

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

FACULTAD DE AGRONOMÍA Y ZOOTECNIA

ESCUELA PROFESIONAL DE AGRONOMÍA



TESIS

INCIDENCIA Y SEVERIDAD DE LA ROYA (*Hemileia vastatrix* Berk. & Br.) EN CUATRO CULTIVARES DE CAFETO EN EL SECTOR IDMA - ESMERALDA DEL DISTRITO DE SANTA ANA – LA CONVENCION - CUSCO

PRESENTADO POR:

Br. GONZALO RAUL CLAVERI CONCHA

PARA OPTAR AL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO AGRÓNOMO.

ASESOR:

Mg. LUIS JUSTINO LIZARRAGA VALENCIA

CUSCO – PERÚ

2026



Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco

INFORME DE SIMILITUD

(Aprobado por Resolución Nro. CU-321-2025-UNSAAC)

El que suscribe, el Asesor Luis Justino Lizarraga Valencia.....
 quien aplica el software de detección de similitud al
 trabajo de investigación/tesis titulada:

Incidencia y Severidad de la roya (Hemileia vastatrix Berk. & Br.)
en cuatro cultivares de café en el sector Idma - Esmeralda
del distrito de Santa Ana - La Convención - Cusco.....

Presentado por: Guazalo Raul Claveri Cancha..... DNI N° 70244903 ;

presentado por: DNI N°:

Para optar el título Profesional/Grado Académico de Ingeniero Agrónomo.....

Informo que el trabajo de investigación ha sido sometido a revisión por 1 veces, mediante el Software de Similitud, conforme al Art. 6° del **Reglamento para Uso del Sistema Detección de Similitud en la UNSAAC** y de la evaluación de originalidad se tiene un porcentaje de 6 %.

Evaluación y acciones del reporte de coincidencia para trabajos de investigación conducentes a grado académico o título profesional, tesis

Porcentaje	Evaluación y Acciones	Marque con una (X)
Del 1 al 10%	No sobrepasa el porcentaje aceptado de similitud.	X
Del 11 al 30 %	Devolver al usuario para las subsanaciones.	
Mayor a 31%	El responsable de la revisión del documento emite un informe al inmediato jerárquico, conforme al reglamento, quien a su vez eleva el informe al Vicerrectorado de Investigación para que tome las acciones correspondientes; Sin perjuicio de las sanciones administrativas que correspondan de acuerdo a Ley.	

Por tanto, en mi condición de Asesor, firmo el presente informe en señal de conformidad y adjunto las primeras páginas del reporte del Sistema de Detección de Similitud.

Cusco, 7 de abril..... de 2026.....

Firma

Post firma M. Sc. Luis Justino Lizarraga Valencia

Nro. de DNI 23902170

ORCID del Asesor 0000-0001-5600-7998

Se adjunta:

- Reporte generado por el Sistema Antiplagio.
- Enlace del Reporte Generado por el Sistema de Detección de Similitud: oid: 3327259:575897176

Gonzalo Claveri Concha

TESIS - ROYA DEL CAFETO.pdf

 Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid:::27259:575697176

Fecha de entrega

7 abr 2026, 8:59 a.m. GMT-5

Fecha de descarga

7 abr 2026, 9:02 a.m. GMT-5

Nombre del archivo

TESIS - ROYA DEL CAFETO.pdf

Tamaño del archivo

8.5 MB

158 páginas

34.247 palabras

170.118 caracteres




6% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe


- ▶ Bibliografía
- ▶ Texto citado
- ▶ Texto mencionado

Fuentes principales

- 5%  Fuentes de Internet
- 2%  Publicaciones
- 4%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alerta de integridad para revisión

-  **Texto oculto**
269 caracteres sospechosos en N.º de páginas
El texto es alterado para mezclarse con el fondo blanco del documento.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

DEDICATORIA

A mi madre, por ser mi pilar incondicional, por su amor infinito, su paciencia y sus constantes sacrificios. Gracias por creer en mí incluso cuando yo dudaba, por impulsarme a seguir adelante y enseñarme que con esfuerzo todo es posible.

A mi padre, por su apoyo firme y constante, por sus consejos, su ejemplo de responsabilidad y por brindarme siempre la fortaleza necesaria para no rendirme en los momentos difíciles.

Y a mi querido abuelo, quien, aunque ya no está físicamente, vive eternamente en mi corazón. Su recuerdo, sus enseñanzas y su amor siguen guiando cada uno de mis pasos. Este logro también es para ti, con todo mi cariño y gratitud.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco, en primer lugar, a Dios, por darme la vida, la salud y la fortaleza necesaria para culminar esta importante etapa de mi formación profesional. Su guía ha sido fundamental en cada paso de este camino.

A la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, por brindarme la oportunidad de formarme académicamente, así como por los conocimientos, valores y experiencias adquiridas a lo largo de mi carrera profesional.

A mi asesor Luis Justino Lizárraga Valencia, por su orientación constante, su paciencia y su valioso acompañamiento en el desarrollo de esta tesis. Sus conocimientos y recomendaciones han sido fundamentales para la culminación de este trabajo.

A mis docentes, quienes con dedicación y vocación compartieron sus conocimientos, contribuyendo significativamente a mi formación académica y personal.

A mis tías, en especial a Vilma, Lurdes, Alicia Olga, Sonia y Fany, por su apoyo incondicional, tanto moral como económico. Su generosidad, confianza y cariño han sido clave para que pudiera continuar y culminar mis estudios; este logro también les pertenece.

A mi primo Michel, por su compañía, por los momentos compartidos y por ser parte de mi motivación para seguir creciendo y superándome.

A todas aquellas personas que, de una u otra manera, me brindaron su apoyo, motivación y confianza durante este proceso, ya sean amigos, compañeros o familiares cercanos, quienes estuvieron presentes en los momentos más importantes de este camino.

ÍNDICE

DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTOS.....	iii
RESUMEN.....	1
ABSTRACT.....	2
INTRODUCCIÓN.....	3
I. PROBLEMA OBJETO DE INVESTIGACION	4
1.1. Planteamiento del problema objeto de investigación	4
1.2. Formulación del problema.....	6
1.2.1. Problema general	6
1.2.2. Problemas específicos.....	6
II. OBJETIVOS Y JUSTIFICACION.....	7
2.1. Objetivo general	7
2.2. Objetivos específicos.....	7
2.3. Justificación.....	7
III. HIPOTESIS.....	9
3.1. Hipótesis general	9
3.2. Hipótesis específicas.....	9
IV. MARCO TEORICO.....	10
4.1. Antecedentes de la investigación.....	10
4.1.1. Antecedentes internacionales	10
4.1.2. Antecedentes nacionales.....	11
4.1.3. Antecedentes locales.....	12
4.2. Bases teóricas	14
4.2.1. Cafeto	14
4.2.2. La roya amarilla del cafeto (<i>Hemileia vastatrix</i>).....	27
4.2.3. Tolerancia	59
4.3. Definición de términos o marco conceptual	62
4.3.1. Cafeto (<i>Coffea sp.</i>).....	62
4.3.2. Especie.....	62

4.3.3.	Variedad	62
4.3.4.	Cultivar	62
4.3.5.	Cerezo	63
4.3.6.	Roya del cafeto (<i>Hemileia vastatrix</i>).....	63
4.3.7.	Coffea arabica.....	63
4.3.8.	Incidencia.....	64
4.3.9.	Severidad	64
4.3.10.	Grados de Severidad.....	64
4.3.11.	Correlación	65
V.	DISEÑO DE LA INVESTIGACION	66
5.1.	Generalidades de la investigación	66
5.1.1.	Tipo de investigación: Descriptivo - Evaluativo	66
5.1.2.	Ubicación espacial.....	66
5.1.3.	Ubicación política.....	66
5.1.4.	Ubicación geográfica	66
5.1.5.	Ubicación hidrográfica	66
5.1.6.	Ubicación satelital del campo.....	67
5.1.7.	Zona de vida	67
5.1.8.	Caracterización Climática del Periodo de Evaluación	67
5.1.9.	Ubicación Temporal.....	70
5.1.10.	Variables de Investigación	70
5.2.	Materiales y métodos.....	71
5.2.1.	Materiales	71
5.2.2.	Metodología.....	71
5.2.3.	Conducción del experimento y periodo de evaluación.....	72
5.2.4.	Conducción de la Investigación y Análisis por Objetivo	73
5.3.	Metodología para la evaluación de la Correlación entre los niveles de Incidencia-Severidad de la roya.....	74
5.3.1.	Época de evaluación	75
5.3.2.	Evaluación de los cultivares	75
VI.	RESULTADOS Y DISCUSION	78
6.1.	Resultados de Comparación de Niveles de Incidencia de la Roya.....	78
6.1.1.	Análisis Descriptivo de la Incidencia	78

6.1.2.	Análisis de Varianza de la Incidencia (ANOVA)	79
6.1.3.	Discusión sobre los resultados de los Niveles de Incidencia de la Roya	82
6.2.	Resultados de Comparación de Niveles de Severidad de la Roya	83
6.2.1.	Análisis Descriptivo de la Severidad.....	83
6.2.2.	Análisis de Varianza de la Severidad (ANOVA)	84
6.2.3.	Discusión sobre los resultados de los Niveles de Severidad de la Roya	87
6.3.	Resultados de la Correlación entre los niveles de Incidencia-Severidad de la roya	89
6.3.1.	Relación Lineal entre Incidencia y Severidad de la Roya	89
6.3.2.	Resumen del modelo de regresión Incidencia vs. Severidad.....	89
6.3.3.	Interpretación del ANOVA de Regresión (Severidad vs. Incidencia).....	90
6.3.4.	Interpretación de la Regresión (Tabla de Coeficientes).....	91
6.3.5.	Interpretación del Coeficiente 0.326 (Pendiente)	92
6.3.6.	Discusión de la Correlación entre los niveles de Incidencia-Severidad de la roya	93
6.4.	Limitaciones del Estudio y Proyecciones Futuras	95
6.4.1.	Limitaciones del Estudio	95
6.4.2.	Proyecciones Futuras	96
VII.	CONCLUSIONES Y SUGERENCIAS.....	97
7.1.	Conclusiones.....	97
7.2.	Sugerencias	98
VIII.	BIBLIOGRAFIA	100
IX.	ANEXOS	109

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Datos climáticos Mensuales de la Estacion "SAN PABLO"	68
Tabla 2 Grados o calificación de escala de severidad	76
Tabla 3 Análisis Descriptivo del grado de incidencia.....	78
Tabla 4 Contraste de Igualdad de Varianzas de Incidencia (de Levene)	79
Tabla 5 ANOVA(Welch) del grado de incidencia.....	80
Tabla 6 Comparaciones Post-hoc de Games-Howell - Cultivar Incidencia	81
Tabla 7 Análisis Descriptivo del grado de Severidad	84
Tabla 8 Contraste de Igualdad de Varianzas de Severidad (de Levene)	85
Tabla 9 ANOVA (de Welch) del grado de Severidad.....	85
Tabla 10 Comparaciones Post-hoc de Games-Howell - Cultivar Severidad	86
Tabla 11 Correlación de Pearson entre Incidencia y Severidad de la roya.....	89
Tabla 12 Resumen del modelo de regresión	89
Tabla 13 ANOVA de Regresión.....	90
Tabla 14 Coeficientes de la Regresión	91
Tabla 15 Datos Meteorológicos de SENAMHI (Estacion SAN PABLO)	117
Tabla 16 Datos de la evaluación de Incidencia – Cultivar Costa Rica 95	119
Tabla 17 Datos de evaluación de Incidencia - Cultivar Castilla.....	121
Tabla 18 Datos de evaluación de Incidencia - Cultivar Colombia	123
Tabla 19 Datos de evaluación de Incidencia - Cultivar Geisha	125
Tabla 20 Datos de evaluación de Severidad - Cultivar Costa Rica 95	128
Tabla 21 Datos de evaluación de Severidad - Cultivar Castilla	130
Tabla 22 Datos de evaluación de Severidad - Cultivar Colombia.....	133
Tabla 23 Datos de evaluación de Severidad - Cultivar Geisha.....	135
Tabla 24 Datos de Incidencia y Severidad.....	138

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Partes del fruto del cafeto.....	18
Figura 2 Partes mas importantes del cafeto	19
Figura 3 Partes del cafeto	19
Figura 4 Ciclo biológico de la roya del cafeto	30
Figura 5 Vista Satelital de ubicación del campo experimental.....	67
Figura 6 Temperatura promedio mensual	69
Figura 7 Climograma de precipitación acumulada y humedad relativa	69
Figura 8 Grados de calificación de la roya amarilla del cafeto	76
Figura 9 Grafico Q-Q (Normalidad).....	79
Figura 10 Grafico de Supuesto de Normalidad Severidad	84
Figura 11 Grafico de Dispersión.....	92
Figura 12 Cultivar Geisha.....	109
Figura 13 Evaluación General del cultivar Colombia	109
Figura 14 Cultivar Castillo	109
Figura 15 Evaluación General del cultivar Castillo	109
Figura 16 Cultivar Costa Rica 95	110
Figura 17 Parcela del cultivar Costa Rica 95	110
Figura 18 Evaluación General del cultivar Geisha.....	110
Figura 19 Incidencia foliar en el cultivar Costa Rica 95	111
Figura 20 Incidencia foliar en el cultivar Colombia.....	111
Figura 21 Incidencia foliar en el cultivar Castillo	111
Figura 22 Incidencia foliar en el cultivar Geisha	112
Figura 23 Alta Severidad en el cultivar Costa Rica 95.....	112
Figura 24 Severidad en el cultivar Colombia	112

Figura 25 Severidad en el cultivar Castillo	113
Figura 26 Severidad en el cultivar Geisha.....	113
Figura 27 Modelo de ficha de evaluacion 1: Incidencia de la roya.....	114
Figura 28 Modelo de ficha de evaluación 2: Severidad de la roya.....	115
Figura 29 Portal de la página SENAMHI (Estacion San Pablo).....	116
Figura 30 Ficha de evaluación de la Incidencia (Cultivar Costa Rica 95)	143
Figura 31 Ficha de evaluación de la Incidencia (Cultivar Colombia).....	144
Figura 32 Ficha de evaluación de la Incidencia (Cultivar Castillo)	145
Figura 33 Ficha de evaluación de la Incidencia (Cultivar Geisha).....	146
Figura 34 Ficha de evaluación de la Severidad (Cultivar Costa Rica 95).....	147
Figura 35 Ficha de evaluación de la Severidad (Cultivar Castillo).....	148
Figura 36 Ficha de evaluación de la Severidad (Cultivar Colombia).....	149

RESUMEN

La presente investigación titulada "INCIDENCIA Y SEVERIDAD DE LA ROYA (*Hemileia vastatrix* Berk. & Br.) EN CUATRO CULTIVARES DE CAFETO EN EL SECTOR IDMA - ESMERALDA DEL DISTRITO DE SANTA ANA – LA CONVENCIÓN - CUSCO", aborda la amenaza significativa que representa la roya del café para la producción en dicho sector. El objetivo general de esta investigación fue determinar y comparar los niveles de incidencia y severidad de la roya en cuatro cultivares: Costa Rica 95, Castillo, Colombia y Geisha.

El estudio de campo se llevó a cabo durante los meses de noviembre y diciembre de 2024, y enero de 2025. Se realizó un estudio descriptivo y evaluativo, muestreando 100 plantas por cultivar (20,000 hojas en total) y utilizando la escala de severidad 0-4 del SENASA. El análisis estadístico (ANOVA de Welch y Games-Howell) reveló diferencias altamente significativas ($p < 0.001$) en la susceptibilidad de los cultivares. Los resultados identificaron tres grupos de resistencia: Grupo A (Resistente), compuesto por Castillo (4.70%) y Colombia (5.68%), que no mostraron diferencias entre sí. Grupo B (Intermedio), representado por Geisha (17.58%). Grupo C (Susceptible), constituido por Costa Rica 95, que presentó los niveles más elevados de enfermedad (22.04%). Adicionalmente, se determinó una correlación positiva casi perfecta ($R = 0.978$) entre la incidencia y la severidad de la enfermedad ($R^2 = 0.957$). Se concluye que, bajo las condiciones del estudio, los cultivares Castillo y Colombia exhiben una resistencia de campo efectiva, mientras que el cultivar Costa Rica 95 demuestra una alta susceptibilidad.

Palabras clave: *Hemileia vastatrix*, Incidencia, Severidad, *Coffea arabica*, Resistencia.

ABSTRACT

The present research, titled "INCIDENCE AND SEVERITY OF COFFEE LEAF RUST (*Hemileia vastatrix* Berk. & Br.) IN FOUR COFFEE CULTIVARS IN THE IDMA-ESMERALDA SECTOR OF THE SANTA ANA DISTRICT – LA CONVENCIÓN - CUSCO", addresses the significant threat that coffee leaf rust represents to production in this sector. The general objective of this research was to determine and compare the levels of incidence and severity of rust in four cultivars: Costa Rica 95, Castillo, Colombia, and Geisha.

The field study was conducted during the months of November and December 2024, and January 2025. A descriptive and evaluative study was conducted, sampling 100 plants per cultivar (20,000 leaves total) and using the SENASA 0-4 severity scale. Statistical analysis (Welch's ANOVA and Games-Howell) revealed highly significant differences ($p < 0.001$) in cultivar susceptibility. The results identified three resistance groups: Group A (Resistant), composed of Castillo (4.70%) and Colombia (5.68%), which showed no significant differences between them. Group B (Intermediate), represented by Geisha (17.58%). Group C (Susceptible), consisting of Costa Rica 95, which presented the highest levels of disease (22.04%). Additionally, a near-perfect positive correlation ($R = 0.978$) was determined between disease incidence and severity ($R^2 = 0.957$).

It is concluded that, under the study conditions, the Castillo and Colombia cultivars exhibit effective field resistance, while the Costa Rica 95 cultivar demonstrates high susceptibility.

Keywords: *Hemileia vastatrix*, Incidence, Severity, *Coffea arabica*, Resistance.

INTRODUCCIÓN

El cultivo del cafeto (*Coffea arabica*) es una actividad económica de gran importancia en numerosas regiones del mundo, siendo una fuente vital de sustento para millones de personas y una pieza clave en la economía de muchos países. Sin embargo, este cultivo se enfrenta a diversos desafíos, entre los cuales destaca la roya del cafeto (*Hemileia vastatrix* Berk. & Br.), una de las enfermedades más devastadoras y capaz de causar pérdidas significativas en la producción si no se maneja adecuadamente. En el sector de Idma-Esmeralda, ubicado en el distrito de Santa Ana, la incidencia y severidad de la roya son factores críticos que influyen directamente en la productividad y rentabilidad cafetalera local.

En este contexto, el presente trabajo se desarrolla como un diagnóstico de campo fundamentado en un diseño no experimental, de tipo transversal-descriptivo, comparativo y correlacional. La investigación se enfoca en evaluar el estado real de la incidencia y severidad de la roya en cuatro cultivares de cafeto predominantes en condiciones comerciales existentes: Costa Rica 95, Castillo, Colombia y Geisha. Al no buscar medir el efecto de un tratamiento controlado, este enfoque metodológico permite cuantificar y describir el comportamiento real de la enfermedad en el campo. Mediante la recopilación de datos epidemiológicos y el uso de análisis estadísticos incluyendo el Análisis de Varianza aplicado de forma robusta a un diseño descriptivo para validar la comparación de las medias entre los grupos, se busca proporcionar una visión integral de la situación epidemiológica. Los resultados de esta investigación contribuirán al conocimiento científico local y servirán como base basada en evidencia para el diseño de medidas preventivas que protejan y mejoren la producción en el sector de Idma-Esmeralda

Autor

I. PROBLEMA OBJETO DE INVESTIGACION

1.1. Planteamiento del problema objeto de investigación

El cultivo del cafeto (*Coffea arabica*) constituye el eje central de la economía familiar y el principal sustento para los productores del sector Idma-Esmeralda, en el distrito de Santa Ana (La Convención). No obstante, la sostenibilidad económica de esta actividad se encuentra críticamente comprometida por los bajos niveles de productividad. Actualmente, los rendimientos promedio en la zona oscilan entre 10 a 14 quintales por hectárea, una cifra alarmantemente inferior al potencial productivo de la especie. Esta brecha productiva está directamente asociada a la presión endémica de la roya del cafeto (*Hemileia vastatrix* Berk. & Br.), patógeno que provoca una severa defoliación prematura, reduce la capacidad fotosintética y merma drásticamente la cosecha.

Frente a esta amenaza, en los últimos años se han introducido en la zona diversos cultivares mejorados o de alta calidad (como Costa Rica 95, Castillo, Colombia y Geisha). Sin embargo, aquí radica el problema central de esta investigación: existe una carencia absoluta de información técnica, cuantitativa y actualizada sobre el comportamiento epidemiológico real de estos cuatro cultivares bajo las condiciones agroecológicas específicas de Idma-Esmeralda. Actualmente, el productor local toma decisiones agronómicas "a ciegas". Desconoce si estos genotipos realmente expresan resistencia en su microclima o si, por el contrario, son altamente susceptibles frente a las cepas locales del patógeno. Esta incertidumbre genera un manejo fitosanitario ineficiente: se aplican fungicidas de manera innecesaria en cultivares que podrían ser resistentes (elevando los costos de producción), o se subestima la protección en cultivares susceptibles (resultando en la pérdida de la cosecha).

Si bien existen valiosos antecedentes de investigación a nivel nacional (Estrada, 2015; Otiniano, 2019) y local en La Convención (Palomino, 2016; Huamán, 2016; Ccoiso, 2016), estos estudios se han centrado mayoritariamente en cultivares tradicionales (Typica, Caturra, Bourbon) o se han desarrollado en microclimas y pisos altitudinales distintos, cuyos resultados no son directamente extrapolables a la interacción genotipo-ambiente del sector Idma-Esmeralda.

Por lo tanto, para resolver este vacío de información, es estrictamente necesario realizar un diagnóstico exhaustivo de campo. Este diagnóstico no se limita a una simple inspección visual, sino que adquiere su carácter exhaustivo al evaluar rigurosamente las dos dimensiones epidemiológicas fundamentales de la enfermedad: la *incidencia* (capacidad de dispersión del patógeno en el follaje) y la *severidad* (cuantificación del daño y pérdida de área fotosintética mediante las escalas estandarizadas del SENASA). Además, la exhaustividad se garantiza mediante un muestreo estadísticamente representativo (100 plantas por cultivar y evaluación estratificada en los tercios de la planta) durante el periodo crítico de mayor presión ambiental.

Solo a través de este diagnóstico exhaustivo se podrá identificar con rigor científico el verdadero grado de susceptibilidad o resistencia de los cultivares Costa Rica 95, Castillo, Colombia y Geisha, brindando a los caficultores de Idma-Esmeralda la evidencia necesaria para optimizar la selección de sus semillas, racionalizar el uso de agroquímicos y garantizar la rentabilidad de sus fincas.

1.2. Formulación del problema

1.2.1. Problema general

¿Cuáles son los niveles de incidencia y severidad de la roya del cafeto en los cuatro principales cultivares de cafeto presentes en las plantaciones del sector de Esmeralda, distrito de Santa Ana?

1.2.2. Problemas específicos

- ✓ ¿Existen diferencias significativas en los niveles de incidencia de la roya entre los cuatro cultivares de cafeto estudiados?
- ✓ ¿Se observan variaciones en la severidad de la enfermedad entre los cuatro cultivares evaluados?
- ✓ ¿Existe una relación entre la incidencia y la severidad de la roya en los cuatro cultivares analizados?

II. OBJETIVOS Y JUSTIFICACION

2.1. Objetivo general

Determinar los niveles de incidencia y severidad de la roya del cafeto (*Hemileia vastatrix* Berk. & Br.) en cuatro cultivares de cafeto en el sector de Idma-Esmeralda, distrito de Santa Ana, provincia La Convención - Cusco

2.2. Objetivos específicos

- Comparar los niveles de incidencia de la roya del cafeto entre los cuatro cultivares evaluados (Costa Rica 95, Castillo, Colombia y Geisha), a fin de determinar si existen diferencias estadísticamente significativas
- Analizar y comparar las variaciones en el grado de severidad del daño de la roya del cafeto entre los cuatro cultivares de cafeto evaluados (Costa Rica 95, Castillo, Colombia y Geisha)
- Establecer si existe una correlación entre los niveles de incidencia y severidad de la roya en los cuatro cultivares analizados (Costa Rica 95, Castillo, Colombia y Geisha) en el área de estudio.

2.3. Justificación

El cultivo del cafeto representa el principal motor de desarrollo para los productores del sector Idma-Esmeralda. Sin embargo, la alta incidencia y severidad de la roya (*Hemileia vastatrix* Berk. & Br.) comprometen gravemente la viabilidad de esta actividad. Frente a la falta de información local sobre el comportamiento de los cultivares (Costa Rica 95, Castillo, Colombia y Geisha), la presente investigación se justifica desde tres dimensiones fundamentales:

Desde el punto de vista económico, la presencia endémica de la roya reduce drásticamente los rendimientos (limitando la producción a 10-14 quintales por hectárea) y eleva los costos de producción debido a la aplicación ineficiente de fungicidas. Esta investigación proporciona a los productores datos precisos y locales sobre qué cultivares presentan resistencia real frente a la enfermedad. Con esta información, el agricultor puede tomar decisiones estratégicas orientadas a la rentabilidad: priorizar la renovación de cafetales con variedades resistentes para asegurar su volumen de cosecha y optimizar la aplicación de agroquímicos, reduciendo así los costos operativos.

En el ámbito social, el café no es solo un cultivo, sino el principal sustento de cientos de familias en el sector Idma-Esmeralda y el distrito de Santa Ana. La caída en la productividad cafetalera por causa de la roya genera inestabilidad financiera, afectando directamente la calidad de vida, el acceso a educación y salud de las familias campesinas, e impulsando la migración de los jóvenes hacia zonas urbanas. Al identificar genotipos que garanticen una producción estable frente a la enfermedad, este estudio contribuye a asegurar el sustento familiar, generar empleo local continuo (durante el manejo y la cosecha) y fortalecer el tejido social y la permanencia de la comunidad en su territorio.

Desde la perspectiva ambiental, el desconocimiento sobre la susceptibilidad de los cultivares fomenta un uso excesivo, preventivo y a menudo irracional de fungicidas (principalmente cúpricos y sistémicos). Esta práctica genera un impacto negativo en el agroecosistema, contaminando los suelos, afectando las fuentes de agua locales y eliminando microorganismos benéficos. Al identificar y promover estadísticamente el uso de cultivares con resistencia genética comprobada (como Castillo y Colombia), esta investigación fundamenta una transición hacia una caficultura más sostenible y ecológica, reduciendo significativamente la carga química en el medio ambiente y promoviendo el equilibrio natural del fundo Idma-Esmeralda.

III. HIPOTESIS

3.1. Hipótesis general

Los niveles de incidencia y severidad de la roya del cafeto (*Hemileia vastatrix* Berk. & Br.) difieren significativamente entre los cuatro cultivares (Costa Rica 95, Castillo, Colombia y Geisha) en las condiciones agroecológicas del sector de Idma-Esmeralda, distrito de Santa Ana.

3.2. Hipótesis específicas

- **H1:** Existen diferencias estadísticas significativas en los porcentajes de incidencia de la roya del cafeto entre los cuatro cultivares evaluados.
- **H2:** Existen diferencias estadísticas significativas en los grados de severidad de la roya del cafeto entre los genotipos estudiados, manifestándose distintos niveles de daño en el área foliar según el cultivar.
- **H3:** Existe una correlación positiva y significativa entre el nivel de incidencia y el grado de severidad de la enfermedad en los cultivares de cafeto evaluados en el sector Idma-Esmeralda.

IV. MARCO TEORICO

4.1. Antecedentes de la investigación

4.1.1. Antecedentes internacionales

García (2017) en su tesis “Evaluación de la incidencia y severidad de la roya del café en diferentes sistemas de producción en la región de Turrialba, Costa Rica”

En esta tesis, se evaluó la incidencia y severidad de la roya del cafeto en sistemas de producción convencionales y agroforestales en la región de Turrialba, Costa Rica. El estudio encontró que los sistemas agroforestales mostraron una menor incidencia y severidad de la enfermedad en comparación con los sistemas convencionales, lo cual sugiere que la presencia de árboles de sombra puede jugar un papel importante en la reducción del impacto de la roya del cafeto

Martínez (2019) en su tesis “Evaluación de la incidencia y severidad de la roya del café en cultivares resistentes y susceptibles en la región de Antioquia, Colombia”.

Este estudio realizado en Antioquia, Colombia, evaluó la incidencia y severidad de la roya del café en cultivares considerados resistentes y susceptibles. Los resultados mostraron que los cultivares resistentes presentaron una menor incidencia de la enfermedad, aunque se observó que la severidad podía aumentar bajo condiciones ambientales específicas. El estudio contribuye al entendimiento de cómo las condiciones agroclimáticas influyen en la efectividad de la resistencia varietal.

4.1.2. Antecedentes nacionales

Estrada (2015) en su tesis “Severidad de *Hemileia vastatrix* Berk. & Br. en plantones de cuatro variedades de *Coffea arabica* L. en Río Negro – Satipo, Junín”

En este estudio se evaluó el comportamiento de la roya amarilla en cuatro variedades (Bourbon, Catimor, Caturra y Typica) bajo condiciones de campo en Río Negro, Satipo. Se registró que la variedad Caturra fue la más susceptible, alcanzando una incidencia promedio de 70% y severidad del 35%. Typica también presentó alto nivel de enfermedad, con incidencia del 60%. Catimor evidenció resistencia con incidencia de solo 30% y severidad alrededor del 10%. Se concluye que Catimor es una opción más adecuada para sistemas de manejo donde la roya es endémica.

