

Universidad Zamorano
Departamento de Ciencia y Producción Agropecuaria
Ingeniería Agronómica



Proyecto de Graduación
Caracterización Sintomatológica e Interacciones en el Complejo
***Megalurothrips usitatus* - *Pseudocercospora griseola* - Virus del**
Mosaico Dorado en Frijol Común (*Phaseolus vulgaris* L.)

Estudiantes

Paulo Alfredo Bernal Quijije

Ulbio Benjamín Mendoza Baez

Asesores

Deissy Katherine Juyó Rojas, Ph.D.

Carolina Avellaneda Barbosa, Ph.D.

Honduras, octubre 2025

Autoridades

KEITH L. ANDREWS

Rector i.a.

ANA M. MAIER ACOSTA

Vicepresidenta y Decana Académica

CELIA O. TREJO RAMOS

Directora Departamento de Ciencia y Producción Agropecuaria

JULIO NAVARRO

Secretaría General

Contenido

Índice de Cuadros.....	5
Índice de Figuras	6
Índice de Anexos	8
Resumen	10
Abstract.....	11
Introducción.....	12
Materiales y Métodos	15
Localización del Estudio	15
Establecimiento del Cultivo	15
Diseño Experimental.....	16
Variables y Escalas de Evaluación	17
Daño por Trips (<i>Megalurothrips usitatus</i>).....	17
Severidad del Virus del Mosaico Dorado (BGMV)	17
Severidad de la Mancha Angular (<i>Pseudocercospora griseola</i>).....	18
Análisis de Datos y Variables	18
Resultados y Discusión.....	20
Distribución de Daño por Trips	20
Distribución de Daño por Mancha Angular por Tratamiento	22
Distribución de Daño por Mosaico Dorado por Tratamiento	24
Tendencia Semanal por Daño de Trips	27
Tendencia Semanal de Mosaico Dorado	29
Tendencia Semanal de Mancha Angular.....	32
Matriz de Correlación (Spearman) de la Variedad de Frijol Amadeus 77.....	34
Matriz de Correlación (Spearman) de la Variedad de Frijol Rojo Chortí	36

Propuesta de una Escala de Severidad Integrada para el Complejo Biótico	38
Conclusiones	41
Recomendaciones	42
Referencias.....	43
Anexos.....	45

Índice de Cuadros

Cuadro 1 Precipitación acumulada mensual de las estaciones meteorológicas pertenecientes a la Unidad de Investigación y Desarrollo de Cultivos durante el año 2025.	15
Cuadro 2 Descripción de los tratamientos aplicados en el estudio del cultivo de frijol realizado en la Unidad de Investigación y Desarrollo de Cultivos en el año 2025.	17

Índice de Figuras

Figura 1 Distribución del daño por trips por tratamiento en frijol, estratificada por etapa fenológica (EF) y variedad (Amadeus 77 y Rojo Chortí) del cultivo del frijol que fue elaborada en la Unidad de Investigación y Desarrollo de Cultivos durante el periodo 2025.	21
Figura 2 Distribución de la severidad de mancha angular por tratamiento en frijol, estratificada por etapa fenológica (EF) y variedad (Amadeus 77 y Rojo Chortí), elaborada en la Unidad de Investigación y Desarrollo de Cultivos durante el periodo de 2025.	23
Figura 3 Distribución de la severidad de mosaico dorado por tratamiento, estratificada por etapa fenológica (EF) y variedad (Amadeus 77 y Rojo Chortí) del cultivo del frijol que fue elaborada en la Unidad de Investigación y Desarrollo de Cultivos durante el periodo 2025.	26
Figura 4 Tendencia semanal de la severidad de daño por trips en frijol, diferenciada por tratamiento y estratificada por variedad (Amadeus 77 y Rojo Chortí), elaborada en la Unidad de Investigación y Desarrollo de Cultivos durante el periodo del 2025.	28
Figura 5 Tendencia semanal de la severidad de mosaico dorado en frijol, diferenciada por tratamiento y estratificada por variedad (Amadeus 77 y Rojo Chortí), elaborada en la Unidad de Investigación y Desarrollo de Cultivos durante el periodo del 2025.	30
Figura 6 Tendencia semanal de la severidad de la mancha angular en frijol, diferenciada por tratamiento y estratificada por variedad (Amadeus 77 y Rojo Chortí), elaborada en la Unidad de Investigación y Desarrollo de Cultivos durante el periodo de 2025.	33
Figura 7 Matriz de correlación de Spearman entre la severidad de mancha angular, mosaico dorado y daño por trips en frijol, correspondiente a la variedad Amadeus 77 en la etapa fenológica R8, elaborada en la Unidad de Investigación y Desarrollo de Cultivos durante el periodo de 2025.....	35
Figura 8 Matriz de correlación de Spearman entre severidad de mancha angular, mosaico dorado y daño por trips en la variedad Rojo Chortí, etapa fenológica R8, elaborada en la Unidad de Investigación y Desarrollo de Cultivos durante el periodo de 2025.	37

Figura 9 Escala visual propia de la severidad del daño en el frijol (niveles 1–9), desarrollada para este estudio y aplicada en las evaluaciones de campo, elaborada en la Unidad de Investigación y Desarrollo de Cultivos durante el periodo 2025. 39

Índice de Anexos

Anexo A Escalas de Daño por <i>Megalurothrips usitatus</i> (Adaptadas de Escobar y Ardón, 2025)	45
Anexo B Escala visual de severidad de daño por <i>M. usitatus</i> en hoja trifoliada de frijol común (Phaseolus vulgaris L.). Universidad Zamorano, Honduras, 2024.....	46
Anexo C Descripción de niveles de severidad de daño por <i>M. usitatus</i> en hoja trifoliada de frijol común (Phaseolus vulgaris L.). Universidad Zamorano, Honduras, 2024.....	47
Anexo D Escala visual de severidad de daño por <i>M. usitatus</i> en flor blanca de frijol común (Phaseolus vulgaris L.) Universidad Zamorano, Honduras, 2024.....	48
Anexo E Descripción de niveles de severidad de daño por <i>M. usitatus</i> en flor de frijol común (Phaseolus vulgaris L.) Universidad Zamorano, Honduras, 2024.....	49
Anexo F Escala visual de severidad de daño por <i>M. usitatus</i> en vainas de frijol común (Phaseolus vulgaris L.) en madurez fisiológica. Universidad Zamorano, Honduras, 2024.	50
Anexo G Descripción de niveles de severidad de daño por <i>M. usitatus</i> en vainas de frijol común (Phaseolus vulgaris L.) en madurez fisiológica. Universidad Zamorano, Honduras, 2024.	51
Anexo H Escala de Severidad del Virus del Mosaico Dorado (BGMV) del cultivo del frijol, elaborado por Patel y Mahatma en el año 2022	52
Anexo I Escala de índice de severidad de daño del Virus del Mosaico Dorado del cultivo del frijol, elaborado por Patel y Mahatma en el año 2022	53
Anexo J Escala descriptiva de severidad del virus del mosaico dorado del cultivo del frijol, elaborado por Patel y Mahatma en el año 2022.....	54
Anexo K Escala de Severidad de Mancha Angular basada en el cultivo del frijol, elaborado por Herrera y Ascencio durante el año 2015.....	55
Anexo L Escala de índice de severidad de daño del Mancha Angular basada en el cultivo del frijol, elaborado por Herrera y Ascencio durante el año 2015.....	56

Anexo M Escala descriptiva de severidad del hongo de mancha angular basada en el cultivo del frijol, elaborado por Herrera y Ascencio durante el año 2015.....	57
Anexo N Escala de severidad integrada (1–9) propuesta en este estudio para evaluar el daño conjunto por trips (<i>M. usitatus</i>), mancha angular (<i>P. griseola</i>) y mosaico dorado (BGMV) realizada para el cultivo del frijol, elaborada en la Unidad de investigación y Desarrollo de Cultivos en el año 2025.....	58

Resumen

El complejo *Megalurothrips usitatus* - *Pseudocercospora griseola* - Virus del Mosaico Dorado del Frijol (BGMV) constituye una limitante crítica para la producción de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.), cuyas interacciones bajo estrés múltiple requieren mayor caracterización. Este estudio caracterizó la sintomatología e interacciones de este complejo para desarrollar una escala de severidad integrada que facilite la evaluación de la resistencia genética. La investigación se realizó en la Unidad de Investigación y Desarrollo de Cultivos de la Universidad Zamorano (mayo-agosto de 2025), utilizando un diseño completamente aleatorizado con dos variedades (Amadeus 77, tolerante; Rojo Chortí, susceptible) y cuatro tratamientos que modularon de forma semicontrolada la presión de plagas y patógenos. Los resultados mostraron que Rojo Chortí presentó mayores proporciones en clases de severidad alta (5-7) para los tres agentes en R8, especialmente bajo presión combinada. El análisis temporal reveló progresión sostenida de trips desde R5 y aumento abrupto de mancha angular en R7-R8, coincidiendo con máximos pluviométricos. Las correlaciones de Spearman fueron significativas entre todos los factores en Rojo Chortí ($r = 0.32-0.50$), pero no en Amadeus 77. Se desarrolló una escala integrada (1-9) que combina los síntomas de los tres agentes. Se concluye que este patosistema afecta desproporcionadamente a variedades susceptibles y que la escala desarrollada es válida para evaluación fenotípica bajo estrés múltiple en programas de mejoramiento.

Palabras clave: escala de severidad, *Megalurothrips usitatus*, *Phaseolus vulgaris*, *Pseudocercospora griseola*, Virus del Mosaico Dorado del Frijol.

Abstract

The *Megalurothrips usitatus* - *Pseudocercospora griseola* – Bean Golden Mosaic Virus (BGMV) complex represents a critical constraint to common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) production, whose interactions under multiple stress conditions require further characterization. This study characterized symptomatology and interactions within this complex to develop an integrated severity scale, facilitating the evaluation of genetic resistance. The research was conducted at the Crop Research and Development Unit of Zamorano University (May-August 2025), using a completely randomized design with two varieties (Amadeus 77, tolerant; Rojo Chortí, susceptible) and four treatments that semi-controlled the pressure of pests and pathogens. Results showed that Rojo Chortí exhibited higher proportions in high severity classes (5-7) for all three agents at stage R8, particularly under combined pressure. Temporal analysis revealed sustained progression of thrips damage from R5 and an abrupt increase in angular leaf spot during R7-R8, coinciding with peak rainfall. Spearman correlations were significant among all factors in Rojo Chortí ($r = 0.32-0.50$), but not in Amadeus 77. An integrated scale (1-9) combining symptoms of the three agents was developed. It is concluded that this pathosystem disproportionately affects susceptible varieties and that the developed scale is valid for phenotypic evaluation under multiple stress conditions in breeding programs.

Keywords: bean Golden Mosaic Virus, *Megalurothrips usitatus*, *Phaseolus vulgaris*, *Pseudocercospora griseola*, severity scale.

Introducción

La importancia del frijol en el país de Honduras se encuentra dentro del 60% de la dieta alimenticia en zonas rurales, específicamente en sectores con índice de pobreza. La disminución de granos y su aumento de precio, genera una importancia alta a la seguridad alimentaria de la población (Oseguera, 2021). Sin embargo, la productividad del cultivo se ve recurrentemente limitada por un complejo de factores bióticos, entre los que destacan enfermedades como el virus del mosaico dorado (BGMV), la mancha angular (*Pseudocercospora griseola*), la antracnosis (*Colletotrichum spp.*) y la roya (*Uromyces appendiculatus*), así como plagas de insectos como los trips (*Megalurothrips usitatus*) (Escoto, 2019)

El daño causado por *M. usitatus* es órgano-específico, afectando con mayor severidad flores y vainas jóvenes, lo que puede derivar en aborto floral, malformaciones y reducciones de rendimiento de hasta el 100% en ausencia de un manejo adecuado (Khan et al., 2022). Por su parte, la mancha angular se manifiesta como lesiones angulares en el follaje y las vainas (Araya et al., 2006), mientras que el BGMV induce un característico mosaico dorado, enrollamiento foliar y enanismo de la planta (Espinoza et al., 2007). La coexistencia de estos agentes en el campo no es una mera suma de daños individuales, sino que puede generar interacciones sinérgicas dentro del patosistema que incrementan las pérdidas y complican las estrategias de manejo (Panda y Khush, 1995).

Las interacciones entre insectos plagas y patógenos en un mismo hospedero pueden seguir múltiples rutas. Por un lado, los insectos fitófagos actúan como facilitadores mecánicos de la infección. Las heridas de alimentación, como las raspaduras características de *M. usitatus*, comprometen la integridad de la cutícula y la epidermis vegetal, creando sitios de entrada directa para patógenos. Por ejemplo, en el sistema de la cebolla junto a *Thrips tabaci*, se ha demostrado que las lesiones causadas por el trips incrementan significativamente la incidencia y severidad de la mancha púrpura (*Alternaria porri*), al proporcionar puntos de penetración para las esporas del hongo (McKenzie et al., 1993). Este

principio es extrapolable al sistema de frijol con *M. usitatus* y *P. griseola*, donde se hipotetiza que el daño por trips predispone al cultivo a una mayor infección fúngica.

Por otro lado, existe una interacción indirecta mediada por la fisiología de la planta. El estrés inducido por el ataque de insectos puede alterar el perfil metabólico del hospedero, afectando su sistema de defensa y aumentando su susceptibilidad a patógenos. Estudios en tomate han mostrado que el daño por la mosca blanca (*Bemisia tabaci*) suprime las rutas de defensa mediadas por ácido jasmónico, volviendo a las plantas más vulnerables a patógenos necrótrofos (Zarate et al., 2007). Aunque *M. usitatus* no es vector del BGMV, su actividad herbívora podría generar un estrés fisiológico similar, debilitando las defensas de la planta y potenciando la expresión de síntomas virales o la progresión de enfermedades fúngicas concomitantes.

