); donde el valor mínimo y máximo de severidad se utilizaron para definir los límites mínimos y máximos de la escala propuesta. Estos resultados fueron comparados con los valores asignados por el software ©ASSESS 2.0 (Image Analysis Software for Plant Disease Quantification).

Para validar la escala se utilizaron 58 hojas digitalizadas, representativas de los diferentes grados de severidad. Las imágenes fueron aleatorizadas y proyectadas en diapositivas individuales con el programa Microsoft 365® Power Point, a 10 de los 20 evaluadores ocupados en la primera evaluación, seleccionados según el nivel de acierto obtenido y su compromiso para el proyecto. Mediante una regresión lineal simple se estimó la exactitud y precisión de las evaluaciones de

severidad de cada evaluador y se comparó con el valor real de severidad obtenidos con el software ©ASSESS 2.0.

La exactitud se determinó con la prueba T (severidad estimada por cada evaluador contra valores reales de severidad estimado por el software) aplicada al intercepto de la regresión lineal (β_0), para verificar la hipótesis del intercepto $H_0: \beta_0=0$; y con el coeficiente de la pendiente de la recta (β_1) para estimar si fue diferente de 1 ($H_1: \beta_1=1$), con $P \leq 0.01$. La precisión de las estimaciones fue determinada con el coeficiente de determinación (r^2) de la regresión y el error absoluto ($1-r^2$) (Hernández y Sandoval, 2015). El análisis de regresión lineal se llevó a cabo con el software estadístico SAS (Statistical Analysis System) versión 9.0.

6.6. PRUEBA DE IDENTIDAD DE LOS PATÓGENOS DE ESTUDIO.

De las parcelas monitoreadas se colectó material vegetal que presentaba síntomas característicos de la enfermedad y se procedió a realizar las pruebas de identidad según la metodología de Robledo, 2016.

Se realizó una desinfección de tallo y raíz de haba en hipoclorito de sodio al 2% durante 3 minutos y se enjuagó con alcohol al 70% durante 1 minuto, y se retiró el exceso de alcohol con agua destilada por 2 minutos, se secó con servilletas de papel para posteriormente ser sometido a cámara húmeda durante un lapso de 3-5 días. Se procedió al aislamiento del material colectado en cajas Petri con medio PDA a una temperatura de 25°C por 3 días (Paul *et al.*, 2022). El resultado del aislamiento fue un micelio de color café-marrón que fue puesto en un portaobjetos con azul de algodón y cubre objetos para su identificación al microscopio esto en el caso de la *Rhizoctonia* spp.

Para *Uromyces* spp., las muestras colectadas de campo fueron desinfectadas previamente y sometidas a un proceso de cámara húmeda por aproximadamente 3 días, posterior a ese tiempo se

procedió a tomar un cintazo, para ser colocado en un portaobjetos con azul de algodón para su identificación al microscopio. De la colecta del material vegetal se recolectaron pústulas en un frasco previamente desinfectado para ser llevadas a un laboratorio para su identificación molecular.

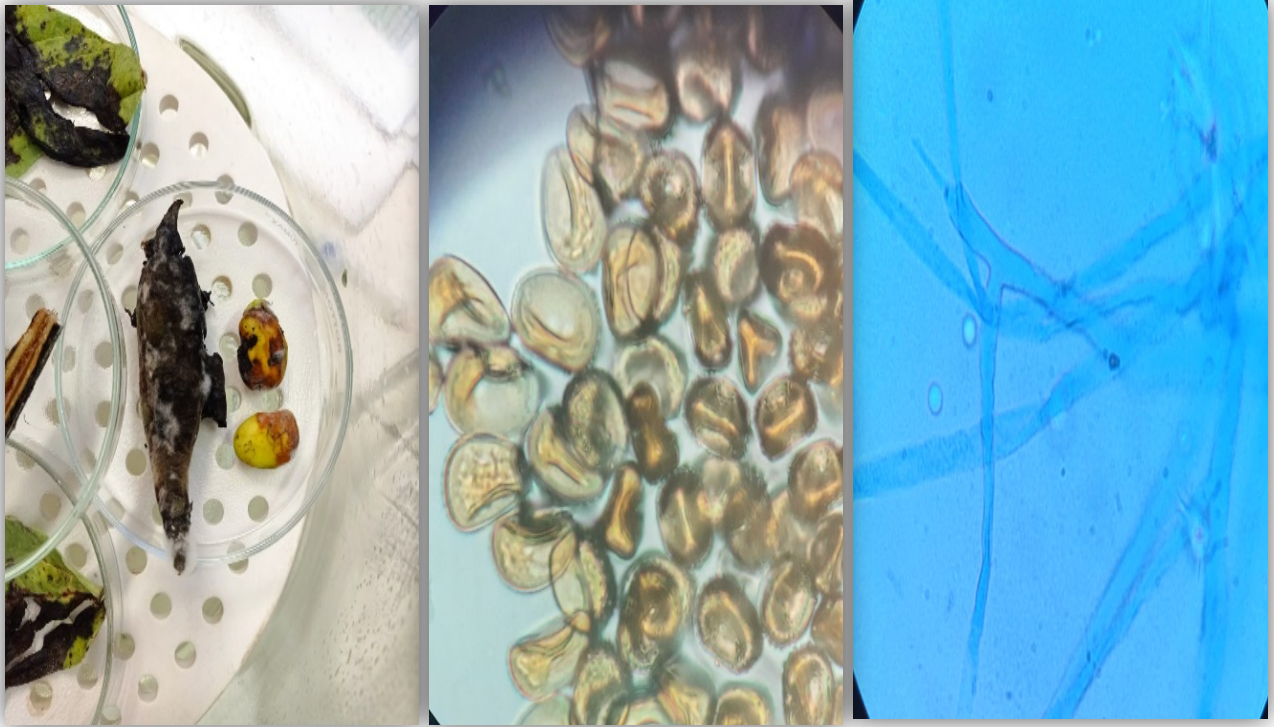


Figura 16. Cámara húmeda para realizar las pruebas de identidad de los patógenos de *Uromyces* y *Rhizoctonia*. (Fuente: Propia)

VII. RESULTADOS

7.1. INCIDENCIA Y SEVERIDAD DE *Uromyces viciae-fabae*

En las tres localidades se evaluaron habas criollas, las labores de cultivo como control de arvenses se realizó de manera manual, y de forma química para insectos y enfermedades, sin embargo fue posible apreciar a través del tiempo el avance de las enfermedades, se observó que la expresión de la enfermedad ocasionada *Rhizoctonia* spp., está estrechamente relacionado con la semilla utilizada, o la fuente de inóculo está presente en el suelo, esto debido a que desde los primeros días del establecimiento del cultivo se observaron evidentes síntomas de la enfermedad que se confirmó en laboratorio; caso contrario a la roya, que se proliferó bastante bien en su mayoría a los 90 dds, cuando ya no había un control químico o cultural de arvenses o plagas, en esta etapa la planta se encontraba en la etapa fenológica de llenado de vaina y segundo corte, por lo que ninguno de los productores deseaba invertir dinero para controlar las enfermedades. Sin embargo, la explicación más detallada se ve reflejada en los gráficos y mapas expuestos a continuación.

7.2. CALIMAYA ESTADO DE MÉXICO

Parcela 1 (P1)

Incidencia. Los síntomas de la enfermedad, fueron visiblemente detectados a los 90 días después de la siembra (dds) en los diferentes portes de las plantas muestreadas, en el caso del porte bajo tenemos que los valores fluctuaron desde un 41% , hasta un 98%, para el porte medio los valores que alcanzó la enfermedad fueron de un 5% hasta un 100%, que fue visiblemente el porte en el cual se registró la mayor incidencia, mientras que, por otro lado el porte alto presentó valores desde un 1 hasta un 99%, denotando que el estrato que se vio mayormente afectado fue el medio, aunque

también fue perceptible que los valores se mantuvieron estables de los 105 a los 120 dds, sin embargo se presentó un repunte muy significativo a partir de los 135 dds y hasta el final del ciclo agrícola (Figura 17).

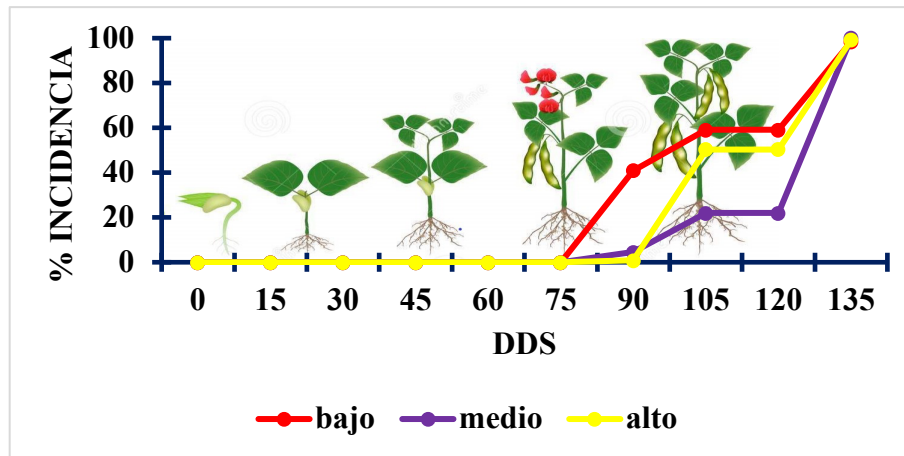


Figura 17. Progreso de la Incidencia de *Uromyces viciae fabae* en la parcela Parcela 1 de la localidad de Calimaya.

Severidad. En el porte bajo de la planta, el daño se expresó a un nivel del 5% a los 90 dds, y alcanzó su máximo valor a los 135 dds con un 49%; respecto al porte medio de la planta tenemos que inicio con un valor del 2% y su máxima expresión fue a los 135 dds con un valor del 27%, para el porte alto la severidad fue muy baja ya que tomo valores de 2% a 7% como máximo a los 135 dds (Figura 18).

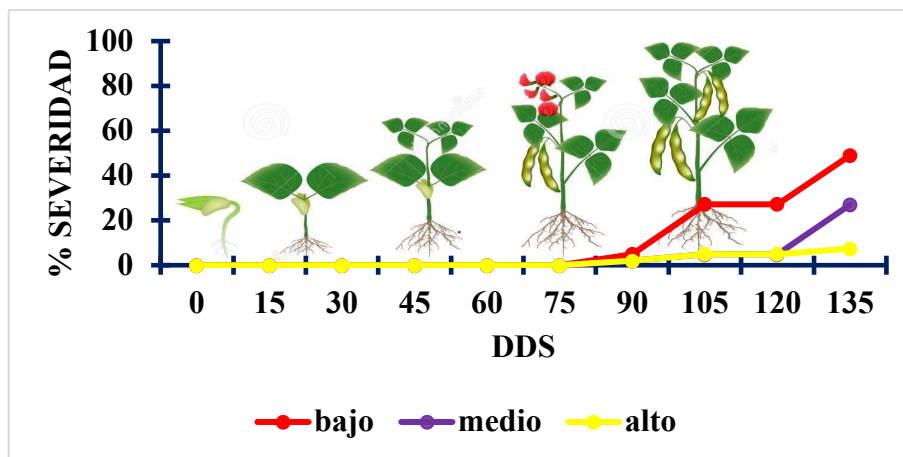


Figura 18. Progreso de la Severidad de *Uromyces viciae fabae* en la parcela 1 de la localidad de Calimaya.

Parcela 2 (P2)

Incidencia. En esta parcela, y al igual que la anterior, se observó que la expresión de la enfermedad ocurrió a partir de los 90 dds. Para el porte bajo, los valores fueron de un 42% que se mantuvo constante a partir de los 105 dds, fecha en la cual alcanzó un valor de 81% de incidencia respecto a las plantas muestreadas, el porte medio de la planta inició con un valor de 12% que fue avanzando hasta alcanzar el 67% de plantas enfermas. El porte alto fue el que presentó una menor incidencia al mantenerse estable durante todo el ciclo de producción con un valor de 3% (Figura 19).

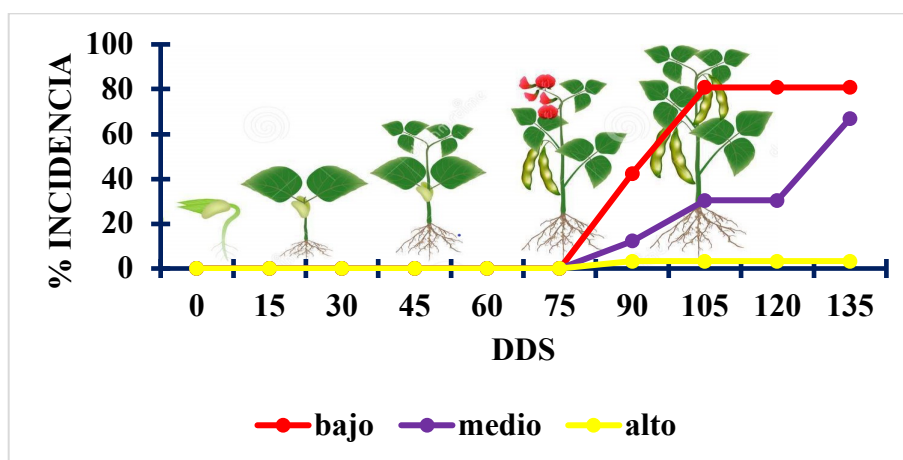


Figura 19. Progreso de la Incidencia de *Uromyces viciae fabae* en la parcela 2 de la localidad de Calimaya.

Severidad. Para el porte bajo, los porcentajes de severidad fueron del 5% a los 90 dds, hasta el 27% a los 135 dds, para el porte medio, los valores fluctuaron de 2% a los 90 dds, hasta un 27% a los 135 dds, y en el porte alto, los valores fueron de 5% a los 90 dds y alcanzaron un valor del 12% a los 135 dds (Figura 20).

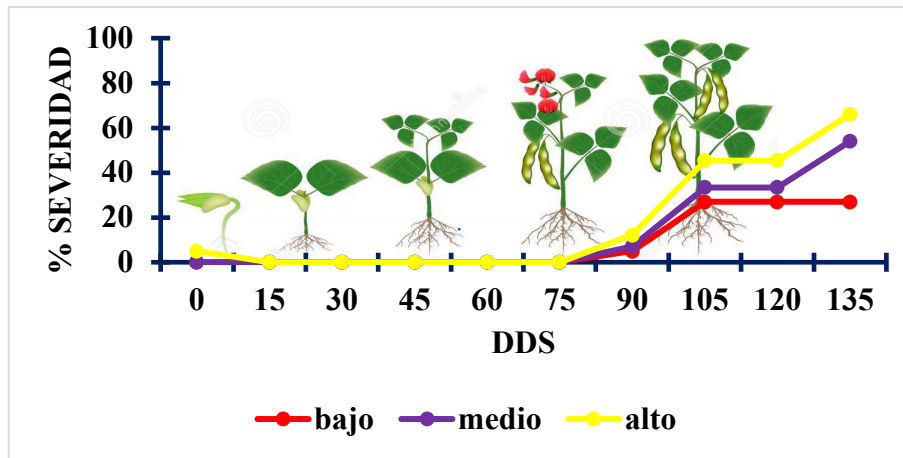


Figura 20. Progreso de la Severidad de *Uromyces viciae fabae* en la parcela 1 de la localidad de Calimaya

Parcela 3 (P3)

Incidencia. Los síntomas visibles iniciaron a los 90 dds, los valores del porte bajo fueron de 39%, y alcanzaron su mayor valor a los 135 dds con una incidencia del 45%, en el porte medio, por otro lado, los valores de severidad fueron constantes desde los 90 dds y hasta los 120 dds que fue cuando se expresó su mayor crecimiento de daño al alcanzar un valor del 22%, el porte alto mantuvo también valores continuos con un mínimo del 3% y con un aumento después de los 120 dds a un 11% (Figura 21).

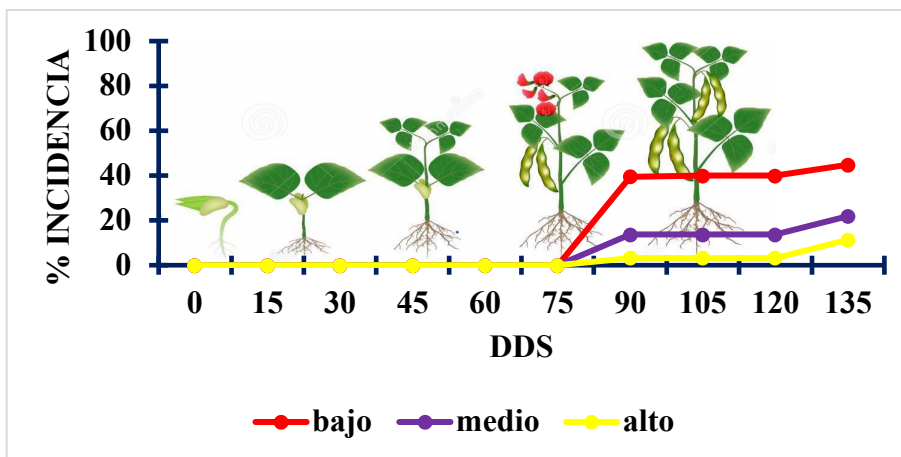


Figura 21. Profreso de la Incidencia de *Uromyces viciae fabae* en la parcela 3 de la localidad de Calimaya

Severidad. El valor de daño expresado en el porte bajo fue de 12% a los 90 dds y posteriormente se mantuvieron uniformes en un 27%. Para el porte medio el valor de daño fue del 2% a los 90 dds y llego hasta un 12% a los 135 dds, y para el porte alto la severidad obtuvo un valor máximo de 12% (Figura 22).

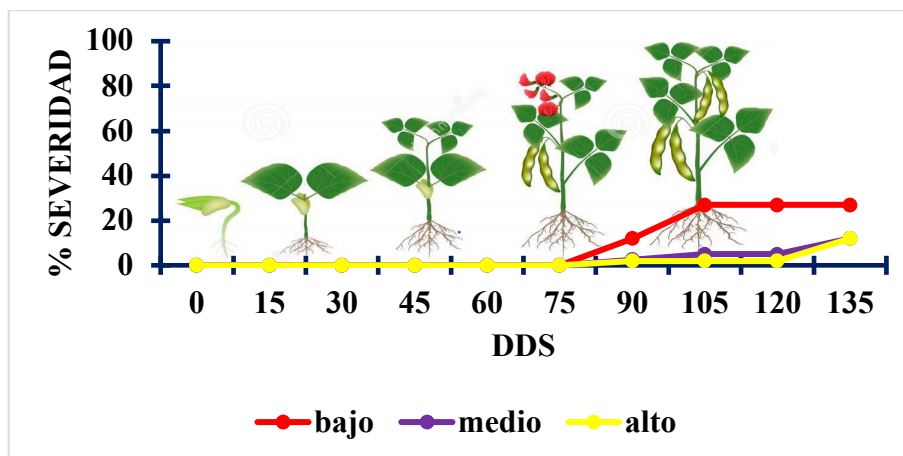


Figura 22. Progreso de la severidad de *Uromyces viciae fabae* en la parcela 3 de la localidad de Calimaya

7.3. ZINACANTEPEC ESTADO DE MÉXICO

Parcela 1 (P1)

Incidencia. En esta localidad la expresión de los síntomas de la enfermedad apareció a los 90 dds. En el porte bajo los valores de daño fue de 48% a 64% y se mantuvieron continuos desde los 105 hasta los 135 dds; para el porte medio, los valores fluctuaron de 31 hasta 42%, manteniéndose continuos de 105 hasta los 135 dds, y por último el porte alto, el valor de la incidencia de la fue del 12% al inicio de la aparición de la enfermedad, pero después de los 105 dds, los valores se mantuvieron en 42% (Figura 23).

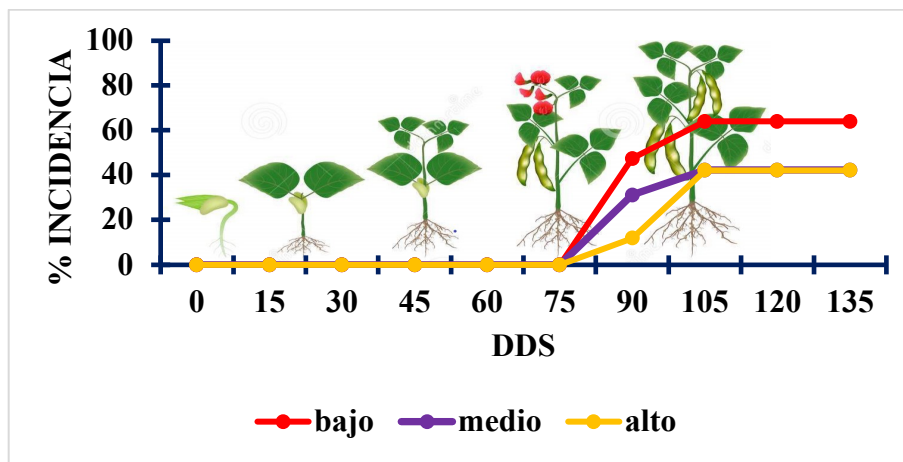


Figura 23. Progreso de la incidencia de *Uromyces viciae fabae* en la parcela 1 de la localidad de Zinacantepec.

Severidad. El valor de daño obtenido en el porte bajo de la planta fue de 6% a los 90 dds, manteniéndose desde los 105 dds y hasta los 135 dds: en el porte medio los valores fueron desde un 4% y hasta un 8%, manteniéndose uniforme desde los 105 y hasta los 135 dds, en el porte alto, los valores fueron de un 2% y hasta un 9% que permaneció continuo y estable a partir de los 105 y hasta los 135 dds (Figura 24).

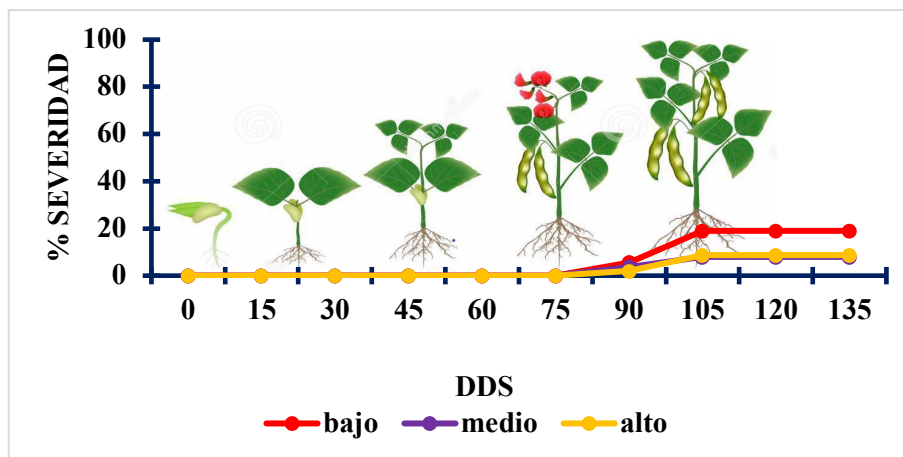


Figura 24. Progreso de la Severidad ocasionada por *Uromyces viciae fabae* en la parcela 1 de la localidad de Zinacantepec.

Parcela 2 (P2)

En esta parcela, la expresión de la enfermedad se reflejó a partir de los 90 dds. Los valores del porte bajo variaron dependien el timpo de muestres, iniciando con un 8% hasta un 22% a los 135 dds; para el porte medio, los valores oscilaron del 13 al 26%; mientras que el porte alto, que nuevamente presento los valores más bajos, fueron del 9 al 10% de incidencia (Figura 25).

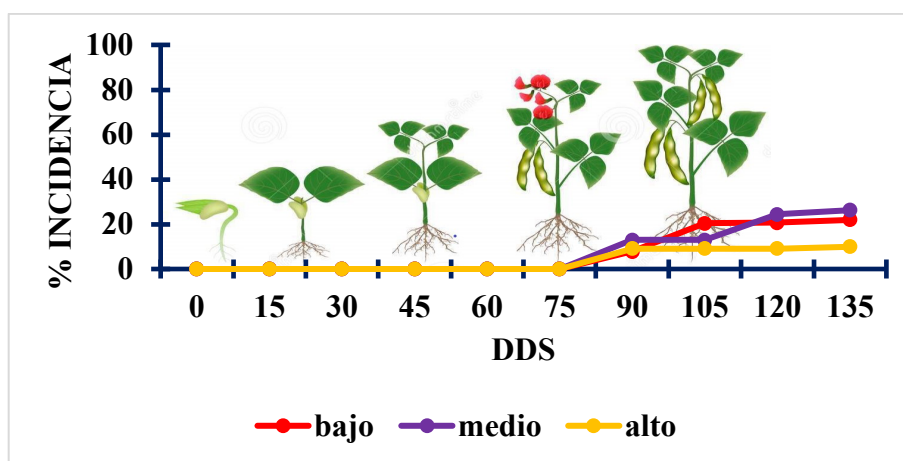


Figura 25. Progreso de la incidencia de *Uromyces viciae fabae* en la parcela 1 de la localidad de Zinacantepec

Severidad. Los valores de daño en el porte bajo de la planta vario de 3% a los 90 dds y hasta un 6% a los 105 dds, permaneciendo estable hasta el final del ciclo, el porte medio presentó valores de 3% hasta los 105 dds y posteriormente se mantuvo estable en 11% hasta los 120 a los 135 dds (Figura 26)

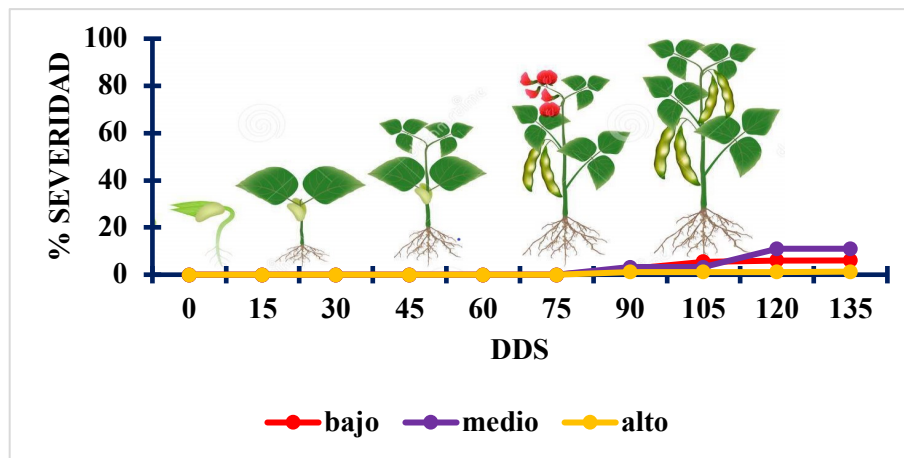


Figura 26. Progreso de la Severidad de *Uromyces viciae fabae* en la aprcela 2 en la localidad de Zinacantepec

Parcela 3 (P3)

Incidencia. Al igual que las parcelas anteriores, la enfermedad inicio a los 90 dds, los valores de la presencia en el porte bajo fluctuaron de 29 a 37%; por otro lado, para el porte medio los valores fluctuaron de 21 a 62% y en el porte alto de 9 a 12% a los 135 dds. Con estos valores, se observó que el porte alto es el que presentó una menor incidencia de enfermedad, contrario al porte medio, que es el que presentó una mayor presencia de la enfermedad (Figura 27).