Otiniano (2019) en su tesis “Relación entre la incidencia y la severidad de la roya del café (*Hemileia vastatrix*) en San Ramón, Chanchamayo, Perú”

La investigación se realizó en San Ramón, Chanchamayo, abordando las variedades Catimor, Caturra y Pache. Se reportó que la incidencia y severidad de la roya fueron significativamente menores en Catimor (23% incidencia, 15% severidad), mientras que Caturra y Pache superaron el 60% y 68% en incidencia respectivamente, con valores de severidad de 45% y 50%. Esto resalta el papel de las variedades resistentes en el control de la enfermedad en el corredor cafetalero de la selva central

4.1.3. Antecedentes locales

Palomino (2016) en su tesis " Diagnóstico de la incidencia y severidad de la roya amarilla (*Hemileia vastatrix* Berk. & Br.) en cultivares de cafeto en el sector de Viracochasi-Kiteni-Echarati- La Convención - Cusco"

Esta tesis realizó un diagnóstico de la roya en el sector de Viracochasi, distrito de Echarate (La Convención), con el objetivo de evaluar la incidencia y severidad en los cultivares predominantes de la zona. El estudio comparó cuatro cultivares: Typica, Caturra, Bourbon y Catimor, realizando las evaluaciones en los meses de cosecha (junio-julio) en un rango altitudinal de 1200 a 1560 msnm.

Los resultados evidenciaron una muy alta susceptibilidad en los cultivares tradicionales. El cultivar Typica presentó los índices más altos de la evaluación, con una incidencia del 86.9% y una severidad del 42.92%. Le siguieron el cultivar Bourbon (80% de incidencia y 39.2% de severidad) y el Caturra (74.6% de incidencia y 36.1% de severidad). El estudio concluyó que, en las condiciones de Viracochasi, la altitud no fue un factor influyente determinante, ya que la variación fue débil.

Villasante (2017) en su tesis "Diagnóstico de incidencia y severidad de la roya amarilla (*Hemileia vastatrix* Berk. & Br) en cultivares de café en los sectores de Pampa Rosario y Santa Barbara distrito de Santa Ana, La Convención- Cusco"

Esta investigación evaluó la incidencia y severidad de la roya del café en diferentes altitudes en el sector de Quellouno, Quillabamba. Los resultados indicaron que la incidencia de la roya era mayor en altitudes más bajas, mientras que la severidad de la enfermedad aumentaba en plantaciones ubicadas en áreas con alta humedad. Este estudio proporciona una visión detallada sobre cómo las condiciones locales afectan la propagación de la roya en Quillabamba.

Huamán (2016) en su tesis "Diagnóstico de la incidencia y severidad de la roya amarilla (*Hemileia vastatrix Berk. & Br.*) en cultivares de café en el sector de Pabellón Quellouno La Convención - cusco"

Esta investigación, desarrollada en el sector de Pabellón, Quellouno (La Convención), la metodología se basó en el formato SENASA, muestreando 10 plantas al azar por parcela y 10 hojas por planta (distribuidas en tercio superior, medio e inferior), en un rango altitudinal de 1200 a 2000 msnm. Los resultados mostraron una incidencia promedio general del 69.09% y una severidad promedio general del 42.10%, demostrando una susceptibilidad generalizada en los cultivares tradicionales. El cultivar Catimor fue el único que demostró resistencia total, con 0% de incidencia y severidad.

En el análisis por cultivar, la incidencia más alta se reportó en Caturra (96.15%) y Pache (96.13%), seguidos por Typica (86.30%) y Bourbon (66.88%). En cuanto a la severidad, el cultivar Caturra (60.6%) fue el más afectado, seguido por Pache (55.9%), Typica (55.4%) y Bourbon (38.5%). El estudio también concluyó que, si bien no existió diferencia significativa en la *incidencia* entre los estratos de altitud (medio y alto), sí hubo una diferencia significativa en la *severidad*, la cual tendió a disminuir a mayor altura.

Ccoiso (2016) En su tesis "Diagnóstico de la incidencia y severidad de la roya amarilla (*Hemileia vastatrix Berk. & Br.*) en cultivares de café - sector Tunquimayo – Santa Ana – La Convención – Cusco".

Este estudio tuvo como objetivo conocer la epidemiología y dispersión de la roya en el sector de Tunquimayo (La Convención), para proveer una base teórica para el manejo de la enfermedad. La evaluación se realizó en la época de estiaje y cosecha (mayo-junio de 2016). La metodología consistió en un muestreo al azar, recorriendo los lotes

para evaluar 10 filas, con 02 plantas seleccionadas al azar por fila, utilizando escalas diagramáticas para medir la severidad a nivel de hoja.

El estudio registró la prevalencia de los cultivares en la zona, siendo Typica (38%) el más común, seguido por Catimor (26%), Caturra (21%), Pache (9%) y Bourbon (6%).

El diagnóstico reportó niveles epidémicos de la enfermedad, con una incidencia general a nivel de hoja del 92.56% y una severidad general promedio del 64%.

En el análisis específico por cultivar, la incidencia fue total en Pache (100%), y extremadamente alta en Typica (94.53%) y Caturra Amarilla (83.14%). Notablemente, se reportó 0% de incidencia en Catimor y Bourbon. El estudio aclara esta diferencia, atribuyendo la resistencia de Catimor a su genética (cruce con Híbrido de Timor), mientras que la resistencia observada en Bourbon se debió a las constantes aplicaciones de productos químicos por parte del productor, y no a una resistencia genética inherente.

4.2. Bases teóricas

4.2.1. Cafeto

4.2.1.1. Centro de origen y diversificación del cafeto

ANACAFE (2013) indica que el cafeto es originario de Etiopía. La especie arábica es indígena de la región que circunda el lago Tana, localizado en una latitud entre los 12° y los 16° Norte. Del África, el Cafeto pasó al Asia por el Mar Rojo y el Golfo de Adén; de Etiopía a Yemen, principalmente por su puerto de Moka.

Aquí se extendió su cultivo en la parte tropical de Arabia cuyo límite septentrional es el Trópico de Cáncer, poco más al Norte de la Meca. Los árabes exportaban su cafeto, a Siria, Persia (Irak) y Turquía y luego a Europa, cuidando de que el grano perdiera su

viabilidad como semilla para evitar su diseminación. El Cafeto llegó a la India en siglo XVII y luego a las islas de Archipiélago de la Sonda (Indonesia).

A principios del siglo XVII, los holandeses llevaron el Cafeto de Java a Holanda, sus invernaderos del Jardín Botánico de Ámsterdam donde lo distribuyeron a otros jardines botánicos de Europa incluyendo el de París en Francia.

León (2000) señala que *Coffea arábica*, $2n = 48$, es el único poliploide en el género *Coffea*, el número básico es $X: 11$, crece espontáneamente en las montañas de Etiopía y áreas vecinas de Sudan, sobre los 1500 msnm, cuyo centro de mayor diversidad está en África Occidental. No hay mucha evidencia citogenética sobre su origen, pero lo que se conoce parece indicar que es un alelotetraploide. El cultivo del cafeto se expandió de Etiopía a Arabia posiblemente durante la edad media. A fines del siglo XVIII se introdujo a Java de Yemen. Semillas de Java cultivadas en jardines botánicos de Ámsterdam y París dieron el material de siembra para el Nuevo Mundo.

4.2.1.2. Aspectos generales del cultivo de cafeto

Fischersworing y Roskamp (2001) mencionan que el cafeto es uno de los cultivos ideales para la producción agroforestal, siendo una planta originaria de los ecosistemas forestales. Para un crecimiento, floración y fructificación se requiere de un microclima fresco con semisombra y suficiente humedad propiciada por especies forestales. El cafeto se puede cultivar en un rango altitudinal de 400 a 2000 m. Sin embargo, para obtener la mejor calidad este requiere de altitudes entre los 1200 a 2000 m. dependiendo de la latitud (trópico o subtropical). Condiciones climáticas adecuadas de temperatura anual deben estar entre los 17 y 23 °C, la precipitación entre 1600 a 2800 mm, con una buena distribución anual mínima entre 145 a 245 días. El suelo debe tener

un buen drenaje, son preferible suelos con profundidad no menor de un metro, de color oscuro, ricos en nutrientes especialmente potasio y materia orgánica con textura franca.

Moráis (2003) indica que la importancia y los efectos generales de las diferentes interacciones entre los árboles de sombra y el cultivo de cafeto, dependen de las condiciones de sitio (suelo-clima), selección de los componentes (especie, variedad etc.) Características de las partes aéreas y subterráneas y práctica de manejo, tanto comparado con los instalados a pleno sol, presentan menores tasas de transpiración, y fotosíntesis, mayor crecimiento en altura, menor número de ramas plagio trópicas y hojas grandes.

4.2.1.3. Clasificación taxonómica

Cronquist (1993) señala el género *Coffea* consta de 25 a 40 especies en Asia y África tropicales, pertenece a:

Reino: Plantal

División: Magnoliophyta

Clase: Magnoliopsidae

Subclase: Asteridae

Orden: Rubiales

Familia: Rubiaceae

Género: *Coffea*

Especie: *Coffea arábica*.

Coffea canephora

Coffea liberica

4.2.1.4. Morfología del cafeto

4.2.1.4.1. Raíz

ANACAFE (2006) afirma que la raíz desempeña las funciones de anclaje de la planta y la de explorar el suelo obteniendo el agua y nutrientes minerales y algunos compuestos orgánicos del suelo. Al igual que el tallo, puede almacenar reservas en forma de almidón y azúcares solubles. Las raíces dependen de las hojas para obtener alimentos derivados de proceso de la fotosíntesis y de hormonas para poder crecer y desarrollarse. En cambio, los órganos aéreos dependen de las raíces para obtener el agua, algunos aminoácidos y los elementos minerales contenidos en el suelo naturalmente o proveídos a través de fertilizantes.

El sistema radicular está formado por una raíz principal, llamada pivotante, que puede profundizar más de 50 cm en el suelo; raíces axilares o de sostén; raíces laterales y raíces absorbentes o raicillas, las cuales son responsables de la absorción de agua y nutrientes estas se encuentran en los primeros 30cm del suelo.

4.2.1.4.2. Hojas

PROCAFE (2006) indica que las hojas nacen en la parte terminal del tallo y en las ramas o bandolas laterales. Crecen en disposición opuesta, son de forma elíptica. Su tamaño, color y cantidad varía de acuerdo con la especie y variedad. La función principal de las hojas está asociada a la fotosíntesis y foto respiración, procesos indispensables para regular la actividad productiva.

4.2.1.4.3. Flores

Duicela (2011) señala que la flor es hermafrodita, presentando cáliz, corola, estambres y pistilo. Estos órganos se desarrollan en las axilas de las hojas sobre tallitos

llamados glomérulos. Generalmente se encuentran de 3 a 5 glomérulos en la base de cada hoja. Los granos de polen en la especie arábica son de fácil transporte debido a que son pesados y pegajosos. En esta especie, ocurre el 94 % de autopolinización y sólo en un 6 % puede ocurrir polinización cruzada. El proceso de formación de las flores del café puede durar de 4 a 5 meses, donde se presentan las siguientes etapas: iniciación floral y diferenciación, un corto período de latencia, renovación rápida del crecimiento del botón floral y apertura de las yemas.

4.2.1.4.4. Fruto

Castañeda (2000) y **Schuller (2003)** mencionan que es una drupa que normalmente, contiene dos semillas con una longitud de 10 a 17 mm que se conoce como café uva. Dependiendo de la variedad se necesitan 7 a 8 meses para que madure, su cubierta (pulpa) es roja o amarilla en algunas variedades.

El fruto está formado por: la pulpa (exocarpio y mesocarpio), el pergamino (endocarpio), la película plateada (testa), la semilla (endospermo) y el embrión.



Figura 1 Partes del fruto del café

4.2.1.4.5. Semilla

Sotomayor y Duicela (1993) mencionan que, en su mayor parte, la semilla se encuentra constituida por el endospermo y el embrión. El endospermo coriáceo es de color verdoso a amarillento. Forma un repliegue que se inicia en el surco de la cara plana.

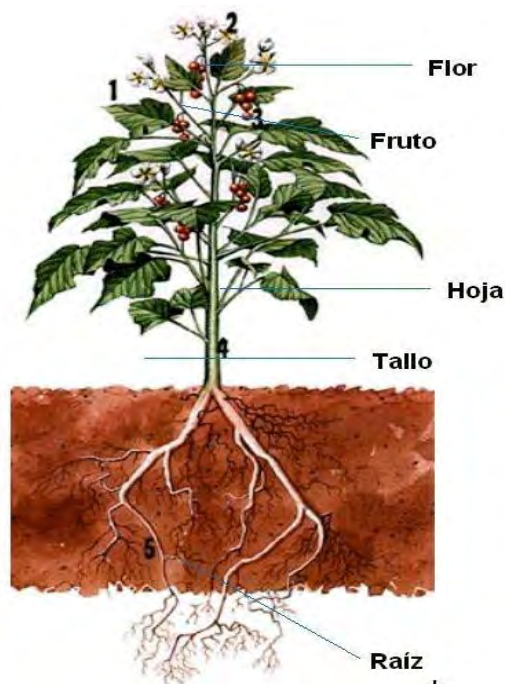


Figura 3 Partes del cafeto



Figura 2 Partes mas importantes del cafeto

4.2.1.5. Requerimientos Agroclimáticos del Cafeto (*Coffea arabica*)

Pérez (2019) menciona que el cafeto, específicamente la especie *Coffea arabica*, es un cultivo perenne altamente sensible a las condiciones ambientales. Su rango de adaptación es limitado y la productividad, así como la calidad de la bebida, dependen directamente de la interacción de un complejo de factores climáticos y edáficos. A diferencia de *Coffea canephora* (Robusta), la especie arábica es más exigente y vulnerable, lo que define las zonas óptimas para su producción.

4.2.1.5.1. Clima y suelo

Figuroa y Fischersworrng (1998) indican que el cafeto se puede cultivar en un rango altitudinal de 400 a 2000 msnm. La temperatura óptima oscila entre 19°C a 21°C con extremos de 17°C a 23°C, por encima de la temperatura promedio de 24°C se acelera el crecimiento vegetativo limitando tanto la floración y el cuajado de fruto.

4.2.1.5.2. Temperatura

Figuroa y Fischersworrng (1998) indica que la temperatura es el factor climático más determinante para el desarrollo fisiológico del cafeto. El rango óptimo para *C. arabica* se sitúa entre los 18 °C y 22 °C de temperatura media anual (Pérez, 2019).

Pérez (2019) menciona que cuando las temperaturas medias superan los 24 °C, se acelera el crecimiento vegetativo y el ciclo de maduración del fruto. Esto provoca una maduración forzada, resultando en una disminución de la calidad de la bebida, y puede inducir una mayor caída de flores y frutos (Jaramillo, 2018). Por el contrario, temperaturas medias inferiores a 17 °C retardan significativamente el crecimiento, reducen la fotosíntesis y aumentan el riesgo de daños por heladas, que pueden ser letales para la planta.

Rivera y Gómez (2020) indica que además de la media anual, la *amplitud térmica* (diferencia entre temperaturas diurnas y nocturnas) es crucial. Noches más frescas promueven una maduración más lenta del grano, lo que favorece una mayor densidad del grano y una acumulación de precursores de azúcares y ácidos orgánicos complejos, resultando en una bebida de mayor calidad.

4.2.1.5.3. Precipitación

Enríquez (1993) señala que la cantidad de lluvia óptima fluctúa entre 1200 y 1800 mm. El café presenta cierta tolerancia a la sequía. Una buena distribución de la lluvia y la existencia de un período seco bien definido favorece el cultivo del café, puesto que con ello se logra un buen desarrollo radical y el crecimiento de las ramas que han brotado durante el período lluvioso. Lo deseable es un período seco de tres a cuatro meses, que coincida con el reposo vegetativo y que preceda a la floración principal. En zonas donde no ocurre una estación seca definida, las yemas florales crecen continuamente, dando como resultado floraciones sucesivas con las consecuentes desventajas para la cosecha.

4.2.1.5.4. Precipitación y Déficit Hídrico

Enríquez (1993) menciona que el café requiere un suministro de agua constante y bien distribuido. El rango óptimo de precipitación anual fluctúa entre 1.200 y 1.800mm. Sin embargo, más importante que la cantidad total es la distribución de la lluvia a lo largo del año.

Jaramillo (2018) indica que en un régimen bimodal de lluvias es ideal, caracterizado por un período seco definido de tres a cuatro meses. Este período de estrés hídrico es fundamental para inducir y uniformizar la floración.

Enríquez (1993) menciona que la llegada de las primeras lluvias tras el período seco desencadena una floración masiva y homogénea, lo que facilita una cosecha concentrada y de calidad uniforme. En zonas sin una estación seca definida, las floraciones son erráticas y continuas, complicando la cosecha.

El exceso de precipitación (superior a 2.500 mm) o la lluvia constante sin períodos secos son perjudiciales, ya que aumentan la erosión del suelo, provocan el lavado de nutrientes (lixiviación) y, crucialmente, crean condiciones de alta humedad que favorecen

la diseminación e infección de enfermedades fúngicas, como la roya del cafeto (Méndez, 2021).

4.2.1.5.5. Humedad Relativa (HR)

Méndez (2021) indica que la humedad relativa es un factor crítico, aunque frecuentemente subestimado. El cafeto prospera en ambientes con una HR relativamente alta, idealmente entre el 70% y 85%. Esta humedad facilita los procesos de intercambio gaseoso de la planta.

Méndez (2021) argumenta que este factor presenta una paradoja agronómica: mientras la planta requiere alta HR para su confort hídrico, niveles sostenidos de HR superiores al 85%, combinados con temperaturas templadas, crean el microclima perfecto para la germinación de las uredosporas de *Hemileia vastatrix*. Por otro lado, una HR muy baja (inferior al 50%) puede causar estrés hídrico y cierre estomático, incluso si hay suficiente agua en el suelo, limitando la fotosíntesis (DaMatta y Ramalho, 2019).

4.2.1.5.6. Radiación Solar y Sombra

Gutiérrez (2017) indica que *Coffea arabica* es una planta originaria del sotobosque de los bosques etíopes, por lo que se clasifica como una planta esciófita (tolerante a la sombra). Aunque puede cultivarse a pleno sol, los sistemas agroforestales (cultivo bajo sombra) son beneficiosos para la sostenibilidad y la calidad.

DaMatta y Ramalho (2019) argumenta que la planta requiere una buena luminosidad (aprox. 1.500-2.000 horas de luz/año), pero la radiación solar directa excesiva, especialmente en altitudes bajas o medias, puede causar fotoinhibición y estrés térmico.

Gutiérrez (2017) manifiesta que el uso de árboles de sombra (sistemas agroforestales) regula el microclima: reduce la temperatura máxima del día, modera la amplitud térmica, conserva la humedad del suelo y reduce el impacto directo de lluvias fuertes y granizo. Más importante aún para el control de enfermedades, la sombra actúa como una barrera física que reduce la dispersión de esporas de roya por el viento y la lluvia, y al moderar la temperatura, puede disminuir la tasa de desarrollo de la enfermedad.

4.2.1.5.7. Viento y Altitud

Jaramillo (2018) indica que los vientos fuertes y constantes son perjudiciales para el café, ya que causan daños físicos (rotura de ramas y caída de frutos) y aumentan la tasa de evapotranspiración, llevando a la deshidratación de las hojas.

Rivera y Gómez (2020) menciona que la altitud no es un factor climático en sí mismo, sino un integrador de varios factores. A mayor altitud (dentro del rango óptimo, generalmente de 1.200 a 2.000 m s. n. m.), la temperatura media disminuye, la amplitud térmica aumenta y la radiación ultravioleta es mayor. Esta combinación de factores, particularmente las temperaturas más frescas, ralentiza la maduración del grano. Este proceso prolongado permite el desarrollo de los atributos sensoriales más valorados (acidez, dulzura, complejidad), siendo la base del "café de altura".

4.2.1.6. Aspectos fisiológicos del café

Castañeda (2000) manifiesta que el ciclo fisiológico del café es de un año y consta de cuatro fases. La distribución de esta etapa varía en las diferentes zonas cafetaleras de nuestro país debido principalmente a factores de clima y altitud se tiene la siguiente fase.

Descanso: Julio –agosto

Floración: Setiembre –Octubre –Noviembre

Llenado de grano: Diciembre – Enero – Febrero – Marzo.

Cosecha: Abril-Mayo – Junio

4.2.1.7.Cultivares del cafeto

4.2.1.7.1. Costa Rica 95

JNC (2019) menciona que Costa Rica 95 es un cultivar desarrollado a partir de un programa de mejoramiento genético en Costa Rica, con amplia difusión en Centroamérica y Sudamérica, incluyendo Perú. Este cultivar es un híbrido especialmente adaptado a zonas bajas y medias con suelos ácidos y afecta con menor severidad a enfermedades como la roya (*Hemileia vastatrix*). Presenta buena productividad, vigor moderado, alta densidad de planta y es apreciada por su calidad en taza y estabilidad productiva. Además, Costa Rica 95 es un cultivar con buen balance entre resistencia y producción, adecuada para sistemas de manejo integrados.

- ✓ El cultivo posee plantas de porte semi erguido con buena resistencia a enfermedades foliares y buena uniformidad de grano.
- ✓ Es un cultivar recomendado para altitudes entre 800 y 1600 m.s.n.m.
- ✓ Su calidad en taza se define por notas balanceadas suaves y aroma floral.

4.2.1.7.2. Castilla

Cenicafé (2025) menciona que el cultivar Castilla (o Castillo) es una variedad híbrida desarrollada por el programa de mejoramiento genético de Cenicafé en Colombia. Su objetivo fue obtener una variedad con alta resistencia genética a la roya amarilla y al

complejo de enfermedades que afectan los cafetales tradicionales. Castilla combina características como alta productividad, adaptabilidad a diferentes condiciones climáticas (400–1800 m.s.n.m.) y buena calidad en taza.

- ✓ Tiene una planta vigorosa, porte erguido y alta tasa de brotación.
- ✓ Es reconocida por su resistencia al complejo de enfermedades foliares, especialmente roya amarilla.
- ✓ La calidad sensorial es bien valorada, aunque tiende a ser menos floral que variedades tradicionales como Bourbon.

4.2.1.7.3. Colombia

JNC (2019) menciona que el cultivar Colombia es otra variedad mejorada por Cenicafé, con buena resistencia genética a la roya, porte erguido, buena ramificación y estabilidad productiva. Esta variedad es predominante en altitudes entre 1200 y 1800 m.s.n.m. y se distingue por su calidad en taza, que muestra un equilibrio entre acidez media y cuerpo, siendo apreciada tanto para mercados tradicionales como de especialidad

4.2.1.7.4. Geisha

CATIE (2021) menciona que es originaria de Etiopía, el cultivar Geisha se ha consolidado internacionalmente por su perfil sensorial único, con notas florales y frutales que la hacen muy valorada en el mercado de cafés especiales. Se cultiva mejor en altitudes elevadas (más de 1400 m.s.n.m.) y aunque es menos vigorosa y más susceptible a la roya, su alta calidad en taza justifica un manejo agronómico más riguroso. Presenta planta de porte erguido, hojas anchas y frutos de tamaño medio, con producción sensible a condiciones fitosanitarias

4.2.1.7.5. **Typica**

Banegas (2009) afirma que la variedad Típica, también llamado criollo o arábigo, fue la primera variedad cultivada en América. Es originaria de Etiopía y presenta plantas de hasta cuatro metros de altura con ramas laterales que forman un ángulo de 50 a 70 grados con respecto al eje orto trópico, los entrenudos son largos y el color de los brotes nuevos es bronceado.

Esta variedad presenta una buena calidad de bebida, un amplio rango de adaptabilidad, robustez a condiciones adversas a baja fertilidad y sequía, mayor resistencia y flexibilidad de sus ramas durante la cosecha; sin embargo, sus producciones son bajas y presenta susceptibilidad a roya.

4.2.1.7.6. **Bourbon**

ANACAFE (2006) menciona el cafeto bourbon comparado con la Típica, presenta ligera forma cónica, ramas con ángulo más cerrado y mayor número de axilas florales. Los brotes son de color verde. Es una variedad precoz en su maduración con riesgos de caída de frutos en zonas donde la cosecha coincide con la caída de frutos. Tiene producciones de 20%-30% superior a Típica. Bourbon es cultivado a altitudes que van de 1,100 – 2,000 m.

4.2.1.7.7. **Caturra**

ANACAFE (2006) menciona esta variedad es una planta de porte bajo, eje principal grueso poco ramificado, ramas secundarias abundantes y entrenudos cortos, tiene forma ligeramente angular con buen vigor vegetativo. Se cultiva en la Costa Sur en altitudes de 457 – 1,100 msnm con precipitación de 2,500-3,500 mm; y en la región central de 914 – 1,700m. La variedad Caturra es una variación de un solo gen de bourbon y que comparte su susceptibilidad a roya.

4.2.1.8.Principales Enfermedades

4.2.1.8.1. Enfermedades

Rayner (1972) menciona como cualquier planta, el cafeto también es atacado por Fito patógenos que provocan enfermedades entre las cuales se puede citar la:

- Roya del cafeto (*Hemileia vastatrix* Berk. & Br.)
- Mancha de hierro (*Cercospora coffeicola* Berk. & M.A. Curtis)
- Antracnosis (*Colletotrichum gloesporioides* Penz. & Sacc.)
- Ojo de gallo (*Mycena citricolor* (Berk. & M.A. Curtis) Sacc.)
- Phoma (*Phoma costarricensis* Echandi)
- Mal de hilachas (*Pellicularia koleroga* Cooke)
- Mal rosado (*Corticium salmonicolor* Berk. & Broome)

Este conjunto de enfermedades, son controladas en su mayoría por los agricultores por medio de productos químicos y manejo cultural.

4.2.2. La roya amarilla del cafeto (*Hemileia vastatrix*)

Avelino (1999) menciona que la roya (*Hemileia vastatrix*) es considerada la enfermedad más importante del cultivo de cafeto a nivel mundial y causante de importantes pérdidas económicas.

La Roya amarilla fue reportada por primera vez en 1868 en una plantación de la isla asiática de Ceilán sin embargo el hongo posiblemente se originó en África central donde el cafeto se diversificó. En el Perú fue reportada por primera vez el año 1979 en la selva central del Perú (localidad de Satipo) y durante estos 34 años estuvo presente en

nuestros cafetales, pero sin alcanzar niveles de importancia económica como ha ocurrido nuevamente.

Se estima que en esta oportunidad la roya causará pérdidas en el sector cafetalero peruano de aproximadamente el 60% de la cosecha, que representaría más de 1000 millones de soles. La epidemia es de tal envergadura que ha generado una preocupación a todo nivel y se habla de un plan de emergencia que inicialmente tendría un fondo de 100 millones de soles.

Pero cualquier programa de emergencia debe hacerse sobre bases técnicas, racionales y económicas, independientemente de las estrategias a implementar. Las enfermedades aparecen en la cara inferior de la hoja, por donde penetra el hongo, consistentes en pequeñas lesiones amarillentas que con el tiempo se vuelven coalescentes y producen ureodosporas con un color anaranjado característico en la actualidad no se ha reportado ningún hospedero alterno de la roya.

Cabezas (2000) menciona que es el mayor problema fitosanitario que enfrenta el cultivo de café en el continente americano. En el país se detectó en 1979 en los valles de Satipo y Chanchamayo, en el departamento de Junín. Es un hongo parásito que solo crece en los tejidos vivos de la planta hospedera. En el envés de la hoja del café aparecen pequeñas manchas de color amarillo pálido y la mayor incidencia de la roya se observa en las zonas geográficas bajas donde se produce café. El daño que provoca este hongo está en que reduce la capacidad fotosintética de la planta del café, pues provoca defoliación de las hojas infectadas; por lo tanto, el daño principal que causa la roya amarilla es la caída de las hojas y consecuentemente la reducción de la productividad del café.

4.2.2.1. Taxonomía de la roya

Bayer (2008) clasifica a la roya, como un hongo fitoparásito obligado del cafeto, que pertenece a:

División: Eumycota

Subdivisión: Basidiomicetos

Clase: Teliomycetes

Orden: Uredinales

Familia: Pucciniaceae

Género: *Hemileia*

Especie: *Hemileia vastatrix Berk. & Br*

4.2.2.2. Descripción morfológica

Castro (2004) menciona que las esporas son de tamaño microscópico (30 μ de largo X 20 μ de ancho) de forma reniforme, lisas en la cara interna y rugosa en la externa, denominadas uredosporas, que son producidas en grandes cantidades y corresponden al polvillo amarillo o naranja que se visualiza en el envés de las hojas de cafeto y que es característico de esta enfermedad. Las teliosporas, cuya ocurrencia es muy baja, son de forma redondeada de 20-25 μ .

4.2.2.3. Genotipos de virulencia

López (2010) indica se han identificado 45 razas de roya. Estas son el resultado de las diferentes combinaciones de nueve factores de virulencia. “Hasta 1997, todas las muestras de roya anaranjada procedente de América Central que fueron evaluadas por el Centro de Investigación de Ferrugens del Café (CIFC) (Portugal), muestras de los años 1977, 1984, 1992, 1993 y 1994 originarias de Nicaragua, Honduras, Guatemala y Costa Rica, fueron identificadas, como muestras de raza II únicamente, la raza de roya más

sencilla (un solo factor de virulencia, v5)”. Hace 10 años, sin embargo, el CIFC identificó la raza I (v2 v5) en unas muestras del lago Yojoa, Honduras, región muy favorable al desarrollo de la enfermedad (reportado por Avelino. 1999). La raza de roya II se caracteriza por ser la más sencilla de todas las razas, pero constituye la raza mejor adaptada a las condiciones del hospedero y de clima (gran capacidad para mutar).

4.2.2.4. Ciclo biológico y epidemiológico de *Hemileia vastatrix*

Rivillas (2011) indica que es un proceso policíclico, lo que significa que puede completar múltiples ciclos de infección en una sola temporada si las condiciones son favorables, llevando a un crecimiento epidémico exponencial el ciclo de vida de un hongo. Fitopatólogo puede dividirse en las etapas siguientes: diseminación, germinación, penetración, colonización y esporulación.



