

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

FACULTAD DE AGRONOMÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE AGRONOMÍA



**“EFICIENCIA DE FUNGICIDAS TRIAZOLES Y ESTROBILURINAS EN EL
CONTROL DE *Hemileia vastatrix* Berk. & B. BAJO CONDICIONES DE
INVERNADERO”**

Tesis

Para optar el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO

PRESENTADO POR:

JUAN ISAAC SILVA CHAMORRO

Asesor (es):

ÓSCAR ESMAEL CABEZAS HUAYLLAS

ROLANDO RIOS RUIZ

Tingo María – Perú

2019



Año de la lucha de la corrupción y la impunidad

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS N° 027-2019-FA-UNAS

BACHILLER : JUAN ISAAC SILVA CHAMORRO

TÍTULO : EFICIENCIA DE FUNGICIDAS TRIAZOLES Y ESTROBILURINAS EN EL CONTROL DE *Hemileia vastatrix* Berk. & B. BAJO CONDICIONES DE INVERNADERO.

JURADO CALIFICADOR

PRESIDENTE : Ing. MANUEL T. VIERA HUIMAN
VOCAL : Ing. M.Sc. GIANNFRANCO EGOAVIL JUMP
VOCAL : Ing. JAIME J. CHAVEZ MATIAS

ASESOR : Ing. OSCAR E. CABEZAS HUAYLLAS
CO ASESOR : Dr. ROLANDO A. RIOS RUIZ

FECHA DE SUSTENTACIÓN : 04 de julio del 2019
HORA DE SUSTENTACIÓN : 8:00 pm
LUGAR DE SUSTENTACIÓN : SALA DE SESIONES DE LA FACULTAD DE AGRONOMÍA
CALIFICATIVO : MUY BUENO
RESULTADO : APROBADO
OBSERVACIONES A LA TESIS: EN HOJA ADJUNTA

TINGO MARÍA, 04 de julio del 2019.


.....
Ing. MANUEL T. VIERA HUIMAN
PRESIDENTE


.....
Ing. M.Sc. GIANNFRANCO EGOAVIL JUMP
VOCAL


.....
Ing. JAIME J. CHAVEZ MATIAS
VOCAL




.....
Ing. OSCAR E. CABEZAS HUAYLLAS
ASESOR


.....
Dr. ROLANDO A. RIOS RUIZ
CO ASESOR



"Año de la recuperación y consolidación de la economía peruana"

CERTIFICADO DE SIMILITUD T.I. N° 277 - 2025 - CS-RIDUNAS

El Jefe de la Unidad de Soporte Científico de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, quien suscribe,

CERTIFICA QUE:

El Trabajo de Investigación; aprobó el proceso de revisión a través del software TURNITIN, evidenciándose en el informe de originalidad un índice de similitud no mayor del 25% (Art. 3° - Resolución N° 466-2019-CU-R-UNAS).

Programa de Estudio:

Agronomía

Tipo de documento:

Tesis	X	Trabajo de Suficiencia Profesional	
-------	---	------------------------------------	--

TÍTULO	AUTOR	PORCENTAJE DE SIMILITUD
EFICIENCIA DE FUNGICIDAS TRIAZOLES Y ESTROBILURINAS EN EL CONTROL DE Hemileia vastatrix Berk. & B. BAJO CONDICIONES DE INVERNADERO	JUAN ISAAC SILVA CHAMORRO	14 % Catorce

Tingo María, 20 de agosto de 2025.

 UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
UNIDAD DE SOPORTE CIENTÍFICO

ING. EINSTEIN A. ORTIZ MORALES
JEFE

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

FACULTAD DE AGRONOMÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE AGRONOMÍA



EFICIENCIA DE FUNGICIDAS TRIAZOLES Y ESTROBILURINAS EN EL CONTROL DE *Hemileia vastatrix* Berk. & B. BAJO CONDICIONES DE INVERNADERO

Autor	: Juan Isaac Silva Chamorro.
Asesores	: M. Sc. Óscar Esmael Cabezas Huayllas. Dr. Rolando Rios Ruiz.
Área de investigación	: Cultivos Tropicales / Fitosanidad.
Línea de investigación	: Diagnóstico, evaluación y manejo integrado de fitopatógenos, insectos plaga y arvenses en especies agrícolas y forestales.
Eje temático	: Control químico y eficiencia de fungicidas en enfermedades foliares.
Lugar de ejecución	: Universidad Nacional Agraria de la Selva.
Duración	: 8 meses.
Financiamiento	: S/ 7 000,00.
FEDU	: No
Propio	: Sí
Otros	: No

Tingo María – Perú, 2025



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
VICERRECTOR DE INVESTIGACION
Instituto de Investigación
Unidad de Gestión de la Investigación

FORMATO PARA REGISTRAR EL PROYECTO DE TESIS PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO UNIVERSITARIO

Universidad	: Universidad Nacional Agraria de la selva
Facultad	: Agronomía
Escuela profesional/	: Agronomía/Ciencias Agrarias
Departamento Académico	
Título de la Tesis	: EFICIENCIA DE FUNGICIDAS TRIAZOLES Y ESTROBILURINAS EN EL CONTROL DE <i>Hemileia</i> <i>vastatrix</i> Berk. & B. BAJO CONDICIONES DE INVERNADERO
Objetivo General	: Comparar la eficiencia de formulaciones de fungicidas a base de triazoles y strobilurinas existentes en el mercado nacional para el control de <i>Hemileia vastatrix</i> bajo condiciones de invernadero.
Autor de la Tesis	: JUAN ISAAC SILVA CHAMORRO
DNI	: 70969978
Correo electrónico	: juan07_35@hotmail.com
Asesores	: 1. M.Sc. OSCAR CABEZAS HUAYLLAS 2. Dr. ROLANDO RIOS RUIZ
Área de Investigación	: Cultivos Tropicales / Fitosanidad
Grupo de Investigación	: DIAGNÓSTICO FITOSANITARIO Y BIOINSUMOS
Línea de investigación	: Diagnóstico, evaluación y manejo integrado de fitopatógenos, insectos plaga y arvenses en especies agrícolas y forestales
Lugar de Ejecución	: INVERNADERO UNAS
Fecha de inicio	: 01/02/2016
Fecha de finalización	: 30/11/2016
Presupuesto	: S/. 7,000
Financiamiento	: Propio (X) FIF () Externo ()

Según: Resolución: N° 461-2023-R-UNAS y Resolución: N° 295-2023-R-UNAS

DEDICATORIA

A Dios gracias por iluminar el camino, por permitirme llegar hasta este punto, por la salud y la tranquilidad para lograr mis objetivos.

A mis queridos padres Juan Luis Silva Rojas y Olinda Chamorro Bonifacio, por su apoyo, su gran amor, su confianza, sus consejos, sus valores y la motivación constante para ser una persona de bien.

A mi hermana Yolanda Silva Chamorro, y a todos aquellos que me apoyaron directa o indirectamente.

A Melgarejo Ventura Karla Doriska, quien me motivó a seguir adelante frente a las adversidades y que estuvo conmigo en las buenas y las malas y a mi querida hija Dara Janise Silva Melgarejo.

AGRADECIMIENTOS

- A la Universidad Nacional Agraria de la Selva, donde adquirí los conocimientos y valores fundamentales para mi desarrollo profesional y personal, contribuyendo a mi crecimiento académico y científico.
- A los docentes de la Facultad de Agronomía, cuyo compromiso y conocimiento fueron fundamentales en mi formación académica y desarrollo de la investigación agronómica.
- Al Ing. Óscar Ismael Cabezas Huayllas, por su invaluable orientación como asesor durante el proceso de investigación y su apoyo en la elaboración del informe de tesis, contribuyendo significativamente al logro de este trabajo.
- A todos los trabajadores de las distintas áreas de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, incluyendo administración, biblioteca, asistencia social, laboratorios, vivero agronómico y fundo, cuyo apoyo y disposición facilitaron el desarrollo de mi trabajo en investigación.
- A Jesica Quesquén Condori y Johana Ríos Viñas, por su valiosa amistad y colaboración en el corte y sellado de las mangas. A Henry Ramos Ávila, por su compañerismo y apoyo en la evaluación final del experimento. Asimismo, a todas las personas que, de manera directa o indirecta, contribuyeron a la culminación de este trabajo de tesis. Finalmente, expreso un agradecimiento especial a mi estimado amigo Jhon Erick Montañez Ponce por su constante motivación y respaldo durante el desarrollo de la investigación.

ÍNDICE

Página

ÍNDICE

ÍNDICE DE TABLAS

ÍNDICE DE FIGURAS

RESUMEN

ABSTRACT

I.	INTRODUCCIÓN	1
II.	REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	3
2.1.	Cultivo de café (<i>Coffea arabica</i>)	3
2.1.1.	Origen y distribución del café.....	3
2.1.2.	Taxonomía	3
2.1.3.	Morfología del café.....	3
2.1.4.	Importancia del café en Perú	4
2.1.5.	Especies de café	4
2.2.	Roya amarilla (<i>Hemileia vastatrix</i> Berk. & Broome).....	5
2.2.1.	Clasificación taxonómica.....	5
2.2.2.	Impacto económico.....	6
2.2.3.	Distribución geográfica y hospedantes	6
2.2.4.	Aspectos biológicos	7
2.2.5.	Aspectos epidemiológicos	8
2.2.6.	Control de la roya	9
2.3.	Fungicidas.....	10
2.3.1.	Definición	10
2.3.2.	Clasificación de los fungicidas	11
2.3.3.	Triazoles.....	11
2.3.4.	Strobilurinas.....	12
2.3.5.	Reporte de resistencia de fitopatógenos a triazoles y estrobilurinas.....	12
III.	MATERIALES Y MÉTODOS	14
3.1.	Lugar de ejecución.....	14
3.2.	Metodología.....	14
3.2.1.	Metodología estadística	14

3.2.2. Metodología de ejecución.....	15
3.2.3. Metodología de evaluación.....	17
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	20
4.1. Número de hojas enfermas y sanas.....	20
4.1.1. Análisis de variancia.....	20
4.1.2. Prueba de Tukey ($\alpha = 0,05$)	20
4.2. Cuantificación de la enfermedad	24
4.3. Progreso de la enfermedad.....	28
4.3.1. Incidencia.....	28
4.3.2. Severidad	33
4.4. Análisis económico de los tratamientos	37
V. CONCLUSIONES	39
VI. PROPUESTAS A FUTURO.....	40
VII. REFERENCIAS.....	41
ANEXO	46

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla	Página
1. Fitopatógenos resistentes a Triazoles (FRAC, 2019).....	13
2. Fitopatógenos resistentes a estrobilurinas (FRAC, 2019).....	13
3. Descripción de los tratamientos.	14
4. Esquema del análisis de variancia.....	15
5. Escala de severidad para la evaluación de roya del cafeto (SENASA, 2003).	18
6. Análisis de varianza del número de hojas sanas y enfermas con roya a los 120 días después de la inoculación y 130 días después de la aplicación de los tratamientos. .	20
7. Comparación de medias (Tukey $\alpha = 0,05$) para el número de hojas sanas, enfermas y totales a los 120 días después de la inoculación y 135 días después de la aplicación de los tratamientos.....	21
8. Comparación de medias (Tukey $\alpha = 0.05$) del porcentaje de incidencia y severidad de la roya del cafeto (<i>H. vastatrix</i>) bajo condiciones de inoculación asistida.	25
9. Comparación de medias (Tukey $\alpha = 0,05$) del porcentaje de incidencia y severidad de la roya del cafeto (<i>H. vastatrix</i>) bajo condiciones de inoculación natural.	27
10. Análisis de varianza para el ADCPE y la tasa de infección de la incidencia de <i>H. vastatrix</i> bajo dos condiciones inoculación.....	29
11. Comparación de medias entre los tratamientos (Tukey $\alpha = 0,05$) para el ADCPE y la tasa de infección de la incidencia <i>H. vastatrix</i> bajo dos condiciones inoculación.	30
12. Análisis de varianza para el ADCPE y la tasa de infección de la severidad de <i>H. vastatrix</i> bajo dos condiciones inoculación.....	33
13. Comparación de medias entre los tratamientos (Tukey) para el ADCPE y la tasa de infección de la severidad de <i>H. vastatrix</i> bajo dos condiciones inoculación.	34
14. Análisis económico de los tratamientos en estudio.....	38
15. Datos originales de incidencia de roya del cafeto en condiciones de inoculación asistida y presión de inóculo natural.	47
16. Datos originales de severidad de roya del cafeto en condiciones de inoculación asistida y presión de inóculo natural.	48
17. Datos originales del área de progreso de la incidencia de roya del cafeto en condiciones de inoculación asistida y presión de inóculo natural.....	49

18.	Datos originales de la tasa de progreso de la incidencia de roya del cafeto en condiciones de inoculación asistida y presión de inoculo natural.....	50
19.	Datos originales del área de progreso de la severidad de roya del cafeto en condiciones de inoculación asistida y presión de inoculo natural.....	51
20.	Datos originales de la tasa de progreso de la severidad de roya del cafeto en condiciones de inoculación asistida y presión de inoculo natural.....	52
21.	Datos originales del número de hojas enfermas en condiciones de inoculación asistida y presión de inoculo natural.	53
22.	Datos originales del número de hojas sanas en condiciones de inoculación asistida y presión de inoculo natural.	54
23.	Datos originales del número de hojas totales en condiciones de inoculación asistida y presión de inoculo natural.	55
24.	Resultados del análisis de regresión lineal simple para la incidencia de la enfermedad.....	56
25.	Resultados del análisis de regresión lineal simple para la severidad de la enfermedad.....	57
26.	Detalles de los costos de producción de plántones de café en vivero para una hectárea (5000 plántones).	58

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Página
1. Escala de severidad propuesta (SENASA, 2003).	18
2. Diagrama de cajas (Box plots) para las hojas sanas y enfermas en condiciones de inoculación asistida (A) y presión de inóculo natural (B).....	23
3. Curvas de progreso de la incidencia de roya del cafeto por efecto de los fungicidas en condiciones de inoculación asistida (A) y presión de inóculo natural (B).	32
4. Curvas de progreso de la severidad de roya del cafeto por efecto de los fungicidas en condiciones de inoculación asistida (A) y presión de inóculo natural (B).	36
5. Curvas de progreso de la incidencia y severidad de la roya del cafeto ajustados al modelo de regresión lineal en condiciones de inoculación asistida.	60
6. Curvas de progreso de la incidencia y severidad de la roya del cafeto ajustados al modelo de regresión lineal en condiciones de inóculo natural.	61
7. Croquis del experimento bajo condiciones de inoculación asistida y bajo presión de inóculo natural.....	62
8. Preparación de las dosis de aplicación de los fungicidas.	63
9. Evaluación de la incidencia de roya del cafeto a los 60 días después de la aplicación de los fungicidas.....	63

RESUMEN

El estudio se llevó a cabo en el Laboratorio de Fitopatología y el invernadero de la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional Agraria de la Selva. Su objetivo fue comparar la eficiencia de formulaciones de fungicidas a base de triazoles y estrobilurinas en el control de *Hemileia vastatrix* bajo condiciones de invernadero. Se realizaron dos ensayos: uno con inoculación asistida y otro bajo presión de inóculo natural. Se evaluaron diez tratamientos, incluidos Difenconazole + Pyraclostrobin, Carbendazim + Propiconazole, Azoxistrobina + Ciproconazole, entre otros, además de un testigo sin tratamiento. El diseño experimental fue completamente al azar, con 10 tratamientos y 10 repeticiones (plántulas). Se compararon los promedios mediante la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$), evaluando variables como número de hojas sanas y enfermas, porcentaje de incidencia, índice de severidad, área debajo de la curva de progreso de la enfermedad y tasa de infección. Bajo inoculación asistida, los tratamientos con Difenconazole + Pyraclostrobin, Tebuconazol + Trifloxystrobin y otras combinaciones mostraron mejor control de la roya, con incidencias entre 37,65 % y 59,39 %, y severidades entre 26,72 % y 45,99 %. En condiciones de inóculo natural, los tratamientos con Azoxistrobina + Tebuconazol, Azoxistrobina + Difenconazole y otros lograron incidencias entre 9,31 % y 13,06 %, y severidades entre 2,50 % y 3,30 %. El testigo presentó los mayores niveles de enfermedad, alcanzando una incidencia de 90,92 % y una tasa de infección de 0,008 bajo inoculación asistida, mientras que en condiciones naturales la incidencia llegó a 68,60 % con una tasa de 0,0067. Estos resultados evidencian la eficacia de ciertas mezclas comerciales para el manejo de la roya amarilla en cafetos jóvenes.

Palabras clave: Fungicidas, *Hemileia vastatrix*, incidencia, gravedad.

ABSTRACT

The study was carried out in the Plant Pathology Laboratory and the greenhouse of the Faculty of Agronomy of the National Agrarian University of La Selva. Its objective was to compare the efficiency of fungicide formulations based on triazoles and strobilurin in the control of *Hemileia vastatrix* under greenhouse conditions. Two trials were conducted: one with assisted inoculation and another under natural inoculum pressure. Ten treatments were evaluated, including Difenoconazole + Pyraclostrobin, Carbendazim + Propiconazole, Azoxystrobin + Cyproconazole, among others, in addition to an untreated control. The experimental design was completely randomized, with 10 treatments and 10 replicates (seedlings). Means were compared using the Tukey test ($p \leq 0.05$), evaluating variables such as the number of healthy and diseased leaves, incidence percentage, severity index, area under the disease progress curve, and infection rate. Under assisted inoculation, treatments with Difenoconazole + Pyraclostrobin, Tebuconazole + Trifloxystrobin, and other combinations showed better rust control, with incidences ranging from 37.65% to 59.39% and severities between 26.72% and 45.99%. Under natural inoculum conditions, treatments with Azoxystrobin + Tebuconazole, Azoxystrobin + Difenoconazole, and others achieved incidences between 9.31% and 13.06%, and severities between 2.50% and 3.30%. The control treatment presented the highest disease levels, reaching an incidence of 90.92% and an infection rate of 0.008% under assisted inoculation, while under natural conditions the incidence reached 68.60% with a rate of 0.0067%. These results demonstrate the effectiveness of certain commercial mixtures for managing yellow rust in young coffee trees.

Keywords: Fungicides, *Hemileia vastatrix*, incidence, severity.

I. INTRODUCCIÓN

En el 2012, Perú el cultivo de café (*Coffea arabica* L.) ocupa una superficie de 425 000 hectáreas [ha], distribuidas porcentualmente en las regiones de Junín (25,40 %), San Martín (22,00 %), Cajamarca (17,20 %), Cusco (12,30 %), Amazonas (10,00 %), Huánuco (4,00 %) y Pasco (2,70 %). Asimismo, el café es uno de los principales productos de exportación; por lo tanto, está estrechamente ligado al desarrollo rural de la ceja de selva del Perú. De la campaña 2011/2012 a 2012/2013 la exportación de café se ha reducido de 5110 a 4100 sacos de 62 kg (Estrada, 2015). Esta reducción se debe entre otros factores a la epidemia causada por *Hemileia vastatrix* Berk. & B, agente causal de la enfermedad conocida como roya amarilla del café. A raíz de esta situación, unos 10 000 productores perdieron sus cultivos de café, razón por la cual el estado peruano ha declarado en emergencia caficultura peruana (Bartra, 2017).

Las principales enfermedades del cultivo de café en América son: ojo de gallo (*Mycena citricolor*), roya (*Hemileia vastatrix*), mancha de hierro (*Cercospora coffeicola*), antracnosis (*Colletotrichum* sp.), derrite (*Phoma costarricensis*) y mal de hilachas (*Corticium koleroga*). La roya se considera una de las enfermedades más peligrosas que afectan al cultivo del café a escala mundial. Esto apunta específicamente a plantas productivas, defoliando ramas, desacelerando el crecimiento y produciendo menos frutos el año siguiente, pudiendo ocasionar la pérdida del 30 % de la producción cuando no se emplea o controle químico (Zambolim et al., 2003).

Las prácticas culturales como la poda de plantas muy atacadas y agotadas, el control de malezas en forma oportuna, fertilizaciones balanceadas, el manejo de la sombra y la aplicación de fungicidas limitan sustancialmente el desarrollo de la enfermedad. Como defensores foliares, los fungicidas cúpricos son actualmente una alternativa útil para el tratamiento de la enfermedad ya que disminuyen la gravedad del ataque de la enfermedad y mejoran la nutrición de la planta dándole al cafeto un efecto “tonificante” (Zambolim, 2016). Hay también productos sistémicos, entre ellos los triazoles (triadimefon, hexaconazol, ciproconazol, tebuconazol, difenconazol) es el único grupo de fungicidas de movimiento vía xilema que está siendo recomendado para el control de la roya, además el grupo de la strobilurinas que tienen movimiento mesostemico están siendo mezcladas con los triazoles para ofrecer un mejor control. Según el Servicio Nacional de Sanidad Agraria (SENASA), en encuentran registrados en el Perú más de 06 ingredientes activos pertenecientes al grupo de los triazoles y 03 al grupo de las estrobilurinas. Los triazoles solos o en mezcla con las strobilurinas son ofertados por las diferentes empresas comercializadoras registrados ante el SENASA; por tanto, existen muchos nombres

comerciales que varían significativamente en sus precios de venta. No existen reportes sobre la eficiencia de control de los diferentes ingredientes activos comercializados en nuestro país que están siendo recomendados para el control de la roya amarilla del café. En este sentido, el presente trabajo plantea los objetivos siguientes:

Objetivo general

Comparar la eficiencia de formulaciones de fungicidas a base de Triazoles y Strobilurinas existentes en el mercado nacional para el control de *Hemileia vastatrix* bajo condiciones de invernadero.

Objetivos específicos

1. Determinar las mejores formulaciones de fungicidas a base de Triazoles y Strobilurinas para el control de *H. vastatrix* bajo condiciones de inoculación asistida.
2. Determinar las mejores formulaciones de fungicidas a base de Triazoles y Strobilurinas para el control de *H. vastatrix* bajo presión de inóculo natural.
3. Determinar la tasa de infección de la enfermedad y el área debajo de la curva de progreso de la enfermedad en todos los tratamientos puestos a prueba.
4. Realizar el análisis económico de los tratamientos probados en condiciones de inoculación asistida y bajo presión de inóculo natural.

II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. Cultivo de café (*Coffea arabica*)

2.1.1. Origen y distribución del café

Etiopía y Sudán en el continente africano son los países de origen del café. La variedad Typica, originaria de Etiopía e introducida por primera vez en el continente americano hace más de 150 años, es la que crece principalmente en mayor extensión en Perú y Bolivia. También se puede encontrar en India, Hawái y América tropical. Fue traído al Perú y comenzó a cultivarse comercialmente en el valle de Chanchamayo en 1876. Se encuentra distribuido en: África, Asia, América central y del norte, América del Sur (Paraguay, Bolivia, Perú, Brasil, Ecuador, Colombia, Venezuela (Cosme, 2022; Paredes, 2023).

2.1.2. Taxonomía

Según Integrated Taxonomic Information System (2022), la clasificación taxonómica del café es la siguiente:

Reino	: Plantae.
División	: Tracheophyta.
Superorden	: Asteranae.
Clase	: Magnoliopsida.
Orden	: Gentianales.
Familia	: Rubiaceae.
Género	: <i>Coffea</i> L.
Especie	: <i>C. arabica</i> L.
Nombre común	: Café.

2.1.3. Morfología del café

2.1.3.1. Sistema radical

Está formado por un eje central cónico de 60 cm de largo, a menudo conocido como raíz pivotante. De él crecen dos tipos diferentes de raíces; algunas son profundas para dar soporte y otras se extienden lateralmente, de las que brotan raicillas que son las que recogen agua y nutrientes. nutrientes del suelo, lo que hace que la prevención de plagas y enfermedades sea crucial (Suazo, 2020; Cosme, 2022).