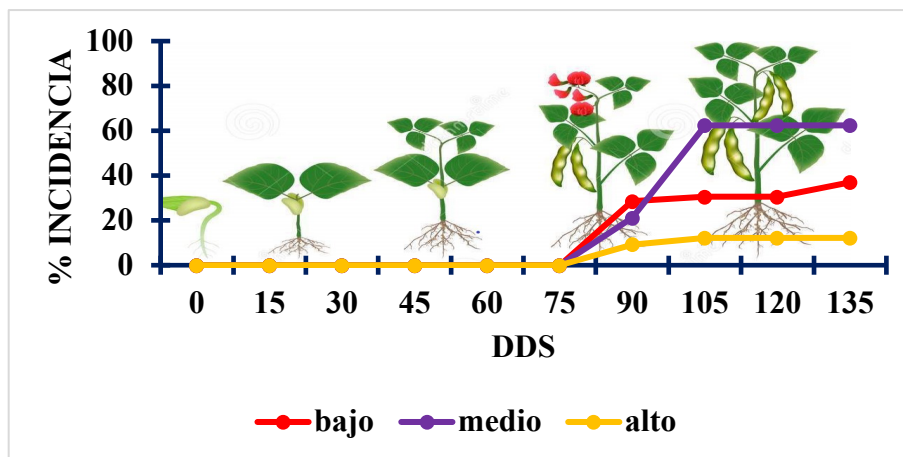


Figura 27. Progreso de la Incidencia de *Uromyces viciae fabae* en la parcela 3 de la localidad de Zinacantepec

Severidad. En el porte bajo el valor de daño que se presentó fue de 5% a los 90 dds y aumentó hasta un 27% a los 135 dds; en el porte medio el valor de daño fluctuó del 3% a los 90 dds y posteriormente se mantuvieron en un 27% hasta el final del ciclo, por otro lado, el porte alto se mantuvo con los valores más bajos con un 2% desde los 90 dds y hasta los 135 dds (Figura 28).

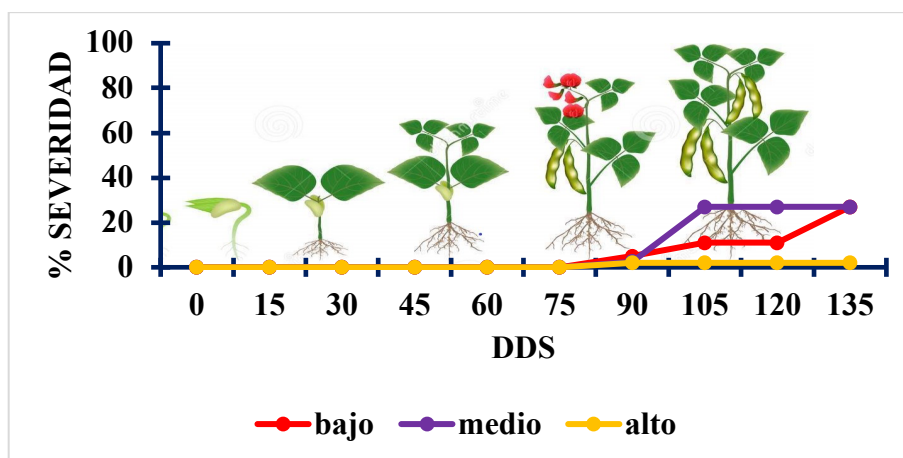


Figura 28. Progreso de la Severidad de *Uromyces viciae fabae* en la parcela 3 de la localidad de Zinacantepec

7.4. TLACOTEPEC ESTADO DE MÉXICO

Parcela 1 (P1)

Incidencia. A diferencia de las otras localidades la aparición de los síntomas de la enfermedad fue a los 60dds, esto solo en el porte bajo y con un valor del 6%, que fue aumentando con el paso del tiempo hasta alcanzar un valor del 87%, en el porte medio la incidencia se reportó a partir de los 75 dds con un valor mínimo de 1%, que fue creciendo conforme al paso del tiempo hasta alcanzar un valor del 96%, el porte alto al igual que el porte medio inicio la presencia a los 75dds con un valor del 4%, mismo que fue creciendo con el paso del tiempo, hasta alcanzar un valor de 93%.

(Figura 29)

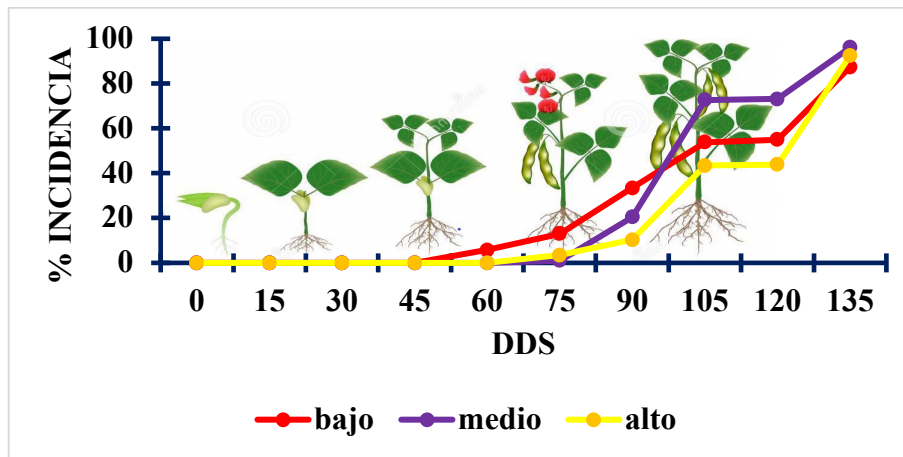


Figura 29. Progreso de la Incidencia de *Uromyces viciae fabae* en la parcela 1 del municipio de Tlacotepec.

Severidad. Los valores se presentaron en el porte bajo van desde el 1% a los 60dds y hasta el 50% a los 135 dds, para el porte medio los valores fueron de 2% a los 75 dds, y alcanzaron sus máximos valores a los 135dds con un porcentaje del 50%, el porte alto por otro lado, inicio con valores del 2% a los 90dds y alcanzó su máximo porcentaje a los 135 dds con un valor del 27%. (Figura 30)

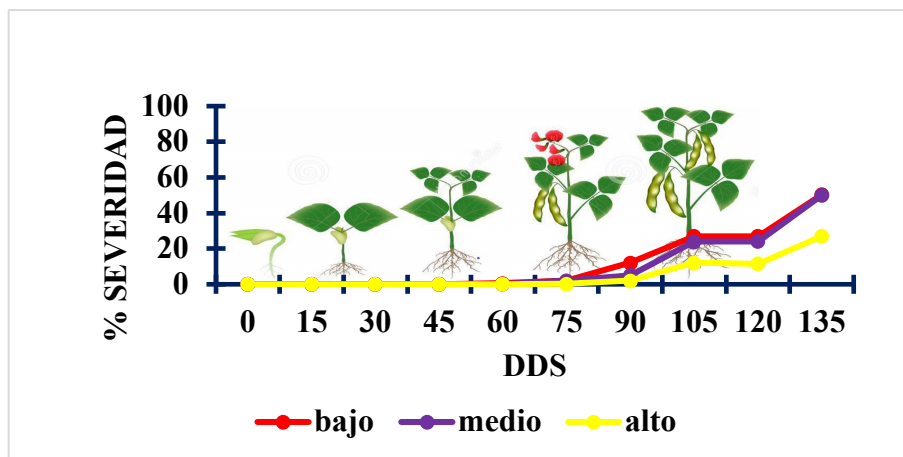


Figura 30. Progreso de la Severidad de *Uromyces viciae fabae* en la parcela 1 del municipio de Tlacotepec.

Parcela 2 (P2)

Incidencia. La expresión de la enfermedad se dio a partir de los 75 dds para los portes bajo y medio que obtuvieron valores de 10 y 6% y que con el paso del tiempo fue cambiando hasta alcanzar valores de 75 y 83% respectivamente, en cambio en el porte alto, comenzó su desarrollo a los 105 dds, con un valor del 30% y que fue aumentando hasta los 135 dds con un valor del 42 % (Figura 31)

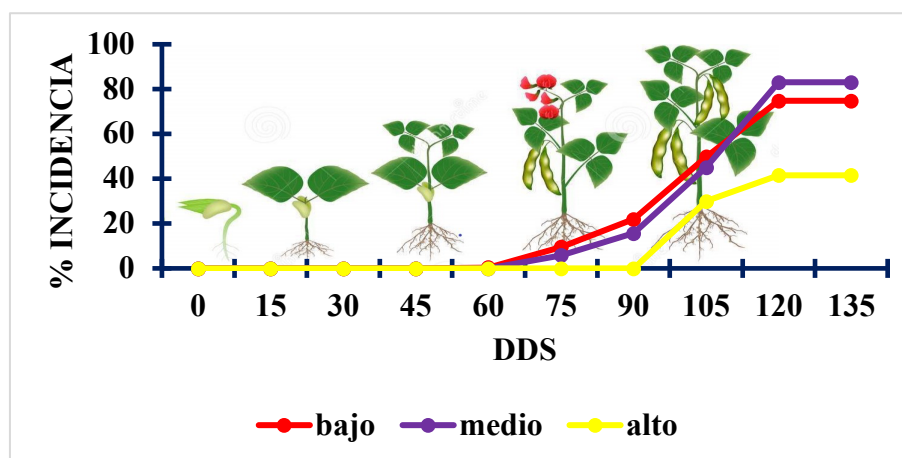


Figura 31. Progreso de la Incidencia de *Uromyces viciae fabae* en la parcela 2 del municipio de Tlacotepec.

Severidad. En el porte bajo los valores fluctuaron de un 2% a los 75 dds a un 49% a los 135 dds, el porte medio fue del 1% a los 75 dds, hasta los 49% a los 135 dds, el porte alto por otro lado fue del 2% a los 105 dds y hasta los 12% a los 135 dds (Figura 32)

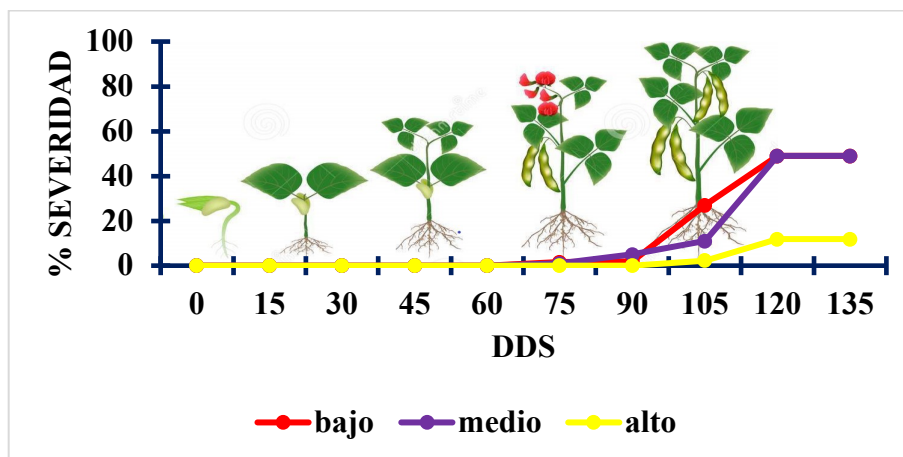


Figura 32. Progreso de la Severidad de *Uromyces viciae fabae* en la parcela 2 del municipio de Tlacotepec.

Parcela 3 (P3)

Incidencia. La expresión de la enfermedad comenzó en el porte bajo a los 60 dds, con un porcentaje de 1%, que fue en aumento hasta permanecer estable a los 120 dds con un valor de 91%, el porte medio por otro lado, inicio su incidencia a los 75 dds con un valor de 12%, que igualmente fue aumentando hasta llegar al 88% a los 135 dds, y por último el porte alto la presento a los 120 dds y alcanzo su valor máximo del 50%. (Figura 33)

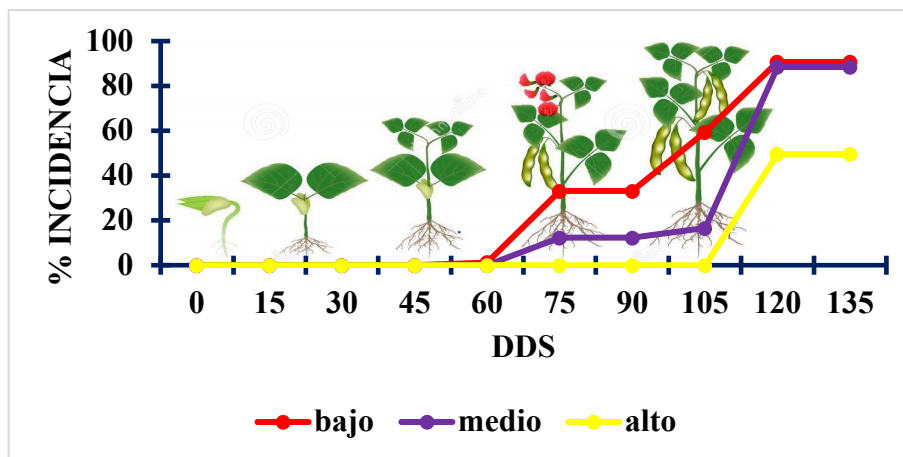


Figura 33. Progreso de la Incidencia de *Uromyces viciae fabae* en la parcela 3 del municipio de Tlacotepec.

Severidad. Para el porte bajo los valores fueron de un 2% a los 75dds y hasta un 49% a los 135dds, para el porte medio, los valores fluctuaron de un 1% a los 90dds y hasta el 49% a los 135 dds, y para el porte alto, los valores fueron de un 5% a partir de los 120 dds y hasta el final del ciclo.

(Figura 34)

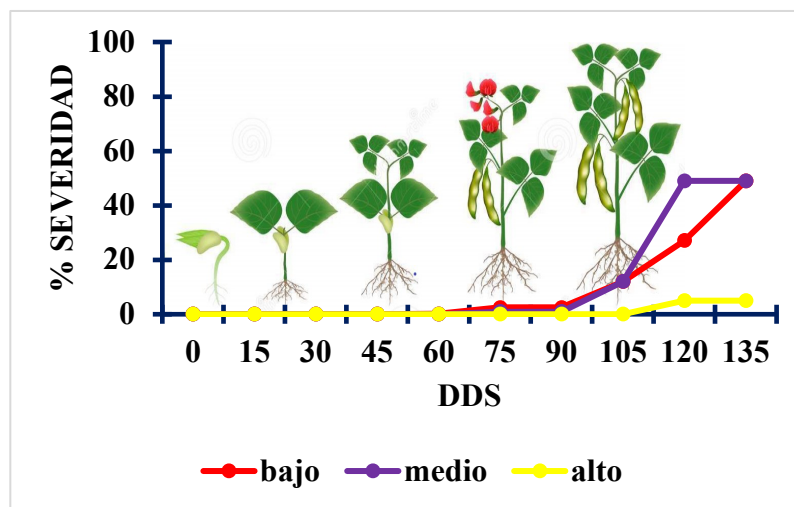


Figura 34. Progreso de la Severidad de *Uromyces viciae fabae* en la parcela 3 del municipio de Tlacotepec.

7.5. ANÁLISIS ESPACIAL DE *Uromyces viciae-fabae* L.

7.5.1. CALIMAYA.

P1. El comportamiento espacial que se presentó en esta parcela fue de tipo agregado, ajustándose los valores de la semivarianza experimental al modelo Bessel (50%), seguido del gaussiano (25%), lineal (16.7%) y esférico (8.33%), en todos los portes se pudo observar que hubo un nivel de dependencia espacial alto, el tipo de Kriging que predominó en esta parcela fue de tipo ordinario (Cuadro 1).

P2. El modelo que se ajustó a la semivarianza experimental del comportamiento espacial de la enfermedad fue el gaussiano (58.33%), y posteriormente el Bessel (41.66%); la dependencia espacial en el porte medio fue moderada, en cambio los portes bajo y alto mostraron una dependencia espacial alta; los tipos de Kriging que prevalecieron fueron el ordinario (83.3%) y el universal (16.7%) (Cuadro 1).

P3. El modelo al que más se ajustaron los datos de la semivarianza experimental, fue el modelo Bessel (50%), seguido del modelo lineal (16.66%), exponencial (16.66%), gaussiano (8.33%) y Matern (8.33%). En los modelos obtenidos para esta parcela el nivel de dependencia espacial fue alto, en todos los casos, y el tipo de Kriging que presentó fue en su mayoría de tipo universal (%), y ordinario (%) (Cuadro 1).

7.5.2. ZINACANTEPEC

P1. El modelo al que mejor se ajustó a la semivarianza experimental del tipo de agregación fue el Bessel (66.66%), seguido del exponencial (16.66%) y el gaussiano (16.66%), el nivel de

dependencia espacial fue alto, ya que los valores de la pepita fueron cero, y los tipos de Kriging que más prevalecieron fueron el universal y el ordinario (Cuadro 2).

P2. Los modelos a los que mejor se ajustaron a la semivarianza experimental fueron al Bessel (75%) y al gaussiano (25%), el nivel espacial que prevaleció fue el alto, los tipos de Kriging al que se ajustaron los datos fueron el ordinario y el universal (Cuadro 2).

P3. Los modelos a los cuales se ajustaron los valores de datos semivarianza experimental en esta parcela fueron el exponencial (25%), el Bessel (41.66%), el gaussiano (8.33%) y el lineal (8.33%)., el tipo de dependencia espacial fue alta en su mayoría y los tipos de Kriging fueron, ordinario con un 33% y universal con un 77%. (Cuadro 2).

7.5.3. TLACOTEPEC

P1. El modelo que más se ajustó a los valores de la semivarianza experimental fue el Bessel (62.5%), el exponencial (33.33%) y el gaussiano (16.66%), el porte bajo mostro niveles bajos de dependencia espacial a diferencia de los portes medio y alto que mostraron una dependencia espacial alta. Los tipos de Kriging que prevalecieron fueron el ordinario y el universal (Cuadro 3).

P2. Los modelos a los que más se ajusta la semivarianza experimental fue el Bessel (46.15%), el gaussiano (46.15%) y el lineal (7.69%), los niveles de dependencia espacial fueron dinámicos respecto al tiempo de monitoreo, de bajo a elevado en los tres portes y los tipos de Kriging fueron ordinario y universal (Cuadro 3).

P3. Los modelos a los cuales se ajustó el valor de la semivarianza experimental fue en su mayoría Bessel (58%), gaussiano (16.66%) y exponencial (16.66%) Los niveles de dependencia espacial fueron de altos a moderados y de moderados a bajos según el porte y la época de muestreo, en esta parcela a diferencia de las anteriores, los tipos de Krigado fueron universal, ordinario y simple (Cuadro 3).

Cuadro 1. Parámetros de los modelos ajustados a los semivariogramas y su validación obtenida de los monitoreos de *U. viciae-fabae* en Calimaya

PARCELA	DDS	ESTRATO	INCIDENCIA (%)	VARIOGRAMA					VALIDACIÓN CRUZADA				
				MODELO	PEPITA	MESETA	RANGO	PEPITA/MESETA	NIVEL DE DEPENDENCIA	KRIGING	ME	RMSE	MSPE
1	90	Bajo	41	Gaussiano	0.0000	0.0643	1.7409	0.000	Alto	Ordinario	-0.0016	0.2531	0.0640
	105		59	Lineal	0.0000	0.4411	1.1985	0.000	Alto	Universal	-0.0177	0.9216	0.8493
	120		59	Lineal	0.2190	0.2942	1.1678	74.446	Moderado	Universal	-0.0165	0.9610	0.9236
	135		98	Bessel	4.17E-20	0.0000	1.9134	0.000	Alto	simple	-1.0721	1.0721	1.1494
	90	Medio	5	Bessel	0.2815	0.0000	1.9134	0.000	Alto	Ordinario	-0.0003	0.6177	0.6177
	105		22	Gaussiano	0.5233	13924.6600	3673.3690	0.004	Alto	Ordinario	0.0072	0.8948	0.8006
	120		22	Bessel	0.7792	13.3803	137.1996	5.824	Alto	simple	-0.0021	0.8618	0.7427
	135		100	Bessel	0.7792	13.3803	137.1996	5.824	Alto	simple	-0.0021	0.8618	0.7427
	90	Alto	1	Bessel	0.2934	0.0000	1.9134	0.000	Alto	Ordinario	-0.0013	0.1950	0.0380
	105		50	Gaussiano	0.3161	0.7212	17.1688	43.830	Moderado	Ordinario	0.0045	0.5192	0.2696
	120		50	Bessel	0.1494	2.2165	267.9509	6.740	Alto	Ordinario	0.0029	0.4246	0.1803
	135		99	Esférico	0.0356	0.000	1.9134	0.000	Alto	Ordinario	8.46E-16	8.50E-16	7.23E-31
2	90	Bajo	42	Bessel	0.9246	5.6183	121.6106	16.457	Alto	Ordinario	0.0193	1.0119	1.0240
	105		81	Bessel	0.3573	0.2975	4.6471	120.105	Bajo	Universal	-0.0059	0.7600	0.5776
	120		81	Gaussiano	0.9513	0.2064	16.9114	460.840	Bajo	Ordinario	0.0125	1.0673	1.1392
	135		81	Bessel	0.0000	2.4402	8.7188	0.000	Alto	Ordinario	0.0135	0.9363	0.8767
	90	Medio	12	Bessel	0.0000	0.4792	1.5890	0.000	Alto	Universal	-0.0069	0.7256	0.5265
	105		30	Gaussiano	0.7895	1.1111	27.1230	71.052	Moderado	Ordinario	0.0037	0.9290	0.8631
	120		30	Gaussiano	1.0344	1.4477	27.7256	71.454	Moderado	Ordinario	-0.0038	1.0589	1.1213
	135		67	Gaussiano	1.0344	1.4477	27.7256	71.454	Moderado	Ordinario	-0.0038	1.0589	1.1213
	90	Alto	14	Gaussiano	0.0000	0.2076	4.8043	0.000	Alto	Ordinario	0.0009	0.4241	0.1798
	105		14	Gaussiano	0.0000	0.2075	4.6659	0.000	Alto	Ordinario	0.0002	0.4228	0.1787
	120		14	Bessel	0.0000	0.3555	3.0207	0.000	Alto	Ordinario	-0.0002	0.5650	0.3193
	135		22	Gaussiano	0.0000	0.2075	4.6659	0.000	Alto	Ordinario	0.0020	0.4235	0.1794
3	90	Bajo	39	Lineal	1.6247	0.2931	53.6305	554.311	Bajo	Universal	-0.0255	1.2657	1.6019
	105		40	Bessel	0.0000	1.7344	6.6894	0.000	Alto	Universal	-0.0121	0.9046	0.8182
	120		40	Gaussiano	0.0000	1.3689	11.5665	0.000	Alto	Ordinario	0.0246	0.8883	0.7891
	135		45	Bessel	0.0000	2.2943	9.2201	0.000	Alto	Ordinario	0.0235	0.9034	0.8161
	90	Medio	14	Matern	0.4634	0.1057	9.6224	438.643	Bajo	Universal	0.0143	0.7481	0.5596
	105		14	Lineal	0.0000	1.0252	9.5845	0.000	Alto	Universal	0.0183	1.0071	1.0143
	120		14	Bessel	0.8424	0.3023	7.9167	278.645	Bajo	Universal	-0.0024	1.0232	1.0470
	135		22	Bessel	0.8424	0.3023	7.9167	278.645	Bajo	Universal	-0.0024	1.0232	1.0470
	90	Alto	3	Exponencial	1.6782	0.0021	6.8541	791.732	Bajo	Ordinario	-0.0021	0.4188	0.1754
	105		3	Bessel	0.5407	0.0000	1.9134	0.000	Alto	Ordinario	-0.0002	0.4193	0.1758
	120		3	Bessel	0.6015	0.0034	9.9029	17690.142	Bajo	Ordinario	-0.0005	0.5389	0.2904
	135		11	Exponencial	0.0000	0.9556	17.1743	0.000	Alto	Universal	0.002998654	0.57688093	0.332791603

Cuadro 2. Parámetros de los modelos ajustados a los semivariogramas y su validación obtenida de los monitoreos de *U. viciae-fabae* en Zinacantepec

PARCELA	DDS	ESTRATO	INCIDENCIA (%)	VARIOGRAMA					VALIDACIÓN CRUZADA				
				MODELO	PEPITA	MESETA	RANGO	PEPITA/ MESETA	Nivel de dependencia	KRIGING	ME	RMSE	MSPE
1	90	BAJO	48	Bessel	0.0000	0.7696	3.5298	0.00	Alto	Universal	-0.0087	0.7730	0.5975
	105		Gaussiano	0.0000	1.3405	6.9213	0.00	Alto	Universal	0.0214	0.8105	0.6569	
	120		Exponencial	0.0000	1.2925	7.5933	0.00	Alto	Ordinario	-0.0104	1.0875	0.7284	
	135		Exponencial	0.0000	1.2925	7.5933	0.00	Alto	Ordinario	-0.0104	1.0875	0.7284	
	90	MEDIO	31	Bessel	0.0000	0.8282	3.2171	0.00	Alto	Ordinario	0.0030	0.8734	0.7629
	105		Gaussiano	0.0000	0.5254	7.3758	0.00	Alto	Universal	-0.0083	0.5443	0.2963	
	120		Bessel	0.0000	0.5477	3.2093	0.00	Alto	Universal	0.0009	0.6838	0.4676	
	135		Bessel	0.0000	0.5477	3.2093	0.00	Alto	Universal	0.0009	0.6838	0.4676	
	90	ALTO	12	Bessel	0.0000	0.4442	5.0347	0.00	Alto	Universal	-0.0043	0.5299	0.2808
	105		Lineal	0.0000	0.2101	9.7346	0.00	Alto	Universal	-0.0044	0.4131	0.1707	
	120		Bessel	0.0000	0.1879	3.6514	0.00	Alto	Universal	-0.0106	0.4151	0.1723	
	135		Bessel	0.0000	0.1879	3.6514	0.00	Alto	Universal	-0.0106	0.4151	0.1723	
2	90	BAJO	8	Bessel	0.1051	0.4233	5.6034	24.82	Alto	Ordinario	0.0124	0.5875	0.3451
	105		Gaussiano	0.3868	0.2815	13.2433	137.42	bajo	Universal	-0.0067	0.6901	0.4762	
	120		Bessel	0.1318	0.8112	5.5035	16.24	Alto	Universal	-0.0017	0.7766	0.6031	
	135		Bessel	0.1318	0.8112	5.5035	16.25	Alto	Universal	-0.0017	0.7766	0.6031	
	90	MEDIO	13	Bessel	0.6457	0.1806	12.4685	357.57	bajo	Ordinario	0.0004	0.8440	0.7124
	105		Gaussiano	0.0000	1.0976	7.4611	0.00	Alto	Ordinario	0.0085	0.8791	0.7727	
	120		Bessel	0.0000	1.3158	4.3635	0.00	Alto	Universal	0.0141	0.9381	0.8800	
	135		Bessel	0.0000	1.3158	4.3635	0.00	Alto	Universal	0.0141	0.9381	0.8800	
	90	ALTO	9	Bessel	0.0649	0.4914	5.7767	13.21	Alto	Ordinario	-0.0007	0.6017	0.3621
	105		Gaussiano	0.0000	0.6557	8.6913	0.00	Alto	Ordinario	-0.0204	0.6885	0.4740	
	120		Bessel	0.0125	0.4789	5.4664	2.61	Alto	Ordinario	-0.0079	0.5653	0.3196	
	135		Bessel	0.0125	0.4789	5.4664	2.61	Alto	Ordinario	-0.0079	0.5653	0.3196	
3	90	BAJO	29	Bessel	0.0000	0.8515	4.6919	0.00	Alto	Ordinario	-0.0156	0.7998	0.6397
	105		Lineal	0.0000	1.4176	12.1195	0.00	Alto	Universal	-0.0716	1.0319	1.0647	
	120		Bessel	0.0000	1.7601	4.4171	0.00	Alto	Ordinario	-0.0017	1.1051	1.2213	
	135		Bessel	0.0000	1.7601	4.4171	0.00	Alto	Ordinario	-0.0017	1.1051	1.2213	
	90	MEDIO	21	Exponencial	0.5847	2.7720	274.4820	21.09	Alto	Ordinario	-0.0050	0.8518	0.7256
	105		Bessel	0.0000	0.2272	5.3748	0.00	Alto	Ordinario	0.0061	0.3713	0.1379	
	120		Exponencial	0.0000	0.2680	9.2616	0.00	Alto	Ordinario	-0.0032	0.4043	0.1634	
	135		Exponencial	0.0000	0.2680	9.2616	0.00	Alto	Ordinario	-0.0032	0.4043	0.1634	
	90	ALTO	9	Bessel	0.3665	0.3369	21.9643	108.80	bajo	Ordinario	-0.0068	0.6132	0.3760
	105		Gaussiano	0.4175	0.1567	18.9734	266.38	bajo	Universal	0.0069	0.6525	0.4258	
	120		Exponencial	0.1679	0.2326	11.3073	72.19	Moderado	Universal	-0.0008	0.5427	0.2945	
	135		Exponencial	0.1679	0.2326	11.3073	72.19	Moderado	Universal	-0.0008	0.5427	0.2945	