Figura 4 Ciclo biológico de la roya del cafeto

4.2.2.4.1. Diseminación (Liberación y Dispersión)

Kushalappa & Eskes (1989) indica que el ciclo comienza con las uredosporas, que son las estructuras de infección y propagación del hongo. Estas esporas, que conforman el característico polvillo anaranjado visible en el envés de las hojas infectadas, son liberadas y transportadas principalmente por el viento y las salpicaduras de lluvia. Los trabajadores durante las labores de campo (como la cosecha) también actúan como vectores mecánicos.

Avelino (1999) afirma la diseminación se divide en liberación, dispersión y deposición sobre los órganos por infectar. La germinación constituye el inicio del proceso infeccioso. Cuando se da la penetración del hongo, empiezan a establecerse relaciones tróficas entre el hongo y el hospedero.

4.2.2.4.2. Germinación (Deposición e Infección Primaria)

Rayner (1961) afirma que para que ocurra la infección, una uredospora viable debe aterrizar sobre una hoja de café susceptible. La germinación es la etapa más crítica y depende estrictamente de factores ambientales. La germinación de esporas requiere de la presencia de agua libre por al menos 6 horas y también es favorecida con temperaturas entre 21° - 25 °C y condiciones de oscuridad. El apresorio para formarse requiere de un periodo de 5.3 - 8.5hr. La germinación se inhibe por la luz y cuando se evapora el agua de la hoja, ya que afecta el crecimiento de los tubos germinativos. Sin embargo, luego de germinar, el hongo penetra en las hojas a través de las aberturas naturales (estomas) situadas en el envés de las hojas maduras. Una vez que ha penetrado al interior de la hoja, el hongo desarrolla unas estructuras denominadas haustorios, los cuales entran en contacto con las células de la planta y con éstos extraen los nutrientes para su crecimiento.

De Jong (1987) señala que la germinación puede ocurrir en un tiempo de 5 horas y con mayor frecuencia por la noche (Rayner 1961), aunque también podría realizarse de día en cafetales cultivados bajo sombra y/o con un auto sombramiento importante (Nutman y Roberts 1963). La formación de un apresorio sobre la estoma parece necesaria para que se realice la penetración (6 horas). Temperaturas frescas entre 14 °C y 16 °C son favorables a esta formación”. Los factores que afectan las diferentes etapas del ciclo de vida de *Hemileia vastatrix*.

4.2.2.4.3. Penetración y Colonización (Forma de Daño)

Rayner (1961) argumenta que *Hemileia vastatrix* es un parásito biotrófico, lo que significa que necesita tejido vivo para alimentarse. El hongo penetra la planta exclusivamente a través de los estomas, los cuales se encuentran en el envés de la hoja. Es por esta razón que los síntomas y signos de la roya siempre se manifiestan en la cara inferior de la hoja.

Castro (2004) afirma que una vez dentro, el hongo forma un apresorio (estructura de fijación) y desarrolla haustorios, que son "raíces" microscópicas que invaden las células del mesófilo de la hoja para extraer nutrientes. Esta extracción de nutrientes de las células vivas es la forma de daño principal: interrumpe la fotosíntesis, debilita la hoja y provoca el amarillamiento (clorosis) que se observa en la cara superior (haz).

Rayner (1961) indica que la colonización del órgano infectado lleva a la formación de los primeros síntomas visuales. El periodo comprendido entre el inicio de la germinación y la expresión de los primeros síntomas constituye el periodo de incubación (no se ha producido ninguna entidad infecciosa nueva). La emergencia posterior de nuevas propágulas infecciosas, constituye la etapa de la esporulación.

4.2.2.4.4. Período de Latencia e Incubación

Esta etapa define la velocidad de la epidemia. Ambos períodos comienzan con la penetración exitosa del hongo:

- **Período de Incubación:** Es el tiempo transcurrido desde el inicio de la infección hasta la aparición de los primeros síntomas visibles (las manchas cloróticas) (Rivillas, 2011). Este período es altamente dependiente de la temperatura; se acorta significativamente en los meses con temperaturas óptimas para el hongo (entre 22°C y 23°C) (Santacreo, 1983).
- **Período de Latencia:** Es el tiempo que transcurre desde la infección hasta que la lesión madura lo suficiente como para producir la siguiente generación de uredosporas (Rivillas, 2011). Este período es variable; en estudios en Honduras, se reportaron latencias que fluctuaron entre 29 y 62 días. Los períodos más cortos (más rápidos) ocurrieron en los meses más cálidos (agosto-septiembre), mientras que a mayores altitudes (temperaturas más bajas), la latencia se alargó, oscilando entre 40 y 80 días (Santacreo, 1983).

Kushalappa & Eskes (1989) indica que la edad de la hoja también es un factor crítico, ya que la edad fenológica influye directamente tanto en el período de incubación como en el de latencia. La duración del período de latencia es epidemiológicamente más determinante que la cantidad de inóculo inicial, ya que un ciclo de vida corto permite que la enfermedad se multiplique exponencialmente.

4.2.2.4.5. Esporulación (Signo Visible para Evaluación)

Rivillas (2011) indica que tras el período de latencia (aprox. 30 días), el hongo completa su ciclo. El micelio colonizador forma nuevas estructuras llamadas soros bajo los estomas, las cuales emergen al exterior y liberan una nueva generación de uredosporas

(el polvillo naranja). Estas estructuras emergen a través del estoma y liberan la nueva generación de uredosporas, que es el polvillo anaranjado que se utiliza para la evaluación visual (Castro, 2004).

McCain y Hennen (1984) expresan que esta es la fase final y de reproducción del ciclo. Tras el período de latencia, el micelio que colonizó la hoja forma agregados de células esporogénicas (protosoros) en las cámaras subestomáticas.

Rayner (1972) indica que la capacidad de esporulación de *Hemileia vastatrix* es inmensa: una sola lesión puede llegar a producir hasta 400,000 esporas en un período de tres meses. Además, una lesión puede permanecer activa (contagiosa) en la hoja por 4 a 5 meses, asegurando una fuente constante de inóculo.

Holguin (1985) afirma que la esporulación es reactivada por la lluvia; las primeras lluvias del año reactivan la producción de esporas en lesiones viejas o latentes y el agua libre es esencial para el transporte y la disseminación de estas nuevas esporas.

Resumiendo, se puede expresar de la siguiente manera:

- ✓ Disseminación (liberación, dispersión y deposición)
- ✓ Germinación (infección I 5 h)
- ✓ Penetración (infección II 6 h)
- ✓ Colonización (infección III SV)
- ✓ Esporulación (infección IV)

Su puerta de entrada son las lesiones y las estomas

- ✓ La uredospora germina de 12 - 24 horas.
- ✓ Formación de apresorios 48 horas. (6-8)

- ✓ Síntomas 12 DDI (días después de infección)
- ✓ Esporulación 2 - 3 DDS (días después de síntomas)
- ✓ Colonización en las hojas
- ✓ Patogenicidad (T°, Hr, Lluvia, Sombra etc.)

Una lesión puede esparcir 400000 esporas en 3 meses y puede establecerse de 4-5 meses.

Implicancia para la Evaluación (Incidencia y Severidad):

- La **Incidencia** (presencia de al menos una lesión) mide el éxito de la **Diseminación, Germinación y Penetración** (Etapas 1-3). Nos dice cuántas hojas han sido infectadas exitosamente.
- La **Severidad** (el área dañada, medida por la escala de grados) mide el impacto de la **Colonización y Esporulación** (Etapas 3-5). Nos dice cuánto daño ha causado el hongo *después* de infectar y qué tan avanzada está la enfermedad, lo cual se correlaciona directamente con la defoliación y la pérdida de rendimiento.

4.2.2.5. Síntomas y daños

Castro (2004) indica los síntomas inician como pequeñas manchas de 1-3 mm, traslucidas y de color amarillo claro. La lesión crece en tamaño y pueden coalescer con otras manchas, hasta formar grandes parches con abundante polvo amarillo (esporas) en el envés de las hojas y que en su lado opuesto se observan como manchas amarillas. Las lesiones viejas se necrosan, pero la esporulación puede continuar en el margen de las lesiones.

Rayner (1972) afirma cuando las manchas de la hoja atacada por el hongo envejecen, su centro muere, se torna marrón oscuro y se seca. La formación de esporas en estas áreas muertas cesa y con frecuencia las esporas presentes tienden a volverse grisáceas y pueden, en gran parte, desaparecer. Es común que antes de que el tejido foliar se torne marrón, las esporas pueden aparecer más pálidas en la masa central de la lesión perdiendo su tinte anaranjado. El porcentaje de esporas con contenido hialino aumenta hacia el centro de la lesión y que la pérdida de color no se debe necesariamente al envejecimiento de las esporas insitu, ya que al ser removidas puede producirse una nueva generación de esporas hialinas.

La pérdida del color amarillento-anaranjado típico de las esporas puede acelerarse con la presencia de un hongo blancuzco, parasítico, (*Verticillium hemileia bour*). En etapas avanzadas del ataque, la mayor parte del área afectada muere y solamente de vez en cuando, cerca del margen, sobreviven áreas amarillento-anaranjadas portadoras de esporas.

Las lesiones comúnmente pueden ser limitadas por la nervadura principal y con menos frecuencia por una vena lateral, pero a veces estas barreras apenas retardan la expansión de una lesión o tienen poco efecto. La apariencia exacta de una lesión puede variar de acuerdo con la variedad del cafeto, según la susceptibilidad. Tales variaciones pueden afectar el tamaño de las lesiones, la proporción del área que muere y el espesor de la capa de polvo formada por las esporas a veces se puede apreciar una zonificación circular de la parte amarillo-naranja de las lesiones.

Cuando hay áreas grandes de la hoja infectada por la enfermedad, las áreas adyacentes, no infectadas, también pueden secarse y morir, afectando con frecuencia la hoja entera. Aun cuando sólo haya unas pocas lesiones, la hoja a menudo se reduce mucho

y puede caerse a temprana edad. Como consecuencia de esto y de la abscisión de hojas muy atacadas, un árbol afectado severamente puede perder gran parte de su follaje, lo que a su vez puede conducir a una muerte descendente más o menos pronunciada de sus ramas. Este efecto depende del clima reinante en ese momento, de la cosecha que produce el árbol y de la reserva de carbohidratos.

Los daños severos, mayores al 60%, pueden causar defoliación. Si la infección ocurre en etapas tempranas se puede presentar una reducción en el rendimiento. Sin embargo, si la infección se presenta en etapas tardías el efecto se observará en los niveles de amarre de fruto del siguiente ciclo de cultivo.

4.2.2.6. Infección de la roya en el hospedero

Kushalappa & Eskes (1989) afirma “La penetración del hongo se efectúa por una estoma bien formada. Lo anterior permite explicar que las hojas muy jóvenes cuya maduración de las estomas es incompleta son menos receptivas que las hojas adultas.

Hoogstraten (1983) indica “Después de la penetración se establecen las relaciones tróficas entre el hongo y la planta. Las resistencias genéticas, el potencial hídrico del suelo y la temperatura de la hoja la cual, al sol, puede superar en 10 °C o más la temperatura del aire, son factores que actúan sobre la colonización de la hoja por el hongo.

McCain y Hennen (1984) afirman con precisión las diferentes etapas que siguen la penetración. Se forman hifas intercelulares pioneras, posterior alimenticias y colonizadoras. De las hifas nacen haustorios intracelulares, los cuales extraen de las células invadidas los elementos necesarios para el crecimiento del hongo. Lo anterior conduce a la aparición de los primeros síntomas (leve amarillamiento). Unas cuantas hifas invaden posteriormente una cámara subestomatica y producen un agregado de células

esporógenas o protosoro. Algunas de ellas emergen por la apertura del estoma y producen un esporóforo.

Rayner (1972) evidenció que una lesión puede producir 400 000 esporas en tres meses. La longevidad de una lesión puede alcanzar de 4 - 5 meses (periodo contagioso), en dependencia del ciclo de vida de las hojas”.

4.2.2.7.Epidemiología de la roya

Mayne (1930) confirma que la epidemia de roya empieza con la formación del inóculo primario, el cual es el inóculo responsable del desarrollo inicial de la epidemia.

Nutman y Roberts (1963) indica que la cantidad de inóculo residual depende de la intensidad de defoliación. Paradójicamente, las aplicaciones de fungicidas pueden aumentar la cantidad de inóculo residual porque prolongan la vida de las hojas”.

Muller (1980) menciona que la primera fase de la epidemia inicia con las primeras lluvias del año, las cuales reactivan la esporulación sobre las lesiones necrosadas y / o latentes y se forma el inóculo primario. “La segunda fase consiste en la repetición del ciclo (poli ciclo) y la formación del inóculo secundario, cuya cantidad puede verse reducida también por la defoliación del cafeto (natural o causada por la misma enfermedad)”.

4.2.2.8.Factores que afectan la epidemiología de la roya amarilla

Avelino (1999) indica “Las diferentes investigaciones que se llevaron a cabo mostraron que tanto el desarrollo como la amplitud de la curva de progreso de la enfermedad estaban relacionados con cinco factores principales: la lluvia, la temperatura, la carga fructífera, la época de cosecha y el inóculo residual, tal y como se describe a continuación.

La lluvia

Holguin (1985) quien indicó que el agua líquida actúa a nivel de esporulación (transporte), deposición, germinación y penetración de las uredosporas en las hojas. “Esto explica que la epífita se desarrolla durante la época de lluvias y que su descenso se observa cuando el periodo de lluvias se detiene”.

La temperatura

Santacreo (1983) afirma “La germinación es muy dependiente de las condiciones de temperatura. La formación del apresorio y la progresión del hongo en la hoja dependen de esta variable también”. El periodo de incubación se acorta extremadamente en los meses con temperaturas favorables para la germinación (entre 22 y 23°C). “En Honduras, a 750 m, de febrero de 1982 a enero de 1983, los periodos de latencia fluctuaron entre 29 y 62 días. Los periodos más cortos se observaron en agosto y septiembre, meses en que la temperatura se mantuvo entre 18°C y 27°C. A una altitud de 1 200m, los periodos de latencia se alargaron debido a las temperaturas más bajas, estos oscilaron entre 40 y 80 días”. Lo anterior explica que los máximos de infección y la forma de la curva de progreso de la epidemia varíen en función de la altitud, la cual está relacionada de manera inversa a la temperatura. En México, en el periodo de marzo de 1988 a abril de 1989 se observó que a menor altitud (460m) los niveles de infección alcanzados eran mayores. Las epidemias eran también más precoces.

La carga fructífera

Avelino (1991) quien indico la receptividad (predisposición) de las hojas a la roya amarilla varía en función de su carga fructífera, posiblemente porque, en periodo de fructificación, migran compuestos fenólicos de las hojas hacia los frutos. Esto fue corroborado en Guatemala, donde se obtuvo una relación positiva muy significativa, al

nivel de probabilidad del 0,01%, entre la carga fructífera del cafeto, la cual fue evaluada en junio después de la caída fisiológica de los frutos, y la infección posterior que este sufrió. “Un 50% de la variabilidad de la infección observada fue atribuida a la carga fructífera”.

Edad de la hoja

Chalfoun (1980) señala que la edad fenológica de una hoja influye en los componentes de la resistencia como son: tasa de infección y en los períodos de incubación y latencia. La alta densidad de hojas favorece la roya dado que allí permanecen las hojas viejas donde sobrevive el inoculo y son mantenidas de un año a otro y la mayor cantidad de área foliar es salpicada por gotas de agua que contiene uredosporas que favorece la infección.

La cosecha de los frutos

Avelino (1999) quien indico “la receptividad (predisposición) del cafeto pareciera incrementarse no solamente en plantas con alta carga fructífera, sino también en una misma planta a medida que se desarrolla el fruto”. “En México, en el periodo de marzo de 1988 a abril de 1989 se observó, que el principio de la enfermedad coincidió con el inicio de la cosecha. Posterior, el crecimiento acelerado de la epidemia ocurrió cuando la cosecha estaba bien establecida. Finalmente, la máxima infección se encontró al final de la cosecha. Después de cosecha, la epidemia empezó a declinar”. Otro factor que podría incidir en este comportamiento es el gran movimiento de las personas recolectoras de cafeto, lo cual favorece la diseminación de las uredosporas. También podría adjudicarse a que el desarrollo del fruto responde a los mismos estímulos exteriores (clima) que el de la roya anaranjada.

El inóculo residual

Avelino (1991) quien menciona “El papel del inóculo residual fue bien evidenciado en México. Se comprobó que toda la infección presente a principios de año se ubica en las hojas viejas del cafeto (hojas que habían nacidos en la época de lluvia anterior al estudio), mientras que las hojas jóvenes estaban en su mayoría perfectamente sanas. Se concluyó que la conservación de la enfermedad de un año para el siguiente se hacía a través de las hojas viejas infectadas que lograban sobrevivir la época seca”.

Avelino (1999) indica en Guatemala, en un experimento de comparación de calendarios de aspersión, llevado a cabo durante 1991 y 1992, observaron que los tratamientos que habían sido más eficaces en 1991 habían conservado mayor número de hojas, por lo tanto, mayor cantidad de inóculo residual en 1992, e inducido epidemias muy precoces en ese último año. Al contrario, la epidemia del testigo (sin ningún control químico) se atrasó considerablemente al principio, ya que había conservado una menor cantidad de hojas con inóculo residual, debido a la defoliación severa que se había presentado en 1991. Lo anterior muestra que la defoliación juega un papel de regular la epidemia. Se entiende entonces, que una época seca muy marcada, al acentuar la defoliación, no permite el desarrollo de epidemias muy graves.

Kushalappa & Eskes (1989) quien afirma que la roya es policíclica, la cantidad de inóculo residual no es determinante en el desarrollo de la epidemia (cada lesión puede producir hasta 400 000 esporas en tres meses). Fuertes epidemias pueden desarrollarse aún con niveles bajos de inóculo residual. Lo que es más importante es el periodo de latencia.

Pérdida en la producción

Avelino (1991) menciona el paralelismo observado entre la infección y la producción, en ocasiones puede conducir a subestimar el efecto de la enfermedad, pues después de un año de alta cosecha, se espera un año de baja producción, con o sin roya. Sin embargo, la enfermedad sí causa pérdidas, y el control es necesario, aunque éste no sea tan útil en las fases menos productivas del cafeto (plantas recién sembradas y podadas). “En Honduras, Palma y sus colaboradores (1990) en un experimento de productos químicos de una duración de 2 años, reportaron pérdidas de producción de al menos el 40 %, ocasionados por infecciones de 68%, con recién sembradas y podadas mal, en un experimento específico de pérdidas de producción, encontraron pérdidas de 21% como resultado de una infección acumulada del 16 % de las hojas jóvenes enfermas, en comparación con plantas totalmente sanas.

La defoliación de las bandolas enfermas redujo el crecimiento de estas, por ende, el número de frutos llevados al año siguiente. Lo anterior evidencia que la roya anaranjada acentúa el ritmo bienal de la producción”.

4.2.2.9. Control químico

Palma (1990) quien manifiesta los métodos de control de la roya más utilizados son el químico, con generalmente la aplicación de productos a base de cobre, en Honduras, encontraron que con 3 - 4 aspersiones (1 - 2 meses entre cada aplicación), iniciando las lluvias con dosis de 2 kg/ha de hidróxido de cobre, era suficiente para controlar la roya. Hay también productos sistémicos, entre ellos los triazoles (triadimefon, hexaconazol, ciproconazol). Las aspersiones de productos cúpricos pueden realizarse en base a resultados de muestreos (mensuales) o calendarios de aspersiones. La incidencia crítica propuesta para realizar aspersiones cúpricas es generalmente del 5 %.

Waller (1985) quien indica los fungicidas a base de cobre, constituyen el tratamiento más efectivo para el control de la roya y aunque otros fungicidas sistémicos como el pyracarbolid, oxicarboxin y triadimefon han sido usados, se ha visto que son menos efectivos que los cúpricos en término de costo beneficio.

Becker-Raterink (1991) quien menciona el uso frecuente de fungicidas cúpricos puede producir una acumulación de cobre en el suelo, en las raíces finas y en las hojas. Lo que en ciertas condiciones puede causar graves síntomas de fitotoxicidad, especialmente en las áreas climáticamente marginales para café y en suelos ácidos.

PROMECAFE (1985) hace mención que el uso excesivo de fungicidas cúpricos puede aumentar la concentración de plomo en las plantas y en el fruto afectando así la salud de los consumidores.

4.2.2.10. Bases Teóricas para la Evaluación Fitopatológica de la Roya

Agrios (2005) afirma que la evaluación de la epidemia de la roya del café (*Hemileia vastatrix*) en el campo requiere metodologías estandarizadas que permitan obtener datos consistentes, comparables y que reflejen con precisión el estado de la enfermedad. La fitopatología, como disciplina científica, ha desarrollado diversos métodos para cuantificar el desarrollo de las enfermedades, los cuales se centran en dos parámetros epidemiológicos clave: la Incidencia y la Severidad.

4.2.2.10.1. Metodologías para la Evaluación de Incidencia

Agrios (2005) indica que la incidencia se define como la proporción o porcentaje de unidades de muestreo (plantas, hojas, frutos) que presentan síntomas visibles de la enfermedad, en relación con el número total de unidades evaluadas. Es una medida que responde a la pregunta: "¿cuántas unidades están infectadas?".

4.2.2.10.1.1. Método 1: Incidencia a Nivel de Planta (Binaria)

Este método considera a toda la planta como la unidad experimental, clasificándola simplemente como "enferma" o "sana" ante la presencia de una sola pústula visible (Madden, 2007).

- **Ventaja:** Es extremadamente rápido y útil para prospecciones de alerta temprana a escala regional donde el objetivo es detectar focos iniciales.
- **Desventaja Crítica:** Posee una baja sensibilidad epidemiológica en etapas avanzadas. En lotes con alta presión de inóculo, tiende a saturarse rápidamente (llegando al 100% de plantas afectadas), perdiendo la capacidad de discriminar entre cultivares con diferentes niveles de resistencia parcial cuantitativa (Kushalappa & Eskes, 1989). Por tanto, fue descartado para este estudio comparativo.

4.2.2.10.1.2. Método 2: Incidencia a Nivel de Rama (Bandola)

Evalúa un número fijo de ramas productivas por planta. Representa un punto intermedio entre rapidez y precisión (Zambolim, 2016).

- **Limitación:** Si no se seleccionan ramas de todos los estratos, puede incurrir en sesgos significativos, ya que la roya presenta un marcado gradiente vertical de infección, siendo típicamente más severa en las ramas bajas sombreadas debido al microclima favorable (Avelino, 2004).

4.2.2.10.1.3. Método 3: Incidencia a Nivel Foliar con Muestreo Estratificado

Considerado el "estándar de oro" para la investigación científica de *Hemileia vastatrix*. Consiste en el conteo individual de hojas enfermas sobre un total muestreado ($n \geq 30$ hojas por planta) (Kushalappa & Eskes, 1989).

- **Justificación de su elección:** Para esta tesis, este método es indispensable porque la roya no se distribuye uniformemente en el dosel. Requiere obligatoriamente un muestreo estratificado (tercio inferior, medio y superior) para capturar la variabilidad real de la infección (Avelino, 2004). Es la metodología adoptada por organismos oficiales como SENASA (2015) debido a su alta precisión para detectar diferencias sutiles de susceptibilidad entre cultivares en condiciones de campo.

4.2.2.10.2. Metodologías para la Evaluación de Severidad

Agrios (2005) indica que la severidad (o intensidad) es la medida epidemiológica que cuantifica el área o proporción de tejido de la planta que está dañado o cubierto por síntomas de la enfermedad. Responde a la pregunta: "¿cuán enfermas están las unidades infectadas?". Es una métrica fundamental, ya que se correlaciona más directamente con la pérdida de área fotosintética y, por ende, con la reducción del rendimiento.

4.2.2.10.2.1. Método 1: Estimación Visual Directa (Sin escala)

El evaluador asigna un porcentaje exacto de daño basado únicamente en su experiencia cognitiva (ej. "esta hoja tiene un 12%").

- **Desventaja Crítica:** Es altamente subjetivo y poco reproducible. Estudios psicofísicos demuestran que el ojo humano sigue la ley de Weber-Fechner, tendiendo a sobreestimar daños bajos (<10%) y subestimar daños altos (>50%), lo que genera coeficientes de variación inaceptables entre diferentes evaluadores (Bock, 2010; Nutter & Schultz, 1995).

4.2.2.10.2.2. Método 2: Análisis Digital de Imágenes (ADI)

Este es el método tecnológicamente más avanzado y preciso. Implica recolectar las hojas, llevarlas al laboratorio, fotografiarlas bajo condiciones controladas y procesar las imágenes con software especializado (como ImageJ, ASSESS, o algoritmos de machine learning). El software calcula con precisión de píxeles el área exacta del tejido sano (verde) versus el tejido enfermo (clorótico o necrótico), arrojando un porcentaje de severidad exacto (Bock, 2010).

Ventaja: Elimina la subjetividad del evaluador, ofreciendo la máxima precisión y objetividad.

Desventaja: Es un método destructivo (requiere arrancar las hojas), consume mucho tiempo y recursos (cámara, software, computador) y no es práctico para el monitoreo a gran escala o diagnóstico rápido en el campo (Agrios, 2005).

4.2.2.10.2.3. Método 3: Escalas Diagramáticas Estandarizadas

Representan el compromiso óptimo entre precisión científica y viabilidad operativa en campo. Utilizan ilustraciones de referencia con grados preestablecidos que actúan como "anclas visuales" para calibrar al evaluador y reducir la subjetividad (Nutter, 1993).

- Escala Específica de SENASA (Grados 0-4): Fue la seleccionada para esta investigación por estar validada específicamente para las condiciones de la caficultura peruana (SENASA, 2015). Sus rangos (0%, 1-5%, 6-20%, 21-50%, >50%) están diseñados para discriminar claramente los umbrales de daño económico de la roya y permiten la aplicación de índices de infección ponderados, como la fórmula de Townsend y Heuberger (1943), facilitando la comparabilidad directa con reportes oficiales nacionales.

4.2.2.11. Fundamentación del Diseño de Diagnóstico en Campos Establecidos

Hernández-Sampieri (2014) menciona que la presente investigación se fundamenta en un diseño no experimental de tipo transversal-descriptivo, también conocido como diagnóstico de campo. Este enfoque es metodológicamente necesario cuando el objetivo no es medir el efecto de un tratamiento controlado por el investigador, sino evaluar, describir y cuantificar el estado real de una enfermedad en condiciones comerciales existentes.

Cochran (1977) argumenta que a diferencia de los diseños experimentales (como los Bloques Completamente al Azar) que buscan controlar la variabilidad mediante la aleatorización de tratamientos y repeticiones, un estudio de diagnóstico enfrenta la alta variabilidad natural del campo (microclima, manejo del suelo, edad de la planta) (Agrios, 2005). La teoría estadística y epidemiológica establece que, para compensar esta variabilidad no controlada y aun así obtener resultados precisos y confiables, se debe recurrir a un tamaño de muestra significativamente grande.

4.2.2.12. Justificación del Tamaño de Muestra (n=100 Plantas)

En un diseño no experimental, un tamaño de muestra robusto (como las n=100 plantas por cultivar seleccionadas al azar) no es arbitrario; es el principal mecanismo de control estadístico.

Cochran (1977) afirma que un tamaño de muestra grande incrementa la precisión de los estimadores (en este caso, la media de incidencia y severidad) y reduce el error estándar de la media. Es decir, al evaluar 100 unidades (plantas) por cada cultivar, se asegura que la media de la enfermedad obtenida sea un estimador robusto y fiable del verdadero valor poblacional (el estado del cultivar en esa finca), capturando la heterogeneidad natural de la enfermedad en el campo.

4.2.2.13. Justificación del Muestreo Estratificado por Planta (n=50 Hojas)

Avelino (2004) menciona que, una vez seleccionada la planta, es crucial asegurar que la medición dentro de esa planta sea precisa. La roya (*H. vastatrix*) no se distribuye uniformemente en el dosel del cafeto; su desarrollo es fuertemente influenciado por la edad de la hoja y el microclima. Las hojas del tercio medio e inferior suelen tener condiciones de humedad y sombrero más prolongadas que el tercio superior, favoreciendo la infección (Kushalappa & Eskes, 1989). Por esta razón, un muestreo aleatorio simple (ej. tomar 50 hojas de cualquier parte) introduciría un grave error. La teoría de muestreo exige un muestreo estratificado por tercios (alto, medio, bajo), que es el método empleado en esta tesis.

Kushalappa & Eskes (1989) afirma que al tomar una submuestra grande (n=50 hojas) y estratificada de cada planta, el investigador se asegura de que la medición de incidencia y severidad asignada a esa planta individual sea representativa de su estado fitosanitario real, minimizando el error de muestreo dentro de la planta.

Agrios (2005) indica que este enfoque, que combina la selección de 100 plantas (precisión entre plantas) con 50 hojas estratificadas (precisión dentro de la planta), constituye un muestreo multietápico (Etapa 1: Cultivar, Etapa 2: Planta, Etapa 3: Hoja) científicamente validado para el diagnóstico epidemiológico de la roya.

4.2.2.14. Incidencia de la roya amarilla del cafeto

Zambolim (2016) argumenta que la incidencia de la roya se refiere a la proporción de plantas infectadas en una determinada área, y está altamente influenciada por factores climáticos, como la temperatura, la humedad y la precipitación. Estudios han mostrado que la incidencia de la enfermedad aumenta considerablemente en ambientes donde las condiciones climáticas son propicias para la proliferación del hongo. Las regiones con

temperaturas entre 20 y 28°C y altos niveles de humedad presentan mayores niveles de incidencia de la roya amarilla.

McCook (2019) señala que el cambio climático ha exacerbado la propagación de la enfermedad, ya que la variabilidad en las temperaturas y los patrones de lluvias ha alterado el ciclo biológico del patógeno, permitiendo que se desarrolle en zonas anteriormente no afectadas. Esta nueva realidad ha llevado a una mayor incidencia en áreas que históricamente estaban a salvo, lo que representa un riesgo cada vez mayor para la producción cafetalera mundial.