Finalmente, las infecciones virales pueden modular la relación de la planta junto a la plaga. Patógenos como el BGMV alteran la fisiología y la emisión de compuestos volátiles de la planta, lo que puede afectar el comportamiento y la preferencia de insectos vectores y no vectores. Por ejemplo, en el sistema utilizado de calabaza expuesto al virus del mosaico del pepino (CMV), se observó que las plantas infectadas alteraban la emisión de sus compuestos volátiles, atrayendo más áfidos vectores, lo que a su vez facilitaba una mayor dispersión viral (Mauck et al., 2010). En el frijol, aunque *M. usitatus* no vectoriza el BGMV, la infección viral podría modificar la calidad nutricional del tejido o la arquitectura de la planta, alterando indirectamente la dinámica poblacional y el impacto de la plaga. La complejidad de estas interacciones tripartitas (plaga-enfermedad-planta) está influenciada además por factores ambientales, como la humedad y la temperatura, que modulan tanto el desarrollo de la enfermedad como el comportamiento de la plaga (Velásquez et al., 2018)

Frente a este desafío multifacético, el fitomejoramiento ha desarrollado variedades con resistencia específica. La variedad Amadeus 77, desarrollada por la Universidad Zamorano, presenta resistencia al BGMV, mediada por el gen *bgm-1* (Urrea et al., 1996) y tolerancia intermedia a otras enfermedades (Rosas et al., 2004). Por su parte, Rojo Chortí es tolerante a altas temperaturas, pero

ha mostrado mayor susceptibilidad al daño por trips en ensayos preliminares (Villeda, 2018). Evaluar cómo se expresan y correlacionan estos daños en materiales genéticamente distintos es crucial para entender si existe un efecto de susceptibilidad compartida donde la vulnerabilidad a un agente conlleva vulnerabilidad a otro, o si, por el contrario, la resistencia a un factor confiere protección indirecta frente a otros, un fenómeno documentado en otros cultivos como resultado de respuestas de defensa sistémicas (Kogel y Langen, 2005).

La presión no controlada de este patosistema múltiple introduce una variabilidad significativa y confusión experimental en los ensayos de la Unidad de Investigación y Desarrollo de Cultivos (UIDC), dificultando la identificación precisa del nivel de resistencia de nuevos genotipos. La evaluación tradicional, que cuantifica patógenos y plagas de forma aislada, puede subestimar o enmascarar interacciones clave que determinan el desempeño agronómico final en condiciones de campo. Por lo tanto, se requiere una herramienta de evaluación fitosanitaria integral que permita caracterizar de manera estandarizada la sintomatología conjunta y las posibles asociaciones entre estos agentes perjudiciales bajo condiciones reales.

Por consiguiente, este estudio se planteó caracterizar la sintomatología y analizar las interacciones del complejo *Megalurothrips usitatus* - *Pseudocercospora griseola* - Virus del Mosaico Dorado en frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.), bajo condiciones de inoculación natural que repliquen los escenarios productivos y de investigación de la UIDC. La finalidad fue desarrollar una propuesta de escala de severidad integrada que permita una evaluación estandarizada de la resistencia genética a múltiples estreses bióticos, considerando las manifestaciones sinérgicas que definen el comportamiento sanitario del cultivo en condiciones de campo. Esta herramienta buscó optimizar los procesos de selección varietal mediante una caracterización fenotípica más precisa del desempeño frente a patosistemas complejos

Materiales y Métodos

Localización del Estudio

El estudio se estableció en la Unidad de Investigación y Desarrollo de Cultivos (UIDC) de la Universidad Zamorano, localizada en el Valle de Yegüare, municipio de San Antonio de Oriente, Francisco Morazán, Honduras (14°00'N, 87°01'O; 800 msnm). La zona se caracteriza por un clima subtropical húmedo, con una temperatura media anual de 24 °C y una precipitación promedio de 1100 mm. El ensayo se condujo durante la estación lluviosa de 2025 (mayo-agosto), registrándose una precipitación acumulada de 395,2 mm, con un máximo de 220,5 mm en junio (Cuadro 1). Estas condiciones replican los escenarios productivos típicos donde el complejo de estrés biótico bajo estudio ejerce su mayor presión, cumpliendo con el objetivo de validar la escala de severidad en condiciones ambientales representativas.

Cuadro 1

Precipitación acumulada mensual de las estaciones meteorológicas pertenecientes a la Unidad de Investigación y Desarrollo de Cultivos durante el año 2025.

Mes	Precipitación acumulada (mm)
Enero	0.0
Febrero	0.0
Marzo	0.0
Abril	2.0
Mayo	27.3
Junio	220.5
Julio	83.4
Agosto	62.0
Total, acumulado	395.2

Establecimiento del Cultivo

Se seleccionaron dos variedades de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) con respuestas contrastantes documentadas a los estreses bióticos en estudio. La variedad Amadeus 77 fue incluida por su resistencia al virus del mosaico dorado (BGMV), mediada por el gen *bgm-1*, y su tolerancia intermedia a otras enfermedades como la bacteriosis común y la roya (Rosas et al., 2004). Como contraste, la variedad Rojo Chortí se utilizó como material de referencia susceptible al daño por *M.*

usitatus, según evaluaciones preliminares de la UIDC, aunque presenta tolerancia a altas temperaturas (Villeda, 2018). Este contraste genético fue fundamental para probar la escala de severidad integrada en un rango amplio de respuestas fenotípicas. La siembra se realizó el 9 de mayo de 2025, previa preparación del suelo con labranza convencional y establecimiento de un sistema de riego por goteo para asegurar una humedad uniforme, con la excepción de las modificaciones específicas del Tratamiento 3.

Diseño Experimental

Se implementó un diseño completamente aleatorio (DCA) con un arreglo factorial 2x4, correspondiente a dos variedades (Amadeus 77 y Rojo Chortí) y cuatro tratamientos, con tres repeticiones. La unidad experimental consistió en una parcela de cinco plantas. Para modular la presión de plagas y patógenos de manera diferencial y aislar sus efectos individuales y sinérgicos, los tratamientos se establecieron en estructuras o "cubículos" independientes con marco de madera y cubierta de malla Agribon®, configurados de la siguiente manera:

T1 (Control): Cubículo completamente cerrado para excluir artrópodos vectores (*M. usitatus* y *B. tabaci*) y minimizar la perturbación biótica, estableciendo una línea base de sanidad.

T2 (Trips): Cubículo con aberturas laterales para permitir la entrada selectiva de *M. usitatus*, manteniendo una barrera parcial contra otros insectos como *Bemisia tabaci*.

T3 (Trips + Mancha Angular): Configuración idéntica a T2, pero con un incremento en la frecuencia y duración del riego para prolongar la humedad foliar y favorecer las condiciones microclimáticas (tiempo de mojado foliar) óptimas para la infección y el desarrollo de *Pseudocercospora griseola*.

T4 (Trips + Mosaico Dorado): Cubículo totalmente abierto para facilitar el libre ingreso de mosca blanca, vector del BGMV, y permitir la transmisión natural del virus bajo una alta presión del vector. Esta aproximación permitió simular escenarios de estrés simple y múltiple, esenciales para el desarrollo de una escala de severidad robusta (Cuadro 2).

Cuadro 2

Descripción de los tratamientos aplicados en el estudio del cultivo de frijol realizado en la Unidad de Investigación y Desarrollo de Cultivos en el año 2025.

Tratamiento	Descripción	Condición Modulada
T1	Control (Exclusión)	Cubículo cerrado. Ausencia de plagas.
T2	Trips	Aberturas laterales. Entrada de trips.
T3	Trips + Mancha Angular	Aberturas laterales + mayor humedad foliar.
T4	Trips + Mosaico Dorado	Cubículo abierto. Entrada de mosca blanca (vector BGMV).

Variables y Escalas de Evaluación

El monitoreo fitosanitario se realizó semanalmente desde los 21 días después de la siembra (DDS) hasta la cosecha, registrando las evaluaciones de acuerdo con el estado fenológico del cultivo (desde V3 hasta R8). Para garantizar la estandarización en la cuantificación del complejo de estrés biótico, se emplearon escalas de severidad validadas en la literatura científica para cada agente causal, cuyas descripciones detalladas se encuentran en el Anexo A. El protocolo de evaluación para cada factor se describe a continuación:

Daño por Trips (Megalurothrips usitatus)

La severidad del daño generado por *M. usitatus* se cuantificó mediante evaluación visual con escalas ordinales órgano-específicas (1-9) para hoja trifoliada, flor y vaina en diferentes estados de desarrollo, adaptadas de Escobar y Ardón (2025), donde 1 representa la ausencia de daño y 9 un daño severo o la muerte del órgano. Como monitoreo complementario, se realizó un conteo directo semanal del número de individuos de *M. usitatus* por planta.

Severidad del Virus del Mosaico Dorado (BGMV)

La intensidad de los síntomas virales se evaluó basándose en la escala de índice de enfermedad propuesta por Patel y Mahatma (2022). Esta escala ordinal (1-9) valora el porcentaje de área foliar afectada y la intensidad de síntomas como clorosis, mosaico y deformación, desde 1 (ausente) hasta 9 (muerte de la planta). Adicionalmente, se registró semanalmente la presencia del vector, *Bemisia tabaci*, y la sintomatología típica (clorosis en mosaico, enrollamiento foliar).

Severidad de la Mancha Angular (*Pseudocercospora griseola*)

La progresión de la enfermedad fúngica se evaluó utilizando la escala de severidad descrita por (Herrera y Ascencio, 2015). Esta escala, también ordinal (1-9), considera el tamaño, número y coalescencia de las lesiones angulares en el follaje, fluctuando entre 1 (sin síntomas) y 9 (necrosis total y colapso foliar).

Análisis de Datos y Variables

Los datos de severidad semanal, estructurados en una base de datos que incluyó las variables variedad, tratamiento, repetición, etapa fenológica y valor de severidad para cada patosistema, fueron procesados y analizados con el software R (versión 4.3.0; R Core Team, 2023). El esquema de análisis se diseñó para caracterizar la expresión individual y conjunta de los estreses bióticos, validando así la utilidad de la escala de severidad integrada. Los análisis específicos fueron los siguientes:

Variables nominales basadas en escala (1–9): para evaluar el daño causado por *M. usitatus*, mancha angular y BGMV, se tomaron los puntajes de severidad y se agruparon en clases con nombre, con el objetivo de estandarizar la lectura de daño.

Análisis descriptivo y de distribución: Para caracterizar la prevalencia e intensidad del daño, los puntajes ordinales de severidad (1-9) se agruparon en clases nominales. Se calcularon frecuencias y proporciones por nivel de severidad, tratamiento, variedad y etapa fenológica. Este análisis permitió establecer la línea base de susceptibilidad/resistencia e identificar concentraciones de daño específicas, fundamentales para definir los anclajes visuales de la escala integrada.

Análisis de Tendencia Temporal: Se graficó la severidad promedio semanal por tratamiento y variedad para cada factor, vinculando la progresión de síntomas con las etapas fenológicas y los registros pluviométricos. Este análisis longitudinal permitió identificar ventanas críticas de daño y la dinámica de progresión de cada patosistema, esencial para determinar el momento óptimo de aplicación de la escala de evaluación.

Análisis de correlación: Para cuantificar las asociaciones entre los distintos componentes del complejo biótico en la etapa de máximo desarrollo (R8), se calcularon coeficientes de correlación de Spearman (ρ) por separado para cada variedad. Este método no paramétrico fue seleccionado debido a la naturaleza ordinal de los datos de las escalas de severidad. El análisis se focalizó en la etapa R8 para capturar las interacciones sinérgicas o antagónicas en el punto acumulativo de daño, un criterio clave para la escala integrada. Las correlaciones se consideraron significativas con un valor de $p < 0.05$.

Resultados y Discusión

Distribución de Daño por Trips

La distribución temporal del daño causado por *Megalurothrips usitatus* mostró patrones diferenciales según la variedad y el tratamiento aplicado (Figura 1). En la variedad Amadeus 77 se observó una predominancia inicial de la clase de severidad 1 (100% de plantas) en la etapa V3, seguida por la emergencia de daños leves (clases 2-3) en V4, que representaron colectivamente del 20-30% de la población. Durante la etapa R5 se registró una reducción transitoria en la severidad, donde las clases 1-2 agruparon del 70 al 85 % de las plantas, coincidiendo con el pico máximo de precipitación registrado en junio. A partir de R6 se evidenció un incremento progresivo en la intensidad del daño, con las clases intermedias (3-5) alcanzando del 45 al 60% de distribución, mientras que en las etapas reproductivas tardías (R7-R8) las clases altas de severidad (5-7) representaron del 35 al 50% en el tratamiento T3.

En contraste, la variedad Rojo Chortí mostró una progresión más acelerada del daño. Mientras que en V3 la severidad 1 predominó (90-100% de plantas), en R5 se observó un marcado incremento donde las clases 3-4 concentraron del 60 al 75% de la distribución. Esta tendencia se mantuvo en R6, con predominio de las clases 3-5 (65-80%), culminando en R8 con las clases de alta severidad (5-7) representando del 35-50% en general y hasta el 55% en el tratamiento T3.