Cuadro 3. Parámetros de los modelos ajustados a los semivariogramas y su validación obtenida de los monitoreos de *U. viciae-fabae* en Tlacotepec

PARCELA	DDS	ESTRATO	ICIDECIA (%)	VARIOGRAMA						VALIDACIÓN CRUZADA			
				MODELO	PEPITA	MESETA	RAGO	PEPITA/MESETA	IVEL DE DEPEDECIA	KRIGIG	ME	RMSE	MSPE
1	60	BAJO	6	Bessel	0.718	0.002	20.924	32728.7	Bajo	Universal	0.0004	0.6258	0.3916
	75		13	Gaussiao	0.683	0.298	6.538	229.4	Bajo	Ordinario	0.0037	0.9982	0.9964
	90		33	Bessel	0.941	0.415	6.461	227.1	Bajo	Universal	-0.0145	1.1220	1.2588
	105		54	Expoecial	0.000	0.742	10.914	0.0	Alto	Ordinario	-0.0116	0.6572	0.4318
	120		55	Expoecial	0.000	0.711	11.547	0.0	Alto	Ordinario	-0.0145	0.6166	0.3802
	135		87	Bessel	0.000	0.239	1.319	0.0	Alto	Universal	-0.0085	0.6324	0.3999
	60	MEDIO	0										
	75		1	Bessel	0.779	0.019	34.583	4185.8	Bajo	Universal	0.0015516	0.3334	0.1112
	90		20	Bessel	0.000	0.801	7.938	0.0	Alto	Ordinario	0.0094	0.5302	0.2811
	105		73	Expoecial	0.000	0.881	16.130	0.0	Alto	Universal	-0.0139	0.5309	0.2818
	120		73	Expoecial	0.000	0.881	16.130	0.0	Alto	Universal	-0.0139	0.5309	0.2818
	135		96	Gaussiao	0.000	0.159	2.976	0.0	Alto	Ordinario	0.0025	0.5426	0.2944
	60	ALTO	0										
	75		4	Bessel	0.000	0.205	6.093	0.0	Alto	Universal	0.0036	0.3240	0.1050
	90		10	Bessel	0.000	0.822	3.781	0.0	Alto	Universal	-0.0098	0.7235	0.5234
	105		43	Bessel	0.000	0.733	6.860	0.0	Alto	Ordinario	-0.0161	0.5052	0.2552
	120		44	Bessel	0.000	0.521	5.344	0.0	Alto	Ordinario	0.0077	0.5330	0.2841
	135		93	Bessel	0.000	0.718	5.950	0.0	Alto	Ordinario	-0.0066	0.5772	0.3332
2	60	BAJO	0										
	75		10	Gaussiao	0.495	0.319	7.527	155.0	Bajo	Universal	-0.0128	0.9669	0.9349
	90		22	Bessel	0.042	0.739	4.001	5.6	Alto	Ordinario	-0.0074	0.8139	0.6625
	105		50	Gaussiao	0.320	1.011	12.244	31.7	Moderado	Ordinario	-0.0056	0.6587	0.4338
	120		75	Bessel	0.052	0.497	13.351	10.5	Alto	Ordinario	-0.0138	0.3595	0.1292
	135		75	Bessel	0.052	0.497	13.351	10.5	Alto	Ordinario	-0.0138	0.3595	0.1292
	60	MEDIO	0										
	75		6	Bessel	0.953	0.019	14.857	5039.2	Bajo	Ordinario	-0.0026	0.7482	0.5598
	90		16	Gaussiao	0.423	0.715	7.217	59.2	Moderado	Universal	-0.0221	0.9744	0.9494
	105		45	Gaussiao	0.854	0.189	13.874	450.7	Bajo	Universal	-0.0137	0.8889	0.7902
	120		83	Lieal	0.000	0.354	4.078	0.0	Alto	Universal	-0.0106	0.6252	0.3909
	135		83	Lieal	0.000	0.354	4.078	0.0	Alto	Universal	-0.0106	0.6252	0.3909
	60	ALTO	0										
	75		0										
	90		0										
	105		30	Bessel	0.008	1.349	6.157	0.6	Alto	Ordinario	-0.0344	0.6997	0.4896
	120		42	Gaussiao	0.000	0.097	0.688	0.0	Alto	Universal	0.0033	0.3171	0.1006
	135		42	Gaussiao	0.000	0.097	0.688	0.0	Alto	Universal	0.0033	0.3171	0.1006
3	60	BAJO	1										
	75		33	Expoecial	0.086	0.190	8.242	45.5	Moderado	Universal	-0.0019	0.4481	0.2008
	90		33	Gaussiao	0.205	0.224	13.289	91.2	Bajo	Universal	0.0023	0.5209	0.2713
	105		59	Bessel	0.000	0.388	3.801	0.0	Alto	Universal	-0.0021	0.4945	0.2445
	120		91	Bessel	0.000	0.718	5.950	0.0	Alto	Ordinario	-0.0108	0.5864	0.3439
	135		91	Gaussiao	0.000	0.517	9.517	0.0	Alto	Ordinario	-0.0055	0.3834	0.1470
	60	MEDIO	0										
	75		12	Expoecial	0.129	0.576	65.689	22.4	Alto	Ordinario	0.00248165	0.4484	0.2011
	90		12	Gaussiao	0.083	0.158	23.491	52.6	Moderado	Ordinario	0.0009	0.3046	0.0928
	105		17	Bessel	0.166	0.916	15.531	18.1	Alto	Ordinario	0.0011	0.5546	0.3076
	120		88	Bessel	0.000	0.650	9.076	0.0	Alto	Simple	-0.0684	0.3505	0.1229
	135		88	Bessel	0.000	0.650	9.076	0.0	Alto	Simple	-0.0684	0.3505	0.1229
	60	ALTO	0										
	75		0										
	90		0										
	105		0										
	120		50	Bessel	0.000	0.327	6.715	0.0	Alto	Universal	-0.0051	0.2954	0.0872
	135		50	Bessel	0.000	0.327	6.715	0.0	Alto	Universal	-0.0051	0.2954	0.0872

7.6. CALIMAYA MAPAS DE DISPERSIÓN *Uromyces*

Parcela 1

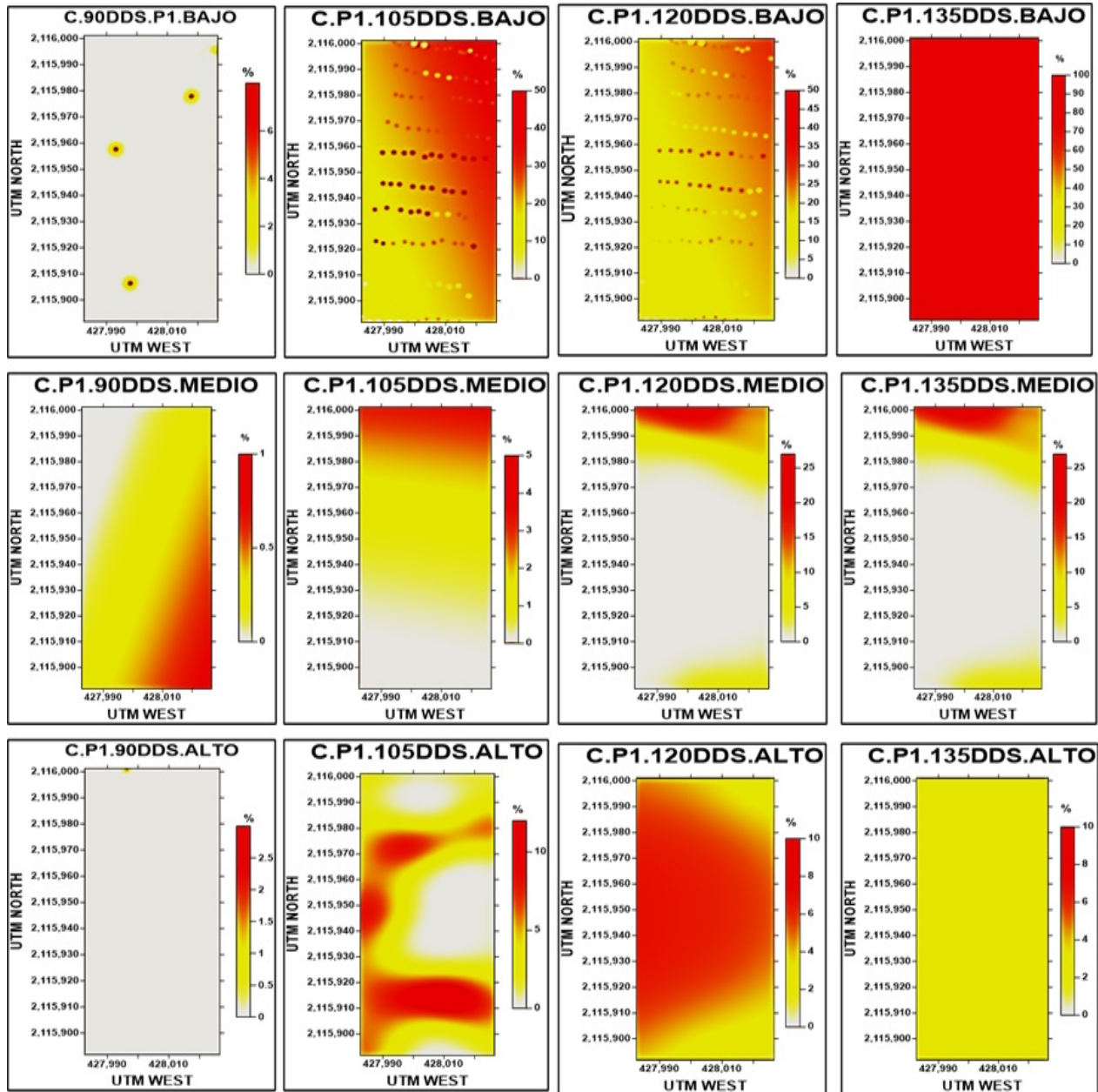


Figura 35. Mapas de distribución espacial de *U. viciae-fabae* en la parcela 1 del municipio de Calimaya.

Parcela 2

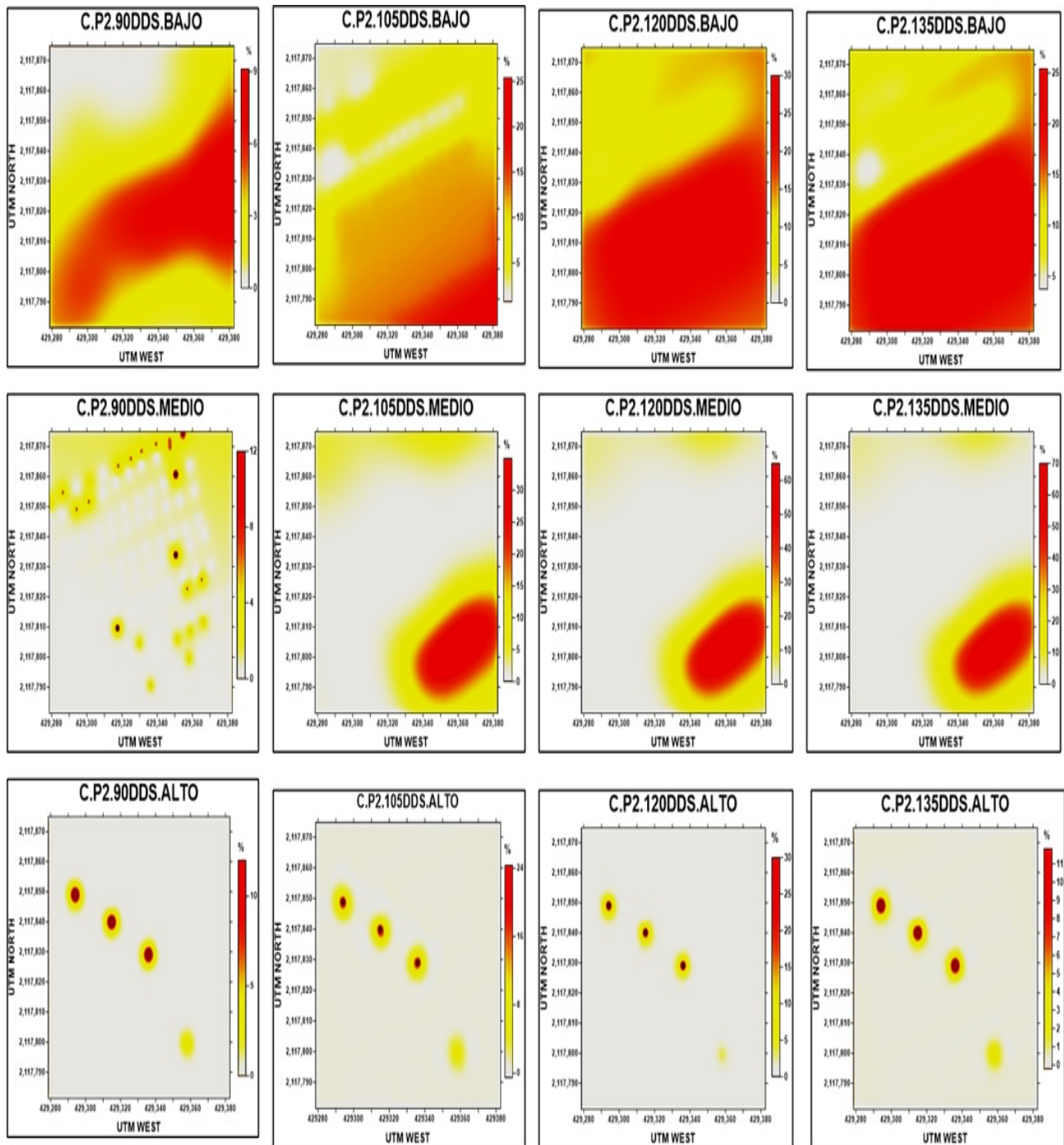


Figura 36. Mapas de distribución espacial de *U. viciae-fabae* en la parcela 2 del municipio de Calimaya.

Parcela 3

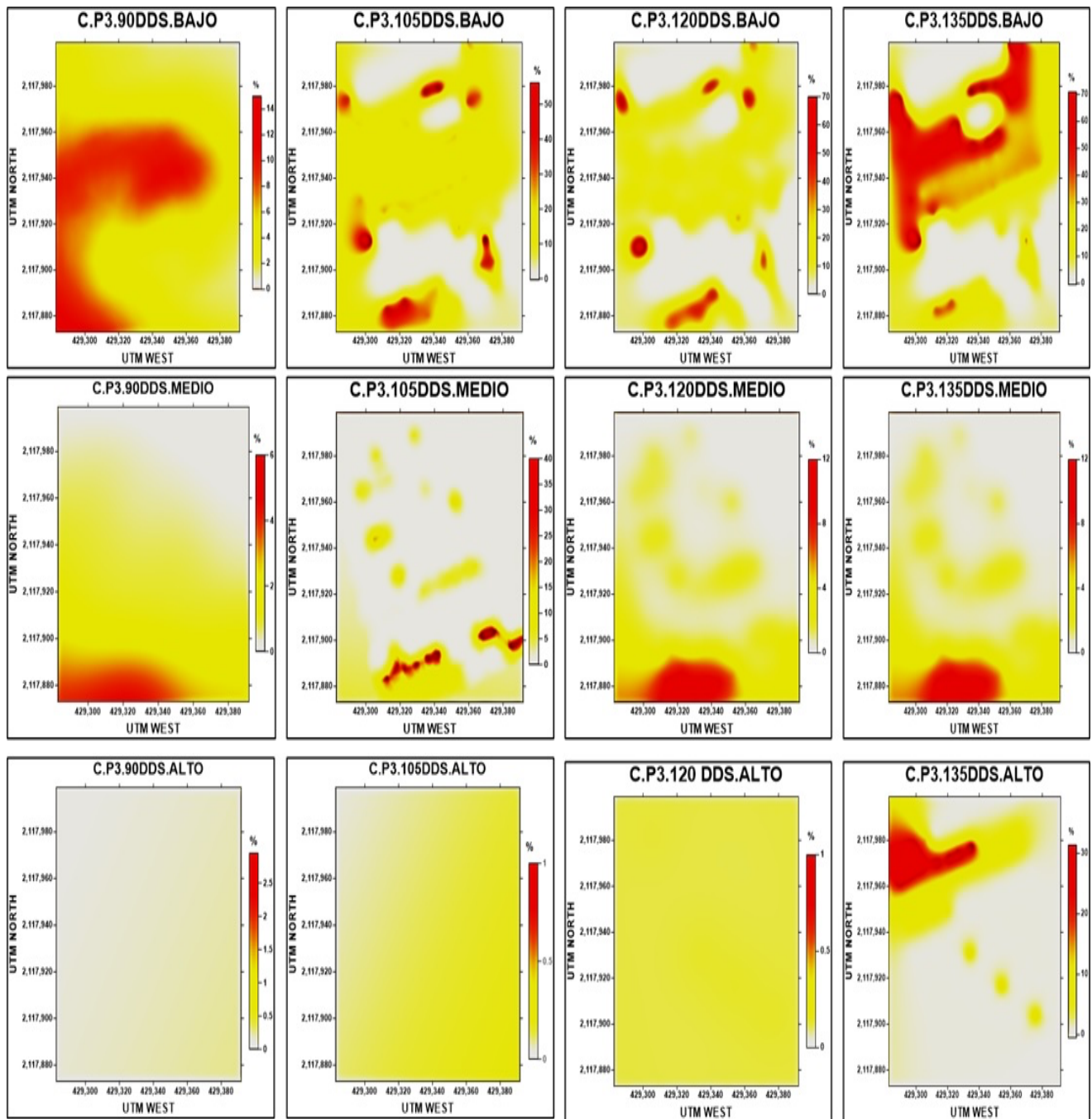


Figura 37. Mapas de distribución espacial de *U. viciae-fabae* en la parcela 3 del municipio de Calimaya.

7.7. ZINACANTEPEC MAPAS DE DISPERSIÓN *Uromyces*

Parcela 1

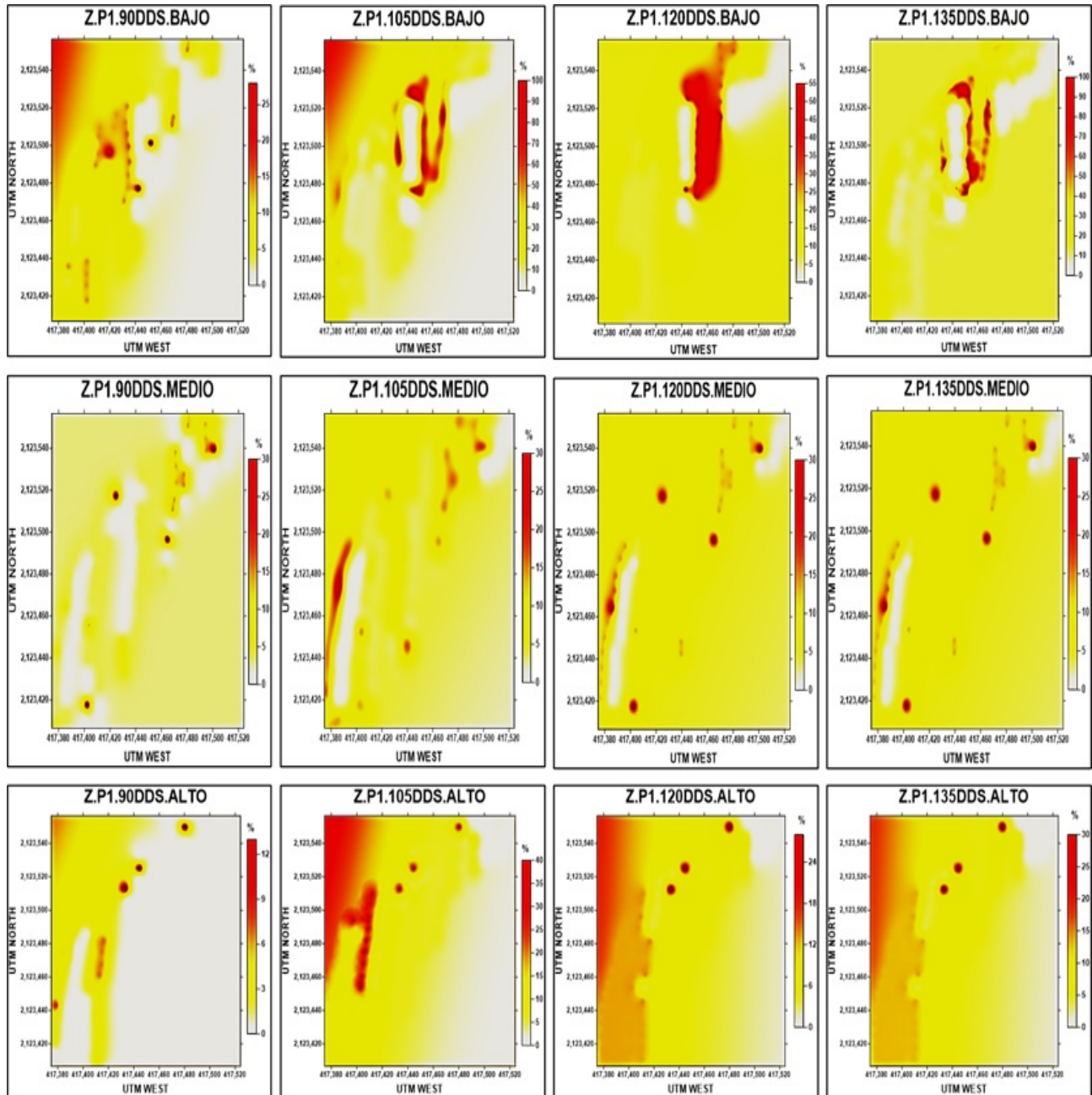


Figura 38. Mapas de distribución espacial de *U. viciae-fabae* en la parcela 1 del municipio de Zinacantepec.

Parcela 2

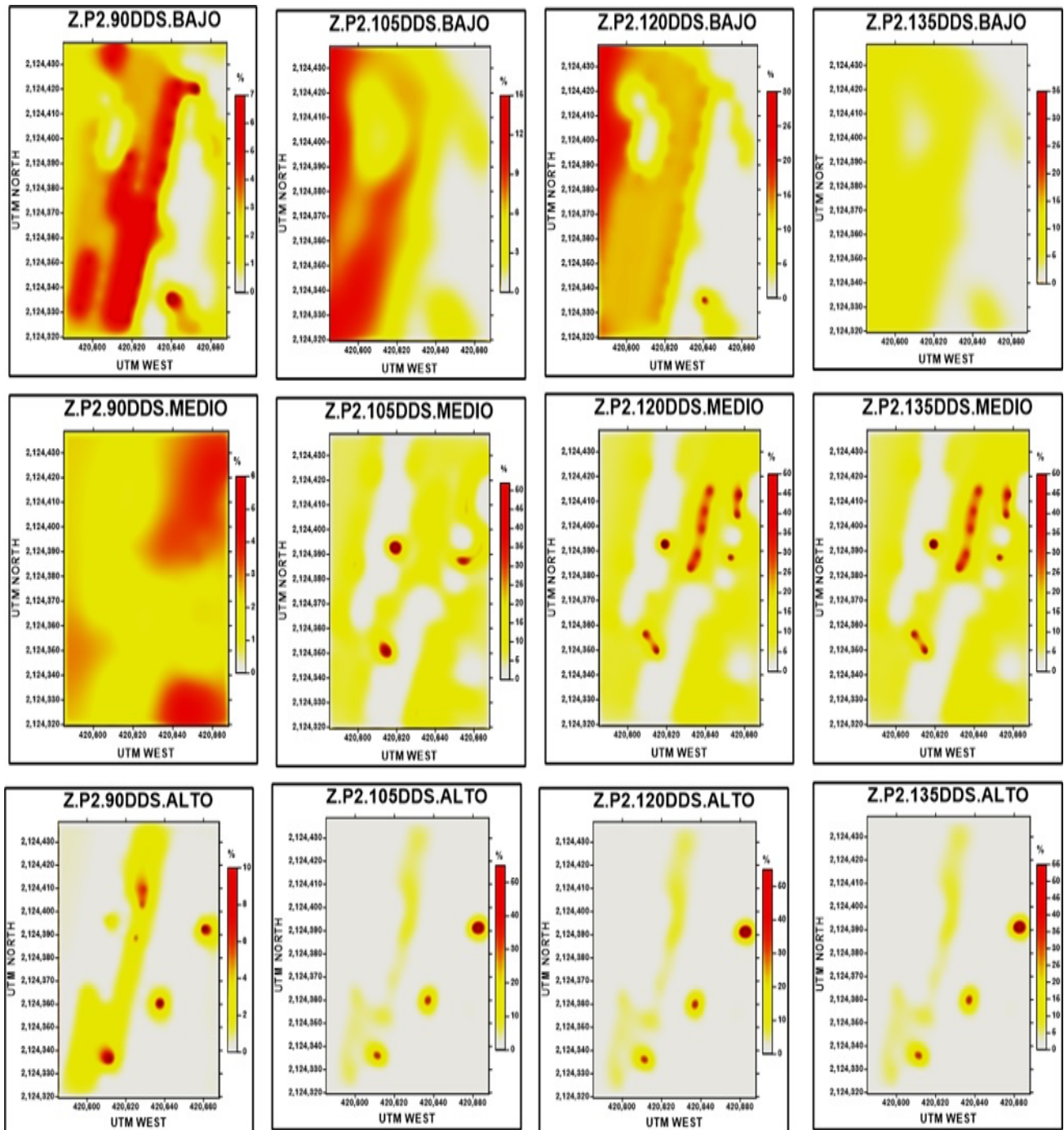


Figura 39. Mapas de distribución espacial de *U. viciae-fabae* en la parcela 2 del municipio de Zinacantepec.