4.2.2.14.1. Bases Teóricas para la Medición de la Incidencia

Agrios (2005) afirma que la incidencia es la medida epidemiológica que cuantifica el número de unidades de muestreo (en este caso, hojas) que presentan síntomas visibles de la enfermedad, expresado como un porcentaje del total de unidades evaluadas.

Estratificación de la Planta para Evaluación: El hongo de la roya no se distribuye uniformemente en la planta de café. Su desarrollo depende de condiciones específicas de microclima (humedad, sombra) y de la edad fisiológica de la hoja. Por esta razón, la teoría de evaluación exige una estratificación vertical de la planta, dividiéndola comúnmente en tres tercios (Kushalappa & Eskes, 1989):

1. **Tercio Superior (Alto):** Contiene las hojas más jóvenes. Generalmente presenta menor infección, pero su evaluación es clave para detectar el avance de la epidemia.
2. **Tercio Medio (Medio):** Considerado el más representativo de la infección actual. Posee hojas con la edad fisiológica ideal para la infección y mantiene un microclima de mayor humedad y sombra, ideal para la germinación de las uredosporas (Avelino et al., 2004).

3. **Tercio Inferior (Bajo):** Contiene las hojas más viejas, que acumulan la infección de ciclos anteriores y suelen presentar los mayores niveles de daño y defoliación.

4.2.2.14.2. Procedimiento de Evaluación y Fórmula de Incidencia

SENASA (2015) indica que, para obtener una muestra representativa de la planta, el evaluador selecciona ramas productivas de cada uno de los tres estratos. Comúnmente, se muestrean 10 hojas por planta (distribuidas en los tres tercios). En este punto, la evaluación de incidencia es binaria (presencia/ausencia). La hoja se cuenta como "enferma" (valor 1) si presenta al menos una pústula activa de *H. vastatrix*, o como "sana" (valor 0) si no presenta síntomas (Agrios, 2005).

La fórmula teórica estándar para calcular la incidencia a nivel foliar es dada por SENASA:

$$\text{Incidencia} = \frac{\text{N}^{\circ} \text{ hojas enfermas}}{\text{N}^{\circ} \text{ total de hojas evaluadas}} \times 100$$

4.2.2.15. Severidad de la roya amarilla del café

Avelino (2015) afirma que la severidad de la roya del café se refiere al grado de daño que el patógeno causa en las plantas afectadas, a menudo medido en términos de la proporción de hojas infectadas o la reducción en la producción de frutos. En este sentido, la severidad de la roya está relacionada no solo con las condiciones ambientales, sino también con la resistencia genética de las variedades de café cultivadas. Los cafetales de variedades susceptibles, como *Coffea arabica*, suelen experimentar mayores niveles de severidad en comparación con otras variedades más resistentes.

Zambolim (2016) menciona que la intensidad del daño ocasionado por la roya amarilla también está influenciada por las prácticas de manejo del cultivo. Los cafetales

manejados de manera convencional, sin estrategias de manejo integrado de plagas o técnicas agroecológicas, presentan una mayor severidad de la enfermedad. El uso de fungicidas, aunque efectivo en el corto plazo, ha generado problemas de resistencia del patógeno, incrementando la severidad de los brotes en ciertas zonas (McCook, 2019).

4.2.2.15.1. Bases Teóricas para la Medición de la Severidad

Agrios (2005) argumenta que mientras la incidencia cuenta cuántas hojas están enfermas, la severidad mide qué tan enfermas están. La severidad (o intensidad) se define como la proporción o porcentaje de área foliar de la planta cubierta por síntomas o lesiones de la enfermedad.

4.2.2.15.2. Procedimiento y Escala de Evaluación (Escala de Grados)

Agrios (2005) menciona que la severidad no puede medirse con un simple conteo; requiere una estimación del área afectada. Dado que medir el área exacta de cada lesión en el campo es impráctico, la fitopatología utiliza escalas diagramáticas estandarizadas para reducir la subjetividad del evaluador.

En el Perú, la metodología estandarizada por el Servicio Nacional de Sanidad Agraria (SENASA, 2015) para la roya del cafeto, adopta una escala visual de grados basada en el porcentaje de área foliar afectada

Grado 0: Hoja sana (0% de área afectada).

Grado 1: Síntomas visibles leves (1% a 5% del área foliar afectada).

Grado 2: Manchas coalescentes (6% al 20% del área afectada).

Grado 3: Necrosis notoria (21% al 50% del área afectada).

Grado 4: Daño severo, inicio de defoliación (>50% del área foliar afectada).

4.2.2.15.3. Fórmula de Severidad (Índice de Infección)

SENASA (2015) menciona que una vez que todas las hojas de la muestra (las mismas 10 hojas por planta) han sido clasificadas en un grado, la severidad se calcula utilizando una fórmula ponderada. La fórmula más aceptada y utilizada, propuesta originalmente por Townsend y Heuberger (1943) y adaptada por SENASA da peso a los diferentes grados de daño para obtener un índice porcentual de severidad:

$$\text{Severidad} = \frac{\sum(\# \text{ Grado escalar} * N^{\circ} \text{ hojas afectadas con cada grado})}{N^{\circ} \text{ Grado Máximo} * N^{\circ} \text{ total de hojas evaluadas}} \times 100$$

4.2.2.16. Fundamentación del Análisis de Varianza (ANOVA) en Diseños Descriptivos-Comparativos

Zar (2010) y Sokal & Rohlf (1995) afirman que es una concepción errónea común que el Análisis de Varianza (ANOVA) es una herramienta exclusiva de los diseños experimentales (como el Diseño de Bloques Completamente al Azar). Teóricamente, el ANOVA es una prueba estadística robusta cuyo propósito fundamental es comparar las medias de tres o más grupos para determinar si las diferencias observadas entre ellas son estadísticamente significativas, o si son simplemente producto del azar.

Hernández-Sampieri (2014) indica que el diseño de esta tesis es un Diseño No Experimental, Transversal, de tipo Descriptivo-Comparativo en este enfoque:

La **Variable de Agrupación** (o factor) es el "Cultivar", el cual presenta cuatro niveles (Costa Rica 95, Colombia, Castillo y Geisha).

Las **Variables Dependientes** (o de respuesta) son la "Incidencia" y la "Severidad".

Las **Observaciones Independientes** son las 100 plantas seleccionadas al azar para cada cultivar, las cuales actúan como las "réplicas" o el "n" de cada grupo.

Montgomery (2017) afirma que el uso de ANOVA en este contexto es metodológicamente correcto porque la prueba responde a la pregunta central de la investigación: ¿La media de incidencia (o severidad) difiere significativamente entre los cuatro cultivares evaluados?

La prueba F del ANOVA analiza dos fuentes de variabilidad:

Varianza ENTRE Grupos (MS-Entre): Mide la variabilidad causada por la pertenencia a un cultivar. (Ej. La diferencia entre la media de 'Castillo' y la media de 'Geisha').

Varianza DENTRO de Grupos (MS-Dentro o Error): Mide la variabilidad natural o aleatoria entre las 100 plantas de un mismo cultivar. (Ej. La diferencia entre la Planta 1 de 'Castillo' y la Planta 2 de 'Castillo').

Zar (2010) argumenta que la prueba F determina si la varianza Entre Grupos es significativamente mayor que la varianza Dentro de Grupos. Si el valor p es significativo ($p < 0.05$), se rechaza la hipótesis nula de que todas las medias son iguales, permitiendo concluir (junto a una prueba post-hoc) que al menos un cultivar presenta un nivel de enfermedad estadísticamente diferente a los demás bajo las condiciones del Fundo Idma-Esmeralda.

Hernández-Sampieri (2014) y **Sokal & Rohlf (1995)** afirman que, a diferencia de un diseño experimental, este enfoque no puede probar causalidad aislada (es decir, que la genética sea la *única* causa), pues se trabaja en un campo establecido con variables no controladas. Sin embargo, el ANOVA es la herramienta estadística estándar y más potente para validar la comparación de medias y dar significancia estadística a los hallazgos del diagnóstico descriptivo.

4.2.2.17. Fundamentación del Análisis de Correlación (Incidencia vs. Severidad)

Además de comparar las medias entre los cultivares, un objetivo fundamental de la epidemiología es entender la relación que existe entre las variables de la enfermedad. Esta tesis emplea un Análisis de Correlación para cumplir con el objetivo específico de "Establecer si existe una correlación entre los niveles de incidencia y severidad".

Hernández-Sampieri (2014) indica que este enfoque se enmarca en un alcance de estudio correlacional, el cual busca medir el grado de asociación entre dos o más variables en un mismo contexto, sin manipularlas.

4.2.2.18. Justificación del Coeficiente de Correlación de Pearson

Zar (2010) menciona que el análisis de correlación es la herramienta estadística utilizada para cuantificar la fuerza y la dirección de una relación lineal entre dos variables cuantitativas continuas. En esta investigación, las dos variables a relacionar son:

1. **Variable X:** Incidencia (%)
2. **Variable Y:** Severidad (%)

Sokal & Rohlf (1995) afirman que ambas son variables de razón, lo que hace que el Coeficiente de Correlación de Pearson sea la prueba paramétrica estándar y más robusta para este análisis.

El coeficiente produce un valor entre -1, 0 y +1, donde:

+1 (Correlación Positiva Perfecta): Indica que a medida que una variable (Incidencia) aumenta, la otra variable (Severidad) aumenta en una proporción lineal perfecta.

-1 (Correlación Negativa Perfecta): Indica que a medida que una variable aumenta, la otra disminuye.

0 (Sin Correlación): Indica que no existe una relación lineal entre las variables.

4.2.2.19. Significado Epidemiológico de la Correlación

Kushalappa & Eskes (1989) menciona en fitopatología, se espera teóricamente una fuerte correlación positiva entre la incidencia y la severidad. La incidencia (el número de hojas infectadas) mide la capacidad de dispersión y establecimiento del patógeno, mientras que la severidad (el área foliar dañada) mide el impacto o daño de esas infecciones.

Evaluar esta correlación es crucial porque:

1. **Valida el Modelo de la Enfermedad:** Confirma que a medida que la roya se propaga a más hojas (mayor incidencia), el daño total en la planta también se incrementa (mayor severidad).
2. **Permite la Predicción:** Si la correlación es fuerte, la incidencia puede usarse como un predictor de la severidad. Esto es de gran valor práctico, ya que medir la incidencia (un simple conteo de "sí/no") es significativamente más rápido y objetivo para un productor que estimar la severidad (una estimación de área foliar) (Agrios, 2005).

Hernández-Sampieri (2014) argumenta es fundamental recalcar que, en un diseño no experimental, la correlación no implica causalidad. El análisis no prueba que la incidencia cause la severidad (ya que ambas son manifestaciones del mismo patógeno), sino que describe la fuerza de la asociación estadística entre ellas tal como se presentan en las condiciones del Fundo Idma-Esmeralda.

4.2.2.20. Tipos de resistencia de plantas ante el ataque del patógeno

Agrios (1995) menciona que el factor que permite el desarrollo de una cierta enfermedad en un hospedante es la presencia, en el patógeno, de uno o más genes que determinan la especificidad o la virulencia sobre el huésped en particular. Además, se piensa que el huésped tiene ciertos genes que determinan su susceptibilidad y especificidad para cierto patógeno.

Las plantas son resistentes a ciertos patógenos debido a que pertenecen a grupos taxonómicos que son inmunes a esos patógenos (resistencia de plantas no hospedantes), porque tienen genes que proporcionan resistencia directa ante los genes que determinan la virulencia del patógeno en particular (resistencia verdadera) o bien debido a que, por varias razones, las plantas escapan o toleran la infección causada por esos patógenos (resistencia aparente).

4.2.2.21. Resistencia no huésped

Agrios (1995) menciona las plantas no huésped son inmunes (es decir, son totalmente resistentes) a todos los patógenos de todas las plantas, aun en las condiciones ambientales más favorables para el desarrollo de la enfermedad. Sin embargo, esas mismas plantas son susceptibles, en mayor o menor grado, a sus propios patógenos.

Además, cada planta muestra susceptibilidad específica hacia cada uno de sus propios patógenos, mientras que presenta inmunidad no específica (resistencia no huésped) a todos los demás patógenos.

4.2.2.22. Resistencia verdadera

Agrios (1995) menciona la resistencia a las enfermedades que es controlada genéticamente por la presencia de uno o muchos genes para resistencia en la planta contra

el ataque del patógeno se conoce como resistencia verdadera. En este tipo de resistencia, el hospedante y el patógeno son más menos incompatibles entre sí, debido a la falta de reconocimiento químico entre ellos o porque la planta hospedante se defiende a sí misma del patógeno mediante los diferentes mecanismos de defensa que ya tiene, o activados, en respuesta a la infección, por el patógeno. Existen dos tipos de resistencia verdadera: resistencia horizontal y vertical.

4.2.2.23. Resistencia horizontal

Agrios (1995) menciona todas las plantas tienen un cierto nivel de resistencia no específica, pero no siempre la misma, que es eficaz contra cada uno de sus patógenos. Este tipo de resistencia a veces se denomina resistencia no específica, general, cuantitativa, de la planta adulta, de campo o durable, pero se conoce más comúnmente como resistencia horizontal.

La resistencia horizontal está bajo el control de muchos genes (quizá docenas o cientos de ellos), de ahí el nombre de resistencia poligénica o de genes múltiples. Cada uno de estos genes por separado es ineficaz para contrarrestar el efecto del patógeno y puede tener una función menor en la resistencia horizontal total de la planta (resistencia de genes menores). El gran número de genes que participan en la resistencia horizontal al parecer controlan las diversas etapas de los procesos fisiológicos de la planta, que generan las sustancias y estructuras que constituyen sus mecanismos de defensa.

La resistencia horizontal que muestra una variedad vegetal ante todas las razas de un patógeno puede ser algo mayor (o menor) que la mostrada por otras variedades ante ese mismo patógeno, pero las diferencias por lo común son pequeñas e insuficientes para poder distinguir las variedades con base en su resistencia horizontal (resistencia no

diferencial). Además, la resistencia horizontal es afectada por diferentes condiciones ambientales, bajo las cuales también puede variar.

4.2.2.24. Resistencia vertical

Agrios (1995) menciona muchas variedades vegetales son bastante resistentes a algunas razas de un patógeno, pero, en cambio son susceptibles a otras razas del mismo. En otras palabras, dependiendo de la raza del patógeno utilizada para infectar a una variedad vegetal, ésta puede ser resistente a una raza de patógeno y susceptible a otra. Este tipo de resistencia en las plantas permite diferenciar claramente entre las razas de un patógeno, ya que es afectiva contra ciertas razas específicas del mismo e ineficaz contra otras. Este tipo de resistencia, algunas veces se denomina como resistencia específica, cualitativa o diferencial, pero se conoce con más frecuencia como resistencia vertical.

La resistencia vertical por lo general se controla por uno o algunos genes (de ahí el nombre de resistencia monogénica u óligogénica). Al parecer estos genes controlan una etapa importante de la interacción que se establece entre el patógeno y la planta hospedante y por tanto, tienen una función importante en la expresión de la resistencia vertical (resistencia de genes mayores) En presencia de la resistencia vertical, el hospedante y el patógeno al parecer son incompatibles y el primero generalmente responde desarrollando una reacción de hipersensibilidad y de esta forma, el patógeno no puede establecerse ni multiplicarse en la planta hospedante. En general, la resistencia vertical inhibe el establecimiento inicial del patógeno que llega al campo proveniente de plantas hospedantes que carecen de (o tienen) genes mayores distintos confieren resistencia a la planta.

4.2.2.25. Resistencia aparente

Agrios (1995) indica en cualquier área y casi todos los años, ocurren epífitas limitadas o de amplia distribución en diferentes cultivos. Sin embargo, bajo ciertas condiciones o circunstancias, algunas plantas o variedades muy susceptibles de esos cultivos pueden permanecer libres de la infección o los síntomas y de esta manera ser resistentes. La resistencia aparente que muestran algunas plantas a las enfermedades y de las que se sabe son susceptibles en general es el resultado de los procesos de escape o tolerancia a la enfermedad:

a. Escape a la enfermedad, ocurre siempre que las plantas genéticamente susceptibles no sean infectadas, ya que los tres factores necesarios para que se desarrolle la enfermedad (hospedante susceptible, patógeno virulento y ambiente favorable) no coincidan e interactúen en el momento oportuno o que tenga una duración suficiente.

b. La tolerancia a la enfermedad, es la capacidad de las plantas para producir una buena cosecha aun cuando sean infectadas por un patógeno. La tolerancia; es el resultado de las características hereditarias específicas de la planta hospedante que permiten que el patógeno se desarrolle y propague en ella, mientras que la planta, ya sea por la falta de sitios receptores de las excreciones irritantes del patógeno o al inactivarlas o compensadas, sobrevive para dar una buena cosecha.

4.2.3. Tolerancia

Mitchell (2016) menciona la tolerancia es la capacidad de una planta de mantener su rendimiento o función, incluso cuando está siendo atacada por un patógeno, sin necesariamente evitar o suprimir la infección. A diferencia de la resistencia, que implica mecanismos de defensa activos contra la invasión del patógeno, la tolerancia permite a la planta sobrellevar la infección minimizando el impacto negativo en su crecimiento o

producción. En el caso del cafeto, los cultivares que muestran mayor tolerancia a la roya amarilla logran reducir las pérdidas en el rendimiento a pesar de la presencia del hongo.

4.2.3.1. Mecanismos de tolerancia en el cafeto

Los mecanismos de tolerancia de las plantas al ataque de *Hemileia vastatrix* incluyen:

Mantenimiento del área foliar funcional: Algunas plantas infectadas por la roya amarilla conservan una mayor proporción de hojas sanas, lo que les permite continuar con la fotosíntesis a niveles casi normales. Esto se observa en cultivares que, a pesar de la presencia del patógeno, mantienen una buena cobertura foliar y prolongan su ciclo productivo (Ramiro, 2019).

Reparación celular y recuperación rápida: Algunas plantas tolerantes activan mecanismos de reparación rápida de tejidos afectados, lo que reduce la progresión del daño. Estas plantas pueden redirigir recursos para la regeneración foliar o el fortalecimiento de partes afectadas, limitando el impacto del ataque fúngico (Avelino, 2015).

Redistribución de recursos: Un mecanismo clave de tolerancia es la capacidad de la planta para redistribuir nutrientes y recursos a zonas menos afectadas o nuevas estructuras, como ramas jóvenes y hojas nuevas. Este proceso permite mantener la productividad a largo plazo, compensando las pérdidas causadas por la roya (Vega, 2014).

Aumento de la eficiencia fotosintética en las partes sanas: Otro mecanismo de tolerancia es la capacidad de incrementar la eficiencia fotosintética en las partes no afectadas por el patógeno. En situaciones de estrés por roya, algunas plantas aumentan la tasa de fotosíntesis en hojas sanas para compensar las pérdidas en las áreas afectadas (Cai, 2016).

4.2.3.2. Resistencia vs. tolerancia: Importancia en la gestión de la roya amarilla

Es importante diferenciar entre resistencia y tolerancia en el contexto de la roya amarilla. Mientras que la resistencia implica una supresión directa del patógeno mediante barreras físicas, químicas o inmunológicas, la tolerancia se enfoca en mitigar los efectos de la infección sin necesariamente impedirla. El desarrollo de variedades resistentes ha sido una estrategia común, pero con la evolución de nuevas razas de *Hemileia vastatrix*, la resistencia genética en muchas variedades de café ha comenzado a decaer (McCook, 2019).

En este sentido, la tolerancia se está convirtiendo en una estrategia complementaria clave, ya que puede ofrecer una solución más estable a largo plazo. Plantas que pueden coexistir con el patógeno sin perder significativamente su rendimiento son menos susceptibles a las mutaciones del patógeno que pueden superar las barreras de resistencia (Mitchell, 2016).

4.2.3.3. Selección de cultivares tolerantes

La identificación y selección de cultivares de café con alta tolerancia a la roya amarilla ha sido una prioridad en muchos programas de mejoramiento genético. En estudios recientes, se han evaluado varios cultivares para determinar su capacidad de soportar infecciones de *Hemileia vastatrix* sin una disminución notable en el rendimiento. Por ejemplo, cultivares como **Castillo** y **Costa Rica 95** han mostrado altos niveles de tolerancia en condiciones de campo, lo que los hace ideales para regiones endémicas de roya (Avelino, 2015). Además, el uso de estos cultivares en combinación con prácticas agronómicas adecuadas, como el manejo de sombra y la fertilización, ha demostrado reducir los efectos negativos de la enfermedad (Vega, 2014).

4.3. Definición de términos o marco conceptual

4.3.1. Cafeto (*Coffea sp.*)

El cafeto es un arbusto perenne perteneciente al género *Coffea*, dentro de la familia Rubiaceae. Es cultivado principalmente por sus semillas, conocidas como granos de café, que se utilizan en la producción de la bebida más consumida a nivel mundial, el café. Existen varias especies de *Coffea*, siendo *Coffea arabica* y *Coffea canephora* (robusta) las más comunes en la agricultura global. *Coffea arabica* es valorada por su calidad y sabor suave, mientras que *Coffea canephora* es conocida por su mayor resistencia a enfermedades y su sabor más fuerte (ICO, 2021).

4.3.2. Especie

Es el rango taxonómico fundamental que agrupa a individuos con características morfológicas y genéticas similares, capaces de reproducirse entre sí y tener descendencia fértil. En el contexto del café, las dos especies de mayor importancia comercial son *Coffea arabica* y *Coffea canephora*. (Solomon, 2013)

4.3.3. Variedad

Es un rango taxonómico inferior a la especie. Una variedad se origina de forma **natural** en un área geográfica específica, a menudo por mutación o hibridación espontánea, y mantiene sus características distintivas al reproducirse sin intervención humana (propagación silvestre). Las variedades botánicas clásicas de *Coffea arabica* son, por ejemplo, *Typica* y *Bourbon*, de las cuales descienden muchas otras (Wintgens, 2012)

4.3.4. Cultivar

Es un término agronómico que proviene de "Cultivated Variety" (variedad cultivada). Un cultivar es un grupo de plantas que ha sido seleccionado artificialmente

por humanos (mediante fitomejoramiento, hibridación controlada o selección) debido a que posee características deseables específicas (resistencia a enfermedades, productividad, calidad de taza). Estos rasgos se mantienen únicamente mediante la propagación intencional controlada (Brickell, 2016)

4.3.5. Cerezo

El término "cerezo" en el contexto del cafeto se refiere al fruto del cafeto. Estos frutos, que son técnicamente drupas, contienen dos semillas que se conocen como granos de café. El cerezo pasa por varias etapas de desarrollo, comenzando como una flor blanca y fragante, y luego madurando a un fruto verde, que finalmente se torna rojo, amarillo, o en algunos casos, púrpura cuando está completamente maduro. La madurez del cerezo es un factor crucial que determina la calidad final del café producido (DaMatta, 2004).

4.3.6. Roya del cafeto (*Hemileia vastatrix*)

La roya del cafeto es una enfermedad fúngica causada por *Hemileia vastatrix*, que afecta las hojas del cafeto, provocando manchas amarillas que se expanden y eventualmente causan la caída de las hojas. Es una de las enfermedades más devastadoras para el cafeto, especialmente en regiones tropicales, y puede reducir drásticamente la productividad de una plantación. El control de la roya implica una combinación de prácticas agrícolas, uso de fungicidas, y la plantación de variedades resistentes para mitigar su impacto (McCook, 2019).

4.3.7. *Coffea arabica*

Coffea arabica es una de las especies de cafeto más cultivadas en el mundo, representando aproximadamente el 60-70% de la producción global de café. Es conocida por su calidad superior y su sabor suave, con notas afrutadas y florales. A diferencia de *Coffea canephora* (robusta), *Coffea arabica* es más susceptible a enfermedades como la

roya del cafeto, y requiere condiciones específicas de cultivo, generalmente en altitudes elevadas y en climas tropicales (Vega et al., 2003).

4.3.8. Incidencia

La incidencia en fitopatología se refiere al porcentaje de plantas afectadas por una enfermedad dentro de una población determinada. En el caso de la roya del cafeto, la incidencia se mide como la proporción de cafetos que muestran síntomas visibles de la enfermedad en un área específica. Este parámetro es fundamental para evaluar la extensión del brote y planificar estrategias de manejo (Rodríguez & Samper, 2008).

4.3.9. Severidad

La severidad es una medida del grado de daño que una enfermedad causa en una planta. En el caso de la roya del cafeto, la severidad se evalúa observando el porcentaje de área foliar afectada por las lesiones producidas por el patógeno. Una alta severidad indica un mayor impacto de la enfermedad, lo que puede conducir a pérdidas significativas en el rendimiento de la cosecha (Zambolim, 2016).

4.3.10. Grados de Severidad

El grado de severidad es una medida utilizada para evaluar el impacto de una enfermedad en las plantas, en función del área afectada por el patógeno. Se refiere al porcentaje del tejido vegetal que presenta síntomas visibles de daño, como necrosis, lesiones o decoloraciones. Esta medida se suele expresar en una escala que va del 0 al 100%, siendo 0 la ausencia de síntomas y 100% cuando toda la planta o parte de ella está completamente dañada (Nutter, 1993).

La severidad es crucial en estudios fitopatológicos porque permite cuantificar el efecto de una enfermedad en el rendimiento de los cultivos. Es útil no solo para evaluar

la progresión de la enfermedad, sino también para comparar la susceptibilidad o tolerancia de diferentes cultivares bajo condiciones de infección (Shaner & Finney, 1977).

4.3.11. Correlación

La correlación es una técnica estadística utilizada para medir y describir la relación entre dos variables. Esta relación se expresa mediante un coeficiente de correlación, que puede variar entre -1 y +1. Un valor positivo indica que ambas variables tienden a aumentar o disminuir juntas, mientras que un valor negativo sugiere que cuando una variable aumenta, la otra disminuye. Sin embargo, la correlación no implica causalidad, lo que significa que, aunque dos variables estén relacionadas, no necesariamente una causa la otra (Cohen, 2013)

En este se medirá la correlación entre los niveles de incidencia y severidad de la roya en los 4 cultivares analizados (Costa Rica 95, Castillo, Colombia y Geisha).

V. DISEÑO DE LA INVESTIGACION

5.1. Generalidades de la investigación

5.1.1. Tipo de investigación: Descriptivo - Evaluativo

5.1.2. Ubicación espacial

El trabajo experimental se realizó en el fundo Idma – Esmeralda perteneciente al distrito de Santa Ana, provincia La Convención y región Cusco

5.1.3. Ubicación política

Región: Cusco

Departamento: Cusco

Provincia: La Convención

Distrito: Santa Ana

Lugar: Fundo Idma – Esmeralda

5.1.4. Ubicación geográfica

Altitud: 1,475 metros

Latitud: 12°51'11.76" S

Longitud: 72°41'17.99" O

5.1.5. Ubicación hidrográfica

Cuenca Principal: Río Urubamba

Subcuenca: Río Vilcanota-Urubamba

Microcuenca: Río Chuyapi

5.1.6. Ubicación satelital del campo



Figura 5 Vista Satelital de ubicación del campo experimental

Fuente: Imagen sacada de GOOGLE EARTH (2024)

5.1.7. Zona de vida

De acuerdo con el sistema de clasificación bioclimática de Holdridge (1967), el área de estudio en el sector de Idma-Esmeralda (1,475) corresponde a la zona de vida: bosque húmedo - Premontano Tropical (bh-PT) Esta clasificación es concordante con el Mapa Ecológico oficial del Perú (ONERN, 1976).

5.1.8. Caracterización Climática del Periodo de Evaluación

Dado que la epidemiología de la roya del cafeto (*Hemileia vastatrix*) está fuertemente influenciada por factores ambientales como la lluvia, la temperatura y la humedad, se procedió a caracterizar las condiciones climáticas del campo experimental.

Los datos climáticos se obtuvieron del portal de datos de SENAMHI, utilizando la estación meteorológica automática "SAN PABLO" (Código: 4729658E). Esta estación se seleccionó por ser la más representativa de la zona de estudio, al encontrarse ubicada en la misma provincia (La Convención), distrito de Huayopata, y a una altitud (1,228) próxima a la del Fundo Idma-Esmeralda (1,475). Si bien la evaluación de la enfermedad en campo se realizó exclusivamente durante tres meses (noviembre 2024 a enero 2025), en la **Tabla 01** y en los gráficos correspondientes se ha incluido la serie histórica de datos climáticos desde enero de 2024. La inclusión de los meses previos a la evaluación se tomó como referencia y es metodológicamente necesaria para construir el climograma anual, lo que permite visualizar el patrón cíclico del clima en la zona y entender cómo las condiciones ambientales previas prepararon el escenario epidemiológico (acumulación de inóculo primario) para el brote de la enfermedad que se evaluó a fines de año.