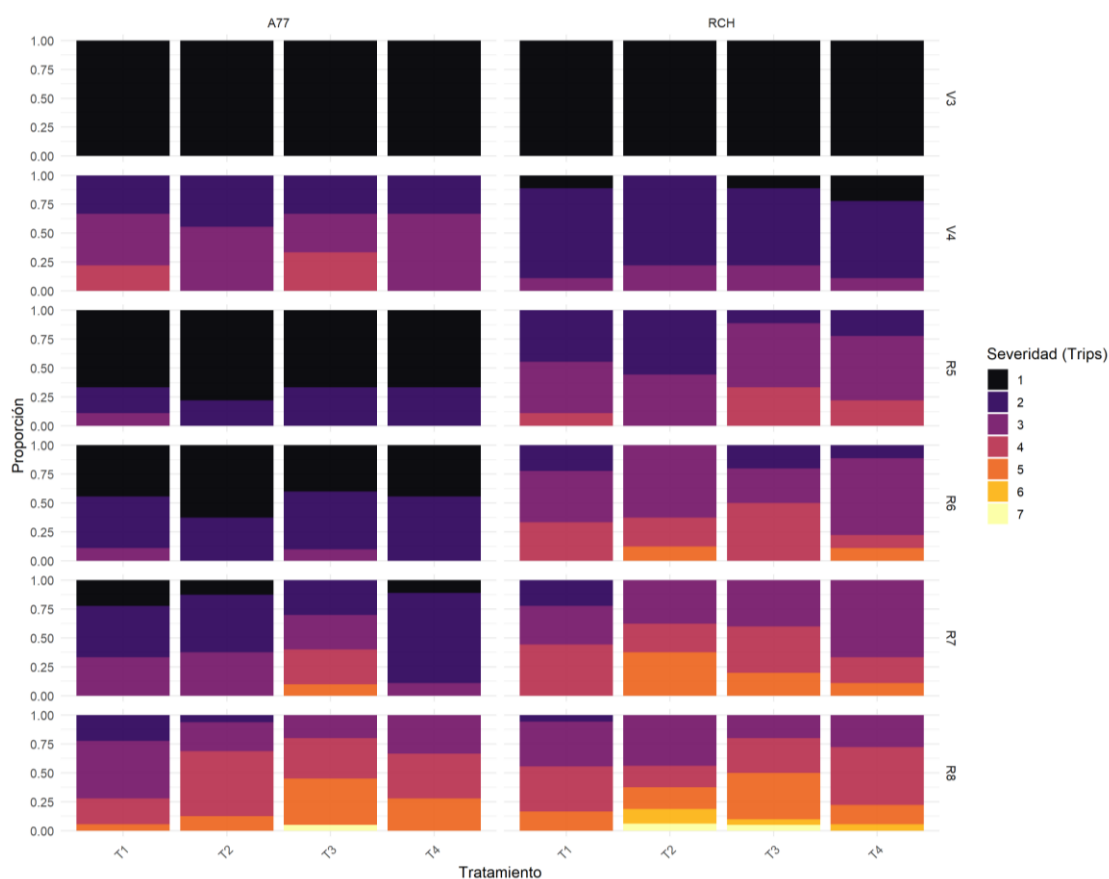
La reducción transitoria observada en Amadeus 77 durante R5 coincide con reportes previos que indican que *M. usitatus* alcanza sus máximos poblacionales en condiciones cálidas y secas, mientras que la precipitación suprime temporalmente el desarrollo de sus poblaciones (Khan et al., 2022). Este patrón fue particularmente evidente en Amadeus 77, que mostró una mayor sensibilidad a las fluctuaciones ambientales tempranas.

El tratamiento T3 (trips + mancha angular) consistentemente mostró las mayores proporciones de daño severo en etapas finales para ambas variedades, sugiriendo un efecto sinérgico entre el estrés y las condiciones de alta humedad. La preferencia de *M. usitatus* por tejidos

reproductivos (flores y vainas jóvenes) explica la intensificación del daño en etapas reproductivas (Khan et al., 2022), patrón que fue claramente observable en ambas variedades, pero con una magnitud significativamente mayor en Rojo Chortí.

Figura 1

Distribución del daño por trips por tratamiento en frijol, estratificada por etapa fenológica (EF) y variedad (Amadeus 77 y Rojo Chortí) del cultivo del frijol que fue elaborada en la Unidad de Investigación y Desarrollo de Cultivos durante el periodo 2025.



Nota. Las barras apiladas muestran la proporción de plantas en cada nivel de severidad de trips (escala ordinal 1 = baja a 7 = alta), codificados por color del morado al amarillo. Las filas corresponden a las etapas V3–R8 y las columnas a las variedades. En el eje X se presentan los tratamientos (T1 = control (0%), T2 = trips (100%), T3 = trips + mancha angular, T4 = trips + mosaico dorado). Las proporciones se calcularon dentro de cada combinación variedad × etapa × tratamiento.

Las diferencias varietales en la acumulación final de daño reflejan distintos mecanismos de respuesta al estrés. Mientras Amadeus 77 mostró una contención relativa del daño a pesar de la

expresión temprana, Rojo Chortí exhibió una progresión sostenida que culminó en los mayores niveles de severidad registrados, confirmando su clasificación como material susceptible según evaluaciones previas de la UIDC (Villeda, 2018). Esta respuesta diferencial resalta la importancia de considerar la dinámica temporal del daño, más que evaluaciones puntuales, para la caracterización precisa de la resistencia genética.

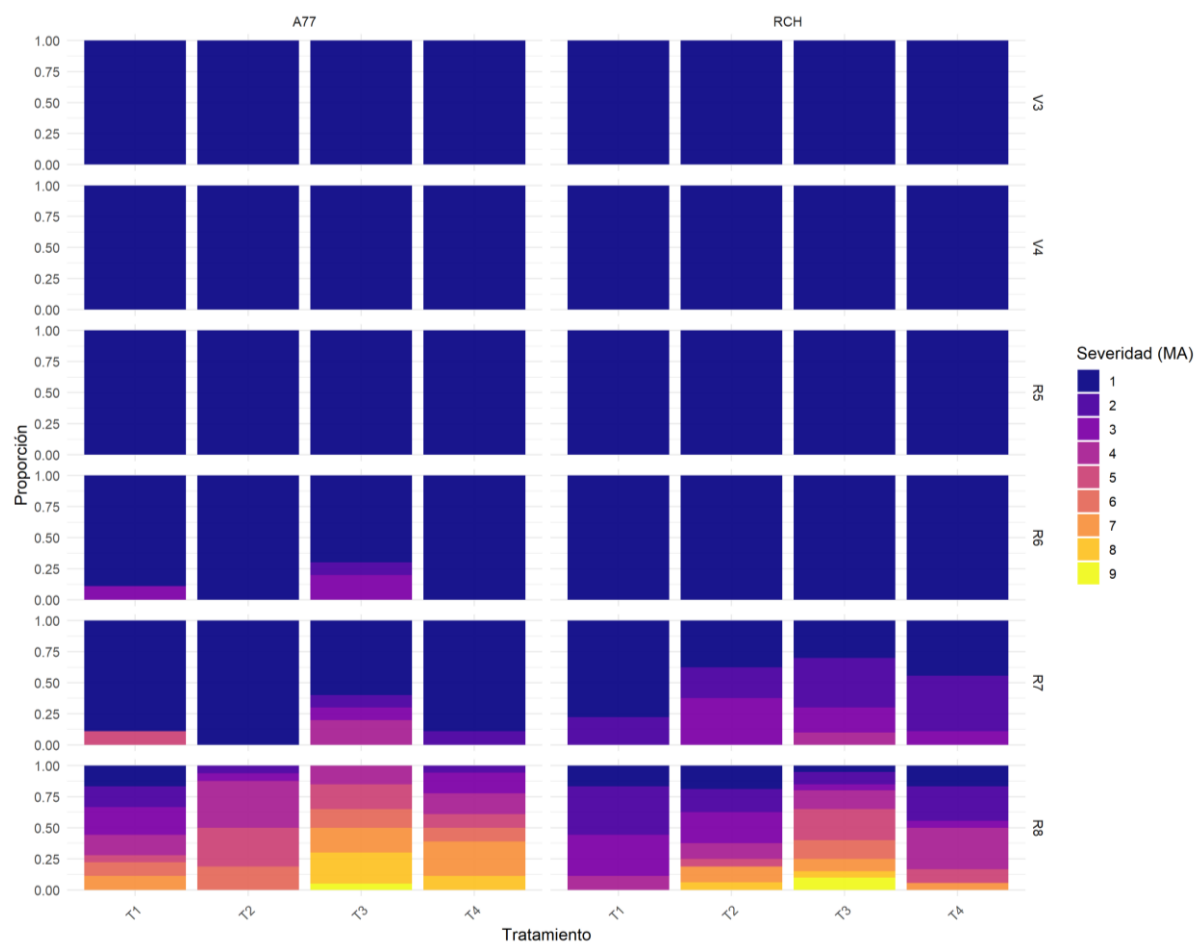
Distribución de Daño por Mancha Angular por Tratamiento

La progresión de la mancha angular (*Pseudocercospora griseola*) mostró una dinámica epidémica marcadamente influenciada por la etapa fenológica, las condiciones ambientales y la interacción con otros estreses bióticos. Como se observa en la Figura 2, la enfermedad permaneció ausente o en niveles mínimos durante las etapas vegetativas (V3-R5), con un 100% de las plantas en la clase de severidad 1, independientemente del tratamiento o variedad.

El inicio de la expresión sintomática ocurrió en R6, siendo más evidente en la variedad Amadeus 77, donde el tratamiento T3 mostró entre el 5% y el 10% de plantas con daños incipientes (clases 2-3). La transición epidemiológica crítica se produjo entre R7 y R8, coincidiendo temporalmente con el período de máxima precipitación (junio). En R8, Amadeus 77 bajo el tratamiento T3 presentó la mayor acumulación de daño, con 40-55% de las plantas en clases de alta severidad (5-8), mientras que los tratamientos T2 y T4 mostraron distribuciones moderadas (35-50% en clases 3-6). El tratamiento control (T1) mantuvo consistentemente los menores niveles de severidad, con 35-50 % de plantas aún en clases 1-2 durante R8.

Figura 2

Distribución de la severidad de mancha angular por tratamiento en frijol, estratificada por etapa fenológica (EF) y variedad (Amadeus 77 y Rojo Chortí), elaborada en la Unidad de Investigación y Desarrollo de Cultivos durante el periodo de 2025.



Nota. Las barras apiladas representan la proporción de plantas (eje Y, 0–1) en cada nivel de severidad de mancha angular (escala ordinal 1–9, codificada por color de azul a amarillo). El eje X muestra los tratamientos (T1 = control (0%), T2 = trips (100%), T3 = trips + mancha angular, T4 = trips + mosaico dorado). Las proporciones se calcularon dentro de cada combinación variedad × etapa × tratamiento.

En la variedad Rojo Chortí, el desarrollo de la enfermedad mostró un patrón diferente, con una expresión más tardía pero igualmente intensa. Mientras que en R7 solo se observaron daños leves (15-25% en clases 2-4), en R8 se registró una intensificación dramática bajo el tratamiento T3, donde 55-65% de las plantas alcanzaron clases de severidad alta (6-8), contrastando marcadamente con el tratamiento control que mantuvo 35-50% de plantas en clases bajas (1-2).

La explosión epidémica observada en R7-R8 presenta una correlación temporal directa con el pico pluviométrico registrado en junio. Como han documentado (Barros et al., 2009), la mancha angular requiere períodos prolongados de mojado foliar y alta humedad relativa para completar su ciclo de infección, condiciones que se optimizan durante lluvias intensas en etapas reproductivas avanzadas, cuando el dosel foliar alcanza su máxima cobertura.

La significativa mayor severidad observada en el tratamiento T3 (trips + mancha angular) sugiere una interacción sinérgica entre el daño por insectos y la infección fúngica. Este fenómeno puede explicarse por el efecto predisponente de las lesiones causadas por *M. usitatus*, que comprometen la integridad de la cutícula foliar y crean sitios de entrada preferencial para el patógeno, tal como lo demostraron (McKenzie et al., 1993) en sistemas similares.

Las diferencias varietales en el patrón de progresión de la enfermedad —con Amadeus 77 mostrando una respuesta más temprana, pero Rojo Chortí alcanzando niveles finales más elevados— reflejan distintos mecanismos de susceptibilidad. Mientras la primera variedad parece más sensible a las condiciones iniciales de infección, la segunda acumula daño de manera más acelerada una vez iniciado el proceso epidémico, posiblemente debido a diferencias en la arquitectura del dosel, composición de ceras epicuticulares o eficiencia de mecanismos de defensa.

La consistencia de estos patrones a través de tratamientos y variedades valida la utilidad de la escala de severidad integrada para detectar no solo la presencia de daño, sino también las complejas interacciones bióticas y ambientales que modulan la expresión final de la enfermedad.

Distribución de Daño por Mosaico Dorado por Tratamiento

La expresión del virus del mosaico dorado (BGMV) reveló patrones distintivos de progresión influenciados por la variedad, el tratamiento aplicado y las condiciones ambientales. Como se muestra en la Figura 3, la infección viral mostró un desarrollo más gradual comparado con las enfermedades fúngicas, con marcadas diferencias en la respuesta varietal.

En la variedad Amadeus 77, los primeros síntomas aparecieron en la etapa R5, con 10-15 % de plantas mostrando daños incipientes (clases 2-3). La progresión fue constante pero moderada, alcanzando en R8 una distribución donde el tratamiento T3 mostró 35-45% de plantas en clases de severidad media-alta (5-7), mientras que el tratamiento control (T1) mantuvo 60-70% de plantas en clases bajas (1-2). Este patrón sugiere una contención efectiva de la progresión viral en las etapas finales del ciclo.