Parcela 3

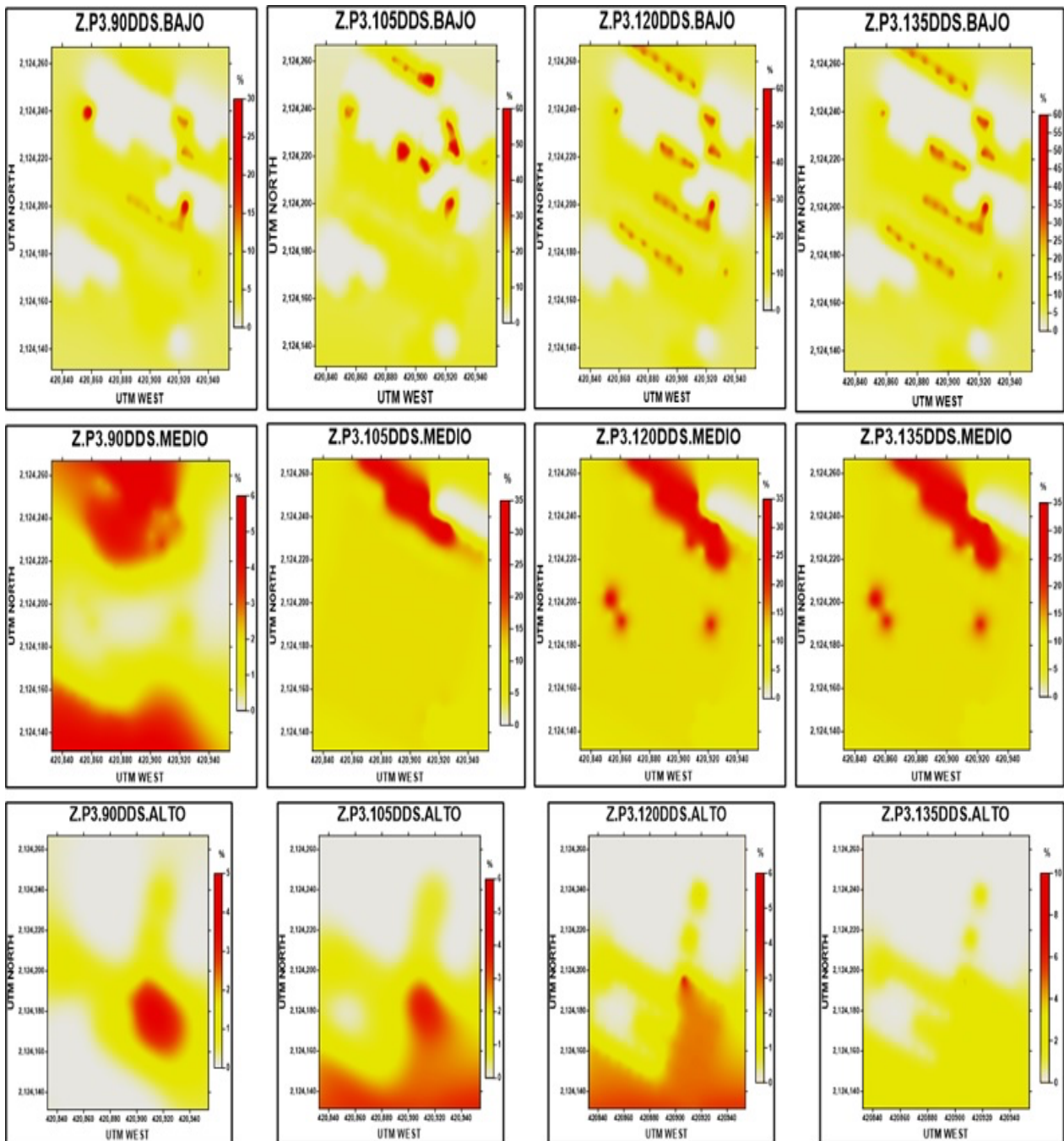


Figura 40. Mapas de distribución espacial de *U. viciae-fabae* en la parcela 3 del municipio de Zinacantepec.

7.8. TLACOTEPEC MAPAS DE DISPERSIÓN *Uromyces*

Parcela 1

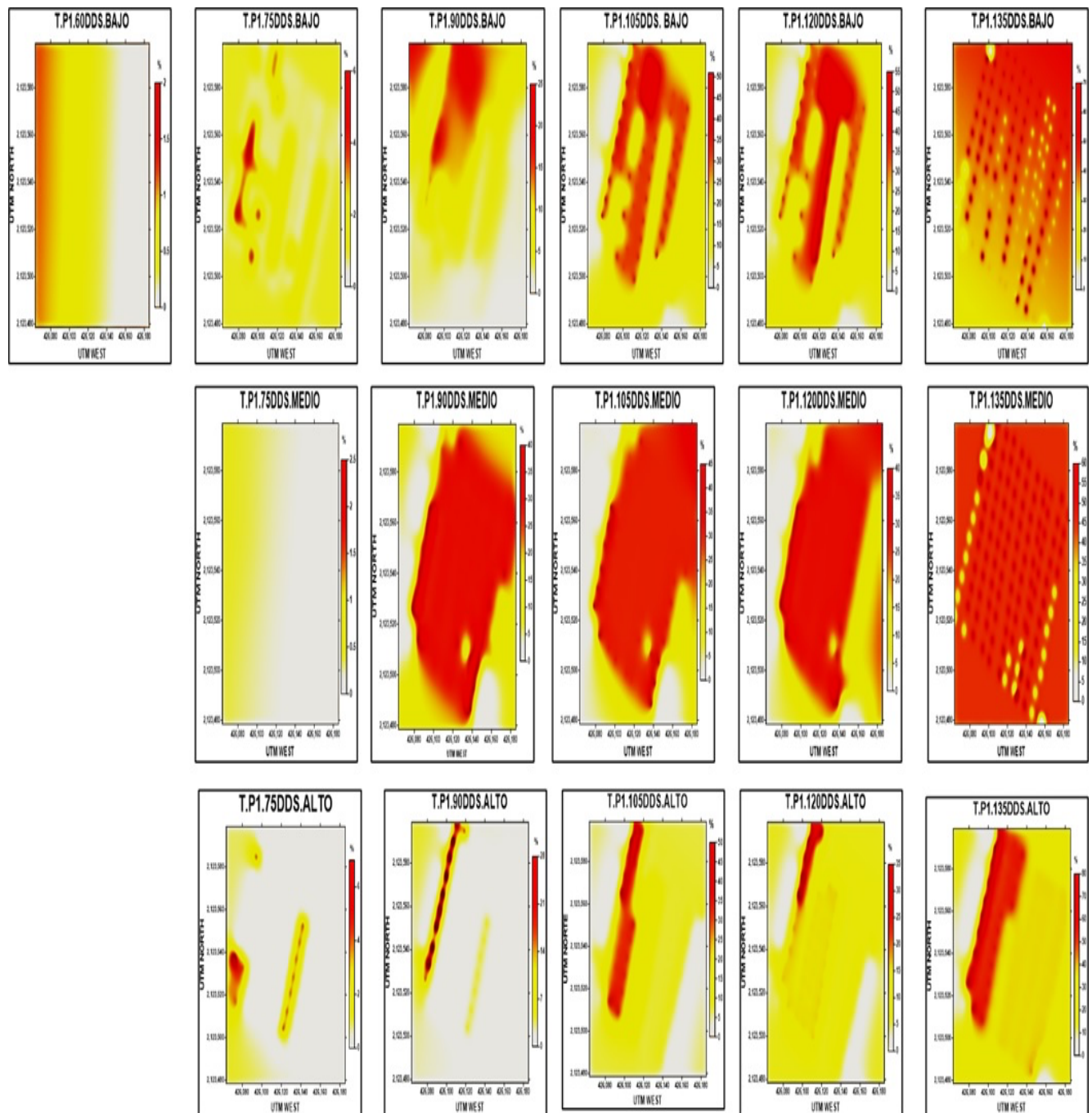


Figura 41. Mapas de distribución espacial de *U. viciae-fabae* en la parcela 1 del municipio de Tlacotepec.

Parcela 2

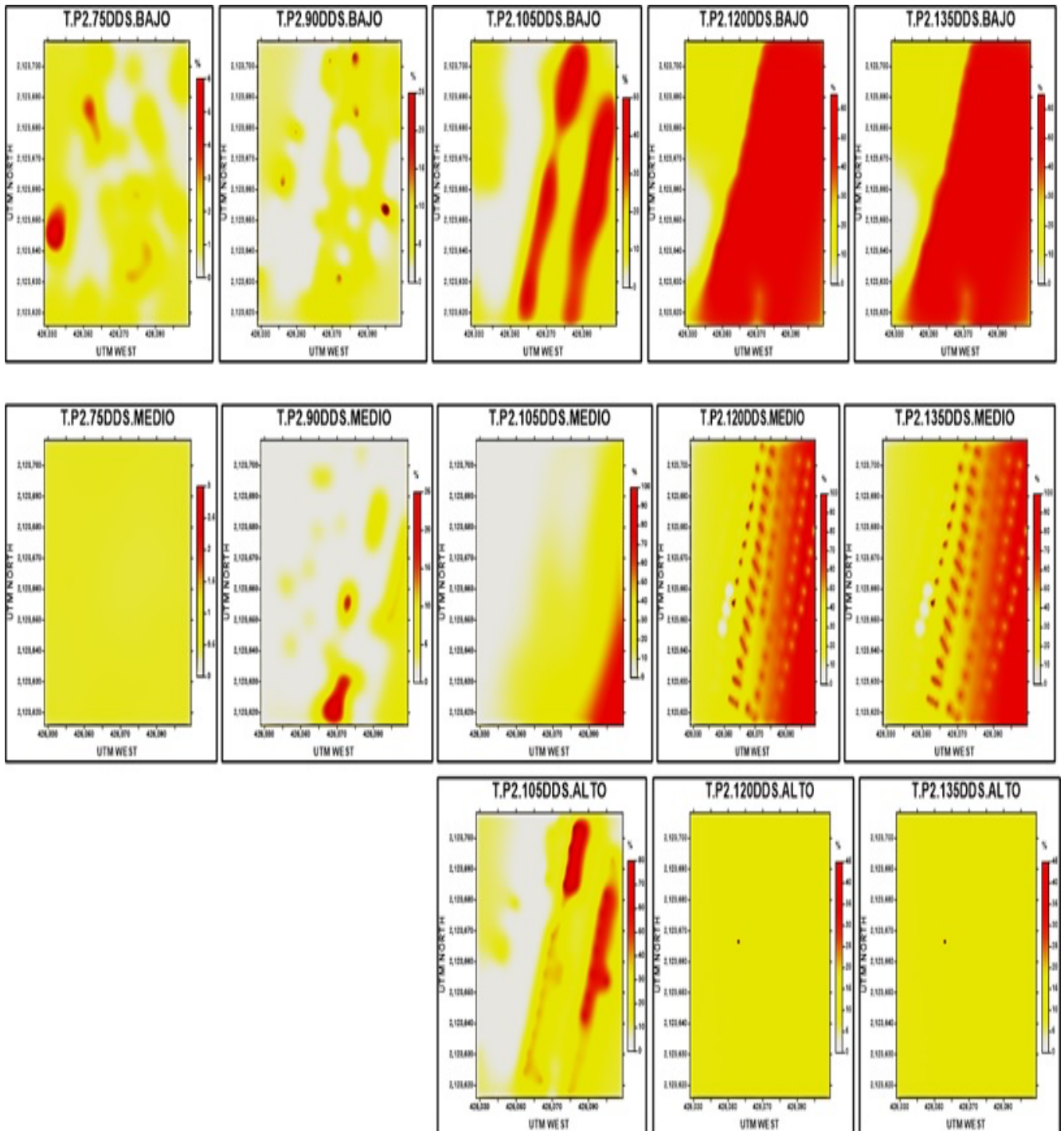


Figura 42. Mapas de distribución espacial de *U. viciae-fabae* en la parcela 2 del municipio de Tlacopec.

Parcela 3

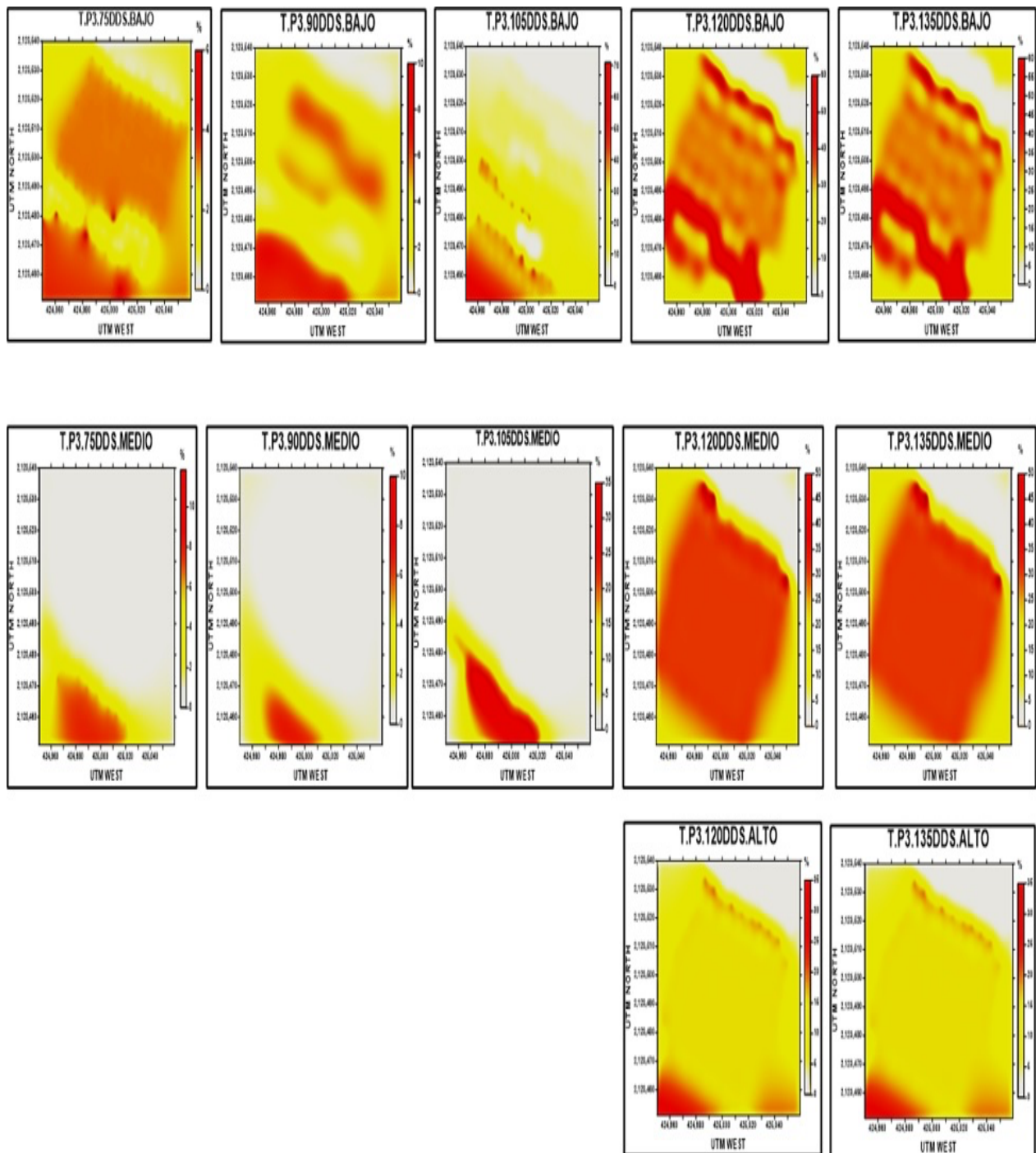


Figura 43. Mapas de distribución espacial de *U. viciae-fabae* en la parcela 3 del municipio de Tlacotepec.

7.9. INCIDENCIA DE *Rhizoctonia solani*

7.9.1. CALIMAYA

Parcela 1 (P1)

La expresión de la enfermedad pudo apreciarse desde los 15 dds, y mostró valores que varían desde los 0.21% hasta 8.26%, a los 135 dds, y siendo este último el valor más alto que expresó el número de plantas contaminadas (Fig. 44).

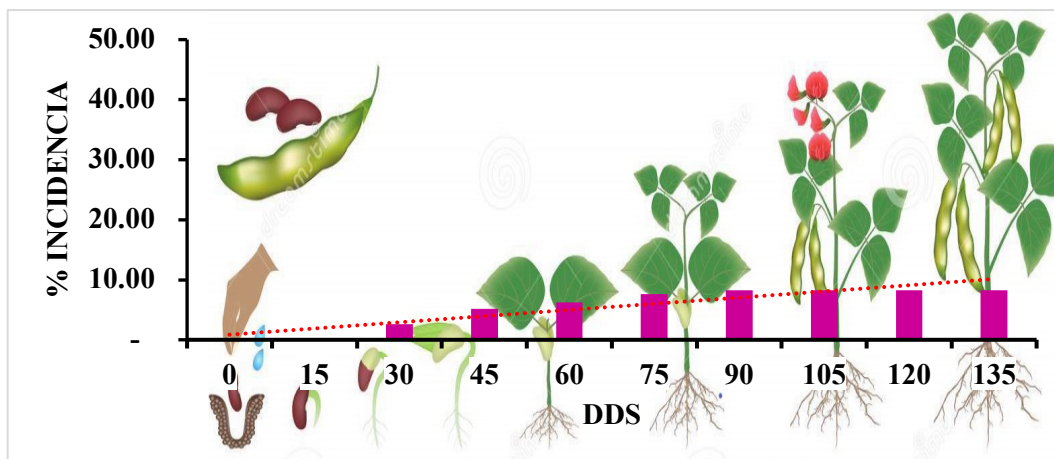


Figura 44. Progreso de la incidencia de *R. solani* en la parcela uno de la localidad de Calimaya

Parcela 2 (P2)

La aparición de la enfermedad se dio a los 30 dds, con un 1.45%, valor que fue en incremento durante todo el ciclo agrícola hasta llegar a 8.26% a los 90 dds, donde el valor dejó de crecer, para estabilizarse hasta los 135 dds, donde su valor máximo fue de 6.20% (Fig. 45).

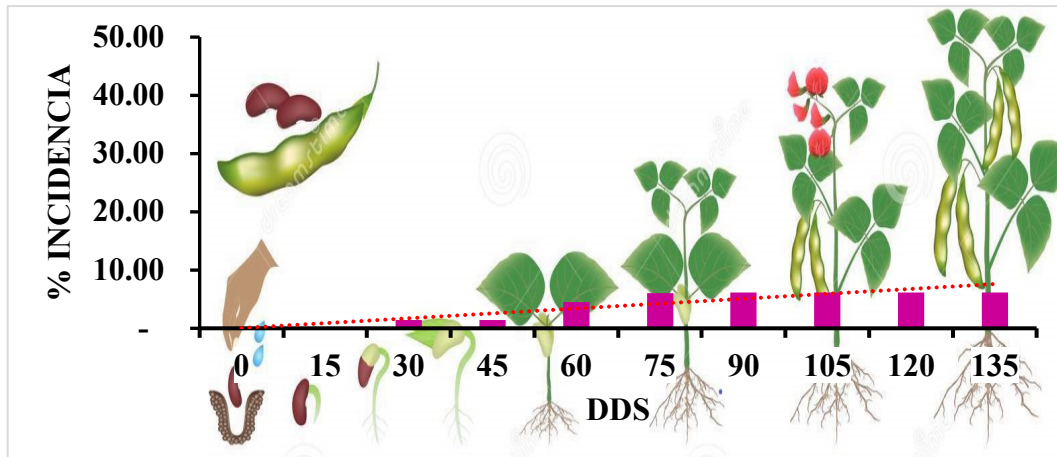


Figura 45. Progreso de la incidencia de *R. solani* en la parcela 2 de la localidad de Calimaya

Parcela 3 (P3)

Los síntomas visibles de la enfermedad pudieron apreciarse a partir de los 75 dds en un 2.27% de plantas enfermas, sin embargo, su comportamiento fue continuo y estable desde los 90 dds hasta los 135 dds, donde el valor fue de 2.48% (Fig. 46).

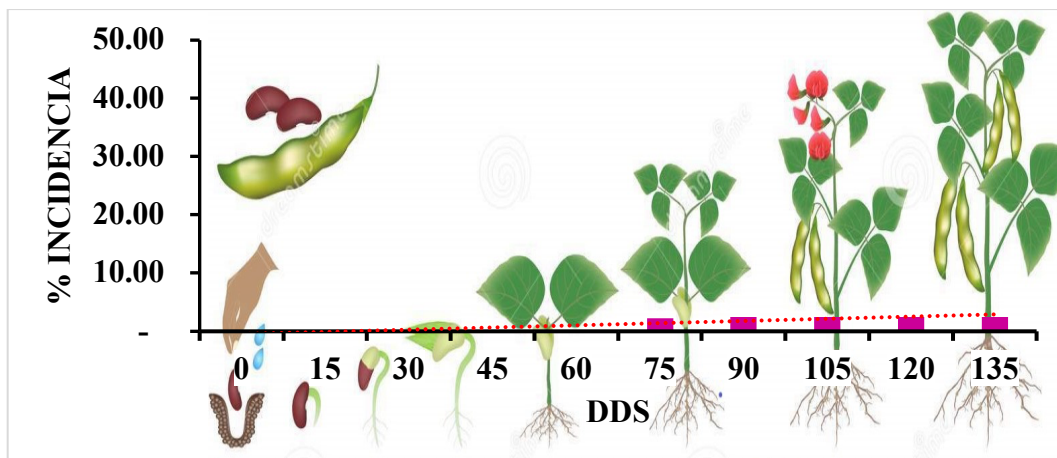


Figura 46 Progreso de la incidencia de *R. solani* en la parcela 3 de la localidad de Calimaya

7.9.2. ZINACANTEPEC ESTADO DE MÉXICO

Parcela 1 (P1)

La expresión de la enfermedad a través del tiempo pudo apreciarse de los 15 dds y hasta finalizar el ciclo, se pudo percibir que el valor mínimo de incidencia fue de 1.86% respecto al máximo que fue de 14.88% (Fig. 47).

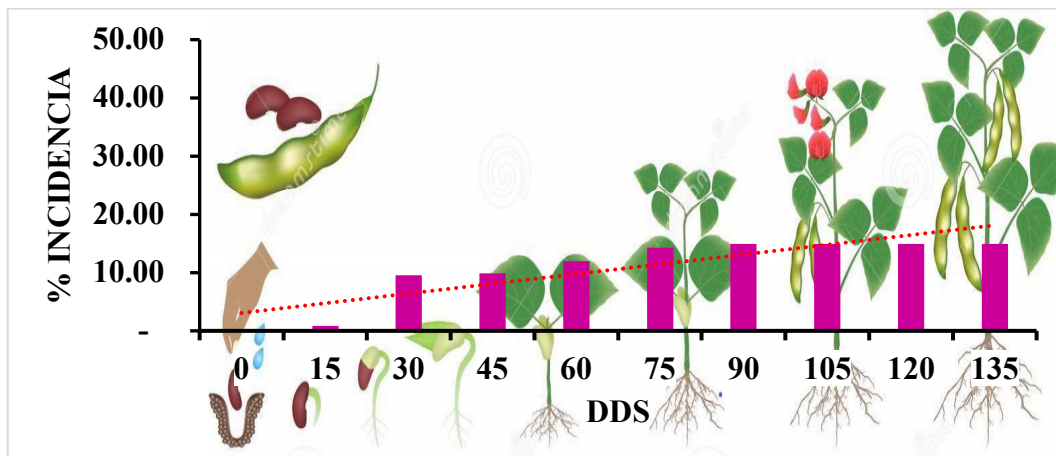


Figura 47. Progreso de la incidencia de *R. solani* en la parcela 1 del municipio de Zinacantepec.

Parcela 2 (P2)

La expresión de la enfermedad se pudo visualizar desde los 15 dds y hasta los 135 dds, los valores fluctuaron desde 1.86% como mínimo hasta un 9.92% como valor máximo, este último se mantuvo fijo desde los 75 dds y hasta el final del ciclo agrícola (Fig. 48).

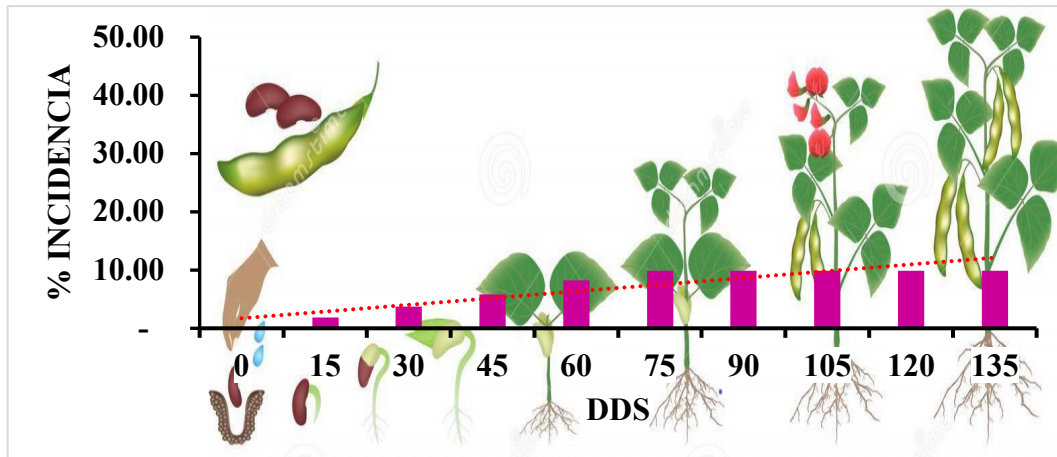


Figura 48. progreso de la incidencia de *R. solani* en la parcela 2 de la localidad de Zinacantepec.

Parcela 3 (P3)

La expresión de la enfermedad pudo verse reflejada en la parcela de estudio a partir de los 15 dds, esto con un valor del 0.83%, mismo que fue en aumento constante, hasta llegar a los 135 dds con un nivel de incidencia de 73%, valor que se mantuvo hasta de los 105 dds (Fig. 49).