Tabla 1 Datos climáticos Mensuales de la Estacion "SAN PABLO"

Estacion: SAN PABLO				
Departamento: Cusco		Provincia: La Convención		Distrito: Huayopata
Latitud: 13°1'30.2" S		Longitud: 72°37'11.6" W		Altitud: 1228.
Tipo: Automática - Meteorológica			Código: 4729658E	
Fecha	Temperatura Promedio (°C)	Precipitación Acumulada (mm)	Humedad Relativa Promedio (%)	Dirección del Viento
Ene-24	23.35	153.6	79.50	155.94
Feb-24	22.88	224.8	83.50	151.13
Mar-24	22.97	316.0	84.94	164.63
Abr-24	23.54	110.0	83.59	163.16
May-24	23.12	37.0	78.52	165.84
Jun-24	21.51	40.0	75.07	159.34
Jul-24	22.35	0.8	63.29	145.72
Ago-24	24.03	13.6	57.73	131.18
Set-24	23.57	118.8	66.39	136.59

Oct-24	25.15	6.2	58.77	117.33
Nov-24	23.48	211.8	77.02	130.48
Dic-24	22.36	211.2	82.20	150.20
Ene-25	21.88	200.0	84.46	156.20

Fuente: SENAMHI (Datos procesados por el autor)

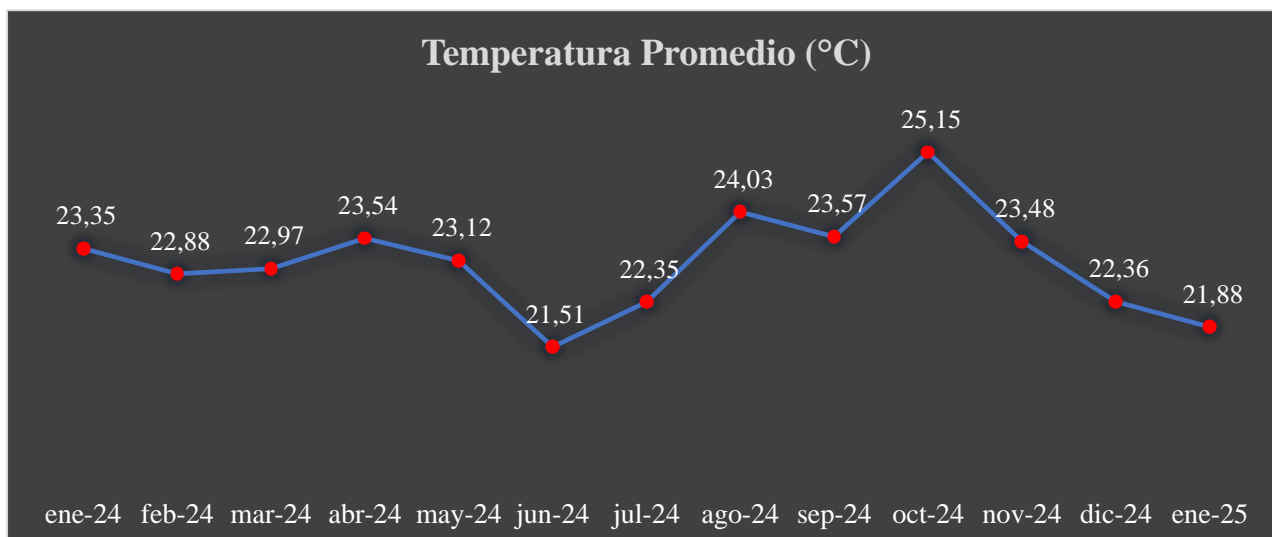


Figura 6 Temperatura promedio mensual

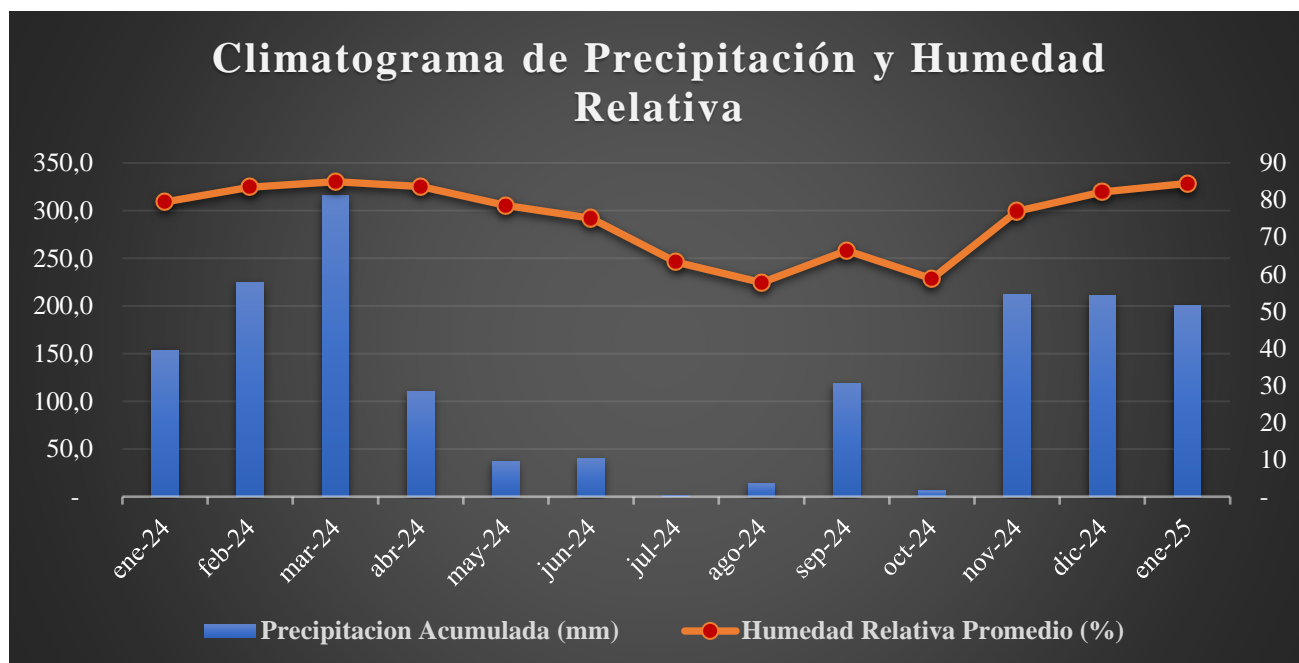


Figura 7 Climatograma de precipitación acumulada y humedad relativa

Fuente: SENAMHI, datos procesados por el autor

5.1.9. Ubicación Temporal

El trabajo de investigación se inició el 24 de agosto de 2024 y culminó el 28 de enero de 2025.

5.1.10. Variables de Investigación

5.1.10.1. Variable Independiente (Factor)

Es la variable categórica que define los grupos de comparación. Se considera la variable independiente porque la investigación asume que el tipo de cultivar (su genética) es la causa de las variaciones observadas en los niveles de la enfermedad.

Niveles (Grupos): Costa Rica 95, Castillo, Colombia y Geisha.

5.1.10.2. Variables Dependientes

Incidencia (%)

Es la medida epidemiológica que cuantifica el número de unidades de muestreo (hojas) que presentan síntomas visibles de la enfermedad, expresado como un porcentaje del total de unidades evaluadas, según lo define Agrios (2005).

Definición Operacional: Se midió seleccionando 50 hojas por planta y contando el número de hojas que presentaban al menos una pústula. El porcentaje se obtuvo aplicando la fórmula teórica estándar del SENASA (2015)

Severidad (%)

Se define como la proporción o porcentaje del área foliar de la planta que está cubierta por síntomas o lesiones de la enfermedad, según Agrios (2005).

Definición Operacional: Se midió utilizando la metodología estandarizada por el SENASA (2015). Cada una de las 50 hojas por planta se clasificó visualmente en una

escala de grados (0, 1, 2, 3 o 4) basada en el porcentaje de área foliar afectada. El índice porcentual final se calculó utilizando la fórmula ponderada de Townsend y Heuberger (1943)

5.2. Materiales y métodos

5.2.1. Materiales

5.2.1.1. Material Genético

- Cultivares de cafeto (Costa Rica 95, Colombia, Castillo y Geisha)
- Patógeno (*Hemileia vastatrix*)

5.2.1.2. Materiales de campo

- Fichas de evaluación.
- Libreta de campo.
- Plumón (marcador).
- Cámara fotográfica.
- Herramientas agrícolas.

5.2.1.3. Materiales de Gabinete

- Calculadora
- Textos informativos.

5.2.2. Metodología

5.2.2.1. Establecimiento del campo experimental

Esta evaluación se realizó en un campo ya establecido donde se seleccionó al azar 100 plantas de cafeto de cada cultivar (Costa Rica 95, Colombia, Castillo y Geisha) y 50 hojas de la parte alta, media y baja de cada planta y se evaluó en el sector de Idma – Esmeralda.

5.2.2.2. Dimensiones del campo experimental

Largo total:	160 m
Ancho total:	130 m
Área total:	20800 m ²
Área neta:	14000 m ²

5.2.2.3. Tamaño de las parcelas

El tamaño de la parcela con el cultivar Colombia es 6500 m² (2500 plantas de 2 ejes), el tamaño de la parcela con el cultivar Castillo es 1000 m² (250 plantas de 2 ejes), el tamaño de la parcela con el cultivar Geisha es 3500 m² (1000 plantas de 1 eje) y el tamaño de la parcela con el cultivar Costa Rica 95 es 3000 m² (1600 plantas de 2 ejes)

5.2.3. Conducción del experimento y periodo de evaluación

Lo primero que se realizó fue la evaluación de incidencia seleccionando 100 plantas al azar de cada cultivar (Costa Rica 95, Castillo, Colombia y Geisha), posteriormente se evaluó los grados de severidad.

Este periodo de evaluación (noviembre 2024 - enero 2025) no solo coincide con la etapa de máximo estrés fisiológico de la planta (maduración y cosecha), sino que también representa, según los datos climáticos de la Estación San Pablo (referidos en la Tabla 01 y Gráficos 1 y 2), el inicio y consolidación de la temporada de lluvias en la zona.

Específicamente, estos meses registraron: **Altas Precipitaciones:** 211.8 mm (Nov), 211.2 mm (Dic) y 200.0 mm (Ene). **Humedad Relativa elevada y sostenida:** 77.02% (Nov), 82.20% (Dic) y 84.46% (Ene). **Temperaturas óptimas:** 23.48°C (Nov), 22.36°C (Dic) y 21.88°C (Ene).

Esta combinación de alta humedad (>80%), presencia de agua libre por la lluvia (esencial para la dispersión de uredosporas) y temperaturas en el rango óptimo (21-25°C, como se menciona en el marco teórico) crea las condiciones epidemiológicas ideales para el desarrollo de *Hemileia vastatrix*. Por lo tanto, la evaluación se realizó en el periodo de máxima presión de la enfermedad, permitiendo medir la respuesta real de resistencia y susceptibilidad de cada cultivar en el peor escenario posible.

5.2.4. Conducción de la Investigación y Análisis por Objetivo

La conducción del estudio y el análisis estadístico se estructuraron para responder directamente a cada objetivo específico planteado:

5.2.4.1. Metodología para la Comparación de Niveles de Incidencia de la Roya

Comparar los niveles de incidencia de la roya del cafeto entre los cuatro cultivares de cafeto evaluados, a fin de determinar si existen diferencias estadísticamente significativas.

Procedimiento de Campo: Para obtener la variable de incidencia, se realizó un muestreo estratificado por zonas de la planta. Primero, se seleccionaron al azar 100 plantas por cada cultivar, las cuales presentaban las siguientes edades de plantación: Costa Rica 95 (14 años), Colombia (11 años), Castillo (9 años) y Geisha (11 años). De cada planta seleccionada, se obtuvo una muestra de 50 hojas distribuidas equitativamente en tres zonas o estratos (tercio superior, medio e inferior), asegurando así que la medición representara el estado real de toda la estructura del cafeto. Posteriormente, se procedió al conteo de hojas enfermas y se aplicó la fórmula de incidencia.

Análisis Estadístico: Para determinar si existían diferencias estadísticamente significativas entre las medias de incidencia de los cuatro cultivares, se utilizó un Análisis

de Varianza (ANOVA). Esta prueba es la herramienta estadística robusta para comparar las medias de tres o más grupos, según Zar (2010) y Sokal & Rohlf (1995)

5.2.4.2. Metodología para la Comparación de Niveles de Severidad de la Roya

Analizar las variaciones en el grado de severidad de la roya del café entre los cuatro cultivares de café evaluados.

Procedimiento de Campo: Utilizando la misma muestra de 50 hojas por planta, cada hoja fue calificada individualmente. Se utilizó la escala diagramática estandarizada de 5 grados (0-4) del SENASA (2015) para estimar el área foliar afectada.

Análisis Estadístico: Los grados de cada hoja se procesaron con la fórmula de severidad de Townsend y Heuberger (1943) para obtener un índice porcentual único por planta. Al igual que con la incidencia, se aplicó el ANOVA para comparar las medias de severidad entre los cuatro cultivares.

5.3. Metodología para la evaluación de la Correlación entre los niveles de Incidencia-Severidad de la roya

Establecer si existe una correlación entre los niveles de incidencia y severidad de la roya en los cuatro cultivares analizados en el área de estudio. Este procedimiento de evaluar ambas variables (incidencia y severidad) en la misma muestra de plantas y hojas es metodológicamente mandatorio para cumplir con el tercer objetivo.

Procedimiento de Análisis: Se consolidó una base de datos con 400 pares de observaciones (100 por cultivar), donde cada par contenía el valor de Incidencia (%) y el valor de Severidad (%) de la misma planta.

Análisis Estadístico: el análisis de correlación de Pearson requiere cuantificar la relación entre dos variables ($X = \text{Incidencia}$, $Y = \text{Severidad}$). Para ello, se consolidó la

base de datos con 400 pares de observaciones (un par por cada planta evaluada), asegurando que ambas mediciones provinieran de la misma unidad de muestreo, tal como lo requiere la prueba estadística. Zar (2010) y Sokal & Rohlf (1995)

5.3.1. Época de evaluación

La evaluación se realizó estando el cultivo en plena maduración y cosecha, en los meses de noviembre, diciembre del 2024 y enero del 2025.

5.3.2. Evaluación de los cultivares

Se efectuó la evaluación para determinar las condiciones del campo y el porcentaje de incidencia y grado de severidad que presenta la parcela. Para la cual se utilizó la planilla de evaluación establecida por el SENASA.

5.3.2.1. Evaluación de porcentaje de incidencia

El nivel de daño ocasionado por la roya amarilla (*Hemileia vastatrix*) respecto a la incidencia del cafeto se evaluó mediante porcentajes, se seleccionó 100 plantas al azar de cada cultivar. Los cultivares que se evaluaron en el presente estudio son los cultivares de cafeto de los cultivares Costa Rica 95, Colombia, Castillo y Geisha.

Se seleccionaron 100 plantas al azar de cada cultivar tratando de cubrir toda el área de la parcela, recolectando 50 hojas de la parte alta, media y baja por planta y se utilizó como referencia la metodología y las fórmulas propuestas por SENASA. Se diseñaron fichas de recolección de datos adaptadas para los propósitos de la investigación (Ver Anexo 02), en las fórmulas de incidencia de dicha institución

La fórmula que se utilizó es:

$$\text{Incidencia} = \frac{N^{\circ} \text{ hojas enfermas}}{N^{\circ} \text{ total de hojas evaluadas}} \times 100$$

5.3.2.2. Evaluación del grado de severidad

Para determinar el grado de severidad de esta enfermedad se utilizarán grados o calificación, se seleccionarán 100 plantas al azar por cultivar tratando de cubrir toda el área de la parcela, recolectando 50 hojas de la parte alta, media y baja por planta y se utilizó como referencia la metodología y las fórmulas propuestas por SENASA. Se diseñaron fichas de recolección de datos adaptadas para los propósitos de la investigación (Ver Anexo 02), basadas en la escala de grados de severidad de dicha institución, tal como se muestra en el cuadro

$$\text{Severidad} = \frac{\sum(\# \text{ Grado escalar} * N^{\circ} \text{ hojas afectadas con cada grado})}{N^{\circ} \text{ Grado Máximo} * N^{\circ} \text{ total de hojas evaluadas}} \times 100$$

Tabla 2 Grados o calificación de escala de severidad

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

Fuente: Tabla de grados de severidad para evaluación según SENASA (2015)



Figura 8 Grados de calificación de la roya amarilla del cafeto

5.3.2.3. Evaluación de la correlación entre los niveles

Se realizó una recolección de datos de la incidencia y severidad de la roya amarilla del cafeto, se usó 400 datos (100 datos por cada cultivar evaluado) y se organizó los datos en una tabla que incluya cultivar, incidencia y severidad para su análisis estadístico. Se usó programas como Excel, SAS para realizar la evaluación de correlación

Se utilizó una prueba estadística de correlación para medir la relación entre la incidencia y la severidad de la roya. Una de las pruebas más comunes es el coeficiente de correlación de Pearson, que se usa cuando los datos son numéricos y tienen una distribución normal. El coeficiente de Pearson r se calcula con la fórmula:

$$r = \frac{n(\sum XY) - (\sum X)(\sum Y)}{\sqrt{[n\sum X^2 - (\sum X)^2][n\sum Y^2 - (\sum Y)^2]}}$$

Donde n representa el número de cultivos de cafeto, X representa los valores de incidencia y Y los valores de severidad.

Donde el resultado de la correlación estará entre -1 y 1:

- **1** indica una correlación positiva perfecta (a mayor incidencia, mayor severidad)
- **0** indica que no hay correlación
- **-1** indica una correlación negativa perfecta (a mayor incidencia, menor severidad)

VI. RESULTADOS Y DISCUSION

6.1.Resultados de Comparación de Niveles de Incidencia de la Roya

Para responder al primer objetivo específico —Determinar y comparar los niveles de incidencia de la roya del cafeto (*Hemileia vastatrix* Berk. & Br.) en los cultivares Costa Rica 95, Castillo, Colombia y Geisha—, se evaluaron 100 plantas por cultivar y se calculó el porcentaje de hojas enfermas. Los registros detallados de incidencia por planta para cada cultivar se presentan en los Cuadros 01, 02, 03 y 04 (Ver Anexos 03, 04, 05 y 06 respectivamente)

6.1.1. Análisis Descriptivo de la Incidencia

El análisis estadístico descriptivo revela diferencias claras en las medias de infección. Los cultivares Castillo (4.70%) y Colombia (5.68%) exhibieron los promedios de incidencia más bajos, sugiriendo una alta resistencia de campo. En contraste, el cultivar Geisha presentó un nivel intermedio (17.58%), y el cultivar Costa Rica 95 mostró la incidencia más elevada (22.04%).

Análisis Descriptivo (Medias y DT)

Tabla 3 Análisis Descriptivo del grado de incidencia

Descriptivos - Incidencia

Cultivar	N	Media	DT	ET	Coefficiente de variación
Castillo	100	4.700	5.040	0.504	1.072
Colombia	100	5.680	5.796	0.580	1.020
Costa Rica 95	100	22.040	7.396	0.740	0.336
Geisha	100	17.580	9.472	0.947	0.539

Se calcularon las estadísticas descriptivas para la incidencia de la roya en los cuatro cultivares. Como se observa en la Tabla Descriptivos – Incidencia, los cultivares Castillo ($4.70\pm 5.04\%$) y Colombia ($5.68\pm 5.79\%$) presentaron la menor incidencia promedio, mientras que Costa Rica 95 exhibió la mayor incidencia ($22.04\pm 7.39\%$). Es de destacar que las desviaciones típicas son marcadamente diferentes entre los grupos, siendo el cultivar Costa Rica 95 el que presenta mayor dispersión, lo cual se aborda en el análisis de supuestos

6.1.2. Análisis de Varianza de la Incidencia (ANOVA)

Para validar si estas diferencias eran estadísticamente significativas, se realizó un Análisis de Varianza. La prueba de Levene indicó que las varianzas no eran homogéneas ($p < 0.001$), por lo que se utilizó el ANOVA de Welch, que es robusto bajo esta condición.

6.1.2.1. Contraste de Supuestos y Justificación Metodológica

Tabla 4 Contraste de Igualdad de Varianzas de Incidencia (de Levene)

Contraste de Igualdad de Varianzas (de Levene)

F	gl1	gl2	p
10.77	3.000	396.0	< .001

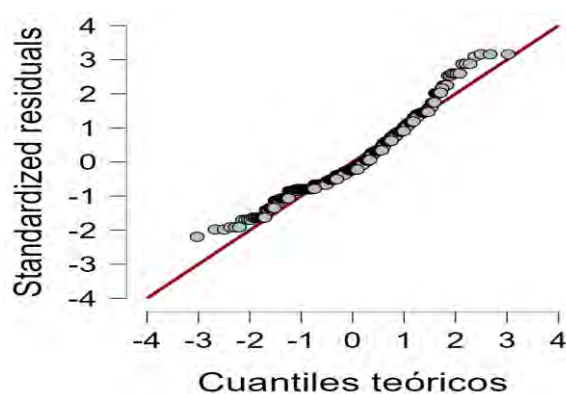


Figura 9 Grafico Q-Q (Normalidad)

El Gráfico Q-Q compara la distribución de tus residuos (la diferencia entre lo que el modelo predice y el dato real) con una distribución normal perfecta (la línea diagonal roja).

- Línea Diagonal Roja: Representa la distribución normal ideal.
- Círculos Grises: Son los residuos de los 400 datos.

Respecto al supuesto de normalidad, el Gráfico Q-Q de los residuos estandarizados muestra que la mayoría de los puntos de los datos se alinean estrechamente sobre la línea de referencia teórica (Figura 9).

6.1.2.2.Resultado del ANOVA (Welch)

Tabla 5 ANOVA(Welch) del grado de incidencia

ANOVA - Incidencia

Corrección de Homogeneidad	Casos	Suma de Cuadrados	de gl	Cuadrado Medio	F	p
None	Cultivar	22,417	3.000	7,472.35	146.9	< .001
	Residuals	20,139	396.000	50.86		
Welch	Cultivar	22,417	3.000	7,472.35	163.7	< .001
	Residuals	20,139	215.411	93.49		

Nota. Suma de Cuadrados Tipo III

El **ANOVA de Welch** confirmó la existencia de diferencias altamente significativas en la incidencia de roya entre los cultivares de café evaluados ($F(3,215.411) = 163.7, p < 0.001$). Por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula de igualdad de medias

6.1.2.3. Pruebas Post-Hoc (Games-Howell)

Para identificar qué cultivares diferían entre sí, se aplicó la prueba post-hoc de Games-Howell (Tabla Comparaciones Post-hoc - Incidencia). Los resultados permitieron agrupar los cultivares en tres categorías de resistencia

Tabla 6 Comparaciones Post-hoc de Games-Howell - Cultivar Incidencia

Comparaciones Post-hoc de Games-Howell - Cultivar

Comparación	Diferencia de Medias	SE	t	df	pTukey
Castillo - Colombia	-0.980	.768	-1.276	94.3	.579
Castillo - Costa Rica 95	-17.340	.895	-19.373	74.6	.001
Castillo - Geisha	-12.880	.073	-12.004	50.9	.001
Colombia - Costa Rica 95	-16.360	.940	-17.410	87.3	.001
Colombia - Geisha	-11.900	.110	-10.716	64.0	.001
Costa Rica 95 - Geisha	4.460	.202	3.711	87.0	.002

Nota. Resultados basados en medias sin corregir.

Para identificar qué cultivares difieren entre sí, se aplicó la prueba *post-hoc* de Games-Howell, la cual es robusta bajo la condición de heterogeneidad de varianzas. Los resultados mostraron que la incidencia de roya se agrupó en tres grupos estadísticamente distinguibles:

- **Grupo A (Más Resistente):** Integrado por **Castillo** y **Colombia**, que no mostraron diferencias significativas entre sí ($p=0.579$), con las incidencias más bajas.
- **Grupo B (Intermedio):** El cultivar **Geisha** se ubicó en un grupo intermedio.
- **Grupo C (Más Susceptible):** El cultivar **Costa Rica 95** presentó la incidencia más alta y fue significativamente diferente de todos los demás cultivares ($p<0.002$ en todas las comparaciones)

6.1.3. Discusión sobre los resultados de los Niveles de Incidencia de la Roya

Al aplicar la prueba post-hoc de Games-Howell, los cultivares se agruparon en tres categorías. El Grupo A (Mayor Resistencia) estuvo integrado por Castillo y Colombia, que no mostraron diferencias significativas entre sí ($p=0.579$). El bajo nivel de incidencia de estos cultivares bajo la máxima presión epidemiológica confirma su robusta resistencia de campo. Esta resistencia se justifica por su origen genético, ya que Castillo (derivado de la cruce de Caturra con el híbrido de Timor) y Colombia portan genes de resistencia a la roya (generalmente el gen Sh3).

Esta conclusión es respaldada por antecedentes internacionales y nacionales. Se alinea con los hallazgos de Martínez (2019), quien en Antioquia, Colombia, determinó la superioridad de los cultivares de origen híbrido en escenarios de alta presión. A nivel nacional, Estrada (2015) en Satipo, concluyó que Catimor (parental de Castillo) evidenció una clara resistencia (30% de incidencia) frente a Caturra (70%). Del mismo modo, Otiniano (2019) en Chanchamayo, y estudios locales en Cusco como los de Huamán (2016) en Quellouno y Ccoiso (2016) en Tunquimayo, reportaron 0% de incidencia en Catimor, demostrando la superioridad de esta base genética frente a materiales tradicionales.

Por otro lado, la susceptibilidad del cultivar Geisha (Grupo B, 17.58%) se explica por su naturaleza de *Coffea arabica* puro. Estos materiales, aunque altamente valorados por su calidad en taza, carecen de los genes de resistencia del Híbrido de Timor. Esto concuerda con antecedentes locales de Palomino (2016) en Echarati, quien evaluó cultivares tradicionales como Typica, Bourbon y Caturra, reportando incidencias extremadamente altas (superiores al 74%).

El hallazgo más crítico fue el cultivar Costa Rica 95 (Grupo C), que presentó la incidencia más alta y fue estadísticamente diferente de todos los demás. Históricamente, al compartir base genética con el Híbrido de Timor, se esperaba mayor resistencia. Esta elevada susceptibilidad sugiere un "quiebre de resistencia" en la zona, indicando la posible presencia de nuevas razas o variantes de *H. vastatrix* más virulentas que han logrado superar sus genes de defensa específicos en el distrito de Santa Ana, un fenómeno advertido por Martínez (2019) para toda Latinoamérica.

6.2. Resultados de Comparación de Niveles de Severidad de la Roya

En respuesta al segundo objetivo específico —Analizar las variaciones en el grado de severidad del daño de la roya en los cuatro cultivares—, se utilizó la escala diagramática de SENASA (Grados 0-4) en la misma muestra de hojas para calcular un índice porcentual de severidad. Los datos detallados de los grados de infección por cada planta evaluada se encuentran en los Cuadros 05, 06, 07 y 08 (Ver Anexos 07, 08, 09 y 10 respectivamente).

6.2.1. Análisis Descriptivo de la Severidad

El análisis descriptivo (Tabla Descriptivos - Severidad) mostró una tendencia idéntica a la de la incidencia. Los cultivares Castillo (1.195%) y Colombia (1.455%) presentaron un daño foliar (severidad) mínimo. Geisha mostró un nivel intermedio de daño (5.380%), mientras que Costa Rica 95 registró el mayor porcentaje de área foliar afectada (6.575%).

6.2.1.1. Análisis Descriptivo y de Supuestos

Tabla 7 Análisis Descriptivo del grado de Severidad

Descriptivos - Severidad

Cultivar	N	Media	DT	ET	Coeficiente de variación
Castillo	100	1.195	1.297	0.130	1.085
Colombia	100	1.455	1.503	0.150	1.033
Costa Rica 95	100	6.575	2.624	0.262	0.399
Geisha	100	5.380	3.775	0.378	0.702

Como se aprecia en la Descriptivos - Severidad, los cultivares Castillo ($1.195 \pm 1.297\%$) y Colombia ($1.455 \pm 1.503\%$) presentaron la Severidad promedio más baja, mientras que Costa Rica 95 registró la mayor severidad ($6.575 \pm 2.624\%$).

6.2.2. Análisis de Varianza de la Severidad (ANOVA)

Para validar el uso del Análisis de Varianza (ANOVA), se examinaron los supuestos.

- **Supuesto de Normalidad:** La distribución de los residuos estandarizados (Figura 6) mostró un patrón central alineado con la línea teórica, indicando que se cumple el supuesto de normalidad de forma aceptable para el modelo paramétrico.

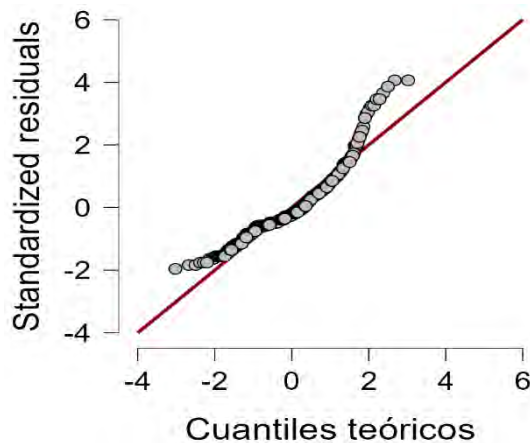


Figura 10 Grafico de Supuesto de Normalidad Severidad

- **Supuesto de Homogeneidad de Varianzas:** El Test de Levene para la Severidad resultó ser significativo ($F(3,396) = 28.97, p < 0.001$), lo que indica una clara violación del supuesto.

Tabla 8 *Contraste de Igualdad de Varianzas de Severidad (de Levene)*

Contraste de Igualdad de Varianzas (de Levene)

F	gl1	gl2	p
28.97	3.000	396.0	< .001

Nuevamente, la prueba de Levene detectó heterogeneidad de varianzas ($p < 0.001$), por lo que se procedió con el ANOVA de Welch.

6.2.2.1. Resultados del ANOVA de Welch y Games-Howell

El resultado (Tabla ANOVA - Severidad) confirmó **diferencias altamente significativas** en el índice de severidad entre los cultivares ($F(3, 209.143) = 143.5, p < 0.001$).

Tabla 9 *ANOVA (de Welch) del grado de Severidad*

ANOVA - Severidad

Corrección de Homogeneidad	Casos	Suma de Cuadrados	gl	Cuadrado Medio	F	p
None	Cultivar	2,239	3.000	746.452	119.1	< .001
	Residuals	2,483	396.000	6.270		
Welch	Cultivar	2,239	3.000	746.452	143.5	< .001
	Residuals	2,483	209.143	11.871		

Nota. Suma de Cuadrados Tipo III

6.2.2.2. Contraste Post-hoc (Games-Howell)

La prueba post-hoc de Games-Howell (Tabla Comparaciones Post-hoc - Severidad) validó la misma agrupación que la incidencia

Tabla 10 Comparaciones Post-hoc de Games-Howell - Cultivar Severidad

Comparaciones Post-hoc de Games-Howell - Cultivar

Comparación	Diferencia de Medias	SE	t	df	p _{Tukey}
Castillo - Colombia	-0.260	0.198	-1.310	193.8	.558
Castillo - Costa Rica 95	-5.380	0.293	-18.381	144.6	< .001
Castillo - Geisha	-4.185	0.399	-10.484	122.0	< .001
Colombia - Costa Rica 95	-5.120	0.302	-16.932	157.6	< .001
Colombia - Geisha	-3.925	0.406	-9.659	129.6	< .001
Costa Rica 95 - Geisha	1.195	0.460	2.599	176.6	.049

Nota. Resultados basados en medias sin corregir.