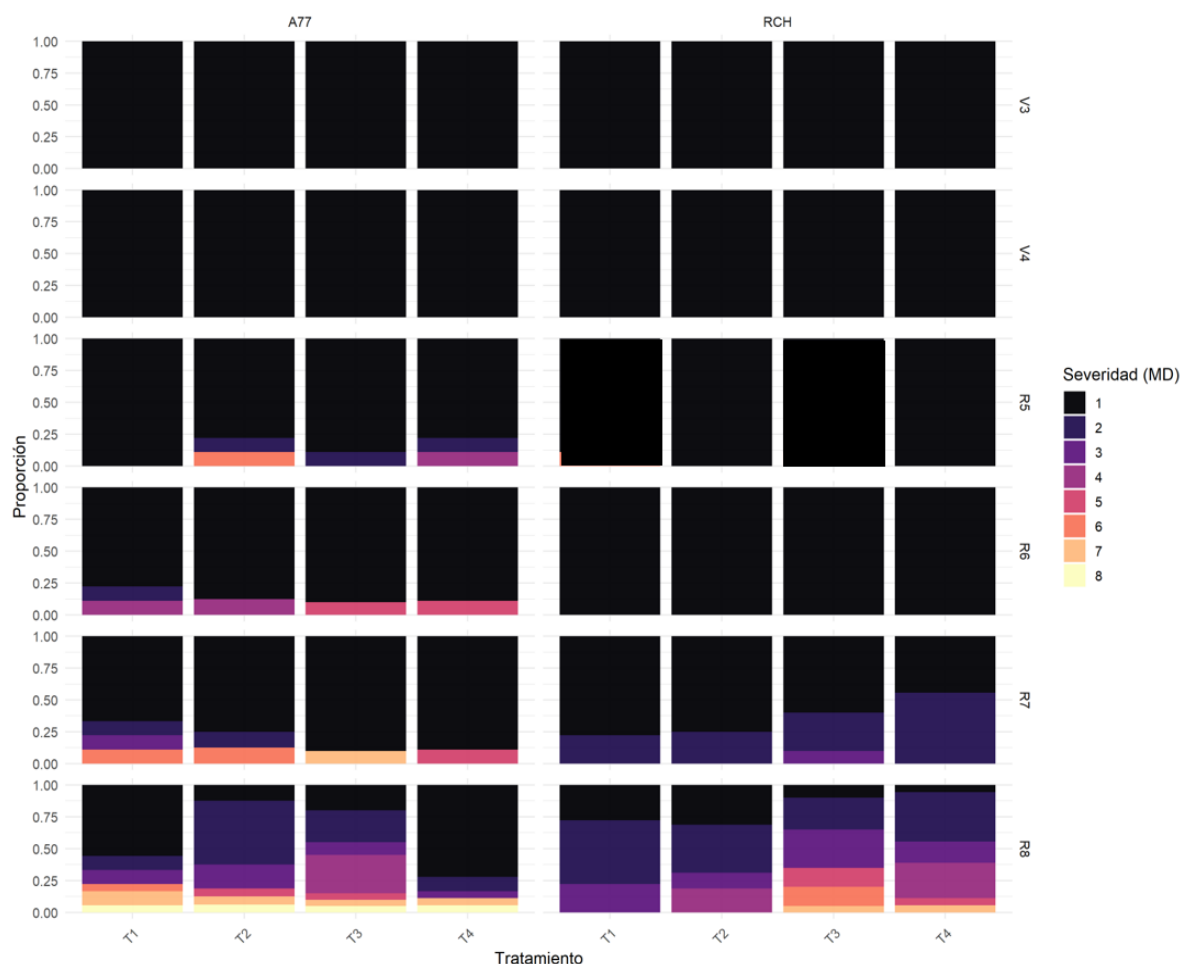
En contraste, la variedad Rojo Chortí exhibió una dinámica epidemiológica diferente. La enfermedad permaneció prácticamente ausente hasta R6, con un inicio efectivo de síntomas en R7, donde 35-55 % de las plantas mostraron daños leves a moderados (clases 2-3). Sin embargo, en R8 se registró una intensificación marcada, particularmente bajo el tratamiento T3, donde 25-40% de las plantas alcanzaron clases de alta severidad (5-7), acompañadas por 35-45% en clases intermedias (3-4). El tratamiento T4 (trips + mosaico dorado) mostró una acumulación similar, confirmando el papel crítico del acceso del vector en la epidemiología viral.

La explosión de síntomas durante R7-R8 presenta una correlación temporal con las condiciones ambientales posteriores al pico pluviométrico de junio. Como señala (Bianchini et al., 2019), la progresión del BGMV depende críticamente de la interacción vector-hospedero-ambiente, donde la alta humedad y temperaturas moderadas favorecen tanto la actividad de *Bemisia tabaci* como la expresión sintomática en plantas infectadas.

Las diferencias varietales en el patrón de acumulación del daño reflejan distintos mecanismos de resistencia genética. La contención relativa observada en Amadeus 77, a pesar de la detección temprana de síntomas, coincide con la acción de genes de resistencia como *bgm-1* que limitan la replicación y movimiento sistémico del virus (Rosas et al., 2004). Por el contrario, la respuesta tardía pero intensa en Rojo Chortí sugiere la ausencia de estos mecanismos de contención, permitiendo una acumulación viral progresiva que se manifiesta claramente en las etapas reproductivas avanzadas.

Figura 3

Distribución de la severidad de mosaico dorado por tratamiento, estratificada por etapa fenológica (EF) y variedad (Amadeus 77 y Rojo Chortí) del cultivo del frijol que fue elaborada en la Unidad de Investigación y Desarrollo de Cultivos durante el periodo 2025.



Nota. Las barras apiladas representan la proporción de plantas (eje Y, 0–1) en cada nivel de severidad de mosaico dorado (escala ordinal 1–8, codificada por color del morado al amarillo). El eje X muestra los tratamientos (T1 = control (0%), T2 = trips (100%), T3 = trips + mancha angular, T4 = trips + mosaico dorado). Las proporciones se calcularon dentro de cada combinación variedad × etapa × tratamiento.

La consistente mayor severidad observada en el tratamiento T3 (trips + mancha angular) sugiere un efecto indirecto del estrés múltiple sobre la expresión viral. Si bien *M. usitatus* no actúa como vector del BGMV, el daño fisiológico causado por el estrés combinado con la presión fúngica

podría debilitar los mecanismos de defensa de la planta, facilitando una expresión más severa de los síntomas virales preexistentes.

Tendencia Semanal por Daño de Trips

El análisis temporal de la progresión del daño por *Megalurothrips usitatus* reveló patrones diferenciales entre variedades que reflejan distintos mecanismos de respuesta al estrés biótico y ambiental. Como se observa en la Figura 4, la dinámica poblacional del insecto estuvo influenciada por las condiciones climáticas y la fenología del cultivo. El eje X corresponde a la semana epidemiológica ISO (21–27) y se vincula con las etapas fenológicas del cultivo: V3 (semana 21), V4 (22), R5 (23–24), R6 (25), R7 (26) y R8 (27). Esta doble referencia (ISO + fenología) permite interpretar la progresión tanto en el calendario como en el estado del cultivo. El eje Y muestra la severidad promedio (ordinal) del daño por trips. Cada línea identifica un tratamiento (T1 = control, T2 = trips, T3 = trips + mancha angular, T4 = trips + mosaico dorado). Cuando aparecen, los segmentos verticales representan el error estándar, útil para apreciar la variabilidad semanal.

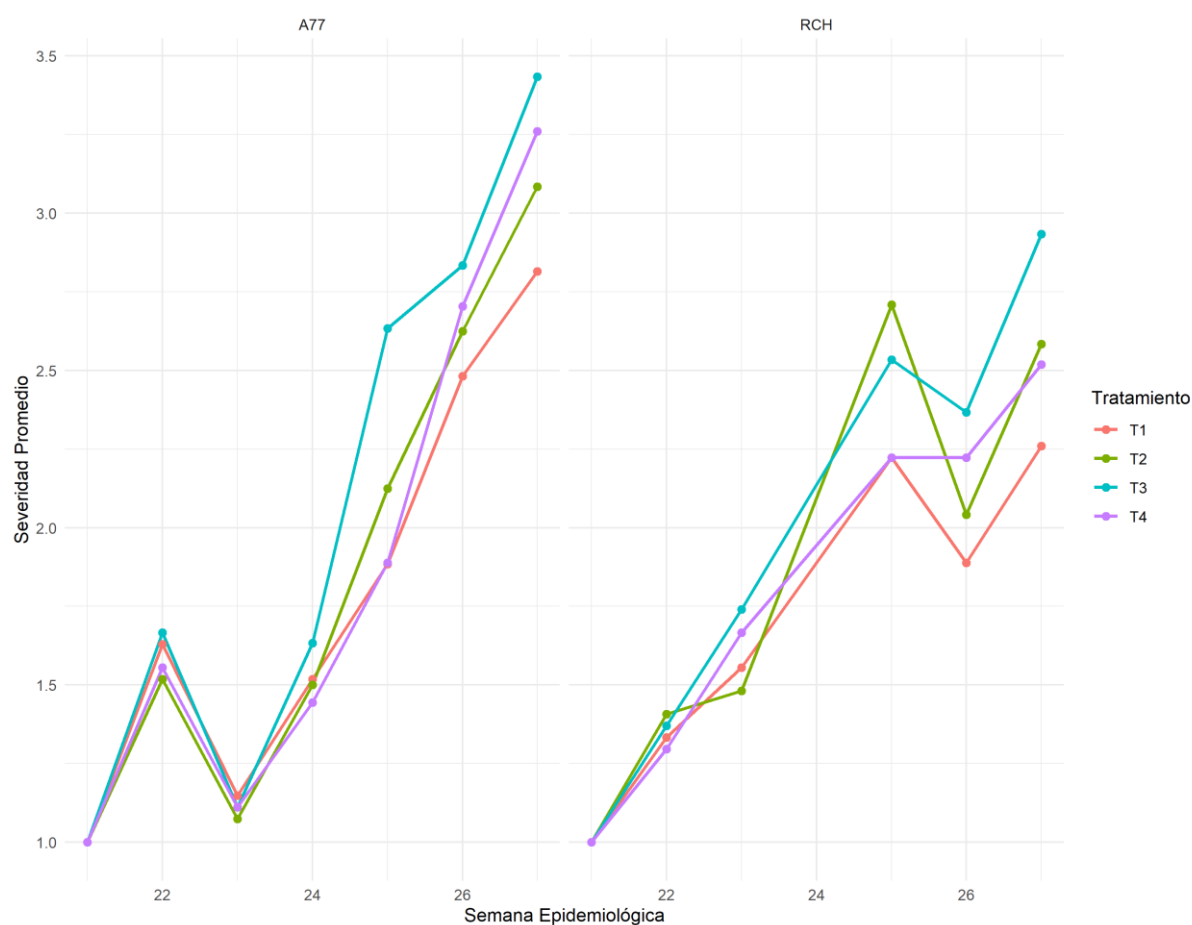
En la variedad Amadeus 77 se identificó un patrón bifásico característico. Durante las semanas iniciales (21-22, correspondientes a V3-V4), se registró una severidad baja (1.0-1.6) seguida de una reducción transitoria hacia valores cercanos a 1.0 en la semana 22, coincidiendo temporalmente con un episodio de precipitación. A partir de la semana 24 (R5), se inició una fase de crecimiento sostenido que culminó en la semana 27 (R8) con valores máximos de 3.5 en el tratamiento T3, mientras el tratamiento control (T1) se mantuvo por debajo de 2.5 durante todo el ciclo.

La supresión transitoria del daño observada en Amadeus 77 durante la semana 22 refleja la sensibilidad de *M. usitatus* a las condiciones de alta humedad, tal como lo documenta (Zafirah y Azidah, 2018), quien reporta que las poblaciones de este trips disminuyen significativamente durante episodios lluviosos, aunque se recuperan rápidamente cuando mejora las condiciones. La posterior intensificación del daño coincidió con la transición a etapas reproductivas (R5-R8), período donde la

disponibilidad de botones florales, flores y vainas tiernas proporciona recursos óptimos para la alimentación y desarrollo poblacional del insecto.

Figura 4

Tendencia semanal de la severidad de daño por trips en frijol, diferenciada por tratamiento y estratificada por variedad (Amadeus 77 y Rojo Chortí), elaborada en la Unidad de Investigación y Desarrollo de Cultivos durante el periodo del 2025.



Nota. El eje X representa la semana epidemiológica y el eje Y la severidad promedio del daño por trips (escala ordinal 1–9). Las curvas están codificadas por tratamiento: T1 = control (0%), T2 = trips (100%), T3 = trips + mancha angular, T4 = trips + mosaico dorado. Cuando alguna categoría de la escala no aparece en la leyenda, es porque no se observaron valores en esa clase en las semanas mostradas.

Las diferencias varietales en la trayectoria del daño pueden atribuirse a características morfológicas y fisiológicas distintivas. La respuesta más estable de Rojo Chortí frente a las fluctuaciones ambientales, junto con su acumulación final más elevada, sugiere una mayor

susceptibilidad basal y/o una arquitectura de dosel que favorece la permanencia y alimentación del insecto. Por el contrario, la respuesta bifásica de Amadeus 77 indica una mayor plasticidad fenotípica que le permite recuperarse más eficientemente de los estreses ambientales tempranos.