2.1.3.2. Hojas

La mayoría de las hojas son plagiotrópicas, apareciendo en ramas horizontales en direcciones opuestas dentro del mismo plano. La hoja es de forma elíptica a lanceolada, de 12 a 24 cm de ancho, delgada, fuerte y ondulada (Suazo, 2020; Cosme, 2022).

2.1.3.3. Flores

La corola es un tubo largo, cilíndrico, de color blanco, de 6 a 12 mm de diámetro, y se abre en la mitad superior en cinco segmentos en forma de pétalos. Está formado por cinco estambres insertados en el tubo de la corola en alternancia con los pétalos. Cada flor tiene un receptáculo corto en la base que se extiende hasta el cáliz verde de 1 a 2 mm de largo y tiene cinco espigas terminales. Un ovario superior con dos óvulos y un estilo largo y delgado con dos extremos estigmáticos forman el gineceo (Suazo, 2020; Cosme, 2022).

2.1.3.4. Frutos

Hay varios componentes diferentes que componen el fruto del café, incluido el epicarpio o epidermis, el mesocarpio o pulpa, el endocarpio o pergamino y el endospermo o semilla. (Suazo, 2020; Cosme, 2022).

2.1.3.5. Semilla

Está formado principalmente por endospermo, que tiene una réplica que comienza en el surco de la cara plana y es coriácea, verdosa o amarillenta. En las células del endospermo se encuentran almidón, aceites, carbohidratos, alcaloides como la cafeína y otros compuestos (Suazo, 2020).

2.1.4. Importancia del café en Perú

En el 2017; en Perú, la caficultura es una de las actividades agrícolas más importantes debido a su impacto económico. Aproximadamente 91% de la producción de café se concentra en la selva, destacando las regiones de Cajamarca, Amazonas, Junín, Huánuco, Cuzco, Pasco y San Martín. En estas zonas, 85 % de los productores trabajaban en parcelas de entre 1 y 5 hectáreas, y solo 30 % estaba integrado en cooperativas. No obstante, la productividad del café disminuyó en los últimos años, principalmente por la alta incidencia de plagas y enfermedades, así como por la limitada capacitación técnica de los agricultores (Julián, 2023).

2.1.5. Especies de café

Hay cuatro especies, grupos o tipos cultivables básicos que componen los cafés disponibles comercialmente: café arábigo (*C. arabica* L.), café robusto (*C. canephora* Pierre ex Froehner), café liberiano (*C. liberica* Mull ex Hiern), y café excelso (*C. excelsa* A. Chev.); Además, hay otras especies llamadas económicas, cultivadas localmente, que por lo general no penetran en el mercado comercial (Lashermes et al., 2016; Campos et al., 2017).

2.1.5.1. *Coffea arabica*

Es autóctona de las tierras altas de Etiopía, que se encuentran entre 1350 y 2000 metros sobre el nivel del mar [msnm]. Puede ser autóctono de Arabia en Asia y varias regiones de África. *Coffea arabica* var. arábica y *Coffea arabica* var. El bourbon son

las dos variaciones botánicas de esta especie (Lashermes et al., 2016). Estas dos especies han sufrido numerosas modificaciones y existen numerosos cultivares de cada una. La variedad Bourbon es una mutación recesiva, según los expertos. Los franceses lo trajeron directamente desde Arabia a la isla de Reunión y luego lo transportaron a las Indias Occidentales, de donde luego fue transportado a Centro y Sudamérica (Pierre et al., 2020).

El desarrollo frecuente de diferentes mutantes reproductores verdaderos, algunos de los cuales son más o menos no fructíferos mientras que otros son superiores en vigor y calidad de grano, es un rasgo compartido por *C. arabica* y las otras especies, como se indicó anteriormente (Paredes, 2020). Además, representa el 70 % de la producción mundial, produciendo el café de mejor calidad respecto a las demás especies. Entre las numerosas variedades de café pertenecientes a esta especie tenemos: Typica, Mundo novo, Caturra, Bourbon, Pache, Geisha, Maragogipe y Catuahí. Todas estas variedades son susceptibles a la roya amarilla (Campos et al., 2017). Algunas de las variedades de *C. arabica* han sido cruzadas con el híbrido Timor, de los cuales se han seleccionado variedades que son resistentes a la roya amarilla y productividad relativamente alta (Lashermes et al., 2016).

2.1.5.2. *Coffea canephora*

Los bosques ecuatoriales de África, desde la costa occidental de Uganda y la parte sur de Sudán hasta la mitad occidental de África, albergan la planta del café robusta (*C. canephora*), que crece en elevaciones entre el nivel del mar hasta los 1.000 metros sobre nivel del mar. Las tierras bajas cálidas y húmedas de Indonesia, Ceilán, India y otros lugares donde se encontró *C. arabica* han demostrado ser más adecuadas para esta especie (Achar et al., 2015). Si bien se ha comprobado que los granos de café robusta presentan una calidad inferior en comparación con las variedades de arábica y tienen la desventaja de mostrar una alta variabilidad genética entre plantas cultivadas a partir de semilla, esta especie y sus híbridos con otras han demostrado ventajas significativas. Entre ellas destacan su inmunidad o alta resistencia a la roya del café (*Hemileia vastatrix*), su eficiencia en la relación entre el rendimiento de frutos y la cantidad de grano sembrado, su elevada productividad y su capacidad para retener los frutos en la planta hasta alcanzar (Campos et al., 2017; Pierre et al., 2020).

2.2. **Roya amarilla (*Hemileia vastatrix* Berk. & Broome)**

2.2.1. **Clasificación taxonómica**

De acuerdo al Sistema Global de Información sobre Biodiversidad (2020), clasifica a *Hemileia vastatrix* en los grupos taxonómicos siguientes:

Reino : Fungi.

Phylum : Basidiomycota.

Clase : Pucciniomycetes.
 Orden : Puccinales.
 Familia : Zaghouaniaceae.
 Género : *Hemileia* Berk. & Broome.
 Especie : *H. vastatrix* Berk. & Broome.

2.2.2. Impacto económico

La roya es la enfermedad más dañina y económicamente significativa porque provoca la caída temprana de las hojas, reduciendo el potencial fotosintético y debilita los árboles enfermos. La muerte regresiva de las ramas e incluso la mortalidad de los árboles pueden deberse a enfermedades graves. Además, la influencia de *H. vastatrix* en este cultivo podría resultar en una pérdida menor en la producción o un ligero aumento en los costos de producción, lo que podría tener un efecto sustancial en los productores de café y en las naciones cuya economía depende totalmente de las exportaciones de café (Cosme, 2022; Julián, 2023).

Entre 1871 y 1878, uno de los peores brotes de esta enfermedad se documentó en Ceilán (actualmente Sri Lanka), donde la producción de café se redujo de 4,5 centavos (cwt) por acre a 2 cwt/acre y el área designada para este cultivo fue disminuyó de 68787 ha a 14170 ha. Finalmente, en 1890, las plantaciones no rentables fueron abandonadas. La necesidad de adoptar métodos de manejo costosos en cultivares sensibles tiene un impacto económico en la agricultura del café, además de la disminución en la cantidad y calidad de la producción (Quispe et al., 2017; Avelino et al., 2018).

En Brasil, una caída del rendimiento del 30 % se debió a la ausencia de estrategias de manejo de enfermedades. Sin embargo, el costo de implementar un cronograma de aspersiones de fungicidas en las regiones cafetaleras de este país fue de 67 dólares/ha, o el 9 % del valor de las exportaciones de café de este país. La enfermedad apareció inicialmente en Colombia en 1983, provocando pérdidas de hasta el 30 % en los cultivos cuando no se tomaban medidas de manejo. Más recientemente, entre los años 2008 y 2011, en las principales regiones cafetaleras de este mismo país, se registró un aumento extraordinario en la aparición de esta enfermedad, así como una mayor severidad en las hojas de algunas de las especies comerciales sensibles (> 30 %) (Cristancho et al., 2012; Virginio y Astorga, 2015).

2.2.3. Distribución geográfica y hospedantes

La roya del café (*H. vastatrix*) está ampliamente distribuida en la mayoría de los países productores de café a nivel mundial, afectando gravemente la producción. Este hongo es un patógeno altamente especializado que ataca exclusivamente a especies del género *Coffea*, siendo *C. arabica*, *C. canephora* y *C. liberica* las más afectadas. Su presencia representa

una de las principales amenazas para la caficultura, ya que puede provocar defoliación severa, reducción del rendimiento y, en casos extremos, la muerte de las plantas si no se implementan estrategias de manejo adecuadas (Mora, 2019).

2.2.4. Aspectos biológicos

2.2.4.1. Ciclo biológico

El primer signo de la roya del café son los síntomas de la enfermedad, que comienzan como manchas pálidas en la parte inferior de las hojas. Con el tiempo, estas manchas aumentan de tamaño y se unen para formar las manchas amarillas o anaranjadas características de la enfermedad. Estas manchas también contienen un polvo fino de color amarillo, que es donde se producen las esporas del hongo (Rivillas et al., 2011; Mora, 2019). La presencia de agua libre durante al menos seis horas es necesaria para la germinación de las esporas, lo que se ve favorecido por temperaturas entre 21 y 25 °C y una iluminación tenue. El apresorio para formarse requiere de un periodo de 5,3-8,5 h. La luz inhibe la germinación, al igual que el agua que se evapora de la hoja, lo que influye en el desarrollo de los tubos germinativos. Pero después de la germinación, el hongo ingresa a las hojas a través de las estomas, que son aberturas naturales que se encuentran en la parte inferior de las hojas adultas (Cristancho et al., 2012; Avelino et al., 2018). El hongo crea haustorios, que son estructuras que entran en contacto con las células vegetales y extraen nutrientes para el crecimiento del hongo una vez que ha entrado en el centro de la hoja. El hongo madura lo suficiente como para convertirse en soros, que son responsables de producir nuevas urediniosporas, después de 30 días de colonización. El tiempo entre la infección y la formación de esporas se conoce como período de latencia. Para la zona cafetera de Colombia, el tiempo de latencia puede oscilar entre 34 y 37 días en luz solar directa y entre 31 y 35 días en sombra parcial. (Virginio y Astorga, 2015; Quispe et al., 2017).

2.2.4.2. Descripción morfológica

Las teliosporas, cuya ocurrencia es muy baja, son de forma redondeada de 20-25 μ La enfermedad se caracteriza por las minúsculas esporas (30 de largo) que se encuentran en la parte inferior de las hojas de café. Las teliosporas, extremadamente raras, son redondeadas y miden entre 20 y 25 μ (Gichuru et al., 2021).

2.2.4.3. Síntomas y daños

Los primeros signos son pequeños puntos translúcidos, de color amarillo brillante, que varían en tamaño de 1 a 3 mm. La lesión aumenta de tamaño y puede combinarse con otras manchas para formar grandes manchas de polvo de color amarillo (esporas) en la parte inferior de las hojas, que son visibles como puntos amarillos en el lado

opuesto (Zambolim, 2016). Las lesiones antiguas se vuelven necróticas, pero aún puede producirse esporulación a lo largo del borde de la lesión (Talhinhas et al., 2017). La defoliación puede resultar de daños severos (más del 60 %). Podría producirse una disminución en el rendimiento si la enfermedad se detecta a tiempo. Sin embargo, si la infección ocurre al final del ciclo de cultivo, los niveles de cuajado de frutos en el ciclo de cultivo posterior mostrarán el impacto (Gichuru et al., 2021).

2.2.5. Aspectos epidemiológicos

2.2.5.1. Generalidades

H. vastatrix para poder parasitar las hojas del cafeto se deben dar unas circunstancias específicas. En particular, necesita un chorrillo de lluvia para iniciar el proceso de dispersión entre las hojas y entre las plantas y una capa de agua en el envés de las hojas para poder germinar (Zambolim, 2016). Todos estos parámetros deben cumplirse junto a temperaturas de 16 a 18 °C y circunstancias de baja intensidad lumínica (Gichuru et al., 2021).

2.2.5.2. Sobrevivencia

Las urediniosporas pueden sobrevivir hasta 6 semanas en un ambiente seco, mientras que *H. vastatrix* es un parásito obligado que solo puede prosperar en el tejido vivo del huésped (Quispe et al., 2017). No sobrevive en restos de cultivos y no se han identificado huéspedes sustitutos (Talhinhas et al., 2017).

2.2.5.3. Dispersión

El proceso lo llevan a cabo las urediniosporas, que son las enormes cantidades de polvo de color amarillo o naranja que se pueden observar en el envés de las hojas. El viento y la lluvia mediante salpicaduras son dos estímulos abióticos que potencian la propagación del hongo (Zambolim, 2016; Talhinhas et al., 2017). Las salpicaduras de las gotas de lluvia fomentan la distribución local de hoja en hoja o entre plantas, especialmente en plantaciones densas. El principal factor en la dispersión de las urediniosporas a grandes distancias en las regiones productoras de café es el viento (Rivillas et al., 2011). Además, aunque en pequeñas cantidades, se ha afirmado que varios insectos, incluidos trips, moscas y avispas, ayudan en su propagación. La dispersión a través de grandes distancias entre continentes y países puede requerir intervención humana (Cristancho et al., 2012).

2.2.5.4. Multiplicación

El hongo está lo suficientemente desarrollado como para crear soros, que son estructuras encargadas de crear nuevas urediniosporas, luego de 30 días de la etapa de infección y colonización del tejido foliar. Una hoja genera alrededor de 1600 esporas por milímetro cuadrado (mm²) durante el período de cuatro a cinco meses, las cuales se

dispersan para iniciar el nuevo ciclo de infección. El período de latencia de la zona cafetera de Colombia puede variar de 34 a 37 días bajo luz solar directa y de 31 a 35 días en sombra (Rivillas et al., 2011; Cristancho et al., 2012). En estudios recientes realizados en esas mismas localidades por Cenicafe, se reconoció el impacto de las variaciones climáticas recientes sobre la roya, especialmente en lo que respecta a aquellos períodos de incubación y latencia, que momentáneamente experimentan aumentos o disminuciones, respecto a los valores anteriores, dependiendo de las condiciones ambientales, en este caso la temperatura (Avelino et al., 2018).

Las observaciones de la década de 1980 sobre el comportamiento de la roya del café mostraron que la enfermedad aparecía con mayor frecuencia de diciembre a marzo, cuando el clima era frío. Numerosos países, incluidos Brasil, Guatemala y México, han informado haber visto este suceso (Julián, 2023; Paredes, 2023). En estudios recientes realizados en esas mismas localidades por Cenicafe, se reconoció el impacto de las variaciones climáticas recientes sobre la roya, especialmente en lo que respecta a aquellos períodos de incubación y latencia, que momentáneamente experimentan aumentos o disminuciones, respecto a los valores anteriores, dependiendo de las condiciones ambientales, en este caso la temperatura. (Rivillas et al. 2011; Virginio y Astorga, 2015; Avelino et al., 2018).

Con base en el comportamiento de la roya del café en la década de 1980, se descubrió que la enfermedad aparecía con mayor frecuencia de diciembre a marzo, cuando el clima era fresco. Brasil, Guatemala y México son sólo algunas de las naciones donde se está observando este fenómeno (Rivillas et al., 2011; Cosme, 2022).

2.2.6. Control de la roya

2.2.6.1. Control cultural

Se aconseja minimizar la sombra, evitar rangos de temperatura que favorezcan el crecimiento del hongo, lo que también reducirá la humedad relativa y favorecerá aún más el crecimiento del área foliar y la vida media de las hojas (Rivillas et al., 2011). Evite el uso de plantaciones densas (más de 10 000 tallos por sitio) para evitar el crecimiento de numerosos retoños que provocan la autosombra (Avelino et al., 2018).

2.2.6.2. Control genético

En el Lejano Oriente se están eligiendo o probando diferentes cepas de *C. canephora*, *C. liberica*, especies estrechamente relacionadas, y *C. congensis* para determinar su resistencia a esta enfermedad (Gichuru et al., 2021). En Java, en general se ha demostrado que *C. liberica* y sus híbridos con *C. arabica* son demasiado vulnerables y producen granos de calidad insuficiente para competir eficazmente con el café robusta y sus híbridos (Virginio y Astorga, 2015). Aunque los genetistas acaban de obtener la mayor selección de los

híbridos con *C. congensis* y los híbridos que pueden obtener con *C. arabica*, se han llegado a generar muchos buenos clones de café robusta y se seguirán cultivando durante algún tiempo en Indonesia debido a la importancia comercial futura debido a su destacada resistencia a la roya del café (Zambolim, 2016; Avelino et al., 2018).

Hay muy pocas posibilidades de que se produzca una hibridación espontánea entre las dos especies. Los híbridos intervarietales (resultado del cruce de variedades) se crearon combinando cuidadosamente el híbrido Timor con otros tipos comerciales. Se cruzó con "Caturra", "Villa Sarchi" y "Catua", produciendo los Catimores, Sarchimores y Cavimores, respectivamente (Cosme, 2022; Julián, 2023; Paredes, 2023). La disponibilidad de variedades resistentes a la roya, con características de productividad y calidad en tasa ha sido un reto constante para los fitomejoradores. Sin embargo, estos con el tiempo, pueden llegar a ser susceptibles a nuevas razas del patógeno, que se pueden desarrollar a través de mutaciones genéticas (Rivillas et al., 2011; Cristancho et al., 2012).

2.2.6.3. Control químico

La fenología de la planta, para lo cual se requiere comprender e identificar los períodos de máxima vulnerabilidad y los elementos de manejo que pueden afectar la enfermedad, fundamenta el manejo químico de la roya del café (Quispe et al., 2017). Los métodos de control de la oxidación más comunes emplean compuestos con cobre como ingrediente principal (Talhinhas et al., 2017; Gichuru et al., 2021). Asimismo, se descubrieron que en Honduras, 3 a 4 aplicaciones de hidróxido de cobre a razón de 2 kg/ha durante el inicio de la temporada de lluvias, separadas por uno a dos meses, eran suficientes para controlar la roya. Los triazoles se encuentran entre los productos sistémicos disponibles (triadimefon, hexaconazol, ciproconazol) (Cosme, 2022; Julián, 2023; Paredes, 2023).

2.3. Fungicidas

2.3.1. Definición

Los fungicidas sintéticos son sustancias químicas que se emplean en la agricultura para controlar hongos fitopatógenos, causantes de enfermedades en los cultivos y sus derivados. Cada uno de estos fungicidas actúa de manera distinta: pueden inhibir la respiración celular al unirse a la subunidad específica del complejo II de la cadena respiratoria o bloquear el transporte de electrones en la mitocondria. También es posible que impidan la división celular, la síntesis de la pared celular, la formación de microtúbulos o la producción de ergosterol, un componente esencial en la estructura de los hongos (Quevedo, 2012). Asimismo, el uso reiterado de fungicidas con mecanismos de acción similares puede favorecer la aparición de cepas resistentes, por lo que se recomienda rotar diferentes tipos de fungicidas y combinar

técnicas de manejo integrado de plagas (MIP). Por lo tanto, es fundamental seguir las dosis y tiempos de aplicación indicados por el fabricante para evitar residuos tóxicos en el medio ambiente y en los alimentos (Gutiérrez, 2016).

2.3.2. Clasificación de los fungicidas

Quevedo (2012) y Gutiérrez (2016), citan la siguiente clasificación de los fungicidas.

2.3.2.1. Por su sitio de acción

a. Fungicidas uni-sitios: Este es el término utilizado para describir un fungicida cuya actividad se dirige contra un punto específico en el metabolismo del hongo o contra una única enzima o proteína vital necesaria para el hongo. La posibilidad de desarrollar resistencia es mayor cuando un fungicida tiene un lugar de acción particular.

b. Fungicidas multi-sitios: Fungicida que tiene un impacto en muchos sitios metabólicos de los hongos. Por ejemplo, el grupo cúprico de fungicidas actúa bloqueando al menos cinco de las actividades metabólicas del hongo. Hay pocas posibilidades de que estos fungicidas causen resistencia.

2.3.2.2. Por su modo de acción

a. Fungicidas de contacto: Cuando se aplica a una planta, este tipo de fungicida permanece en la superficie de la planta. Después de la infección, estos fungicidas no tienen ningún efecto controlable. Son necesarios intervalos de aplicación de 7 a 14 días para salvaguardar el crecimiento de las plantas frescas y reemplazar el producto que ha sido arrastrado por el riego o la lluvia, o deteriorado por elementos ambientales como la luz solar.

b. Fungicidas sistémicos: Estos fungicidas son absorbidos por las plantas a través de sus raíces o follaje, donde normalmente son transportados hacia arriba e internamente a través de la xilema y, con poca frecuencia, hacia abajo a través del floema. Incluso después de la infección, estos fungicidas todavía tienen efectos controlables.

2.3.3. Triazoles

La inhibición de la actividad de la enzima esterol NADPH oxígeno oxidoreductasa, que se encarga de catalizar la desmetilación del C₁₄ durante la conversión de lanosterol en ergosterol, distingue a los fungicidas triazol de otros fungicidas inhibidores de la biosíntesis de esteroides (SBI) y del grupo de inhibidores de la desmetilación del carbono 14 (DMI). Como resultado, la acumulación de 14-metil-esteroides. Afectan a los ascomicetos, basidiomicetos y deuteromicetos. Funciona contra la roya, el oídio y, cuando sea necesario,

algunos hongos que crean manchas foliares, como los de los géneros *Venturia*, *Alternaria*, *Penicillium*, *Monilia*, *Cercospora*, etc. (Brent y Hollomon, 2007; Rozo y Cristancho, 2010).

En una prueba de eficiencia de fungicidas a nivel de campo determinaron mayores porcentajes de infección en los tratamientos con oxiclورو de cobre, caldo bordelés, Nativo (Tebuconazole+Trifloxystrobin) y el testigo. Los fungicidas Alto 100 (Cyproconazole), Caporal (Triadimenol), Duett (Epoconazole) y Silvapur (Tebuconazole + Triadimenol) presentan porcentajes de infección estadísticamente más bajos. Con porcentajes de incidencia de “Alto 100”; 9,79 % y “Duett”, 10,60 %; seguidos de “Caporal”, 18,60 % y “Silvapur”, 22,30 %. Los otros fungicidas presentaron niveles de infección estadísticamente más elevados: “Nativo”, 44,80 %; “oxiclورو de cobre”, 61,40 %; “Caldo Bordanés” 68,00 %; y el testigo sin aplicación 71,20 %. No existe información bibliográfica de ensayos de eficiencia de Triazoles y estrobilurinas a nivel de invernadero, aun cuando estos están recomendados para su uso en esta etapa de desarrollo del cultivo (Campos et al., 2013).

2.3.4. Strobilurinas

Varias especies del hongo *Strobilus* spp. Crean naturalmente derivados del ácido metoxiacrílico conocidos como estrobilurinas. Se ha identificado como método de acción la supresión de la respiración mitocondrial mediante la unión a una ubicación particular del citocromo b. La síntesis de análogos con capacidades antifúngicas ha sido impulsada por los prototipos estructurales conocidos como estrobilurinas. La azoxistrobina, el kresoxim-metilo, la picoxistrobina, la piraclostrobina y la trifloxistrobina son algunos ejemplos. Estos fungicidas se aplican a una variedad de cultivos, incluidos los cereales, donde se usan para tratar *Erysiphe graminis tritici* f.sp., que causa el mildiú polvoriento en el trigo, y *Septoria tritici*, que causa la septoria foliar en el trigo. También se pueden utilizar como terapias o para combatir *Plasmopara viticola*, el organismo que causa el mildiú y el oidio en las vides. Estos fungicidas tienen un código FRAC 11, lo que los convierte en unos de los que tienen mayor riesgo de provocar resistencias (Brent y Hollomon, 2007).