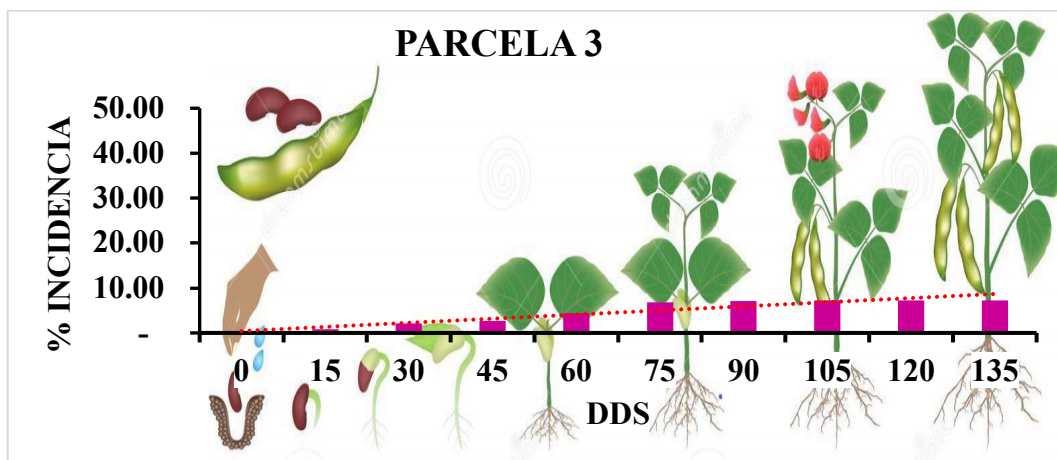


Figura 49 Progreso de la incidencia de *R. solani* en la parcela 3 de la localidad de Zinacantepec

TLACOTEPEC ESTADO DE MÉXICO

Parcela 1 (P1)

La aparición de la enfermedad se dio a partir de los 15 dds con un valor del 2.22%, a partir del cual aumento considerablemente hasta alcanzar su valor máximo de 9.30% a los 120 dds, mismo valor que conservo hasta los 135dds (Fig. 50).

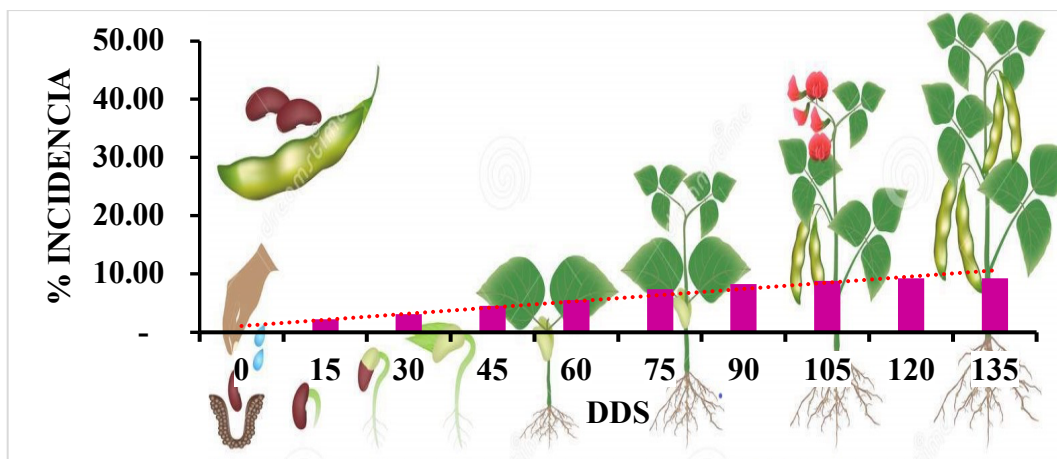


Figura 50. Progreso de la incidencia de *R. solani* en la parcela 1 de la localidad de Tlacotepec

Parcela 2 (P2)

La aparición de la enfermedad pudo ser visualizada a partir de los 15 dds con un valor mínimo de 1.86%, mismo que fue en incremento paulatino, a través del tiempo, llegando a su valor máximo a los 120 dds con el 9.92%, mismo que conservo hasta los 135 dds (Fig. 51).

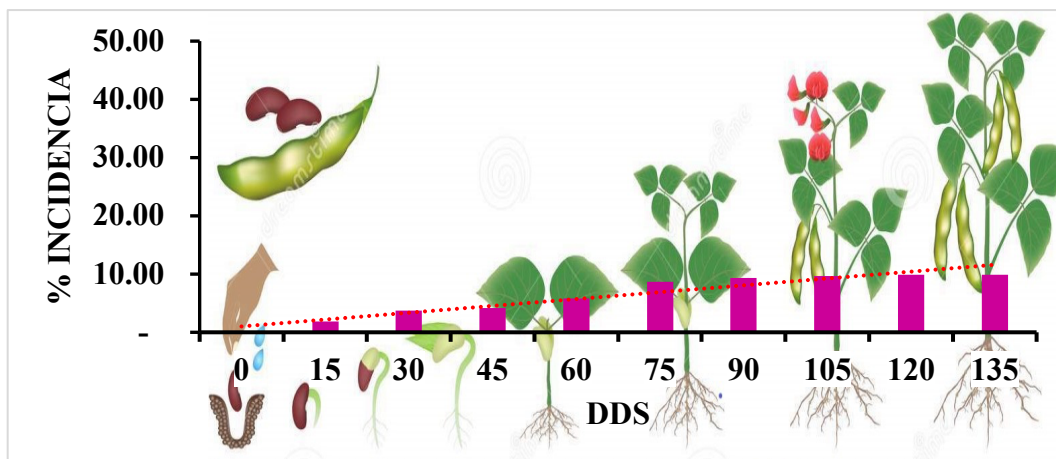


Figura 51. Progreso de la incidencia de *R. solani* en la parcela 2 de la localidad de Tlacotepec.

Parcela 3 (P3)

La expresión de la enfermedad inició a los 15 dds con un valor de 2.27% y hasta los 120 dds, fecha en la cual obtuvo un valor máximo de 11.36%, mismo que se mantuvo hasta los 135 dds (Fig. 52).

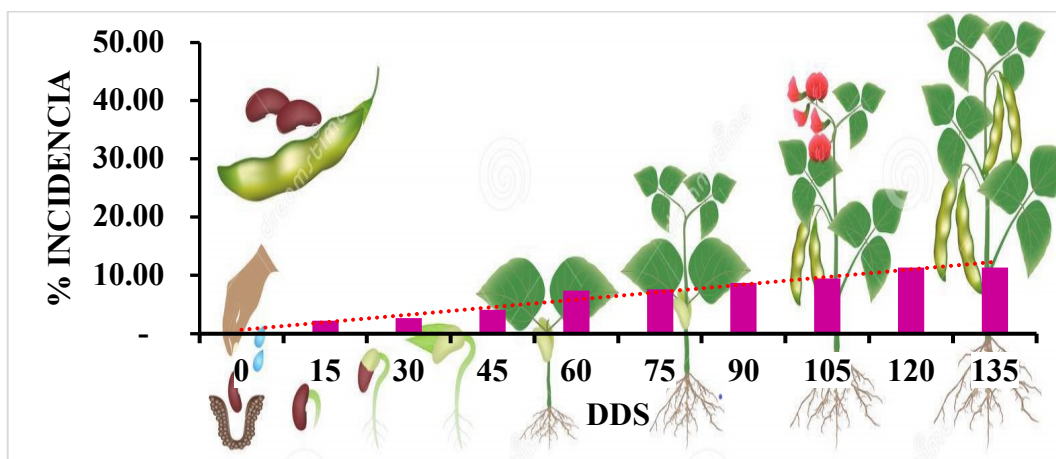


Figura 52. Progreso de la incidencia de *R. solani* en la parcela 3 de la localidad de Tlacotepec.

7.10. RESULTADOS OBTENIDOS DE LOS PARÁMETROS DEL SEMIVARIOGRAMA Y LA VALIDACIÓN CRUZADA DE *Rhizoctonia solani*

Calimaya

P1. Los modelos a los que mejor se ajustó a la semivarianza experimental fue el esférico (66.66%), seguido por modelos lineal (11.11%), Bessel (11.11%) y, Matern (11.11%), la dependencia espacial fue alta y los tipos de Krigado fueron ordinario y universal.

P2. El modelo al que se ajustaron los datos fue al gaussiano, en todos los monitoreos presento un efecto pepita de cero, lo que significa que el error de muestreo fue nulo o mínimo, la dependencia espacial fue alta y el tipo de Krigado que tuvo fue ordinario.

P3. El modelo al que más se ajustaron los datos fue al lineal y uno solo al Bessel, la dependencia espacial fue alta y solo una baja, esto por los valores del efecto pepita que fueron cero en la mayoría de los monitoreos, y el tipo de Krigado que se presento fue ordinario. (cuadro 4)

Zinacantepec

P1. Los modelos a los que se ajustó la enfermedad fueron cambiando con el paso del tiempo, sin embargo, los que más prevalecieron fueron el gaussiano (44.44%), el exponencial (22.22%), el Bessel (22.22%) y solo en un caso lineal (11.11%), la dependencia espacial de esta parcela fue alto en todos los monitoreos, siendo indicativo de que los valores de error fueron mínimos, y el tipo de Krigado que se presento fue el ordinario (Cuadro 5).

P2. El modelo que mejor se ajustó a la semivarianza del comportamiento espacial de la enfermedad fue el exponencial (88.88%), también se ajustó a un gaussiano (11.11%), los niveles de dependencia espacial fueron altos, y el tipo de Krigado fue ordinario (Cuadro 5).

P3. Para esta parcela, el modelo que más se ajustó a los valores de la semivarianza fue el Pentaesférico (77.77%), seguido por un Bessel (11.11%) y un lineal (11.11%), los valores de dependencia espacial fueron de moderados a bajos y altos en algunos casos, y el tipo de Krigado fue ordinario (Cuadro 5).

Tlacotepec

P1. Los modelos a los que se ajustó los valores de la semivarianza fue Pentaesférico (44.44%) en su mayoría, pero también gaussianos (33.33%), esféricos (11.11%) y lineales (11.11). El nivel de dependencia fue de alto a bajo, y posteriormente a nulo, en cuanto al tipo de Krigado, tenemos que fue ordinario (Cuadro 6).

P2. Los modelos a los que se ajustaron fueron gaussiano (33.33%) y Bessel (66.66%), el nivel de dependencia espacial fue moderado en su mayoría y el tipo de Krigado fue ordinario (Cuadro 6).

P3. Los modelos a los que se ajustó el valor de la semivarianza experimental fue Bessel (33.33%), Pentaesférico (11.11%), lineal (33.33%), gaussiano (11.11%) y exponencial (11.11%). Los valores de dependencia espacial fueron altos, y el tipo de Krigado que presentaron fue universal y ordinario (Cuadro 6).

Cuadro 4. Parámetros de los modelos ajustados a los semivariogramas y su validación obtenida de los monitoreos de *R. solani* en Calimaya

PARCELA	DDS	INCIDENCIA (%)	MUESTREO	VARIOGRAMA						VALIDACIÓN CRUZADA			
				MODELO	PEPITA	MESETA	RANGO	PEPITA/MESETA	NIVEL DE DEPENDENCIA	KRIGING	ME	RMSE	MSPE
1	0	0	1										
	15	0.21	2	Lineal	0.0000	0.1141	1.4132	0.0000	Alto	Ordinario	-0.0006	0.2976	0.0886
	30	2.60	3	Bessel	0.0000	1.1965	0.5379	0.0000	Alto	Universal	0.0168	1.0800	1.1664
	45	5.16	4	Esférico	0.6773	1.0338	2.7077	65.5125	Moderado	Ordinario	-0.0002	1.3194	1.7408
	60	6.19	5	Matern	0.0000	1.8951	0.9960	0.0000	Alto	Ordinario	0.0095	1.3819	1.9096
	75	7.64	6	Esférico	0.0000	2.0440	3.2099	0.0000	Alto	Ordinario	-0.0096	1.4809	2.1930
	90	8.26	7	Esférico	0.4069	1.9076	3.5761	21.3276	Alto	Universal	0.0006	1.5147	2.2944
	105	8.26	8	Esférico	0.4069	1.9076	3.5761	21.3276	Alto	Ordinario	0.0051	1.5227	2.3186
	120	8.26	9	Esférico	0.4069	1.9076	3.5761	21.3276	Alto	Ordinario	-0.0007	1.5281	2.3352
	135	8.26	10	Esférico	0.4069	1.9076	3.5761	21.3276	Alto	Ordinario	-0.0007	1.5281	2.3352
2	0	0.00	1										
	15	0.00	2	Gaussiano	0.0000	1.3038	3.4584	0.0000	Alto	Ordinario	-0.0011	1.0900	1.1881
	30	1.45	3	Gaussiano	0.0000	0.7529	4.8966	0.0000	Alto	Ordinario	-0.0063	0.8221	0.6759
	45	1.45	4	Gaussiano	0.0000	1.0671	4.3024	0.0000	Alto	Ordinario	0.0011	0.9810	0.9623
	60	4.55	5	Gaussiano	0.0000	1.1576	5.2767	0.0000	Alto	Ordinario	0.0016	1.0525	1.1079
	75	5.99	6	Gaussiano	0.0000	1.1486	3.5307	0.0000	Alto	Ordinario	0.0003	1.0198	1.0399
	90	6.20	7	Gaussiano	0.0000	1.1486	3.5307	0.0000	Alto	Ordinario	-0.0022	1.0060	1.0120
	105	6.20	8	Gaussiano	0.0000	1.3038	3.4584	0.0000	Alto	Ordinario	-0.0003	1.0862	1.1798
	120	6.20	9	Gaussiano	0.0000	1.3038	3.4584	0.0000	Alto	Ordinario	0.0068	1.0821	1.1709
	135	6.20	10	Gaussiano	0.0000	1.3038	3.4584	0.0000	Alto	Ordinario	0.0008	1.0842	1.1754
3	0	0.00	1										
	15	0.00	2										
	30	0.00	3										
	45	0.00	4										
	60	0.00	5										
	75	2.27	6	Lineal	0.0000	0.6625	10.1550	0.0000	Alto	Ordinario	0.0010	0.8729	0.7619
	90	2.48	7	Bessel	0.0000	0.7048	2.0152	0.0000	Alto	Ordinario	0.0029	0.8664	0.7507
	105	2.48	8	Lineal	0.0000	0.6625	10.1550	0.0000	Alto	Ordinario	-0.0011	0.8711	0.7588
	120	2.48	9	Lineal	0.0000	0.0000	9.0607	99.9929	Bajo	Ordinario	-0.0032	0.8406	0.7066
	135	2.48	10	Lineal	0.0000	0.0000	9.0607	99.9929	Bajo	Ordinario	-0.0032	0.8406	0.7066

Cuadro 5. Parámetros de los modelos ajustados a los semivariogramas y su validación obtenida de los monitoreos de *R. solani* en Zinacantepec.

PARCELA	DDS	MUESTRE O	INCIDENCIA (%)	VARIOGRAMA						VALIDACIÓN CRUZADA			
				MODELO	PEPITA	MESETA	RANGO	PEPITA/M ESETA	NIVEL DE DEPENDENCIA	KRIGING	ME	RMSE	MSPE
1	0	1	0.00										
	15	2	0.83	Lineal	0.0000	1.7703	8.2050	0.000	Alto	ordinario	-0.0064	1.2632	1.5958
	30	3	9.50	Exponencial	0.0000	2.4475	2.3887	0.00	Alto	ordinario	-0.0012	1.5462	2.3909
	45	4	9.92	Exponencial	0.0000	2.5479	1.4161	0.00	Alto	ordinario	0.0121	1.5854	2.5136
	60	5	11.98	Gaussiano	0.0000	2.8432	3.3479	0.00	Alto	ordinario	-0.0019	1.6579	2.7487
	75	6	14.26	Gaussiano	0.0000	3.1088	3.7147	0.00	Alto	ordinario	-0.0015	1.7381	3.0210
	90	7	14.88	Gaussiano	0.0000	3.1088	3.7147	0.00	Alto	ordinario	-0.0015	1.7381	3.0210
	105	8	14.88	Gaussiano	0.0000	3.1088	3.7147	0.00	Alto	ordinario	-0.0104	1.7318	2.9991
	120	9	14.88	Bessel	0.0000	3.0737	1.2726	0.00	Alto	ordinario	-0.0006	1.7433	3.0389
	135	10	14.88	Bessel	0.0000	3.0737	1.2726	0.00	Alto	ordinario	-0.0006	1.7433	3.0389
2	0	1	0.00										
	15	2	1.86	Gaussiano	0.5163	0.4359	120.7616	118.46	Bajo	ordinario	-0.0048	0.7860	0.6179
	30	3	3.72	Exponencial	0.0000	0.9303	2.1731	0.00	Alto	ordinario	-0.0021	0.9918	0.9837
	45	4	5.79	Exponencial	0.0000	0.9303	2.1731	0.00	Alto	ordinario	-0.0021	0.9918	0.9837
	60	5	8.26	Exponencial	0.0000	1.1770	2.1327	0.00	Alto	ordinario	-0.0017	1.1145	1.2421
	75	6	9.92	Exponencial	0.0000	1.1965	0.5379	0.00	Alto	universal	0.0168	1.0800	1.1664
	90	7	9.92	Exponencial	0.0000	0.9127	0.1327	0.00	Alto	ordinario	-0.0006	1.2258	1.5025
	105	8	9.92	Exponencial	0.0000	0.9128	0.1329	0.00	Alto	ordinario	-0.0006	1.2258	1.5025
	120	9	9.92	Exponencial	0.0000	0.9100	0.1321	0.00	Alto	ordinario	-0.0006	1.2258	1.5080
	135	10	9.92	Exponencial	0.0000	0.9100	0.1321	0.00	Alto	ordinario	-0.0006	1.2000	1.4600
3	0	1	0.00										
	15	2	0.83	Bessel	0.3432	3.8443	564.7177	8.93	Alto	ordinario	-0.0008	0.5504	0.3029
	30	3	2.07	Pentaesférico	0.0000	0.9889	6.3479	0.00	Alto	ordinario	-0.0030	0.8221	0.6759
	45	4	2.69	Pentaesférico	0.0000	0.8254	6.8584	0.00	Alto	ordinario	0.0005	0.9470	0.8969
	60	5	4.34	Pentaesférico	0.8675	0.7569	5.9684	114.61	Bajo	ordinario	-0.0032	1.1617	1.3496
	75	6	6.82	Pentaesférico	0.7396	1.3219	5.6551	55.95	Moderado	ordinario	0.0103	1.3893	1.9300
	90	7	7.02	Pentaesférico	0.7396	1.3219	5.6551	55.95	Moderado	ordinario	-0.0035	1.3896	1.9309
	105	8	7.23	Lineal	0.7942	1.2159	7.9312	65.32	Moderado	ordinario	0.0003	1.3874	1.9309
	120	9	7.23	Pentaesférico	0.0000	2.5713	5.9828	0.00	Alto	ordinario	0.0103	1.3893	1.9300
	135	10	7.23	Pentaesférico	0.0000	2.5713	5.9828	0.00	Alto	ordinario	0.0103	1.3893	1.9300

Cuadro 6. Parámetros de los modelos ajustados a los semivariogramas y su validación obtenida de los monitoreos de *R. solani* en Tlacotepec

PARCELA	DDS	MUESTREO	INCIDENCIA (%)	VARIOGRAMA						VALIDACIÓN CRUZADA			
				MODELO	PEPITA	MESETA	RANGO	PEPITA/MESETA	NIVEL DE DEPENDENCIA	KRIGING	ME	RMSE	MSPE
1	0	1	0.00										
	15	2	2.22	Gaussiano	0.0000	0.3996	5.2614	0.00	Alto	Ordinario	0.0016	0.6599	0.4355
	30	3	3.10	Esférico	0.8787	1.0000	6.5166	87.87	Bajo	Ordinario	-0.0023	0.9844	0.9691
	45	4	4.55	Gaussiano	0.0000	1.3935	1.6220	0.00	Alto	Ordinario	0.0008	1.1262	1.2684
	60	5	5.58	Gaussiano	0.0000	1.5582	2.1596	0.00	Alto	Ordinario	-0.0008	1.2173	1.4818
	75	6	7.44	Lineal	0.1808	1.4942	3.8603	12.10	Alto	Ordinario	-0.0006	1.2593	1.5859
	90	7	8.26	Pentaesférico	0.0000	2.7858	2.7626	0.00	Alto	Ordinario	0.0012	1.4688	2.1572
	105	8	8.88	Pentaesférico	0.0000	3.06	2.87	0.00	Alto	Ordinario	-0.0030	1.4945	2.2335
	120	9	9.30	Pentaesférico	0.0000	3.0608	2.8711	0.00	Alto	Ordinario	-0.0030	1.4945	2.2335
	135	10	9.30	Pentaesférico	0.0000	3.0707	2.8709	0.00	Alto	Universal	-0.0090	1.5255	2.3270
2	0	1	0.00										
	15	2	1.86	Gaussiano	0.0000	1.3033	3.4688	0.00	Alto	Ordinario	0.0080	1.1861	1.4069
	30	3	3.72	Gaussiano	0.0000	1.3033	3.4688	0.00	Alto	Ordinario	0.0080	1.1861	1.4069
	45	4	4.13	Gaussiano	0.0000	1.3033	3.4688	0.00	Alto	Ordinario	0.0080	1.1861	1.4069
	60	5	5.79	Bessel	0.2115	0.0000	0.8728	70.00	Moderado	Ordinario	0.0020	0.6410	0.4109
	75	6	8.68	Bessel	0.1586	0.0000	0.2586	74.00	Moderado	Ordinario	-2.5982	2.6620	0.0864
	90	7	9.30	Bessel	0.3303	0.7198	2.1428	76.00	Moderado	Ordinario	-0.0096	0.3983	0.1587
	105	8	9.71	Bessel	0.3303	0.7198	2.1428	45.89	Moderado	Ordinario	-0.0096	0.3983	0.1587
	120	9	9.92	Bessel	0.3303	0.7198	2.1428	45.89	Moderado	Ordinario	-0.0096	0.3983	0.1587
	135	10	9.92	Bessel	0.3303	0.7198	2.1428	45.89	Moderado	Ordinario	-0.0096	0.3983	0.1587
3	0	1	0.00										
	15	2	2.27	Bessel	0.0894	0.6826	2.5440	13.10	Alto	Ordinario	0.0061	0.8609	0.7411
	30	3	2.69	Bessel	0.0000	1.0024	1.5938	0.00	Alto	Ordinario	0.0049	0.9737	0.9481
	45	4	4.13	Bessel	0.0000	1.3861	1.8354	0.00	Alto	Universal	0.0052	1.1616	1.3492
	60	5	7.44	Pentaesférico	0.0000	1.8948	10.7395	0.00	Alto	Ordinario	0.0064	1.3888	1.9288
	75	6	7.64	Lineal	0.0000	1.9886	7.7205	0.00	Alto	Ordinario	-0.0044	1.4643	2.1441
	90	7	8.68	Gaussiano	0.0000	2.0718	3.0709	0.00	Alto	Universal	0.0041	1.4238	2.0271
	105	8	9.50	Lineal	0.1972	1.7747	6.6508	11.11	Alto	Universal	0.0041	1.4238	2.0271
	120	9	11.36	Exponencial	0.0000	2.1599	2.0712	0.00	Alto	Universal	0.0042	1.4833	2.2003
	135	10	11.36	Lineal	0.0000	2.3323	7.5411	0.00	Alto	Ordinario	0.0100	1.5952	2.5446

7.11. CALIMAYA MAPAS DE DISPERSIÓN

Parcela 1 (P1)

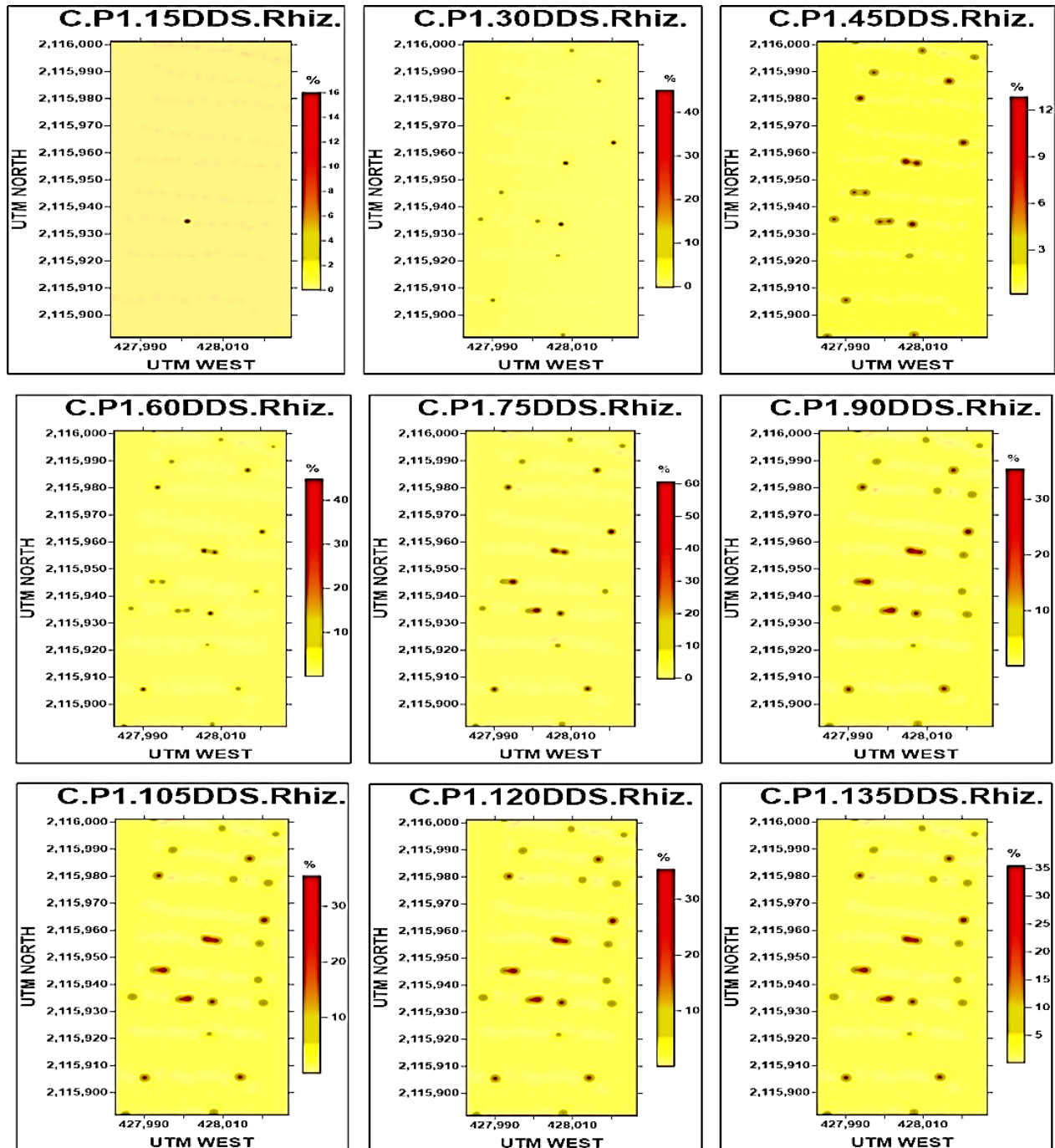


Figura 53. Mapas de distribución espacial de *Rhizoctonia solani* en la parcela 1 del municipio de Calimaya

Parcela 2 (P2)

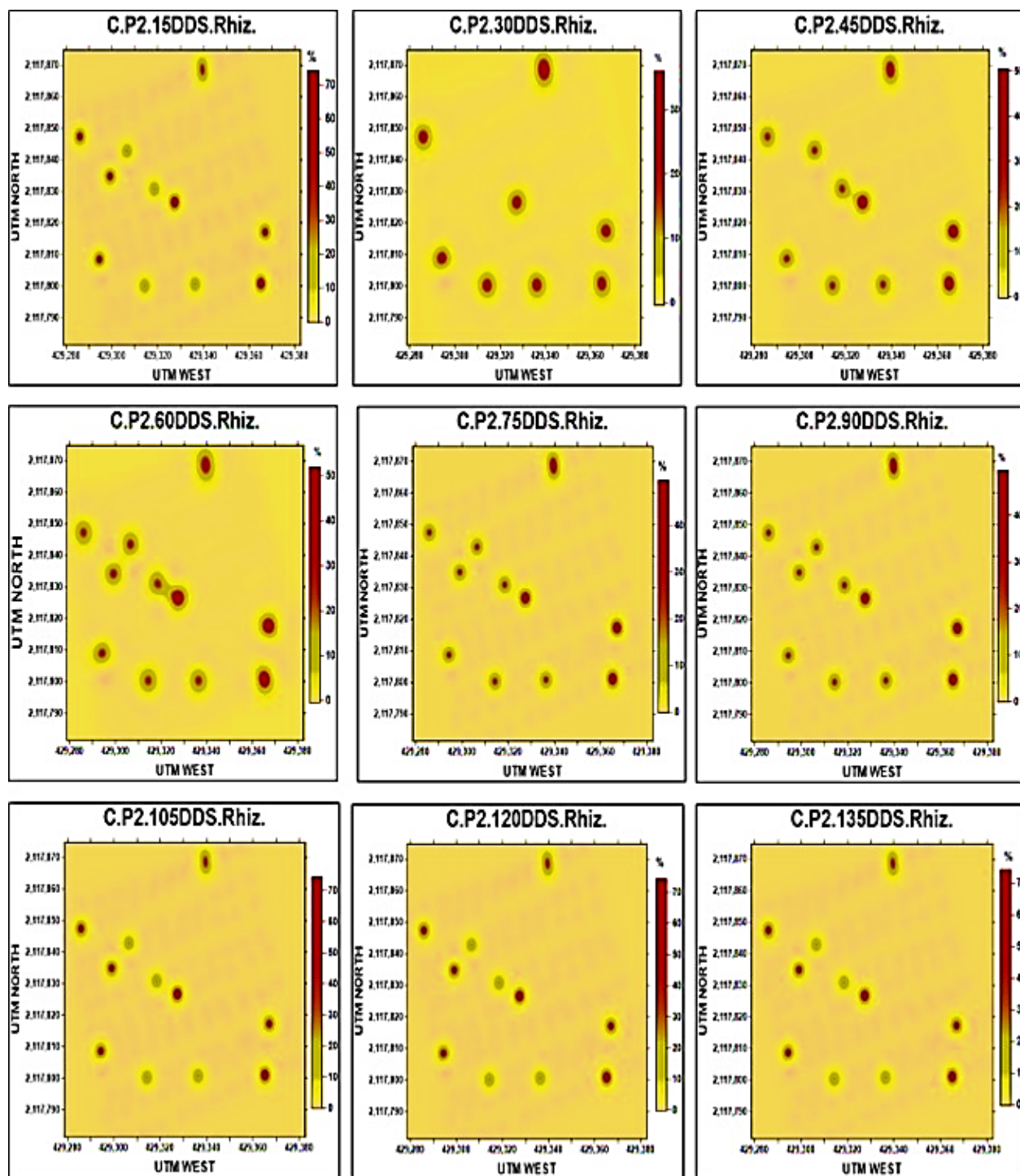


Figura 54. Mapas de distribución espacial de *Rhizoctonia solani* en la parcela 2 del municipio de Calimaya.