El tratamiento T3 (trips + mancha angular) consistentemente mostró los valores más altos de severidad en ambas variedades durante las etapas finales, reforzando la evidencia de interacciones sinérgicas entre los diferentes componentes del complejo biótico. Este patrón sugiere que las condiciones de alta humedad que favorecen el desarrollo fúngico también modulan indirectamente la dinámica poblacional del insecto, posiblemente a través de cambios en la calidad del tejido hospedero o en las condiciones microclimáticas del dosel.

Estos resultados destacan la importancia del monitoreo temporal continuo para caracterizar completamente la respuesta varietal al daño por insectos, ya que evaluaciones puntuales podrían subestimar o malinterpretar la dinámica real de la interacción planta-plaga.

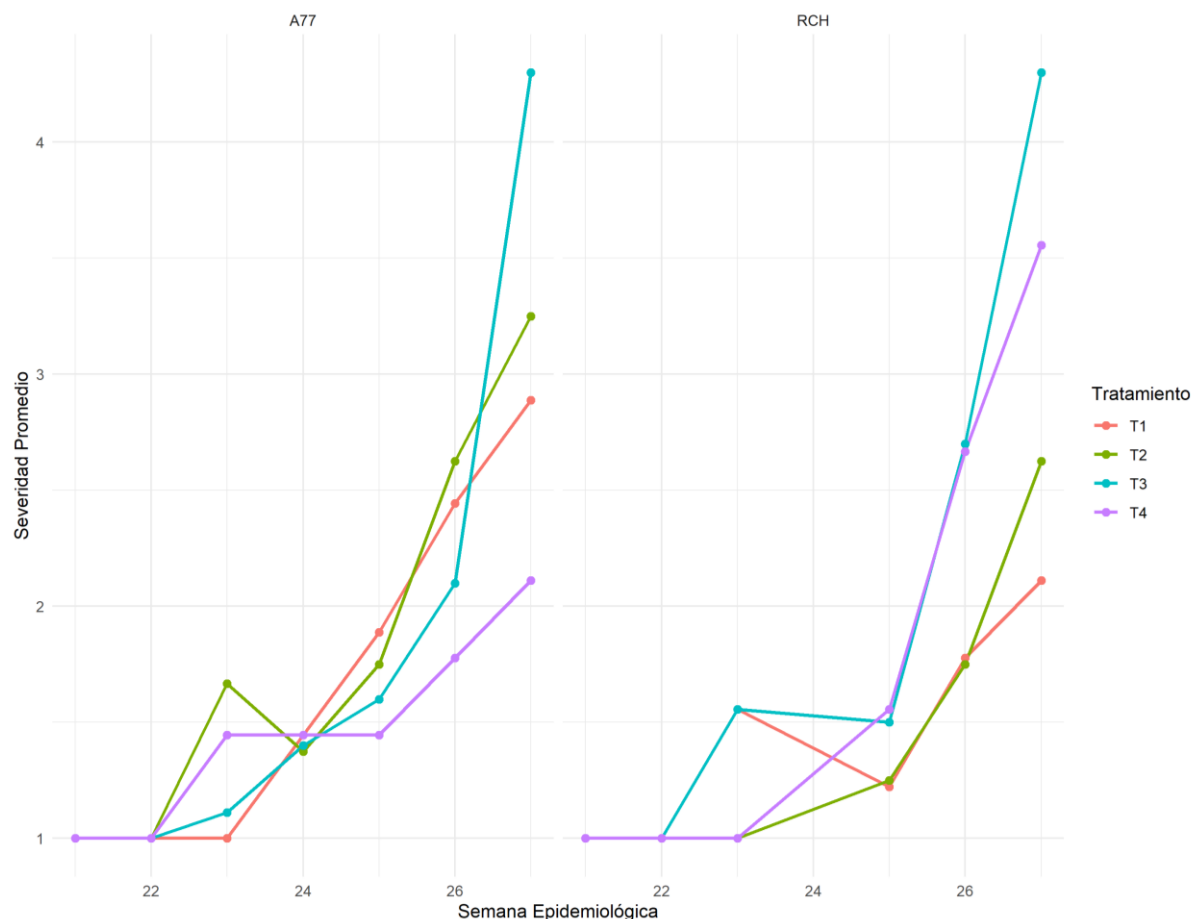
Tendencia Semanal de Mosaico Dorado

La progresión temporal del virus del mosaico dorado (BGMV) reveló patrones epidemiológicos distintivos entre variedades, reflejando diferentes mecanismos de interacción virus-hospedero. Como se muestra en la Figura 5, la dinámica de expresión sintomática estuvo influenciada por la genética del hospedero, la presión del vector y las condiciones ambientales.

La variedad Amadeus 77 exhibió una progresión temprana pero moderada del virus. Los primeros síntomas aparecieron en R5 (semana 24) con severidades de 1.5-1.7, incrementándose gradualmente hasta R7 (semana 26) con valores de 2.0-2.5. Sin embargo, en R8 (semana 27) mostró una contención relativa del daño, alcanzando un máximo de 4.2 en el tratamiento T3, mientras los tratamientos T1-T2 se mantuvieron en rangos moderados (2.8-3.3). Este patrón sugiere una capacidad efectiva para limitar la progresión viral en etapas avanzadas.

Figura 5

Tendencia semanal de la severidad de mosaico dorado en frijol, diferenciada por tratamiento y estratificada por variedad (Amadeus 77 y Rojo Chortí), elaborada en la Unidad de Investigación y Desarrollo de Cultivos durante el periodo del 2025.



Nota. El eje X corresponde a la semana epidemiológica y el eje Y a la severidad promedio de mosaico dorado (escala ordinal 1–8). Las curvas están codificadas por tratamiento: T1 = control (0%), T2 = trips (100%), T3 = trips + mancha angular, T4 = trips + mosaico dorado. Cada punto representa el promedio semanal dentro de la combinación variedad × tratamiento; las líneas se incluyen para resaltar la tendencia temporal.

En contraste, la variedad Rojo Chortí demostró una progresión acelerada y tardía. La enfermedad permaneció prácticamente indetectable hasta R6 (semana 25), iniciando entonces un ascenso constante que culminó en R8 (semana 27) con valores máximos de 4.2 en T3 y 3.6 en T4, superando significativamente la acumulación final observada en Amadeus 77 bajo condiciones similares de presión.

La explosión sintomática durante R7-R8 (semanas 26-27) presentó una correlación temporal con las condiciones ambientales posteriores al pico pluviométrico de junio. La severidad del mosaico dorado se intensifica progresivamente bajo condiciones favorables, afectando significativamente el rendimiento en cultivares susceptibles. Estas condiciones incluyen alta humedad relativa y temperaturas óptimas que favorecen la actividad de *Bemisia tabaci*, cuyo comportamiento vectorial está directamente influenciado por el microclima (Meena et al., 2024).

La respuesta diferencial entre variedades encuentra explicación en sus bases genéticas. La contención del daño en Amadeus 77, a pesar de la detección temprana de síntomas, coincide con la acción del gen *bgm-1*, que confiere resistencia parcial mediante la atenuación de la replicación y movimiento viral, sin impedir completamente la infección inicial (Urrea et al., 1996). Este mecanismo explica la aparente paradoja de detección temprana con contención final.

Por el contrario, la progresión acelerada en Rojo Chortí durante las etapas reproductivas tardías sugiere la ausencia de mecanismos efectivos de contención viral, permitiendo la acumulación sistémica del patógeno cuando la planta enfrenta mayores demandas fisiológicas durante el llenado de granos. Es importante destacar que, aunque la presión adicional del vector no incrementa la carga viral en plantas ya infectadas, dado que la replicación ocurre exclusivamente en el hospedero (Walters et al., 2006), puede acelerar la colonización de tejidos no infectados y facilitar la diseminación secundaria, particularmente en variedades susceptibles como Rojo Chortí.

El mayor daño observado en el tratamiento T3 (trips + mancha angular) es consistente y sugiere que el estrés múltiple puede exacerbar la expresión sintomática del BGMV, posiblemente por el debilitamiento general de los mecanismos de defensa de la planta o a través de modificaciones en la fisiología del hospedero que favorecen la expresión viral. Estos hallazgos resaltan la importancia de considerar tanto el momento de aparición como la tasa de progresión de los síntomas para una caracterización precisa de la resistencia viral, aspectos que fueron efectivamente capturados por la metodología de evaluación temporal implementada.

Tendencia Semanal de Mancha Angular

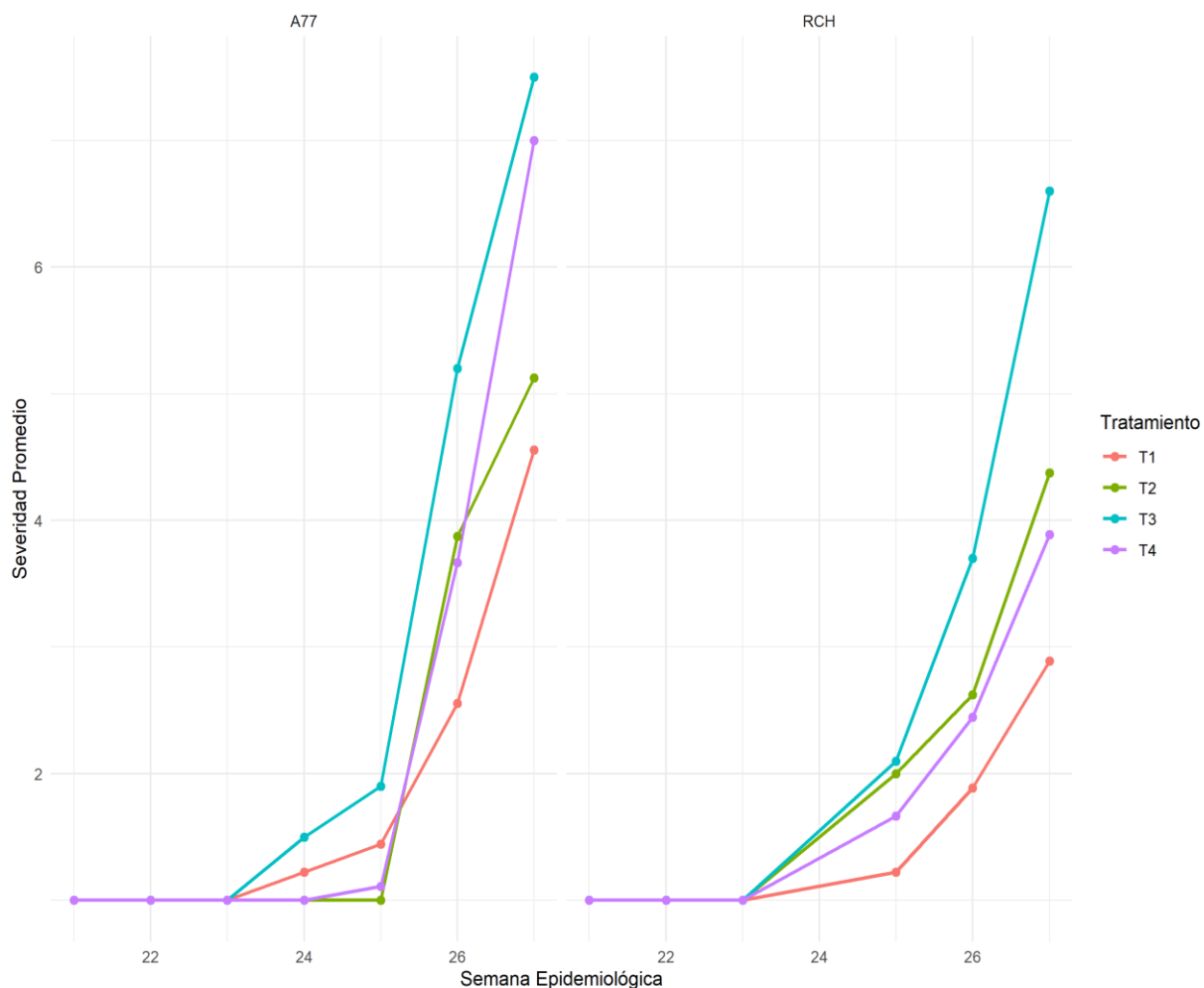
La progresión temporal de la mancha angular (*Pseudocercospora griseola*) demostró un patrón epidémico característico, con una fase de latencia prolongada seguida de una expresión sintomática abrupta en etapas reproductivas avanzadas. Como se observa en la Figura 6, la dinámica de la enfermedad estuvo marcadamente influenciada por la interacción entre condiciones ambientales, presencia del insecto plaga y susceptibilidad varietal.

La variedad Amadeus 77 mostró una progresión epidémica temprana y acelerada. Tras una fase de latencia completa durante V3-V4 (semanas 22-23), se detectaron los primeros síntomas en R5 (semana 24) con severidades de 1.2-1.8. El crecimiento se intensificó notablemente a partir de R6 (semana 24), alcanzando valores de 3.5-5.0 en R7 (semana 26) y culminando en R8 (semana 27) con máximos de 7.2 en el tratamiento T3. Los tratamientos con presencia de trips (T2, T3, T4) consistentemente mostraron mayor severidad que el control (T1), evidenciando el efecto facilitador en el follaje en el desarrollo de la enfermedad.

En contraste, la variedad Rojo Chortí exhibió un patrón de progresión más tardío, pero igualmente intenso. La enfermedad permaneció en niveles basales (1.0-1.3) hasta R5 (semana 24), iniciando entonces un crecimiento constante que se manifestó drásticamente en R8 (semana 27), donde el tratamiento T3 alcanzó 6.6-6.8 de severidad. La menor expresión en el tratamiento control (T1: 2.7-2.9) durante esta etapa final resalta el papel crítico de los factores bióticos adicionales en la expresión completa de la enfermedad.