La prueba Games-Howell (Tabla *Comparaciones Post-hoc de Games-Howell - Cultivar*) permitió establecer una jerarquía de resistencia:

- **Grupo A (Mayor Resistencia):** Los cultivares Castillo y Colombia no mostraron diferencias significativas entre sí ($p=0.558$), estableciéndose como el grupo con el menor índice de Severidad.
- **Grupo B (Susceptibilidad Intermedia):** El cultivar Geisha mostró una Severidad significativamente mayor que el Grupo A, pero significativamente menor que el Grupo C.
- **Grupo C (Mayor Susceptibilidad):** El cultivar Costa Rica 95 fue estadísticamente diferente de los demás cultivares, presentando el índice de Severidad más alto.

Estos resultados confirman la segunda hipótesis específica, demostrando que el impacto fisiológico de la enfermedad varía significativamente entre los cultivares.

6.2.3. Discusión sobre los resultados de los Niveles de Severidad de la Roya

Mientras la incidencia evalúa la dispersión y el éxito del establecimiento inicial del patógeno en el lote, la severidad es la métrica epidemiológica que cuantifica el impacto fisiológico real; es decir, la pérdida de área fotosintética en la hoja. La evaluación de esta variable es crucial, ya que permite diferenciar la verdadera resistencia de campo frente a la susceptibilidad, prediciendo de manera directa el impacto destructivo sobre la productividad de la planta.

Los resultados obtenidos demuestran que los cultivares Castillo y Colombia (Grupo A) presentan un grado de daño tisular excepcionalmente bajo, con índices de severidad de apenas 1.195% y 1.455% respectivamente. Este comportamiento indica que, incluso cuando las uredosporas logran germinar y penetrar a través de los estomas, la genética de estos materiales activa mecanismos de defensa eficientes que limitan drásticamente la colonización intercelular y el desarrollo de lesiones extensas por parte del hongo.

Estos hallazgos están sólidamente respaldados por diversos antecedentes de investigación enfocados en la medición del daño tisular. A nivel nacional, Estrada (2015) en Satipo demostró que la genética Catimor (base parental de Castillo) lograba mantener la severidad en niveles controlables de apenas 10%, contrastando fuertemente con el 35% de daño fisiológico observado en la variedad Caturra. En la misma línea, Otiniano (2019) en Chanchamayo evidenció niveles de severidad significativamente menores en genotipos resistentes (15%) frente al daño devastador en variedades tradicionales susceptibles como Pache (50%) y Caturra (45%).

En el ámbito local de la región Cusco (provincia de La Convención), la superioridad de esta base genética frente al daño estructural foliar es aún más evidente y consistente. Huamán (2016) en el sector de Quellouno reportó una severidad del 0% para Catimor, mientras que los materiales tradicionales sufrían necrosis masivas, con Caturra alcanzando un 60.6% de severidad, Pache 55.9% y Typica 55.4%. Del mismo modo, Palomino (2016) en Echarati documentó severidades críticas en Typica (42.92%) y Bourbon (39.2%); y Ccoiso (2016) en Santa Ana reportó severidades generales promedio de hasta el 64% en lotes no renovados. La congruencia de estos antecedentes con los resultados del presente diagnóstico confirma que Castillo y Colombia garantizan la preservación del área foliar productiva bajo las complejas condiciones climáticas de Esmeralda.

Por el contrario, los cultivares Geisha (5.380%, Grupo B) y muy especialmente Costa Rica 95 (6.575%, Grupo C) mostraron la mayor proporción de tejido foliar necrosado. El comportamiento de Geisha es predecible debido a su pureza como *Coffea arabica*, alineándose con la alta vulnerabilidad foliar reportada por los autores locales para los genotipos tradicionales. Sin embargo, el elevado nivel de severidad en Costa Rica 95 resulta alarmante para un material que teóricamente fue mejorado para resistir la enfermedad.

Desde el punto de vista agronómico y económico, esta alta severidad en Costa Rica 95 conlleva un doble impacto negativo. En primer lugar, la extensa destrucción del tejido induce a una defoliación prematura que merma drásticamente la capacidad fotosintética, afectando directamente el llenado del grano de la campaña actual y agotando las reservas de la planta para el siguiente ciclo. En segundo lugar, al permitir que el hongo colonice áreas grandes de la hoja y alcance una fase de esporulación masiva, cada planta de este cultivar se convierte en un foco de inóculo primario de alta peligrosidad. Esto

incrementa exponencialmente la presión de la enfermedad sobre todo el fundo, exigiendo al productor intervenciones químicas continuas para evitar la pérdida total de la cosecha, elevando significativamente los costos de producción.

6.3. Resultados de la Correlación entre los niveles de Incidencia-Severidad de la roya

Para abordar el tercer objetivo específico —Establecer la correlación entre los niveles de incidencia y los grados de severidad de la roya—, se utilizó la base de datos completa de 400 observaciones pares de datos de incidencia y severidad por planta cuyo consolidado se presenta en el Cuadro 09 (Ver Anexo 11). El objetivo era determinar si ambas mediciones (dispersión vs. daño) estaban estadísticamente relacionadas.

6.3.1. Relación Lineal entre Incidencia y Severidad de la Roya

Tabla 11 Correlación de Pearson entre Incidencia y Severidad de la roya

De Pearson Correlaciones

		R de Pearson	p
Incidencia	- Severidad	0.978	< .001

El análisis (Tabla De Pearson Correlaciones) reveló un **coeficiente de correlación de Pearson (R) de 0.978** ($p < 0.001$). Este valor, extremadamente cercano a +1, indica una correlación positiva casi perfecta entre la incidencia y la severidad.

6.3.2. Resumen del modelo de regresión Incidencia vs. Severidad

Tabla 12 Resumen del modelo de regresión

Resumen del Modelo - Severidad

Modelo	R	R ²	R ² Ajustado	RMSE
M ₀	0.000	0.000	0.000	3.440

Resumen del Modelo - Severidad

Modelo	R	R ²	R ² Ajustado	RMSE
M ₁	0.978	0.957	0.956	0.718

Nota. M₁ incluye Incidencia

El coeficiente de determinación (R²) fue de 0.957 (Tabla Resumen del Modelo). Esto significa que el **95.7%** de la variabilidad observada en la severidad (el daño) puede ser explicado estadísticamente por la variabilidad en la incidencia (el número de hojas enfermas).

El resumen del modelo (Tabla *Resumen del Modelo - Severidad*) reveló una **correlación lineal excepcionalmente fuerte y positiva** entre la Incidencia y la Severidad, evidenciada por un coeficiente de correlación de Pearson (R) de 0.978. Este valor, al estar muy cercano a +1, indica que ambas variables se mueven en la misma dirección de forma casi perfecta. Este hallazgo es fundamental para la metodología del estudio, ya que demuestra la alta consistencia de ambas mediciones.

6.3.3. Interpretación del ANOVA de Regresión (Severidad vs. Incidencia)

Tabla 13 ANOVA de Regresión

ANOVA

Modelo		Suma de Cuadrados	gl	Cuadrado Medio	F	p
M ₁	Regresión	4,517.1	1	4,517.137	8,771	< .001
	Error	205.0	398	0.515		
	Total	4,722.1	399			

Nota. El modelo de la constante se omite, ya que no se puede mostrar información

Nota. M₁ incluye Incidencia

El análisis del ANOVA para el modelo de Regresión Lineal (Tabla *ANOVA*) evalúa la significancia global del modelo propuesto para predecir la Severidad a partir de la Incidencia. Los resultados indican que el modelo es altamente significativo, con un valor F muy grande ($F(1,398)=8,771$) y un valor de significancia $p<0.001$.

Este resultado confirma que la Incidencia es un predictor estadísticamente válido y robusto de la Severidad de la enfermedad. La varianza explicada por la Regresión (4,517.1 de Suma de Cuadrados) es sustancialmente mayor que la varianza residual o no explicada (205.0 de Suma de Cuadrados). En conjunto con el coeficiente de determinación ($R^2=0.957$), esto ofrece una fuerte evidencia de que la medición de Incidencia y Severidad son interdependientes y coherentes.

6.3.4. Interpretación de la Regresión (Tabla de Coeficientes)

Tabla 14 *Coeficientes de la Regresión*

Coeficientes

Modelo	No tipificado	Error Típico	Tipificado	t	p	IC del 95%		
						Inferior	Superior	
M ₀	(Constante)	3.651	0.172	21.227	< .001	3.313	3.989	
M ₁	(Constante)	-0.421	0.056	-7.472	< .001	-0.532	-0.310	
	Incidencia	0.326	0.003	0.978	93.656	< .001	0.319	0.333

El modelo de regresión lineal simple fue altamente significativo ($p<0.001$), lo que confirma que la relación no es producto del azar. Los coeficientes obtenidos permiten establecer la ecuación de regresión que predice la Severidad a partir de la Incidencia:

$$\text{Severidad} = -0.421 + (0.326 \times \text{Incidencia})$$

6.3.5. Interpretación del Coeficiente 0.326 (Pendiente)

Este coeficiente, al ser positivo, refuerza la relación directa: por cada aumento de 1 punto porcentual en la Incidencia de la roya, el índice de Severidad aumenta en 0.326 puntos en promedio. Este coeficiente es estadísticamente significativo ($p < 0.001$).

Gráfico de Dispersión

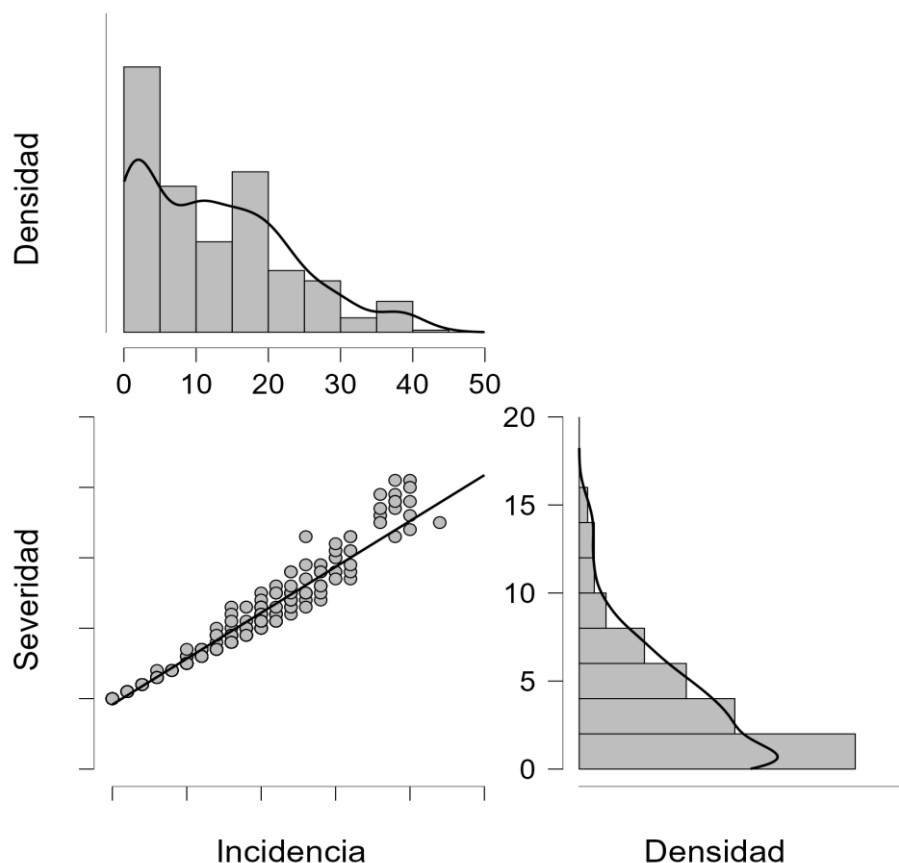


Figura 11 Gráfico de Dispersión

El Gráfico de Dispersión (Figura 10) confirma visualmente esta fuerte relación: los puntos de datos se alinean estrechamente a lo largo de la línea de regresión, demostrando que a medida que aumenta la incidencia, la severidad aumenta de manera predecible y proporcional.

Esta alineación casi perfecta confirma visualmente el coeficiente de correlación de $R=0.978$. La gráfica demuestra que los valores bajos de Incidencia se asocian consistentemente con valores bajos de Severidad, y los valores altos de Incidencia con valores altos de Severidad. Esta consistencia visual valida el uso de ambas variables como métricas robustas para la evaluación de la resistencia en campo.

6.3.6. Discusión de la Correlación entre los niveles de Incidencia-Severidad de la roya

El análisis de correlación de Pearson arrojó un valor de $R = 0.978$ ($p < 0.001$) y un coeficiente de determinación de $R^2 = 0.957$. Desde una perspectiva epidemiológica, este resultado demuestra una dependencia lineal positiva casi perfecta entre ambas variables; es decir, la dispersión inicial del patógeno (incidencia) explica el 95.7% de la variabilidad del daño tisular y la pérdida de área fotosintética (severidad) en las plantas evaluadas.

Este comportamiento concuerda de manera directa con los hallazgos a nivel nacional, destacando principalmente la investigación de Otiniano (2019), cuyo estudio en San Ramón (Chanchamayo) se enfocó específicamente en la "Relación entre la incidencia y la severidad de la roya del café". Otiniano demostró la estrecha asociación entre ambas métricas al evaluar variedades como Catimor y Caturra, concluyendo que los genotipos que logran frenar la incidencia consecuentemente mantienen niveles de severidad bajos. De igual manera, a nivel internacional, los hallazgos de Martínez (2019) en Antioquia, Colombia, ya señalaban esta fuerte correlación positiva bajo condiciones de campo. La consistencia entre estos antecedentes y el presente estudio ratifica el principio fitopatológico fundamental de que la acumulación de lesiones individuales

inevitablemente se traduce en un daño estructural proporcional si no existen barreras genéticas eficaces.

Asimismo, esta altísima correlación valida la coherencia metodológica de los diagnósticos locales previos realizados en la provincia de La Convención. Autores como Palomino (2016) en Echarati, Huamán (2016) en Quellouno y Ccoiso (2016) en Santa Ana, evaluaron ambas variables de forma paralela utilizando la escala diagramática del SENASA. El $R = 0.978$ obtenido en esta tesis comprueba estadísticamente que las metodologías y protocolos de muestreo aplicados en esos estudios, y replicados aquí en el sector Idma-Esmeralda de manera estratificada, son sumamente robustos y fiables. Esta fuerte asociación demuestra que la jerarquización de resistencia obtenida en los resultados del ANOVA (donde Castillo y Colombia conforman el Grupo A de mayor resistencia, y Costa Rica 95 el Grupo C de mayor susceptibilidad) no es un artefacto estadístico de la evaluación visual, sino un comportamiento biológico real y consistente en ambas dimensiones de la enfermedad.

Finalmente, desde una perspectiva agronómica y práctica, este resultado tiene una implicancia invaluable para los productores de la zona. Al validarse que la Incidencia es un predictor casi perfecto de la Severidad, se justifica plenamente la simplificación de las tareas de monitoreo continuo en los cafetales. Evaluar la severidad hoja por hoja requiere un ojo entrenado y mucho tiempo; sin embargo, gracias a esta correlación demostrada, los caficultores y técnicos agrícolas pueden estimar el estado de la epidemia basándose únicamente en el conteo rápido de hojas afectadas (Incidencia), el cual es un proceso netamente objetivo (presencia/ausencia) y veloz. Teniendo la certeza de que este dato de incidencia reflejará con alta fiabilidad el daño fisiológico inminente, los productores pueden tomar decisiones tempranas para la aplicación de controles

fitosanitarios u optimizar el uso de sus cultivares Castillo y Colombia, protegiendo la rentabilidad de sus fincas antes de que la severidad alcance umbrales irreversibles.

6.4.Limitaciones del Estudio y Proyecciones Futuras

Si bien los resultados de este estudio ofrecen una base empírica sólida para la toma de decisiones agronómicas en el sector de Esmeralda, es fundamental reconocer las limitaciones inherentes a la investigación de campo, las cuales definen la necesidad de futuras líneas de acción.

6.4.1. Limitaciones del Estudio

Efecto Específico de la Localidad: Los resultados son específicos de las condiciones micro climáticas y edáficas del sector de Esmeralda, Santa Ana, durante el periodo de evaluación. Es crucial señalar que la interacción entre el hospedero (cafeto), el patógeno (*Hemileia vastatrix*) y el ambiente (la tríada de la enfermedad) es dinámica. Por lo tanto, la susceptibilidad observada en Costa Rica 95 y la resistencia de Castillo/Colombia podrían variar en otras altitudes, exposiciones solares o tipos de suelo dentro de la región del Cusco (Huamán Quispe, 2018).

Variabilidad de Razas de Roya: La evaluación se centró en la respuesta fenotípica (observación de síntomas) de los cultivares. No se incluyó la identificación de las razas específicas de *Hemileia vastatrix* presentes en el área. La alta susceptibilidad inesperada de Costa Rica 95 sugiere que el *breakdown* de su resistencia podría estar asociado a una nueva o altamente virulenta raza de roya, lo cual no fue verificado a nivel molecular en esta investigación.

Evaluación Temporal: El estudio representa una "fotografía" de la enfermedad en un periodo determinado de la cosecha. La respuesta de los cultivares puede variar en las siguientes temporadas agrícolas o bajo presiones ambientales extremas

6.4.2. Proyecciones Futuras

A partir de las limitaciones identificadas y los hallazgos contundentes del ANOVA y la Regresión, se proponen las siguientes líneas de investigación futuras:

Caracterización Molecular de la Roya: Es prioritario realizar estudios moleculares para identificar y clasificar las razas de *Hemileia vastatrix* presentes en el sector de Esmeralda, dada la alarmante susceptibilidad del cultivar Costa Rica 95. Este conocimiento permitiría a los programas de mejoramiento vegetal determinar qué genes de resistencia (*Sh*) son ineficaces y cuáles deben priorizarse.

Evaluación Multitemporal y Multifocal: Se recomienda extender la evaluación de Incidencia y Severidad de los cuatro cultivares a lo largo de múltiples ciclos de cosecha y en diferentes altitudes dentro del valle. Esto asegurará la estabilidad de la resistencia de Castillo y Colombia, y permitiría generar modelos predictivos más robustos.

Análisis Económico: Finalmente, se sugiere incorporar un análisis de rentabilidad comparando el costo del control químico en los cultivares susceptibles (Geisha y Costa Rica 95) frente a la baja necesidad de control en los cultivares resistentes (Castillo y Colombia). Esto daría un valor económico directo a los resultados fitosanitarios de la presente tesis.

VII. CONCLUSIONES Y SUGERENCIAS

7.1. Conclusiones

1.- En respuesta al primer objetivo específico, el análisis estadístico determinó diferencias altamente significativas ($p < .001$) en los niveles de incidencia de la roya, permitiendo establecer un claro orden de resistencia entre los materiales evaluados. El cultivar **Castillo (4.70%)** fue el que resistió más a la dispersión de la enfermedad, presentando la menor incidencia, seguido muy de cerca por el cultivar **Colombia (5.68%)**, sin diferencias estadísticas entre ambos. En un nivel intermedio se ubicó el cultivar **Geisha (17.58%)**, mientras que el cultivar **Costa Rica 95** fue el que menos resistió, evidenciando la mayor vulnerabilidad con una incidencia del **(22.04%)** en el sector de Idma-Esmeralda.

2.- Atendiendo al segundo objetivo específico, se confirmó que la severidad del daño foliar sigue el mismo patrón de resistencia. El cultivar **Castillo (1.195%)** fue el que presentó el menor grado de daño fisiológico ratificando su posición como el más resistente junto al cultivar **Colombia (1.455%)**. El cultivar **Geisha (5.38%)** mostró un nivel de daño intermedio mientras que el cultivar **Costa Rica 95** fue el que sufrió el mayor impacto de la enfermedad, presentando la severidad más alta **(6.575%)** y confirmándose como el más susceptible en la zona de estudio.

3.- En respuesta al tercer objetivo específico, se estableció una correlación positiva y lineal casi perfecta (**$R=0.978$**) entre la incidencia y la severidad de la roya. Este resultado valida que, bajo las condiciones de alta presión epidemiológica de la zona, el conteo de hojas afectadas (incidencia) es un predictor estadísticamente robusto y confiable del nivel de daño real (severidad) que sufren las plantas.

7.2.Sugerencias

A los productores de café del sector Idma-Esmeralda:

1. A partir de los resultados obtenidos en la presente tesis, se recomienda priorizar la siembra y renovación de los cafetales utilizando los cultivares Castillo y Colombia. Al haberse demostrado que ambos genotipos presentan la mayor resistencia de campo (Grupo A) a la roya en la zona, su uso representa la estrategia agronómica más rentable y sostenible para reducir los costos de aplicación de fungicidas y asegurar la productividad.
2. Mediante este trabajo de investigación, se sugiere realizar un manejo diferenciado para los cultivares susceptibles. Específicamente, se recomienda iniciar un plan de reemplazo progresivo del cultivar Costa Rica 95, ya que el diagnóstico evidenció que es el material más susceptible (Grupo C) y actúa como un foco de inóculo primario que eleva peligrosamente la presión de la enfermedad.
3. **Mediante la presente tesis, se sugiere** que, para el caso del cultivar Geisha (ubicado en el Grupo B de resistencia intermedia), su permanencia en el campo se mantenga solo si su alto valor en el mercado de cafés especiales justifica una inversión económica constante en labores de monitoreo y control químico.

A las entidades de extensión y apoyo al caficultor (Cooperativas, SENASA, MIDAGRI, Gobiernos Locales):

4. Mediante el presente trabajo de investigación, se sugiere fomentar y capacitar activamente a los productores locales en la adopción de las directrices fitosanitarias aquí establecidas. Es prioritario desaconsejar la propagación indiscriminada del cultivar Costa Rica 95 y, en su lugar, promover y facilitar el

acceso a semillas garantizadas de Castillo y Colombia, cuya resistencia ha sido validada científicamente para esta zona.

5. A partir de los hallazgos de esta tesis, se recomienda promover la adopción de prácticas de manejo integrado que complementen la resistencia genética de las plantas. Esto debe incluir capacitaciones prácticas sobre podas sanitarias (eliminación de hojas infectadas en postcosecha para reducir el inóculo inicial) y el diseño adecuado de sistemas agroforestales, los cuales ayudan a moderar el microclima y reducir la dispersión física de la enfermedad.

A la Escuela Profesional de Agronomía (UNSAAC) y futuros investigadores:

6. Mediante la presente investigación, se recomienda dar continuidad a esta línea de estudio con el objetivo de caracterizar molecularmente las razas de *Hemileia vastatrix* presentes en el sector Idma-Esmeralda. Esta acción investigativa es prioritaria para confirmar genéticamente la hipótesis sobre el "quiebre de resistencia" del cultivar Costa Rica 95 y determinar con exactitud qué genes de resistencia (*Sh*) continúan siendo efectivos frente a las cepas del patógeno en el valle de La Convención.
7. Finalmente, mediante esta tesis se sugiere replicar el presente diagnóstico epidemiológico en diferentes pisos altitudinales y durante múltiples campañas agrícolas consecutivas. Este esfuerzo investigativo es necesario para validar si la resistencia efectiva documentada en los cultivares Castillo y Colombia se mantiene estable a través del tiempo y bajo distintas condiciones microclimáticas, permitiendo así generar recomendaciones técnicas mucho más robustas para toda la provincia.

VIII. BIBLIOGRAFIA

- Agrios, G.N. (1995). Fitopatología. LIMUSA Noriega editores. Ciudad de México, México.
- Agrios, G.N. (2005). Patología vegetal (5ª ed.). Prensa académica de Elsevier
- ANACAFÉ (2006). Asociación Nacional del Cafeto. Manejo integrado de la roya de cafeto. Anacafé. Nueva Guatemala. Guatemala
- ANACAFÉ (2013). Recomendaciones para el control de la roya. Asociación Nacional del Café. Anacafé. Nueva Guatemala. Guatemala.
- Avelino, J. (1991). Relación entre la carga fructífera del cafeto (*Coffea arabica L.*) y la roya (*Hemileia vastatrix Berk. & Br.*)
- Avelino, J; Muller, R; Eskes, A; Santacreo, R; Holguin, F. (1999). La roya anaranjada del cafeto: mito y realidad, desafíos de la caficultura de Centroamérica. IICA. San José, Costa Rica.
- Avelino, J., Toledo, JC y Medina, B. (2004). Factores que explican la distribución espacial de la roya del café (*Hemileia vastatrix*) en una plantación de Honduras. Fitopatología
- Avelino, J., Cristancho, M. A., Georgiou, S., Imbach, P., Aguilar, L., Born, H., ... & Morales, C. (2015). La crisis de la roya del café en Colombia y América Central (2008–2013): impactos, plausibilidad de las causas y lecciones para el futuro.
- Banegas, N. (2009). Guía Técnica: Variedades de Café en Honduras. Instituto Hondureño del Café (IHCAFE)

- Bayer, Crop Science. (2008). Problemas/ *Hemileia vastatrix*.
<https://www.cropscience.bayer.com>. Peru.
- Becker-Raterink, S., Moraes, W. (1991). La Roya del cafeto: Conocimiento y control. Cooperación Técnica Alemana. Eschborn, Alemania.
- Bock, C. H., Poole, G. H., Parker, P. E. y Gottwald, T. R. (2010). Severidad de enfermedades de plantas estimada visualmente, mediante fotografía digital y análisis de imágenes, y mediante imágenes hiperespectrales. *Critical Reviews in Plant Sciences*
- Brickell, C. D., Alexander, C., Cubey, J. J., David, J. C., Hoffman, M. H. A., Leslie, A. C., Malécot, V. y Jin, X. (Eds.). (2016). Código Internacional de Nomenclatura para Plantas Cultivadas (ICNCP o Código de Plantas Cultivadas) (9.^a ed.). Sociedad Internacional de Ciencias Hortícolas (ISHS).
- Cabezas, M. (2000). Manejo integrado de la roya del cafeto (*Hemileia vastatrix*) en el Perú. Ministerio de Agricultura del Perú
- Castro, B. (2004). Manejo integrado de la roya del cafeto (*Hemileia vastatrix*). Manual Técnico. Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias (CENIAP)
- Castañeda, E. (2000). El ABC del cafeto. Cultivando calidad. Tecnatrop S.R.L. Lima, Perú.
- CATIE (2021). Guía técnica para el cultivo del cultivar Geisha. Programa de Mejoramiento Genético de Café, CATIE.
- Cai, S. y Gao, L. (2016). Fotosíntesis compensatoria en hojas de plantas infectadas por hongos biotróficos. *Revista de Botánica Experimental*

- Ccoiso Huaman, R. (2016). Diagnóstico de la incidencia y severidad de la roya amarilla (*Hemileia vastatrix* Berk. & Br) en cultivares de cafeto - sector Tunquimayo - Santa Ana, La Convención, Cusco [Tesis de grado, UNSAAC]
- Cenicafé. (2025). Avances técnicos en el desarrollo de variedades resistentes de café. Centro Nacional de Investigaciones de Café.
- Chalfoun, S. M. (1980). Influencia de la edad de la hoja en la infección de la planta de café por *Hemileia vastatrix*. *Fitopatologia Brasileira*
- Cochran, W. G. (1977). Técnicas de muestreo (3.^a ed.). John Wiley & Sons.
- Cohen, J. (2013). Análisis de la potencia estadística para las ciencias del comportamiento (2.^a ed.).
- Cronquist, A, J. (1993). Sistema integrado de clasificación de plantas con flores. Universidad Nacional Autónoma de México. México.
- DaMatta, F. M. (2004). Limitaciones ecofisiológicas en la producción de café de buena calidad. En Actas del XX Coloquio Científico Internacional sobre el Café. Asociación Científica Internacional del Café (ASIC).
- DaMatta, F. M. y Ramalho, J. C. (2019). Impactos de la sombra en la ecofisiología del café: fundamentos para una producción sustentable. Prensa académica.
- De Jong, J. G. (1987). Estudios epidemiológicos de la roya del cafeto (*Hemileia vastatrix*) en Kenia. *Kenya Coffee*
- Duicela, G. L.; Corral, C. R.; & Farfán, T. D. (2011). Defectos físicos del cafeto arábigo: Clasificación, descripción y prevención. Boletín divulgativo N° 09. Manta, Ecuador.

- Enríquez, G. (1993). Manual del Cultivo del Cafeto. FUNDAGRO, GTZ. Quevedo, Ecuador.
- Estrada Carhuallanqui, P. (2015). Severidad de *Hemileia vastatrix* Berk. & Br. en plantones de cuatro variedades de *Coffea arabica* L. en Río Negro – Satipo [Tesis de grado, Universidad Nacional del Centro del Perú].
- Figuerola, R. Fischersworing, B., & Roskamp, R. (1998). Guía para la Caficultura Ecológica – Cafeto Orgánico. 2da. Edición. FUNDAGRO. Lima, Perú.
- Fischersworing, B. & Roskamp, R. (2001). Guía para la caficultura ecológica. Ecuador.
- García, M. A. (2017). Evaluación de la incidencia y severidad de la roya del café en diferentes sistemas de producción en la región de Turrialba, Costa Rica. Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica.
- Gutiérrez, P. (2017). Sistemas agroforestales y su impacto en el microclima y la incidencia de roya (*Hemileia vastatrix*) en cafetales de altura. Editorial Agronómica.
- Hernández-Sampieri, R., Fernández-Collado, C. y Baptista-Lucio, P. (2014). Metodología de la investigación (6.ª ed.). McGraw-Hill Education.
- Holdridge, L. R. (1967). Ecología de las zonas de vida. San José, Costa Rica: Centro de Ciencias Tropicales.
- Holguin, F. (1985). Epidemiología de la roya del cafeto bajo diferentes condiciones ecológicas. Reunión regional del PROMECAFE sobre control de la roya del Cafeto, IICA. Tegucigalpa, Honduras.
- Hoogstraten, J. (1983). Influencia de la unidad relativa sobre la resistencia de la roya amarilla del Cafeto. Instituto brasileño del café IBC. Brasil.