Parcela 3 (P3)

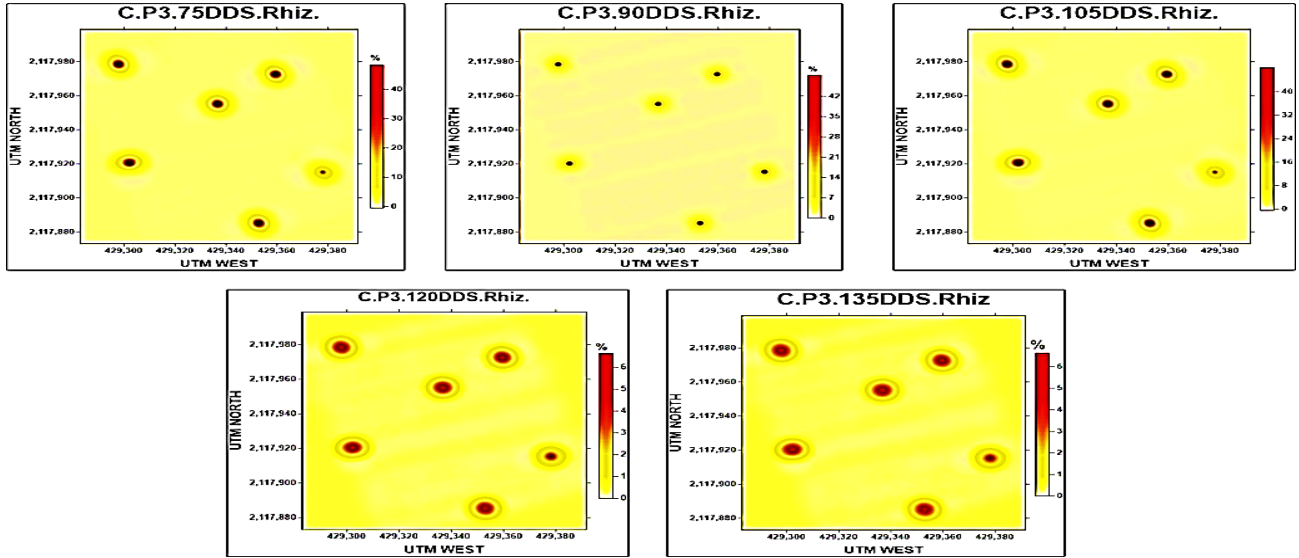


Figura 55. Mapas de distribución espacial de *Rhizoctonia solani* en la parcela 3 del municipio de Calimaya.

7.12. ZINACANTEPEC MAPAS DE DISPERSIÓN

Parcela 1 (P1)

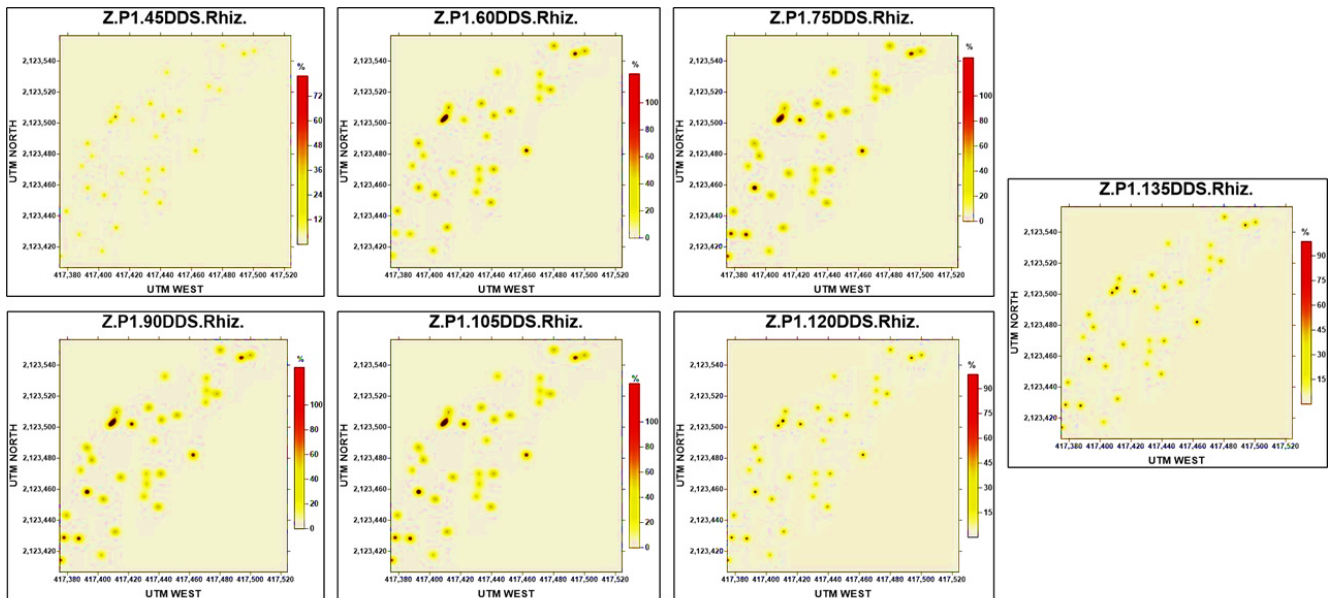


Figura 56. Mapas de distribución espacial de *Rhizoctonia solani* en la parcela 1 del municipio de Zinacantepec.

Parcela 2 (P2)

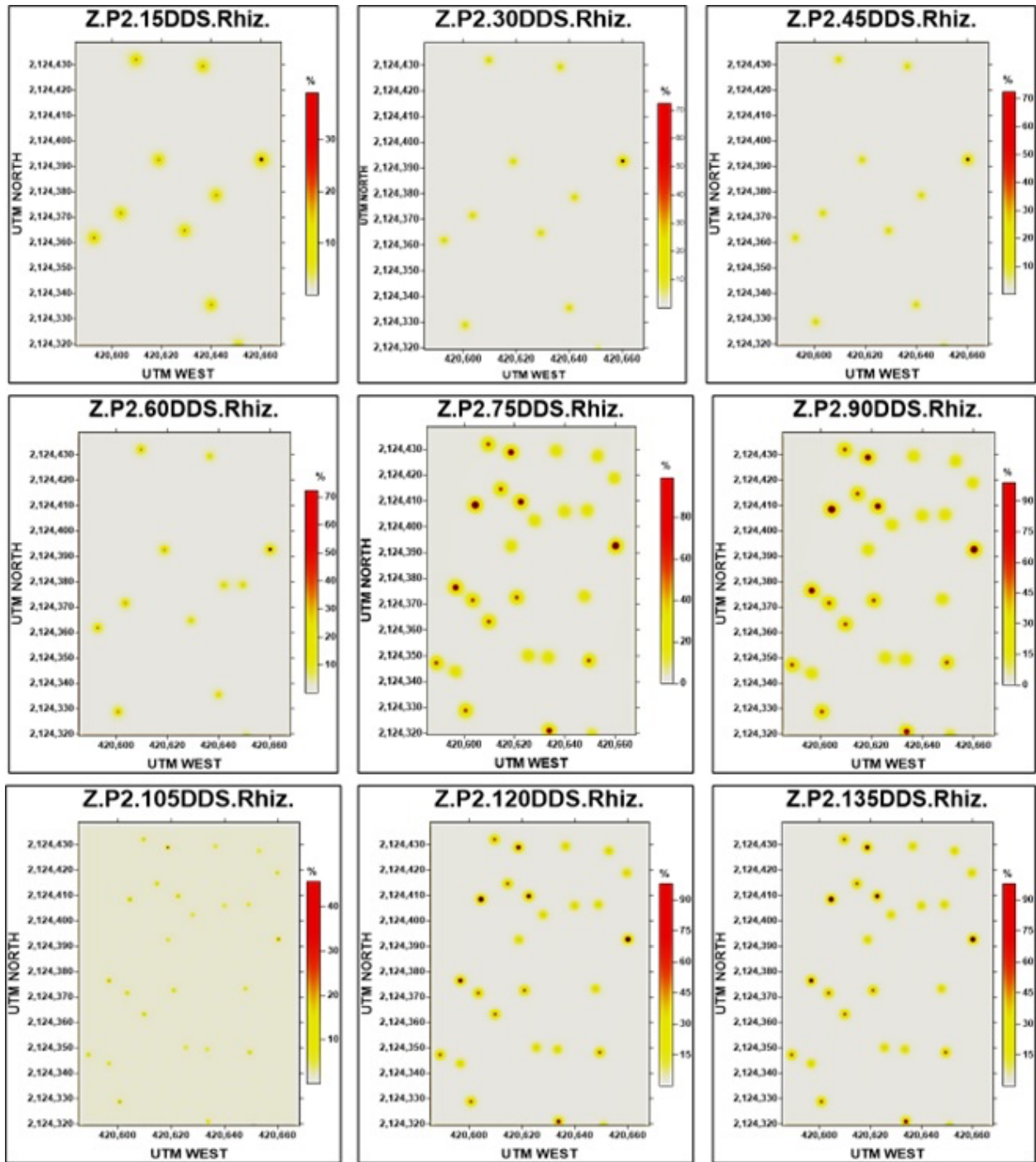


Figura 57. Mapas de distribución espacial de *Rhizoctonia solani* en la parcela 2 del municipio de Zinacantepec.

Parcela 3 (P3)

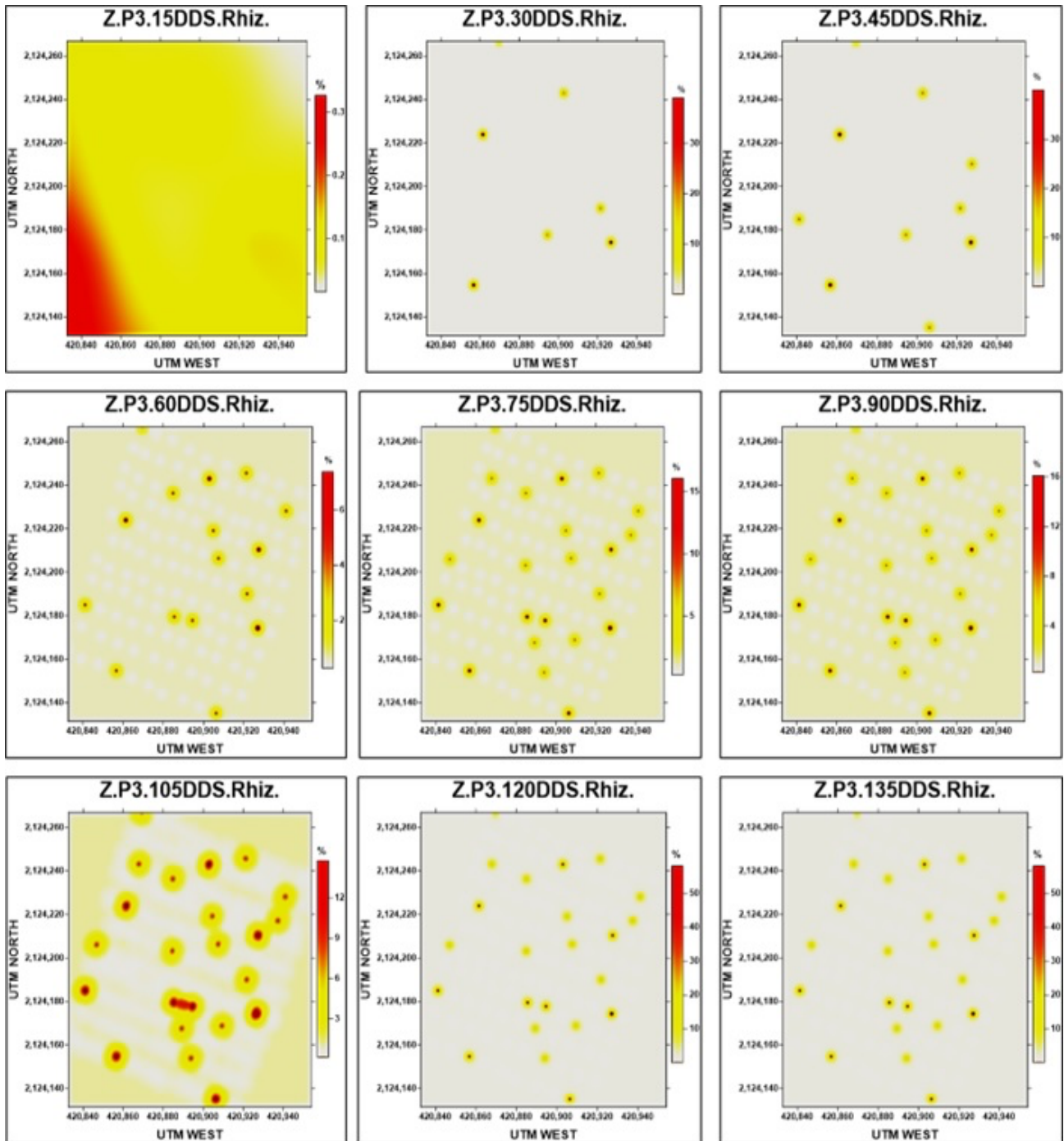


Figura 58. Mapas de distribución espacial de *Rhizoctonia solani* en la parcela 3 del municipio de Zinacantepec.

7.13. TLACOTEPEC MAPAS DE DISPERSIÓN

Parcela 1

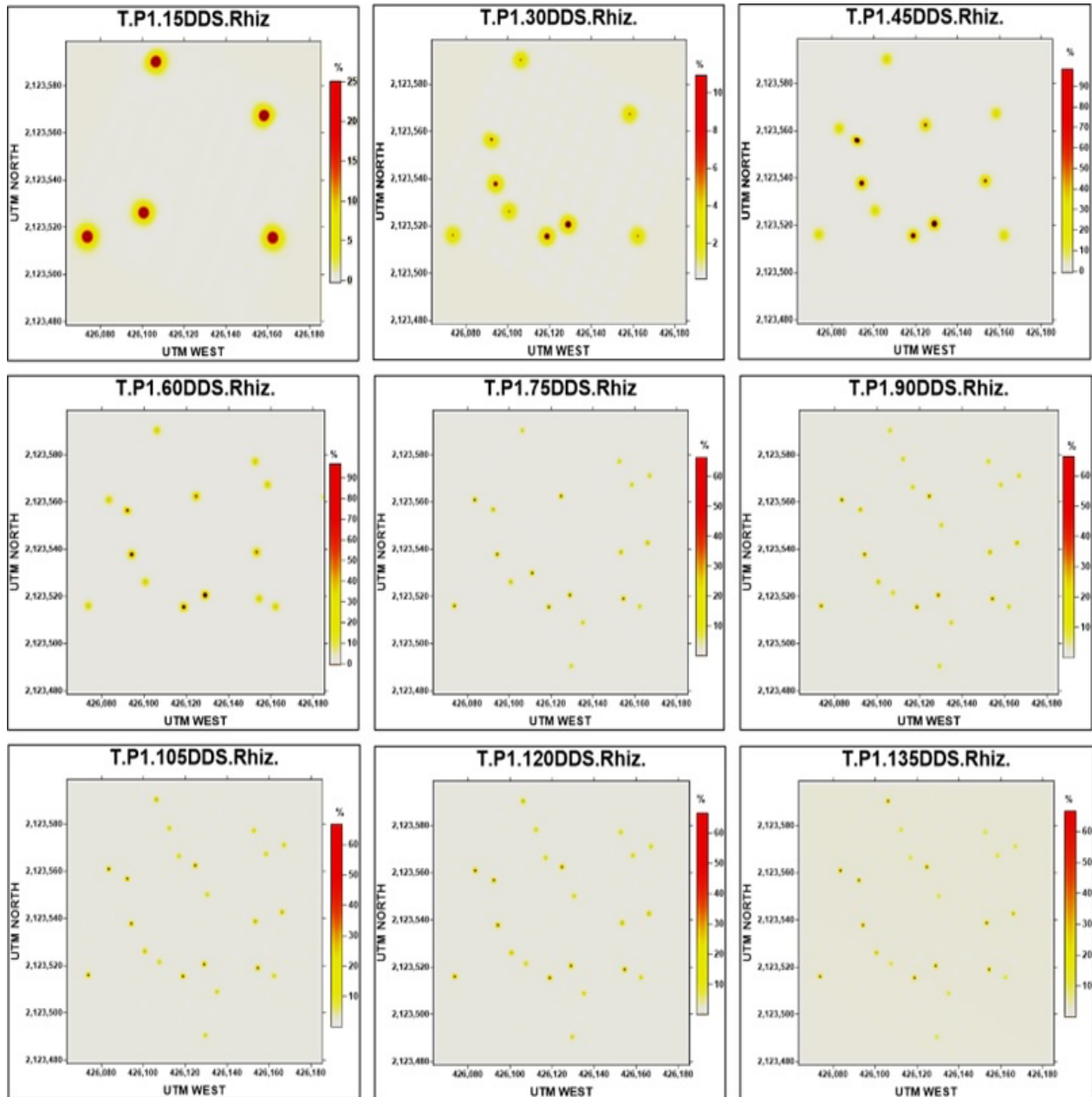


Figura 59. Mapas de distribución espacial de *Rhizoctonia solani* en la parcela 1 del municipio de Tlacotepec.

Parcela 2

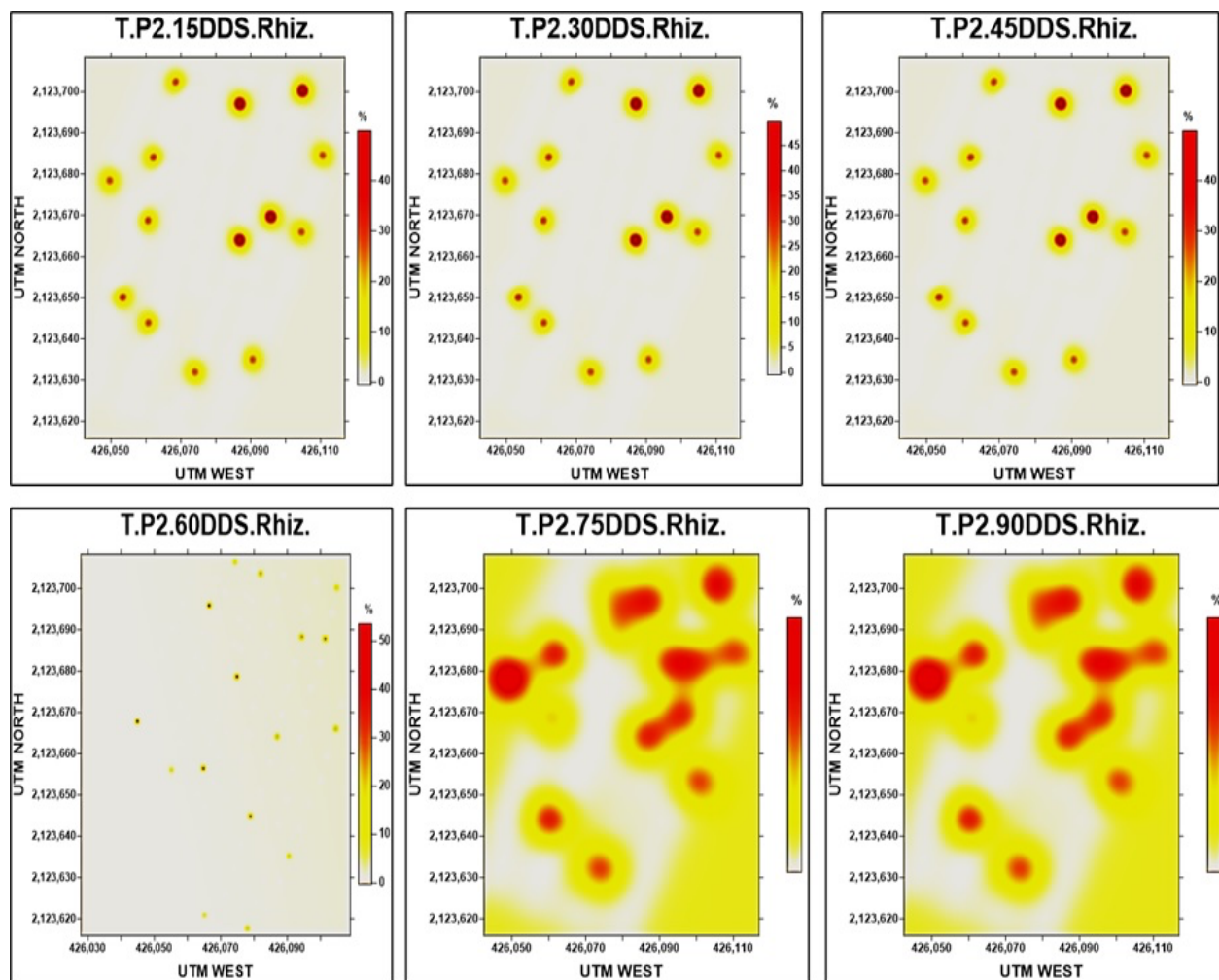


Figura 60. Mapas de distribución espacial de *Rhizoctonia solani* en la parcela 2 del municipio de Tlacotepec.

Parcela 3

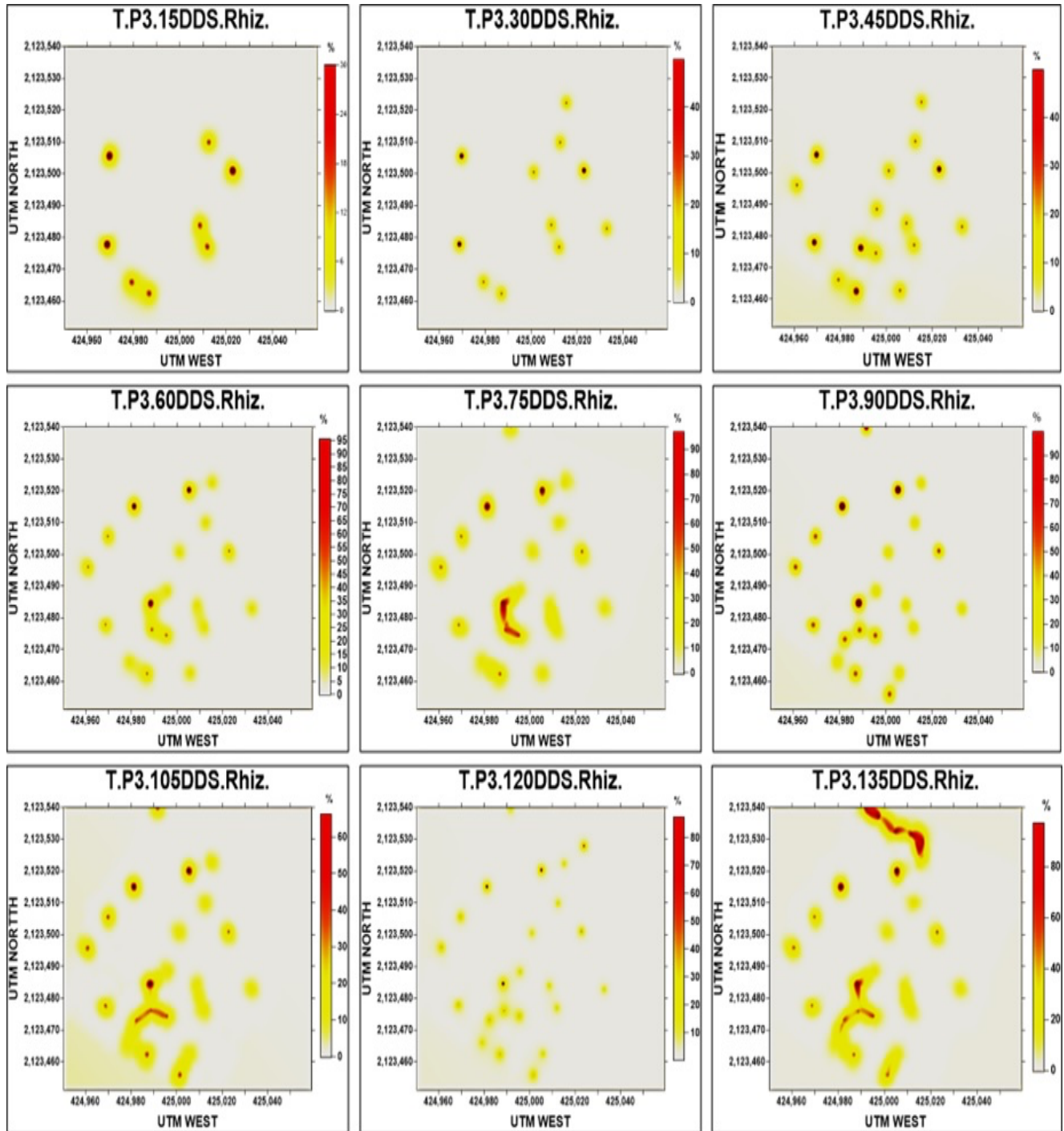


Figura 61. Mapas de distribución espacial de *Rhizoctonia solani* en la parcela 3 del municipio de Tlacotepec.