Figura 6

Tendencia semanal de la severidad de la mancha angular en frijol, diferenciada por tratamiento y estratificada por variedad (Amadeus 77 y Rojo Chortí), elaborada en la Unidad de Investigación y Desarrollo de Cultivos durante el periodo de 2025.



Nota. El eje X corresponde a la semana epidemiológica y el eje Y a la severidad promedio de mancha angular (escala ordinal 1–9). Las curvas están codificadas por tratamiento: T1 = control (0%), T2 = trips (100%), T3 = trips + mancha angular, T4 = trips + mosaico dorado. Cada punto representa el promedio semanal dentro de la combinación variedad × tratamiento; las líneas se incluyen para resaltar la tendencia temporal.

La transición epidémica observada entre R6 y R8 (semanas 25-27) presenta una correlación temporal directa con el período de máxima precipitación registrado en junio. Como documenta (Barros et al., 2009), el desarrollo de *P. griseola* depende críticamente de períodos prolongados de mojado foliar y alta humedad relativa para la esporulación, dispersión y penetración del patógeno, condiciones que se optimizan durante lluvias intensas en etapas reproductivas.

El efecto significativamente mayor observado en los tratamientos con presencia de trips (T2, T3) sugiere un mecanismo de facilitación mediante daño mecánico. Las lesiones causadas por *M. usitatus* no solo comprometen la integridad de la barrera cuticular, sino que pueden inducir un estado fisiológico de estrés que debilita los mecanismos de defensa del hospedero, aumentando la susceptibilidad a infecciones fúngicas secundarias, tal como lo reportan (Freitas et al., 2021) en sistemas patosistémicos similares.

Las diferencias varietales en el patrón de progresión reflejan distintos mecanismos de respuesta al estrés múltiple. La expresión más temprana en Amadeus 77 sugiere una mayor sensibilidad inicial a las condiciones de infección, mientras que la progresión acelerada en Rojo Chortí durante R8 indica una menor capacidad para contener el avance epidémico una vez iniciada. Estas diferencias podrían relacionarse con variaciones en la arquitectura del dosel, composición de ceras epicuticulares o eficiencia de los sistemas de defensa inducibles.

La consistente sinergia observada en el tratamiento T3 (trips + mancha angular) refuerza la evidencia de interacciones positivas entre los componentes del complejo biótico, donde el daño por insectos potencia la severidad de la enfermedad fúngica, particularmente bajo condiciones ambientales favorables para el desarrollo del patógeno. Este análisis temporal resalta la importancia de considerar las ventanas críticas de progresión epidémica para el manejo integrado de la mancha angular, particularmente durante la transición a etapas reproductivas avanzadas bajo condiciones de alta humedad y presencia concurrente de insectos plaga.

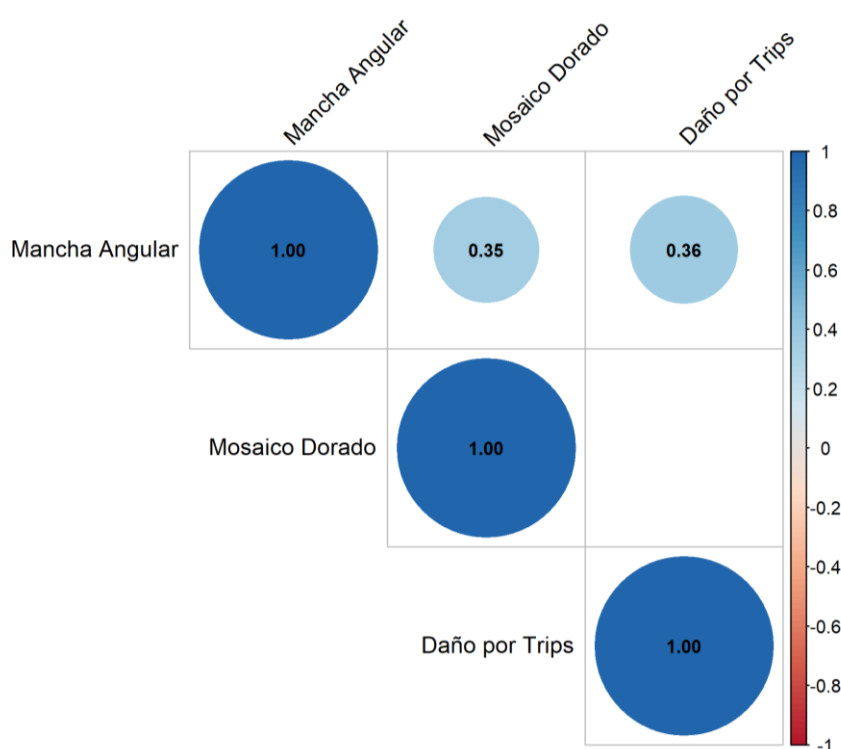
Matriz de Correlación (Spearman) de la Variedad de Frijol Amadeus 77

El análisis de correlaciones para la variedad Amadeus 77 en la etapa R8 reveló un patrón específico de asociaciones entre los componentes del complejo biótico (Figura 7). Se identificaron correlaciones positivas y significativas entre la severidad de mancha angular y mosaico dorado ($\rho = 0.35$) y entre mancha angular y daño por trips ($\rho = 0.36$). En contraste, la relación entre mosaico

dorado y daño por trips no alcanzó significancia estadística, indicando una independencia relativa entre estos factores en esta variedad.

Figura 7

Matriz de correlación de Spearman entre la severidad de mancha angular, mosaico dorado y daño por trips en frijol, correspondiente a la variedad Amadeus 77 en la etapa fenológica R8, elaborada en la Unidad de Investigación y Desarrollo de Cultivos durante el periodo de 2025.



Nota. Los valores dentro de cada círculo corresponden al coeficiente de correlación de Spearman. El tamaño y la intensidad del color indican la magnitud y dirección de la asociación.

Estos resultados sugieren que en Amadeus 77, la mancha angular actúa como componente central del complejo, mostrando asociaciones consistentes con ambos estreses. La falta de correlación significativa entre mosaico dorado y trips refleja que la progresión viral en esta variedad está desacoplada del daño directo por el insecto, lo que concuerda con la naturaleza vectorial de la transmisión del BGMV, mediada exclusivamente por *Bemisia tabaci*.

El comportamiento epidemiológico observado es coherente con lo reportado por Herrera y Ascencio (2015) para *Pseudocercospora griseola*, donde la enfermedad puede manifestarse sincrónicamente en el dosel bajo condiciones ambientales favorables, independientemente de la presencia de otros estreses. Asimismo, la expresión moderada y contenida del mosaico dorado en Amadeus 77, aun en etapas avanzadas, coincide con lo documentado por (Bianchini et al., 2019) para cultivares con resistencia genética, donde los síntomas pueden variar en intensidad y momento de expresión según las condiciones ambientales y la capacidad de contención del hospedero.

Estos resultados sugieren que la mancha angular se comporta como un factor clave en la etapa fenológica R8 de la variedad Amadeus 77, ya que tiende a aumentar de manera paralela con las otras problemáticas. Sin embargo, la falta de significancia entre mosaico dorado y trips indica que la progresión viral no depende exclusivamente del daño ocasionado por la plaga, sino de la dinámica particular de transmisión y del estado fisiológico del cultivo en esta fase.

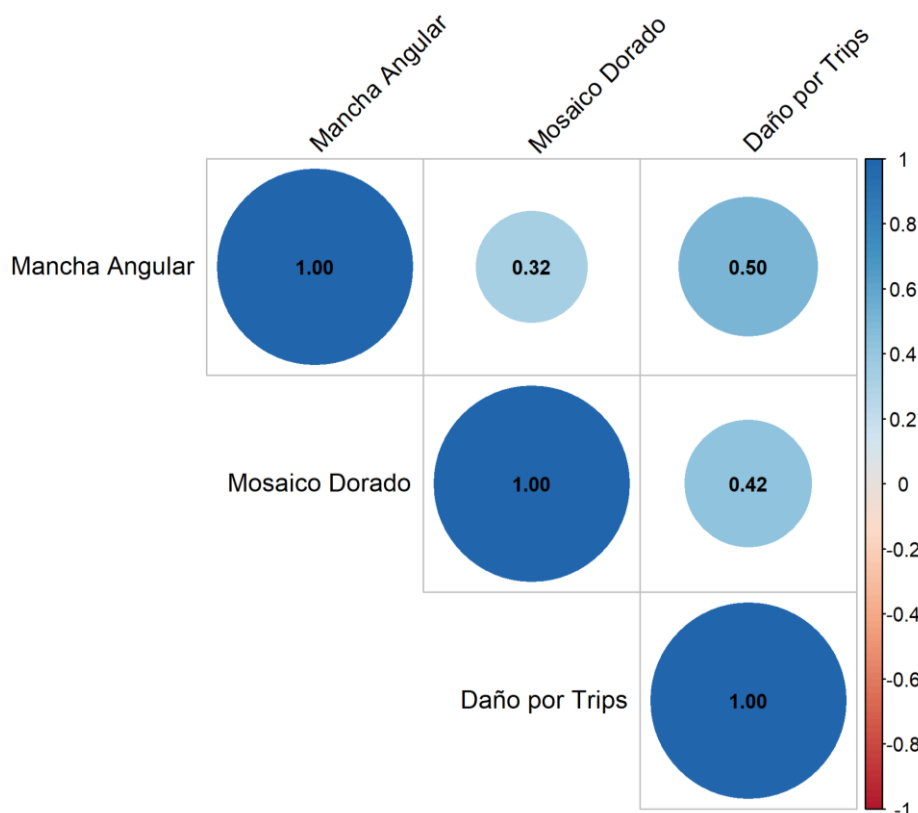
Matriz de Correlación (Spearman) de la Variedad de Frijol Rojo Chortí

En marcado contraste con Amadeus 77, la variedad Rojo Chortí mostró un patrón de interacciones más complejo e integrado en la etapa R8 (Figura 8). Todas las asociaciones entre los componentes del complejo biótico resultaron significativas, con la correlación más fuerte entre mancha angular y daño por trips ($\rho = 0.50$), seguida por mosaico dorado y daño por trips ($\rho = 0.42$), y mancha angular con mosaico dorado ($\rho = 0.32$).

Este patrón de correlaciones generalizadas indica una alta susceptibilidad conjunta a múltiples estreses bióticos durante la fase reproductiva tardía. La fuerte asociación entre mancha angular y trips sugiere un efecto de facilitación donde el daño mecánico por insectos crea sitios de entrada y condiciones favorables para el establecimiento y desarrollo del patógeno fúngico.

Figura 8

Matriz de correlación de Spearman entre severidad de mancha angular, mosaico dorado y daño por trips en la variedad Rojo Chortí, etapa fenológica R8, elaborada en la Unidad de Investigación y Desarrollo de Cultivos durante el periodo de 2025.



Nota. Los valores dentro de cada círculo corresponden al coeficiente de correlación de Spearman. El tamaño y la intensidad del color representan la magnitud y dirección de la asociación.

La convergencia temporal de estas interacciones con el período de máxima precipitación explica la potenciación simultánea de los diferentes componentes del complejo. Las condiciones de alta humedad favorecieron tanto el desarrollo epidémico de la mancha angular como la actividad de los vectores del mosaico dorado, creando un escenario de estrés múltiple que exacerbó la susceptibilidad de Rojo Chortí.

Las diferencias en los patrones de correlación entre ambas variedades reflejan distintos mecanismos de resistencia genética. Mientras Amadeus 77 presenta mecanismos específicos que limitan la progresión sistémica del BGMV y desacoplan las interacciones entre estreses, Rojo Chortí

carece de estas barreras efectivas, permitiendo la expresión sincronizada de todos los componentes del complejo bajo condiciones ambientales favorables.

Este contraste resalta la importancia de la resistencia genética como factor modulador de las interacciones dentro del patosistema múltiple, y valida la utilidad del análisis de correlaciones para identificar materiales con estabilidad sanitaria frente a escenarios complejos de estrés biótico.

Propuesta de una Escala de Severidad Integrada para el Complejo Biótico

Con base en el análisis integral de la sintomatología y las interacciones entre *Megalurothrips usitatus*, *Pseudocercospora griseola* y el virus del mosaico dorado (BGMV), se desarrolló la propuesta de una escala de severidad integrada (1-9) que puede permitir la evaluación conjunta de este complejo biótico (Figura 9). Esta herramienta surge como respuesta a la necesidad de caracterizar de manera estandarizada las manifestaciones sinérgicas observadas en condiciones de estrés múltiple, las cuales no pueden ser adecuadamente capturadas mediante escalas unidimensionales.

La escala integrada incorpora los principales hallazgos de este estudio, particularmente la expresión diferencial de síntomas entre variedades y la influencia de las etapas fenológicas en la progresión del daño. Los niveles inferiores (1-3) representan estados iniciales donde predominan síntomas aislados y discretos, mientras que los niveles intermedios (4-6) capturan las fases de progresión donde comienzan a manifestarse interacciones sinérgicas, especialmente entre daño por trips y desarrollo de mancha angular.

Figura 9

Escala visual propia de la severidad del daño en el frijol (niveles 1–9), desarrollada para este estudio y aplicada en las evaluaciones de campo, elaborada en la Unidad de Investigación y Desarrollo de Cultivos durante el periodo 2025.



Nota. Escala elaborada a partir de anclajes fotográficos en campo (UIDC), que integra la sintomatología de plaga y patógenos para una clasificación visual estandarizada del estado sanitario de la planta. La definición operativa de cada nivel (criterios, umbrales y ejemplos) se presenta en el Anexo N.

