

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS**



**Evaluación de la incidencia y severidad de la roya (*Hemileia vastatrix*) en sistemas de producción agroecológica de café (*Coffea arabica L.*) y propuesta de manejo en finca Flor de Lis, Santa Ana.**

**Tesina presentada por:**

**José David Quijano Ariza**

**San Salvador, El Salvador, Centro América, 2023**

**Universidad de El Salvador  
Facultad de Ciencias Agronómicas  
Departamento de Recursos Naturales y Medio Ambiente**



**Evaluación de la incidencia y severidad de la roya (*Hemileia vastatrix*) en sistemas de producción agroecológica de café (*Coffea arabica* L.) y propuesta de manejo en finca Flor de Lis, Santa Ana.**

**Tesina presentada por:**

**José David Quijano Ariza**

**Requisito para optar al Título de  
Ingeniero Agrónomo**

**San Salvador, El Salvador, Centro América, 2023**

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**

**RECTOR:**

LIC. M.Sc. ROGER ARMANDO ARIAS ALVARADO

**SECRETARIO GENERAL:**

LIC. M.Sc. FRANCISCO ANTONIO ALARCÓN SANDOVAL

**FACULTAD DE CIENCIAS AGRONOMICAS**

**DECANO:**

ING. AGR. DR. FRANCISCO LARA ASCENCIO

**SECRETARIO:**

ING. AGR. M.Sc. BALMORE MARTÍNEZ SIERRA

Esta tesina fue realizada bajo la dirección del Tutor asignado por el Departamento de Recursos Naturales y Medio Ambiente, ha sido aprobada por el Tribunal Evaluador respectivo, como requisito para obtener el Título de

## **Ingeniero Agrónomo**

### **Comité de Tesina**

---

Ing. Agr. M.Sc. José Mauricio Tejada Asensio  
Tutor de Tesina

---

Ing. Agr. M.Sc. José Mauricio Tejada Asensio  
Jefe Departamento de Recursos Naturales y Medio Ambiente

---

Ing. Agr. MAECE. Nelson Bernabé Granados Alvarado  
Coordinador General de Procesos de Grado  
Departamento de Recursos Naturales y Medio Ambiente

## **DEDICATORIA**

A DIOS TODO PODEROSO: por haberme iluminado durante toda mi carrera de estudiante y por permitirme haber culminado satisfactoriamente mi anhelada meta.

A MIS PADRES: María Magdalena Ariza y José Adalberto Quijano, por todo su esfuerzo comprensión y apoyo moral durante el desarrollo de mi carrera.

A MIS HERMANOS: por apoyarme en todo lo que ellos han podido, por quererme mucho y animarme a cumplir la meta propuesta.

A MIS COMPAÑEROS DE ESTUDIO: por compartir toda la amistad y sinceridad durante todo el proceso de estudio.

## **AGRADECIMIENTOS**

Habiendo culminado satisfactoriamente mi trabajo de grado para optar al título de Ingeniero Agrónomo, quiero expresar mi agradecimiento a todas las personas que jugaron un papel importante en cada momento de nuestra formación académica, para lograr nuestras metas en todos los aspectos. A medida que evalué cada objetivo, rápidamente me doy cuenta que la magnitud de mi contribución no hubiera sido posible sin la participación de las personas e instituciones que me dieron la oportunidad de culminar con éxito la investigación. Así mismo agradezco especialmente a:

A DIOS TODOPODEROSO, por guiar cada uno de nuestros pasos a lo largo de nuestra vida académica como para llegar a concluir de manera satisfactoria nuestra carrera profesional y en nuestras vidas personales.

A NUESTROS PADRES, por todo el apoyo incondicional en cada momento bueno y malo, por la motivación día a día por formar en nosotros las personas que somos y por buscar en nosotros siempre el éxito y culminación de nuestras metas.

UN ESPECIAL AGRADECIMIENTO: al caficultor Amílcar Alvarado, propietario de la Finca Flor de Lis, por abrirnos las puertas de su finca y por su apoyo y tiempo brindado en la realización de las actividades de campo.

AL JURADO EVALUADOR, Dr. Ing. Agr. Miguel Ángel Hernández Martínez, Ing. Agr. Msc. José Mauricio Tejada Asensio y el Ing. Agr. Maece. Nelson Bernabé Granados Alvarado, por su alto nivel de responsabilidad demostrado desde la primera evaluación de nuestro trabajo de grado.

A NUESTRO ASESOR, Ing. Agr. Msc. José Mauricio Tejada Asensio por el aporte de conocimientos y su apoyo incondicional y desinteresado en la culminación de nuestro trabajo de grado.

**José David Quijano Ariza**

## ÍNDICE GENERAL

	Página
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	2
III. OBJETIVOS.....	4
3.1    Objetivo general.....	4
3.2    Objetivos específicos.....	4
IV. ESTADO DEL ARTE.....	5
V. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	7
5.1    Agroecología.....	7
5.2    Principios de la agroecología en el agroecosistema.....	8
5.3    Descripción taxonómica y morfológica del café.....	8
5.3.1    Taxonomía.....	9
5.3.2    Morfología.....	9
5.3.3    Raíz.....	10
5.3.4    Tallo.....	10
5.3.5    Hoja.....	11
5.3.6    Inflorescencia.....	12
5.3.7    Fruto.....	13
5.4    Importancia económica del café.....	13
5.5    Descripción de variedades de café presentes en la finca flor de Lis.....	14
5.6    Roya del Café.....	15
5.6.1    Origen de la roya del café.....	15
5.6.2    Introducción de la roya del café en El Salvador.....	16
5.6.3    Descripción de la roya de café.....	16

5.6.4	Taxonomía.....	17
5.6.5	Síntomas .....	17
5.6.6	Epidemiología.....	18
5.7	Cambio climático y la roya del café .....	20
5.8	Manejo agroecológico de la enfermedad .....	22
5.8.1	Caldo Bordelés .....	22
5.9	Normas de producción agroecológica en el cultivo de café ( <i>Coffea arabica</i> ).....	23
5.9.1	Certificación Orgánica.....	23
5.9.2	Certificación agroecológica en El Salvador .....	23
5.9.3	Café Orgánico.....	24
5.9.4	Normas básicas para la producción de café agroecológico .....	25
VI.	METODOLOGÍA.....	26
6.1	Descripción del lugar de estudio.....	26
6.2	Fase de Campo.....	27
6.2.1	Visitas a la finca Flor de Lis.....	27
6.2.2	Delimitación del área de estudio. ....	27
6.2.3	Materiales, instrumentos y equipo de la investigación.....	28
6.2.4	Metodología de campo .....	28
6.2.5	Elaboración del caldo bordelés.....	31
6.3	Aplicación del caldo bordelés en el área de estudio .....	31
6.4	Análisis de datos .....	32
VII.	RESULTADOS Y DISCUSION .....	33
7.1	Incidencia por estrato antes de la aplicación del caldo bordelés. ....	33
7.1.1	Estrato inferior.....	33
7.1.2	Estrato medio.....	34
7.1.3	Estrato superior.....	35

7.2	Severidad por estrato antes de la aplicación del caldo bordelés.....	37
7.2.1	Estrato inferior.....	37
7.2.2	Estrato medio.....	38
7.2.3	Estrato superior.....	40
7.3	Relación entre la incidencia y severidad de la roya del café.....	41
7.4	Nivel de incidencia de roya de café por parcela después de la aplicación del caldo bordelés.....	43
7.5	Nivel de severidad de roya de café por parcela después de la aplicación del caldo bordelés.....	45
7.6	Propuesta de control agroecológico de la roya del café ( <i>Hemileia vastatrix</i> ). .....	46
7.6.1	Regulación de sombra y poda de cafetos.....	48
7.6.2	Aplicación de extracto de hojas de papaya ( <i>Carica papaya</i> ).....	48
7.6.3	Aplicación de té de mirto ( <i>Murraya paniculata</i> ).....	48
7.6.4	Bioestimulante a base de chichicaste ( <i>Urera baccifera</i> ).....	49
7.6.5	Extracto repelente de plantas (M5).....	49
7.6.6	Elaboración y aplicación de caldo sulfocálcico.....	50
7.6.7	Elaboración y aplicación de caldo ceniza.....	50
7.6.8	Elaboración y aplicación de caldo visosa.....	51
7.6.9	Aplicación de Pesticida orgánico de Ceniza y Leche agria.....	51
7.6.10	Uso de <i>Trichoderma harzianum</i> para el control de la roya.....	52
VIII.CONCLUSIONES.....		53
IX. BIBLIOGRAFIA.....		54
ANEXOS.....		60
	Anexo de Cuadros.....	61
	Anexo de Figuras.....	62

## ÍNDICE DE CUADROS

	Página
Cuadro 1. Clasificación taxonómica del café arabica (Mora 2008).....	9
Cuadro 2. Clasificación taxonómica del hongo <i>H. vastatrix</i> .....	17
Cuadro 3. Materiales y materias primas para la elaboración del caldo bordelés. ....	31
Cuadro 4. Promedios de incidencia de estrato inferior antes de la aplicación del caldo.....	33
Cuadro 5. Promedios de incidencia del estrato medio antes de la aplicación del caldo. ....	34
Cuadro 6. Promedios de incidencia del estrato superior antes de la aplicación del caldo. ....	35
Cuadro 7. Promedios de severidad del estrato inferior antes de la aplicación del caldo.....	37
Cuadro 8. Promedios de severidad del estrato medio antes de la aplicación del caldo. ....	38
Cuadro 9. Promedios de severidad del estrato superior antes de la aplicación del caldo. ....	40
Cuadro 10. Coeficiente de correlación y coeficientes de determinación entre la incidencia y la severidad de la roya del café evaluados antes y después de la aplicación del caldo bordelés. ....	42
Cuadro 11. Comparación de incidencia de la roya antes y después de la aplicación del caldo bordelés en las parcelas de café arábigo (var. Costa Rica 95).....	43
Cuadro 12. Comparación de severidad de la roya antes y después de la aplicación del caldo bordelés en las parcelas de café arábigo (var. Costa Rica 95).....	45
Cuadro 13. Propuesta de prácticas y tecnologías para el manejo y control de la roya del café .....	47

## ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Planta de café (var. Costa Rica 95).....	10
Figura 2. Hojas de café (var. Costa Rica 95) .....	11
Figura 3. Inflorescencia del café (var. Costa Rica 95).....	12
Figura 4. Frutos del café (var. Costa Rica 95) .....	13
Figura 5. Roya del café causada por <i>Hemileia vastatrix</i> . ....	16
Figura 6. Lesiones circulares amarillas en hojas de café.....	18

Figura 7. Ciclo y epidemiología de la roya del café ( <i>Hemileia vastatrix</i> ) .....	19
Figura 8. Comparación de las zonas agroclimáticas del café ( <i>Coffea arabica</i> ) .....	21
Figura 9. Sello de certificación agroecológica SILOVA.....	25
Figura 10. Mapa de ubicación, sitio del proyecto de investigación.....	26
Figura 11. Delimitación del área de estudio.....	27
Figura 12. Muestreo de plantas por parcela. ....	28
Figura 13. Muestreo en cada planta de café, en su estrato bajo, medio y superior.....	29
Figura 14. Esquema del diagrama porcentual de severidad del café en el área foliar.....	30
Figura 15. Primeros síntomas de la roya del café (agosto 2022).....	34
Figura 16. Distribución de roya en los tres estratos del cafeto.....	37
Figura 17. Severidad en hojas del estrato medio (agosto 2022).....	39
Figura 18. Carga fructífera en estrato medio (Parcela 2) .....	40

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

Página

Gráfico 1. Incidencia de la roya del café ( <i>Hemileia vastatrix</i> ) en el estrato inferior antes de la aplicación del caldo bordelés.....	33
Gráfico 2. Incidencia de la roya del café ( <i>Hemileia vastatrix</i> ) en el estrato inferior antes de la aplicación del caldo bordelés.....	35
Gráfico 3. Incidencia de la roya del café ( <i>Hemileia vastatrix</i> ) en el estrato superior antes de la aplicación del caldo bordelés.....	36
Gráfico 4. Severidad de la roya del café ( <i>Hemileia vastatrix</i> ) en el estrato inferior antes de la aplicación del caldo bordelés.....	38
Gráfico 5. Severidad de la roya del café ( <i>Hemileia vastatrix</i> ) en el estrato medio antes de la aplicación del caldo bordelés.....	39
Gráfico 6. Severidad de la roya del café ( <i>Hemileia vastatrix</i> ) en el estrato superior antes de la aplicación del caldo bordelés.....	41

Gráfico 7. Comparación de la incidencia de la roya del café ( <i>Hemileia vastatrix</i> ) antes y después de la aplicación del caldo bordelés.....	44
Gráfico 8. Comparación de la severidad de la roya del café ( <i>Hemileia vastatrix</i> ) antes y después de la aplicación del caldo bordelés.....	45

### ÍNDICE DE ANEXO DE CUADROS

	Página
Cuadro A- 1. Formato de muestreo de incidencia de la roya del café ( <i>Hemileia vastatrix</i> ). .....	61
Cuadro A- 2. Formato de muestreo de severidad de la roya del café ( <i>Hemileia vastatrix</i> ).....	61

### ÍNDICE DE ANEXO DE FIGURAS

	Página
Figura A- 1. Diagramas del porcentaje de severidad de la roya de café en área foliar. ....	62
Figura A- 2. Explicación de formatos de muestro de la incidencia y severidad del café. ....	63
Figura A- 3. Muestreo de la incidencia de la roya en parcelas del área en estudio. ....	63
Figura A- 4. Muestreo de la severidad de la roya en parcelas del área en estudio. ....	64
Figura A- 5. Aplicación de caldo bordelés en parcelas muestreadas de café var. CR-95.....	64
Figura A- 6. Muestreo de la incidencia y severidad de la roya después de la aplicación del caldo. .....	65
Figura A- 7. Hojas de café con caldo bordelés. ....	65
Figura A- 8. Datos de muestreo por estrato en el programa Infostat v.2020.....	66
Figura A- 9. Datos de muestreo por estrato y parcela en el programa MOS Excel v. 2016.....	66

## Resumen

El presente estudio se realizó en la Finca Flor de Lis, municipio de Santa Ana, departamento del mismo. El objetivo del estudio fue evaluar la prevalencia y severidad del hongo responsable de la roya del cafeto (*Hemileia vastatrix*), que afecta las hojas de los cafetos, y a la vez plantear alguna propuesta para su control. La metodología para determinar la incidencia y la severidad de la enfermedad consistió en seleccionar 48 surcos de cafetos, y escoger una planta por surco, y dividiendo por 4 parcelas, para tener 12 plantas para muestra por parcela. Cada cafeto se dividió en 3 estratos, baja, media y superior; muestreándose una rama por estrato. Los datos de la incidencia y severidad, se tomaron cada 15 días, por parcela diferente. Luego se tomaron los datos un mes después de la segunda aplicación del caldo bordelés. A partir de los registros, se determinó el daño producido por la enfermedad en cada parcela; determinando que la parcela 2 tuvo los mayores valores en ambas variables con el 57.38 % de incidencia y 21.68% en severidad, en el caso de la parcela 4 tuvo una incidencia del 34.74% y el 13.96% en severidad reflejando los porcentajes más bajos. Para efectos de evaluar la eficacia del caldo bordelés, se determinó la incidencia y severidad resultando con valores de incidencia del 21,60% y severidad del 5.08% en la parcela 2 después de la aplicación de caldo. La parcela 4 presentó los porcentajes más bajos ya que la incidencia y severidad fueron 7,01% y 2,93%.

**Palabras clave:** incidencia, severidad, caldo bordelés, manejo agroecológico, certificación orgánica, caldos minerales.