2.3.5. Reporte de resistencia de fitopatógenos a triazoles y estrobilurinas

El Fungicide Resistance Action Committee (FRAC) tiene como responsabilidad principal evaluar, monitorear y analizar de manera continua los fungicidas, con el objetivo de detectar e identificar la aparición de cepas resistentes a estos productos. Además, este comité ha desarrollado un código que clasifica los fungicidas de acuerdo con su probabilidad de generar resistencia (Brent y Hollomon, 2007). Este sistema de codificación resulta clave para orientar a los productores en la rotación de ingredientes activos y, así, prevenir la propagación de cepas resistentes (Roza y Cristancho, 2010).

Tabla 1. Fitopatógenos resistentes a Triazoles (FRAC, 2019).

Patógeno	Enfermedad	Hospedante
<i>Erysiphe graminis f.sp. tritici</i>	Oídio	Trigo
<i>Erysiphe graminis f. sp hordei</i>	Oídio	Cebada
<i>Sphaerotheca fuliginea</i>	Oídio	Cucurbitaceas
<i>Uncinula necator</i>	Mildiu	Uva
<i>Botrytis cinerea</i>	Varios	Varios
<i>Puccinia horiana</i>	Roya	Crisantemo
<i>Mycosphaerella fijiensis</i>	Sigatoka negra	plátano
<i>Venturia inaequalis</i>	Sarna	Manzana

Fuente: FRAC (2019).

Las estrobilurinas, poseen el máximo riesgo (Código FRAC 11), mientras que los triazoles poseen el código 3 del FRAC y posee de medio a alto riesgo de generar resistencia. En los Cuadros 1 y 2, se presenta los patógenos sobre los cuales se ha determinado resistencia de los triazoles y estrobilurinas (FRAC, 2019), en ninguno de ellos se reporta resistencia a *Hemileia vastatrix*.

Tabla 2. Fitopatógenos resistentes a estrobilurinas (FRAC, 2019).

Patógeno	Enfermedad	Hospedante	Distribución
<i>Erysiphe graminis f.sp. tritici</i>	Oidiosis	Trigo	N. da Europa
<i>Erysiphe graminis f. sp hordei</i>	Oidiosis	Cebada	Escocia
<i>Sphaerotheca fuliginea</i>	Oidiosis	Cucurbitaceas	Asia, España
<i>Psuedoperonospora cubensis</i>	Mildius	Cucurbitaceas	Japón
<i>Plasmopara viticola</i>	Mildius	Uva	Francia, Italia
<i>Mycosphaerella fijiensis</i>	Sigatoka negra	Plátano	Costa Rica
<i>Venturia inaequalis</i>	Sarna	Manzana	Alemania

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Lugar de ejecución

El presente trabajo, se realizó en el Laboratorio de Fitopatología e invernadero de la facultad de Agronomía de la Universidad Nacional Agraria de la Selva (UNAS), ubicado en la ciudad de Tingo María; geográficamente corresponde al distrito de Rupa Rupa, Provincia de Leoncio Prado, Región Huánuco. Las coordenadas UTM del lugar son:

Este : 0390733

Norte : 8970441

Altitud : 670 msnm.

3.2. Metodología

3.2.1. Metodología estadística

3.2.1.1. Componentes en estudio

a. **Cultivo:** Plántulas de café variedad caturra.

b. **Fungicidas sistémicos:** Triazoles y Strobilurinas.

3.2.1.2. Tratamientos en estudio

Los tratamientos están constituidos por 9 fungicidas sistémicos más un testigo, el mismo que se presentan en la Tabla 3. En un primer ensayo estos fueron aplicados todos en un mismo momento, pero inoculados 10 días después con uredosporas de *H. vastatrix*. Asimismo, en otro ensayo se probó la eficiencia individual de cada fungicida bajo presión de inóculo natural.

Tabla 3. Descripción de los tratamientos.

Clave	Descripción	Dosis
T ₁	Difenoconazole 250 g/L + Pyraclostrobin 78,70	1%
T ₂	Carbendazim 125 g/L + Propiconazole 125 g/L	1%
T ₃	Azoxystrobin 200 g/L + Ciproconazole 80 g/L	1%
T ₄	Pyraclostrobin 13,30 g + Epoxiconazole 5,00 g	1%
T ₅	Azoxystrobin 20 % + Difenoconazole 12,50 %	1%
T ₆	Tebuconazol 430 g/ L	1%
T ₇	Azoxistrobina 120 g/ L + Tebuconazol 200 g/ L	1%
T ₈	Azoxystrobin 200 g/L + Difenoconazole 125 g/L	1%
T ₉	Tebuconazole 500 g/kg + Trifloxystrobin 250	1%
T ₁₀	Testigo	1%

3.2.1.3. Diseño experimental

Para el presente estudio se utilizó el DCA con 10 tratamientos con 10 (plántulas) repeticiones. Las características evaluadas de cada uno de los tratamientos se sometieron al análisis de variancia y para la comparación de los promedios se utilizó la prueba de Tukey ($\alpha = 0,05$) a un nivel de significación de 0,05; el modelo aditivo lineal y el esquema del ANVA se presentan a continuación.

$$Y_{ij} = u + T_i + \epsilon_{ij}$$

Donde:

Y_{ij} = Es el valor observado en la unidad experimenta del j - ésima repetición a la cual se lo aplicó el i - ésimo tratamiento.

U = Es el efecto de la media general.

T_i = Es el efecto de la i - ésimo tratamiento.

ϵ_{ij} = Es el efecto aleatorio del error experimental de la unidad experimental del j - ésima repetición a la cual se le aplico el i - ésimo tratamiento.

Para:

$i = 1, 2, 3, \dots, 10$ tratamientos.

$j = 1, 2, 3, \dots, 10$ repeticiones.

Tabla 4. Esquema del análisis de variancia.

Fuente de variación	Grados de libertad
Tratamientos	9
Error experimental	90
Total	99

3.2.2. Metodología de ejecución

3.2.2.1. Ejecución del experimento

Para realizar los ensayos se obtuvieron semillas de la variedad caturra de la finca “Ave Fénix” Ubicado en el sector de Santa Herminia, distrito de Villa Rica, región Pasco. La germinación de las semillas se realizó en el invernadero y laboratorio de Fitopatología empleando como sustrato arena fina lavada. El sustrato para la producción de plántulas de café se obtuvo de suelos de bosque, que a su vez fue esterilizado en autoclave a 15 libras de presión por 30 minutos. El repique se realizó en bolsas polietileno de 1 kg de sustrato cuando las plantas alcanzaron el estado de fosforito. Las plantas fueron mantenidas en un

ambiente cerrado con un régimen de 12 horas de luz artificial y 12 horas de oscuridad. Esto se realizó con la finalidad de evitar la infección de las plántulas por inoculo natural de *H. vastatrix*.

3.2.2.2. Evaluación del control de fungicidas sistémicos sobre roya amarilla bajo condiciones de inoculo natural

Esta se realizó con la finalidad de evaluar la eficacia de los diferentes fungicidas bajo presión de inoculo natural de *H. vastatrix*. Previo al uso de los fungicidas, se calibró la mochila llenándola con agua y utilizándola para tratar 10 plantas de cada tratamiento; luego se midió el consumo de agua y se tomó en consideración el promedio de las repeticiones. El coste medio por tratamiento fue de 50 mL. La aplicación de los fungicidas se realizó una sola vez, exactamente cuándo o las plántulas tuvieron dos pares de hojas; se preparó la solución fungicida separadamente por tratamiento y se procedió a fumigar, aislando a 10 plántulas de cada tratamiento, para evitar el efecto de uno sobre otro; se fumigó completamente por planta con la solución fungicida.

3.2.2.3. Evaluación del control de fungicidas sistémicos sobre roya amarilla bajo condiciones de invernadero e inoculación asistida

Los fungicidas fueron aplicados cuando las plántulas de café tuvieron dos pares de hojas. Los tratamientos y las dosis para aplicar fueron las sugeridas por el fabricante (Tabla 3). Para cada tratamiento se empleó 10 plántulas a las cuales se le fumigó completamente siguiendo el procedimiento anteriormente descrito. Las plántulas fueron mantenidas en un ambiente cerrado con un régimen de 12 horas de luz artificial y 12 horas de oscuridad con la finalidad de evitar la presión de inoculo natural.

Las uredosporas de *H. vastatrix* fueron obtenidas de hojas infectadas de café de una sola planta de la variedad caturra de una plantación comercial ubicado en el sector CAFESA, ubicado en el Centro Poblado Pumahuasi del distrito de Daniel Alomia Robles, Provincia de Leoncio Prado, a una altitud no mayor de los 810 msnm. De las lesiones esporuladas se colectaron las uredosporas mediante el empleo de un pincel de pelo de camello.

Se realizó una sola Inoculación exactamente a los 10 días después de la aplicación de los fungicidas. El método de inoculación fue realizado empleando la técnica utilizada por Capucho et al. (2005) y Capucho et al. (2007). Esta técnica consiste en añadir primero 1 ml de agua destilada estéril a un microtubo que contiene 4 mg de uredosporas de *H. vastatrix* para preparar el inóculo. La suspensión se homogeneizó ligeramente antes de añadir 1 cm³ de agua. Utilizando una micropipeta y 10 gotas de la suspensión de uredosporas en un volumen de 5 L se inoculó el envés de cada hoja. Durante todo el proceso de inoculación, el inoculo fue sometido a varias homogenizaciones para que permanezcan en suspensión. Se

colocó una bolsa de plástico negra sobre las plantas infectadas durante 48 horas. Pasado este tiempo, se utilizó una bolita de algodón húmeda para limpiar suavemente la superficie del envés de las hojas. Este procedimiento intentó eliminar las uredosporas que no se adherían y evitar la contaminación por el hongo parásito *H. vastatrix*.

3.2.3. Metodología de evaluación

Mediante la cuantificación de hojas sanas y enfermas en café, se estimó el porcentaje de incidencia de la roya amarilla (*H. vastatrix*), el índice de severidad, el área bajo la curva de progreso de la enfermedad (ADCPE) y la tasa de progreso de la enfermedad. Todo el análisis se realizó siguiendo la metodología, el procesamiento de datos y la presentación de resultados establecidos por Bartra (2017).

3.2.3.1. Incidencia de la enfermedad

En cada una de las plántulas de cada tratamiento se cuantifico el número de hojas roya del cafeto *H. vastatrix* bajo condiciones naturales e inoculación asistida. Las evaluaciones se realizaron cada 15 días empezando en el mes de mayo 2015 al mes de septiembre del 2015. Con los datos obtenidos se cuantifico la incidencia de cada enfermedad utilizando la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Incidencia} = \frac{\text{Hojas enfermas con roya amarilla}}{\text{Hojas totales (sanas + enfermas)}} \times 100$$

La curva de comportamiento para cada enfermedad y terapia considerada se creó graficando los datos de incidencia representados como un porcentaje acumulativo de hojas infectadas con roya a lo largo del tiempo. La proporción de hojas enfermos (X_t), en las diferentes evaluaciones, expresada en forma acumulativa fue calculada mediante la fórmula:

$$X_t = \frac{X_{ct}}{Y_{ct}} = \frac{X_{at} + X_{qct}}{Y_{at} + Y_{qct}}$$

Dónde:

X_{ct} = Proporción de hojas enfermos.

X_{at} = Número actual de hojas enfermos.

Y_{ct} = Número actual de hojas.

q = Caído.

t = Tiempo.

A partir de la cuantificación periódica mensual se estimó la tasa de progreso de la enfermedad y el área de la curva de progreso de la enfermedad (ADCPE) conforme se describe a continuación:

3.2.3.2. Severidad de la enfermedad

Las evaluaciones se realizaron cada 15 días, iniciando a los 25 días después de la aplicación de los fungicidas y a 15 días después de la inoculación de las uredosporas de *H. vastatrix*, esta se realizó empleando la escala propuesta por Servicio Nacional de Sanidad Agraria [SENASA] (2003) (Tabla 3). Asimismo con los datos de severidad se determinó el índice de intensidad o infección que es la proporción de tejido enfermo (severidad) con relación al total de la superficie cuya fórmula se presenta a continuación:

$$II = \frac{\sum_{i=1}^k g_i f_i}{g_k n} = \frac{g_1 f_1 + g_2 f_2 + g_3 f_3 + \dots + g_k f_k}{g_k n}$$

Donde:

II : Índice de intensidad de daño.

g : Grado de severidad.

f : Frecuencia en cada grado.

n : Población evaluada.

g_k : Grado más alto establecido.

Tabla 5. Escala de severidad para la evaluación de roya del cafeto (SENASA, 2003).

Grado	Descripción
0	Sano o sin síntomas visibles
1	Síntomas visibles llegando de 1 a 5 % del área total sana
2	Las manchas empiezan a unirse llegando a ocupar del 6 al 20 % del área sana
3	Las hojas comienzan a necrosarse de manera muy notoria afectando el 21 al 50 % del área sana
4	Mayor al 50 del área foliar se encuentra afectada

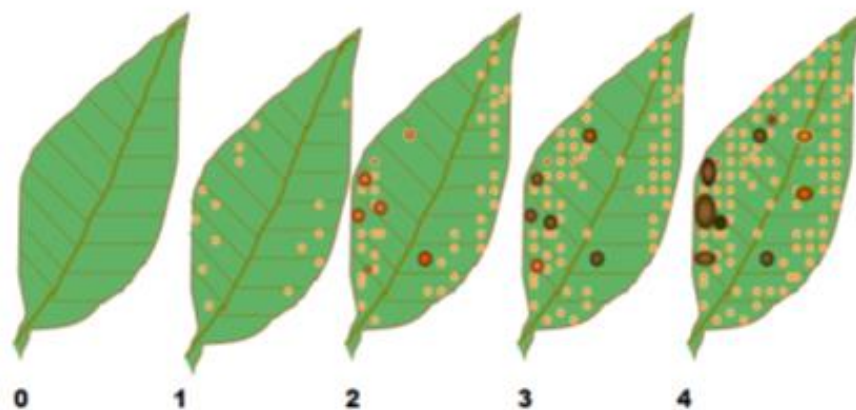


Figura 1. Escala de severidad propuesta (SENASA, 2003).

3.2.3.3. Tasa de progreso de la enfermedad

Se derivó utilizando información sobre la prevalencia y gravedad de la afección, a partir de la cual se derivó la curva de progresión de la enfermedad para cada tratamiento bajo investigación a lo largo del tiempo (Hernández, 1986). Para explicar cómo se desarrolla la enfermedad en función del tiempo, los datos del porcentaje de enfermedad se ajustaron mediante un modelo de regresión lineal simple.

$$Y_i = B_0 + B_1 * x$$

Donde:

Y_i : Incidencia o severidad

B_0 : Tasa de infección

B_1 : Intercepto

x : Tiempo

3.2.3.4. Área debajo de la curva de progreso de la enfermedad (ADCPE)

ADCPE fue calculada por la ecuación siguiente:

$$ADCPE = \sum_{i=1}^n \frac{(E_i + E_{i+1})}{2} [T_{i+1} - T_i]$$

Dónde:

E_i = Proporción de enfermedad en la i -ésima observación.

T_i = Tiempo (días) en la i -ésima observación.

n = Número total de observaciones.

3.2.3.5. Análisis económico

Para conocer la rentabilidad de cada uno de los tratamientos en vivero se procedió a determinar el número de plantas (5000) a producir es decir una hectárea a una densidad de (1 x 2), seguidamente se procedió a determinar el costo de producción en la cual se incluyen costos de instalación de vivero, manejo del vivero e insumos (Anexo Tabla 25) esto se hizo para cada tratamiento y según las necesidades de costos por insumos, mano obra, equipo para aplicación y materiales que se usaron en el manejo del cultivo durante la duración del presente trabajo experimental. Finalmente se calculó los parámetros, de la siguiente manera:

$$\text{Utilidad neta} = \text{Ingreso bruto} - \text{Costo de producción}$$

$$\text{Relación Beneficio/Costo} = \frac{\text{Venta neta}}{\text{Costo de producción}}$$

$$\text{Índice de rentabilidad} = \frac{\text{Utilidad neta}}{\text{Costo de producción}}$$

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Número de hojas enfermas y sanas

4.1.1. Análisis de variancia

En la Tabla 6, se muestra el análisis de varianza de hojas totales, sanos y enfermos en condiciones de inoculación asistida y condiciones naturales donde: se encontró que para hojas enfermas y hojas sanas, existe diferencias estadísticas altamente significativas, mientras que para el parámetro hojas totales solo no se encontró diferencias. Los coeficientes de variabilidad fluctuaron desde muy buena homogeneidad (8,50 %) a regular homogeneidad (23,53 %), coeficientes que son aceptables para condiciones de invernadero.

Tabla 6. Análisis de varianza del número de hojas sanas y enfermas con roya a los 120 días después de la inoculación y 130 días después de la aplicación de los tratamientos.

Fuente de variación	G.L.	Hojas totales			Hojas enfermas			^{1/} Hojas sanas		
		S.C.	C.M.	Sig.	S.C.	C.M.	Sig.	S.C.	C.M.	Sig.
Con inoculación										
Tratamientos	9	42,76	4,75	NS	587,30	65,25	AS	20,41	2,27	AS
Error experimental	90	188,80	2,10		319,70	3,55		16,85	0,19	
Total	99	231,56			907,00			37,26		
CV (%):		9,27			23,53			15,08		
Sin inoculación										
Tratamientos	9	21,45	2,38	NS	144,56	16,06	AS	153,61	17,07	AS
Error experimental	90	163,30	1,81		15,20	0,17		158,50	1,76	
Total	99	184,75			159,76			312,11		
CV (%):		8,50			15,53			10,08		

AS: Significación altamente estadística al 1 % de probabilidad.

NS: No existen diferencias estadísticas.

^{1/} Datos transformados a $\sqrt{x + 1}$ solo en el ensayo con inoculación.

F_{tab} (F tabular) = 2610.

4.1.2. Prueba de Tukey ($\alpha = 0,05$)

En la Tabla 7, además, de la comparación de medias (Tukey) se muestra el promedio para el número de hojas totales, enfermas y sanas en condiciones de inoculación asistida e inoculación natural. Para el número de hojas totales, aritméticamente no se encontró diferencias marcadas entre ambos ensayos, indicando que existe uniformidad entre las plántulas de café. Mientras que para la cantidad de hojas enfermas se encontró que bajo asperjado de uredosporas (8,01) el número de hojas se triplica en comparación al de inoculación asistida (2,68), este efecto se traduce en una mayor o menor número de hojas sanas, es decir existe una correlación inversa entre el número de hojas enfermas y sanas.

Tabla 7. Comparación de medias (Tukey $\alpha = 0,05$) para el número de hojas sanas, enfermas y totales a los 120 días después de la inoculación y 135 días después de la aplicación de los tratamientos.

Con inculcación asistida								
Hojas totales			Hojas enfermas			Hojas sanas		
Trat.	X	Sig.	Trat.	X	Sig.	Trat.	X	Sig.
T ₂	17,00	a	T ₃	5,60	a	T ₃	10,00	a
T ₁₀	16,40	a	T ₅	5,80	ab	T ₂	9,30	ab
T ₉	16,00	a	T ₄	6,50	abc	T ₅	9,20	ab
T ₈	15,70	a	T ₇	7,10	abc	T ₇	8,40	ab
T ₃	15,60	a	T ₆	7,40	abc	T ₄	8,30	ab
T ₇	15,50	a	T ₂	7,70	abc	T ₆	7,70	ab
T ₁	15,10	a	T ₈	8,00	abc	T ₈	7,70	ab
T ₆	15,10	a	T ₉	8,50	bc	T ₉	7,50	ab
T ₅	15,00	a	T ₁	8,90	c	T ₁	6,20	b
T ₄	14,80	a	T ₁₀	14,60	d	T ₁₀	1,80	c
Prom.	15,62			8,01			7,61	
Presión de inculo natural								
Hojas totales			Hojas enfermas			Hojas sanas		
Trat.	X	Sig.	Trat.	X	Sig.	Trat.	X	Sig.
T ₅	16,50	a	T ₁	2,90	a	T ₄	14,70	a
T ₉	16,40	a	T ₂	2,40	ab	T ₅	14,50	ab
T ₄	16,30	a	T ₃	2,00	ab	T ₃	14,10	ab
T ₃	16,10	a	T ₄	1,60	ab	T ₇	13,40	ab
T ₁₀	16,00	a	T ₅	2,00	ab	T ₆	13,20	ab
T ₁	15,90	a	T ₆	2,10	bc	T ₉	13,10	ab
T ₂	15,40	a	T ₇	2,00	bc	T ₁	13,00	ab
T ₇	15,40	a	T ₈	2,50	cd	T ₂	13,00	ab
T ₆	15,30	a	T ₉	3,30	d	T ₈	12,70	b
T ₈	15,20	a	T ₁₀	6,00	e	T ₁₀	10,00	c
Prom.	15,81			2,68			13,17	

Entre tratamientos unidos por la misma letra no existe significación estadística.

Leyenda:

T₁ = Difenconazole + Pyraclostrobin.
T₂ = Carbendazim + Propiconazole.
T₃ = Azoxystrobin + Ciproconazole.
T₄ = Pyraclostrobin + Epoxiconazole.
T₅ = Azoxystrobin + Difenconazole.

T₆ = Tebuconazol.
T₇ = Azoxystrobin + Tebuconazol.
T₈ = Azoxystrobin + Difenconazole.
T₉ = Tebuconazole + Trifloxystrobin.
T₁₀ = Testigo.

La mayor cantidad de hojas enfermas en el ensayo con inoculación asistida se debe a que esta simula condiciones favorables para la germinación del hongo, mientras que en condiciones naturales las esporas deben esperar que exista condiciones de luz, temperatura

y humedad favorables para germinar. Al respecto, Rivillas et al. (2011) y Cristancho et al. (2012), sustentan que diferentes investigaciones se ha determinado que se requiere agua para la germinación de las uredosporas, y que ésta ocurre entre 3 a 5 horas a 23 °C, la formación de apresorio toma de 7 - 9 horas. Por su parte Virginio y Astorga (2015) y Quispe et al. (2017), citan que para esta etapa, el hongo requiere de una capa de agua, condiciones de poca o ninguna luminosidad, y temperaturas inferiores a 28 °C y superiores a 16 °C.

Para el ensayo de inoculación asistida el tratamiento T₃ (Azoxystrobin + Ciproconazole) con un valor de 5,60 enfermas solo muestra diferencias estadísticas a los tratamientos T₉ (Tebuconazole + Trifloxystrobin), T₁ (Difenoconazole+ Pyraclostrobin) y T₁₀ (Testigo); sin embargo, todos los tratamientos muestran diferencias estadísticas frente al testigo en el número de hojas enfermas y sanas. Las diferencias estadísticas entre los tratamientos no muestran una tendencia clara en el control. La misma tendencia se presenta en el ensayo con inoculación natural. Por otra parte, se hay que decir que la cantidad de hojas sanas y enfermas en el testigo muestran la susceptibilidad de la variedad Caturra a la roya del cafeto que en condiciones de inoculación asistida presentan altos valores de infección por lo que en un experimento realizado por Estrada (2015), encontró que a los 60 días después la inoculación los plantones de café Caturra alcanzaron en promedio tres hojas.