Los niveles superiores (7-9) reflejan estados avanzados de deterioro donde se evidencia la convergencia de los tres componentes del complejo, caracterizados por la coalescencia de síntomas fúngicos, deformaciones foliares severas por virus y daño extenso en órganos reproductivos por trips. Estos niveles críticos mostraron una fuerte asociación con las etapas fenológicas R7-R8 bajo

condiciones de alta precipitación y presión combinada de estreses, particularmente en la variedad susceptible Rojo Chortí.

La validación de la escala mediante el análisis de distribuciones de severidad y matrices de correlación demostró su sensibilidad para discriminar respuestas varietales contrastantes. Mientras Amadeus 77 mostró predominancia en niveles medios de severidad (3-6) con contención relativa del daño en etapas finales, Rojo Chortí exhibió progresión acelerada hacia niveles altos (7-9), reflejando su mayor susceptibilidad al complejo biótico.

La escala integrada representa una herramienta práctica para programas de fitomejoramiento y manejo integrado, ya que permite la identificación temprana de materiales con resistencia múltiple, la detección de interacciones sinérgicas entre componentes del complejo biótico, la evaluación fenotípica eficiente en condiciones de campo con presión natural de estreses y la estandarización de criterios de selección para tolerancia a estrés múltiple. Los criterios detallados para cada nivel de severidad, incluyendo descriptores sintomatológicos y umbrales de daño para cada componente del complejo, se especifican en el Anexo 2. Esta herramienta demostró ser particularmente útil para caracterizar la respuesta varietal en escenarios productivos reales, donde la ocurrencia simultánea de estos estreses bióticos es la regla más que la excepción.

Conclusiones

Se caracterizó exitosamente la sintomatología del complejo biótico, identificando patrones diferenciales de progresión: el daño por *M. usitatus* mostró expresión temprana con supresión transitoria por lluvias, la mancha angular presentó desarrollo epidémico acelerado en R7-R8 asociado a alta precipitación, y el BGMV exhibió progresión gradual con marcadas diferencias varietales en acumulación final.

Se evidenciaron interacciones sinérgicas significativas entre los componentes del complejo, particularmente entre *M. usitatus* y *P. griseola*, donde el tratamiento T3 (trips + mancha angular) consistentemente mostró las mayores severidades, confirmando el efecto facilitador del daño mecánico por insectos en la infección fúngica.

Se establecieron contrastes varietales claros en la respuesta al estrés múltiple: Amadeus 77 demostró mecanismos de contención efectivos a pesar de la detección temprana, mientras Rojo Chortí exhibió alta susceptibilidad conjunta con correlaciones significativas entre todos los componentes en R8.

Se desarrolló y validó una escala de severidad integrada que captura efectivamente las manifestaciones sinérgicas del complejo, demostrando sensibilidad para discriminar respuestas varietales contrastantes y constituyendo una herramienta práctica para la selección de genotipos con resistencia múltiple.

Recomendaciones

Realizar un monitoreo constante a nivel órgano específico en flores y vainas, debido a que los trips generan su mayor impacto en órganos reproductivos, lo cual permite anticipar medidas de control antes de que se afecte de manera significativa el rendimiento.

Optimizar el diseño experimental mediante la implementación de "cubículos de estrés múltiple" que combinen alta humedad relativa (>85 %) con presión controlada de *M. usitatus*, replicando las condiciones del tratamiento T3 para una caracterización más eficiente de la resistencia genética.

Resulta pertinente ejecutar el mismo experimento en condiciones controladas de invernadero, manipulando de manera independiente la densidad de *M. usitatus*, la inoculación de *P. griseola* y la transmisión del BGMV por *B. tabaci*. Esto permitiría aislar relaciones causales y precisar umbrales de daño en cada factor.

Invertir en validación y estandarización de escalas de severidad órgano-específicas, con el fin de fortalecer la capacidad de la Unidad de Investigación y Desarrollo de Cultivos (UIDC) para caracterizar de manera más precisa los daños en condiciones reales de campo.

Ampliar los estudios a otras localidades y épocas de siembra, considerando la variabilidad climática, para determinar la consistencia de la interacción trips–mancha angular–mosaico dorado bajo distintos escenarios productivos.

Incorporar la escala de severidad integrada en la selección temprana, utilizando los niveles 4-6 como punto de corte para identificar genotipos con resistencia intermedia al complejo biótico.

Utilizar las matrices de correlación como herramienta de diagnóstico para identificar materiales con mecanismos de resistencia desacoplada, similares a Amadeus 77, que presenten baja asociación entre los componentes del complejo.

Referencias

- Araya, C., Barrantes, W. y Esquivel, A. (2006). *Falsa mancha angular del frijol: una enfermedad que avanza en Costa Rica*. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). Manejo Integrado de Plagas y Agroecología. <https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/6314>
- Barros, E., Moreira, M., Sanglard, D. y Balbi, B. (2009). *An Efficient Protocol For Isolation, Sporulation And Maintenance* [Reporte, Universidade Federal de Viçosa, Brasil]. consensus.app. https://www.researchgate.net/profile/James-Kelly-33/publication/43282605_Persistence_of_a_New_Race_of_the_Common_Bean_Rust_Pathogen_in_Michigan/links/0c96052cc3364550ad000000/Persistence-of-a-New-Race-of-the-Common-Bean-Rust-Pathogen-in-Michigan.pdf#page=77
- Bianchini, A., Buratto, J. S., Da Fonseca Júnior, N. S., Moda-Cirino, V. y Carneiro, Solange Monteiro de Toledo Piza Gomes (2019). Ipr CELEIRO: Common bean cultivar moderately resistant to bean golden mosaic virus. *Crop Breeding and Applied Biotechnology*, 19(4), 456–461. <https://doi.org/10.1590/1984-70332019v19n4c64>
- Escobar, N. y Ardón, L. (2025). *iseño de una metodología de evaluación para identificar la resistencia al ataque de Megalurothrips usitatus (Bagnall) (Thysanoptera: Thripidae) en genotipos de frijol (Phaseolus vulgaris L.)* [Proyecto Especial de Graduación]. Universidad Zamorano, Honduras.
- Escoto, D [Danilo]. (2019). *Guía practica para cultivar frijol*. <https://dicta.gob.hn/files/2019-Guia-practica-para-cultivar-frijol.pdf>
- Espinoza, L., Jimenez, M. y Peralta, E. (2007). Conservación de agentes patógenos y epífitos presentes en los cultivos de tomate, sandía y banano y sus beneficios para la investigación. *Revista Tecnológica ESPOL*, 22(1), 51–56. file:///D:/OneDrive%20-%20Zamorano/Documents/Downloads/kleberth,+8-369Final.pdf
- Freitas, A. T. de, Da Silva, C. d. C., Novaes, T. G. de, Mazzieri Walz, D., Marcelino Guimarães, F. C., Kuwahara, M. K., Oliveira Molina, R. de y Leite Junior, R. P. (2021). Evaluation of disease severity caused by Bean golden mosaic virus in different bean cultivars. *Canadian Journal of Plant Pathology*, 43(1), 172–178. <https://doi.org/10.1080/07060661.2020.1771618>
- Herrera, J. y Ascencio, L. (2015). *Variabilidad patogénica de Pseudocercospora griseola causante de la mancha angular del frijol común en Honduras* [Proyecto Especial de graduacion]. Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras. <https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/7d33aa35-8c8a-4ad2-9fd5-21c852b86f26/content>
- Khan, R., Seal, D. y Adhikari, R. (2022). Bean Flower Thrips *Megalurothrips usitatus* (Bagnall) (Insecta: Thysanoptera: Thripidae). *EDIS*, 1(1). <https://doi.org/10.32473/edis-in1352-2021>
- Kogel, K.-H. y Langen, G. (2005). Induced disease resistance and gene expression in cereals. *Cellular Microbiology*, 7(11), 1555–1564. <https://doi.org/10.1111/j.1462-5822.2005.00592.x>
- Mauck, K. E., Moraes, C. M. de y Mescher, M. C. (2010). Deceptive chemical signals induced by a plant virus attract insect vectors to inferior hosts. *Proceedings of the National Academy of Sciences*

- of the United States of America, 107(8), 3600–3605. <https://doi.org/10.1073/pnas.0907191107>
- McKenzie, C. L., Cartwright, B., Miller, M. E. y Edelson, J. V. (1993). Injury to Onions by Thrips *tabaci* (Thysanoptera: Thripidae) and Its Role in the Development of Purple Blotch. *Environmental Entomology*, 22(6), 1266–1277. <https://doi.org/10.1093/EE/22.6.1266>
- Meena, M. S., Meghwal, H. P., Saini, L. S., Swami, H. y Bhateja, S. (2024). Influence of Climatic Factors on Population Dynamics of White fly (*Bemisia tabaci*) and Jassid (*Amrascabi biguttula biguttula*) Infesting *Vigna mungo* (L.) Hepper. *Ecology, Environment and Conservation*, 30(Suppl), S439-S443. <https://doi.org/10.53550/eec.2024.v30i04s.073>
- Oseguera, M. (2021). resumen-ejecutivo-de-granos-basicos-en-honduras-cohep-vf. <https://www.entoma.org/trips/trips-danos-cuales-son/>
- Panda, N. y Khush, G. S. (1995). *Host Plant Resistance to Insects*. CABI Publishing Series. CAB International. <https://books.google.hn/books?id=xw3wAAAAMAAJ>
- Patel, H. P. y Mahatma, L. (2022). Disease rating scale for the resistant screening against begomoviruses causing yellow mosaic disease in different crops. En H. P. Patel y L. Mahatma (Eds.), *Geminivirus : Detection, Diagnosis and Management* (pp. 561–574). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-90587-9.00036-5>
- Rosas, J. C., Beaver, J. S [J. S.], Escoto, D [D.], Perez, C. A., Llano, A., Hernandez, J. C. y Araya, R. (2004). Registration of 'Amadeus 77' Small Red Common Bean. *Crop Science*, 44(5), 1867–1868. <https://doi.org/10.2135/cropsci2004.1867>
- Urrea, C. A., Miklas, P. N., Beaver, J. S [James S.] y Riley, R. H. (1996). A Codominant Randomly Amplified Polymorphic DNA (RAPD) Marker Useful for Indirect Selection of Bean Golden Mosaic Virus Resistance in Common Bean. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 121(6), 1035–1039. <https://doi.org/10.21273/JASHS.121.6.1035>
- Velásquez, A. C., Castroverde, C. D. M. y He, S. Y. (2018). Plant-Pathogen Warfare under Changing Climate Conditions. *Current Biology : CB*, 28(10), R619-R634. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2018.03.054>
- Villeda, M. (2018). *Varietades de frijol liberadas en Honduras*. Secretaría de Agricultura y Ganadería (SAG) / DICTA. <https://www.studocu.com/latam/document/universidad-nacional-autonoma-de-honduras/espanol-i/2018-variedades-de-frijol-liberadas-en-honduras/72462684>
- Walters, D. R., Cowley, T. y Weber, H. (2006). Rapid accumulation of trihydroxy oxylipins and resistance to the bean rust pathogen *Uromyces fabae* following wounding in *Vicia faba*. *Annals of Botany*, 97(5), 779–784. <https://doi.org/10.1093/AOB/MCL034>
- Zafirah y Azidah (2018). Diversity and Population of Thrips Species on Legumes with Special Reference to *Megalurothrips usitatus*. *Sains Malaysiana*, 47(3), 433–439. <https://doi.org/10.17576/JSM-2018-4703-02>
- Zarate, S. I., Kempema, L. A. y Walling, L. L. (2007). Silverleaf whitefly induces salicylic acid defenses and suppresses effectual jasmonic acid defenses. *Plant Physiology*, 143(2), 866–875. <https://doi.org/10.1104/pp.106.090035>

Anexos

Anexo A

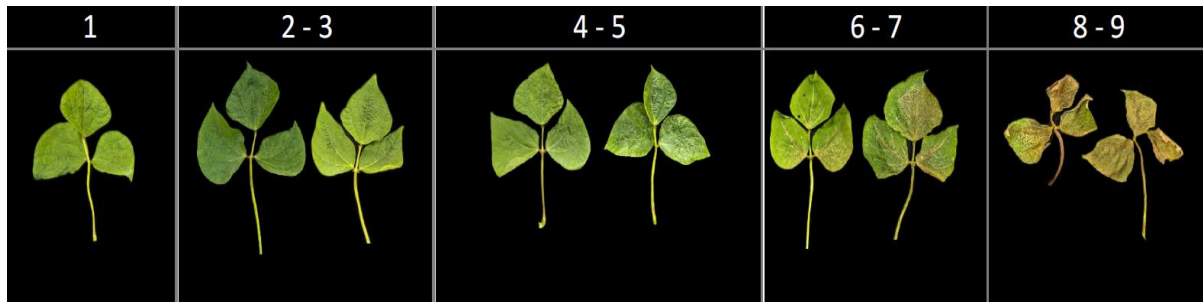
Escalas de Daño por Megalurothrips usitatus según Escobar y Ardón (2025)

Se emplearon escalas órgano-específicas (hoja, flor, vaina) con valores del 1 al 9. A continuación, se presenta un ejemplo para hoja trifoliada

- Grado 1: Hojas sanas, sin coloración marrón ni raspaduras visibles.
- Grados 2-3: Raspaduras superficiales en estípulas y hojas.
- Grados 4-5: Oscurecimiento moderado y cicatrices evidentes en peciolo y tallo.
- Grados 6-7: Oscurecimiento intenso y deformaciones moderadas.
- Grados 8-9: Necrosis y reducción considerable del área foliar funcional

Anexo B

Escala visual de severidad de daño por M. usitatus en hoja trifoliada de frijol común (Phaseolus vulgaris L.). Universidad Zamorano, Honduras, 2024.