## **Abstract**

This study was conducted at the flor de lis farm, Santa Ana municipality, department thereof. The objective of the study was to evaluate the prevalence and severity of the fungus responsible for coffee rust (*Hemileia vastatrix*), which affects the leaves of coffee trees, and at the same time to propose some proposals for its control. The methodology to determine the incidence and severity of the disease consisted of selecting 48 rows of coffee trees, and choosing one plant per row, and dividing by 4 plots, to have 12 sample plants per plot. Each coffee tree was divided into 3 strata, low, medium and upper; sampling one branch per stratum. The incidence and severity data were taken every 15 days, by different plot. Then the data was taken one month after the second application of the Bordeaux mixture. From the records, the damage produced by the disease in each plot was determined; determining that plot 2 had the highest values in both variables with 57.38% incidence and 21.68% in severity, in the case of plot 4 it had an incidence of 34.74% and 13.96% in severity reflecting the lowest percentages. For purposes of evaluating the efficacy of the bordeaux broth, the incidence and severity were determined, resulting in incidence values of 21.60% and severity of 5.08% in plot 2 after the broth application. Plot 4 presented the lowest percentages since the incidence and severity were 7.01% and 2.93%.

**Keywords:** incidence, severity, bordeaux broth, agroecological management, organic certification, mineral broths.

## I. INTRODUCCIÓN

El café es uno de los cultivos de gran importancia en nuestro país, por lo que existe mucho interés en manejar las condiciones adversas que amenazan la producción de esta especie. La roya (*Hemilia Vastatrix*) es considerada una de las enfermedades más devastadoras de los cultivos de café a nivel mundial y es responsable de importantes pérdidas económicas. La infección severa puede provocar que la hoja se seque y se desprenda tanto como la hoja y los frutos. (Castaño-Zapata 1994)

Agrios (1995) afirma que la roya es descrita como una de las enfermedades más graves de la caficultura en el mundo y causante de grandes pérdidas económicas. Si las condiciones ambientales favorecen la progresión de la enfermedad, ésta puede atacar desde los primeros estados de desarrollo y ocasionar defoliación y pérdidas de rendimiento de hasta un 25% a 50%.

Para evitar pérdidas potenciales y la propagación de dicha enfermedad, los productores recurren a la agricultura convencional al hacer uso de productos químicos como lo son los fungicidas de cualquier modo de acción para tener resultados según el productor “eficientes”. Sin conocer los efectos del uso de estos productos convencionales. Según García (1997) el uso de fungicidas de reconocida peligrosidad, así como el mal uso de estos productos en general, viene dejando secuelas negativas, muchas veces de carácter irreversible, tanto sobre los seres humanos como sobre el ambiente, secuelas como la reducción de la biodiversidad, erosión y pérdida de permeabilidad de los suelos, aumenta la vulnerabilidad a las plagas y enfermedades y conduce al desequilibrio y agotamiento de los agroecosistemas

Es por ello el motivo de la realización del presente estudio, cuyo propósito es evaluar la incidencia y severidad de la roya del café mediante la medición de estos parámetros en hojas infectadas de los cafetos; y de esta forma sugerir o elaborar una propuesta de manejo agroecológico de la roya del café que eviten el uso de productos convencionales e incorporen prácticas ecológicas que beneficien tanto a los cultivos, al medio ambiente y a la salud humana.

## II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El cultivo de café, sin duda, es uno de los cultivos más extensos en el país, pues se siembran variedades en diferentes estratos altitudinales. La roya es una enfermedad que ataca la mayor parte del cultivo del café en diferentes pisos altitudinales, la sintomatología se caracteriza por presentarse en las hojas manchas amarillentas que se van tornando de color café, a medida que se va necrosando el tejido, provocando la caída prematura de hojas afectando la fotosíntesis, se considera un factor de estrés que debilita los cafetos llegando a ocasionar muerte descendente severa de las ramas. Esto da como resultado escasa floración y frutos pequeños, lo que provoca pérdidas de producción. La aparición de nuevas uredosporas puede tener lugar a los 15 días, más o menos, aunque el periodo de incubación depende de las condiciones climáticas.

Es importante prestar atención a la aparición de estas manchas amarillentas porque es la etapa inicial de la enfermedad y la infección puede diseminarse rápidamente a las hojas superiores y otras plantas, causando grandes pérdidas como en el año 2013 que se reportó el 74% en pérdidas económicas en el país (OIC 2011)

La cosecha y la producción de café en las fincas se reducen por esta enfermedad, lo que se convierte en un problema en el ámbito agrícola por que los caficultores ya no tienen la misma seguridad de poder controlar las enfermedades al momento del manejo del cultivo, lo cual reduce significativamente los ingresos. Las enfermedades más comunes del café están relacionadas con la necrosis de hojas y frutos, existen muchas formas de infección y se transmiten fácilmente por el viento, la lluvia y el contacto humano. Las herramientas y los equipos también pueden diseminar las minúsculas esporas sobre plantas nuevas.

El cambio climático y la falta de un manejo adecuado de los cafetales han creado un ambiente ideal para el desarrollo de la enfermedad, incluso en zonas de mayor altitud, como es el caso del cantón Las Aradas, Santa Ana, que se encuentra a una altura media de 824 msnm, en el que en los últimos años se registró una fuerte aparición de roya (*Hemileia vastatrix*), provocando disminución en la producción.

En los últimos años, el estado ha apoyado al sector cafetero para erradicar la plaga a través de iniciativas manejo de control de la roya de café como parte de la revitalización de la caficultura,

pero el seguimiento de estos programas no se basa en principios agroecológicos. Hernández (2015) afirma que el programa de control de la Roya durante el 2014, tuvo como base la capacitación y transferencia de tecnología sobre aspectos biológicos y métodos de control, además la dotación de fungidas a los productores por parte del estado, realizaron una primera entrega de 15 000 paquetes, de los cuales cada uno contenía 2 fungidas, 1 fertilizante foliar y 1 adherente y a la vez afirman que esos paquetes se protegieron 31,500 hectáreas de cafetal. Todo esto olvidando las posibles consecuencias que puede generar los productos convencionales en los agroecosistemas, pues lo principal es afrontar la plaga con prácticas agroecológicas, por lo tanto, la falta de asesoramiento sobre agroecología, por parte de las autoridades competentes del Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG), limita el control de esta enfermedad por la vía ecológica, aumentando la contaminación y dañando los agroecosistemas cafetaleros.

Para proponer métodos de manejo agroecológico focalizado a esta enfermedad, se deben realizar evaluaciones con el fin de describir los principales aspectos epidemiológicos que favorecen la enfermedad. Además de los factores agrícolas y ambientales, también están involucrados factores sociales como la fluctuación de los precios del café en el mercado y el aumento de los precios de los fungidas, pero estos factores pueden manejarse con tecnología oportunas y de bajo costo para reducir las enfermedades. como la roya del café.

Por lo anterior, se hace la siguiente interrogante:

¿La vigilancia de los parámetros de la incidencia y la severidad de la roya en plantas de café, permitirá proponer manejo y control de la enfermedad, integrando principios agroecológicos, y así proteger la integridad del agroecosistema?

### **III. OBJETIVOS**

#### **3.1 Objetivo general**

Evaluar la incidencia y severidad de la roya (*Hemileia vastatrix*) en sistemas de producción agroecológico de café (*Coffea arabica L.*) variedad Costa Rica 95 en la finca Flor de Lis, municipio de Santa Ana.

#### **3.2 Objetivos específicos**

1. Determinar la incidencia de roya en las variedades de café de la finca Flor de Lis.
2. Determinar la severidad de roya en las variedades de café de la finca Flor de Lis.
3. Plantear una propuesta de métodos y prácticas agronómicas de manejo y control agroecológico de la roya de café.

#### **IV. ESTADO DEL ARTE**

Capucho *et al.* (2011) elaboraron y validaron un diagrama de área estándar (SAD) para ayudar a evaluar la severidad de la roya del café (*Hemileia vastatrix*), y se compararon las características de las lesiones de la roya en las hojas de *Coffea arabica* y *C. canephora*. Los resultados indicaron que las lesiones eran similares, por lo que se podría utilizar una escala para evaluar la gravedad de la roya en ambas especies. El diagrama propuesto contiene ilustraciones de hojas con seis grados de enfermedad (2.5, 5, 10, 20, 40 y 80%). El diagrama fue validado por 10 evaluadores sin experiencia previa en la evaluación de enfermedades. Primero estimaron la severidad de la roya sin usar el diagrama, y los mismos evaluadores evaluaron las hojas nuevamente usando el diagrama. Análisis de regresión y correlación, el análisis de la severidad de la enfermedad estimada frente a la real mostró precisión y la exactitud fue significativamente mejor usando los diagramas, El diagrama establece evaluaciones mejoradas de evaluadores para la estimación de la severidad de la roya del café, y se puede usar para evaluar la severidad de la roya para muchos propósitos, incluido el fitomejoramiento y la detección de fungicidas.

Soto (2015) señala que las principales estrategias de prevención de la roya que utilizan los productores orgánicos de Costa Rica son la nutrición y la biodiversidad del sistema. Existe literatura que muestra las ventajas para el manejo de plagas de sistemas diversificados de café complementadas con las ventajas que ofrece la diversificación de ingresos por actividades como el jocote o el banano, utilizados como sombra, y que fueron muy importantes durante los años de crisis, ya sea por precios o por Roya. También otra estrategia que algunos utilizan es el control biológico con *Lecanicillium lecanii*. Este es el caso de los productores, en Acosta de Puriscal. recibieron capacitación en el Instituto Nacional de Aprendizaje (INA) para el aislamiento y reproducción de controladores biológicos. Con mucho esfuerzo un productor montó el laboratorio en su casa de habitación, con una cámara de transferencia y un cuarto de reproducción aclimatado. Los productores que aplican esta estrategia consideran que, por lo remoto de su finca, los inoculantes biológicos que llevan los vendedores, o que él transporta del centro de la ciudad más cercano, siempre pierden efectividad. Mientras que los inoculantes que ellos preparan, son producidos con bacterias de su propia finca, y se aplican sumamente frescos

Obando et al. (2015) realizaron un manejo de control de plagas a base de caldo bordelés, el cual mostró una mejor respuesta con respecto al grado de enfermedad cuando se aplicó caldo bordelés con siete dosis, conjuntamente con un manejo cultural con fertilizaciones, poda y eliminación de

malezas que, en conjunto, brindaron condiciones menos favorables para la enfermedad para la roya. A su vez, se observaron menores grados de enfermedad en todos los tratamientos asociados a la aplicación de este fungicida orgánico. Esto sugiere que este tipo de fungicida preventivo requiere otras medidas de control biológico complementarias para lograr el mejor efecto. Además de ello, es necesario tener conocimiento de que una correcta aplicación de caldo bordelés, se realiza teniendo en cuenta la época del año, la etapa de desarrollo de la enfermedad y la adecuada fumigación.

Otiniano *et al.* (2019) determinaron la relación entre la incidencia y la severidad de la roya del café (*Hemileia vastatrix*) en San Ramón, Perú, el estudio lo realizaron en la Finca “La Génova” del Instituto Regional de Desarrollo de Selva en San Ramón en la selva central del Perú. Para ello, en un campo experimental de café, de aproximadamente una hectárea, se tomaron 184 plantas al azar en las que se midieron tanto la incidencia como la severidad de la enfermedad. En donde al final encontraron una correlación positiva entre la incidencia y la severidad de la roya del café (*Hemileia vastatrix*)

## V. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

### 5.1 Agroecología

La agricultura del futuro debe ser sostenible y productiva para producir alimentos para una población en constante crecimiento. Estos desafíos simplemente significan que no podemos abandonar por completo las costumbres tradicionales y volver a las tradicionales indígenas. Aun cuando la agricultura convencional puede proporcionar modelos y prácticas invaluable para desarrollar una agricultura sostenible, no puede producir la cantidad de alimentos necesaria para los centros urbanos y los mercados globales porque está diseñada para satisfacer las necesidades locales y en pequeña escala. (Gliessman 2002)

El llamado demanda un nuevo enfoque hacia la agricultura y desarrollo agrícola construida sobre la base de la conservación de los recursos y otros aspectos de la agricultura tradicional, local y de pequeña escala, y que al mismo tiempo aproveche los conocimientos y métodos modernos de la ecología. Este enfoque está incluido en la ciencia llamada agroecología, la cual se define como la aplicación de conceptos y principios ecológicos para el diseño y manejo de agroecosistemas sostenibles. (Gliessman 2002)

La agroecología provee el conocimiento y metodología necesarios para desarrollar una agricultura que sea, por un lado, ambientalmente adecuado y por otro lado altamente productiva y económicamente viable. Esta establece condiciones para el desarrollo de nuevos paradigmas en agricultura, en parte porque prácticamente elimina la distinción entre la generación de conocimiento y su aplicación. También valoriza el conocimiento local empírico de los agricultores, el compartir este conocimiento y su aplicación al objetivo común de sostenibilidad. (Gliessman 2002)

De acuerdo con Restrepo *et al.* (2002) la agroecología es un enfoque diferente al desarrollo agrícola tradicional porque se basa en un paradigma científico diferente. El paradigma es holístico, los sistemas sociales y agroecológicos evolucionan juntos y se reflejan entre sí. La investigación en ciencias naturales, sociales y sus prescripciones son inseparables. Los paradigmas son nuevos y cambian constantemente, pero la agroecología comparte un paradigma con muchos otros campos de investigación.

## **5.2 Principios de la agroecología en el agroecosistema**

Aunque la ciencia de la agroecología se basa en los aspectos ecológicos de los agroecosistemas, los principios que pretende aplicar pueden promover un cambio positivo en el contexto agroecológico y social. Depender de los procesos ecológicos internos para el mantenimiento de la fertilidad y el control de plagas implica estructuras y relaciones sociales y estructuras muy diferentes de aquellas que las que se tienen con un uso extensivo de insumos externo. (Restrepo *et al* 2000).

Los métodos y principios ambientales forman la base de la agroecología. Estos son esenciales para determinar: si una práctica agrícola en particular, un insumo o una decisión de manejo es sostenible, y la base ecológica para decidir la estrategia de manejo y su impacto a largo plazo. Conociendo lo anterior, se pueden desarrollar prácticas que reduzcan la compra de insumos externos que minimicen los efectos de esos insumos cuando sea necesario utilizarlos y sienten las bases para diseñar sistemas que ayuden a los agricultores a sostener sus granjas, cultivos y comunidades. (Gliessman 2002)

De acuerdo con Altieri y Toledo (2011), los principios básicos de la agroecología incluyen: el reciclaje de nutrientes y energía, la sustitución de insumos externos; el mejoramiento de la materia orgánica y la bioactividad del suelo; la diversificación de especies de plantas y recursos genéticos en agroecosistemas a través del tiempo y el espacio; la integración de los cultivos con el ganado; la optimización de las interacciones y la productividad del sistema agrícola en su totalidad, en lugar de los rendimientos aislados de las distintas especies.

## **5.3 Descripción taxonómica y morfológica del café**

La especie de café más cultivada en el mundo es *Coffea arabica* L. Por esta razón, se ha seleccionado para su descripción morfológica en este estudio. Los cafetos arábica generalmente se clasifican como arbustos, pero a veces se les llama árboles en otras especies. Los arbustos y árboles de café son del tipo perenne, leñosos y de un tallo resistente cubierto de corcho.