Se observa la existencia de variabilidad en la respuesta de ciertos tratamientos (Figura 2), especialmente para las variables en condiciones de inoculación asistida; asimismo, se puede visualizar que para el número de hojas enfermas en general los tratamientos con fungicidas comerciales en mezcla de Difenoconazole + Pyraclostrobin (T₁), Tebuconazole +Trifloxystrobin (T₉) y testigo (T₁₀) alcanzaron los mayores valores; por otro lado los tratamientos con Azoxystrobin + Ciproconazole (T₃), Pyraclostrobin + Epoxiconazole (T₄) y Azoxistrobina + Tebuconazol (T₇) y Azoxystrobin + Difenoconazole (T₅) alcanzaron los menores valores independientemente del tipo de inoculación. Resultados similares obtuvo Bartra (2017), en condiciones de campo encontrando que las aplicaciones de Azoxystrobin y Azoxystrobin + Tebuconazole lograron disminuir aproximadamente el 50 % de hojas enfermas con respecto al testigo. Los tratamientos mediante la inoculación asistida con aspersión de uredosporas de *H. vastatrix* producen el mayor número de hojas enfermas (90,92 %) en relación con los tratamientos en los que se expuso a inoculación natural. En el tratamiento testigo por inoculación asistida, la cantidad de hojas infectadas vario de 12 a 16 hojas de un promedio de 16,40 hojas formadas, donde aproximadamente el 75 % de las plántulas tenían más de 13 hojas infectadas (Figura 2), mientras que bajo presión se inoculo natural este mismo tratamiento varió de 5 a 6 hojas infectadas.

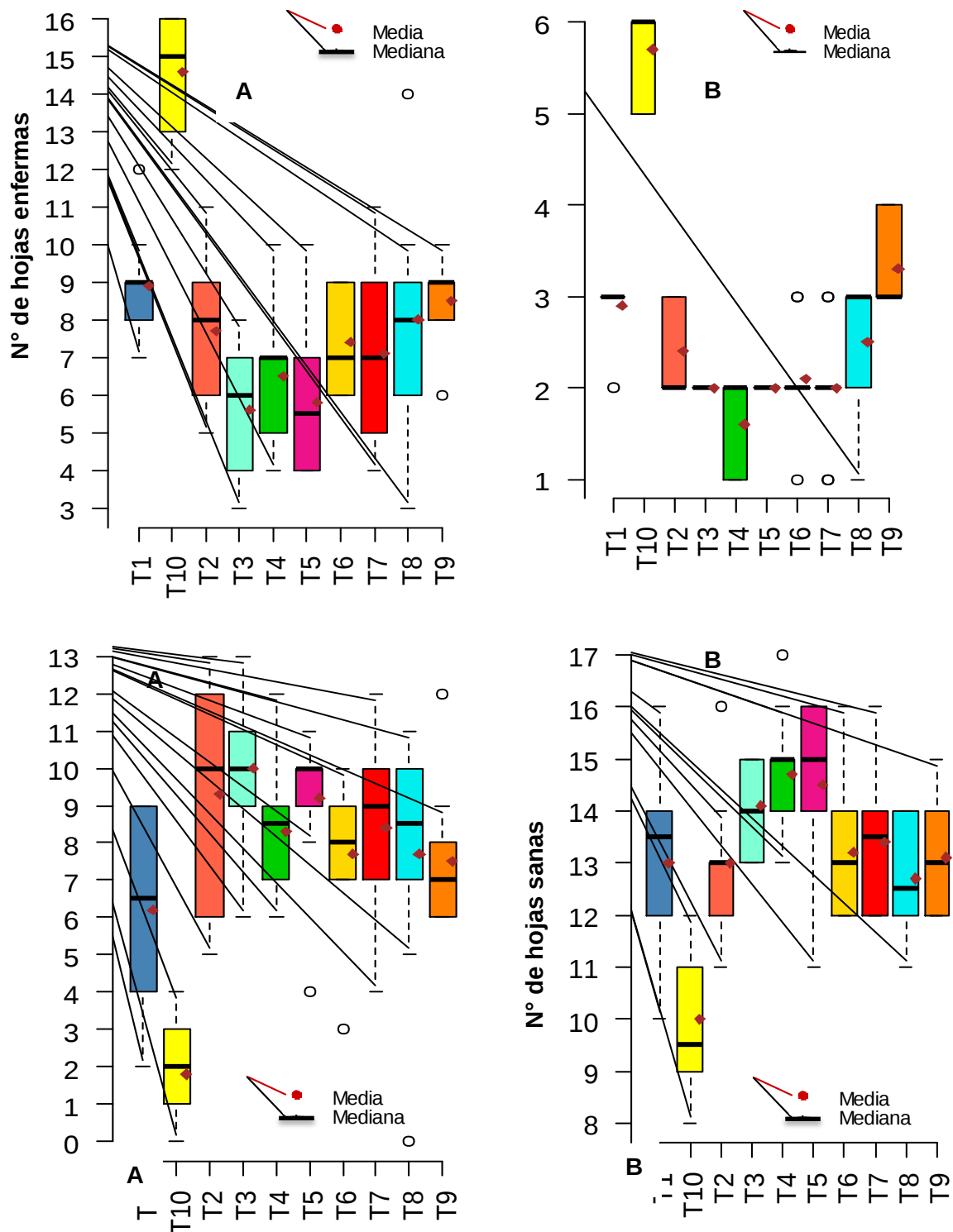


Figura 2. Diagrama de cajas (Box plots) para las hojas sanas y enfermas en condiciones de inoculación asistida (A) y presión de inoculo natural (B).

4.2. Cuantificación de la enfermedad

Todos los fungicidas bajo inoculación asistida mostraron relativamente eficiencia en la reducción de hojas enfermas, en la Tabla 8, se presenta la cuantificación de la enfermedad en términos de incidencia y severidad de roya (*H. vastatrix*) bajo condiciones de inoculación asistida hasta los 120 días después de la inoculación. Se observa que el 48,42 % de incidencia en hojas alcanzado en el tratamiento Testigo (T_{10}) a los 30 días después de inoculación (DDI) es estadísticamente semejante a los tratamientos T_1 y T_9 ; a los 45 DDI es semejante a los tratamientos T_9 y T_1 ; después de los 75 DDI todos los tratamientos son estadísticamente semejantes y superan al testigo. Estos resultados indicarían que los fungicidas empleados tienen efecto diferencial en el control solo hasta los 60 DDI con uredosporas de *H. vastatrix*. El incremento de las incidencias a partir de los 60 DDI en los tratamientos no es significativo; sin embargo, el Índice de Intensidad de Daño (IID) tiene un incremento sostenido que se refleja en diferencias estadísticas entre los tratamientos hasta los 120 DDI; lo que sugiere que el proceso de colonización y producción de uredosporas se ha incrementado sostenidamente.

Por todo lo mencionado, se puede indicar que al inicio del ensayo todos los tratamientos tienen igual o similar cantidad de inóculo inicial, por lo que los fungicidas en las tres primeras evaluaciones muestran su potencial de control sin restricciones diferenciándose estadísticamente entre ellos; posteriormente el efecto residual de los fungicidas disminuye el cual hace que aumente la infección no viéndose así diferencias entre los fungicidas probados, sin embargo el tratamiento T_3 (Azoxystrobin + Ciproconazole) alcanzó el menor valor con 37,65%, permitiendo aseverar que todos los fungicidas al menos para el porcentaje de incidencia mostraron efecto parecido debido al modo de acción combinado e individual de cada ingrediente activo; que por su parte los triazoles su mecanismo de acción está relacionado con el bloqueo en la formación de una molécula específica del hongo patógeno llamada Ergosterol, mediante un proceso denominado desmetilación (Rozo y Cristancho, 2010; Barquero, 2013; Brent y Hollomon, 2007; Virginio y Astorga, 2015; Calero, 2024), mientras que las estrobilurinas su actividad tiene lugar en las mitocondrias, donde inhibe el transporte de electrones de la cadena respiratoria, concretamente en la posición del complejo citocromo-bc1 (Bartlett et al., 2002). Según Morales (2018), los fungicidas sistémicos que, a diferencia de los productos protectores basados en cobre, penetran en la planta y tienen la posibilidad de movilizarse de manera translaminar, es decir, del haz al envés de la hoja.

Por su parte el testigo al final del experimento alcanzo 90,92 % de incidencia de roya diferenciándose estadísticamente de los demás tratamientos, esto debido a que no se le aplico ningún tipo de control por lo que se asevera que existe eficiencia de los fungicidas en las

Tabla 8. Comparación de medias (Tukey $\alpha = 0.05$) del porcentaje de incidencia y severidad de la roya del cafeto (*H. vastatrix*) bajo condiciones de inoculación asistida.

Incidencia																				
A los 30 días			A los 45 días			A los 60 días			A los 75 días			A los 90 días			A los 105 días			A los 120 días		
Trat.	%	Sig.	Trat.	%	Sig.	Trat.	%	Sig.	Trat.	%	Sig.	Trat.	%	Sig.	Trat.	%	Sig.	Trat.	%	Sig.
T ₂	9,17	a	T ₃	14,17	a	T ₃	17,48	a	T ₃	23,86	a	T ₃	26,70	a	T ₃	36,70	a	T ₃	37,65	a
T ₃	13,25	ab	T ₅	15,00	ab	T ₅	19,79	ab	T ₅	27,12	a	T ₇	33,54	a	T ₅	38,14	a	T ₅	38,66	a
T ₁	17,42	ab	T ₇	18,41	ab	T ₂	22,24	abc	T ₄	28,02	a	T ₄	35,48	a	T ₇	39,91	a	T ₄	42,41	a
T ₅	17,58	ab	T ₆	18,92	ab	T ₇	23,77	abc	T ₇	29,51	a	T ₅	35,83	a	T ₆	41,16	a	T ₇	46,78	a
T ₈	20,75	ab	T ₂	20,25	ab	T ₄	24,71	abc	T ₂	29,90	a	T ₈	36,37	a	T ₄	41,31	a	T ₈	47,53	a
T ₇	21,17	ab	T ₄	20,75	ab	T ₆	24,83	abc	T ₈	34,83	a	T ₆	36,73	a	T ₂	43,13	a	T ₂	48,82	a
T ₄	21,25	ab	T ₈	23,42	ab	T ₈	27,43	abc	T ₆	40,10	a	T ₂	36,81	a	T ₈	46,73	a	T ₆	49,39	a
T ₆	22,83	abc	T ₁	29,44	abc	T ₁	35,02	bc	T ₉	41,10	a	T ₉	42,56	a	T ₉	54,61	a	T ₉	52,98	a
T ₉	30,67	bc	T ₉	30,17	bc	T ₉	36,26	c	T ₁	42,84	a	T ₁	45,9	a	T ₁	56,71	a	T ₁	59,39	a
T ₁₀	48,42	c	T ₁₀	51,38	c	T ₁₀	58,88	d	T ₁₀	71,02	b	T ₁₀	74,58	b	T ₁₀	87,11	b	T ₁₀	90,93	b

Severidad																				
Trat.	%	Sig.	Trat.	%	Sig.	Trat.	%	Sig.	Trat.	%	Sig.	Trat.	%	Sig.	Trat.	%	Sig.	Trat.	%	Sig.
T ₂	2,54	a	T ₅	4,96	a	T ₃	6,93	a	T ₃	9,71	a	T ₃	11,66	a	T ₃	24,08	a	T ₃	26,72	a
T ₃	4,04	ab	T ₃	5,02	a	T ₅	9,27	a	T ₇	10,61	a	T ₇	16,67	ab	T ₆	25,02	ab	T ₄	27,78	a
T ₅	4,96	ab	T ₄	6,25	ab	T ₆	9,63	ab	T ₄	11,27	a	T ₄	16,85	ab	T ₄	25,39	ab	T ₈	28,77	a
T ₈	5,19	ab	T ₇	6,26	ab	T ₂	10,10	ab	T ₅	13,11	a	T ₆	17,28	ab	T ₇	25,48	ab	T ₅	29,73	a
T ₄	5,63	ab	T ₆	7,06	ab	T ₄	10,23	ab	T ₈	15,95	a	T ₅	21,90	ab	T ₅	27,24	abc	T ₇	31,81	ab
T ₇	5,71	ab	T ₂	7,23	ab	T ₇	10,73	ab	T ₂	16,33	a	T ₈	22,16	ab	T ₈	32,11	abc	T ₆	34,06	ab
T ₆	5,85	ab	T ₈	8,19	ab	T ₈	11,99	ab	T ₉	19,26	a	T ₂	23,64	ab	T ₂	32,41	abc	T ₂	37,55	ab
T ₁	5,92	ab	T ₁	9,64	b	T ₉	18,18	b	T ₆	19,53	a	T ₉	25,23	b	T ₁	39,49	bc	T ₉	42,37	ab
T ₉	9,02	bc	T ₉	11,46	bc	T ₁	19,00	b	T ₁	20,07	a	T ₁	26,12	b	T ₉	40,91	c	T ₁	46,00	b
T ₁₀	15,06	c	T ₁₀	19,94	c	T ₁₀	35,10	c	T ₁₀	43,34	b	T ₁₀	51,72	c	T ₁₀	68,81	d	T ₁₀	68,61	c

Entre tratamientos unidos por la misma letra no existe significación estadística.

Leyenda:

T₁ = Difenconazole + Pyraclostrobin.
T₂ = Carbendazim + Propiconazole.

T₃ = Azoxystrobin + Ciproconazole.
T₄ = Pyraclostrobin + Epoxiconazole.

T₅ = Azoxystrobin + Difenconazole.
T₆ = Tebuconazol.

T₇ = Azoxystrobin + Tebuconazol.
T₈ = Azoxystrobin + Difenconazole.

T₉ = Tebuconazole + Trifloxystrobin.
T₁₀ = Testigo.

condiciones de inoculación asistida. Esto indica que el control químico con fungicidas sistémicos es uno de los componentes más importantes en el manejo integrado de la roya del cafeto cuando se tienen plantaciones bajo alta presión de inóculo y alta susceptibilidad del hospedero a la enfermedad, esto debido a su acción preventiva y curativa tal como lo menciona Morales (2018) que los fungicidas sistémicos del grupo de los triazoles (Ciproconazole, Triadimefon, Hexaconazol, Propyconazol, entre otros) han mostrado un importante efecto sobre la roya del cafeto, y consecuentemente sobre la producción, cuando se aplican sobre el follaje, con acción preventiva y curativa.

En la Tabla 9, se presenta la cuantificación de la enfermedad en términos de incidencia y severidad de roya (*H. vastatrix*) bajo condiciones de inoculación natural hasta los 120 días después de la inoculación. Se ha observado que los fungicidas bajo presión de inóculo natural ejercen mayor eficiencia en comparación al primer ensayo (inoculación asistida), es así como a los 30 y 45 días después de la aplicación no existe incidencia y en efecto severidad visible, siendo superado solamente por el testigo y el tratamiento T₉ (Tebuconazole + Trifloxystrobin) que tuvieron incidencias de 6 y 13 % respectivamente a los 45 días. A los 60 días se encontró infección visible de roya en los tratamientos T₄ (Pyraclostrobin + Epoxiconazole), T₃ (Azoxystrobin + Ciproconazole) y T₆ (Tebuconazole) diferenciándose estadísticamente de los demás tratamientos pero sin diferenciarse del T₅ (Azoxystrobin + Difenconazole) y T₇ (Azoxystrobin + Tebuconazole); por su parte desde el día 75 al día 150, el tratamiento T₄ fue el mejor tratamiento, es así que a los 105 días alcanzó un porcentaje de incidencia y severidad de 9,00 y 2,20 % respectivamente.

Asimismo a los 120 días después de la aplicación de los fungicidas los tratamientos T₇, T₅, T₃ y T₄ mostraron mejores resultados llegando a tener 3,3; 3,1; 3,1 y 2,5 % de severidad respectivamente sin diferenciarse estadísticamente entre ellos, para el porcentaje de incidencia estos mismos tratamientos alcanzaron 13,06; 12,66; 12,38 y 9,31 % respectivamente, esto indicaría que bajo estas condiciones el inicio de la enfermedad se retrasa, tal como se ve en las tres primeras evaluaciones donde no se observa infección en los tratamientos, esto por efecto de la baja cantidad de inóculo y el buen control de los fungicidas que hacen que no exista diferencias significativas entre ellos, posteriormente los fungicidas muestran un comportamiento similar a las tres primeras evaluaciones en condiciones de inoculación asistida encontrándose diferencias significativas, debido a que la enfermedad inicia su desarrollo por efecto de la disminución diferencial del poder residual, el cual hace que los tratamientos T₇, T₅, T₃ y T₄ tengan buen efecto residual destacando el tratamiento T₄, esto también muestra que pese a que los tratamientos pertenecen a un mismo grupo de los fungicidas,

Tabla 9. Comparación de medias (Tukey $\alpha = 0,05$) del porcentaje de incidencia y severidad de la roya del cafeto (*H. vastatrix*) bajo condiciones de inoculación natural.

Incidencia																				
A los 30 días			A los 45 días			A los 60 días			A los 75 días			A los 90 días			A los 105 días			A los 120 días		
Trat.	%	Sig.	Trat.	%	Sig.	Trat.	%	Sig.	Trat.	%	Sig.	Trat.	%	Sig.	Trat.	%	Sig.	Trat.	%	Sig.
T ₉	0,00	a	T ₁	0,00	a	T ₄	0,00	a	T ₄	0,00	a	T ₄	6,00	a	T ₄	9,00	a	T ₄	9,31	a
T ₈	0,00	a	T ₅	0,00	a	T ₃	0,00	a	T ₆	6,00	b	T ₅	8,00	ab	T ₃	11,00	ab	T ₃	12,38	a
T ₇	0,00	a	T ₇	0,00	a	T ₆	0,00	a	T ₃	6,00	b	T ₃	8,00	abc	T ₅	11,00	ab	T ₅	12,66	a
T ₅	0,00	a	T ₈	0,00	a	T ₇	3,00	ab	T ₇	7,00	b	T ₇	9,00	abc	T ₇	13,00	abc	T ₇	13,06	ab
T ₁	0,00	a	T ₆	0,00	a	T ₅	4,00	ab	T ₈	7,00	b	T ₈	9,00	abc	T ₆	14,00	bc	T ₆	15,39	bc
T ₄	0,00	a	T ₂	0,00	a	T ₁	6,00	b	T ₅	7,00	b	T ₆	11,00	bcd	T ₂	15,00	bcd	T ₂	16,20	c
T ₃	0,00	a	T ₄	0,00	a	T ₂	7,00	b	T ₂	11,00	b	T ₂	12,00	bcd	T ₁	16,00	cd	T ₈	16,50	c
T ₂	0,00	a	T ₃	0,00	a	T ₈	7,00	b	T ₉	11,00	b	T ₉	14,00	cd	T ₈	16,00	cd	T ₁	17,95	c
T ₆	0,00	a	T ₉	6,00	b	T ₉	7,00	b	T ₁	11,00	b	T ₁	16,00	de	T ₉	19,00	d	T ₉	20,80	d
T ₁₀	10,00	b	T ₁₀	13,00	c	T ₁₀	20,00	c	T ₁₀	23,00	c	T ₁₀	21,00	e	T ₁₀	30,00	e	T ₁₀	38,01	e
Severidad																				
Trat.	%	Sig.	Trat.	%	Sig.	Trat.	%	Sig.	Trat.	%	Sig.	Trat.	%	Sig.	Trat.	%	Sig.	Trat.	%	Sig.
T ₉	0,00	a	T ₁	0,00	a	T ₄	0,00	a	T ₄	0,00	a	T ₄	1,50	a	T ₄	2,20	a	T ₄	2,50	a
T ₈	0,00	a	T ₅	0,00	a	T ₃	0,00	a	T ₃	1,60	b	T ₃	2,10	ab	T ₅	2,70	ab	T ₅	3,10	ab
T ₇	0,00	a	T ₇	0,00	a	T ₆	0,00	a	T ₆	1,60	b	T ₅	2,10	ab	T ₃	2,80	abc	T ₃	3,10	ab
T ₅	0,00	a	T ₈	0,00	a	T ₇	0,80	ab	T ₅	1,70	b	T ₇	2,20	ab	T ₇	3,10	abcd	T ₇	3,30	ab
T ₁	0,00	a	T ₆	0,00	a	T ₅	1,00	ab	T ₈	1,80	b	T ₈	2,30	ab	T ₆	3,50	bcde	T ₆	3,60	b
T ₄	0,00	a	T ₂	0,00	a	T ₁	1,60	b	T ₇	1,80	b	T ₆	2,80	bc	T ₂	3,70	bcde	T ₂	3,90	b
T ₃	0,00	a	T ₄	0,00	a	T ₂	1,70	b	T ₉	2,80	b	T ₂	3,00	bc	T ₈	4,00	cde	T ₈	4,10	b
T ₂	0,00	a	T ₃	0,00	a	T ₈	1,80	b	T ₂	2,80	b	T ₉	3,30	bc	T ₁	4,50	de	T ₁	5,40	c
T ₆	0,00	a	T ₉	1,40	b	T ₉	1,90	b	T ₁	2,80	b	T ₁	4,00	c	T ₉	4,80	e	T ₉	5,90	c
T ₁₀	2,50	b	T ₁₀	3,20	c	T ₁₀	6,10	c	T ₁₀	8,40	c	T ₁₀	8,60	d	T ₁₀	13,30	f	T ₁₀	16,20	d

Entre tratamientos unidos por la misma letra no existe significación estadística.

Legenda:

T₁ = Difenconazole + Pyraclostrobin.

T₂ = Carbendazim + Propiconazole.

T₃ = Azoxystrobin + Ciproconazole.

T₄ = Pyraclostrobin + Epoxiconazole.

T₅ = Azoxystrobin + Difenconazole.

T₆ = Tebuconazol.

T₇ = Azoxystrobin + Tebuconazol.

T₈ = Azoxystrobin + Difenconazole.

T₉ = Tebuconazole + Trifloxystrobin.

T₁₀ = Testigo.

difieren entre ingredientes activos y proporciones, porque el Azoxystrobin y el Pyraclostrobin, ejercen mayor efectividad en el control de roya, resultados similares que citan Bartlett et al. (2002), Rivillas et al. (2011), Cordero (2017), quienes probaron varios ingredientes activos para el control de roya del café recomendando finalmente el Azoxystrobin y Pyraclostrobin debido a que estos fungicidas tienen la posibilidad de actuar sobre el proceso de esporulación de la roya, razón por la cual se consideran como erradicantes, por su parte Bartra (2017) encontró que las aplicaciones de Tebuconazole, Azoxystrobin y Tebuconazole + Azoxystrobin mostraron mejores resultados con una incidencia de 23, 22 y 27 % respectivamente, mientras que el testigo tuvo 59 % de incidencia.

Los resultados muestran que existe correlación entre la incidencia y la severidad, esto se puede ver claramente en el tratamiento T₃ (Azoxystrobin + Ciproconazole), que alcanzó los más bajos valores de incidencia y severidad en el primer ensayo atribuyéndose a la agresividad que en condiciones favorables el periodo de latencia disminuye aumentando la probabilidad de infectar a las demás hojas, al respecto Cordero (2017), menciona que en el campo, las evaluaciones de roya en variedades susceptibles han evidenciado una alta asociación entre incidencia y severidad. En general se ha observado que en condiciones de inóculo natural los fungicidas probados ejercen mayor control y se diferencian estadísticamente entre ellos, lo que no sucede en condiciones de inoculación asistida donde los fungicidas alcanzan altos porcentajes de infección sin diferenciarse entre ellos, al menos para el porcentaje incidencia, esto indica que en condiciones de alta presión de inóculo se podría aplicar cualquiera de los fungicidas probados independientemente del precio del producto, al respecto Rivillas et al. (2011), citan que los triazoles son fungicidas que en fases más avanzada del proceso infectivo no ejercen ningún control sobre la enfermedad.

4.3. Progreso de la enfermedad

4.3.1. Incidencia

4.3.1.1. Análisis de variancia

El análisis de varianza realizado para evaluar el área y la tasa de infección en la curva de progreso de la incidencia de la roya (Tabla 10) reveló que al menos un tratamiento mostró diferencias significativas en comparación con los demás, bajo condiciones de inoculación asistida como en condiciones naturales. Además, los coeficientes de variabilidad obtenidos fueron aceptables, lo que indica que los datos presentan una dispersión controlada y que el experimento se desarrolló bajo condiciones adecuadas. Estos resultados son clave para determinar la eficacia de los tratamientos y su impacto en la progresión de la enfermedad, proporcionando información para futuras estrategias de control y manejo de la roya amarilla.