CAPITULO I

Artículo 1 “Escala diagramática para evaluar la severidad de roya en haba (*Vicia faba*)” Publicado en la Revista Mexicana de Fitopatología 40(3). DOI: <https://doi.org/10.18781/R.MEX.FIT.2206-2>



2 de junio de 2022

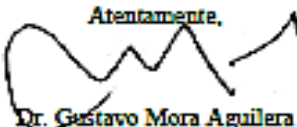
Dr. Jesús Ricardo Sánchez-Pale
PRESENTE

Me es grato informarle que hemos recibido el documento electrónico titulado “Diagrammatic scale for evaluating the severity of rust in Broad Bean (*Vicia faba*)”, mismo que será sometido a un proceso anónimo por pares de revisión científica y editorial coordinado por la Revista Mexicana de Fitopatología (RMF) para su posible publicación.

Se le asignó la clave: RMF/2206-2, con la cual haremos referencia durante el proceso de revisión y será usted el canal de comunicación en su carácter de autor de correspondencia.

Le agradezco la confianza en la RMF, órgano de difusión de la Sociedad Mexicana de Fitopatología, para la publicación de sus actividades de investigación.

Reciba un atento y cordial saludo,

Atentamente,


Dr. Gustavo Mora Aguilera
Editor en Jefe
Sociedad Mexicana de Fitopatología, A.C.

Diagrammatic scale for rust severity assessment in broad bean (*Vicia faba*)

Escala diagramática para evaluar la severidad de roya en haba (*Vicia faba*)

Juyma Mayve Fragoso-Benlumea, Jesús Ricardo Sánchez-Pala*, Álvaro Castañeda-Vildózola, Omar Franco-Mora, Ana Tarta Gutiérrez-Ibáñez, Alejandra Contreras-Rendón, Postgrado en Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales. Facultad de Ciencias Agrícolas. Universidad Autónoma del Estado de México. Carretera Toluca-Ixtlahuaca Km. 15.5, El Cerrillo, El Cerrillo Piedras Blancas, Toluca Estado de México, C.P. 50200, México; Rómulo García-Velasco, Centro Universitario Tenancingo Universidad Autónoma del Estado de México, Km. 1.5 Carretera Tenancingo Villa Guerrero, Tenancingo Estado de México C.P. 52400 México.

*Corresponding author: jranchep@uamex.mx

Received: June 02, 2022.

Accepted: August 23, 2022.

Fragoso-Benlumea JM, Sánchez-Pala JR, Castañeda-Vildózola A, Franco-Mora O, Gutiérrez-Ibáñez AT, Contreras-Rendón A and García-Velasco R. 2022. Diagrammatic scale for rust severity assessment in broad bean (*Vicia faba*). Mexican Journal of Phytopathology 40(3).

DOI: <https://doi.org/10.18781/RMEX.FIT.2206-2>

First DOI publication: August 30, 2022.

Primera publicación DOI: 30 de Agosto, 2022.

Abstract. *Uromyces viciae-fabae* has increased in economic importance in broad bean-producing regions of central Mexico. It is therefore convenient to have a standardized system to quantify its severity. The objective of this study was to generate and validate a diagrammatic scale to evaluate the severity of rust on broad bean leaves. We collected

Resumen. *Uromyces viciae-fabae* ha incrementado su importancia económica en regiones productoras del centro de México y es conveniente que se cuente con un modelo para cuantificar su severidad. El objetivo de este trabajo fue generar y validar una escala diagramática para evaluar la severidad de la roya en hojas de haba. Se colectaron hojas de haba infectadas naturalmente en diferentes grados de daño en plantaciones comerciales del Valle de Toluca, y hojas sanas. Se tomaron 110 hojas representativas y se realizó una discriminación para seleccionar el rango de forma visual, posteriormente se digitalizaron y evaluaron para obtener el valor real de la severidad de cada hoja con el software eASSESS 2.0. Se generó una escala diagramática con 6 clases, y se verificó su exactitud, precisión (β_1) y reproducibilidad (β_2) mediante la evaluación de 58 hojas por 20 evaluadores. Los resultados obtenidos se analizaron mediante una

infected broad bean leaves with different degrees of damage from commercial crops in the Valle de Toluca and the southeastern region of Mexico State. One hundred and ten leaves representing the disease were taken and group discrimination was carried out to select the ranking visually. Then, the leaves were scanned and evaluated to obtain the real severity value for each leaf using the software eASSESS 2.0. A six-class diagrammatic scale was generated: 0 (0.0), 1 (>0.1-6.0), 2 (>6.1-12.0), 3 (>12.1-24.0), 4 (>24.1-56.0) y 5 (>56.1-<100), and the exactitude, precision, and reproducibility of its estimations were verified. Fifty-eight leaves were evaluated by 20 evaluators without previous knowledge of the disease; the results obtained were analyzed using simple linear regression. In the initial selection evaluation, average r^2 values of 0.738 were obtained, without scale, while for the evaluation where the proposed scale was used, the average was 0.93, which confirms adequate levels of accuracy and reproducibility that the proposed scale can provide, for this disease.

Keywords: *Uromyces viciae-fabae*, damage evaluation, epidemiology.

The broad bean (*Vicia faba*) is the seventh most important grain legume in the world. It is consumed green in the pod and as dry grain (SIAP, 2020). In 2020, the State of Mexico was the main producer of green broad beans with 39111 t (47.4%), followed by Puebla with 28529 t (34.6%) and Michoacán with 6388 t (7.7%). These three states accounted for 29.9% of total national production (SIAP, 2020).

According to a study by López (2013) in the Valley of Toluca, in recent years, diseases caused by phytopathogenic fungi have caused increasing damage to crops. Some particularly damaging diseases are chocolate spot (*Botrytis fabae*), brown

regresión lineal simple; en la evaluación inicial de selección se obtuvieron valores promedio de r^2 de 0.738, sin escala, mientras que para la evaluación donde se usó la escala propuesta la media fue de 0.93, lo que confirma niveles adecuados de exactitud y reproducibilidad que puede brindar la escala propuesta para esta enfermedad.

Palabras clave: *Uromyces viciae-fabae*, evaluación de daño, epidemiología.

El haba (*Vicia faba*), es la séptima leguminosa de grano más importante en el mundo y se consume en vaina verde y grano seco (SIAP, 2020). En 2020 el Estado de México fue el principal productor de haba verde con 39,111 t (47.4%), seguido por Puebla con 28,529 t (34.6%) y Michoacán con 6,388 t (7.7%), por lo que estas tres entidades representaron el 29.9% de la producción nacional total (SIAP, 2020).

Según López (2013), en el Valle de Toluca, en los últimos años, las enfermedades causadas por hongos fitopatógenos han incrementado sus daños, sobresaliendo la mancha de chocolate (*Botrytis fabae*), la mancha café (*Ascochyta fabae*), la pudrición de la raíz (*Rhizoctonia solani*) y la roya (*Uromyces viciae-fabae*). Esta última se puede presentar desde el estado de plántula, hasta la madurez del cultivo. Afecta cualquier parte de la planta, preferentemente a las hojas de las partes medias y basales (Gautam *et al.*, 2020), pero también se ha observado en las hojas superiores con menor incidencia (Lopez, 2013). Las pústulas son de color café marrón, ubicadas en el centro de halos cloróticos que ocurren en el haz y en el envés de las hojas (Gautam *et al.*, 2020). En otros estudios, dentro del halo se presentan varias pústulas dispuestas en círculos o irregularmente (Gautam *et al.*, 2020), afectando el rendimiento de las plantaciones desde un

spot (*Ascochyta fabae*), root rot (*Rhizoctonia solani*) and rust (*Uromyces viciae-fabae*). The latter can attack plants from the seedling stage through maturity. It affects any part of the plant, preferably the leaves in the middle and basal parts (Gautam *et al.*, 2020), but it has also been observed attacking the upper leaves, although less frequently (López, 2013). The pustules are brownish-brown in color, located in the center of chlorotic halos that appear on the upper and lower sides of the leaves (Gautam *et al.*, 2020). In other studies, within the halo there are several pustules arranged in circles or irregularly (Gautam *et al.*, 2020). The reduction in the yield of the crops affected by this disease ranges from 40% (López, 2013) to 80%, but its effect goes beyond crop losses since production costs can exceed 30 thousand pesos per hectare depending on the geographical area (SIAP, 2020).

To date, no scale for quantifying the severity of rust in broad bean crops has been published. Such a scale would allow standardizing the evaluation of crop damage. Previously used scales were developed for beans and soybeans (Godoy *et al.*, 2006; Stavely, 1984). Several methods allow estimating the severity of a phytopathogenic disease as the proportion of affected tissue to the total area of the plant host, but most have precision, accuracy and reproducibility issues (Bock *et al.*, 2022). Rico *et al.* (2019) point out that logarithmic diagrammatic scales are among the most widely used tools for measuring damage. These scales consist of an illustrated representation of a series of plants, or parts of plants, showing symptoms of a disease in different degrees of severity.

This type of measurement system has the advantage of being practical, easy to use and manage (Lavilla *et al.*, 2022). Not all measurement systems based on diagrammatic scales are logarithmic, some are linear or arbitrary. These systems are important tools for evaluators working in the field,

40% (López, 2013) hasta un 80%, pero su efecto va más allá de cosecha no recuperable ya que los costos de producción sobrepasan los 30 mil pesos por hectárea dependiendo de la zona geográfica (SIAP, 2020).

Hasta el momento no se ha publicado una escala de cuantificación de la severidad de roya para el cultivo de haba que estandarice la evaluación del daño. Las escalas utilizadas con anterioridad corresponden a frijol y soja (Godoy *et al.*, 2006 y Stavely, 1984), por lo que es necesario elaborar dicha escala en haba que permita evaluar el daño de esta enfermedad y estandarizarla. Existen diversos métodos que permiten estimar la severidad de un fitopatógeno como proporción del tejido afectado con respecto al área total del hospedante, pero la mayoría adolece de problemas por los diferentes errores de precisión, exactitud y reproducibilidad (Bock *et al.*, 2022). Rico *et al.* (2019) señalaron que las escalas diagramáticas logarítmicas constituyen una de las herramientas más ampliamente utilizadas en la medición de daño. Estas escalas consisten en la representación ilustrada de una serie de plantas o partes de las plantas, mostrando síntomas de una enfermedad en diferentes grados de severidad.

Este tipo de sistema de medición tiene la ventaja de ser práctico, de fácil uso y manejo (Lavilla *et al.*, 2022). No todos los sistemas de medición con base en escalas diagramáticas son logarítmicas, algunas son lineales o totalmente arbitrarias. Estos sistemas son importantes debido a la participación de grupos de evaluadores en condiciones de campo, los cuales resultan esenciales en sistemas de vigilancia epidemiológica (Ortega-Acosta *et al.*, 2016; Lavilla *et al.*, 2022).

Para la elaboración de escalas se deben considerar aspectos como, los límites superior e inferior, los cuales deben corresponder, respectivamente, a la cantidad máxima y mínima de la enfermedad encontrada en el campo; la representación de los

which are crucial participants in epidemiological surveillance systems (Ortega-Acosta *et al.*, 2016; Lavilla *et al.*, 2022).

The construction of these scales must take into account aspects such as the upper and lower limits, which should correspond to the maximum and minimum amount of the disease found in the field, respectively. The representation of the symptoms must be as close as possible to what is observed in the plants, and the intermediate levels of disease severity should consider the limitations of human vision, as defined by Weber-Fechner laws (Nutter and Schultz, 1995). These diagrammatic scales must be tested (validated) before being proposed as a standard method of disease quantification. If they produce unsatisfactory results, they should be corrected (Bock *et al.*, 2022). The present study aimed to generate and validate a diagrammatic scale to evaluate the severity of *U. viciae-fabae* in broad bean crops.

During the spring-summer agricultural cycle of 2020-2021, broad bean leaves naturally infected by *U. viciae-fabae* were collected in one-hectare commercial plots located in the municipalities of Zinacantepec (2,123,460 UTM N, 417,460 UTM W), Toluca (2,123,580 UTM N, 426,120 UTM W), and Calimaya (2,115,960 UTM N, 427,990 UTM W). A directed sample of 20 leaves was taken from each plot, each carefully selected to have a wide diversity of damage degrees and healthy leaves. For their transfer, the leaves were covered with newspaper and placed in a botanical press to avoid damage or contamination. They were transferred to the Faculty of Agricultural Sciences of the Autonomous University of the State of Mexico. From this collection, a sample of 110 leaves with different degrees of damage was selected. This sample was subjected to a visual classification process using variable ranges. Subsequently, the leaves were digitized as images using a

síntomas, debe estar lo más cerca posible a lo observado en la planta; y los niveles intermedios de la severidad de la enfermedad, deben abarcar las limitaciones de la visión humana, tal como se definen en la "Ley del estímulo de Weber-Fechner" (Nutter y Schultz, 1995). Además, las escalas diagramáticas deben ser probadas (validadas) antes de ser propuestas como un método estándar de cuantificación de enfermedades y en el caso de producir resultados insatisfactorios, estas deben corregirse (Bock *et al.*, 2022). Con base en lo anterior, el objetivo del presente estudio fue generar y validar una escala diagramática para evaluar la severidad de *U. viciae-fabae* en el cultivo de haba.

Durante el ciclo agrícola primavera-verano 2020-2021 se realizó una colecta de hojas de haba infectadas naturalmente por *U. viciae-fabae* en parcelas comerciales de una hectárea, ubicadas en los municipios de Zinacantepec (2,123,460 UTM N, 417,460 UTM O), Toluca (2,123,580 UTM N, 426,120 UTM O) y Calimaya (2,115,960 UTM N, 427,990 UTM O). En cada parcela se tomó una muestra dirigida de 20 hojas, cada una seleccionada minuciosamente para que existiera una amplia diversidad de niveles de daño y hojas sanas. Para su traslado, las hojas se cubrieron con papel periódico y se colocaron en una prensa botánica con la finalidad de evitar daño, o contaminación y fueron trasladadas a la Facultad de Ciencias Agrícolas de la Universidad Autónoma del Estado de México. De esta colección se seleccionó una muestra de 110 hojas con diferentes niveles de daño, las cuales se sometieron a un proceso de clasificación visual en rangos variables; y posteriormente las hojas se ingresaron a una impresora multifuncional de la marca HP-[®] LASERJET PRO MFP M127fn para ser digitalizadas como imágenes (Scapin *et al.*, 2014).

Las hojas digitalizadas fueron sometidas a una primera evaluación por 20 evaluadores sin conocimientos previos, para que les asignaran un porcen-

multifunctional printer (HP® LASERJET PRO MFP M127fn) (Scapin *et al.*, 2014).

The digitized leaves were subjected to a first evaluation by 20 evaluators without prior knowledge who assigned them a disease percentage. This evaluation was made based on the percentage of actual severity (S) of the disease, based on the formula: severity = (disease area/total area of the image) * 100 (Nutter *et al.*, 2006). The minimum and maximum severity values were used to define the minimum and maximum values of the proposed scale. These results were compared with the values assigned by the eASSESS 2.0 software (Image Analysis Software for Plant Disease Quantification).

The scale was validated using 58 digitized leaves that represented the different degrees of severity. The images were randomized and projected as individual slides using the Power Point program (Microsoft 365®) to 10 of the 20 evaluators involved in the first evaluation, selected according to the accuracy of their evaluation and their commitment to the project. Using a simple linear regression, the accuracy and precision of the severity evaluation of each evaluator were estimated and compared with the actual severity value obtained with the eASSESS 2.0 software.

The accuracy of the evaluation was determined using a T test (severity estimated by each evaluator compared with actual values of severity estimated by the software) applied to the intercept of the linear regression (β_0) to verify the intercept hypothesis $H_0: \beta_0=0$, and by checking that the coefficient of the slope (β_1) was different from 1 ($H_1: \beta_1=1$), with $P \leq 0.01$. The precision of the estimates was determined based on the coefficient of determination (r^2) of the regression and the absolute error ($1-r^2$) (Hernández and Sandoval, 2015). The linear regression analysis was carried out with the statistical software SAS (Statistical Analysis System) version 9.0.

taje de enfermedad. Esta evaluación se hizo considerando el porcentaje de severidad real (S) de la enfermedad, con base en la fórmula: severidad = (área enferma / área total de la imagen) * 100 (Nutter *et al.*, 2006); donde el valor mínimo y máximo de severidad se utilizaron para definir los límites mínimos y máximos de la escala propuesta. Estos resultados fueron comparados con los valores asignados por el software eASSESS 2.0 (Image Analysis Software for Plant Disease Quantification).

Para validar la escala se utilizaron 58 hojas digitalizadas, representativas de los diferentes grados de severidad. Las imágenes fueron aleatorizadas y proyectadas en diapositivas individuales con el programa Microsoft 365® Power Point, a 10 de los 20 evaluadores ocupados en la primera evaluación, seleccionados según el nivel de acierto obtenido y su compromiso para el proyecto. Mediante una regresión lineal simple se estimó la exactitud y precisión de las evaluaciones de severidad de cada evaluador y se comparó con el valor real de severidad obtenidos con el software eASSESS 2.0.

La exactitud se determinó con la prueba T (severidad estimada por cada evaluador contra valores reales de severidad estimado por el software) aplicada al intercepto de la regresión lineal (β_0), para verificar la hipótesis del intercepto $H_0: \beta_0=0$; y con el coeficiente de la pendiente de la recta (β_1) para estimar si fue diferente de 1 ($H_1: \beta_1=1$), con $P \leq 0.01$. La precisión de las estimaciones fue determinada con el coeficiente de determinación (r^2) de la regresión y el error absoluto ($1-r^2$) (Hernández y Sandoval, 2015). El análisis de regresión lineal se llevó a cabo con el software estadístico SAS (Statistical Analysis System) versión 9.0.

La escala diagramática de severidad para *U. viciae-fabae* obtenida, quedó constituida por seis clases, representadas por los intervalos de valores 0 (0.0), 1 (>0.1-6.0), 2 (>6.1-12.0), 3 (>12.1-24.0), 4 (>24.1-56.0) y 5 (>56.1-100). El valor máximo de severidad observado fue del 56%, con presencia de

The diagrammatic severity scale for *U. viciae-fabae* obtained was made up of six classes, represented by the following ranges of values: 0 (0.0), 1 (>0.1-6.0), 2 (>6.1-12.0), 3 (>12.1-24.0), 4 (>24.1-56.0), and 5 (>56.1-<100). The maximum severity value was 56%, associated with discoloration to a pale green hue and coalesced pustules, which meets the characteristics for this degree of damage. The lower limit observed was 0% damage (Figure 1).

The values of r^2 (coefficient of determination) of the first evaluation ranged from 0.575 to 0.892, with a mean of 0.738 (Table 1). In the evaluation using the proposed scale, the values ranged from 0.90 to 0.97, with a mean of 0.93 (Table 1). Therefore, the evaluations can be considered accurate, according to Belan *et al.* (2014). Ortega-Acosta *et al.* (2016) reported average results >0.80 in 100% of the combinations of the two evaluations. This indicates that the diagrammatic scales are reproducible and

decoloraciones a una tonalidad verde pálido, y coalescencia de las pústulas, que cumple con las características para este nivel; en contraste, el límite inferior observado fue del 0% de daño (Figura 1).

En la estimación del daño de la enfermedad, los valores de r^2 (coeficiente de determinación) en la evaluación de selección de hojas para la formación de la escala, sus valores variaron de 0.575 a 0.892, con media de 0.738 (Cuadro 1); mientras que en la evaluación donde se usó la escala propuesta los valores fluctuaron de 0.90 a 0.97, con media de 0.93 (Cuadro 1) por lo que se consideran precisas de acuerdo a lo mencionado por Belan *et al.* (2014). En este mismo sentido Ortega-Acosta *et al.* (2016) reportan resultados promedio >0.80 en el 100% de las combinaciones de las dos evaluaciones, lo que es indicativo de que las escalas diagramáticas son reproducibles y es posible su implementación en campo, ya que los resultados de las evaluaciones mejoraron con el uso de la escala propuesta.

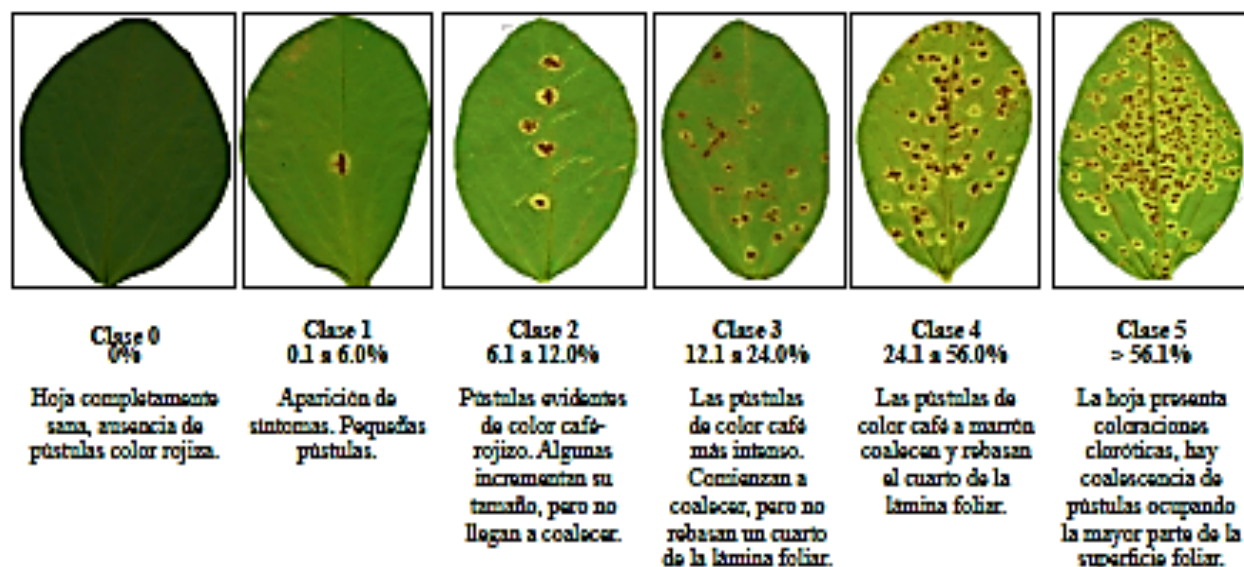


Figure 1. Diagrammatic scale to evaluate the severity of broad bean rust caused by *Uromyces viciae-fabae*.
 Figura 1. Escala diagramática para evaluar la severidad de la roya del haba ocasionada por *Uromyces viciae-fabae*.

Table 1. Values of the intercept (β_0), slope of the line (β_1), coefficient of determination (r^2) and margin of error ($1-r^2$) of the linear regression of the visual estimations of the severity of rust in broad bean (*Vicia faba*), with 20 evaluators without a diagrammatic scale and 10 evaluators with the proposed severity scale.

Cuadro 1. Valores del intercepto (β_0), pendiente de la recta (β_1), coeficiente de determinación (r^2) y margen de error ($1-r^2$) de la ecuación de regresión lineal en las estimaciones visuales de la severidad de la roya en haba (*Vicia faba*) con 20 evaluadores sin escala.

Evaluador	Coeficientes de Determinación														
	Sin Escala								Con Escala						
	b_0	b_1	r^2	$1-r^2$	Evaluador	b_0	b_1	r^2	$1-r^2$	Evaluador	b_0	b_1	r^2	$1-r^2$	
1	0.303	0.863	0.780	0.220	11	0.384	0.891	0.795	0.206	1	0.097*	0.977*	0.959	0.041	
2	0.257	0.921	0.765	0.235	12	0.303	0.865	0.780	0.220	2	0.097*	0.977*	0.943	0.057	
3	0.257	0.921	0.765	0.235	13	0.257	0.921	0.765	0.235	3	0.143*	0.966*	0.943	0.057	
4	0.252	0.805	0.642	0.358	14	0.254*	0.940*	0.893	0.107	4	0.063*	0.995*	0.943	0.057	
5	0.071	0.942	0.749	0.251	15	0.196	0.794	0.615	0.385	5	0.075*	0.967*	0.931	0.069	
6	0.071	0.942	0.749	0.251	16	0.183	0.856	0.575	0.425	6	0.081*	0.971*	0.929	0.071	
7	-0.095	1.024	0.777	0.223	17	0.133	0.910	0.675	0.325	7	0.126*	0.937*	0.915	0.085	
8	-0.095	1.024	0.777	0.223	18	0.071	0.942	0.749	0.251	8	0.062*	0.965*	0.910	0.090	
9	-0.186	1.040	0.799	0.201	19	-0.048	1.043	0.698	0.303	9	0.176*	0.908*	0.905	0.095	
10	-0.636	1.097	0.650	0.350	20	-0.095	1.024	0.777	0.223	10	0.203*	0.932*	0.900	0.100	
Promedio de r^2									0.739	APPS		0.097*	0.977*	0.979	0.021
										Promedio r^2		0.932			

* significant: Situación where the null hypothesis ($\beta_0=0$ or $\beta_1=1$) was rejected by the t-test ($p \leq 0.05$). / *significativo: Situación en donde la hipótesis nula ($\beta_0=0$ o $\beta_1=1$) fue rechazada por la prueba t ($p \leq 0.05$).

their implementation in the field is possible since the results of the evaluations improved with the use of the proposed scale.