Nota. Escala realizada por (Escobar y Ardón, 2025) sobre *M. usitatus* en *Phaseolus vulgaris*.

Anexo C

Descripción de niveles de severidad de daño por M. usitatus en hoja trifoliada de frijol común

(Phaseolus vulgaris L.). Universidad Zamorano, Honduras, 2024.

Nivel de severidad	Descripción
1	Hojas sanas, sin coloración marrón ni raspaduras visibles. Estípulas, brotes y yemas completamente intactos.
2-3	Presencia de raspaduras o cicatrices superficiales (blanco-marrón) en estípulas y hojas. Posible inicio de oscurecimiento en brotes o yemas, sin deformaciones.
4-5	Oscurecimiento moderado en estípulas y hojas; cicatrices evidentes en pecíolo y tallo; deformación leve en yemas u hojas.
6-7	Oscurecimiento intenso de estípulas y hojas; cicatrices marcadas en pecíolo y tallo. Deformaciones moderadas en hojas y brotes.
8-9	Oscurecimiento intenso con necrosis en estípulas y hojas; deformaciones severas y reducción considerable del área foliar funcional.

Anexo D

Escala visual de severidad de ño por M. usitatus en flor blanca de frijol común (Phaseolus vulgaris

L.) Universidad Zamorano, Honduras, 2024.



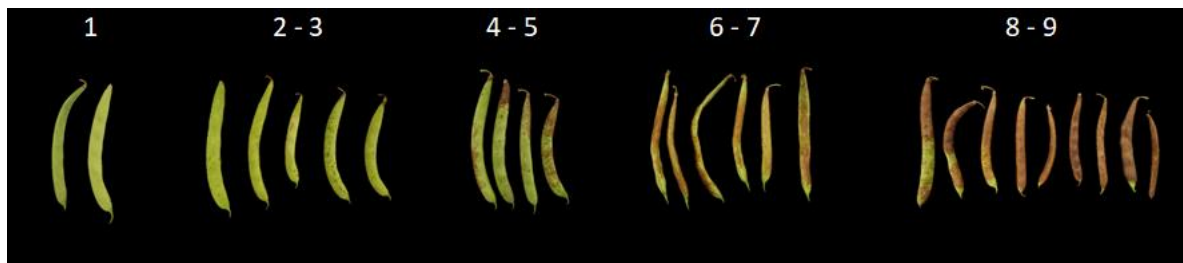
Anexo E

Descripción de niveles de severidad de daño por M. usitatus en flor de frijol común (Phaseolus vulgaris L.) Universidad Zamorano, Honduras, 2024.

Nivel de severidad	Descripción
1	Flores sanas, sin raspaduras ni cambios de color. Botones florales sin daños.
2-3	Oscurecimiento y secado leve de estípulas, flores y algunos botones remanentes. Peciolo y tallo con cicatrices superficiales.
4-5	Oscurecimiento y secado moderado de estípulas y flores. Peciolo y tallo con cicatrices evidentes.
6-7	Oscurecimiento y secado profundo de estípulas y flores. Peciolo y tallo con cicatrices marcadas y profundas.
8-9	Oscurecimiento y secado profundo de estípulas y flores. Aborto de flores y deformaciones de inflorescencias. Peciolo y tallo con cicatrices marrón oscuro e intensas.

Anexo F

Escala visual de severidad daño por M. usitatus en vainas de frijol común (Phaseolus vulgaris L.) en madurez fisiológica. Universidad Zamorano, Honduras, 2024.



Anexo G

Descripción de niveles de severidad de daño por M. usitatus en vainas de frijol común (Phaseolus vulgaris L.) en madurez fisiológica. Universidad Zamorano, Honduras, 2024.

Nivel de severidad	Descripción
1	No hay daño
2-3	Entre el 1 al 25% del área presenta daños del insecto (raspadura blanco-marrón).
4-5	Entre el 25 al 50% del área presenta daños del insecto (raspadura blanco-marrón).
6-7	Entre el 50 al 75% del área presenta daños del insecto (raspadura blanco-marrón) y deformidades leves.
8-9	Entre el 75 al 100% del área presenta daños del insecto (raspadura blanco-marrón) y deformidades severas.

Anexo H

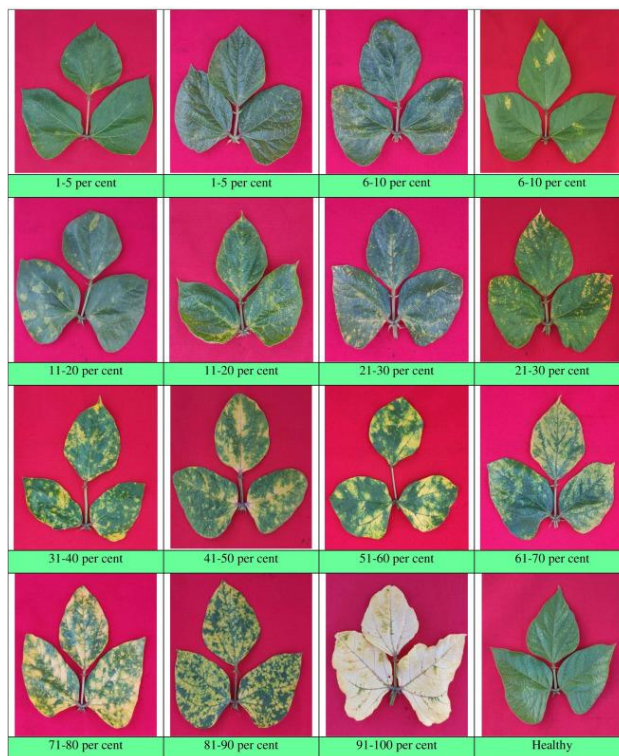
Escala de Severidad del Virus del Mosaico Dorado (BGMV) del cultivo del frijol, elaborado por (Patel y Mahatma, 2022)

Escala de 1 a 9 basada en el porcentaje de área foliar afectada y tipo de síntomas:

- Grado 1 (0%): Ausencia de síntomas.
- Grado 5 (31-40%): Mosaico intenso, hojas coriáceas, enanismo moderado.
- Grado 9 (91-100%): Mosaico total, necrosis completa y muerte de la planta.

Anexo I

Escala de índice de severidad de daño del Virus del Mosaico Dorado del cultivo del frijol, elaborado por Patel y Mahatma (2022)



Anexo J

Escala descriptiva de severidad del virus del mosaico dorado del cultivo del frijol, elaborado por Patel y Mahatma (2022)

Calificación	Porcentaje	Descripción de Síntomas
1	0%	Ausencia de síntomas: hojas completamente verdes, sanas y uniformes, sin clorosis, moteado o deformaciones visibles.
2	1-10%	Clorosis leve con moteados aislados de color amarillo pálido en hojas jóvenes, áreas cloróticas mínimas y dispersas, sin deformación.
3	11-20%	Mosaico amarillo leve con manchas cloróticas dispersas y venas ligeramente aclaradas.
4	21-30%	Mosaico amarillo moderado con áreas cloróticas coalescentes, venas más claras y visibles, inicio de enrollamiento leve hacia abajo en las hojas, ligera rigidez foliar.
5	31-40%	Mosaico intenso con manchas amarillas doradas prominentes y coalescentes, deformación moderada de hojas que se vuelven coriáceas, enanismo y venas blanqueadas notables y posible enrollamiento inicial.
6	41-60%	Mosaico severo cubriendo gran parte de la hoja con patrón dorado brillante, enrollamiento hacia abajo pronunciado, venas blanqueadas y prominentes, reducción significativa en el tamaño de la planta, inicio de necrosis en bordes foliares.
7	61-70%	Mosaico dorado extenso con cobertura alta de áreas amarillas, hojas rígidas, coriáceas y deformadas severamente, rayas necróticas en tallos y meristemas, proliferación inicial de brotes laterales anormales.
8	71-90%	Cobertura casi total de mosaico amarillo intenso, brotes deformes, vainas curvadas y pequeñas, marchitamiento general, necrosis en raíces y tallos.
9	91-100%	Mosaico total con necrosis completa en hojas y tallos, colapso total de la planta, amarillamiento absoluto seguido de secado y muerte, sin producción de vainas viables.

Anexo K

Escala de Severidad de Mancha Angular basada en el cultivo del frijol, elaborado por Herrera y

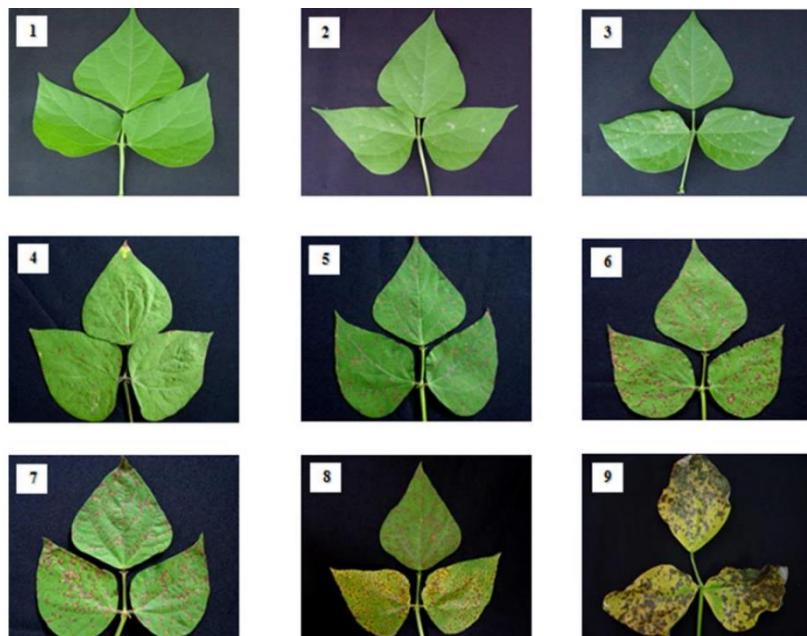
Ascencio (2015)

Escala de 1 a 9 que evalúa la progresión de las manchas angulares:

- Grado 1: Hojas sanas.
- Grado 5: Manchas angulares extensas, marrón oscuro a negro, con áreas de necrosis inicial.
- Grado 9: Manchas angulares completas, necrosis total, hojas secas.

Anexo L

Escala de índice de severidad de daño del Mancha Angular basada en el cultivo del frijol, elaborado por Herrera y Ascencio (2015)



Anexo M

*Escala descriptiva de severidad del hongo de mancha angular basada en el cultivo del frijol,
elaborado por Herrera y Ascencio (2015)*

Nivel de Severidad	Descripción
1	Hojas completamente sanas, color verde uniforme, sin manchas ni alteraciones visibles.
2	Hojas con inicio de manchas angulares pequeñas, de color marrón claro, limitadas a áreas aisladas.
3	Manchas angulares más definidas, de color marrón claro a grisáceo, con bordes irregulares, afectando ligeramente las venas.
4	Manchas angulares moderadas, de color marrón oscuro, coalescentes en algunas áreas, con leve amarilleo en bordes foliares.
5	Manchas angulares extensas, marrón oscuro a negro, con áreas de necrosis inicial, venas afectadas y amarilleo notable.
6	Cobertura significativa de manchas angulares oscuras, necrosis avanzada, hojas con deformación leve y pérdida de turgencia.
7	Manchas angulares casi continuas, necrosis extendida, hojas severamente deformadas, con marchitamiento parcial.
8	Cobertura total de manchas angulares oscuras, necrosis generalizada, hojas colapsadas y amarilleo intenso.
9	Manchas angulares completas, necrosis total, hojas secas y colapsadas, planta con signos de muerte inminente.

Anexo N

*Escala de severidad integrada (1–9) propuesta en este estudio para evaluar el daño conjunto por trips (*M. usitatus*), mancha angular (*P. griseola*) y mosaico dorado (BGMV) realizada para el cultivo del frijol, elaborada en la Unidad de investigación y Desarrollo de Cultivos en el año 2025.*

Nivel de Severidad	Descripción
1	Planta completamente sana, sin síntomas visibles de plagas ni enfermedades. Follaje verde uniforme y desarrollo normal.
2	Presencia incipiente de daño: plateado leve en hojas jóvenes o mosaico tenue. Afectación mínima (<5%), sin impacto en vigor ni crecimiento.
3	Daño leve: raspado aislado por trips, manchas angulares muy pequeñas o mosaico débil. Afectación aproximada del 10% del área foliar, aún sin repercusión en flores o vainas.
4	Síntomas más notorios: lesiones foliares localizadas, clorosis parcial y deformación ligera en órganos reproductivos. Afectación cercana al 15% del área de la planta.
5	Daño intermedio: aborto parcial de flores, inicio de cicatrizaciones en vainas y mosaico evidente. Lesiones coalescentes cubren cerca del 25% del área foliar.
6	Severidad marcada: necrosis en parches grandes, deformación moderada de vainas y mosaico intenso. Se observa reducción del porte y afectación de ≈35% de la planta.
7	Daño alto: necrosis extensa (30–50%), aborto generalizado de flores y vainas, defoliación parcial. Enanismo evidente en plantas infectadas por BGMV.
8	Severidad muy alta: colapso foliar generalizado, pérdida de la mayoría de las vainas y flores, mosaico severo con enanismo pronunciado. Afectación >60% del cultivo.
9	Colapso de la planta: raspado aislado por trips, colapso foliar generalizado, pérdida de la mayoría de las vainas y flores, mosaico severo con enanismo pronunciado. Afectación >80% del cultivo