Tabla 10. Análisis de varianza para el ADCPE y la tasa de infección de la incidencia de *H. vastatrix* bajo dos condiciones inoculación.

Fuente de variancia	G.L.	^{1/} Tasa de infección			^{2/} ADCPE		
		S.C.	C.M.	Sig.	S.C.	C.M.	Sig.
Con inoculo							
Tratamientos	9	0,00004	0,00000	AS	59,32	6,591	AS
Error experimental	90	0,00004	0,00000		63,9	0,71	
Total	99	0,00007			123,22		
CV (%)		0,06			17,39		
Sin inoculo							
Tratamientos	9	0,00004	0,00000	AS	1254,88	139,43	AS
Error experimental	90	0,00001	0,00000		131,18	1,46	
Total	99	0,00004			1386,06		
CV (%)		15,84			17,69		

AS: Significación altamente estadística al 1% de probabilidad.

NS: No existen diferencias estadísticas.

^{1/}: Datos transformados a $\arcsin \sqrt{x}$ solo en el ensayo bajo inoculación asistida.

^{2/}: Datos transformados a $\sqrt{(x+1)}$ solo en el ensayo bajo inoculación asistida.

F_{tab} (F tabular) = 2,610.

4.3.1.2. Prueba de Tukey ($\alpha = 0,05$)

En la Tabla 11 se muestra la comparación de medias de Tukey realizado para las diferentes tasas de infección y áreas debajo de la curva de la incidencia de roya, encontrándose que en condiciones de inoculación asistida la aplicación del T₃ alcanzo la menor tasa de infección con un valor de 0,0035 sin diferenciarse del T₂, T₉, T₆, T₈, T₇, T₄, y T₅ al tener valores de 0,0048; 0,0047; 0,0043; 0,0043; 0,0041; 0,0039 y 0,0038 respetivamente, estos mismos fungicidas alcanzaron la menor área debajo de la curva de la incidencia de roya siendo el T₃ el mejor tratamiento con un valor de 18,03 u².

Asimismo en condiciones de inoculo natural se encontró que para la tasa de progreso, los fungicidas T₅, T₃ y T₄ alcanzaron las menores tasas de infección con valores de 0,0013; 0,0013 y 0,009 % respectivamente y sin diferenciarse estadísticamente entre ellos, para ADCPE los tratamiento T₃ (4,08 u²) y T₄ (2,57 u²) fueron los que menor área tuvieron, estos resultados demuestran que por lo menos el grupo de los triazoles y estrobilurinas bajo condiciones de inoculación asistida ejerce buen control de *Hemileia vastatrix*, al respecto Chiaravalle et al. (2010), realizaron experimentos de mezclas de Azoxystrobin + Tebuconazole a diferentes dosis para el control de la roya de la hoja del trigo (*Puccinia triticina*) dando resultados satisfactorios, el cual corrobora al experimento realizado en esta tesis, donde el tratamiento T₇ (Azoxistrobina + Tebuconazol) obtuvo buenos resultados al tener un área de 5,31. Por su parte Bartra (2017), determinó que la aplicación de Tebuconazole + Azoxystrobin,

Tabla 11. Comparación de medias entre los tratamientos (Tukey $\alpha = 0,05$) para el ADCPE y la tasa de infección de la incidencia *H. vastatrix* bajo dos condiciones inoculación.

Con inoculación						Sin inoculación					
Tasa de infección			ADCPE			Tasa de infección			ADCPE		
Trat.	Promedio	Significancia	Trat.	Promedio	Significancia	Trat.	Promedio	Significancia	Trat.	Promedio	Significancia
T ₃	0,0035	a	T ₃	18,03	a	T ₄	0,0009	a	T ₄	2,57	a
T ₅	0,0038	ab	T ₅	20,38	ab	T ₅	0,0013	ab	T ₃	4,08	ab
T ₄	0,0039	ab	T ₄	22,00	ab	T ₃	0,0013	ab	T ₅	4,93	bc
T ₇	0,0041	ab	T ₂	23,72	ab	T ₇	0,0014	bc	T ₇	5,31	bc
T ₆	0,0043	ab	T ₈	23,87	ab	T ₈	0,0017	cd	T ₆	5,77	bcd
T ₈	0,0043	ab	T ₆	24,28	ab	T ₆	0,0017	cd	T ₈	6,62	cde
T ₉	0,0047	ab	T ₇	24,80	ab	T ₂	0,0018	cd	T ₂	7,07	de
T ₂	0,0048	ab	T ₉	28,82	ab	T ₁	0,0019	d	T ₁	7,23	de
T ₁	0,0055	b	T ₁	30,32	b	T ₉	0,0020	d	T ₉	8,33	e
T ₁₀	0,0080	c	T ₁₀	51,07	c	T ₁₀	0,0033	e	T ₁₀	16,33	f

Entre tratamientos unidos por la misma letra no existe significación estadística.

Leyenda:

T₁ = Difenconazole + Pyraclostrobin.
T₂ = Carbendazim + Propiconazole.

T₃ = Azoxystrobin + Ciproconazole.
T₄ = Pyraclostrobin + Epoxiconazole.

T₅ = Azoxystrobin + Difenconazole.
T₆ = Tebuconazol.

T₇ = Azoxistrobina + Tebuconazol.
T₈ = Azoxystrobin + Difenconazole.

T₉ = Tebuconazole + Trifloxystrobin.
T₁₀ = Testigo.

Tebuconazole y Azoxystrobin en condiciones de campo sobre roya del cafeto alcanzaron tasas de infección de 0,0014; 0,0015 y 0,0017 respectivamente, inferiores al testigo que alcanzó una tasa de 0,0047; en nuestro experimento el testigo (condiciones de inoculación asistida) alcanzo una tasa de 0,008 y que en la curva de progreso (Figura 6) experimenta su mayor incremento a los 30 días con un 23 % de incidencia equivalente a 4 hojas enfermas posteriormente la incidencia llega con un 92 % a los 120 después de la inoculación, hecho que está relacionado con las condiciones de favorables que reducen el periodo de latencia del hongo y que hacen que se disemine con más rapidez la enfermedad al respecto Calderón (2012), encontró que la infección de roya bajo condiciones la presión de inóculo fue alto y con ambiente favorable (temperatura y precipitación), hizo mantener constantes los periodos de incubación del patógeno, entre 17 y 20 días.

En condiciones de inóculo natural se infiere que todos los tratamientos frente a sus pares en condiciones de inoculación asistida tuvieron menor porcentaje de incidencia, debido a las pocas condiciones que se encuentra el inóculo para germinar, además existe superioridad de los tratamientos T₅, T₃ y T₄ que retrasan la aparición de síntomas en 30, 45 y 60 días en relación al testigo, por lo que alcanzan menores porcentajes de incidencia al final del experimento, al respecto Segarra (2002) señala que las estrategias de control pueden funcionar de dos maneras principales: a) disminuyendo la presencia inicial de la enfermedad al inicio de la epidemia (y_0) ob) reduciendo la velocidad de propagación de la epidemia (r_m o r_1) a lo largo de su desarrollo.

En la figura 5, se observa la curva de progreso de la incidencia en condiciones de inoculación asistida donde en los tratamientos la primera fase (fase lenta) de la epidemia inicia entre los primeros 30 y 40 días después de la inoculación, mientras que el testigo aproximadamente esta fase se da a los 25 días con una incidencia de 10 %, la fase de explosión que representa más 30 % de infección se da aproximadamente a partir de los 75 días en algunos tratamientos y en otros se retrasan debido al efecto de control que ejercen cada uno de ellos, el testigo lo alcanza a los 45 días. En la etapa final de la epidemia, la defoliación ocurre como consecuencia del daño severo, lo que provoca una disminución en la tasa de infección (Cristancho et al., 2012; Virginio y Astorga, 2015; Quispe et al., 2017; Avelino et al., 2018). Durante esta fase, se observó caída de hojas en todos los tratamientos, con una incidencia máxima del 50 % en el T1, mientras que el testigo alcanzó un 92 %. En condiciones de presión de inóculo natural las fases en la curva de progreso llego solo a su primera fase es decir menos del 30% de incidencia, con excepción del testigo que la enfermedad solo alcanzo 38 % de incidencia, esto debido a que existió poca cantidad de inóculo al inicio de la enfermedad.

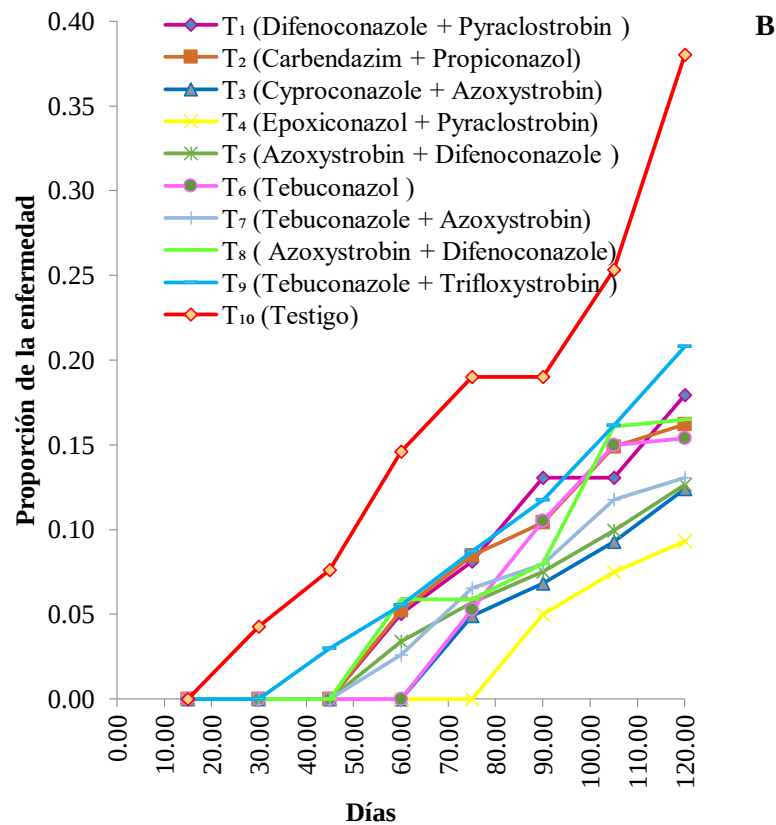
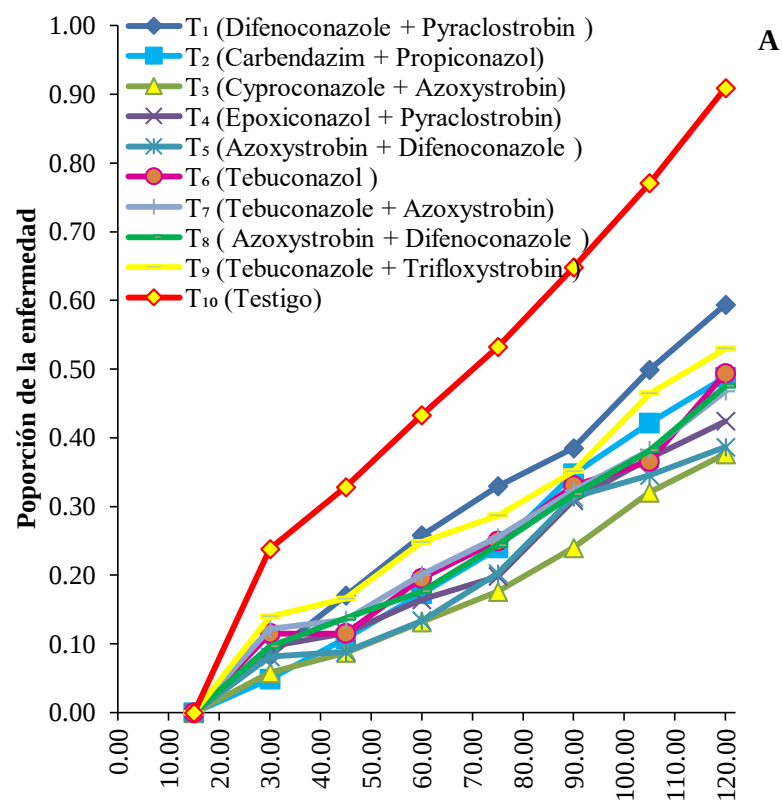


Figura 3. Curvas de progreso de la incidencia de roya del cafeto por efecto de los fungicidas en condiciones de inoculación asistida (A) y presión de inoculo natural (B).

4.3.2. Severidad

4.3.2.1. Análisis de variancia

En la Tabla 12 se presenta el análisis de variancia para el ADCPE y tasa de infección de la severidad donde se puede inferir que existe diferencias altamente significativas entre los tratamientos. El coeficiente de variabilidad fue menor en condiciones de inoculación asistida que en condiciones de presión de inóculo natural, esto debido a la inoculación hace que el inóculo inicial sea aproximadamente igual en cada planta y en efecto homogeniza los resultados.

Tabla 12. Análisis de variancia para el ADCPE y la tasa de infección de la severidad de *H. vastatrix* bajo dos condiciones inoculación.

Fuente de variación	G.L.	^{1/} Tasa de infección			^{2/} ADCPE		
		S.C.	C.M.	Sig.	S.C.	C.M.	Sig.
Con inocular							
Tratamientos	9	0,0000350	0,0000039	AS	47,90	5,32	AS
Error experimental	90	0,0000255	0,0000003		38,71	0,43	
Total	99	0,0000604			86,61		
CV (%)		0,0530000			16,70		
Sin inocular							
Tratamientos	9	0,0000106	0,0000012	AS	222,95	24,77	AS
Error experimental	90	0,0000011	0,0000001		14,67	0,16	
Total	99	0,0000117			237,62		
CV (%)		21,61			20,85		

AS: Significación altamente estadística al 1 % de probabilidad.

NS: No existen diferencias estadísticas.

^{1/}: Datos transformados a $\arcsin \sqrt{x}$ solo en el ensayo bajo inoculación asistida.

^{2/}: Datos transformados a $\sqrt{(x+1)}$ solo en el ensayo bajo inoculación asistida.

Ftab (F tabular) = 2610

4.3.2.2. Prueba de Tukey ($\alpha = 0,05$)

En la Tabla 13 se muestra la comparación de medias de Tukey realizado para las diferentes tasas de infección y áreas debajo de la curva de la severidad de la roya, se encontró que en condiciones de inoculación asistida la tasa de incremento de la severidad alcanzo 0,0025 en el tratamiento T₃, la misma que no se diferenció de los tratamientos T₉, T₂, T₈, T₆, T₅, T₇ y T₄ que alcanzaron valores de 0,0040; 0,0037; 0,0030; 0,0030; 0,0029; 0,0029 y 0,0026 respectivamente, mientras que para el área debajo de la curva de progreso de la severidad se encontró que el tratamiento T₃ (Azoxystrobin + Ciproconazole) tubo el menor valor con 9,56 u² diferenciándose solo con el T₁ (17,9 u²) y T₉ (17,60 u²), por su parte el testigo en cada evaluación fue superior a los demás tratamientos con una tasa de infección de 0,0067 y un área de 52 u² llegando a tener a los 120 días y una severidad acumulada de grado 4 (70 % de área dañada del total de hojas evaluadas) al respecto Paredes (2023), indica que en ausencia

Tabla 13. Comparación de medias entre los tratamientos (Tukey $\alpha = 0,05$) para el ADCPE y la tasa de infección de la severidad de *H. vastatrix* bajo dos condiciones inoculación.

Con inoculación						Sin inoculación					
Tasa de infección			ADCPE			Tasa de infección			ADCPE		
Trat.	Promedio	Significancia	Trat.	Promedio	Significancia	Trat.	Promedio	Significancia	Trat.	Promedio	Significancia
T ₃	0,003	a	T ₃	9,57	a	T ₄	2,0000	a	T ₄	0,650	a
T ₄	0,003	a	T ₄	11,42	ab	T ₃	0,0003	ab	T ₃	1,070	ab
T ₇	0,003	ab	T ₇	11,88	ab	T ₅	0,0003	ab	T ₅	1,230	ab
T ₅	0,003	ab	T ₅	11,98	ab	T ₂	0,0004	ab	T ₇	1,300	ab
T ₈	0,003	ab	T ₈	12,60	ab	T ₈	0,0004	bc	T ₆	1,420	ab
T ₆	0,003	ab	T ₆	13,31	ab	T ₆	0,0004	bc	T ₈	1,620	ab
T ₂	0,004	ab	T ₂	14,28	ab	T ₇	0,0004	bc	T ₂	1,770	ab
T ₉	0,004	ab	T ₉	17,61	b	T ₉	0,0005	c	T ₁	1,940	b
T ₁	0,004	b	T ₁	17,91	b	T ₁	0,0005	c	T ₉	2,110	b
T ₁₀	0,007	c	T ₁₀	32,26	c	T ₁₀	0,0014	d	T ₁₀	6,250	c

Entre tratamientos unidos por la misma letra no existe significación estadística.

Leyenda:

T₁ = Difenoconazole + Pyraclostrobin.
T₂ = Carbendazim + Propiconazole.

T₃ = Azoxystrobin + Ciproconazole.
T₄ = Pyraclostrobin + Epoxiconazole.

T₅ = Azoxystrobin + Difenconazole.
T₆ = Tebuconazol.

T₇ = Azoxistrobina + Tebuconazol.
T₈ = Azoxystrobin + Difenconazole.

T₉ = Tebuconazole + Trifloxystrobin.
T₁₀ = Testigo.

de control de la enfermedad y con condiciones climáticas propicias para el desarrollo de la epidemia, esto puede avanzar a una tasa diaria superior al 0,19 %. En términos generales, dentro de este patosistema, los fungicidas han demostrado una buena eficiencia al reducir la cantidad de inóculo y, en consecuencia, disminuir la tasa de progresión de la roya. Este resultado concuerda con lo reportado por Silva et al. (2006), Lizardo et al. (2019) y Burbano (2020), quienes sostienen que la resistencia horizontal en las variedades, el uso continuo de fungicidas y la modificación del sistema de riego impactan significativamente en la velocidad de propagación de la enfermedad. Además, resaltan que la combinación de estrategias de manejo integrado, incluyendo el monitoreo constante de la incidencia y severidad, así como la aplicación oportuna de fungicidas, puede contribuir a un control más eficiente y sostenible de la enfermedad en los cultivos.

En condiciones de presión de inóculo natural se puede inferir que los tratamientos T₅, T₃ y T₄ lograron la menor tasa de infección y área debajo de la curva de severidad sin diferenciarse estadísticamente entre ellos, siendo el tratamiento T₄ el que más sobresalió con una tasa de crecimiento diario del 0,02 % de y un área de 0,65 u².

El testigo en condiciones de presión de inóculo natural simula el efecto potencial de daño de la roya cuando no existe ningún control, aunque estos resultados pueden variar en condiciones de campo donde la presión de inóculo está afectado por otros factores que escasamente son controlados tales como humedad, temperatura etc., según Mora (2019) y Gichuru et al. (2021), indican que las condiciones ambientales pueden afectar la disponibilidad, etapa de crecimiento, succulencia y susceptibilidad genética de la planta hospedante. También, puede afectar la supervivencia, vigor, tasa de multiplicación, tasa de esporulación, facilidad, dirección y distancia de la dispersión del patógeno, así como la tasa de germinación de sus esporas y su penetración en el hospedante.

En la Figura 3, se puede observar en los tratamientos a los 15 días la epidemia inicia con unas pocas hojas en las que no se observan síntomas sino hasta después de haber transcurrido el período de incubación, donde la producción de los primeros soros, que liberan nuevas esporas, confirmará la presencia de la roya, esta fase es denominado fase lenta donde hay una proporción de menos 10 % de hojas (Rivillas et al., 2011). Como resultado de la primera fase existe una gran cantidad de inóculo dispersándose dentro de la planta y entre planta, de manera que ocurren muchas más infecciones por unidad de tiempo es así que aproximadamente entre 75 y 90 días después de la inoculación los tratamientos alcanzan la fase rápida la epidemia con una proporción de 30 % de hojas infectadas, al respecto Estrada (2015), encontró 20,27 % de severidad en la variedad Caturra a los 60 días después de la inoculación.

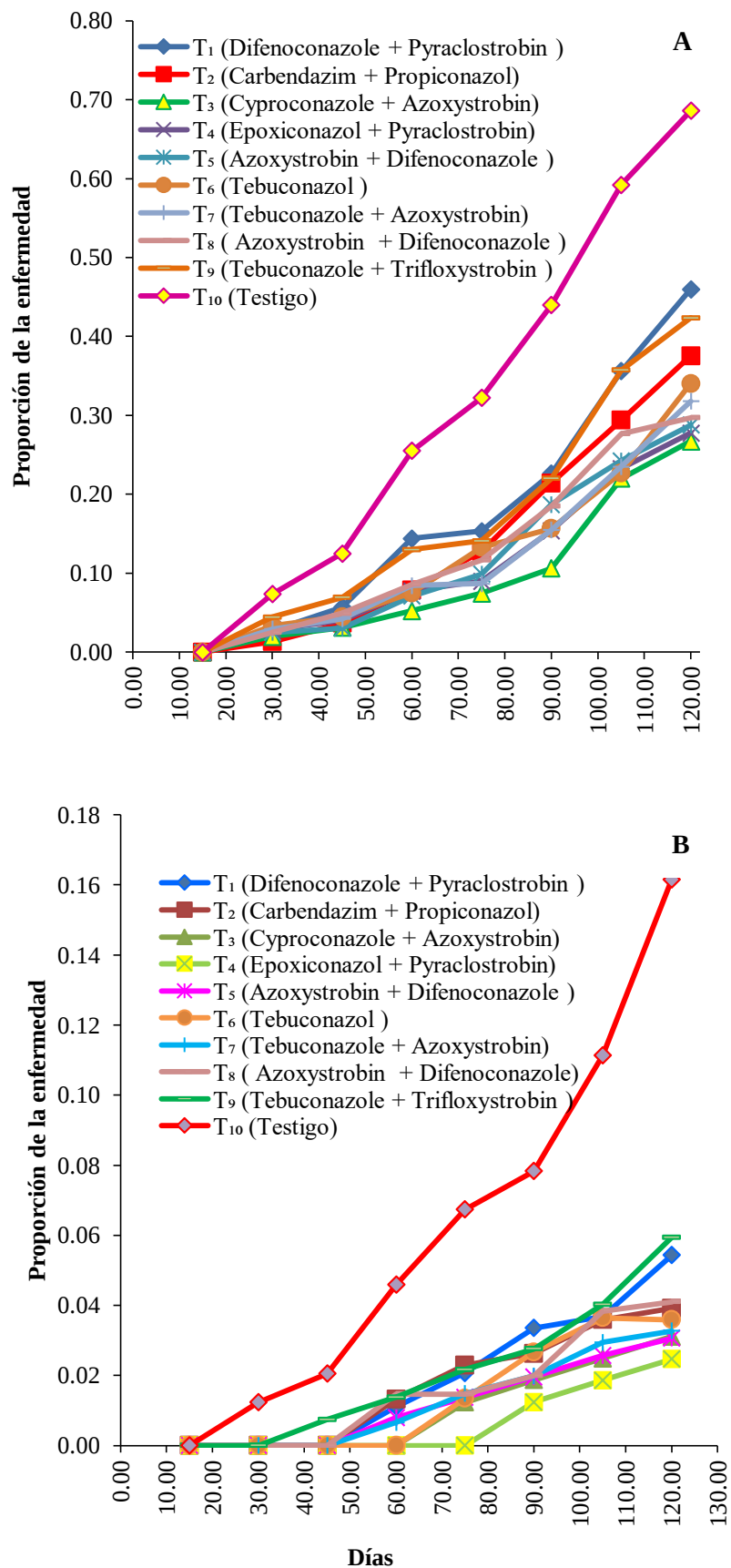


Figura 4. Curvas de progreso de la severidad de roya del cafeto por efecto de los fungidas en condiciones de inoculación asistida (A) y presión de inoculo natural (B).