### 5.3.1 Taxonomía

Cuadro 1. Clasificación taxonómica del café arabica (Mora 2008)

<b>Reino</b>	Plantae.
<b>División</b>	Magnoliophyta (plantas con flores).
<b>Clase</b>	Magnoliopsida
<b>Orden</b>	Rubiales
<b>Familia</b>	Rubiaceae.
<b>Género</b>	<i>Coffea</i> . (Linneo)
<b>Especie</b>	<i>arabica</i> (Linneo)

### 5.3.2 Morfología

Los cafetos son leñosos, pero pueden variar desde arbustos hasta grandes árboles de 5 a 10 metros de altura. Sus hojas son ovaladas, puntiagudas y aparecen en pares. Tienen pecíolos cortos y estípulas pequeñas, y pueden tener pequeñas cavidades en la parte inferior que albergan pequeños artrópodos llamados domotia. Las hojas también pueden ser de diferentes colores, como verde lima, verde oscuro, bronce o tonos de púrpura. El fruto tiene forma de drupa, con pericarpio carnoso y semillas dobles. Las flores aparecen en inflorescencias. (Waller *et al.* 2007)



Figura 1. Planta de café (var. Costa Rica 95)

### **5.3.3 Raíz**

Es el órgano responsable de sostener el sistema aéreo 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 30 cm del suelo o, así como de suministrar agua y nutrientes a las plantas, que contienen más del 30% del genoma vascular de la planta. Los cafetos tienen raíces primarias que penetran en el suelo, dando origen raíces secundarias que absorben agua y nutrientes. El sistema radicular está formado por la raíz principal, llamada pivotante, que puede penetrar 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 30 cm del suelo (Escobar 2017)

### **5.3.4 Tallo**

El arbusto de café está compuesto generalmente de un solo tallo o eje central. El tallo exhibe dos tipos de crecimiento. Uno que hace crecer al arbusto verticalmente y otro en forma horizontal o lateral. El crecimiento vertical u orto trópico es originado por una

zona de crecimiento activo o plúmula en el ápice de la planta que va alargando a ésta durante toda su vida, formando el tallo central, nudos y entrenudos. (Aucancela 2017)

Monroig (2007) afirma que sólo brotan hojas en los primeros 9 a 11 nudos de una planta joven; A partir de ahí, comienza a tirar de las ramas lateralmente. Estas ramas plagiotrópicas o de crecimiento lateral surgen de yemas que se forman en las axilas superiores de las hojas. En cada axila, se forman dos o más yemas uno encima del otro y las ramas laterales que crecen horizontalmente se desarrollan a partir de las yemas superiores. La yema inferior, a menudo llamada yema accesoria, da lugar a nuevos brotes ortotrópicos. Por lo general, esta yema solo se desarrolla si el tallo principal está decapitado o podado.

### 5.3.5 Hoja

Las hojas aparecen en las ramas laterales o plagiotrópicas en un mismo plano y en posición opuesta. Tiene un pecíolo corto, plano en la parte superior y convexo en la inferior. La lámina es de textura fina, fuerte y ondulada. Su forma varía de ovalada (elíptica) a lanceolada. El haz de la hoja es de color verde brillante y verde claro mate en el envés. En la parte superior de la hoja las venas son hundidas y prominentes en la cara inferior. Su tamaño puede variar de 3 a 6 pulgadas de largo, la vida de las hojas en la especie arábica es de 7 a 8 meses. (Monroig 2007)



Figura 2. Follaje del café (var. Costa Rica 95)

### 5.3.6 Inflorescencia

Una flor de café posee los cuatro tipos de estructuras que caracterizan a una flor completa y perfecta: dos estructuras estériles que son el cáliz y la corola, y dos estructuras fértiles que son los carpelos (ovario – estilo - estigma) y los estambres. La flor se une a la inflorescencia mediante el pedicelo, y por encima de éste se ubica el ovario, el cual es ínfero y bilocado. Cuando el ovario es fecundado se desarrolla como una drupa globular u oval, que normalmente contiene dos semillas. El cáliz de la flor de café es rudimentario y tiene forma de copa, está fusionado al ovario y se desarrolla por encima de éste. El cáliz está constituido por cinco hojas diminutas denominadas sépalos. (Arcila *et al.* 2007)

El cáliz de la flor del cafeto es rudimentario, en forma de copa, fusionado al ovario y se desarrolla por encima de éste. El cáliz está formado por cinco pequeñas hojas llamadas sépalos. La corola se desarrolla dentro del cáliz y aparece inicialmente como un tubo de color verdoso de 4 mm de largo, formado por la fusión de los cinco pétalos que la conforman. Los estambres, en número de 5, se insertan entre los lóbulos de la corola mediante filamentos cortos. Tienen una longitud de 6 a 8 mm. Cada estambre posee una antera que contiene cuatro sacos polínicos. Los carpelos presentan en su parte inferior el ovario, el cual encierra los óvulos. Sobre el ovario y por debajo del tubo de la corola se inserta un estilo largo (12-15 mm), el cual termina hacia el extremo en dos estigmas separados y ligeramente inclinados. (Arcila *et al.* 2007)



Figura 3. Floración del café (var. Costa Rica 95)

### 5.3.7 Fruto

El fruto del cafeto es una drupa. Es de forma ovalada o elipsoidal ligeramente aplanada. Contiene normalmente dos semillas plano convexas separadas por el tabique (surco) interno del ovario. Pueden presentarse tres semillas o más en casos de ovarios tricelulares o pluricelulares o por falsa poliembrionía (cuando ovarios bicelulares presentan más de un óvulo en cada célula). A causa del aborto de un óvulo se puede originar un fruto de una sola semilla. El fruto es de color verde al principio, luego se torna amarillo y finalmente rojo, aunque algunas variedades maduran color amarillo. El tiempo que transcurre desde la florecida hasta la maduración del grano varía según la especie, en el caso del café arábica es de 6 a 8 meses (Díaz *et al.* 2018)



Figura 4. Frutos del café (var. Costa Rica 95)

### 5.4 Importancia económica del café

Las exportaciones de café de El Salvador superaron los \$82,7 millones entre octubre de 2021 y junio de 2022, un 40% más que el período correspondiente en el ciclo 2020-2021. El informe del Consejo Salvadoreño del Café (CSC) indica que en los primeros 7 meses del ciclo 2021-2022 se comercializaron 327.477 quintales de grano, con un valor superior en \$24,5 millones a los 48,3 millones en los mismos meses del ciclo anterior. El volumen de exportación de este producto fue superior en un 4.3 %, pasando de 469,718 quintales en 2020-2021 a 490,782 en la actualidad. La diferencia fue de 30,740 quintales más.

CSC (2022) indica que en el ciclo actual se han cosechado 912,540 quintales oro-uva, un 13.3 % más que los 790,920 quintales recolectados en los mismos meses de 2020-2021. El sector cafetalero ha generado 45,627 empleos en el ciclo actual, a pesar del incremento en la cosecha, el país no ha recuperado los niveles de producción registrados antes de 2013, cuando superaban los 1,7 millones de quintales. La caficultura salvadoreña se ha visto golpeada por el hongo de la roya y el cambio climático, que la ha llevado a registrar, desde el ciclo 2013-2014, sus mínimos históricos de producción del café.

### **5.5 Descripción de variedades de café presentes en la finca flor de Lis**

En El Salvador se cultivan variedades de la especie *Coffea arabica*, que es la más extendida en el mundo, con un aporte del 70 al 75% de la producción mundial. En América Latina se cultivan diversas variedades que se han desarrollado desde las primeras introducciones, algunas de las cuales son resultado de mutaciones, híbridos naturales o artificiales. (Alvarado *et al.* 2004)

Según observaciones de campo, en la Finca Flor de Lis, se está utilizando variedades de café como Costa Rica 95, Sampacho, Catimor, Marsellesa y Cuscatleco.

**Variedad Costa Rica 95:** Planta de porte bajo, brotes bronce, de alta productividad (50 a 70 quintales pergaminos secos por manzana), con buena adaptabilidad en zonas de 800 a 1,400 metros sobre el nivel del mar (2,600 a 4,600 pies sobre el nivel del mar). El fruto es grande de color rojo. Las características del grano son: tamaño grande (zaranda 17), alargado y ancho, parecido al de Típica. (ANACAFE 2016)

Pero en el caso de esta variedad ha sufrido un cambio con respecto a la resistencia de la roya (*Hemileia vastatrix*) Entre los años 2017 y 2019, instituciones dedicadas a la investigación del café reportaron que la variedad de café Costa Rica 95 (CR-95) había quebrantado la tolerancia a la roya que por muchos años tenía, situación que empezó en Guatemala y Nicaragua, y hasta la fecha se extendió el fenómeno a nivel de Centroamérica. (ANACAFE 2019)

**Variedad Catimor:** Planta de porte bajo, con una arquitectura foliar medianamente compacta, hojas anchas de color verde oscuro, brotes bronce, ramas largas con entrenudos cortos, precocidad en crecimiento y producción, maduración intermedia, buen vigor vegetativo, adecuada respuesta

a las podas, color de frutos rojos con bajo porcentaje de frutos vanos, tamaño de grano mediano y bebida de buena calidad. (ANACAFE 2016)

**Variedad Sampacho:** Es el resultado de la recombinación de dos pares de genes que determinan entrenudos cortos: el Caturra y el San Bernardo. La selección, resultante de los cruces realizados en Cenicafe entre estas dos variedades, muestra plantas con entrenudos muy cortos y un crecimiento ortótropo muy limitado, lo que le da una apariencia característica enana. Las hojas son medianas a pequeñas pero alargadas. Los frutos se asemejan a los de la variedad Típica. (CENICAFE 2016)

**Variedad Marsellesa:** Es una variedad precoz, en condiciones normales empieza a producir a los 18 meses después siembra. Las bandolas son largas (más de 1 metro), con buena emisión de ramas secundarias (palmías) en las bandolas de la parte baja, con hojas grandes, coriáceas y brote terminal verde. Planta de alta productividad, entrenudos cortos, con producción promedio de 45 quintales pergamino seco por manzana (64 quintales pergamino seco por hectárea). Produce menos del 4 % de frutos vanos. Arriba del 80% de los granos son de tamaño mediano (zaranda 16). La calidad de taza se manifiesta con aroma a frutas y floral, acidez superior a la variedad Caturra y cuerpo similar a la variedad Caturra. (ANACAFE 2016)

**Variedad Cuscatleco:** Esta variedad posee un sistema radicular fuerte y profundo con resistencia a nematodos, estructura compacta bien desarrollada de forma cónica, con entrenudos cortos en el eje principal, porte intermedio bandolas largas (más de 80 cm de largo). El follaje es denso con hojas grandes y corrugadas de color verde intenso, brotes de color verde claro, con alto vigor híbrido, precocidad y resistencia a la roya del cafeto, sin embargo, es ligeramente susceptible a las enfermedades Cercospora (*Cercospora coffeicola*) y Ojo de Gallo (*Mycena citricolor*). (Martínez De Paz 2014)

## 5.6 Roya del Café

### 5.6.1 Origen de la roya del café

Schierber (1974) señala que, la roya del café fue reportado por primera vez en 1861 en el café silvestre cerca del Lago Victoria en África Oriental. En 1867, los productores de Ceilán (Sri

Lanka), el mayor productor mundial, notaron la aparición de una enfermedad. Para 1879, la enfermedad había causado tanto daño que el gobierno de Ceilán pidió a los británicos que enviaran a alguien para investigar la enfermedad y encontrar una cura.

### 5.6.2 Introducción de la roya del café en El Salvador

La llegada de la roya anaranjada a El Salvador generó serias preocupaciones, ya que todas las variedades de café cultivadas en el país eran susceptibles a la roya anaranjada. Esta enfermedad fue reportada por primera vez en diciembre de 1979 en la Finca California en la Zona Oriental del país. (García *et al.* 1980)

### 5.6.3 Descripción de la roya de café

Castaño-Zapata y Mendoza (1994) indican que el hongo de la roya es reconocido por sus uredosporas características. Estas son reniformes, con espinas en la parte convexa. Asimismo, son hialinas con coloraciones anaranjadas en los interiores, y planas en un costado (Figura 5).

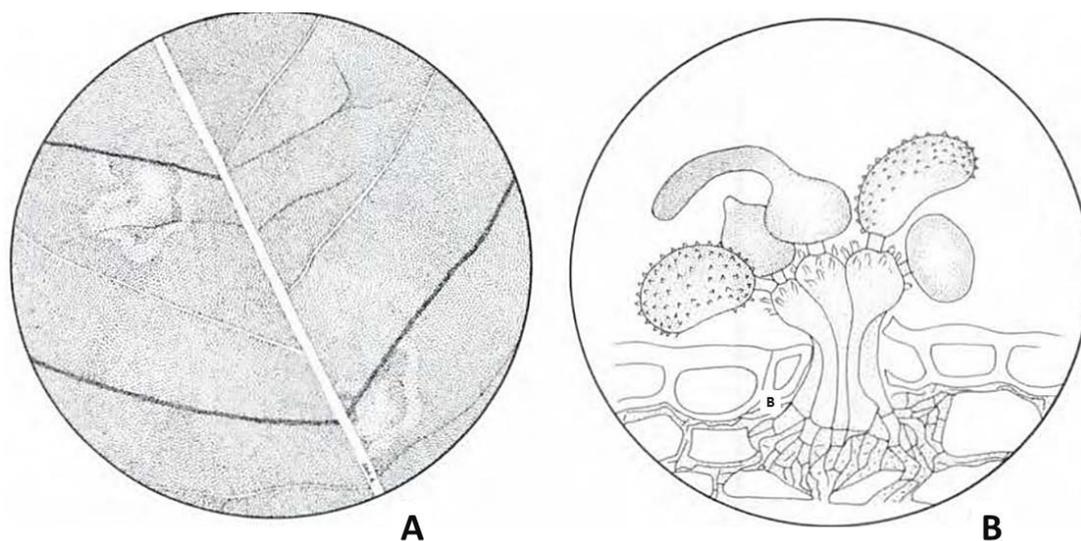


Figura 5. Roya del café causada por *Hemileia vastatrix*. A) Vista macroscópica de unas pústulas mostrando un aspecto polvoriento; B) Vista microscópica del corte transversal de una pústula mostrando las uredosporas sobre los conidióforos (Castaño-Zapata y Mendoza 1994)

#### 5.6.4 Taxonomía

Cuadro 2. Clasificación taxonómica del hongo *H. vastatrix* (Castaño-Zapata y Mendoza 1994)

<b>Reino</b>	Fungi.
<b>Clase</b>	Basidiomycetes.
<b>Sub-Clase</b>	Heterobasidiomycetidae
<b>Orden</b>	Uredinales
<b>Familia</b>	Pucciniaceae.
<b>Género</b>	<i>Hemileia.</i> (Berk. y Br)
<b>Especie</b>	<i>vastatrix</i> (Berk. y Br)

#### 5.6.5 Síntomas

La enfermedad ataca plantas de *Coffea arabica*, *C. canephora*, *C. ibérica* y *Gardenia spp.* La roya produce lesiones circulares de color amarillo-anaranjado en el envés de las hojas (Figura 6). Esas lesiones varían en tamaño. Al observar con una buena lente de aumento, se aprecia el aspecto polvoriento formado por las uredosporas y un halo claro alrededor (Figura 5). Las lesiones pueden llegar a cubrir la hoja totalmente. Primero, las lesiones viejas se vuelven blanquecinas del centro hacia afuera, y luego se tornan necróticas. Las hojas afectadas eventualmente se vuelven necróticas y caen prematuramente. Esto es seguido por una muerte regresiva de las ramillas, con el eventual debilitamiento de la planta, hasta que muere. Los frutos no son afectados (Castaño-Zapata y Mendoza 1994)