- Huaman, H. M. (2016). Diagnóstico de la incidencia y severidad de la roya amarilla (*Hemileia vastatrix* Berk. & Br.) en cultivares de cafeto en el sector de Pabellón-Quellouno, La Convención, Cusco [Tesis de grado, UNSAAC]
- Huamán Quispe, J. C. (2018). Incidencia y severidad de la roya amarilla del cafeto (*Hemileia vastatrix* Berk. & Br.) en sistemas de producción de café (*Coffea arabica* L.) en el distrito de Yanatile - Calca - Cusco [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco]
- Organización Internacional del Café [ICO]. (2021). Informe del mercado del café - Octubre de 2021. ICO.
- Jaramillo, R. (2018). Fisiología del cafeto y su relación con los ciclos de lluvia y estrés hídrico. Centro Nacional de Investigaciones del Café (Cenicafé).
- Junta Nacional del Café [JNC]. (2019). Manual de cultivares de café en Perú. JNC
- Kushalappa, A. C. y Eskes, A. B. (Eds.). (1989). Roya del café: epidemiología, resistencia y manejo.
- León, J. (2000). Botánica de los cultivos tropicales. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. San José, Costa Rica.
- Lopez, D. (2010). Efecto de la carga fructífera sobre la roya amarilla (*Hemileia vastatrix*) del café, bajo condiciones micro climáticas de sol y sombra en Turrialba, Costa Rica. CATIE. Turrialba, Costa Rica
- Madden, L. V., Hughes, G. y van den Bosch, F. (2007). El estudio de las epidemias de enfermedades de las plantas. Sociedad Fitopatológica Americana

- Martínez, J. P. (2019). Evaluación de la incidencia y severidad de la roya del café en cultivares resistentes y susceptibles en la región de Antioquia, Colombia. Universidad Nacional de Colombia. Medellín, Colombia.
- Mayne, W. W. (1930). Periodicidad estacional de la enfermedad de la hoja del cafeto (*Hemileia vastatrix*). Boletín de la Estación Experimental de Café de Mysore
- McCain, J. W., y Hennen, J. F. (1984). Penetración y haustorios del hongo de la roya del café, *Hemileia vastatrix*. Fitopatología
- McCook, S. (2019). La roya del café: Historia y futuro de la principal plaga del café. Conferencia presentada en el Simposio de la Asociación de Cafés Especiales (SCA)
- Méndez, V. E. (2021). Humedad relativa como factor predictivo en la epidemiología de la roya del cafeto. Revista de Fitopatología Latinoamericana
- Mejía Cubas, L. F. (2021). Incidencia y severidad de la roya amarilla (*Hemileia vastatrix* Berk. & Br.) en tres variedades de café (*Coffea arabica* L.) en el sector de Alto Santa Rosa, distrito de Codo del Pozuzo, provincia de Puerto Inca, región Huánuco [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria de la Selva]
- Mitchell, T. R. (2016). La tolerancia como estrategia de defensa de las plantas contra patógenos. Opinión actual en biología vegetal.
- Montgomery, DC (2017). Diseño y análisis de experimentos (9ª ed.). John Wiley e hijos.
- Moráis, H. (2003). Manual del cultivo de café en sistemas agroforestales.
- Muller, R. A. (1980). La roya del café (*Hemileia vastatrix*). Boletín del Instituto Francés del Café y del Cacao

- Nutman, F. J., y Roberts, F. M. (1963). Estudios sobre la biología de *Hemileia vastatrix*.
- Nutter Jr, F. W. (1993). Evaluación de enfermedades. En: Mejoramiento vegetal para la resistencia a enfermedades (pp. 37-64). Springer.
- Nutter Jr, F. W., y Schultz, P. M. (1995). Mejora de la exactitud y precisión de las evaluaciones de enfermedades: Selección de métodos y uso de programas de capacitación asistidos por computadora. Revista Canadiense de Fitopatología.
- ONERN. (1976). Mapa Ecológico del Perú: Guía explicativa. INRENA.
- Otiniano, A. J. (2019). Relación entre la incidencia y la severidad de la roya del café (*Hemileia vastatrix*) en San Ramón, Chanchamayo, Perú [Tesis de grado, Universidad Nacional Agraria La Molina]
- Palomino Silva, F. Y. (2016). Información agronómica técnica sobre la roya amarilla de caféto (*Hemileia vastatrix Berk. & Br*) en Kiteni-Echarati, La Convención, Cusco [Tesis de grado, UNSAAC]
- Palma, T. (1990). Evaluación de fungicidas para el control de la roya del caféto (*Hemileia vastatrix*) en Honduras. (Informe técnico, IHCAFE)
- Pérez, L. M. (2019). Adaptación del caféto (*Coffea arabica L.*) a las variaciones de temperatura y altitud. Universidad Agraria.
- PROCAFE. (2006). Guía técnica para el cultivo del café. Fundación PROCAFE de El Salvador.
- PROMECAFE. (1985). Informe Anual PROMECAFE 1985. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA).

- Ramiro, D. A., Chaves, A. L. y Miltão, M. A. (2019). Mecanismos compensatorios de las plantas de café para mantener la productividad bajo diferentes niveles de roya del café. *Revista de Fitopatología*.
- Rayner, R. W. (1961). Germinación y penetración de *Hemileia vastatrix*. *Biología Aplicada*
- Rayner, R. W. (1972). Guía de la roya del café (*Hemileia vastatrix Berk. & Br.*). Instituto Micológico de la Commonwealth
- Rivera, A. y Gómez, F. (2020). Influencia de la altitud y la amplitud térmica en la calidad de la taza del café arábica. *Revista de ciencia del café*
- Rivillas, C. A. (2011). La roya del cafeto. *Avances Técnicos Cenicafé*
- Rodríguez, G., & Samper, L. F. (2008). Manual del cafetero colombiano. Federación Nacional de Cafeteros de Colombia
- Santacreo, R. (1983). Epidemiología de la roya del cafeto (*Hemileia vastatrix Berk. & Br.*) en Honduras. Taller Regional sobre Roya del Cafeto PROMECAFE, San Pedro Sula, Honduras
- Schuller, M. (2003). Factores que afectan la calidad de la bebida del café. Instituto del Café de Costa Rica (ICAFE)
- Servicio Nacional de Sanidad Agraria [SENASA]. (2015). Manual de monitoreo y control de plagas y enfermedades en el cultivo de cafeto. Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego.
- Shaner, G., y Finney, R. E. (1977). El efecto de la fertilización nitrogenada en la expresión de la resistencia al mildiú lento en el trigo Knox. *Fitopatología*

- Sokal, RR y Rohlf, FJ (1995). *Biometría: Los principios y la práctica de la estadística en la investigación biológica* (3ª ed.). WH Freeman.
- Solomon, E. P., Martin, C. E., Martin, D. W. y Berg, L. R. (2013). *Biología* (10.ª ed.).
- Sotomayor, I., & Duicela, L. (1993). *Morfología y desarrollo del cafeto*. Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias (INIAP).
- Townsend, GR y Heuberger, JW (1943). *Métodos para estimar las pérdidas causadas por enfermedades en experimentos con fungicidas*
- Waller, J. M. (1985). *Control de la roya del café. La roya del café en las Américas*.
- Wintgens, J. N. (Ed.). (2012). *Café: Cultivo, procesamiento, producción sostenible* (2da ed.).
- Valle Villasante, E. (2017). *Diagnóstico de incidencia y severidad de la roya amarilla (Hemileia Vastatrix Berk. & Br.) en cultivares de cafeto en los sectores de Pampa Rosario y Santa Bárbara del distrito de Santa Ana - La Convención-Cusco [Tesis de grado, UNSAAC]*.
- Vega, F. E. (2014). *Producción sostenible de café: sombra, agroecología y tolerancia*. En T. R. Schultz (Ed.), *Café: Producción, calidad y prácticas sostenibles*.
- Vega, F. E., Rosen, M. y Samuels, G. J. (2003). *El género Coffea*. En F. E. Vega (Ed.), *Café: Biotecnología y calidad*. Editorial académica Kluwer.
- Zambolim, L. (2016). *Situación actual y manejo de la roya del cafeto en Brasil. Patología Vegetal Tropical*
- Zar, JH (2010). *Análisis bioestadístico* (5ª ed.). Pearson Prentice-Hall.

IX. ANEXOS**Anexo 01. Panel Fotográfico**

Figura 12 Cultivar Geisha



Figura 13 Evaluación General del cultivar Colombia



Figura 14 Cultivar Castillo



Figura 15 Evaluación General del cultivar Castillo



Figura 16 Cultivar Costa Rica 95



Figura 17 Parcela del cultivar Costa Rica 95



Figura 18 Evaluación General del cultivar Geisha



Figura 19 Incidencia foliar en el cultivar Costa Rica 95



Figura 20 Incidencia foliar en el cultivar Colombia



Figura 21 Incidencia foliar en el cultivar Castillo



Figura 22 Incidencia foliar en el cultivar Geisha



Figura 23 Alta Severidad en el cultivar Costa Rica 95



Figura 24 Severidad en el cultivar Colombia



Figura 25 Severidad en el cultivar Castillo



Figura 26 Severidad en el cultivar Geisha



Anexo 02. Modelo de fichas de evaluación de incidencia y severidad

Las siguientes fichas de recolección de datos fueron diseñadas por el autor para registrar sistemáticamente la evaluación de 100 plantas por cultivar, enfocándose exclusivamente en la roya del café (*Hemileia vastatrix*). Se omitieron los campos de evaluación de otras plagas que incluye el formato general de SENASA, ya que no eran objeto del presente estudio

PLANILLA DE EVALUACIÓN DE INCIDENCIA DE LA ROYA DEL CAFETO

Provincia:

Distrito:

Fundo:

Nombre:

Edad del cultivo:

Índice de cosecha:

Altitud:

Variedad:

Estado fenológico:

Tipo de secado:

Rendimiento chacra:

Nº floraciones año:

Nº de planta	Total de hojas	Hojas sanas	Hojas enfermas	Incidencia (%)
1	50			
2	50			
3	50			
4	50			
5	50			
6	50			
7	50			
8	50			
9	50			
10	50			
11	50			
12	50			
13	50			
14	50			
15	50			
16	50			
17	50			
18	50			
19	50			
20	50			
21	50			
22	50			
23	50			
24	50			
25	50			
26	50			
27	50			
28	50			
29	50			
30	50			

Figura 27 Modelo de ficha de evaluación 1: Incidencia de la roya

PLANILLA DE EVALUACIÓN DE LA SEVERIDAD DE LA ROYA DEL CAFETO

Provincia:

Altitud:

Distrito:

Variedad:

Fundo:

Estado fenológico:

Nombre:

Tipo de secado:

Edad del cultivo:

Rendimiento chacra:

Indice de cosecha:

Nº floraciones año:

Nº de Planta	Nº de hojas	Grados de Infección				
		Grado 0	Grado 1	Grado 2	Grado 3	Grado 4
1	50					
2	50					
3	50					
4	50					
5	50					
6	50					
7	50					
8	50					
9	50					
10	50					
11	50					
12	50					
13	50					
14	50					
15	50					
16	50					
17	50					
18	50					
19	50					
20	50					
21	50					
22	50					
23	50					
24	50					
25	50					
26	50					
27	50					
28	50					
29	50					

Figura 28 Modelo de ficha de evaluación 2: Severidad de la roya

Anexo 03: Datos climatológicos de la estación meteorológica SENAMHI

1. Nota Metodológica y Origen de Datos

Los registros climatológicos (temperatura, humedad relativa y precipitación) empleados en la presente investigación para el análisis del comportamiento de la roya del café (*Hemileia vastatrix*), fueron obtenidos a través de la plataforma de datos abiertos y visualización libre del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú. Al tratarse de información de carácter público, dispuesta por el Estado Peruano para libre acceso de la ciudadanía e investigadores, la descarga de la base de datos no requirió de una solicitud formal por mesa de partes ni del pago de tasas administrativas. La consulta y extracción de los archivos se realizó directamente desde el portal web oficial de la institución.

- Plataforma de consulta: Portal de Datos Abiertos SENAMHI / Red de Estaciones.
- Enlace web de acceso: <https://www.senamhi.gob.pe/?p=estaciones>

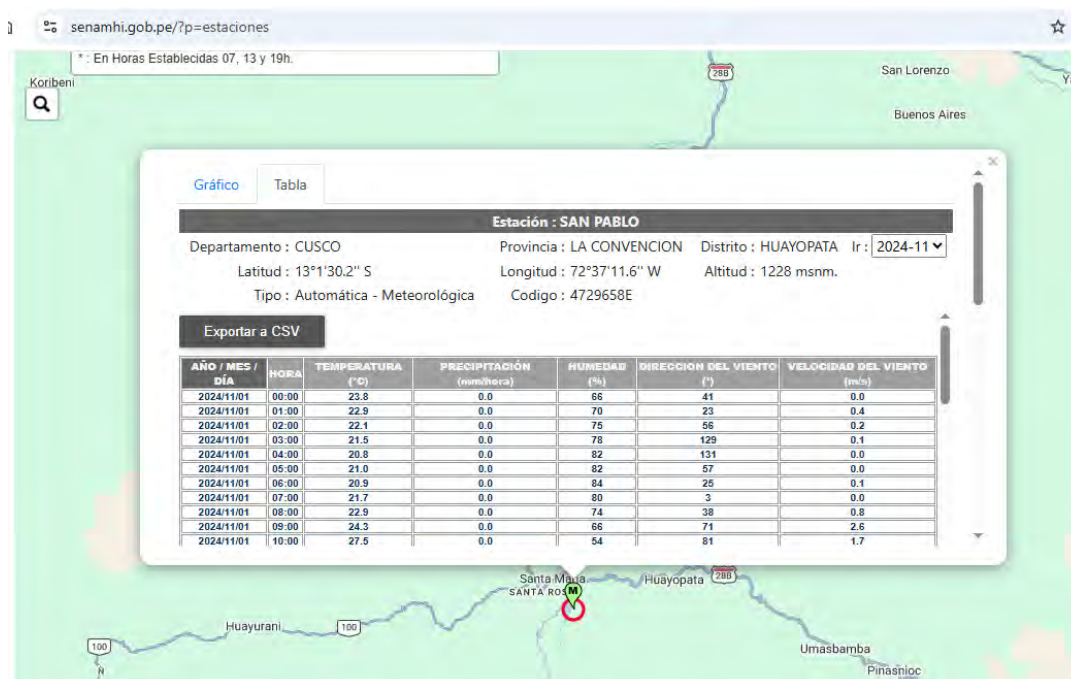


Figura 29 Portal de la página SENAMHI (Estacion San Pablo)

2. Fragmento de la Base de Datos Original (Datos Crudos)

Estacion: SAN PABLO					
Departamento: Cusco		Provincia: La Convención		Distrito: Huayopata	
Latitud: 13°1'30.2" S		Longitud: 72°37'11.6" W		Altitud: 1228.	
Tipo: Automática - Meteorológica			Código: 4729658E		

Tabla 15 Datos Meteorológicos de SENAMHI (Estacion SAN PABLO)

AÑO / MES / DÍA	TEMPERATURA (°C)	PRECIPITACIÓN (mm/hora)	HUMEDAD (%)	DIRECCION DEL VIENTO (°)	VELOCIDAD DEL VIENTO (m/s)
2024/11/01	20,9	0	96	268	0
2024/11/02	20,9	0,2	96	17	0,2
2024/11/03	20,4	6,6	100	76	0,1
2024/11/04	20	3,2	100	63	0,2
2024/11/05	19,5	6	100	15	0
2024/11/06	19,4	5,6	100	43	0,4
2024/11/07	19,2	1,6	100	74	1,1
2024/11/08	19,3	0,2	100	318	0,1
2024/11/09	20,4	0	97	287	0
2024/11/10	23,4	0	82	75	0,5
2024/11/11	26,4	0	64	168	2,6
2024/11/12	28,7	0	55	191	0,2
2024/11/13	31,1	0	49	81	1,1
2024/11/14	32,2	0	46	83	2,1
2024/11/15	32,7	0	44	66	1,3
2024/11/16	29,1	0	52	83	1,6
2024/11/17	26,9	0	67	232	0,2
2024/12/01	26,8	0	66	76	1,7
2024/12/02	25,5	0	72	179	0
2024/12/03	23	0	82	242	0
2024/12/04	22,9	0	80	184	0,5
2024/12/05	22,3	0	79	89	0
2024/12/06	20,6	0	95	131	0
2024/12/07	20,2	0	98	268	0
2024/12/08	19,8	0	100	128	0
2024/12/09	19,7	0	100	168	0,1
2024/12/10	19,6	0	100	132	0
2024/12/11	19,7	0	100	197	0
2024/12/12	19,6	0	100	226	0
2024/12/13	19,5	0	100	205	0
2024/12/14	20,5	0	96	322	0
2024/12/15	22	0	86	353	0

2024/12/16	24,3	0	74	9	1,3
2024/12/17	27,1	0	61	97	2,8
2024/12/18	27,7	0	58	102	2,7
2024/12/19	29,2	0	53	84	2,7
2024/12/20	30,2	0	49	64	3
2024/12/21	30,7	0	47	306	0,2
2024/12/22	28,6	0	54	115	1,8
2024/12/23	28,4	0	53	57	1,5
2024/12/24	27	0	57	108	0,3
2024/12/25	25,5	0	64	217	0
2024/12/26	24,5	0	67	279	0,4
2024/12/27	24	0	68	67	1,1
2024/12/28	23,1	0	75	100	0
2024/12/29	22,4	0	81	72	0
2024/12/30	22,1	0	84	210	0
2025/01/01	21,4	0	87	275	0,6
2025/01/02	21,2	2	84	211	0,4
2025/01/03	19,7	1,6	100	26	0,1
2025/01/04	19,5	0	100	134	0
2025/01/05	19,6	0	100	75	0
2025/01/06	19,7	0	100	63	0
2025/01/07	20	0	99	74	0,5
2025/01/08	20	1,6	97	204	0,1
2025/01/09	19,6	6,8	100	168	0
2025/01/10	19,7	3,2	100	46	0,2
2025/01/11	19,6	3,2	100	211	0,3
2025/01/12	20,1	1	100	230	0,5
2025/01/13	21,4	0	86	343	0,2
2025/01/14	23	0	70	240	0
2025/01/15	23,9	0	65	320	0
2025/01/16	24,7	0	64	270	0
2025/01/17	23,8	0	72	218	0,2
2025/01/18	21,3	0	89	189	0,1
2025/01/19	19,5	0	96	130	0,1
2025/01/20	18,7	0	100	187	0,1
2025/01/21	18,3	0	100	103	0
2025/01/22	18	0	100	181	0,1
2025/01/23	18,1	0	100	183	0
2025/01/24	18	0	100	179	0
2025/01/25	18,1	0	100	2	0
2025/01/26	18,1	0	100	310	0
2025/01/27	18,2	0	100	143	0
2025/01/28	18,3	0	100	65	0
2025/01/29	18,2	0	100	28	0
2025/01/30	18,3	0	100	166	0

Anexo 04: Cuadro 01. Datos brutos de evaluación de Incidencia - Cultivar Costa Rica 95**Tabla 16** Datos de la evaluación de Incidencia – Cultivar Costa Rica 95

N° de Planta	Total de hojas	Hojas sanas	Hojas enfermas	Incidencia (%)
1	50	39	11	22
2	50	36	14	28
3	50	42	8	16
4	50	37	13	26
5	50	38	12	24
6	50	42	8	16
7	50	43	7	14
8	50	31	19	38
9	50	38	12	24
10	50	37	13	26
11	50	34	16	32
12	50	34	16	32
13	50	42	8	16
14	50	45	5	10
15	50	40	10	20
16	50	43	7	14
17	50	45	5	10
18	50	42	8	16
19	50	45	5	10
20	50	37	13	26
21	50	43	7	14
22	50	38	12	24
23	50	44	6	12
24	50	37	13	26
25	50	41	9	18
26	50	36	14	28
27	50	30	20	40
28	50	31	19	38
29	50	34	16	32
30	50	39	11	22
31	50	42	8	16
32	50	44	6	12
33	50	41	9	18
34	50	28	22	44
35	50	35	15	30
36	50	40	10	20
37	50	46	4	8
38	50	39	11	22
39	50	42	8	16
40	50	41	9	18
41	50	39	11	22

42	50	45	5	10
43	50	40	10	20
44	50	42	8	16
45	50	43	7	14
46	50	39	11	22
47	50	41	9	18
48	50	40	10	20
49	50	38	12	24
50	50	34	16	32
51	50	34	16	32
52	50	31	19	38
53	50	34	16	32
54	50	40	10	20
55	50	40	10	20
56	50	43	7	14
57	50	38	12	24
58	50	41	9	18
59	50	39	11	22
60	50	37	13	26
61	50	36	14	28
62	50	30	20	40
63	50	40	10	20
64	50	42	8	16
65	50	41	9	18
66	50	46	4	8
67	50	36	14	28
68	50	40	10	20
69	50	40	10	20
70	50	38	12	24
71	50	41	9	18
72	50	39	11	22
73	50	35	15	30
74	50	40	10	20
75	50	36	14	28
76	50	39	11	22
77	50	39	11	22
78	50	37	13	26
79	50	38	12	24
80	50	39	11	22
81	50	40	10	20
82	50	35	15	30
83	50	42	8	16
84	50	39	11	22
85	50	41	9	18
86	50	38	12	24
87	50	40	10	20

88	50	36	14	28
89	50	38	12	24
90	50	42	8	16
91	50	40	10	20
92	50	39	11	22
93	50	43	7	14
94	50	35	15	30
95	50	44	6	12
96	50	42	8	16
97	50	39	11	22
98	50	38	12	24
99	50	35	15	30
100	50	41	9	18

Anexo 04: Cuadro 02. Datos brutos de evaluación de Incidencia - Cultivar Castilla

Tabla 17 Datos de evaluación de Incidencia - Cultivar Castilla

Nº de Planta	Total de hojas	Hojas sanas	Hojas enfermas	Incidencia (%)
1	50	50	0	0
2	50	50	0	0
3	50	49	1	2
4	50	48	2	4
5	50	50	0	0
6	50	49	1	2
7	50	50	0	0
8	50	50	0	0
9	50	43	7	14
10	50	45	5	10
11	50	45	5	10
12	50	48	2	4
13	50	44	6	12
14	50	48	2	4
15	50	49	1	2
16	50	49	1	2
17	50	50	0	0
18	50	50	0	0
19	50	49	1	2
20	50	45	5	10
21	50	50	0	0
22	50	50	0	0
23	50	47	3	6
24	50	46	4	8
25	50	49	1	2
26	50	50	0	0
27	50	45	5	10

28	50	43	7	14
29	50	49	1	2
30	50	42	8	16
31	50	50	0	0
32	50	48	2	4
33	50	50	0	0
34	50	47	3	6
35	50	42	8	16
36	50	45	5	10
37	50	42	8	16
38	50	50	0	0
39	50	48	2	4
40	50	49	1	2
41	50	43	7	14
42	50	46	4	8
43	50	48	2	4
44	50	50	0	0
45	50	49	1	2
46	50	43	7	14
47	50	45	5	10
48	50	49	1	2
49	50	46	4	8
50	50	50	0	0
51	50	49	1	2
52	50	47	3	6
53	50	50	0	0
54	50	49	1	2
55	50	49	1	2
56	50	50	0	0
57	50	45	5	10
58	50	48	2	4
59	50	50	0	0
60	50	49	1	2
61	50	43	7	14
62	50	44	6	12
63	50	50	0	0
64	50	49	1	2
65	50	50	0	0
66	50	48	2	4
67	50	44	6	12
68	50	48	2	4
69	50	49	1	2
70	50	48	2	4
71	50	44	6	12
72	50	48	2	4
73	50	50	0	0
74	50	47	3	6
75	50	50	0	0

76	50	40	10	20
77	50	50	0	0
78	50	49	1	2
79	50	50	0	0
80	50	48	2	4
81	50	44	6	12
82	50	49	1	2
83	50	50	0	0
84	50	46	4	8
85	50	44	6	12
86	50	50	0	0
87	50	49	1	2
88	50	50	0	0
89	50	48	2	4
90	50	46	4	8
91	50	49	1	2
92	50	45	5	10
93	50	50	0	0
94	50	45	5	10
95	50	47	3	6
96	50	50	0	0
97	50	49	1	2
98	50	50	0	0
99	50	48	2	4
100	50	49	1	2

Anexo 05: Cuadro 03. Datos brutos de evaluación de Incidencia - Cultivar Colombia

Tabla 18 Datos de evaluación de Incidencia - Cultivar Colombia

Nº de Planta	Total de hojas	Hojas sanas	Hojas enfermas	Incidencia (%)
1	50	50	0	0
2	50	48	2	4
3	50	46	4	8
4	50	47	3	6
5	50	50	0	0
6	50	49	1	2
7	50	50	0	0
8	50	50	0	0
9	50	46	4	8
10	50	50	0	0
11	50	44	6	12
12	50	42	8	16
13	50	43	7	14
14	50	48	2	4
15	50	50	0	0

16	50	44	6	12
17	50	50	0	0
18	50	45	5	10
19	50	49	1	2
20	50	50	0	0
21	50	50	0	0
22	50	48	2	4
23	50	50	0	0
24	50	50	0	0
25	50	49	1	2
26	50	44	6	12
27	50	50	0	0
28	50	43	7	14
29	50	41	9	18
30	50	44	6	12
31	50	47	3	6
32	50	45	5	10
33	50	48	2	4
34	50	46	4	8
35	50	49	1	2
36	50	40	10	20
37	50	50	0	0
38	50	47	3	6
39	50	42	8	16
40	50	48	2	4
41	50	50	0	0
42	50	45	5	10
43	50	48	2	4
44	50	45	5	10
45	50	50	0	0
46	50	46	4	8
47	50	49	1	2
48	50	50	0	0
49	50	50	0	0
50	50	49	1	2
51	50	48	2	4
52	50	50	0	0
53	50	49	1	2
54	50	50	0	0
55	50	50	0	0
56	50	45	5	10
57	50	48	2	4
58	50	50	0	0
59	50	49	1	2
60	50	50	0	0
61	50	48	2	4

62	50	47	3	6
63	50	50	0	0
64	50	45	5	10
65	50	50	0	0
66	50	42	8	16
67	50	49	1	2
68	50	45	5	10
69	50	47	3	6
70	50	43	7	14
71	50	49	1	2
72	50	46	4	8
73	50	40	10	20
74	50	49	1	2
75	50	45	5	10
76	50	50	0	0
77	50	42	8	16
78	50	45	5	10
79	50	49	1	2
80	50	48	2	4
81	50	43	7	14
82	50	40	10	20
83	50	50	0	0
84	50	48	2	4
85	50	45	5	10
86	50	49	1	2
87	50	49	1	2
88	50	50	0	0
89	50	48	2	4
90	50	45	5	10
91	50	46	4	8
92	50	49	1	2
93	50	48	2	4
94	50	50	0	0
95	50	49	1	2
96	50	44	6	12
97	50	40	10	20
98	50	49	1	2
99	50	44	6	12
100	50	48	2	4

Anexo 06: Cuadro 04. Datos brutos de evaluación de Incidencia - Cultivar Geisha

Tabla 19 Datos de evaluación de Incidencia - Cultivar Geisha

N° de Planta	Total de hojas	Hojas sanas	Hojas enfermas	Incidencia (%)
--------------	----------------	-------------	----------------	----------------

1	50	45	5	10
2	50	42	8	16
3	50	40	10	20
4	50	42	8	16
5	50	45	5	10
6	50	40	10	20
7	50	38	12	24
8	50	44	6	12
9	50	42	8	16
10	50	40	10	20
11	50	38	12	24
12	50	45	5	10
13	50	44	6	12
14	50	42	8	16
15	50	40	10	20
16	50	42	8	16
17	50	45	5	10
18	50	42	8	16
19	50	44	6	12
20	50	48	2	4
21	50	45	5	10
22	50	32	18	36
23	50	47	3	6
24	50	44	6	12
25	50	30	20	40
26	50	44	6	12
27	50	41	9	18
28	50	47	3	6
29	50	49	1	2
30	50	40	10	20
31	50	43	7	14
32	50	40	10	20
33	50	46	4	8
34	50	41	9	18
35	50	45	5	10
36	50	32	18	36
37	50	46	4	8
38	50	40	10	20
39	50	39	11	22
40	50	45	5	10
41	50	42	8	16
42	50	36	14	28
43	50	48	2	4
44	50	45	5	10
45	50	40	10	20
46	50	31	19	38
47	50	44	6	12
48	50	47	3	6

49	50	38	12	24
50	50	31	19	38
51	50	44	6	12
52	50	41	9	18
53	50	46	4	8
54	50	42	8	16
55	50	47	3	6
56	50	35	15	30
57	50	48	2	4
58	50	37	13	26
59	50	42	8	16
60	50	40	10	20
61	50	36	14	28
62	50	38	12	24
63	50	44	6	12
64	50	47	3	6
65	50	41	9	18
66	50	43	7	14
67	50	45	5	10
68	50	42	8	16
69	50	40	10	20
70	50	34	16	32
71	50	38	12	24
72	50	43	7	14
73	50	47	3	6
74	50	45	5	10
75	50	32	18	36
76	50	44	6	12
77	50	42	8	16
78	50	47	3	6
79	50	40	10	20
80	50	36	14	28
81	50	45	5	10
82	50	32	18	36
83	50	42	8	16
84	50	47	3	6
85	50	46	4	8
86	50	39	11	22
87	50	30	20	40
88	50	46	4	8
89	50	42	8	16
90	50	40	10	20
91	50	43	7	14
92	50	41	9	18
93	50	44	6	12
94	50	37	13	26
95	50	30	20	40
96	50	41	9	18