4.4. Análisis económico de los tratamientos

Del análisis económico (Tabla 25) se identificó que los costos variables son los precios de los fungicidas por tratamiento, mientras que los costos de instalación del vivero y los demás costos son constantes o fijos. Es decir que la variabilidad de los costos de producción se debió a los fungicidas, así mismo la variabilidad del precio de venta de cada plantón (Tabla 14) se debió a la intensidad de la enfermedad.

Los resultados indican un efecto diferencial en la rentabilidad (Tabla 14) para la condición de inoculación asistida y se evidenció que las mayores rentabilidades lo presentaron T₃ (Azoxystrobin + Ciproconazole), T₄ (Pyraclostrobin + Epoxiconazole) y T₅ (Azoxystrobin + Difenconazole) con valores de 45,49; 48,19 y 47,75 % respectivamente. Es decir que tienen la capacidad de sacarle más 40 % de ganancia por cada sol invertido, lo que no sucede con los demás fungicidas que se encuentran en un rango de 10,28 a 31,55 % de rentabilidad debido a la alta infección de roya que afectó el desarrollo y crecimiento del café, resultando plantones de bajo porte, con defoliaciones intermedias y cuyas severidades fluctuaron de 46,78 y 59,39 % (Tabla 8). Para las condiciones de presión de inóculo natural todos fungicidas se encuentran en un rango de 65 a 88 % de rentabilidad, esto debido a que la intensidad de la enfermedad fue menor ocasionando una severidad de hasta 6,00 % (Tabla 9). Es decir, bajo estas condiciones no existe diferencias marcadas entre los fungicidas probados, por lo que se podría recomendar la aplicación de cualquier ingrediente activo de manera preventiva.

Por su parte el testigo (Tabla 8), muestra un grado infección alta (severidad 68 %) cuando no se aplica ningún control por lo que en condiciones de presión de inóculo el uso de cualquiera de los fungicidas está bien justificado debido a que el testigo alcanzó un nivel pérdida de 24,34 % por cada unidad de dinero invertido; por su parte bajo condiciones de presión inóculo natural el testigo alcanza una rentabilidad de 51,33 % debido a que tuvo una severidad de 16,20 % (Tabla 9) no causando pérdidas considerables, no obstante existe una disminución de la rentabilidad que podría ser determinante cuando se quiere producir en mayor cantidad, esto demuestra que no solo los costos de producción, tecnología y el precio son determinantes en la rentabilidad de un cultivo a nivel vivero, sino que existen otros factores como es la calidad de la planta que cuando su efecto es negativo hace que disminuya la utilidad al respecto Calderón (2012), Barquero (2013) y Calero (2024) dan a conocer que no sólo los factores climáticos son responsables de la rentabilidad sino que depende de otros factores como el precio insumo, precio del producto y tecnología. Por todo lo mencionado nos permite aseverar que controlar la roya del cafeto es económicamente viable; hecho que ha sido ampliamente demostrado en diferentes investigaciones de CENICAFÉ (Rivillas et al., 2011).

Tabla 14. Análisis económico de los tratamientos en estudio.

Con inoculación asistida									
Tratamientos	Plantas/ha	Plantón (S/)	VB (S/)	CPr (S/)	CPl (S/)	U (S/)	B/C (S/)	IR (S/)	R(%)
T ₁ (Difenoconazole + Pyraclostrobin)	5000	0,60	3000,00	2720,25	0,54	279,75	1,10	0,10	10,28
T ₂ (Carbendazim + Propiconazole)	5000	0,70	3500,00	2660,65	0,53	839,35	1,32	0,32	31,55
T ₃ (Azoxystrobin + Ciproconazole)	5000	0,80	4000,00	2749,25	0,55	1250,75	1,45	0,45	45,49
T ₄ (Pyraclostrobin + Epoxiconazole)	5000	0,80	4000,00	2699,25	0,54	1300,75	1,48	0,48	48,19
T ₅ (Azoxystrobin + Difenoconazole)	5000	0,80	4000,00	2707,25	0,54	1292,75	1,48	0,48	47,75
T ₆ (Tebuconazol)	5000	0,70	3500,00	2670,25	0,53	829,75	1,31	0,31	31,07
T ₇ (Azoxistrobina + Tebuconazol)	5000	0,70	3500,00	2683,25	0,54	816,75	1,30	0,30	30,44
T ₈ (Azoxystrobin + Difenoconazole)	5000	0,70	3500,00	2673,25	0,53	826,75	1,31	0,31	30,93
T ₉ (Tebuconazole + Trifloxystrobin)	5000	0,60	3000,00	2667,25	0,53	332,75	1,12	0,12	12,48
T ₁₀ (Testigo)	5000	0,40	2000,00	2643,25	0,53	-643,25	0,76	-0,24	-24,34
Presión de inóculo natural									
Tratamientos	Plantas/ha	Plantón (S/)	VB (S/)	CPr (S/)	CPl (S/)	U (S/)	B/C (S/)	IR (S/)	R(%)
T ₁ (Difenoconazole + Pyraclostrobin)	5000	0,90	4500,00	2720,25	0,54	1779,75	1,65	0,65	65,43
T ₂ (Carbendazim + Propiconazole)	5000	1,00	5000,00	2660,65	0,53	2339,35	1,88	0,88	87,92
T ₃ (Azoxystrobin + Ciproconazole)	5000	1,00	5000,00	2749,25	0,55	2250,75	1,82	0,82	81,87
T ₄ (Pyraclostrobin + Epoxiconazole)	5000	1,00	5000,00	2699,25	0,54	2300,75	1,85	0,85	85,24
T ₅ (Azoxystrobin + Difenoconazole)	5000	1,00	5000,00	2707,25	0,54	2292,75	1,85	0,85	84,69
T ₆ (Tebuconazol)	5000	1,00	5000,00	2670,25	0,53	2329,75	1,87	0,87	87,25
T ₇ (Azoxistrobina + Tebuconazol)	5000	1,00	5000,00	2683,25	0,54	2316,75	1,86	0,86	86,34
T ₈ (Azoxystrobin + Difenoconazole)	5000	1,00	5000,00	2673,25	0,53	2326,75	1,87	0,87	87,04
T ₉ (Tebuconazole + Trifloxystrobin)	5000	0,90	4500,00	2667,25	0,53	1832,75	1,69	0,69	68,71
T ₁₀ (Testigo)	5000	0,80	4000,00	2643,25	0,53	1356,75	1,51	0,51	51,33

VB = Valor bruto. CPr = Costo de producción. CPl = Costo por planta. U = Utilidad. B/C = Beneficio y Costo. IR = Índice de rentabilidad. R = Rentabilidad.

V. CONCLUSIONES

1. En condiciones de inoculación asistida, el mejor control de la roya lo ejercieron las mezclas comerciales de Difenoconazole+ Pyraclostrobin , Tebuconazole + Trifloxystrobin , Tebuconazol , Carbendazim + Propiconazole , Azoxystrobin + Difenoconazole, Azoxistrobina + Tebuconazol , Pyraclostrobin + Epoxiconazole , Azoxystrobin + Difenoconazole y Azoxystrobin + Ciproconazole sin diferenciarse estadísticamente y alcanzando incidencias de 59,39; 52,976; 49,386; 48,819; 47,534; 46,78; 42,411; 38,661 y 37,649 % respectivamente, asimismo para el índice de severidad estas mismas mezclas alcanzaron 45,997; 42,373; 37,546; 34,05; 28,76; 31,814; 27,775; 29,726 y 26,72 % respectivamente.
2. Bajo condiciones de presión de inóculo natural las mezclas comerciales de Azoxistrobina + Tebuconazol, Azoxystrobin + Difenoconazole, Azoxystrobin + Ciproconazole y Pyraclostrobin + Epoxiconazole, ejercieron mayor control de roya sin diferenciarse estadísticamente entre ellos, alcanzando valores de incidencia de 13,06; 12,66; 12,38 y 9,31 % y severidad de 3,30; 3,10; 3,10 y 2,50 % respectivamente.
3. Se encontró que bajo condiciones de inoculación asistida la Azoxistrobina + Tebuconazol, Azoxystrobin + Difenoconazole , Azoxystrobin + Ciproconazole y Pyraclostrobin + Epoxiconazole alcanzaron los mejores resultados para los parámetros de tasa de infección de la incidencia, tasa de infección de la severidad, área debajo de la curva de progreso de la incidencia y área debajo de la curva de progreso de la severidad al obtener valores por debajo de 0,004; 0,0029; 24,8 u² y 11,977 u² respectivamente, mientras que en condiciones de presión de inóculo natural los fungicidas para estos mismos parámetros alcanzaron valores por debajo de 0,002; 0,0005; 8,33 u²; 2,11 u² respectivamente.
4. Se encontró que en condiciones de inoculación asistida las mezclas comerciales T₃ (Azoxystrobin + Ciproconazole), T₄ (Pyraclostrobin + Epoxiconazole) y T₅ (Azoxystrobin + Difenoconazole) fueron los mejores con valores de 45,49; 48,19 y 47,75 %, mientras que en condiciones de presión de inóculo natural todos fungicidas se encuentran en un rango de 65 a 88 % rentabilidad.

VI. PROPUESTAS A FUTURO

1. Evaluar la severidad en variedades de cafetos en condiciones de vivero a altitudes superiores a los 1300 msnm, debido a que este es la altitud deseable para el cafeto.
2. Para el control de roya (*H. vastatrix*) en vivero bajo alta presión de inoculo se recomienda aplicar una de las siguientes mezclas: Azoxistrobina + Tebuconazol, Azoxystrobin + Difenconazole, Pyraclostrobin + Epoxiconazole o Azoxystrobin + Ciproconazole ya que garantizan mejor eficacia.
3. Se recomienda probar la eficacia de los fungicidas a nivel campo definitivo con la finalidad de evaluar el rendimiento del cafeto.

VII. REFERENCIAS

- Achar, D., Awati, M., Udayakumar, M. y Prasad, T. (2015). Identification of putative molecular markers associated with root traits in *Coffea canephora* Pierre ex Froehner. *Molecular Biology International*, 2015. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1155/2015/532386>
- Avelino, J., Allinne, C., Cerda, R., Willocquet, L., y Savary, S. (2018). Multiple-disease system in coffee: From crop loss assessment to sustainable management. *Annual review of phytopathology*, 56, 611-635.
- Barquero, M. (2013). Recomendaciones para el combate de la roya del café. 3 ed. *Instituto del Café de Costa Rica [ICAFÉ]*.
- Bartlett, D., Clough, J., Godwin, J., Hall, A., Hamer, M., y Parr-Dobrzanski, B. (2002). The strobilurin fungicides. *Pest Management Science*, 58(7), 649-62. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/12146165/>
- Bartra, A. (2017). *Efecto de control del Trichoderma harzianum Rifai Y fungicidas en el control de Hemileia vastatrix Berk. & Br. en el Distrito de Hermilio Valdizán – Huánuco* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. Repositorio Institucional UNAS. <https://hdl.handle.net/20.500.14292/1247>
- Brent, J. y Hollomon, W. (2007). Fungicide resistance in crop pathogens: how can it be managed?. *Published by the Fungicide Resistance Action Committee*. <https://www.frac.info/docs/default-source/publications/monographs/monograph-1.pdf>
- Burbano, Ó. (2020). Resistencia de plantas a patógenos: Una revisión sobre los conceptos de resistencia vertical y horizontal. *Revista Argentina de Microbiología*, 52(3), 245-255. <https://doi.org/10.1016/j.ram.2020.04.006>
- Calderón, G. (2012). *Epidemiología de la roya del café causada por Hemileia vastatrix Berk. & Br., en las regiones central y sur occidental de Guatemala, C.A.* [Tesis de pregrado, Universidad de San Carlos de Guatemala]. Repositorio Institucional. <http://www.repositorio.usac.edu.gt/6441/>
- Calero, I. (2024). Respuesta de la roya (*Hemileia vastatrix*) frente a condiciones climáticas y aplicaciones de fungicidas en el cultivo de café (*Coffea arabica*) bajo sombra. *Perspectivas Rurales Nueva Época*, 22(44), 1-20. <https://doi.org/10.15359/prne.22-44.8>
- Campos, O., Gento, J., Santos, D., Reyes, J., y Jasinto, R. (2013). Análisis sobre eficiencia de fungicidas contra la roya del cafeto. *Revista El Cafetal*, 34, 3-5.

- Campos, N., Panis, B., y Carpentier, S. (2017). Somatic embryogenesis in coffee: the evolution of biotechnology and the integration of omics technologies offer great opportunities. *Frontiers in Plant Science*, 8, 1460. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28871271/>
- Capucho, S., Rufino, J., Zambolim, M., Caixeta, T., Oliveira, C., Almeida, F., Brito, G., y Zambolim, L. (2005). Método de inoculação de *Hemileia vastatrix* Berk. et Br. em folhas destacadas de cafeeiro. In: *Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil*. <http://www.sbicafe.ufv.br/handle/123456789/2081>
- Capucho, S., Zambolim, L., Zambolim, M., Caixeta, T., Franchini, A., y Pereira, A. (2007). Avaliação da resistência de cultivares de café à raça II de *Hemileia vastatrix* Berk. et Br. In: *5º Simpósio de Pesquisas dos Cafés do Brasil, 2007, Águas de Lindóia. Anais do 5º Simpósio de Pesquisas dos Cafés do Brasil*. <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/906080/avaliacao-da-resistencia-de-cultivares-de-cafe-a-raca-ii-de-hemileia-vastatrix-berk-et-br>
- Chiaravalle, W., Aznárez, G., y Sillón, M. (2010). Prueba de eficacia de fungicidas Calister (Azote 350 Sc) en el control de manchas foliares en trigo. *ENTOAGRO*. <https://www.calister.com.uy/wp-content/uploads/2016/05/1320421210fungicidatrigoAZOTE350scCALISTER20102.pdf>
- Cordero, G. (2017). *Eficiencia de control de la roya del cafeto (Hemileia vastatrix Berk. & Br.) con triazoles y estrobilurinas en el rosario de Narajo Costa Rica* [Tesis de pregrado, Instituto Tecnológico de Costa Rica]. Repositorio Institucional. <https://repositoriotec.tec.ac.cr/handle/2238/9848>
- Cosme, R. (2022). *Caracterización morfo-agronómica de cinco variedades de café (Coffea arabica L.), Distrito de Daniel Alomía Robles, Huánuco* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. Repositorio Institucional UNAS. <https://hdl.handle.net/20.500.14292/2176>
- Cristancho, A., Roza, Y., Rivillas, A. y Gaitán, L. (2012). Outbreak of coffee leaf rust (*Hemileia vastatrix*) in Colombia. *New Disease Reports*, 25(19). <https://doi.org/10.5197/j.2044-0588.2012.025.019>
- Estrada, P. (2015). *Severidad de Hemileia vastatrix berk. & br. en plantones de cuatro variedades de Coffea arabica L. en río negro Satipo* [Tesis de pregrado, Universidad del Centro del Perú]. Repositorio Institucional UNCP. <http://hdl.handle.net/20.500.12894/4018>

- Fairchild, K., Miles, T., y Wharton, P. (2013). Assessing fungicide resistance in populations of *Alternaria* in Idaho potato fields. *Crop Prot.* 49, 31-39.
- Fungicide Resistance Action Committee [FRAC]. (3 de octubre del 2019). Clasificación de los modos de acción de FRAC e IRAC. *Fungicide Resistance Action Committee [FRAC]*. <https://fmcagro.es/blog/ver-entrada/clasificaci%C3%B3ndelosmodosdeacci%C3%B3ndeFRACeIRAC>
- Gichuru, E., Alwora, G., Gimase, J., y Kathurima, C. (2021). Coffee leaf rust (*Hemileia vastatrix*) in Kenya—A review. *Agronomy*, 11(12), 2590. <https://ouci.dntb.gov.ua/en/works/7X1kwGr4/>
- Gutiérrez, E. (2016). *Caracterización de los mecanismos antagónicos de Debaryomyces hansenii contra Colletotrichum gloeosporioides y su efecto en la protección poscosecha en papaya var. Maradol* [Tesis de Maestría, Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste. S.C.]. Repositorio Institucional. <http://dspace.cibnor.mx:8080/handle/123456789/2621>
- Integrated Taxonomic Information System. (23 de julio del 2022). *Coffea arabica* L. Taxonomic serial N° 35190. *Integrated Taxonomic Information System*. https://www.itis.gov/servlet/SingleRpt/SingleRpt?search_topic=TSN&search_value=35190#null
- Julián, K. (2023). *Control de Hemileia vastatrix Berkeley & Broome mediante la aplicación foliar de microorganismos eficientes en Coffea arabica L. var. caturra roja* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. Repositorio Institucional UNAS. <https://repositorio.unas.edu.pe/items/f7b2f1bd-5e72-4598-8ad9-c2228fb1bb8e>
- Lashermes, P., Hueber, Y., Combes, C., Severac, D., y Dereeper, A. (2016). Inter-genomic DNA exchanges and homeologous gene silencing shaped the nascent allopolyploid coffee genome (*Coffea arabica* L.). *G3: Genes, Genomes, Genetics*, 6(9), 2937-2948. <https://academic.oup.com/g3journal/article/6/9/2937/6027282>
- Lizardo, C., Herrera, D., Buezo, M., y Tróchez, H. (2019). Resistencia horizontal a la roya del café (*Hemileia vastatrix* Berk. & Br.) de las variedades comerciales de café de Honduras. In: *XXV Simposio Latinoamericano de Caficultura, Panel 5: Evolución de la dinámica de plagas y enfermedades y alternativas de manejo para la resiliencia de los cafetales*.
- Mora, G. (2019). Roya del cafeto (*Hemileia vastatrix* Verkeley & Brome). Ficha Técnica N° 40. *Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria [SENASICA]*. <https://amecafe.org.mx/roya-y-variedades-tolerantes/>

- Morales, P. (2018). Evaluación de siete fungicidas del grupo de los Triazoles para el control de la roya anaranjada del cafeto *Hemileia vastatrix* Berk et Br. *Centro de Investigaciones en Café de ANACAFÉ [Asociación Nacional del Café]*. <https://revistas.lamolina.edu.pe/index.php/acu/article/view/1938>
- Paredes, R. (2023). *Caracterización fenotípica y selección de 169 accesiones de Coffea arabica L. basado en la resistencia a Hemileia vastatrix (Berk. & Br.) en condiciones de infección natural y artificial en la EEA de Pichanaki – Inia* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. Repositorio Institucional UNAS. <https://hdl.handle.net/20.500.14292/2548>
- Pierre E., Cáliz R., y Reyes E. (2020). Importancia, genética y evolución del café en Honduras y el mundo. *Innovare: Revista de ciencia y tecnología*, 9(3), 149-155. <https://doi.org/10.5377/innovare.v9i3.10649>
- Quevedo, I. (2012). *Evaluación de fungicidas sistémicos y de contacto en el control de la moniliasis (Moniliophthora roreri) del cacao (Theobroma cacao)* [Tesis de Maestría, Colegio de postgraduados]. Repositorio Institucional. <http://hdl.handle.net/10521/924>
- Quispe, C., Mansilla, R., López, F., Espejo, R., Villanueva, J., y Monzón, C. (2017). Diversidad genética de *Hemileia vastatrix* de dos zonas productoras de café en el Perú. *Revista mexicana de fitopatología*, 35(3), 418-436.
- Rivillas, C., Serna, C., Cristancho, M., y Gaitán, A. (2011). La roya del cafeto en Colombia (Impacto manejos y costos del control, resultados de investigación). *Centro Nacional de Investigación del Café (CENICAFÉ)*.
- Rozo, Y., y Cristancho, M. (2010). Evaluación de la susceptibilidad de *Hemileia vastatrix* Berk. & Br., a fungicidas del grupo de los triazoles. *Cenicafé*, 61(4), 297-314. <https://biblioteca.cenicafe.org/handle/10778/504>
- Segarra, J. (2002). Utilidad de los modelos epidemiológicos. *ITEA*, 98(2), 108-118.
- Servicio Nacional de Sanidad Agraria. (11 de marzo del 2003). Norma para la ejecución y remisión de información de actividades del programa manejo integrado de plagas del cafeto. *Servicio Nacional de Sanidad Agraria [SENASA]*. https://www.senasa.gob.pe/senasa/descargasarchivos/jer/SUB_DIR_CONTEP/1222.pdf
- Silva, M., Várzea, V., Guerra, L., Azinheira, G., Fernandez, D., Petitot, S., Bertrand, B., Lashermes, P., y Nicole, M. (2006). Coffee resistance to the main diseases: Leaf rust and coffee berry disease. *Brazilian journal of plant physiology*, 18(1), 119-147.

- Sistema Global de Información sobre Biodiversidad. (30 de mayo del 2020). *Hemileia vastatrix* Berk. & Broome. Publicado en: (1869). Gard. Chron., London: 1157. *Sistema Global de Información sobre Biodiversidad*. <https://www.gbif.org/>
- Suazo, T. (2020). *Caracterización morfológica y molecular de café (Coffea arabica L.) variedad Catrenic proveniente de las fincas CENECOOP-Fedecaruna y El Rosal de Nicaragua, Laboratorio de Biotecnología, UNAN-Managua, 2018-2020* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua]. Repositorio Institucional UNAN. <https://repositorio.unan.edu.ni/id/eprint/14575/>
- Talhinhas, P., Batista, D., Diniz, I., Vieira, A., Silva, N., Loureiro, A., Tavares, S., Pereira, P., Azinheira, G., y Guerra, L. (2017). The coffee leaf rust pathogen *Hemileia vastatrix*: One and a half centuries around the tropics. *Molecular plant pathology*, 18(8), 1039. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27885775/>
- Virginio, E., y Astorga, C. (2015). Prevención y control de la roya del café: manual de buenas prácticas para técnicos y facilitadores. *Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE)*. <https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/8186>
- Zambolim, L. (2016). Current status and management of coffee leaf rust in Brazil. *Tropical Plant Pathology*, 41(1), 1-8. <https://doi.org/10.1007/s40858-016-0065-9>

ANEXO

Tabla 15. Datos originales de incidencia de roya del cafeto en condiciones de inoculación asistida y presión de inóculo natural.