Figura 6. Lesiones circulares amarillas en hojas de café

### 5.6.6 Epidemiología

El hongo *Hemileia vastatrix* vive principalmente en forma de micelio, uredias y uredosporas que en los trópicos, donde el café y el hongo desarrollan, se perpetúan en las hojas que infectan continua y sucesivamente. En ocasiones, este hongo produce teliosporas que al germinar forman basidiosporas, pero estas últimas no infectan al cafeto y hasta la fecha no se ha encontrado el hospedante alterno. Debido a esto, se ha pensado que todas las infecciones que sufre el cafeto se deben a las uredosporas. Estas esporas son fácilmente diseminadas por el viento, la lluvia y quizá por los insectos. Requieren de un alto nivel de humedad y quizá también de rocío para poder germinar e infectar al cafeto. (Castaño-Zapata y Mendoza 1994)

Cuando las condiciones son favorables, germinan y entran a las hojas a través de las estomas de la superficie del envés en menos de 12 horas. El micelio se desarrolla entre las células de la hoja y envía haustorios hacia el interior de ellas. Por lo general, las hojas jóvenes son más susceptibles a la infección que las ya maduras, de ahí que sobre la superficie del envés de las hojas aparezcan nuevos uredios en el término de 10 a 25 días después de que se produjo la infección, dependiendo de las condiciones climáticas. (Castaño-Zapata y Mendoza 1994)

Una vez que se desarrollan las uredias, en cualquier momento puede producirse la caída prematura de las hojas infectadas; en ocasiones, una sola uredia es suficiente para ocasionar la caída de una hoja. Las hojas nuevas son afectadas una vez que se ha desprendido el follaje más viejo. La caída prematura de las hojas debilita a los árboles y da como resultado una menor producción, muerte descendente severa de las ramitas e incluso la muerte de dichos árboles. (Castaño-Zapata y Mendoza 1994)

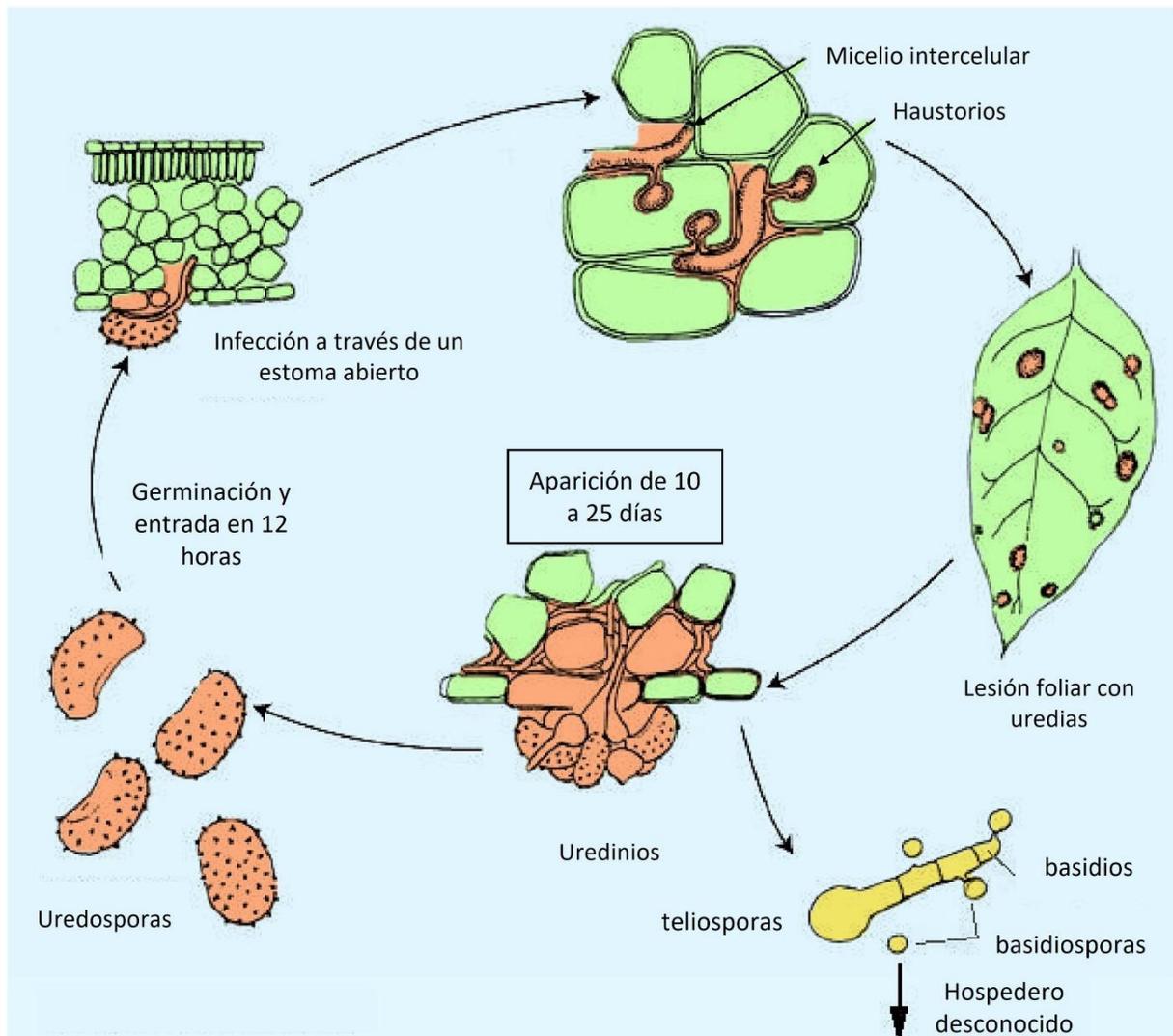


Figura 7. Ciclo de la roya del café (*Hemileia vastatrix*)

## 5.7 Cambio climático y la roya del café

El cambio climático es el producto de muchas actividades humanas que han causado alteraciones significativas de la ecología de la tierra; junto con otros impactos humanos, estos efectos a largo plazo pueden considerarse como un “cambio global antropogénico”. Los cambios en el uso del suelo por la agricultura y la silvicultura de plantación han causado la pérdida de hábitats naturales y han impactado en la distribución de plantas en todo el mundo. (Helfer 2013)

El uso asociado de agroquímicos, especialmente fertilizantes, herbicidas y pesticidas, ha afectado la disponibilidad de nutrientes y la supervivencia de plantas, animales y hongos, tanto en ambientes dominados por humanos como en paisajes naturales contiguos a través de la deposición secundaria, la contaminación de agroquímicos ha cambiado la química del agua, el aire y los suelos, modificando la estructura compositiva de los ecosistemas en adaptación a las nuevas limitaciones de recursos. (Helfer 2013)

El cambio climático añade una dimensión adicional a esta matriz de impactos, mientras que algunos organismos pueden ser capaces de aclimatar o adaptarse en el lugar estas presiones, otros se volverán cada vez más raros y pueden sufrir una extinción regional o global. (Helfer 2013)

Todas las plantas tienen mecanismos de adaptación y resistencia y están expuestas a fluctuaciones extremas de temperatura y agua. Esto hace que el manejo sea más complejo, ya que los cafetos, dependiendo de la variedad, son más susceptibles a plagas y enfermedades. En el caso del café, éste se ve afectado por la enfermedad más devastadora, la roya (*Hemileia vastatrix*). La roya puede extenderse a las plantaciones de todo el país, aumentando su distribución en un rango más amplio de altitudes como resultado del calentamiento global y la variabilidad de las precipitaciones. (Parada 2020)

El clima es un factor importante en la incidencia y severidad de la roya del café. Por ello, en los cafetales bajo sombra, se debe considerar que la cobertura arbórea modifica el microclima, creando condiciones diferentes aun cuando los cafetos se encuentran cerca unos de otros. Debido a que la tolerancia al calor de los hongos fitopatógenos como la roya, es más amplia que la de los cafetos, que crecen entre 18 y 21 °C, estos hongos fitopatógenos suelen ser menos susceptibles al cambio climático que los cafetos. Diversos estudios reportan aumentos de temperatura (la temperatura máxima es menor que la temperatura mínima) y disminuciones en el clima cálido y frío en las

regiones cafetaleras, también se destaca una tendencia positiva en la intensidad de los eventos de lluvia con el aumento de la precipitación total anual. (Parada 2020)

El aumento de la temperatura y la humedad facilitan la aparición de esporas de roya, lo que conduce a menores rendimientos y menor calidad. Si el daño se extiende, algunos productores pueden retirarse de la producción de café. Si el cambio climático debido al calentamiento global avanza aún más en el futuro, se espera que la tierra apta para el cultivo del café disminuya significativamente.

En la Figura 8 muestra los patrones de cambio climático en las regiones productoras de café de El Salvador, la comparación del mapa actual y un mapa de proyección climática del 2050 que se producirán varios cambios, como el aumento de la temperatura, aumento de la humedad y disminución de las precipitaciones, lo que provocaría un cambio de dinámica de la roya del café, sobreviviendo a las alteraciones del cambio climático, si se analiza en profundidad, el uso convencional de productos como fungicidas para controlar la roya también es parte de la contaminación de suelos y, a medida que aumentan las temperaturas, los fitopatógenos pueden desarrollar resistencia a los fungicidas, por lo que productores buscarían otras alternativas convencionales y posiblemente más peligrosas para controlar la roya, sin tener conocimiento de los estragos que está causando el cambio climático. Además, se espera que tal fenómeno ocurra no solo en El Salvador, sino también en América Central y del Sur, África y otras partes del mundo.

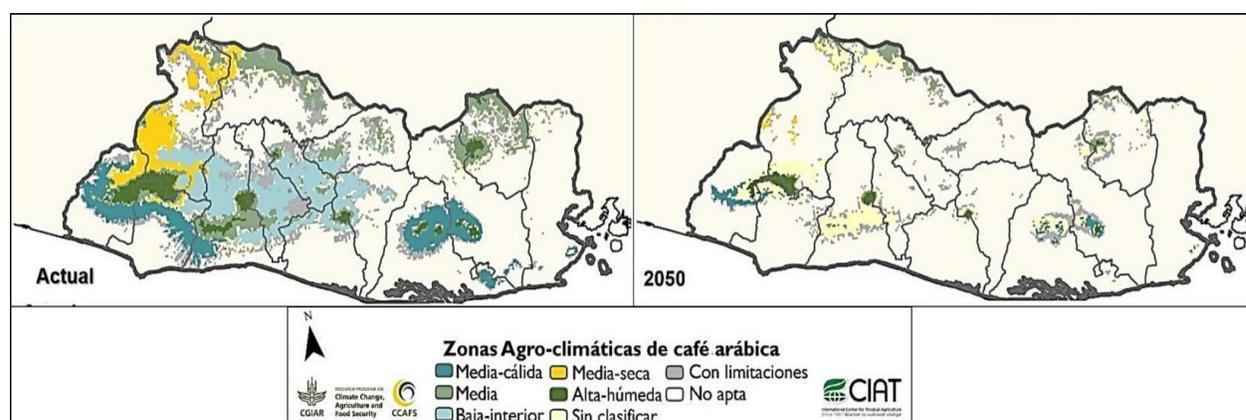


Figura 8. Comparación de las zonas agroclimáticas del café (*Coffea arabica*) (Fernández et. al. 2019)

## **5.8 Manejo agroecológico de la enfermedad**

En comparación con los ecosistemas naturales, la alta vulnerabilidad de los sistemas agrícolas a los patógenos se atribuye a su simplificación, especialmente a la reducción de la diversidad vegetal y animal. De ahí la propuesta de incorporar la biodiversidad a los agroecosistemas, tanto a nivel de parcela como a nivel de paisaje, para un mejor manejo de plagas y enfermedades. No obstante, dependiendo de las características de vida de los patógenos o plagas y sus requerimientos, no siempre hay respuestas favorables al momento de incorporar la biodiversidad vegetal a los sistemas cultivados. (Avelino et al. 1999)

En el caso de la roya del café, diferentes estrategias de manejo pueden reducir los efectos de la enfermedad. La sombra es una de las fuentes de biodiversidad y principalmente tiene un efecto regulador sobre las cargas de fruta. La sombra puede ser parte de la solución para el manejo de la roya del café en relación con el cambio climático por otras razones: bloquea la única fuente de agua libre y rocío y reduce el estrés en las plantas durante períodos secos más largos o más frecuentes. Otro aspecto importante es lograr una buena nutrición de los cafetos a través de la fertilización o medidas de conservación del suelo. Un ejemplo de esto es la propuesta de diversas prácticas agronómicas para mejorar el manejo de la materia orgánica del suelo en el cultivo del café. Los más importantes son la adición de leguminosas, estiércol, abonos orgánicos, “mulch” elaborado con residuos de forraje, hojas caídas y residuos de poda de cultivos. Sin embargo, dadas las condiciones climáticas óptimas para que ocurra la roya naranja, se debe reconocer que ningún sistema de manejo puede controlar la enfermedad de forma natural. Es necesario utilizar estrategias de manejo de control como el control químico, el control ecológico o variedades mejor resistentes. (Avelino et al. 1999)

### **5.8.1 Caldo Bordelés**

Los caldos minerales son compuestos elaborados a base de minerales como el azufre, cobre y calcio (cal). Son de gran utilidad en la agricultura debido a que ayudan al control de enfermedades fungosas y como insecticida (ácaros). El caldo bordelés es una solución, cuyos ingredientes son sulfato de cobre y cal hidratada y agua, es utilizada desde tiempos antiguos para curar enfermedades de las plantas, ya que actúa como un excelente fungicida, acaricida. Su nombre lo debe al francés

Bouillie Bordelaise, quién lo inventó pensando en el tratamiento de las enfermedades de la vid. EL caldo bordelés se usa en la agricultura orgánica. Previene y controla enfermedades causadas por hongos como antracnosis, ojo de gallo, monilia, mazorca negra, pellejillo o mal de hilachas en café. Se usa también como foliar para fortalecer las plantas. (Helfer 2013)

La prevención y control de la roya del café (*Hemileia vastatrix*) es difícil, pero los fungicidas cúpricos como el caldo bordelés, el oxiclورو cúprico y el óxido cuproso pueden obtener resultados satisfactorios. Dependiendo de las condiciones climáticas y la severidad de la infestación por hongos, los fungicidas deben aplicarse cada 2 a 3 semanas o menos antes y durante la temporada de lluvias (Agrios, 1995).

## **5.9 Normas de producción agroecológica en el cultivo de café (*Coffea arabica*)**

### **5.9.1 Certificación Orgánica**

Según el Reglamento para la producción, procesamiento y certificación de productos orgánicos (2004) establece que la certificación orgánica es la garantía otorgada por un organismo de certificación en el sentido de que los métodos de producción orgánica o procesamiento metódicamente evaluado, se ajustan a los requisitos establecidos en y a sus propios manuales de procedimiento. La certificación ayuda a diferenciar la calidad del producto en el mercado con el objetivo de obtener un mejor precio.

### **5.9.2 Certificación agroecológica en El Salvador**

En El Salvador, la certificación orgánica está reconocida por el Decreto No. 52 de la Ley de Protección Animal y Vegetal, que establece el "Reglamento para la producción, procesamiento y certificación de productos orgánicos". De acuerdo a este reglamento, se realizan las acreditaciones a los organismos de certificación para que desempeñen las funciones de certificación de productos orgánicos, estas organizaciones emiten estas certificaciones por medio de la cual se hace constar fincas o entidades que su producto es orgánico.

Para que los productores ingresen al mercado del café orgánico, deben cumplir con estrictos estándares de producción, bajo el control de inspectores de organismos de certificación, para obtener y solicitar la certificación que los habilita. También es importante señalar que los procesos

de certificación y las inspecciones son costosos. Por lo tanto, los productores interesados deben solicitar toda la información necesaria al elegir un organismo de certificación. Según sus necesidades específicas y el mercado al que se orientará el café, por lo que, es recomendable que los productores de café se asocien para compartir el costo. (FUNDESYRAM, 2015)

### **5.9.3 Café Orgánico**

La caficultura orgánica es uno de varios métodos de agricultura sostenible, el término “orgánico” se refiere a un sistema de manejo de la producción a nivel de finca que promueve y mejora la biodiversidad, los ciclos biológicos, la actividad biológica del suelo como organismo vivo y la incorporación de materia orgánica para aprovechar la materia orgánica y promover cultivos sanos sin el uso productos químicos sintéticos. (Silva 2021).