97	50	35	15	30
98	50	31	19	38
99	50	42	8	16
100	50	36	14	28

Anexo 07: Cuadro 06. Datos brutos de evaluación de Severidad - Cultivar Costa Rica 95

Tabla 20 Datos de evaluación de Severidad - Cultivar Costa Rica 95

N° de Planta	N° de hojas	Grados de Infeccion					Severidad
		Grado 0	Grado 1	Grado 2	Grado 3	Grado 4	
1	50	39	11				5.5
2	50	36	14				7.0
3	50	42	7	1			4.5
4	50	37	7	4	2		11.5
5	50	38	9	3			7.5
6	50	42	6	2			5.0
7	50	43	5	2			4.5
8	50	31	13	4	2		14.5
9	50	38	10	2			7.0
10	50	37	12	1			7.0
11	50	34	11	5			10.5
12	50	34	13	2	1		10.5
13	50	42	7	1			4.5
14	50	45	5				2.5
15	50	40	9	1			5.5
16	50	43	7				3.5
17	50	45	4	1			3.0
18	50	42	8				4.0
19	50	45	5				2.5
20	50	37	11	2			7.5
21	50	43	7				3.5
22	50	38	9	3			7.5
23	50	44	5	1			3.5
24	50	37	9	3	1		9.5
25	50	41	9				4.5
26	50	36	12	2			8.0
27	50	30	16	4			12.0
28	50	31	12	6	1		14.0
29	50	34	11	4	1		11.5
30	50	39	9	1	1		7.5
31	50	42	7	1			4.5
32	50	44	6				3.0

33	50	41	7	2			5.5
34	50	28	19	3			12.5
35	50	35	10	5			10.0
36	50	40	8	2			6.0
37	50	46	4				2.0
38	50	39	10	1			6.0
39	50	42	5	2	1		6.5
40	50	41	5	4			6.5
41	50	39	9	1	1		7.5
42	50	45	5				2.5
43	50	40	7	2	1		7.5
44	50	42	7	1			4.5
45	50	43	5	2			4.5
46	50	39	11				5.5
47	50	41	9				4.5
48	50	40	9		1		6.5
49	50	38	10	2			7.0
50	50	34	15	1			8.5
51	50	34	14	2			9.0
52	50	31	17	1	1		11.5
53	50	34	13	3			9.5
54	50	40	10				5.0
55	50	40	8	1	1		7.0
56	50	43	7				3.5
57	50	38	12				6.0
58	50	41	8	1			5.0
59	50	39	11				5.5
60	50	37	11	2			7.5
61	50	36	12	2			8.0
62	50	30	14	6			13.0
63	50	40	7	3			6.5
64	50	42	7	1			4.5
65	50	41	9				4.5
66	50	46	4				2.0
67	50	36	12	2			8.0
68	50	40	9	1			5.5
69	50	40	8	2			6.0
70	50	38	11	1			6.5
71	50	41	9				4.5
72	50	39	10	1			6.0
73	50	35	12	3			9.0
74	50	40	8	2			6.0
75	50	36	13	1			7.5

76	50	39	11				5.5
77	50	39	10	1			6.0
78	50	37	13				6.5
79	50	38	9	3			7.5
80	50	39	9	1	1		7.5
81	50	40	8	2			6.0
82	50	35	10	5			10.0
83	50	42	7	1			4.5
84	50	39	10	1			6.0
85	50	41	8	1			5.0
86	50	38	11	1			6.5
87	50	40	10				5.0
88	50	36	12	2			8.0
89	50	38	10	2			7.0
90	50	42	7	1			4.5
91	50	40	8	2			6.0
92	50	39	8	2	1		8.0
93	50	43	5	2			4.5
94	50	35	14		1		9.0
95	50	44	5	1			3.5
96	50	42	8				4.0
97	50	39	11				5.5
98	50	38	8	3	1		9.0
99	50	35	13	2			8.5
100	50	41	7	1	1		6.5

Anexo 08: Cuadro 07. Datos brutos de evaluación de Severidad - Cultivar Castilla

Tabla 21 Datos de evaluación de Severidad - Cultivar Castilla

Nº de Plantas	Nº de hojas	Grados de Infección					Severidad
		Grado 0	Grado 1	Grado 2	Grado 3	Grado 4	
1	50	50					0
2	50	50					0
3	50	49	1				0.5
4	50	48	2				1
5	50	50					0
6	50	49	1				0.5
7	50	50					0
8	50	50					0
9	50	43	7				3.5
10	50	45	5				2.5

11	50	45	5				2.5
12	50	48	2				1
13	50	44	6				3
14	50	48	2				1
15	50	49	1				0.5
16	50	49	1				0.5
17	50	50					0
18	50	50					0
19	50	49	1				0.5
20	50	45	5				2.5
21	50	50					0
22	50	50					0
23	50	47	3				1.5
24	50	46	4				2
25	50	49	1				0.5
26	50	50					0
27	50	45	5				2.5
28	50	43	7				3.5
29	50	49	1				0.5
30	50	42	8				4
31	50	50					0
32	50	48	2				1
33	50	50					0
34	50	47	3				1.5
35	50	42	8				4
36	50	45	5				2.5
37	50	42	8				4
38	50	50					0
39	50	48	2				1
40	50	49	1				0.5
41	50	43	6	1			4
42	50	46	4				2
43	50	48	2				1
44	50	50					0
45	50	49	1				0.5
46	50	43	7				3.5
47	50	45	5				2.5
48	50	49	1				0.5
49	50	46	4				2
50	50	50					0
51	50	49	1				0.5
52	50	47	2	1			2
53	50	50					0

54	50	49	1				0.5
55	50	49	1				0.5
56	50	50					0
57	50	45	5				2.5
58	50	48	2				1
59	50	50					0
60	50	49	1				0.5
61	50	43	7				3.5
62	50	44	5	1			3.5
63	50	50					0
64	50	49	1				0.5
65	50	50					0
66	50	48	2				1
67	50	44	6				3
68	50	48	2				1
69	50	49	1				0.5
70	50	48	2				1
71	50	44	6				3
72	50	48	2				1
73	50	50					0
74	50	47	3				1.5
75	50	50					0
76	50	40	9	1			5.5
77	50	50					0
78	50	49	1				0.5
79	50	50					0
80	50	48	2				1
81	50	44	6				3
82	50	49	1				0.5
83	50	50					0
84	50	46	4				2
85	50	44	6				3
86	50	50					0
87	50	49	1				0.5
88	50	50					0
89	50	48	2				1
90	50	46	4				2
91	50	49	1				0.5
92	50	45	5				2.5
93	50	50					0
94	50	45	5				2.5
95	50	47	3				1.5
96	50	50					0

97	50	49	1				0.5
98	50	50					0
99	50	48	2				1
100	50	49	1				0.5

Anexo 09: Cuadro 08. Datos brutos de evaluación de Severidad - Cultivar Colombia

Tabla 22 Datos de evaluación de Severidad - Cultivar Colombia

Nº de Planta	Nº de hojas	Grados de Infección					Severidad
		Grado 0	Grado 1	Grado 2	Grado 3	Grado 4	
1	50	50					0
2	50	48	2				1
3	50	46	4				2
4	50	47	3				1.5
5	50	50					0
6	50	49	1				0.5
7	50	50					0
8	50	50					0
9	50	46	4				2
10	50	50					0
11	50	44	6				3
12	50	42	8				4
13	50	43	7				3.5
14	50	48	2				1
15	50	50					0
16	50	44	6				3
17	50	50					0
18	50	45	5				2.5
19	50	49	1				0.5
20	50	50					0
21	50	50					0
22	50	48	2				1
23	50	50					0
24	50	50					0
25	50	49	1				0.5
26	50	44	6				3
27	50	50					0
28	50	43	7				3.5
29	50	41	9				4.5
30	50	44	6				3
31	50	47	3				1.5

32	50	45	5				2.5
33	50	48	2				1
34	50	46	4				2
35	50	49	1				0.5
36	50	40	10				5
37	50	50					0
38	50	47	3				1.5
39	50	42	8				4
40	50	48	2				1
41	50	50					0
42	50	45	5				2.5
43	50	48	2				1
44	50	45	4	1			3
45	50	50					0
46	50	46	4				2
47	50	49	1				0.5
48	50	50					0
49	50	50					0
50	50	49	1				0.5
51	50	48	2				1
52	50	50					0
53	50	49	1				0.5
54	50	50					0
55	50	50					0
56	50	45	5				2.5
57	50	48	2				1
58	50	50					0
59	50	49	1				0.5
60	50	50					0
61	50	48	2				1
62	50	47	3				1.5
63	50	50					0
64	50	45	5				2.5
65	50	50					0
66	50	42	7	1			4.5
67	50	49	1				0.5
68	50	45	5				2.5
69	50	47	3				1.5
70	50	43	4	3			5
71	50	49	1				0.5
72	50	46	4				2
73	50	40	10				5
74	50	49	1				0.5

75	50	45	5				2.5
76	50	50					0
77	50	42	8				4
78	50	45	5				2.5
79	50	49	1				0.5
80	50	48	2				1
81	50	43	7				3.5
82	50	40	10				5
83	50	50					0
84	50	48	2				1
85	50	45	4	1			3
86	50	49	1				0.5
87	50	49	1				0.5
88	50	50					0
89	50	48	2				1
90	50	45	5				2.5
91	50	46	4				2
92	50	49	1				0.5
93	50	48	2				1
94	50	50					0
95	50	49	1				0.5
96	50	44	5	1			3.5
97	50	40	10				5
98	50	49	1				0.5
99	50	44	6				3
100	50	48	2				1

Anexo 10: Cuadro 09. Datos brutos de evaluación de Severidad - Cultivar Geisha

Tabla 23 Datos de evaluación de Severidad - Cultivar Geisha

Nº de planta	Nº de hojas	Grados de Infección					Severidad
		Grado 0	Grado 1	Grado 2	Grado 3	Grado 4	
1	50	45	5				2.5
2	50	42	8				4
3	50	40	10				5
4	50	42	8				4
5	50	45	5				2.5
6	50	40	7	3			6.5
7	50	38	10	2			7
8	50	44	5	1			3.5
9	50	42	5	2	1		6

10	50	40	8	1	1		6.5
11	50	38	7	4	1		9
12	50	45	5				2.5
13	50	44	5	1			3.5
14	50	42	8				4
15	50	40	7	3			6.5
16	50	42	8				4
17	50	45	5				2.5
18	50	42	7	1			4.5
19	50	44	6				3
20	50	48	2				1
21	50	45	5				2.5
22	50	32	10	5	3		14.5
23	50	47	3				1.5
24	50	44	5	1			3.5
25	50	30	12	5	3		15.5
26	50	44	6				3
27	50	41	8	1			5
28	50	47	3				1.5
29	50	49	1				0.5
30	50	40	8	2			6
31	50	43	5	2			4.5
32	50	40	10				5
33	50	46	4				2
34	50	41	8	1			5
35	50	45	3	2			3.5
36	50	32	12	4	2		13
37	50	46	4				2
38	50	40	8	2			6
39	50	39	9	2			6.5
40	50	45	5				2.5
41	50	42	5	3			5.5
42	50	36	9	5			9.5
43	50	48	2				1
44	50	45	5				2.5
45	50	40	9	1			5.5
46	50	31	10	6	3		15.5
47	50	44	6				3
48	50	47	3				1.5
49	50	38	10	2			7
50	50	31	12	6	1		13.5
51	50	44	6				3
52	50	41	8	1			5

53	50	46	4				2
54	50	42	8				4
55	50	47	3				1.5
56	50	35	9	6			10.5
57	50	48	2				1
58	50	37	11	2			7.5
59	50	42	8				4
60	50	40	9	1			5.5
61	50	36	10	3	1		9.5
62	50	38	9	3			7.5
63	50	44	6				3
64	50	47	3				1.5
65	50	41	8	1			5
66	50	43	7				3.5
67	50	45	5				2.5
68	50	42	8				4
69	50	40	9	1			5.5
70	50	34	10	5	1		11.5
71	50	38	8	4			8
72	50	43	7				3.5
73	50	47	3				1.5
74	50	45	5				2.5
75	50	32	12	5	1		12.5
76	50	44	6				3
77	50	42	8				4
78	50	47	3				1.5
79	50	40	9	1			5.5
80	50	36	10	4			9
81	50	45	5				2.5
82	50	32	11	5	2		13.5
83	50	42	8				4
84	50	47	3				1.5
85	50	46	4				2
86	50	39	7	4			7.5
87	50	30	12	6	2		15
88	50	46	4				2
89	50	42	8				4
90	50	40	9	1			5.5
91	50	43	7				3.5
92	50	41	9				4.5
93	50	44	6				3
94	50	37	9	4			8.5
95	50	30	13	6	1		14

96	50	41	9				4.5
97	50	35	10	3	2		11
98	50	31	11	7	1		14
99	50	42	8				4
100	50	36	10	4			9

Anexo 11: Cuadro 10. Matriz consolidada de datos de Incidencia y Severidad (400 datos)

Tabla 24 Datos de Incidencia y Severidad

Planta	Incidencia	Severidad
1	22	5.5
2	28	7
3	16	4.5
4	26	10.5
5	24	7.5
6	16	5
7	14	4.5
8	38	13.5
9	24	7
10	26	7
11	32	10.5
12	32	10
13	16	4.5
14	10	2.5
15	20	5.5
16	14	3.5
17	10	3
18	16	4
19	10	2.5
20	26	7.5
21	14	3.5
22	24	7.5
23	12	3.5
24	26	9
25	18	4.5
26	28	8
27	40	12
28	38	13.5
29	32	11
30	22	7
31	16	4.5

32	12	3
33	18	5.5
34	44	12.5
35	30	10
36	20	6
37	8	2
38	22	6
39	16	6
40	18	6.5
41	22	7
42	10	2.5
43	20	7
44	16	4.5
45	14	4.5
46	22	5.5
47	18	4.5
48	20	6
49	24	7
50	32	8.5
51	32	9
52	38	11
53	32	9.5
54	20	5
55	20	6.5
56	14	3.5
57	24	6
58	18	5
59	22	5.5
60	26	7.5
61	28	8
62	40	13
63	20	6.5
64	16	4.5
65	18	4.5

66	8	2
67	28	8
68	20	5.5
69	20	6
70	24	6.5
71	18	4.5
72	22	6
73	30	9
74	20	6
75	28	7.5
76	22	5.5
77	22	6
78	26	6.5
79	24	7.5
80	22	7
81	20	6
82	30	10
83	16	4.5
84	22	6
85	18	5
86	24	6.5
87	20	5
88	28	8
89	24	7
90	16	4.5
91	20	6
92	22	7.5
93	14	4.5
94	30	8.5
95	12	3.5
96	16	4
97	22	5.5
98	24	8.5
99	30	8.5
100	18	6
101	0	0
102	0	0
103	2	0.5
104	4	1
105	0	0
106	2	0.5
107	0	0
108	0	0

109	14	3.5
110	10	2.5
111	10	2.5
112	4	1
113	12	3
114	4	1
115	2	0.5
116	2	0.5
117	0	0
118	0	0
119	2	0.5
120	10	2.5
121	0	0
122	0	0
123	6	1.5
124	8	2
125	2	0.5
126	0	0
127	10	2.5
128	14	3.5
129	2	0.5
130	16	4
131	0	0
132	4	1
133	0	0
134	6	1.5
135	16	4
136	10	2.5
137	16	4
138	0	0
139	4	1
140	2	0.5
141	14	4
142	8	2
143	4	1
144	0	0
145	2	0.5
146	14	3.5
147	10	2.5
148	2	0.5
149	8	2
150	0	0
151	2	0.5

152	6	2
153	0	0
154	2	0.5
155	2	0.5
156	0	0
157	10	2.5
158	4	1
159	0	0
160	2	0.5
161	14	3.5
162	12	3.5
163	0	0
164	2	0.5
165	0	0
166	4	1
167	12	3
168	4	1
169	2	0.5
170	4	1
171	12	3
172	4	1
173	0	0
174	6	1.5
175	0	0
176	20	5.5
177	0	0
178	2	0.5
179	0	0
180	4	1
181	12	3
182	2	0.5
183	0	0
184	8	2
185	12	3
186	0	0
187	2	0.5
188	0	0
189	4	1
190	8	2
191	2	0.5
192	10	2.5
193	0	0
194	10	2.5

195	6	1.5
196	0	0
197	2	0.5
198	0	0
199	4	1
200	2	0.5
201	0	0
202	4	1
203	8	2
204	6	1.5
205	0	0
206	2	0.5
207	0	0
208	0	0
209	8	2
210	0	0
211	12	3
212	16	4
213	14	3.5
214	4	1
215	0	0
216	12	3
217	0	0
218	10	2.5
219	2	0.5
220	0	0
221	0	0
222	4	1
223	0	0
224	0	0
225	2	0.5
226	12	3
227	0	0
228	14	3.5
229	18	4.5
230	12	3
231	6	1.5
232	10	2.5
233	4	1
234	8	2
235	2	0.5
236	20	5
237	0	0

238	6	1.5
239	16	4
240	4	1
241	0	0
242	10	2.5
243	4	1
244	10	3
245	0	0
246	8	2
247	2	0.5
248	0	0
249	0	0
250	2	0.5
251	4	1
252	0	0
253	2	0.5
254	0	0
255	0	0
256	10	2.5
257	4	1
258	0	0
259	2	0.5
260	0	0
261	4	1
262	6	1.5
263	0	0
264	10	2.5
265	0	0
266	16	4.5
267	2	0.5
268	10	2.5
269	6	1.5
270	14	5
271	2	0.5
272	8	2
273	20	5
274	2	0.5
275	10	2.5
276	0	0
277	16	4
278	10	2.5
279	2	0.5
280	4	1

281	14	3.5
282	20	5
283	0	0
284	4	1
285	10	3
286	2	0.5
287	2	0.5
288	0	0
289	4	1
290	10	2.5
291	8	2
292	2	0.5
293	4	1
294	0	0
295	2	0.5
296	12	3.5
297	20	5
298	2	0.5
299	12	3
300	4	1
301	10	2.5
302	16	4
303	20	5
304	16	4
305	10	2.5
306	20	6.5
307	24	7
308	12	3.5
309	16	6
310	20	6.5
311	24	9
312	10	2.5
313	12	3.5
314	16	4
315	20	6.5
316	16	4
317	10	2.5
318	16	4.5
319	12	3
320	4	1
321	10	2.5
322	36	14.5
323	6	1.5

324	12	3.5
325	40	15.5
326	12	3
327	18	5
328	6	1.5
329	2	0.5
330	20	6
331	14	4.5
332	20	5
333	8	2
334	18	5
335	10	3.5
336	36	13
337	8	2
338	20	6
339	22	6.5
340	10	2.5
341	16	5.5
342	28	9.5
343	4	1
344	10	2.5
345	20	5.5
346	38	15.5
347	12	3
348	6	1.5
349	24	7
350	38	13.5
351	12	3
352	18	5
353	8	2
354	16	4
355	6	1.5
356	30	10.5
357	4	1
358	26	7.5
359	16	4
360	20	5.5
361	28	9.5
362	24	7.5

363	12	3
364	6	1.5
365	18	5
366	14	3.5
367	10	2.5
368	16	4
369	20	5.5
370	32	11.5
371	24	8
372	14	3.5
373	6	1.5
374	10	2.5
375	36	12.5
376	12	3
377	16	4
378	6	1.5
379	20	5.5
380	28	9
381	10	2.5
382	36	13.5
383	16	4
384	6	1.5
385	8	2
386	22	7.5
387	40	15
388	8	2
389	16	4
390	20	5.5
391	14	3.5
392	18	4.5
393	12	3
394	26	8.5
395	40	14
396	18	4.5
397	30	11
398	38	14
399	16	4
400	28	9

Anexo 12: Fichas de evaluación de la Incidencia y Severidad

PLANILLA DE EVALUACIÓN DE INCIDENCIA DE LA ROYA DEL CAFETO

Provincia: *La Conrrencion*
 Distrito: *Santa Ana*
 Fundo: *Idma - Esmeralda*
 Nombre: *Florida 2*
 Edad del cultivo: *14 años*
 Indice de cosecha:

Altitud: *1450 m.*
 Variedad: *Costa Rica 95*
 Estado fenologico: *Desarrollo de grano*
 Tipo de secado: *Cupo lavado*
 Rendimiento chacra: *1099-*
 N° floraciones año: *3-4/año*

N° de planta	Total de hojas	Hojas sanas	Hojas enfermas	Incidencia (%)
1	50	39	11	22
2	50	36	14	28
3	50	42	8	16
4	50	37	13	26
5	50	38	12	24
6	50	42	8	16
7	50	43	7	14
8	50	31	19	38
9	50	38	12	24
10	50	37	13	26
11	50	34	16	32
12	50	34	16	32
13	50	42	8	16
14	50	45	5	10
15	50	40	10	20
16	50	43	7	14
17	50	45	5	10
18	50	42	8	16
19	50	45	5	10
20	50	37	13	26
21	50	43	7	14
22	50	38	12	24
23	50	44	6	12
24	50	37	13	26
25	50	41	9	18
26	50	36	14	28
27	50	30	20	40
28	50	31	19	38
29	50	34	16	32
30	50	34	11	22

Figura 30 Ficha de evaluación de la Incidencia (Cultivar Costa Rica 95)

PLANILLA DE EVALUACIÓN DE INCIDENCIA DE LA ROYA DEL CAFETO

Provincia: *La Convención*
 Distrito: *Santa Ana*
 Fundo: *Edma - Esmeralda*
 Nombre: *Florida 3*
 Edad del cultivo: *15 años*
 Índice de cosecha:

Altitud: *1410 m.*
 Variedad: *Colombio*
 Estado fenológico: *Desarrollo de grano*
 Tipo de secado: *Cafe lavado*
 Rendimiento chacra: *1599.*
 N° floraciones año: *1 Floración principal*

N° de planta	Total de hojas	Hojas sanas	Hojas enfermas	Incidencia (%)
1	50	50		0
2	50	48	2	4
3	50	46	4	8
4	50	47	3	6
5	50	50		0
6	50	49	1	2
7	50	50		0
8	50	50		0
9	50	46	4	8
10	50	50		0
11	50	44	6	12
12	50	42	8	16
13	50	43	7	14
14	50	48	2	4
15	50	50		0
16	50	44	6	12
17	50	50		0
18	50	45	5	10
19	50	49	1	2
20	50	50		0
21	50	50		0
22	50	48	2	4
23	50	50		0
24	50	50		0
25	50	49	1	2
26	50	44	6	12
27	50	50		0
28	50	43	7	14
29	50	41	9	18
30	50	44	6	12

Figura 31 Ficha de evaluación de la Incidencia (Cultivar Colombia)

PLANILLA DE EVALUACIÓN DE INCIDENCIA DE LA ROYA DEL CAFETO

Provincia: La Convención
 Distrito: Santo Ona
 Fundo: Edma - Esmeralda
 Nombre: Florida 1
 Edad del cultivo: 15 años
 Índice de cosecha:

Altitud: 1415 m.
 Variedad: Castillo
 Estado fenológico: Desarrollo de grano
 Tipo de secado: Cazo hervido
 Rendimiento chacra: 1.549
 N° floraciones año: 1 floración principal

N° de planta	Total de hojas	Hojas sanas	Hojas enfermas	Incidencia (%)
1	50	50		0
2	50	50		0
3	50	44	1	2
4	50	48	2	4
5	50	50		0
6	50	44	1	2
7	50	50		0
8	50	50		0
9	50	43	7	14
10	50	45	5	10
11	50	45	5	10
12	50	48	2	4
13	50	44	6	12
14	50	48	2	4
15	50	49	1	2
16	50	49	1	2
17	50	50		0
18	50	50		0
19	50	49	1	2
20	50	45	5	10
21	50	50		0
22	50	50		0
23	50	47	3	6
24	50	46	4	8
25	50	49	1	2
26	50	50		0
27	50	45	5	10
28	50	43	7	14
29	50	49	1	2
30	50	42	8	16

Figura 32 Ficha de evaluación de la Incidencia (Cultivar Castillo)

PLANILLA DE EVALUACIÓN DE INCIDENCIA DE LA ROYA DEL CAFETO

Provincia: La Convención
 Distrito: Santa Ana
 Fundo: Idma Esmeralda
 Nombre: Florida 4
 Edad del cultivo: 12 años
 Índice de cosecha:

Altitud: 1415 m.
 Variedad: Geisha
 Estado fenológico: Desarrollo de grano
 Tipo de secado: Cupo lavado y honey
 Rendimiento chacra: 599.
 N° floraciones año: 1. floración principal

N° de planta	Total de hojas	Hojas sanas	Hojas enfermas	Incidencia (%)
1	50	45	5	10
2	50	42	8	16
3	50	40	10	20
4	50	42	8	16
5	50	45	5	10
6	50	40	10	20
7	50	38	12	24
8	50	44	6	12
9	50	42	8	16
10	50	40	10	20
11	50	38	12	24
12	50	45	5	10
13	50	44	4	12
14	50	42	8	16
15	50	40	10	20
16	50	42	8	16
17	50	45	5	10
18	50	42	8	16
19	50	44	6	12
20	50	48	2	4
21	50	45	5	10
22	50	30	18	36
23	50	47	3	6
24	50	44	6	12
25	50	49	1	40
26	50	44	6	12
27	50	41	9	18
28	50	47	3	6
29	50	49	1	2
30	50	48	2	20

Figura 33 Ficha de evaluación de la Incidencia (Cultivar Geisha)

PLANILLA DE EVALUACIÓN DE LA SEVERIDAD DE LA ROYA DEL CAFETO

Provincia: La Convencion
 Distrito: Santa Ana
 Fundo: Tisma - Esmeralda
 Nombre: Florida 2
 Edad del cultivo: 19 años
 Indice de cosecha:

Altitud: 1470
 Variedad: Costa Rica 95
 Estado fenológico: Desarrollo de grano
 Tipo de secado: Cupo Lavado
 Rendimiento chacra: 10 qq.
 N° floraciones año: 3-4/año

N° de Planta	N° de hojas	Grados de Infección				
		Grado 0	Grado 1	Grado 2	Grado 3	Grado 4
1	50	39	11			
2	50	36	14			
3	50	42	7	1		
4	50	37	7	4	2	
5	50	38	9	3		
6	50	42	6	2		
7	50	43	5	2		
8	50	31	13	4	2	
9	50	38	10	2		
10	50	37	12	1		
11	50	34	11	5		
12	50	34	13	2	1	
13	50	42	7	1		
14	50	45	5			
15	50	40	9	1		
16	50	43	7			
17	50	45	4	1		
18	50	42	8			
19	50	45	5			
20	50	37	11	2		
21	50	43	7			
22	50	38	9	3		
23	50	44	5	1		
24	50	37	9	3	1	
25	50	41	9			
26	50	38	12	2		
27	50	30	16	4		
28	50	31	12	6	1	
29	50	34	11	4	1	

Figura 34 Ficha de evaluación de la Severidad (Cultivar Costa Rica 95)

PLANILLA DE EVALUACIÓN DE LA SEVERIDAD DE LA ROYA DEL CAFETO

Provincia: La Convención
 Distrito: Santa Ana
 Fundo: Idmu - Esmeralada
 Nombre: Florida 1
 Edad del cultivo: 15 años
 Índice de cosecha:

Altitud: 1415 m
 Variedad: Castillo
 Estado fenológico: Desarrollo de grano
 Tipo de secado: Cazo lavado
 Rendimiento chacra: 1,5 qq
 N° floraciones año: 1 floración principal

N° de Planta	N° de hojas	Grados de Infección				
		Grado 0	Grado 1	Grado 2	Grado 3	Grado 4
1	50	50				
2	50	50				
3	50	49	1			
4	50	48	2			
5	50	50				
6	50	49	1			
7	50	50				
8	50	50				
9	50	43	7			
10	50	45	5			
11	50	45	5			
12	50	48	2			
13	50	44	6			
14	50	48	2			
15	50	49	1			
16	50	49	1			
17	50	50				
18	50	50				
19	50	49	1			
20	50	45	5			
21	50	50				
22	50	50				
23	50	47	3			
24	50	46	4			
25	50	49	1			
26	50	50				
27	50	45	5			
28	50	43	7			
29	50	49	1			

Figura 35 Ficha de evaluación de la Severidad (Cultivar Castillo)

PLANILLA DE EVALUACIÓN DE LA SEVERIDAD DE LA ROYA DEL CAFETO

Provincia: *La Convención*
 Distrito: *Santa Ana*
 Fundo: *Idma - 3*
 Nombre: *Florida - 3*
 Edad del cultivo: *15 años*
 Índice de cosecha:

Altitud: *1410m.*
 Variedad: *Colombia*
 Estado fenológico: *Desarrollo de grano*
 Tipo de secado: *Cazo lavado*
 Rendimiento chacra: *1599.*
 N° floraciones año: *1 floración principal*

N° de Planta	N° de hojas	Grados de Infección				
		Grado 0	Grado 1	Grado 2	Grado 3	Grado 4
1	50	50				
2	50	48	2			
3	50	46	4			
4	50	47	3			
5	50	50				
6	50	49	1			
7	50	50				
8	50	50				
9	50	46	4			
10	50	50				
11	50	44	6			
12	50	42	8			
13	50	43	7			
14	50	48	2			
15	50	50				
16	50	44	6			
17	50	50				
18	50	45	5			
19	50	49	1			
20	50	50				
21	50	50				
22	50	48	2			
23	50	50				
24	50	50				
25	50	44	1			
26	50	44	6			
27	50	50				
28	50	43	7			
29	50	41	9			

Figura 36 Ficha de evaluación de la Severidad (Cultivar Colombia)