Repeticiones	Tratamientos										Promedio
	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅	T ₆	T ₇	T ₈	T ₉	T ₁₀	
Sin inoculo											
R ₁	14,29	11,11	13,33	6,25	17,65	12,50	13,33	7,69	20,00	40,00	15,62
R ₂	18,75	18,75	11,76	6,25	17,65	15,38	12,50	13,33	23,53	40,00	17,79
R ₃	18,75	18,75	11,76	6,25	17,65	15,38	12,50	13,33	23,53	40,00	17,79
R ₄	14,29	21,43	12,50	12,50	21,43	11,76	12,50	21,43	20,00	40,00	18,78
R ₅	14,29	17,65	11,76	13,33	18,75	13,33	13,33	20,00	23,53	35,29	18,13
R ₆	17,65	20,00	11,76	5,88	17,65	11,11	11,11	17,65	18,75	42,86	17,44
R ₇	14,29	13,33	11,76	13,33	20,00	11,76	14,29	21,43	22,22	40,00	18,24
R ₈	12,50	13,33	13,33	10,53	20,00	12,50	14,29	20,00	20,00	33,33	16,98
R ₉	15,79	14,29	13,33	12,50	11,11	11,76	12,50	17,65	17,65	33,33	15,99
R ₁₀	13,33	13,33	12,50	6,25	17,65	11,11	14,29	12,50	18,75	35,29	15,50
Promedio	15,39	16,20	12,38	9,31	17,95	12,66	13,06	16,50	20,80	38,01	17,23
Con inoculo											
R ₁	43,75	62,50	31,25	28,57	42,86	42,86	71,43	44,44	57,14	100,00	52,48
R ₂	75,00	44,44	37,50	62,50	31,25	56,25	43,75	43,75	56,25	94,12	54,48
R ₃	43,75	50,00	43,75	35,71	28,57	42,86	43,75	56,25	56,25	75,00	47,59
R ₄	71,43	27,78	28,57	42,86	28,57	41,18	57,14	21,43	56,25	93,75	46,90
R ₅	50,00	68,75	37,50	57,14	28,57	56,25	28,57	58,82	56,25	86,67	52,85
R ₆	60,00	33,33	40,00	43,75	37,50	75,00	56,25	100,00	50,00	83,33	57,92
R ₇	85,71	44,44	57,14	50,00	31,25	42,86	28,57	37,50	33,33	87,50	49,83
R ₈	64,29	50,00	42,86	50,00	71,43	50,00	37,50	37,50	57,14	88,89	54,96
R ₉	43,75	62,50	31,25	28,57	42,86	42,86	71,43	44,44	57,14	100,00	52,48
R ₁₀	56,25	44,44	26,67	25,00	43,75	43,75	29,41	50,00	50,00	100,00	46,93
Promedio	59,39	48,82	37,65	42,41	38,66	49,39	46,78	49,41	52,98	90,93	51,64

Leyenda:

T₁ = Difenconazole + Pyraclostrobin.
T₂ = Carbendazim + Propiconazole.
T₃ = Azoxystrobin + Ciproconazole.
T₄ = Pyraclostrobin + Epoxiconazole.
T₅ = Azoxystrobin + Difenconazole.

T₆ = Tebuconazol.
T₇ = Azoxystrobina + Tebuconazol.
T₈ = Azoxystrobin + Difenconazole.
T₉ = Tebuconazole + Trifloxystrobin.
T₁₀ = Testigo.

Tabla 16. Datos originales de severidad de roya del cafeto en condiciones de inoculación asistida y presión de inóculo natural.

Repeticiones	Tratamientos										Promedio
	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅	T ₆	T ₇	T ₈	T ₉	T ₁₀	
Sin inocular											
R ₁	5,36	2,78	3,33	1,56	4,41	3,13	3,33	1,92	6,67	13,33	4,58
R ₂	1,67	3,33	3,13	2,94	7,69	2,78	3,13	3,13	4,17	21,88	5,39
R ₃	3,33	4,69	2,94	1,56	4,41	3,85	3,13	3,33	8,82	21,67	5,77
R ₄	3,57	5,36	3,13	3,13	5,36	2,94	3,13	5,36	5,00	16,67	5,37
R ₅	3,57	4,41	2,94	3,33	6,25	3,33	3,33	5,00	7,35	10,29	4,98
R ₆	4,41	5,00	2,94	1,47	5,88	2,78	2,78	4,41	6,25	14,29	5,02
R ₇	3,57	3,33	2,94	3,33	5,00	2,94	3,57	5,36	5,56	16,67	5,23
R ₈	3,13	3,33	3,33	2,63	6,67	3,13	3,57	5,00	5,00	13,89	4,97
R ₉	3,95	3,57	3,33	3,13	2,78	2,94	3,13	4,41	5,88	16,67	4,98
R ₁₀	3,33	3,33	3,13	1,56	5,88	2,78	3,57	3,13	4,69	16,18	4,76
Promedio	3,59	3,91	3,11	2,46	5,43	3,06	3,27	4,11	5,94	16,15	5,10
Con inocular											
R ₁	29,70	43,80	23,40	21,40	30,40	30,40	51,80	18,10	48,20	76,60	37,38
R ₂	60,40	36,10	34,40	39,10	23,40	35,90	26,60	14,10	42,20	66,20	37,84
R ₃	34,40	45,80	34,40	23,20	19,60	30,40	31,30	31,30	34,40	54,70	33,95
R ₄	57,10	22,20	19,60	28,60	23,20	25,00	35,70	1,10	39,10	78,10	32,97
R ₅	37,50	60,90	26,60	30,40	25,00	34,40	23,20	20,60	46,90	73,30	37,88
R ₆	46,67	29,17	27,50	26,56	29,69	52,08	35,94	71,43	41,67	66,67	42,74
R ₇	67,86	31,94	35,71	33,93	23,44	33,93	23,21	28,13	26,39	62,50	36,70
R ₈	48,21	41,67	32,14	33,93	53,57	32,81	29,69	26,56	46,43	61,11	40,61
R ₉	37,50	30,56	15,63	25,00	31,25	29,69	43,06	50,00	60,94	71,88	39,55
R ₁₀	40,63	33,33	17,86	15,63	28,13	35,94	17,65	35,94	37,50	75,00	33,76
Promedio	46,00	37,55	26,72	27,78	28,77	34,06	31,82	29,73	42,37	68,61	37,34

Leyenda:

T₁ = Difenconazole + Pyraclostrobin.
T₂ = Carbendazim + Propiconazole.
T₃ = Azoxystrobin + Ciproconazole.
T₄ = Pyraclostrobin + Epoxiconazole.
T₅ = Azoxystrobin + Difenconazole.

T₆ = Tebuconazol.
T₇ = Azoxistrobina + Tebuconazol.
T₈ = Azoxystrobin + Difenconazole.
T₉ = Tebuconazole + Trifloxystrobin.
T₁₀ = Testigo.

Tabla 17. Datos originales del área de progreso de la incidencia de roya del cafeto en condiciones de inoculación asistida y presión de inóculo natural.

Repeticiones	Tratamientos										Promedio
	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅	T ₆	T ₇	T ₈	T ₉	T ₁₀	
Sin inocular											
R ₁	5,36	5,00	4,00	1,41	6,62	2,81	4,00	4,04	9,50	17,00	5,97
R ₂	7,03	7,97	3,53	2,34	6,62	5,77	4,69	7,00	7,94	16,00	6,89
R ₃	7,03	7,97	3,53	2,34	6,62	5,77	4,69	7,00	7,94	16,00	6,89
R ₄	6,43	8,04	5,63	3,75	11,25	5,29	5,63	9,11	10,50	17,00	8,26
R ₅	5,36	6,62	3,53	3,00	7,03	6,00	5,00	6,50	7,94	15,00	6,60
R ₆	5,74	7,50	4,41	1,32	6,62	4,17	5,00	5,74	7,97	19,29	6,78
R ₇	7,50	6,00	4,41	4,00	8,50	5,29	6,43	8,04	7,50	18,00	7,57
R ₈	4,69	8,00	4,00	2,37	7,50	5,63	6,43	6,50	8,50	14,17	6,78
R ₉	3,55	8,57	4,00	2,81	5,83	4,41	3,75	5,74	7,50	15,83	6,20
R ₁₀	5,00	5,00	3,75	2,34	5,74	4,17	7,50	6,56	7,97	15,00	6,30
Promedio	5,77	7,07	4,08	2,57	7,23	4,93	5,31	6,62	8,33	16,33	6,82
Con inocular											
R ₁	23,91	28,13	8,91	15,00	20,36	19,29	43,93	21,67	30,00	60,94	27,21
R ₂	40,63	18,33	16,88	36,56	15,47	27,66	18,28	18,28	26,72	46,76	26,56
R ₃	21,09	23,75	25,78	15,54	11,79	17,14	20,16	32,34	31,41	41,25	24,03
R ₄	37,50	16,25	10,71	24,64	13,93	21,62	33,21	6,96	26,72	52,97	24,45
R ₅	20,63	31,41	20,63	28,93	15,00	27,66	13,93	35,29	34,22	48,50	27,62
R ₆	30,50	15,83	23,25	21,09	20,63	40,63	35,16	51,43	31,25	46,25	31,60
R ₇	42,86	20,83	27,86	24,11	17,34	20,36	10,71	16,88	18,33	46,88	24,62
R ₈	32,68	28,75	21,43	31,61	45,00	27,19	15,94	18,75	34,29	50,00	30,56
R ₉	23,91	28,13	8,91	15,00	20,36	19,29	43,93	21,67	30,00	60,94	27,21
R ₁₀	29,53	25,83	16,00	7,50	23,91	22,03	12,79	21,56	25,31	56,25	24,07
Promedio	30,32	23,72	18,04	22,00	20,38	24,29	24,80	24,48	28,83	51,07	26,79

Leyenda:

T₁ = Difenconazole + Pyraclostrobin.
T₂ = Carbendazim + Propiconazole.
T₃ = Azoxystrobin + Ciproconazole.
T₄ = Pyraclostrobin + Epoxiconazole.
T₅ = Azoxystrobin + Difenconazole.

T₆ = Tebuconazol.
T₇ = Azoxystrobina + Tebuconazol.
T₈ = Azoxystrobin + Difenconazole.
T₉ = Tebuconazole + Trifloxystrobin.
T₁₀ = Testigo.

Tabla 18. Datos originales de la tasa de progreso de la incidencia de roya del cafeto en condiciones de inoculación asistida y presión de inóculo natural.

Repeticiones	Tratamientos										Promedio
	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅	T ₆	T ₇	T ₈	T ₉	T ₁₀	
Sin inoculo											
R ₁	0,002	0,001	0,001	0,001	0,002	0,001	0,001	0,001	0,002	0,003	0,002
R ₂	0,002	0,002	0,001	0,001	0,002	0,001	0,001	0,002	0,002	0,004	0,002
R ₃	0,002	0,002	0,001	0,001	0,002	0,001	0,001	0,002	0,002	0,004	0,002
R ₄	0,002	0,002	0,002	0,001	0,003	0,001	0,001	0,002	0,002	0,003	0,002
R ₅	0,002	0,002	0,001	0,001	0,002	0,001	0,002	0,002	0,002	0,003	0,002
R ₆	0,002	0,002	0,001	0,001	0,002	0,001	0,001	0,002	0,002	0,004	0,002
R ₇	0,002	0,001	0,001	0,001	0,002	0,001	0,002	0,002	0,002	0,003	0,002
R ₈	0,001	0,002	0,001	0,001	0,002	0,001	0,002	0,002	0,002	0,003	0,002
R ₉	0,001	0,002	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,002	0,002	0,003	0,002
R ₁₀	0,002	0,002	0,001	0,001	0,002	0,001	0,002	0,002	0,002	0,003	0,002
Promedio	0,002	0,002	0,001	0,001	0,002	0,001	0,001	0,002	0,002	0,003	0,002
Con inoculo											
R ₁	0,004	0,006	0,003	0,003	0,004	0,004	0,006	0,004	0,005	0,009	0,005
R ₂	0,008	0,005	0,003	0,006	0,003	0,005	0,004	0,004	0,005	0,008	0,005
R ₃	0,004	0,005	0,004	0,004	0,003	0,004	0,004	0,005	0,005	0,007	0,004
R ₄	0,007	0,003	0,003	0,004	0,003	0,004	0,005	0,000	0,005	0,008	0,004
R ₅	0,005	0,007	0,004	0,005	0,003	0,005	0,003	0,005	0,005	0,008	0,005
R ₆	0,006	0,004	0,004	0,004	0,004	0,006	0,005	0,009	0,005	0,007	0,005
R ₇	0,008	0,004	0,005	0,005	0,003	0,004	0,003	0,004	0,003	0,007	0,005
R ₈	0,005	0,005	0,004	0,005	0,007	0,004	0,003	0,003	0,005	0,008	0,005
R ₉	0,004	0,006	0,003	0,003	0,004	0,004	0,006	0,004	0,005	0,009	0,005
R ₁₀	0,005	0,004	0,003	0,002	0,004	0,004	0,003	0,005	0,005	0,009	0,004
Promedio	0,006	0,005	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,005	0,008	0,005

Leyenda:

T₁ = Difenconazole + Pyraclostrobin.
T₂ = Carbendazim + Propiconazole.
T₃ = Azoxystrobin + Ciproconazole.
T₄ = Pyraclostrobin + Epoxiconazole.
T₅ = Azoxystrobin + Difenconazole.

T₆ = Tebuconazol.
T₇ = Azoxystrobina + Tebuconazol.
T₈ = Azoxystrobin + Difenconazole.
T₉ = Tebuconazole + Trifloxystrobin.
T₁₀ = Testigo.

Tabla 19. Datos originales del área de progreso de la severidad de roya del cafeto en condiciones de inoculación asistida y presión de inoculo natural.

Repeticiones	Tratamientos										Promedio
	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅	T ₆	T ₇	T ₈	T ₉	T ₁₀	
Sin inocular											
R ₁	1,47	1,25	1,00	0,35	1,65	0,70	1,00	1,01	2,50	7,00	1,79
R ₂	1,38	2,00	1,41	0,66	2,02	1,46	0,94	1,41	1,77	8,20	2,13
R ₃	1,75	1,99	0,88	0,59	1,65	1,44	1,17	1,75	2,21	6,37	1,98
R ₄	1,61	2,01	1,41	0,94	2,81	1,32	1,41	2,28	2,63	5,75	2,22
R ₅	1,34	1,65	0,88	0,75	2,11	1,50	1,25	1,63	2,10	5,18	1,84
R ₆	1,43	1,88	1,10	0,33	1,76	1,04	1,25	1,43	2,11	6,16	1,85
R ₇	1,87	1,50	1,10	1,00	2,12	1,32	1,61	2,01	1,88	6,50	2,09
R ₈	1,17	2,00	1,00	0,59	2,25	1,41	1,61	1,63	2,13	5,21	1,90
R ₉	0,89	2,14	1,00	0,70	1,46	1,10	0,94	1,43	1,98	6,46	1,81
R ₁₀	1,25	1,25	0,94	0,59	1,54	1,04	1,88	1,64	1,76	5,62	1,75
Promedio	1,42	1,77	1,07	0,65	1,94	1,23	1,31	1,62	2,11	6,25	1,94
Con inocular											
R ₁	11,84	15,94	5,74	8,31	12,72	9,24	22,37	10,31	16,74	38,55	15,18
R ₂	29,22	13,13	9,84	16,29	9,96	12,77	8,79	8,79	15,82	28,35	15,30
R ₃	11,25	15,31	15,00	7,37	6,83	8,71	11,02	18,05	14,06	27,54	13,51
R ₄	21,16	8,33	6,03	13,93	8,97	9,37	13,93	0,54	15,35	34,45	13,21
R ₅	13,13	28,01	11,13	12,46	9,11	13,60	8,44	16,10	21,33	33,50	16,68
R ₆	17,25	9,06	9,38	9,02	13,24	19,53	16,29	27,86	17,50	28,75	16,79
R ₇	25,18	9,69	13,93	13,53	9,96	11,12	7,63	8,67	10,73	28,36	13,88
R ₈	17,01	18,54	11,25	16,21	25,98	13,95	9,49	9,26	21,96	30,21	17,39
R ₉	15,52	10,42	5,86	12,89	12,66	13,01	15,31	19,29	28,24	35,16	16,84
R ₁₀	17,57	14,38	7,51	4,23	10,33	14,66	5,51	14,18	14,30	37,74	14,04
Promedio	17,91	14,28	9,57	11,42	11,98	12,60	11,88	13,31	17,60	32,26	15,28

Leyenda:

T₁ = Difenconazole + Pyraclostrobin.
T₂ = Carbendazim + Propiconazole.
T₃ = Azoxystrobin + Ciproconazole.
T₄ = Pyraclostrobin + Epoxiconazole.
T₅ = Azoxystrobin + Difenconazole.

T₆ = Tebuconazol.
T₇ = Azoxistrobina + Tebuconazol.
T₈ = Azoxystrobin + Difenconazole.
T₉ = Tebuconazole + Trifloxystrobin.
T₁₀ = Testigo.

Tabla 20. Datos originales de la tasa de progreso de la severidad de roya del cafeto en condiciones de inoculación asistida y presión de inóculo natural.

Repeticiones	Tratamientos										Promedio
	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅	T ₆	T ₇	T ₈	T ₉	T ₁₀	
Sin inoculo											
R ₁	0,0005	0,0003	0,0003	0,0001	0,0004	0,0003	0,0003	0,0003	0,0007	0,0014	0,0005
R ₂	0,0003	0,0004	0,0004	0,0003	0,0007	0,0003	0,0003	0,0003	0,0004	0,0019	0,0005
R ₃	0,0005	0,0005	0,0003	0,0002	0,0004	0,0003	0,0003	0,0004	0,0006	0,0019	0,0005
R ₄	0,0004	0,0005	0,0004	0,0003	0,0006	0,0004	0,0003	0,0006	0,0005	0,0014	0,0005
R ₅	0,0004	0,0005	0,0003	0,0003	0,0006	0,0004	0,0004	0,0004	0,0006	0,0011	0,0005
R ₆	0,0004	0,0005	0,0003	0,0001	0,0005	0,0002	0,0003	0,0004	0,0006	0,0013	0,0005
R ₇	0,0005	0,0004	0,0003	0,0004	0,0005	0,0004	0,0004	0,0006	0,0004	0,0014	0,0005
R ₈	0,0003	0,0004	0,0003	0,0002	0,0006	0,0003	0,0004	0,0004	0,0006	0,0013	0,0005
R ₉	0,0004	0,0004	0,0004	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0004	0,0005	0,0014	0,0005
R ₁₀	0,0004	0,0004	0,0003	0,0002	0,0005	0,0003	0,0004	0,0004	0,0005	0,0014	0,0005
Promedio	0,0004	0,0004	0,0003	0,0002	0,0005	0,0003	0,0003	0,0004	0,0005	0,0015	0,0005
Con inoculo											
R ₁	0,0025	0,0042	0,0020	0,0023	0,0032	0,0026	0,0048	0,0021	0,0044	0,0079	0,0036
R ₂	0,0063	0,0036	0,0030	0,0036	0,0025	0,0030	0,0023	0,0019	0,0038	0,0064	0,0036
R ₃	0,0030	0,0044	0,0036	0,0022	0,0019	0,0025	0,0027	0,0036	0,0030	0,0054	0,0032
R ₄	0,0053	0,0022	0,0020	0,0029	0,0024	0,0019	0,0029	0,0002	0,0036	0,0074	0,0031
R ₅	0,0035	0,0066	0,0027	0,0027	0,0026	0,0030	0,0024	0,0023	0,0047	0,0073	0,0038
R ₆	0,0042	0,0027	0,0022	0,0022	0,0033	0,0044	0,0030	0,0065	0,0038	0,0059	0,0038
R ₇	0,0064	0,0027	0,0031	0,0035	0,0025	0,0030	0,0025	0,0026	0,0024	0,0058	0,0035
R ₈	0,0039	0,0043	0,0030	0,0033	0,0053	0,0029	0,0027	0,0022	0,0044	0,0061	0,0038
R ₉	0,0037	0,0027	0,0014	0,0022	0,0029	0,0031	0,0038	0,0050	0,0061	0,0072	0,0038
R ₁₀	0,0039	0,0032	0,0019	0,0014	0,0021	0,0034	0,0015	0,0036	0,0035	0,0074	0,0032
Promedio	0,0043	0,0037	0,0025	0,0026	0,0029	0,0030	0,0029	0,0030	0,0040	0,0067	0,0035

Leyenda:

T₁ = Difenconazole + Pyraclostrobin.
T₂ = Carbendazim + Propiconazole.
T₃ = Azoxystrobin + Ciproconazole.
T₄ = Pyraclostrobin + Epoxiconazole.
T₅ = Azoxystrobin + Difenconazole.

T₆ = Tebuconazol.
T₇ = Azoxistrobina + Tebuconazol.
T₈ = Azoxystrobin + Difenconazole.
T₉ = Tebuconazole + Trifloxystrobin.
T₁₀ = Testigo.

Tabla 21. Datos originales del número de hojas enfermas en condiciones de inoculación asistida y presión de inóculo natural.

Repeticiones	Tratamientos										Promedio	
	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅	T ₆	T ₇	T ₈	T ₉	T ₁₀		
Sin inoculo												
R ₁	2,00	2,00	2,00	1,00	3,00	2,00	2,00	1,00	3,00	6,00	2,40	
R ₂	1,00	2,00	2,00	2,00	3,00	2,00	2,00	2,00	3,00	6,00	2,50	
R ₃	2,00	3,00	2,00	1,00	3,00	2,00	2,00	2,00	4,00	6,00	2,70	
R ₄	2,00	3,00	2,00	2,00	3,00	2,00	2,00	3,00	3,00	6,00	2,80	
R ₅	2,00	3,00	2,00	2,00	3,00	2,00	2,00	3,00	4,00	6,00	2,90	
R ₆	3,00	3,00	2,00	1,00	3,00	2,00	2,00	3,00	3,00	6,00	2,80	
R ₇	2,00	2,00	2,00	2,00	3,00	2,00	2,00	3,00	4,00	6,00	2,80	
R ₈	2,00	2,00	2,00	2,00	3,00	2,00	2,00	3,00	3,00	6,00	2,70	
R ₉	3,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	3,00	3,00	6,00	2,70	
R ₁₀	2,00	2,00	2,00	1,00	3,00	2,00	2,00	2,00	3,00	6,00	2,50	
Promedio	2,10	2,40	2,00	1,60	2,90	2,00	2,00	2,50	3,30	6,00	2,68	
Con inoculo												
R ₁	7,00	10,00	5,00	4,00	6,00	6,00	10,00	8,00	8,00	16,00	8,00	
R ₂	9,00	8,00	6,00	10,00	5,00	9,00	7,00	7,00	9,00	16,00	8,60	
R ₃	7,00	6,00	7,00	5,00	4,00	6,00	7,00	9,00	9,00	12,00	7,20	
R ₄	10,00	5,00	4,00	6,00	4,00	7,00	8,00	3,00	9,00	15,00	7,10	
R ₅	8,00	11,00	6,00	8,00	4,00	9,00	4,00	10,00	9,00	13,00	8,20	
R ₆	9,00	6,00	8,00	7,00	6,00	9,00	9,00	14,00	9,00	15,00	9,20	
R ₇	12,00	8,00	8,00	7,00	5,00	6,00	4,00	6,00	6,00	14,00	7,60	
R ₈	9,00	9,00	6,00	7,00	10,00	8,00	6,00	6,00	8,00	16,00	8,50	
R ₉	9,00	6,00	3,00	7,00	7,00	7,00	11,00	9,00	10,00	13,00	8,20	
R ₁₀	9,00	8,00	3,00	4,00	7,00	7,00	5,00	8,00	8,00	16,00	7,50	
Promedio	8,90	7,70	5,60	6,50	5,80	7,40	7,10	8,00	8,50	14,60	8,01	

Leyenda:

T₁ = Difenconazole + Pyraclostrobin.
T₂ = Carbendazim + Propiconazole.
T₃ = Azoxystrobin + Ciproconazole.
T₄ = Pyraclostrobin + Epoxiconazole.
T₅ = Azoxystrobin + Difenconazole.

T₆ = Tebuconazol.
T₇ = Azoxistrobina + Tebuconazol.
T₈ = Azoxystrobin + Difenconazole.
T₉ = Tebuconazole + Trifloxystrobin.
T₁₀ = Testigo.

Tabla 22. Datos originales del número de hojas sanas en condiciones de inoculación asistida y presión de inóculo natural.