Para ingresar al mercado del café orgánico, los productores deben cumplir con estrictos estándares de producción bajo la supervisión de los inspectores de organismos de certificación para obtener y solicitar un certificado de conformidad. Además, es importante señalar que el proceso de certificación y las inspecciones son muy costosos. Por lo tanto, los productores interesados deben solicitar toda la información necesaria al elegir un organismo de certificación. Dependiendo de sus necesidades específicas y del mercado al que se dirigirá el café, es recomendable que los productores de café compartan el costo de manera conjunta. (FUNDESYRAM, 2015).

En el caso de algunas fincas del país, se benefician de la certificación agroecológica SILOVA (Sistema Local de Verificación Agroecológica) promovida por la Fundación para el Desarrollo Socioeconómico y Restauración Ambiental (FUNDESYRAM) y la Universidad de El Salvador (UES) donde otorga les certificación, todo y cuando se cumpla con la normativa para contar con la respectiva acreditación.



Figura 9. Sello de certificación agroecológica SILOVA (Sistema Local de Verificación Agroecológica)

#### **5.9.4 Normas básicas para la producción de café agroecológico (FUNDESYRAM, 2019)**

- Para convertir un sistema de cultivo de café tradicional a orgánico, se requiere un período de transición de tres años, y durante este período se deben llevar registros que garanticen el sistema de producción sin el uso de químicos sintéticos para que el suelo esté descontaminado de agroquímicos.
- Cultivar variedades plenamente adaptadas al clima local.
- Utilizar sombra diversificada y plantar otros árboles forestales, que permitan proteger la biodiversidad del lugar.
- Proteger el suelo con obras de conservación y fertilización orgánica y controlar plagas sin productos químicos sintéticos.
- Establecer un mecanismo de control para garantizar la calidad de la producción. Para ello, solo se deben cosechar cerezas maduras y el producto debe ser enviado a los beneficios en sacos marcados como orgánicos, transformados en pulperos y pilas específicas; y almacenados en bodegas especiales

## VI. METODOLOGÍA

### 6.1 Descripción del lugar de estudio

El estudio se realizó en la finca Flor de Lis ubicada en el Cantón Las Aradas en el kilómetro 54 ½ carretera a Santa Ana, en el Municipio de Santa Ana, del Departamento de Santa Ana (Figura 10), esta finca se encuentra a 824 m.s.n.m. El área de estudio se encuentra entre las coordenadas geográficas siguientes: 13°55'27.9"N y 89°32'01.2"O. La zona presenta una temperatura entre los 17 y 32 grados centígrados, con una acumulación total promedio de precipitación de 1745 mm, la velocidad del viento varía desde 8,0 km/h en el tiempo más calmado, hasta 17,0 km/h en el tiempo más ventoso, la humedad va del 46 al 95%. Los suelos predominantes pertenecen al gran grupo de los suelos latosoles arcillo rojizos, con profundidad promedio de un metro, la textura superficial es franco arcilloso y el subsuelo arcilloso.

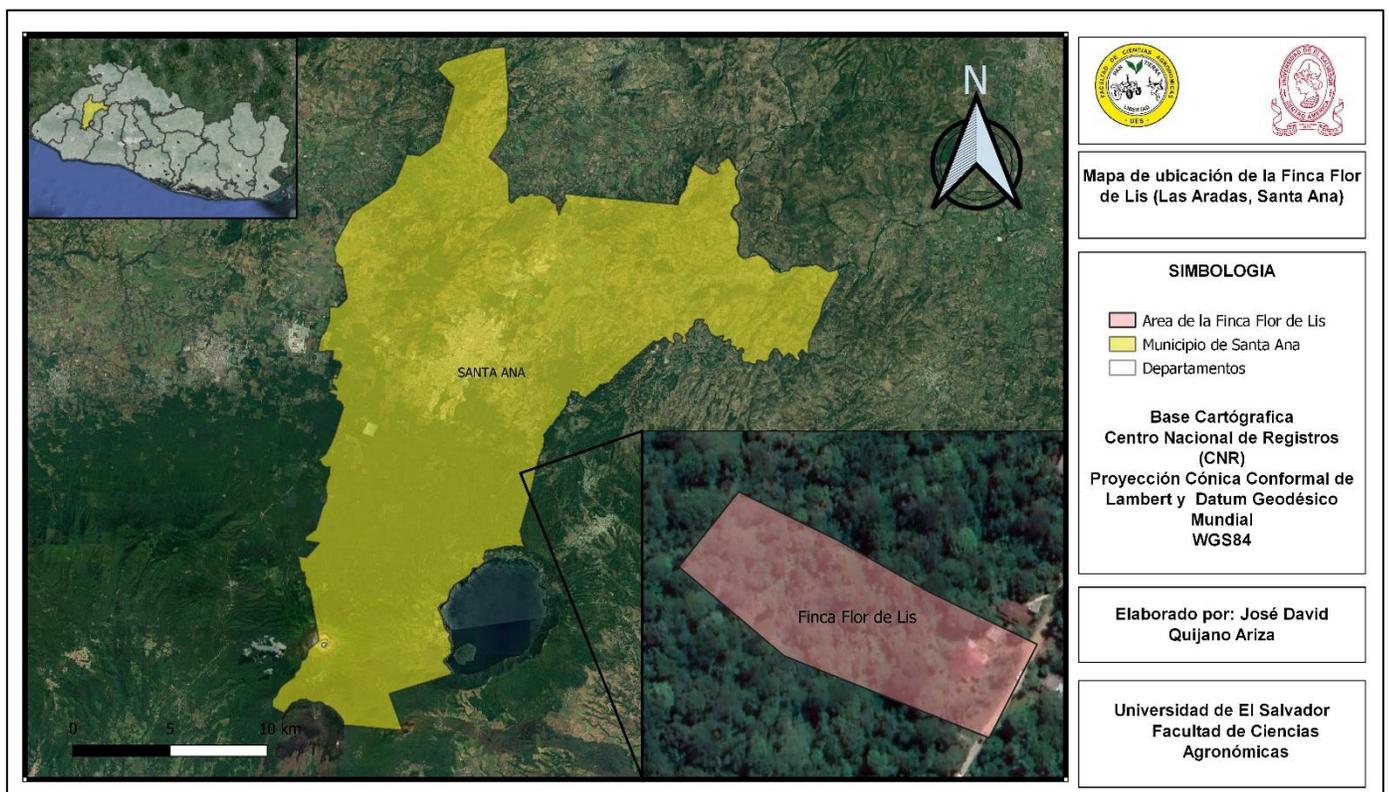


Figura 10. Mapa de ubicación, sitio del proyecto de investigación

## 6.2 Fase de Campo

### 6.2.1 Visitas a la finca Flor de Lis.

Después de seleccionar la finca en estudio, las visitas de recolección de datos fueron a la finca Flor de Lis, cada dos semanas se muestreaba una parcela haciendo un total de 4 visitas, en el área de los 48 surcos se dividió y se delimitó en 4 secciones o parcelas, en esas visitas se muestreo una parcela por visita. Después de la aplicación del caldo bordelés se realizaron dos visitas más para la toma de datos para verificar si hubo algún tipo de efecto por el caldo, en cada visita se tomaron dos parcelas cubriendo el área de estudio.

### 6.2.2 Delimitación del área de estudio.

El área utilizada para el muestreo de la roya de café fue de 2734.91 m<sup>2</sup> (0.391 Mz), cuya delimitación se realizó con ayuda de un dispositivo GPS y programas SIG, esta área se dividió en 4 partes para determinar diferencias entre estratos y parcelas, cada parcela tiene 48 surcos seleccionando 30 plantas por surco.

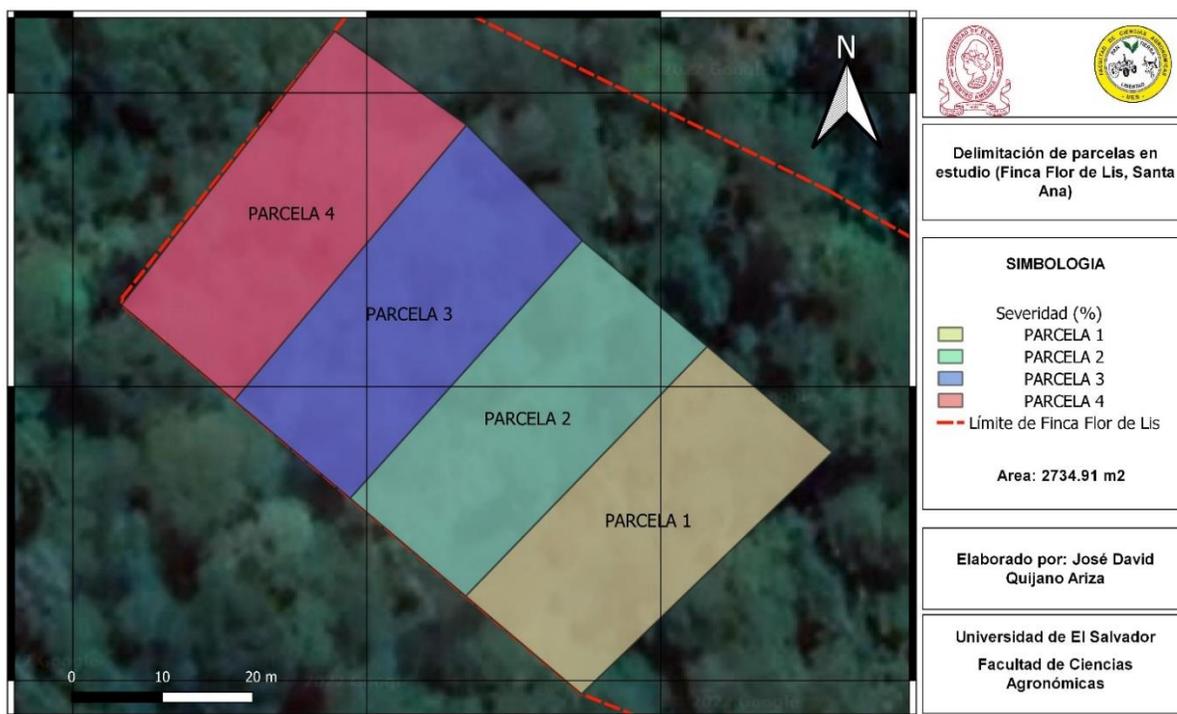


Figura 11. Delimitación de parcelas en la zona de estudio

### 6.2.3 Materiales, instrumentos y equipo de la investigación.

Para llevar a cabo este proyecto se inició el trabajo con el método científico, primero se identificaron los problemas, luego se identificaron los principales problemas en el área de estudio. Además, se realiza el arreglo de trabajo, comenzando con la definición del título de la investigación, luego los objetivos, seguido de la recopilación de información, para llegar al planteamiento del plan de manejo para el control de la enfermedad. Se hizo uso de formatos de registro de incidencia y severidad de la roya, y del diagrama de porcentaje de severidad propuesta por Capucho et. al. (2011). En cuanto al equipo fue necesario contar con una laptop que ayudó a la recolección de información para la elaboración del proyecto de investigación, programa QGIS v.3.18, Google Earth y Google Maps.

### 6.2.4 Metodología de campo

En la finca Flor de Lis, la variedad de café más susceptible a la roya (*Hemileia vastatrix*) es la Costa Rica 95 por ello, para la investigación de seleccionaron 48 surcos de 30 plantas de esta variedad, de estos surcos se seleccionó una planta para muestreo por surco al azar, haciendo un total de 48 plantas y 12 plantas por parcela (Figura 12).

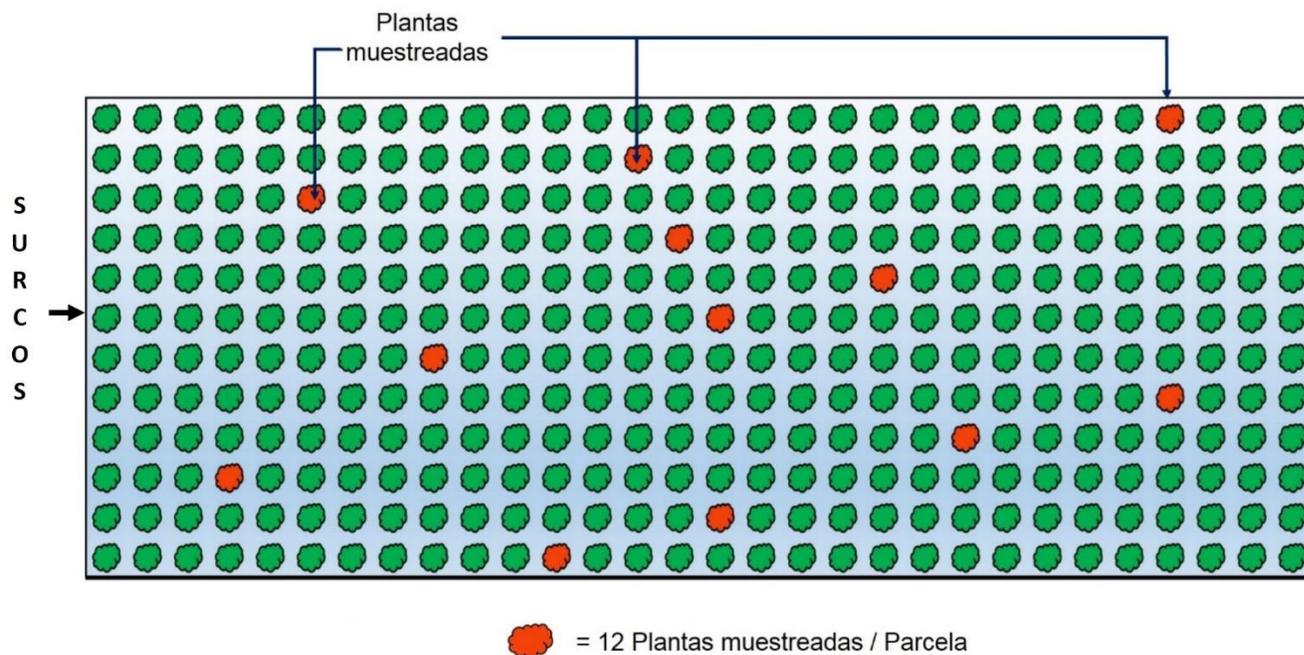


Figura 12. Muestreo de plantas por parcela.

Cada una de las 48 plantas de café se estratificó en tres niveles: inferior, medio, superior (Figura 13).

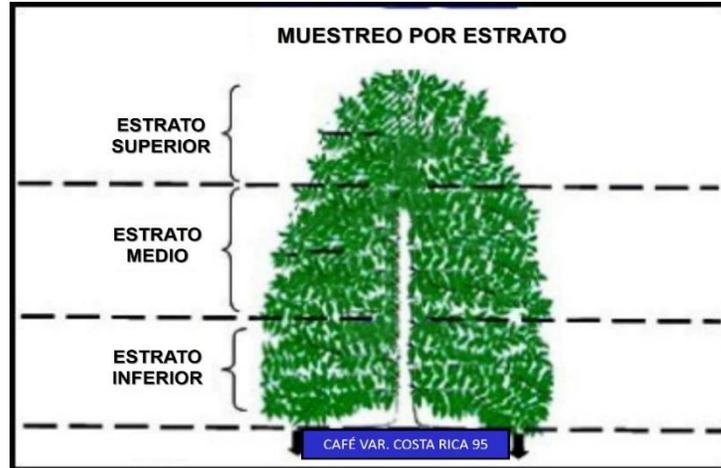


Figura 13. Muestreo en cada planta de café, en su estrato bajo, medio y superior.