The reproducibility of the evaluation of the degree of damage using the proposed scale is considered high because the evaluators estimated similar percentages of severity (Hernández and Sandoval, 2015). The determination coefficients between the different evaluators ranged from 0.90 to 0.97. Thus, it can be said that the diagrammatic scale proposed to evaluate the severity of broad bean rust fits well with the actual values of severity, which are similar to those produced by the software *eASSESS 2.0* ($R^2=0.98$). This indicates that the evaluators were highly accurate, which reduced the absolute errors (Figure 2). This is consistent with what is reported about the regional coffee rust (*Hemileia vastatrix*) severity assessment system,

En la evaluación del nivel de daño con el uso de escala la reproducibilidad es considerada alta debido a que los evaluadores estimaron porcentajes similares de severidad (Hernández y Sandoval, 2015). Los coeficientes de determinación obtenidos entre los diferentes evaluadores variaron en el rango de 0.90 a 0.97 por lo que la escala diagramática propuesta para evaluar la roya del haba se ajusta bien a los valores reales de severidad, que son similares al compararse con el valor del software *eASSESS 2.0* con un valor de 0.98, lo que refleja una alta precisión entre los evaluadores, en donde se muestra que, tanto de manera visual, como a través del software *eASSESS 2.0*, los evaluadores tuvieron un alto nivel de acierto, reduciendo los errores absolutos (Figura 2), lo que concuerda con lo reportado en el sistema regional de evaluación de severidad de la roya del café (*Hemileia vastatrix*) en

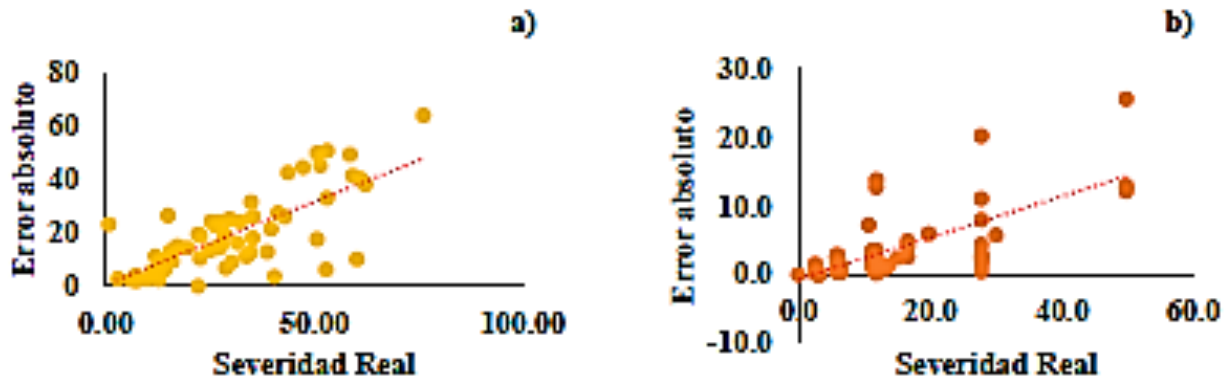


Figure 2. Actual severity vs. absolute error of the disease quantification evaluations a) without proposed diagrammatic scale and b) with proposed diagrammatic scale.
Figura 2. Severidad real vs error absoluto obtenidos en las evaluaciones de cuantificación de la enfermedad a) sin escala diagramática propuesta y b) con escala diagramática propuesta.

which concentrates accuracy and precision data under an epidemiological surveillance system (DGSV-CNRF, 2018).

Regarding the null hypothesis ($\beta_0=0$ or $\beta_1=1$), the coefficient b1 was statistically close to 1 ($P<0.01$) (Table 1) for most of the evaluators, indicating that the visual evaluation yielded results close to the actual values, even when there was a tendency to overestimate them. Acceptable levels of precision and accuracy (β_0 and β_1) were achieved when evaluating the severity of broad bean rust using the six-class diagrammatic severity scale. The largest absolute errors were obtained when no scale was used (Figure 2). Therefore, the diagrammatic logarithmic scale generated in the present study can be considered a standardized method of quantifying the severity of rust in broad bean plants. This scale could be used as reference material, for support in the evaluation of control methods, comparison of assays in different locations, reproducible epidemiological studies, and breeding programs trying to produce resistant broad bean varieties.

la que se concentran los datos de exactitud y precisión dentro de un sistemas de vigilancia epidemiológica (DGSV-CNRF, 2018).

Con base en la hipótesis de nulidad ($\beta_0=0$ o $\beta_1=1$), el coeficiente b1 fue estadísticamente cercano a 1 ($P<0.01$) (Cuadro 1) para la mayoría de los evaluadores, indicando que la evaluación arroja resultados cercanos a los valores reales, aun cuando existe la tendencia a sobreestimar los mismos. Con la escala de severidad diagramática de seis clases generada para evaluar la severidad de la roya del haba se proporcionan niveles aceptables de precisión y exactitud (β_0 y β_1) en las estimaciones del daño; además, los mayores errores absolutos se obtuvieron sin el uso de escalas (Figura 2), por lo que la escala logarítmica diagramática obtenida en este estudio representa un método estandarizado de cuantificación de la severidad de roya en haba, que puede ser utilizada como material de apoyo en la evaluación de métodos de control, comparación de ensayos en diferentes localidades, estudios epidemiológicos reproducibles y en programas de mejoramiento hacia una posible resistencia en variedades de haba.

ACKNOWLEDGMENTS

To the National Council of Science and Technology (CONACYT) for the scholarship granted in support of this project. To the Faculty of Agricultural Sciences of the Autonomous University of the State of Mexico for providing academic support and lending its facilities to carry out this project. To the colleagues of the Specialty in Floriculture and the Master in Agricultural Sciences and Natural Resources for the support provided in the validation of this scale. To the agricultural producer Manuel Mendoza Malvárez, and to the Hernández Ramírez family for providing the plant material for this project.

CITED LITERATURE

- ASSESS 2.0. 2021. Image Analysis Software for Plant Disease Quantification. Disponible en línea: <https://doi.org/10.1094/assesshelp>
- Belas L, Pozza E, Freitas M, Souza R, Jesus J and Oliveira J. 2014. Diagrammatic scale for assessment of bacterial blight in coffee leaves. *Journal of Phytopathology* 162:801-810. <https://doi.org/10.1111/jph.12272>
- Bock CH, Chiang KS and Del Ponte EM. 2022. Plant disease severity estimated visually: a century of research, best practices, and opportunities for improving methods and practices to maximize accuracy. *Tropical Plant Pathology* 47: 25-42. <https://doi.org/10.1007/s40858-021-00439-z>
- DGSV-CNRF. 2018. Manual Técnico operativo 2018, para la Vigilancia Epidemiológica Fitosanitaria en el cultivo del café. <https://prod.senasica.gob.mx/SIRVEF/ContenidoPublico/Roya%20café/Estrategia%20operativa/ManualOperativoRoyaCafeto.pdf>
- Gautam AK, Payal, Avasthi S and Verma RK. 2022. Biology, disease development, distribution, and control of rust pathogen *Uromyces vitiae-fabae*. *Plant Pathology & Quarantine* 12(1): 60-76. <https://doi.org/10.5943/ppq/12/1/5>
- Godoy CV, Koga LJ and Canteri MG. 2006. Diagrammatic scale for assessment of soybean rust severity. *Fitopatologia Brasileira* 31:063-068. <https://www.scielo.br/fb/a/7z5WfRPH6xXNGHjs54ZSNwN/?format=pdf&lang=en>
- Hernández RL y Sandoval JS. 2015. Escala Diagramática de Severidad para el Complejo Mancha de Asfalto del Maíz. *Revista Mexicana de Fitopatología* 33(1): 95-103. <https://www.scielo.org.mx/pdf/rmfi/v33n1/2007-8080-rmfi-33-01-00095.pdf>
- Lavilla M, Ivanovich A and Diaz-Palao A. 2022. Diagrammatic scale for assessment the severity of *Cercospora* leaf blight on soybean (*Glycine max*) leaflets. *Agronomía Mesoamericana*, 33(1). <https://doi.org/10.15517/am.v33n1.43338>

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por la beca otorgada para llevar a cabo este proyecto. A la Facultad de Ciencias Agrícolas de la Universidad Autónoma del Estado de México por brindarme el apoyo académico y sus instalaciones para llevar a cabo este proyecto. A los compañeros de la Especialidad en Floricultura y de la Maestría en Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales por el apoyo brindado en la validación de la presente escala. Al productor Manuel Mendoza Malvárez, la familia Hernández Ramírez, por brindar el material vegetal para el presente proyecto.

~~~~~ Fin de la versión en Español ~~~~~

- López RM. 2013. Tecnología de producción del Cultivo de haba para el Estado de México. ICAMEX grupo produce Estado de México. 71 p.
- Nutter FW and Schultz PM. 1995. Improving the accuracy and precision of disease assessments: selection of methods and use of computer-aided training programs. *Canadian Journal of Plant Pathology* 17(2): 174-184. <https://doi.org/10.1080/07060669509500709>
- Nutter FWJ, Esker PD and Coelho-Nemo RA. 2006. Disease assessment concepts and the advancements made in improving the accuracy and precision of plant disease data. *European Journal of Plant Pathology* 115:95-103. <https://doi.org/10.1007/s10658-005-1230-z>
- Ortega-Acosta SA, Velasco-Cruz C, Hernández-Morales J, Ochoa-Martínez DL and Hernández-Ruiz J. 2016. Diagrammatic logarithmic scales for assess the severity of spotted leaves and calyces of roselle. *Revista Mexicana de Fitopatología* 34: 270-285. <https://doi.org/10.18781/RMEX.FIT.1606-6>
- Rico JC, Quilones EE, Rincón G, Guizar C, Morales JL, Gómez N and López L. 2019. Qualitative severity scale of *Xanthomonas vesicatoria* in chile plants cultivar Becla. *Biocología y Sustentabilidad* 4:47-54. <https://revistas.naz.edu.mx/index.php/biociotecnologiasust/article/view/680/666>
- SAS Institute. 2002. The SAS system for windows. Release 9.0. SAS Institute. North Carolina, USA.
- Scapin BCR, Angelotti F, Vieira RA, Bogo A, Tessmann DJ and Pereira de Bem B. 2014. Elaboration and validation of a diagrammatic scale to assess downy mildew severity in grapevine. *Ciencia Rural*, Santa Maria 44: 1384-1391. <http://dx.doi.org/10.1590/0103-8478cr20131548>
- SIAP. 2020. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Disponible en: <https://www.gob.mx/siap>
- Stavely JR. 1984. Pathogenic Specialization in *Uromyces Phaseoli* in the United States and Rust resistance in beans. *Plant Disease* 68(2):95-99. [https://www.apsnet.org/publications/plantdisease/backissues/Documents/1984Articles/PlantDisease68n02\\_95.PDF](https://www.apsnet.org/publications/plantdisease/backissues/Documents/1984Articles/PlantDisease68n02_95.PDF)

## VIII. DISCUSIONES GENERALES

La distribución agregada de *Uromyces viciae fabae* y *Rhizoctonia solani* se presentó inicialmente en puntos específicos dentro de las áreas muestreadas, esto concuerda con Quiñones *et al.* (2018), quien menciona que el inoculo primario de la roya se encuentra presente en el suelo o en el material vegetativo empleado por los productores, y es de ahí donde surge el punto específico de infección a partir del cual la enfermedad comenzará a distribuirse de manera uniforme, perdiendo así la agregación.

De acuerdo a Quiñones *et al.* (2015), Ramírez *et al.* (2012), Sánchez *et al.* (2011a) y , Sánchez *et al.* (2011b), la alta dependencia espacial que presentaron las enfermedades en el presente estudio, indica que la severidad presentó una distribución de tipo agregada entre los diferentes puntos de muestreo, y se asume que si el valor del efecto pepita es cero, lo que significa que entre el 99% y el 100% de la variación en la distribución fue explicada por los semivariogramas calculados y validados que tienen un 98% de confiabilidad por lo que nos permiten tener la certeza de que la metodología empleada fue la adecuada para la determinación de la distribución espacial de la incidencia y la severidad.

Así mismo también se permite explicar que la distribución espacial ajustada al modelo Exponencial (Parcelas de Zinacantepec con *Rhizoctonia*) indica una distribución irregular, que los focos de infección pueden estar asociados a las condiciones ambientales desfavorables, semillas contaminadas o genotipos susceptibles (Ramírez *et al.*, 2012), lo que es congruente con las condiciones climáticas que se presentaron durante el ciclo del cultivo en las diferentes localidades y al material vegetal empleado por nuestros productores que en su totalidad fue criollo.

En el caso de las parcelas de Calimaya, el comportamiento espacial de *Rhizoctonia* se ajusta al modelo Gaussiano, indicativo que la enfermedad se expresó de manera continua respecto a los puntos simples, lo que sugiere que la presencia de los genotipos y factores ambientales, favorecen a la expresión de las enfermedades y por este motivo, la agregación de estas puede estar presente de forma continua (Quiñones *et al.*, 2015)

Por otro lado, según Quiñones *et al.* (2020) el modelo Bessel indica que la mayor severidad e incidencia de las enfermedades, en las fechas de muestro establecidas, tienden a agruparse en agregaciones de mayor espacio, pero en puntos específicos dentro de las parcelas, y es probable que este comportamiento este asociado con los valores más elevados del rango, lo que se explicaría con los amplios puntos de infección encontrados con *Uromyces* y que se ven más claramente marcados en las áreas de microclimas como son la parte media y baja.

Los resultados obtenidos en esta investigación nos dicen que *Roya* y *Rhizoctonia* tienen una distribución irregular que a falta de un control dan paso a la uniformidad dentro de la parcela, sin embargo, ambas surgen de un inóculo primario, este inóculo puede encontrarse en el suelo, en la semilla, o en que el genotipo empleado por los productores que es criollo y en consecuencia susceptible a las plagas y enfermedades.

Los mapas, resultado del análisis del progreso de la incidencia y la severidad, nos sugieren que el control para *Rhizoctonia* tiene que iniciar desde un tratamiento a la semilla como preventivo. En el caso de *Uromyces*, se sugiere que el control se haga antes de los 90 dds, como preventivo sistémico, y si no se controlara, emplear de manera curativa y de contacto esto concuerda con lo mencionado por Sánchez *et al.*, 2011, que nos dice que las aplicaciones enfocadas en los métodos de control

dentro de cada parcela de cada localidad, en las áreas donde inicia la enfermedad, que permitirían ahorros económicos y ambientales.

## IX. CONCLUSIONES GENERALES

Los modelos que mejor se ajustaron a *Uromyces viciae-fabae* y *Rhizoctonia solani*, fueron Bessel, Gaussiano, y Exponencial. El nivel de dependencia espacial fue en su mayoría alto, y el tipo de Krigeado ordinario.

La roya del haba tuvo una distribución espacial en forma agregada, inició en focos de infección de manera puntual, tiende a perder la agregación y a comportarse uniformemente cuando las condiciones climáticas son propicias para su desarrollo, inicia generalmente en el porte medio, pero se desarrolla con mayor rapidez en el porte bajo, el porte alto es el menos dañado, esto fundamentalmente ya que se encuentra más en contacto con los rayos UV, además de que se ha reportado ya con anterioridad que una roya en fase infectiva tiende a producir de 400 a 700 uredosporas por unidad calor al día.

*Rhizoctonia* spp. presentó una distribución espacial en agregados que generalmente permanece en el material vegetal utilizado o que se encuentra presente en el suelo en forma de esclerocios, y en base a los modelos detectados. Es viable realizar una desinfección profunda del suelo para evitar su diseminación a más lugares dentro de la parcela, esto debido a que las estructuras de resistencia de este patógeno (Esclerocios) permanecen hasta por 10 años en el suelo, hasta encontrar las condiciones propicias para su desarrollo.

Se diseñó y validó una escala diagramática para evaluar la severidad de la roya para el cultivo de haba, dicha escala consto de 6 clases y fue empleada para el desarrollo de los mapas de dispersión de la enfermedad de este proyecto.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abdulkareem, M. K., Kimber, R. B. E. & Scott, E. S. 2019. Interactions between *Ascochyta fabae* and *Cercospora zonata*, fungal pathogens of faba bean. Australasian Plant Pathol. 48, 271:280 DOI: <https://doi.org/10.1007/s13313-019-00627-1>
- Agrios, N. A. 2004. Introducción a la fitopatología Limusa (2ed.).
- ASSESS 2.0. 2021. Image Analysis Software for Plant Disease Quantification. Disponible en línea: <https://doi.org/10.1094/assesshelp>
- Badii, M. H., A. E. Flores, R. T. & H. Q. 1994. Medición del impacto económico de las plagas. Calidad ambiental. 6, 6:9.
- Badii, M. 2004. Muestreo como un requisito fundamental en las ciencias experimentales. Innovaciones de Negocios 1(1), 33:53.
- Badii, M. H., Guillen, A., Cerna, E., Landeros, J., & Badii, M.H., A. Guillen, E. C. & J. L. 2011. Dispersión Espacial: El Prerrequisito Esencial para el Muestreo. International Journal of Good Conscience.6(1) 41:71. ISSN 1870-557X
- Carvalho, A. M., Moreira, da S. F., Ampelio, P. E., & Silva, de O. M. 2009. Modeling spatial variability and pattern of rust and brown eye spot in coffee agroecosystem. <https://doi.org/10.1007/s10340-008-0232-y>
- Choquehuanca, E. M. 2010. Evaluación De Manchas Fungosas Foliares Del Haba (*Vicia Faba* L.) Con Relación A Los Cambios Climáticos En La Comunidad De Chirapaca Provincia Los Andes Departamento De La Paz”. In Universidad Mayor De San Andrés Facultad De

Agronomía Carrera De Ingeniería Agronómica. Disponible en:  
<http://repositorio.umsa.bo/bitstream/handle/123456789/6000/T2125.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- CoCA, M. M. 2004. Enfermedades foliares del Haba (*Vicia faba*) en el altiplano de La Paz y su manejo. Facultad de Agronomía San Simón, La Paz.
- Crépon, K., Marget, P., Peyronnet, C., Carrouée, B., Arese, P., & Duc, G. 2010. Nutritional value of faba bean (*Vicia faba* L.) seeds for feed and food. *Field Crops Research*, 115(3): 329:339. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2009.09.016>
- Cressie, N. 1985. Fitting variogram models by weighted least squares. *Journal of the International Association for Mathematical Geology* 17(5): 563:586. <https://doi.org/10.1007/BF01032109>
- FAOSTAT. 2018. FAOSTAT. <http://www.fao.org/faostat/es/>
- Flores, F., Nadal, S., Solís, I., Winkler, J., Sass, O., Stoddard, F. L., Link, W., Raffiot, B., Muel, F., & Rubiales, D. 2012. Faba bean adaptation to autumn sowing under European climates. *Agronomy for Sustainable Development*, 32(3): 727-734. <https://doi.org/10.1007/s13593-012-0082-0>
- Fragoso, B. J. M., Sánchez, P. J. R. Castañeda, V. A., Franco, M. O., García, V. R., Gutiérrez, I. A. T., Contreras, R. A. 2022. Escala diagramática para evaluar la severidad de roya en haba (*Vicia faba*). *Revista mexicana de Fitopatología*. DOI: <https://doi.org/10.18781/R.MEX.FIT.2206-2>.
- Griffiths D.W.; 1983. "The amino acid composition of high and low protein faba bean (*Vicia faba*) varieties and selections. *FABIS Newsletter*, 6, (18).

- Hernández, R. L., y Sandoval I. J. S. 2015. Escala Diagramática de Severidad para el Complejo Mancha de Asfalto del Maíz. *Revista Mexicana de Fitopatología* 33(1): 95-103. <https://www.scielo.org.mx/pdf/rmfi/v33n1/2007-8080-rmfi-33-01-00095.pdf>
- Horque, R. 2004. Cultivo del Haba. en dirección General De Investigación Agraria.
- Jordán, A. B, Diaz, R. R, Ocampo, F. I, Jacinto, C. H, Escalante, E. J. A. S, y Pérez R. E. 2019. Características Relacionadas Con El Consumo De Haba Consideradas Por Las Amas De Casa De La Región Productora De Puebla Y Tlaxcala, México. *Revista de Alimentación Contemporánea y Desarrollo Regional*. 29(54). ISSN: 2395-9169. DOI: <https://dx.doi.org/10.24836/es.v29i54.761>.
- López, R. M. 2013. Tecnología de producción del cultivo de haba para el Estado de México. Instituto de investigación y capacitación agropecuaria acuícola y forestal del estado de México- ICAMEX.
- Madden, L., Hughes, G., & Vander, B. 2008. The study of plant disease epidemics. (The American Phytopathological Society (ed.)). <https://doi.org/10.1007/s10340-008-0232-y>
- Meza, J. 2018. Evaluacion De Insecticidas Orgánicos Y Químicos Para El Control Del Pulgón Negro (*Aphis Fabae S.*) En El Cultivo De Haba (*Vicia Faba L.*) En San Mateo Atenco, Edo. De México.
- Moral, G. F. 2004. Aplicación De La Geoestadística Es. *Revista Ecosistemas*, 13(1): 78:86.
- Morales, R. E. J., De la O, A. H., Morales, R. A. y De la Cruz, A. V. M. 2001. Evaluación de cinco genotipos de haba (*Vicia faba L.*) con seis niveles de fósforo en Tecámac, México. *Ciencia Ergo Sum*. 9, (2):184-189.

- Nutter F.W. J., Esker P. D. and Coelho, N. R. A. 2006. Disease assessment concepts and the advancements made in improving the accuracy and precision of plant disease data. *European Journal of Plant Pathology* 115:95-103. [https:// doi.org/10.1007/s10658-005-1230-z](https://doi.org/10.1007/s10658-005-1230-z)
- Omri, N., Youssef, B., Chaar, H., Bessaidi, Z., Halila, I., Jammezi, N., & Mbazia, A. 2020. Temporal and spatial dynamics of ascochyta blight caused by *Ascochyta fabae* sp. In faba bean fields in Tunisia. <https://doi.org/10.1007/s13313-020-00758-w>
- Pérez, D. D.& González, H. A. 2003. Cultivo y mejoramiento de haba.
- Paul, S. K., Gupta, D. R., Mahmud, N. U., Muzahid, A. N. M. y Islam M. T. (2022). First Report of Collar and Root rot of Faba bean Caused by *Rhizoctonia solani* AG-2-2 IIIB in Bangladesh. *Plant Disease*. 106:1072. DOI: <https://doi.org/10.1094/PDIS-08-21-1603-PDN>.
- Quiñones, V. R., Sánchez, P. J. R., Castañeda, V. A., Cristóbal. C. M. 2015. Comportamiento Espacial de la roya transversal del gladiolo en Jiquiplico, Estado de México, México. *Revista Mexicana de Fitopatología* 33 (2) :247: -255.
- Quiñones, V. R., Sánchez, P. J. R., Castañeda, V. A., Franco, M. O., Pedraza, E. A. K. 2017. Distribución espacial de la roya transversal (*Uromyces transversalis*) del gladiolo durante el ciclo primavera-verano en la región sureste del Estado de México. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias UNCuyo*, 48(2), 209–220. Recuperado a partir de <https://revistas.uncu.edu.ar/ojs/index.php/RFCA/article/view/3168>
- Quiñones, V. R., Sánchez, P. J. R., Castañeda, V. A., Franco, M. O., Ruiz, O. A. 2018. Incidencia, severidad y distribución espacial de *Uromyces transversalis* en una nueva región del Estado de Mexico. *Revista Scientia Fungorum* 48: 87-94.
- Quiñones, V. R., Sánchez, P. J. R., Castañeda, V. A., Franco, M. O., Johansen, N. R., Mejorada, G. E. 2020. Comportamiento Espacial y Temporal de *Thrips simplex* Morison (Thysanoptera:

Thripidae) en la Región Norte del Estado de México. Acta Zoológica Mexicana (Nueva serie). 36:1-15. DOI: <https://doi.org/10.21829/azm.2020.3611161>. eISSN: 2448-8445.

- Ramírez, D. J. F., Sánchez, P. J. R., De León, C. 2010. Estabilidad Espacio Temporal de la Distribución del Carbón de la Espiga del Maíz (*Sporisorium reilianum*) en el Estado de México, México. Revista Mexicana de Fitopatología 29:1-14.
- Ramírez, D. J. F., Sánchez, P. J. R., González, H. A., De León, C. 2011. Modelización y Generación de mapas del comportamiento espacial de *Sporisorium reilianum* ((Kuhn) Langdon y Fullerton) en el Estado de México, México. Revista FCA UNCUYO. 43 (2): 157-173. ISSN: 0370-4661 impreso y en línea ISSN: 1853-8665.
- Ramírez D. J. F., Sánchez, P. J. R., Porcayo, C. E., & De León C. 2012. Determinación de la Estabilidad Espaciotemporal del carbon de la cabeza de maíz *Sporisorium reilianum* por *SADIE*. Revista Ciencia e Investigación Agraria. 39 (3): 459-471.
- Robledo, D. A. O. 2016 Enfermedad de Damping-off en plántulas de lechuga: un modelo didáctico-experimental para la enseñanza de los postulados de Koch. Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias 13 (3): 680-685. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/10498/18505>
- Paul, S. K., Gupta, D. R., Mahmud, N. U., Muzahid, A. N. M. y Islam M. T. (2022). First Report of Collar and Root rot of Faba bean Caused by *Rhizoctonia solani* AG-2-2 IIIB in Bangladesh. Plant Disease. 106:1072. DOI: <https://doi.org/10.1094/PDIS-08-21-1603-PDN>
- Sánchez, P. J. R., Ramírez, D. J. F., González, H. A., De León, C. 2011-a. Distribución Espacial del carbón de cabeza (*Sporisorium reilianum*) de maíz en México. Ciencia e Investigación Agraria. 38(2) 253:263.
- Sánchez, P. J. R., Ramírez, D. J. F., González, H. A., De León, C. 2011-b. Modelización de la distribución espacial del carbón de cabeza de maíz (*Sporisorium reilianum* Langdon y

- Fullerton) en México. *Revista Española de Investigación Agraria* 9 (3): 882-893. ISSN: 1695-971-X. eISSN: 2171-9292.
- Sánchez. P. J. R, Quiñones V. R, Castañeda. V. A, Franco. M. O, and Pedraza, E. A. K. (2019) Dinámica Espacio Temporal de Thrips simplex y Frankliniella occidentalis en Gladiolus communis L. *Southwestern Entomologist* 44(3): 667-678. DOI: <https://doi.org/10.3958/059.044.0312>
  - SAS Institute. 2002. The SAS system for windows. Release 9.0. SAS Institute. North Carolina, USA.
  - Scapin BCR, Angelotti F, Vieira RA, Bogo A, Tessmann DJ and Perreira de Bem B. 2014. Elaboration and validation of a diagrammatic scale to assess downy mildew severity in grapevine. *Ciencia Rural, Santa María* 44: 1384-1391. <http://dx.doi.org/10.1590/0103-8478cr20131548>.
  - SIAP 2020. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Disponible en: <https://www.gob.mx/siap>
  - Stavely JR. 1984. Pathogenic Specialization in *Uromyces Phaseoli* in the United States and Rust resistance in beans. *Plant Disease* 68(2):95-99. [https://www.apsnet.org/publications/plantdisease/backissues/Documents/1984Articles/PlantDisease68n02\\_95.PDF](https://www.apsnet.org/publications/plantdisease/backissues/Documents/1984Articles/PlantDisease68n02_95.PDF)
  - Zohary, D. 1972. The wild progenitor and the place of origin of the cultivated lentil: *Lens culinaris*. *Economic Botany*. (26), 326:332.