Repeticiones	Tratamientos										Promedio
	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅	T ₆	T ₇	T ₈	T ₉	T ₁₀	
Sin inoculo											
R ₁	12,00	16,00	13,00	15,00	14,00	14,00	13,00	12,00	12,00	9,00	13,00
R ₂	14,00	13,00	14,00	15,00	10,00	16,00	14,00	14,00	15,00	10,00	13,50
R ₃	13,00	13,00	15,00	15,00	14,00	11,00	14,00	13,00	13,00	9,00	13,00
R ₄	12,00	11,00	14,00	14,00	11,00	15,00	14,00	11,00	12,00	9,00	12,30
R ₅	12,00	14,00	15,00	13,00	13,00	13,00	13,00	12,00	13,00	11,00	12,90
R ₆	14,00	12,00	15,00	16,00	14,00	16,00	16,00	14,00	13,00	8,00	13,80
R ₇	12,00	13,00	15,00	13,00	12,00	15,00	12,00	11,00	14,00	9,00	12,60
R ₈	14,00	13,00	13,00	17,00	12,00	14,00	12,00	12,00	12,00	12,00	13,10
R ₉	16,00	12,00	13,00	14,00	16,00	15,00	14,00	14,00	14,00	12,00	14,00
R ₁₀	13,00	13,00	14,00	15,00	14,00	16,00	12,00	14,00	13,00	11,00	13,50
Promedio	13,20	13,00	14,10	14,70	13,00	14,50	13,40	12,70	13,10	10,00	13,17
Con inoculo											
R ₁	9,00	6,00	11,00	10,00	8,00	8,00	4,00	10,00	6,00	0,00	7,20
R ₂	3,00	10,00	10,00	6,00	11,00	7,00	9,00	9,00	7,00	1,00	7,30
R ₃	9,00	6,00	9,00	9,00	10,00	8,00	9,00	7,00	7,00	4,00	7,80
R ₄	4,00	13,00	10,00	8,00	10,00	10,00	6,00	11,00	7,00	1,00	8,00
R ₅	8,00	5,00	10,00	6,00	10,00	7,00	10,00	7,00	7,00	2,00	7,20
R ₆	6,00	12,00	12,00	9,00	10,00	3,00	7,00	0,00	9,00	3,00	7,10
R ₇	2,00	10,00	6,00	7,00	11,00	8,00	10,00	10,00	12,00	2,00	7,80
R ₈	5,00	9,00	8,00	7,00	4,00	8,00	10,00	10,00	6,00	2,00	6,90
R ₉	9,00	12,00	13,00	9,00	9,00	9,00	7,00	5,00	6,00	3,00	8,20
R ₁₀	7,00	10,00	11,00	12,00	9,00	9,00	12,00	8,00	8,00	0,00	8,60
Promedio	6,20	9,30	10,00	8,30	9,20	7,70	8,40	7,70	7,50	1,80	7,61

Leyenda:

T₁ = Difenconazole + Pyraclostrobin.
T₂ = Carbendazim + Propiconazole.
T₃ = Azoxystrobin + Ciproconazole.
T₄ = Pyraclostrobin + Epoxiconazole.
T₅ = Azoxystrobin + Difenconazole.

T₆ = Tebuconazol.
T₇ = Azoxistrobina + Tebuconazol.
T₈ = Azoxystrobin + Difenconazole.
T₉ = Tebuconazole + Trifloxystrobin.
T₁₀ = Testigo.

Tabla 23. Datos originales del número de hojas totales en condiciones de inoculación asistida y presión de inóculo natural.

Repeticiones	Tratamientos										Promedio
	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅	T ₆	T ₇	T ₈	T ₉	T ₁₀	
Sin inoculo											
R ₁	14,00	18,00	15,00	16,00	17,00	16,00	15,00	13,00	15,00	15,00	15,40
R ₂	15,00	15,00	16,00	17,00	13,00	18,00	16,00	16,00	18,00	16,00	16,00
R ₃	15,00	16,00	17,00	16,00	17,00	13,00	16,00	15,00	17,00	15,00	15,70
R ₄	14,00	14,00	16,00	16,00	14,00	17,00	16,00	14,00	15,00	15,00	15,10
R ₅	14,00	17,00	17,00	15,00	16,00	15,00	15,00	15,00	17,00	17,00	15,80
R ₆	17,00	15,00	17,00	17,00	17,00	18,00	18,00	17,00	16,00	14,00	16,60
R ₇	14,00	15,00	17,00	15,00	15,00	17,00	14,00	14,00	18,00	15,00	15,40
R ₈	16,00	15,00	15,00	19,00	15,00	16,00	14,00	15,00	15,00	18,00	15,80
R ₉	19,00	14,00	15,00	16,00	18,00	17,00	16,00	17,00	17,00	18,00	16,70
R ₁₀	15,00	15,00	16,00	16,00	17,00	18,00	14,00	16,00	16,00	17,00	16,00
Promedio	15,30	15,40	16,10	16,30	15,90	16,50	15,40	15,20	16,40	16,00	15,85
Con inoculo											
R ₁	16,00	16,00	16,00	14,00	14,00	14,00	14,00	18,00	14,00	16,00	15,20
R ₂	12,00	18,00	16,00	16,00	16,00	16,00	16,00	16,00	16,00	17,00	15,90
R ₃	16,00	12,00	16,00	14,00	14,00	14,00	16,00	16,00	16,00	16,00	15,00
R ₄	14,00	18,00	14,00	14,00	14,00	17,00	14,00	14,00	16,00	16,00	15,10
R ₅	16,00	16,00	16,00	14,00	14,00	16,00	14,00	17,00	16,00	15,00	15,40
R ₆	15,00	18,00	20,00	16,00	16,00	12,00	16,00	14,00	18,00	18,00	16,30
R ₇	14,00	18,00	14,00	14,00	16,00	14,00	14,00	16,00	18,00	16,00	15,40
R ₈	14,00	18,00	14,00	14,00	14,00	16,00	16,00	16,00	14,00	18,00	15,40
R ₉	18,00	18,00	16,00	16,00	16,00	16,00	18,00	14,00	16,00	16,00	16,40
R ₁₀	16,00	18,00	14,00	16,00	16,00	16,00	17,00	16,00	16,00	16,00	16,10
Promedio	15,10	17,00	15,60	14,80	15,00	15,10	15,50	15,70	16,00	16,40	15,62

Leyenda:

T₁ = Difenconazole + Pyraclostrobin.
T₂ = Carbendazim + Propiconazole.
T₃ = Azoxystrobin + Ciproconazole.
T₄ = Pyraclostrobin + Epoxiconazole.
T₅ = Azoxystrobin + Difenconazole.

T₆ = Tebuconazol.
T₇ = Azoxistrobina + Tebuconazol.
T₈ = Azoxystrobin + Difenconazole.
T₉ = Tebuconazole + Trifloxystrobin.
T₁₀ = Testigo.

Tabla 24. Resultados del análisis de regresión lineal simple para la incidencia de la enfermedad.

Enfermedad	Clave	Tratamiento	Modelo (Regresión lineal simple)	Tasa	R ²
Bajo inoculación asistida	T ₁	Difenoconazole+ Pyraclostrobin	$y = 0,0055x - 0,0827$	0,006	R ² = 0,9959
	T ₂	Carbendazim + Propiconazole	$y = 0,0048x - 0,0968$	0,005	R ² = 0,9907
	T ₃	Azoxystrobin + Ciproconazole	$y = 0,0035x - 0,0645$	0,004	R ² = 0,9836
	T ₄	Pyraclostrobin + Epoxiconazole	$y = 0,0039x - 0,0555$	0,004	R ² = 0,9766
	T ₅	Azoxystrobin + Difenoconazole	$y = 0,0038x - 0,0616$	0,004	R ² = 0,9714
	T ₆	Tebuconazol	$y = 0,0043x - 0,0564$	0,004	R ² = 0,9736
	T ₇	Azoxistrobina + Tebuconazol	$y = 0,0041x - 0,0424$	0,004	R ² = 0,9843
	T ₈	Azoxystrobin + Difenoconazole	$y = 0,0043x - 0,0584$	0,004	R ² = 0,9877
	T ₉	Tebuconazole + Trifloxystrobin	$y = 0,0047x - 0,0440$	0,005	R ² = 0,9801
	T ₁₀	Testigo	$y = 0,0080x - 0,0577$	0,008	R ² = 0,9864
Bajo inóculo natural	T ₁	Difenoconazole+ Pyraclostrobin	$y = 0,0019x - 0,0534$	0,002	R ² = 0,9376
	T ₂	Carbendazim + Propiconazole	$y = 0,0018x - 0,0501$	0,002	R ² = 0,9468
	T ₃	Azoxystrobin + Ciproconazole	$y = 0,0013x - 0,0432$	0,001	R ² = 0,8755
	T ₄	Pyraclostrobin + Epoxiconazole	$y = 0,0009x - 0,0357$	0,001	R ² = 0,7598
	T ₅	Azoxystrobin + Difenoconazole	$y = 0,0013x - 0,0384$	0,001	R ² = 0,9467
	T ₆	Tebuconazol	$y = 0,0017x - 0,0599$	0,002	R ² = 0,8600
	T ₇	Azoxistrobina + Tebuconazol	$y = 0,0014x - 0,0430$	0,001	R ² = 0,9337
	T ₈	Azoxystrobin + Difenoconazole	$y = 0,0017x - 0,0524$	0,002	R ² = 0,8952
	T ₉	Tebuconazole + Trifloxystrobin	$y = 0,020x - 0,05460$	0,002	R ² = 0,9651
	T ₁₀	Testigo	$y = 0,0033x - 0,0598$	0,003	R ² = 0,9478

Tabla 25. Resultados del análisis de regresión lineal simple para la severidad de la enfermedad.

Enfermedad	Clave	Tratamiento	Modelo (Regresión lineal simple)	Tasa	R ²
Bajo inoculación asistida	T ₁	Difenoconazole+ Pyraclostrobin	$y = 0,0043x - 0.1102$	0,004	R ² = 0,9348
	T ₂	Carbendazim + Propiconazole	$y = 0,0037x - 0.1047$	0,004	R ² = 0,9391
	T ₃	Azoxystrobin + Ciproconazole	$y = 0,0025x - 0.0708$	0,003	R ² = 0,8723
	T ₄	Pyraclostrobin + Epoxiconazole	$y = 0,0026x - 0.0652$	0,003	R ² = 0,9347
	T ₅	Azoxystrobin + Difenoconazole	$y = 0,0029x - 0.0750$	0,003	R ² = 0,9417
	T ₆	Tebuconazol	$y = 0,0030x - 0.07440$	0,003	R ² = 0,9190
	T ₇	Azoxistrobina + Tebuconazol	$y = 0,0029x - 0.0738$	0,003	R ² = 0,9083
	T ₈	Azoxystrobin + Difenoconazole	$y = 0,0030x - 0.07280$	0,003	R ² = 0,9534
	T ₉	Tebuconazole + Trifloxystrobin	$y = 0,0040x - 0.09440$	0,004	R ² = 0,9330
	T ₁₀	Testigo	$y = 0,0067x - 0.1387$	0,007	R ² = 0,9846
Bajo inóculo natural	T ₁	Difenoconazole+ Pyraclostrobin	$y = 0,0005x - 0.0166$	5E-04	R ² = 0,9267
	T ₂	Carbendazim + Propiconazole	$y = 0,0004x - 0.0119$	4E-04	R ² = 0,9455
	T ₃	Azoxystrobin + Ciproconazole	$y = 0,0003x - 0.0111$	3E-04	R ² = 0,8788
	T ₄	Pyraclostrobin + Epoxiconazole	$y = 0,0002x - 0.0093$	2E-04	R ² = 0,7574
	T ₅	Azoxystrobin + Difenoconazole	$y = 0,0003x - 0.0096$	3E-04	R ² = 0,947
	T ₆	Tebuconazol	$y = 0,0004x - 0.0142$	4E-04	R ² = 0,8571
	T ₇	Azoxistrobina + Tebuconazol	$y = 0,0004x - 0.0109$	4E-04	R ² = 0,9331
	T ₈	Azoxystrobin + Difenoconazole	$y = 0,0004x - 0.0128$	4E-04	R ² = 0,9029
	T ₉	Tebuconazole + Trifloxystrobin	$y = 0,0005x - 0.0155$	5E-04	R ² = 0,9301
	T ₁₀	Testigo	$y = 0,0014x - 0.0354$	0,001	R ² = 0,9428

Tabla 26. Detalles de los costos de producción de plantones de café en vivero para una hectárea (5000 plantones).

[illegible]

Tifón	L	0,50	60,50	30,30	30,30	30,30	30,30	30,30	30,30	30,30	30,30	30,30	30,30
Compost	kg	2000,00	0,50	1000,00	1000,00	1000,00	1000,00	1000,00	1000,00	1000,00	1000,00	1000,00	1000,00
Arena	kg	500,00	0,20	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Tierra	kg	2000,00	0,20	400,00	400,00	400,00	400,00	400,00	400,00	400,00	400,00	400,00	400,00
Roca fosfórica	kg	10,00	1,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00
Guano de isla	kg	10,00	0,50	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00
Fosfato diamónico	kg	10,00	2,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00
Square	L	385,00	0,20	77,00									
Benprox	L	87,00	0,20		17,40								
T3 Amistar Ztra	L	530,00	0,20			106,00							
Opera	L	280,00	0,20				56,00						
T5 Luxor Top	L	320,00	0,20					64,00					
Orius	L	135,00	0,20						27,00				
Custodia	L	200,00	0,20							40,00			
Confie	L	150,00	0,20								30,00		
Royalty	L	120,00	0,20									24,00	
Testigo	L	0,00	0,20										0,00
Total				2720,30	2660,70	2749,30	2699,30	2707,30	2670,30	2683,30	2673,30	2667,30	2720,30

U.M. = Unidad de medida. C.U. Costo unitario.

Leyenda:

T₁ = Difenconazole + Pyraclostrobin.

T₂ = Carbendazim + Propiconazole.

T₃ = Azoxystrobin + Ciproconazole.

T₄ = Pyraclostrobin + Epoxiconazole.

T₅ = Azoxystrobin + Difenconazole.

T₆ = Tebuconazol.

T₇ = Azoxistrobina + Tebuconazol.

T₈ = Azoxystrobin + Difenconazole.

T₉ = Tebuconazole + Trifloxystrobin.

T₁₀ = Testigo.

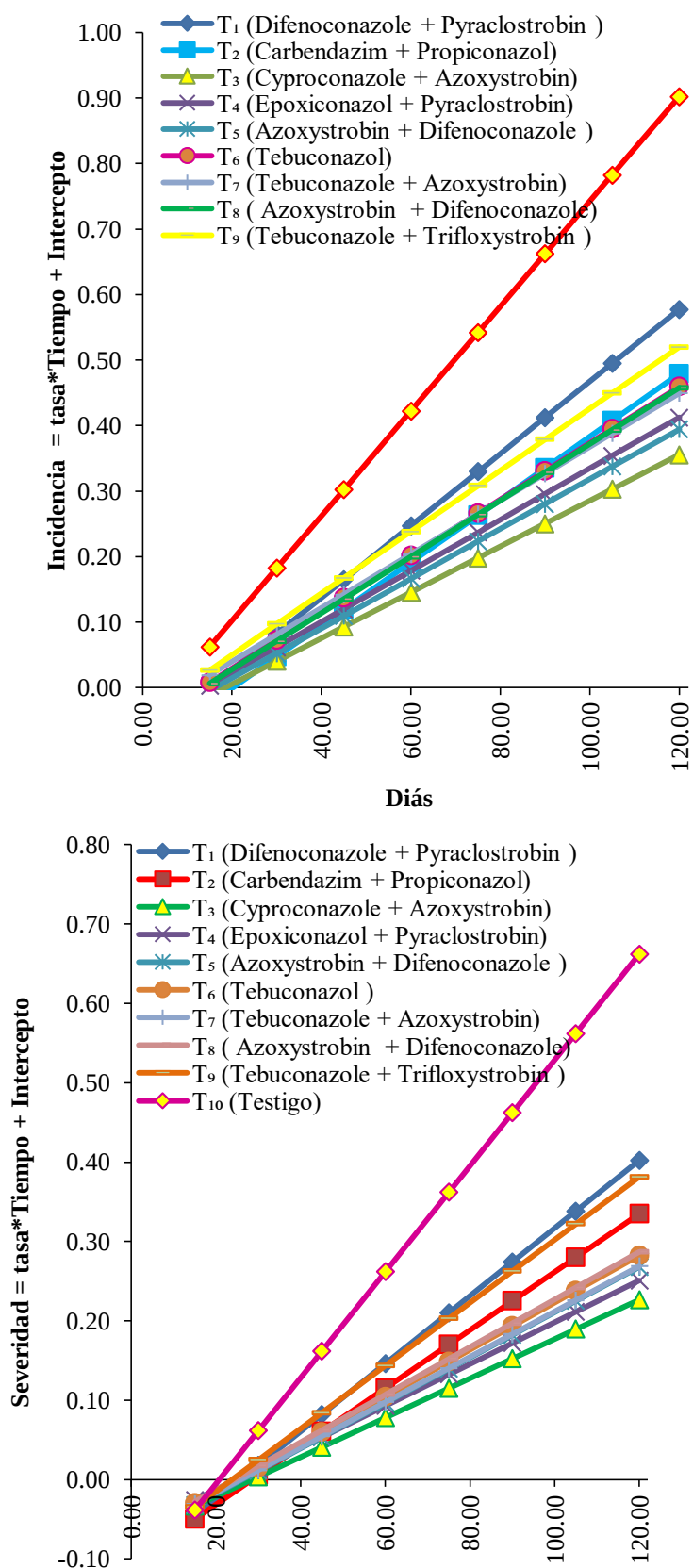


Figura 5. Curvas de progreso de la incidencia y severidad de la roya del cafeto ajustados al modelo de regresión lineal en condiciones de inoculación asistida.

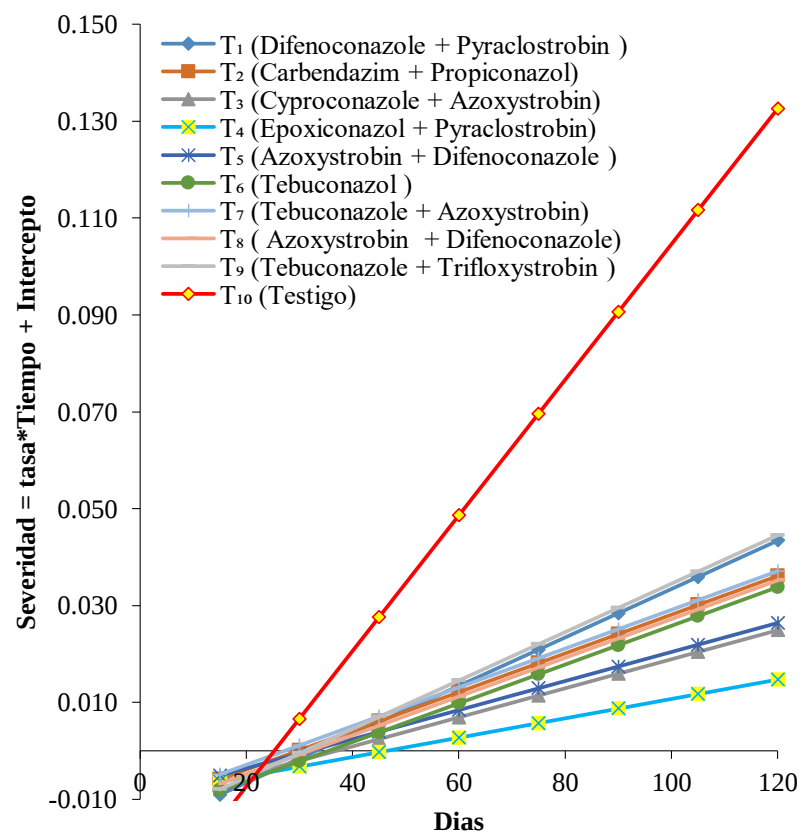
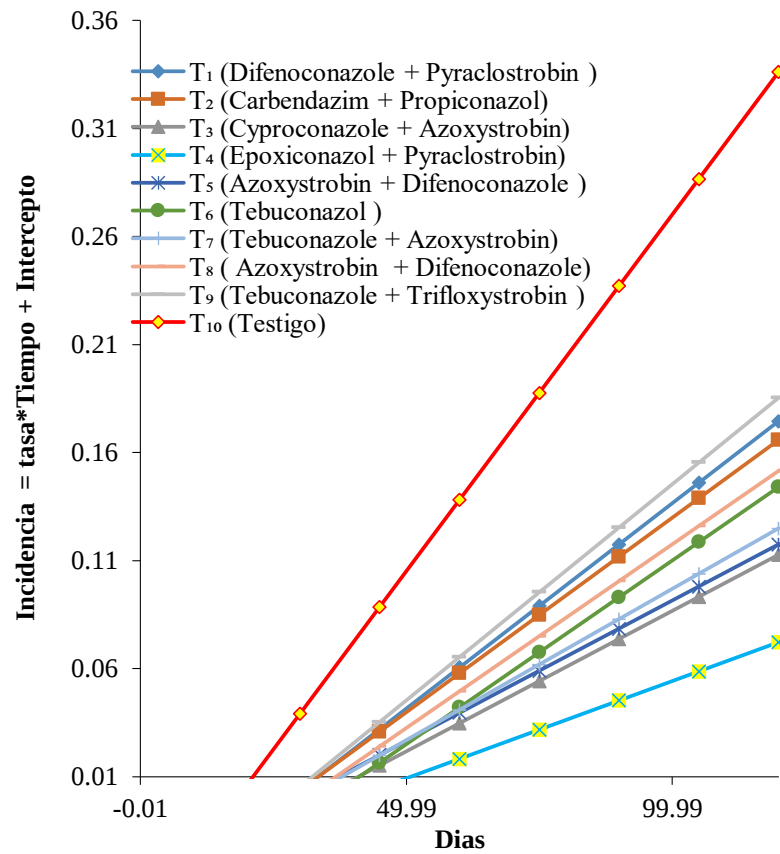


Figura 6. Curvas de progreso de la incidencia y severidad de la roya del cafeto ajustados al modelo de regresión lineal en condiciones de inóculo natural.

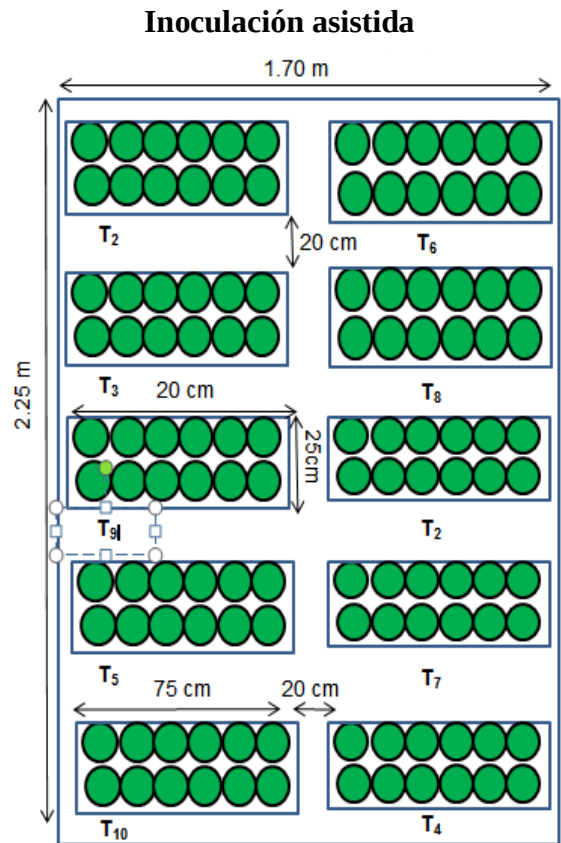


Figura 7. Croquis del experimento bajo condiciones de inoculación asistida y bajo presión de inóculo natural.



Figura 8. Preparación de las dosis de aplicación de los fungicidas.



Figura 9. Evaluación de la incidencia de roya del cafeto a los 60 días después de la aplicación de los fungicidas.