Para la determinación de la incidencia en cada planta se tomaron tres bandolas al azar, una de la parte alta, media y baja de la planta; en cada bandola se determinó el número de hojas totales, hojas con roya y el total de hojas sanas, teniendo la cantidad de hojas muestreada se calculó la incidencia a través de una formula, se utilizó la fórmula de la incidencia propuesta por Feijóo (2014), la cual es la siguiente:

$$INC(\%) = \frac{NHR}{NHT} \times 100$$

Dónde: INC (%)= porcentaje de incidencia.

NHR = Número de hojas con roya en rama evaluada.

NHT= Número de hojas sanas e infectadas en rama evaluada.

En cuanto al porcentaje de severidad se determinó mediante el diagrama porcentual de severidad del café en el área foliar propuesto por Capucho et al. A. (2011) que considera en seis niveles de daño del área foliar que va del 2 a 80% (Figura 14).

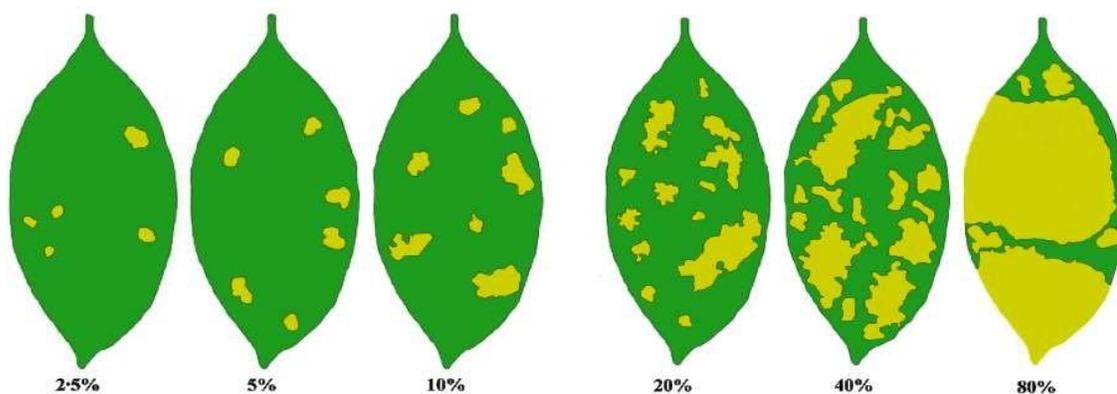


Figura 14. Esquema del diagrama porcentual de severidad del café en el área foliar propuesto por Capucho et. al. (2011).

Se tomaron dos hojas por estrato de la planta, se evaluó la severidad en cada hoja haciendo un total de seis hojas, determinando el porcentaje con el diagrama porcentual, y luego calculando la severidad total por plantas utilizando la fórmula descrita por Capucho et al. A. (2011), que se detalla a continuación.:

$$SEV(\%) = \frac{(N1 * 1) + (N2 * 2) + (N3 * 3) + (N4 * 4) + (N5 * 5) + (N6 * 6)}{N * 4} \times 100$$

Dónde: N1= número de hojas con valor 1 de la escala.

N2= número de hojas con valor 2 de la escala.

N3= número de hojas con valor 3 de la escala.

N4= número de hojas con valor 4 de la escala.

N5= número de hojas con valor 5 de la escala.

N6= número de hojas con valor 6 de la escala.

N= total de hojas evaluadas.

### 6.2.5 Elaboración del caldo bordelés

Para la elaboración del caldo bordelés se depositaron 2 litros de agua en uno de las cubetas y se disolvió el sulfato de cobre. Si se usa agua tibia, la dilución es más rápida; en la otra cubeta se depositó la cal hidratada (también puede ser cal para cocer maíz), luego se añadió un poco de agua en donde se formó una pasta. En la cubeta en que se preparó la pasta de cal, se agregó agua hasta completar 5 litros y se disolvió bien, utilizando una paleta de madera; En un barril o recipiente de plástico con una capacidad de 20 litros, se depositó la solución de cal y luego sobre esta la solución de sulfato de cobre y se disolvió bien. Se completa con agua la capacidad del barril de 20 litros y revuelva muy bien con una paleta de madera. Fue necesario realizar una prueba de acidez, sumergiendo un machete por 3 minutos en el caldo, luego aireándolo y observando que, si el machete se veía oxidado, el caldo estaba ácido, por lo que añadió más cal y se repitió la prueba, finalmente, escurrió muy bien antes de la aplicación, la aplicación de este caldo debe realizarse de 50 a 60 días antes de la maduración de los frutos.

Cuadro 3. Materiales y materias primas para la elaboración del caldo bordelés.

Materiales	Cantidad
Agua	20 litros
Sulfato de cobre	8 onzas
Cal hidratada	8 onzas
Cubetas plásticas	2 unidades
Machete	1 unidad
Palo para agitar	1 unidad

### 6.3 Aplicación del caldo bordelés en el área de estudio

Después de la elaboración del caldo, en el sitio de muestreo se realiza las respectivas aplicaciones del caldo bordelés en las fechas del 16 y el 30 de septiembre, con una dosis de 4 litros de caldo bordelés por bomba (17 lt de capacidad) (Anexo 5), la primera la a aplicación se realizó en las parcelas 1 y 2, y la segunda aplicación en las parcelas 3 y 4 (Figura 11). En ambas fechas

mencionadas se aplicaron dos aplicaciones de caldo bordelés, para el día 26 de octubre, un mes después de la última aplicación del caldo, se realiza la última toma de datos abarcando las 4 parcelas.

#### **6.4 Análisis de datos**

Luego de obtener los resultados de las muestras y el posterior análisis con base en la aplicación del caldo bordelés, fue posible emitir un análisis referenciando los resultados de las plantas muestreadas. Para ello, fue necesario comparar los resultados obtenidos contra la aplicación del caldo bordelés con datos de plantas muestreadas antes de la aplicación del mismo insumo.

Para ello fue necesario procesar la información obtenida a través de formatos de muestreo de incidencia y severidad de la roya del café, esto realizado antes y después de la aplicación del caldo bordelés (Cuadros 7 y 8). Los datos que se obtuvieron fueron trasladados a los programas Infostat y Excel para su respectivo análisis mediante el uso de estadística descriptiva, tabulación de cuadros y representación gráfica.

## VII. RESULTADOS Y DISCUSION

### 7.1 Incidencia por estrato antes de la aplicación del caldo bordelés.

#### 7.1.1 Estrato inferior

Cuadro 4. Promedios de incidencia del estrato inferior antes de la aplicación del caldo bordelés.

ESTRATO INFERIOR	
Parcela	Incidencia de roya (%)
1	41,00
2	63,11
3	62,82
4	51,87

Fuente: Elaboración propia

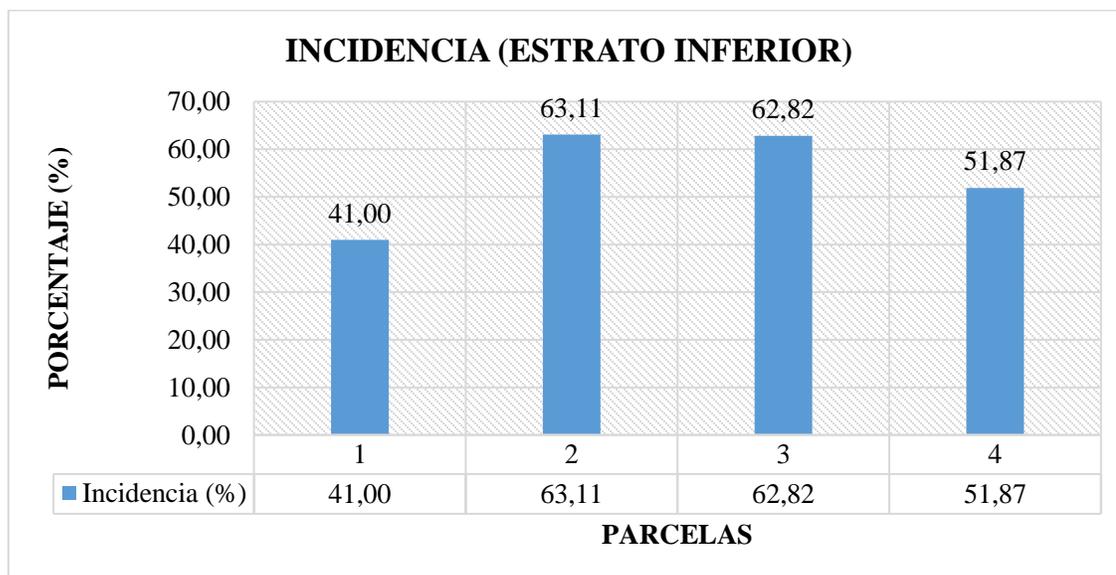


Gráfico 1. Porcentaje de incidencia de la roya del café en el estrato inferior antes de la aplicación del caldo bordelés.

**Análisis:** Los resultados del análisis comparativo de la incidencia de roya muestran que la parcela 2 es la que presenta el mayor porcentaje de incidencia con el 63.11% en comparación con los cafetos de las otras parcelas, se puede expresar que la parcela 3 está casi al mismo nivel de incidencia con la parcela 2 ya que se presenta una diferencia del 0.29% mientras que en la parcela 1 presento el menor nivel de incidencia con valores del 41%. Estos resultados se deben a que factores como las precipitaciones, la temperatura y la humedad relativa crean condiciones favorables para el crecimiento de la roya. Según MARN (2022) los meses de julio a septiembre de 2022, las temperaturas fueron entre los 25.1 a 25.9 grados, humedad relativa del 81% al 85% y precipitaciones 308.6 a 519.3 mm, estos factores han propiciado la esporulación del fitopatógenos, cuando se realizó el primer muestreo en agosto, ya se presentaban las primeras manchas amarillas de roya en los cafetos (Figura 15)



Figura 15. Primeros síntomas de la roya del café (agosto 2022)

### 7.1.2 Estrato medio

Cuadro 5. Promedios de incidencia del estrato medio antes de la aplicación del caldo bordelés.

ESTRATO MEDIO	
Parcela	Incidencia de roya (%)
1	43,12
2	65,37
3	57,03
4	33,94

Fuente: Elaboración propia

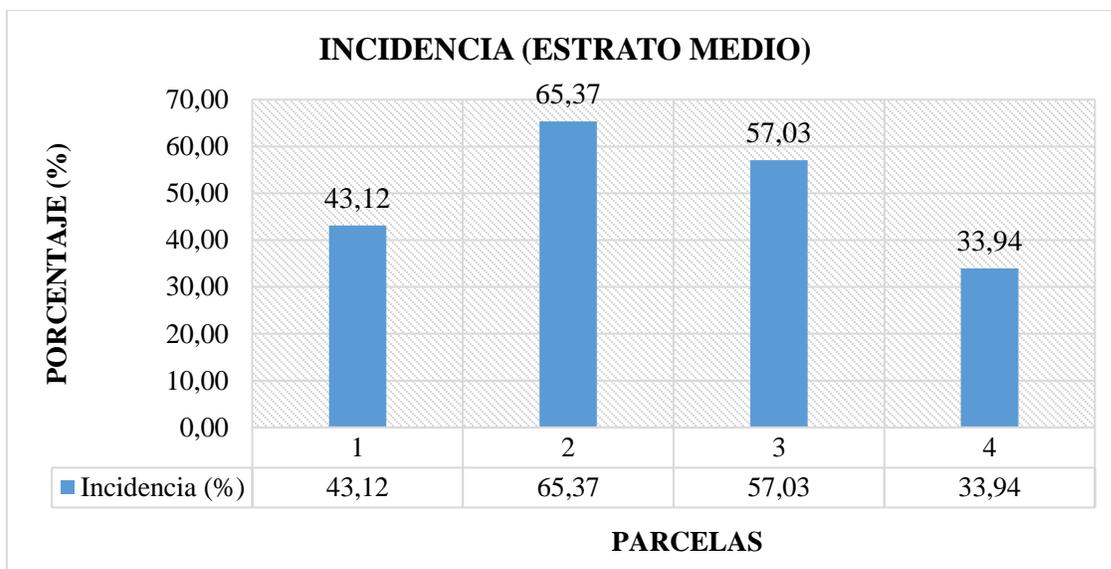


Gráfico 2. Porcentaje de incidencia de la roya del café en el estrato inferior antes de la aplicación del caldo bordelés.

**Análisis:** El nivel de incidencia del estrato medio de acuerdo a los valores obtenidos en el muestro de indican que la parcela 2 tiene la mayor incidencia de roya con el 65.37%, mientras que la parcela 3 representa el 57.03% de incidencia, la parcela 1 tiene el 43.12 % de nivel incidencia y la parcela 4 es la que tiene el menor nivel de incidencia con un porcentaje del 33.94%. Estos porcentajes se apegan según los efectos de los factores climáticos que se mencionaron anteriormente, ya que la segunda toma de datos se realizó en la última semana de agosto del 2022, en donde se reportaron temperaturas promedio de 25.5 grados y precipitación acumulada del mes de 519.3 mm, facilitando la esporulación del hongo.

### 7.1.3 Estrato superior

Cuadro 6. Promedios de incidencia del estrato superior antes de la aplicación del caldo bordelés.

ESTRATO MEDIO	
Parcela	Incidencia de roya (%)
1	38,74
2	43,65
3	36,30
4	18,54

Fuente: Elaboración propia

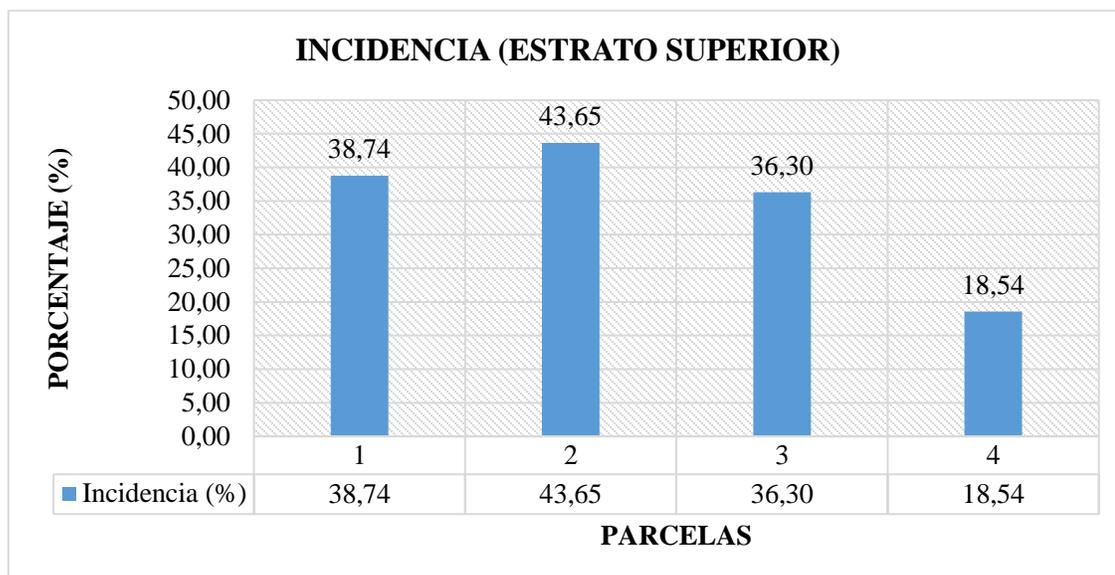


Gráfico 3. Porcentaje de incidencia de la roya del café en el estrato superior antes de la aplicación del caldo bordelés.

**Análisis:** Analizando el gráfico 3 se puede observar que la parcela 2 tuvo el mayor nivel de incidencia representando el 43.65 %, en el caso de las parcelas 1 y 3, los porcentajes de incidencia son de 38.74% y 36.30% respectivamente, teniendo una leve diferencia del 2.44% asemejándose casi al mismo nivel de infección del fitopatógenos, la parcela 4 tuvo un porcentaje de incidencia del 18.54% representando los valores más bajo entre parcelas y a la vez el valor más bajo de incidencia de todos los estratos de las parcelas.

Si se observa en las gráficas 1,2 y 3, el estrato superior posee los valores más bajos de incidencia en el área de estudio, ya que en los estratos inferior y medio los valores están entre el 33.94% y el 65.37%, si se observa el comportamiento del hongo, la distribución de las uredosporas ha sido desde el suelo en dirección hacia a la zona apical del cafeto. (Figura 16)

Según Santiago et. al. (2020) señala que esta distribución en los estratos se debe a factores como la disposición de tejido vegetal, la cantidad de luz/sombra y edad del cafeto; en general, el estrato medio tiene mayor cantidad de tejido vegetal, mientras que el estrato superior está compuesto de tejido nuevo o en formación y el inferior tiene menor número de ramas. La sombra varía en los estratos de los estratos y se conoce que tiene efectos antagónicos en la colonización y esporulación de la roya. Por otra parte, Castaño-Zapata (1994) indica que las hojas nuevas o en formación son más propensos a la enfermedad que a las hojas viejas, caso que no ha afectado mucho en el estrato

superior de los cafetos por lo que se hace necesario la aplicación de tecnologías o alternativas agroecológicas para combatir y evitar que se propague más las esporas de la roya.

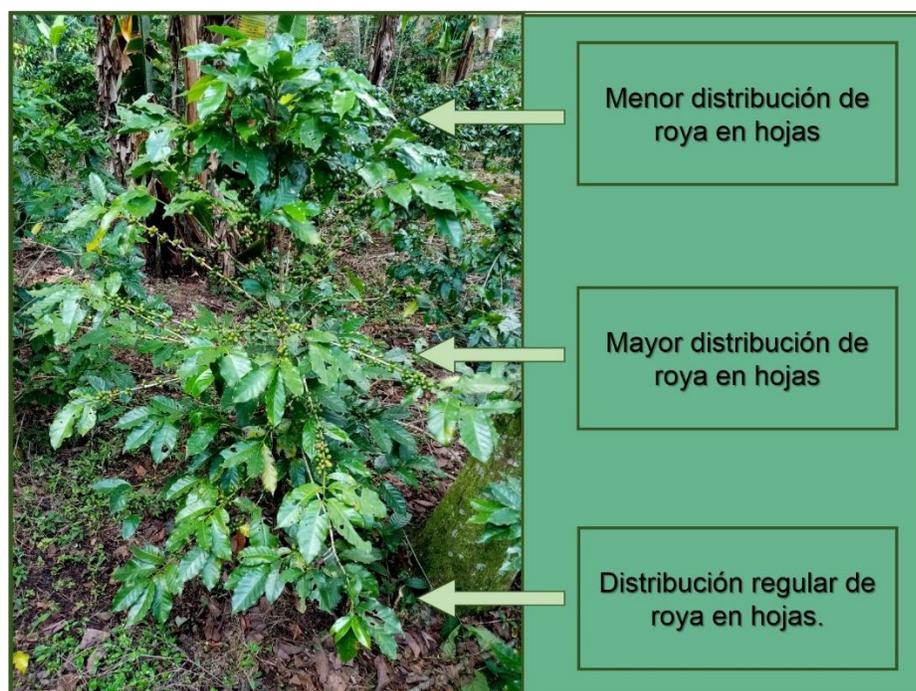


Figura 16. Distribución de roya en los tres estratos del café.

## 7.2 Severidad por estrato antes de la aplicación del caldo bordelés.

### 7.2.1 Estrato inferior

Cuadro 7. Promedios de severidad del estrato inferior antes de la aplicación del caldo bordelés.

ESTRATO INFERIOR	
Parcela	Severidad de roya (%)
1	20,58
2	24,33
3	20,17
4	14,67

Fuente: Elaboración propia

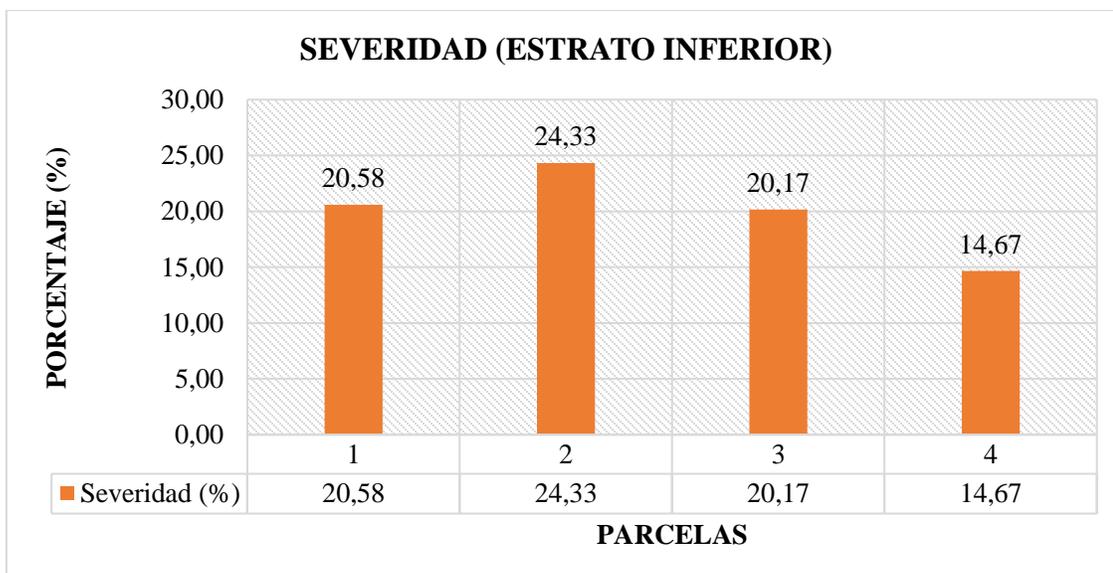


Gráfico 4. Porcentaje de severidad de la roya del café en el estrato inferior antes de la aplicación del caldo bordelés.

**Análisis:** Analizando de la tasa de severidad de la enfermedad de la roya se encuentra que la parcela 2 es la que presenta el mayor porcentaje de incidencia con el 24.33% en comparación con los cafetos de las otras parcelas en estudio, también es la que mayor severidad tiene entre todos los estratos del área de estudio, en el caso de las parcelas 1 y 3, los porcentajes de severidad son de 20.58% y 20.17% respectivamente, teniendo una mínima diferencia del 0.41% en donde prácticamente tienen el casi el mismo nivel de severidad distribuido en el estrato, mientras que en la parcela 4 presento el menor nivel de incidencia con el valor de 14.67%.

### 7.2.2 Estrato medio

Cuadro 8. Promedios de severidad del estrato medio antes de la aplicación del caldo bordelés.

<b>ESTRATO INFERIOR</b>	
<b>Parcela</b>	<b>Severidad de roya (%)</b>
<b>1</b>	20,50
<b>2</b>	22,13
<b>3</b>	20,83
<b>4</b>	15,42

**Fuente:** Elaboración propia

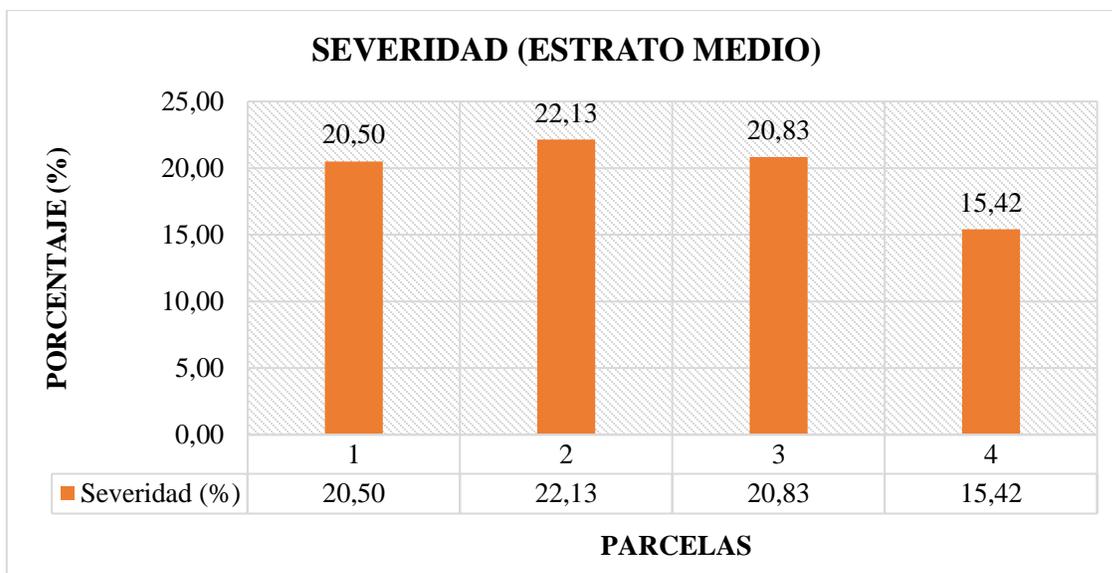


Gráfico 5. Porcentaje de severidad de la roya del café en el estrato medio antes de la aplicación del caldo bordelés.

**Análisis:** De acuerdo a los porcentajes de severidad del estrato medio indican que la parcela 2 tiene la mayor incidencia de roya con el 22.13%, la parcela 3 representa el 20.83% de severidad, este valor es casi similar al valor de la parcela 1 el cual tiene el 20.50 % de nivel incidencia, con una mínima diferencia del 0.33% y la parcela 4 es la que tiene el menor nivel de severidad con un porcentaje del 15.42%. Estos valores han sido determinados durante la toma de datos en los meses de agosto y septiembre del 2022, los altos índices de severidad de la roya que se presentaron en esos meses se debió a que en este periodo del año las afectaciones por enfermedades se incrementan ya que las condiciones favorables (lluvia y temperatura) favorecen su desarrollo, mostrándose hojas con niveles de severidad entre el 5% a 20%. (Figura 17)



Figura 17. Severidad en hojas del estrato medio (agosto 2022)

Otro factor importante es la carga fructífera del estrato medio en los cuatros parcelas (Figura 18), lo que genera un cierto grado de estrés, y esta condición también favorece el desarrollo de la severidad, ya que López (2010) reporta que existe un efecto positivo de la carga fructífera sobre la severidad de la roya del café lo que se traduce que a menor afectación de la roya en las plantas sin o con poca producción que en plantas con mucha producción.



Figura 18. Carga fructífera en estrato medio (Parcela 2)

### 7.2.3 Estrato superior

Cuadro 9. Promedios de severidad del estrato superior antes de la aplicación del caldo bordelés.

<b>ESTRATO INFERIOR</b>	
<b>Parcela</b>	<b>Severidad de roya (%)</b>
<b>1</b>	17,50
<b>2</b>	18,58
<b>3</b>	15,71
<b>4</b>	11,79

Fuente: Elaboración propia

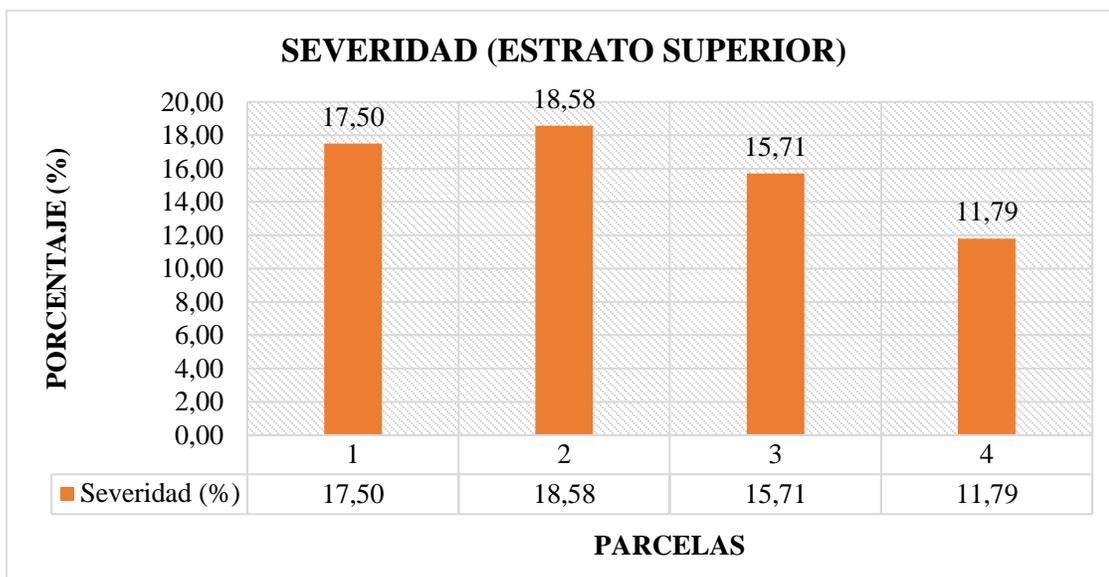


Gráfico 6. Porcentaje de severidad de la roya del café en el estrato superior antes de la aplicación del caldo bordelés.

**Análisis:** Como se puede observar en el gráfico 3, la parcela 2 tuvo el mayor nivel de incidencia representando el 18.58 %, mientras la parcela 1 tuvo el porcentaje del 17.50% teniendo una diferencia del 1.08% comparando con el valor de la parcela 1, la parcela 3 obtuvo el 15.71% de severidad y por último la parcela 4 tuvo un porcentaje de incidencia del 11.79 % obteniendo los valores más bajo entre parcelas y a la vez el valor más bajo de incidencia de todos los estratos de las parcelas.

Así como en los análisis de incidencia, los valores de severidad del estrato superior fueron los más bajos, debido al mismo comportamiento del patógeno en la distribución de la espora en cada estrato de los cafetos, a la vez hay una menor carga fructífera en el estrato superior, lo que se produce una menor severidad de la enfermedad.

### 7.3 Relación entre la incidencia y severidad de la roya del café

Este estudio muestra que la incidencia y la severidad de la roya del café (*Hemileia vastatrix*) están correlacionadas en los valores generales de la planta, estos datos pertenecen a las plantas que fueron muestreadas antes de la aplicación del caldo bordelés (Cuadro 10), ya que, el coeficiente de correlación ( $r$ ) es de 0.61 y estadísticamente significativo; mientras que el coeficiente de determinación ( $R^2$ ) es del 77% correspondiendo el valor más alto en comparación a las plantas

muestreadas después de la aplicación del caldo bordelés lo que significa que la severidad obtenida se explica por la incidencia (Cuadro 10). En el caso de la incidencia y severidad en plantas muestreadas después del caldo bordelés, el índice de correlación se presenta con un valor de 0.26 y estadísticamente con una tendencia positiva baja, mientras que en el coeficiente de determinación ( $R^2$ ) existe una correlación moderada entre las dos variables. con un valor de 0.51 (Cuadro 10). Otiniano et al. al (2019), reportaron resultados de una investigación similar a este tema en San Ramón, Perú, en su trabajo indicaron una correlación muy alta entre la incidencia y la severidad de la roya del cafeto con un valor de 0.90, concluyendo así, que la enfermedad solo se puede evaluar con precisión midiendo la incidencia. También es más simple, más práctico, más barato y más fácil de aprender para los productores de café.

Cuadro 10. Coeficiente de correlación ( $r$ ) y coeficientes de determinación [ $R^2$ ] entre la incidencia y la severidad de la roya del café (*Hemileia vastatrix*) evaluados antes y después de la aplicación del caldo bordelés.

Y X	Severidad (Sin C. Bordelés)	Severidad Caldo Bordelés (C. Bordelés)
Incidencia (Sin C. Bordelés)	<b>(+ 0.61*) [77.00]</b>	
Incidencia Caldo Bordelés (C. Bordelés)		<b>(+ 0.26*) [51.00]</b>

\*/ Significancia estadística al 5% de probabilidad

En cuanto al coeficiente de determinación, es de 0.77, valor estadísticamente significativo y casi similar al coeficiente de correlación del trabajo de Tapia et. al. (2014), quienes determinaron la severidad de la roya del café y la precisión de aplicar la metodología propuesta por Capucho et. a. (2010) utilizando el software Image Tool 3.0 basado en el diagrama de porcentaje de gravedad, indicando el coeficiente de determinación con un valor de 0.80, lo que se traduce que los datos obtenidos con el software Image Tool 3.0 están relacionados con los del diagrama, y que pueden

ser una herramienta sencilla para evaluar una gran cantidad de hojas, comprobando al mismo tiempo que el diagrama utilizado en este estudio refleja resultados significativamente positivos

En el caso de los valores de incidencia y severidad de las plantas obtenidos tras la aplicación de caldo bordelés, se observa en los valores del cuadro 10 que no existe una correlación significativa entre la incidencia y la severidad de las plantas tomada después de la aplicación del caldo, al menos para el período en que se evaluaron estas variables. De lo anterior, se deduce que no es posible que se genere valor medio o esperado que explique satisfactoriamente incidencia de la roya en relación a la severidad de la misma en el corto período que se dejó actuar el caldo bordelés sobre las esporas de la roya (*Hemileia vastatrix*).

#### 7.4 Nivel de incidencia de roya de café por parcela después de la aplicación del caldo bordelés.

El porcentaje de incidencia es mayor en algunas parcelas, pero el porcentaje de la severidad varía, la incidencia y severidad de la enfermedad que se presenta en las parcelas del área del cultivo de café (var. Costa Rica 95), varía dependiendo de varios factores como la luz, sombra, humedad, distanciamientos de sombra, entre otros.

Cuadro 11. Comparación de incidencia de la roya antes y después de la aplicación del caldo bordelés en las parcelas de café arábica (var. Costa Rica 95)

Cultivo de Café Var. CR-95	Parcela	Incidencia antes de aplicación de caldo (%)	Incidencia después de aplicación de caldo (%)	Diferencia (%)
	1	40,95	31,49	9,47
2	57,38	35,78	21,60	
3	52,05	35,60	16,45	
4	34,79	27,77	7,01	

**Fuente:** Elaboración propia

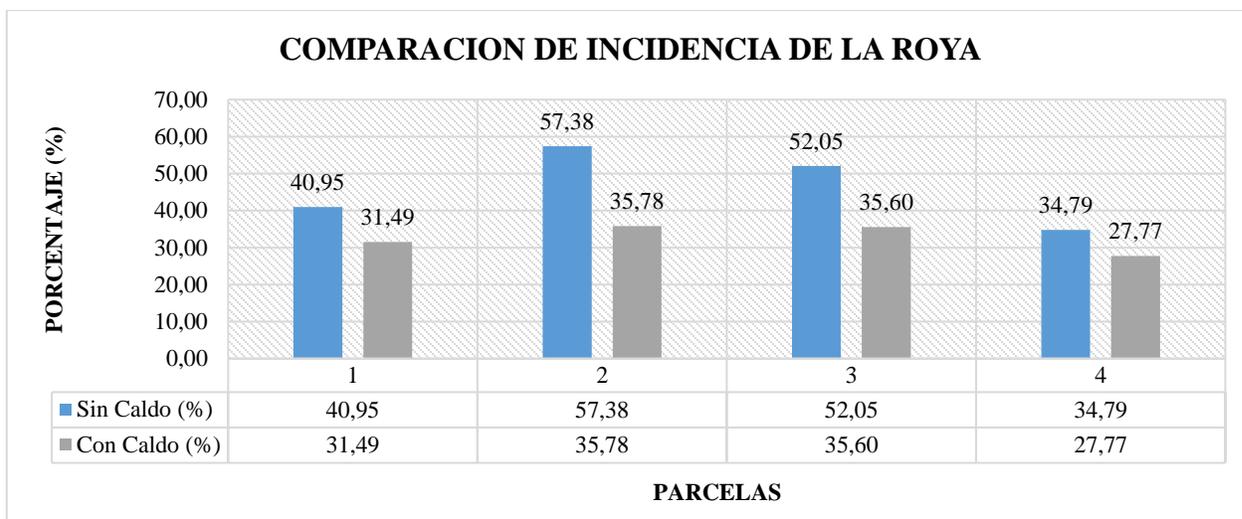


Gráfico 7. Comparación de la incidencia de la roya del café (*Hemileia vastatrix*) antes y después de la aplicación del caldo bordelés.

En el gráfico 7 se puede observar que en el caso de la parcela 2, es el que presentaba más daño porque de la cantidad total de las hojas muestreadas el 57.38 % de estas hojas eran de incidencia de roya, al realizar dos aplicaciones de caldo en el área del cultivo, lo cual hizo la incidencia disminuyera al 35.78 % con una diferencia amplia del 21.60 %. Vargas (2021), reportó resultados de una investigación similar a este tema en Caranavi, Bolivia, hicieron un ensayo dentro uno de ellos incluía la frecuencia de aplicación de caldo a los 15 días en su trabajo indicaron que la diferencia de incidencia es del 16.80%, lo que da resultados cercanamente similares, pero según Vargas (2021) reporta que, si se aplicara el caldo bordelés en una frecuencia de 30 días, los resultados mejorarían porque la reducción de la incidencia llegaría al 35%.

También en el cuadro 11, observamos que el segundo mejor resultado es la parcela 3 con un porcentaje de incidencia del 52,05%, esta parcela al ser sometida a la aplicación del caldo bordelés tuvo una reducción del 16,45%, alcanzando una incidencia de 35,60%, este valor porcentual es el más cercano a los resultados de la investigación de Vargas (2021), ya que las diferencias entre los porcentajes son de 0,25%, una diferencia mínima. En el caso de la parcela 1 antes de que se le aplicara el caldo bordelés el porcentaje de incidencia era de 40.95 %, tras la aplicación esta variable tuvo una reducción del 9.47 %, quedando la incidencia al 31.49%. La parcela 4 tuvo una reducción de la incidencia del 7.01% el valor más bajo comparando con las otras parcelas.

## 7.5 Nivel de severidad de roya de café por parcela después de la aplicación del caldo bordelés.

En base a los datos obtenidos se elaboró el Cuadro 12 para mejorar y sintetizar los resultados de incidencia de cada parcela de la variedad Costa Rica 95 (CR-95) de la finca Flor de Lis. El daño de la roya de la plantación de café varía de un sitio a otro, y algunos se ven más afectados que otros.

Cuadro 12. Comparación de severidad de la roya antes y después de la aplicación del caldo bordelés en las parcelas de café arábica (var. Costa Rica 95)

Cultivo de Café Var. CR-95	Parcela	Severidad antes de aplicación de caldo (%)	Severidad después de aplicación de caldo (%)	Diferencia (%)
	1	19,53	15,18	4,35
	2	21,68	16,60	5,08
	3	18,90	14,03	4,87
	4	13,96	11,03	2,93

Fuente: Elaboración propia

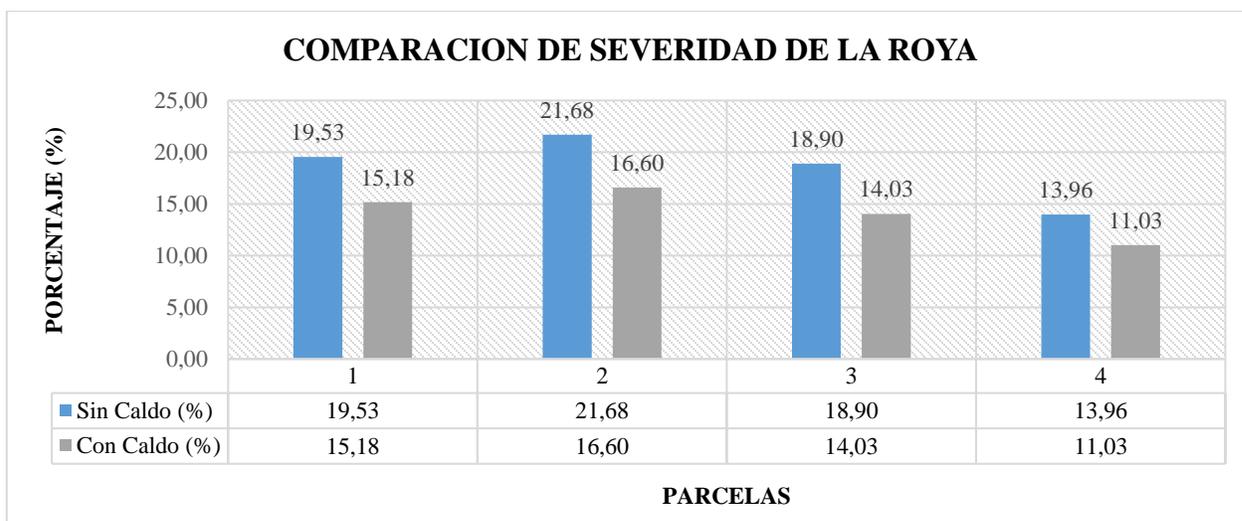


Gráfico 8. Comparación de la severidad de la roya del café (*Hemileia vastatrix*) antes y después de la aplicación del caldo bordelés.

En el cuadro 12 se refleja el porcentaje de la severidad de la parcela 2, donde se registra como la parcela con mayor severidad con un valor del 21.68 %, este dato pasa igual con la incidencia, ya

que en el gráfico 8 indica que esta misma parcela tiene el mayor porcentaje, al realizar dos aplicaciones de caldo en el área del cultivo, lo cual hizo la severidad disminuyera al 16.60 % con una diferencia amplia del 5.08 %. También en el gráfico 6, observamos que el segundo mejor resultado es la parcela 1 con un porcentaje de severidad del 19.53 %, esta parcela al ser sometida a la aplicación del caldo bordelés tuvo una reducción del 4.35 %, alcanzando una tasa de severidad del 15.18%, En el caso de la parcela 3 antes de que se le aplicara el caldo bordelés el porcentaje de incidencia era de 18.90 %, tras la aplicación esta variable tuvo una reducción del 4.87 %, quedando la incidencia al 14.03 %. La parcela 4 tuvo una reducción de la incidencia del 2.93 % el valor más bajo comparando con las otras parcelas. Montejo (2018), informe sobre porcentajes de severidad realizado con fungicidas y uno de esos es el caldo bordelés, en Jacaltenango, Guatemala, este trabajo indica que la diferencia de incidencia entre los rangos de 1.10 a 1.40%, lo que da resultados cercanos al de la parcela 4, pero según Montejo (2018) reporta que, que con ese porcentaje es poco aceptable para la baja de la severidad

#### **7.6 Propuesta de control agroecológico de la roya del café (*Hemileia vastatrix*).**

Los resultados obtenidos del análisis sobre la incidencia y severidad de la roya del café (*Hemileia vastatrix*) en la finca Flor de Lis, indicaron que para los meses agosto y septiembre de la roya del café afectó levemente los cafetos de la variedad Costa Rica – 95, debido a las condiciones climáticas que beneficiaron a la enfermedad a desarrollarse y propagarse dentro del cafetal, pero el progreso de esta enfermedad se pudo controlar en cierta medida con la aplicación del caldo bordelés, lo que generó condiciones atípicas que perjudicaron el desarrollo de la enfermedad, por lo que no permitió que causara grandes efectos negativos en la calidad y cantidad del café. El productor debe desarrollar un plan en el manejo de su cultivo, mejorando las prácticas que mejoren la fitoprotección del cafetal, empezando con la vigilancia de las enfermedades especialmente de la roya del café, por lo que es necesario realizar monitoreo de cada mes, especialmente en los meses de transición a la época lluviosa, la recolección de datos se puede realizar utilizando el formato de incidencia y severidad de la enfermedad (Cuadros A-1 y A-2) aplicando la metodología que se realizó en el presente estudio.

Además de la aplicación de caldo bordelés, para el control agroecológico de la roya en la finca se pueden utilizar diferentes estrategias de control, a base de extractos, microorganismos, caldos

minerales y pesticidas orgánicos; entendiendo que el control no puede basarse en una sola aplicación o un solo producto, el control de enfermedades debe entenderse completamente desde una perspectiva nutricional. La biotecnología orgánica, además de nutrir las plantas, controla la propagación del hongo en este la roya del café. En este apartado se presenta una propuesta de 10 ideas o métodos para el control agroecológico de la roya anaranjada, teniendo en cuenta la accesibilidad y facilidad de desarrollo del proceso de cada propuesta.

Cuadro 13. Propuesta de prácticas y tecnologías para el manejo y control de la roya del café (*Hemileia vastatrix*)

No	Practica/Biotecnología	Etapas del cultivo	Época del año	Lugar de practica aplicada
1	Regulación de sombra y poda de cafetos	Después de la cosecha	Febrero - Marzo	
2	Extracto de papaya	Prefloración	Mayo - Junio	Apaneca
3	Té de Mirto ( <i>Murraya paniculata</i> )	Prefloración	Abril-Mayo	Masaya, Nicaragua
4	Bioestimulante de chichicaste	Post floración	Mayo	Juayúa
5	Repelente EM5	Post floración	Mayo - Junio	Guaymango
6	Caldo sulfocálcico	Post floración	Mayo	San Pedro Puxtla
7	Caldo ceniza	Post floración	Mayo	Santa Tecla
8	Caldo visosa	Engruese de fruto	Junio-Julio	Apaneca
9	Pesticida a base de ceniza y leche agria	Engruese de fruto	Junio-Julio	Apaneca
10	Aplicación de <i>Trichoderma harzianum</i>	Engruese de fruto	Julio-Agosto	Santa Tecla

**Fuente:** Elaboración propia

Por lo tanto, se describen las siguientes alternativas de control de roya que consisten en aplicaciones biotecnológicas y una práctica cultural. cabe señalar que todos estos métodos no deben aplicarse en un solo ciclo de producción, estos métodos son opcionales.

### **7.6.1 Regulación de sombra y poda de cafetos.**

La regulación de sombra óptima es la que crea un espacio equivalente a dos veces la altura de las plantas de café entre el piso inferior de las copas de la sombra y el límite superior de las copas de los cafetos. La mejor época para realizar esta labor es luego de terminada toda la cosecha.

La poda consiste en eliminar el tejido vegetal agotado e inducir el crecimiento de tejido nuevo, lo que promueve la entrada de luz en las plantaciones y las labores de manejo del cultivo, lo que reduce los cultivos bienales productivos, favoreciendo las condiciones de roya y el mejor momento para la poda es inmediatamente después de cada cosecha. Para realizar esta práctica para combatir la roya del café es recomendable realizar la poda en forma de recepa realizando el corte a una altura de 25 a 30 centímetros sobre el nivel del suelo, el corte debe hacerse a un centímetro arriba de las yemas seleccionadas y se debe cortar con una sierra o una cola de zorro.

### **7.6.2 Aplicación de extracto de hojas de papaya (*Carica papaya*)**

Preparación de extracto de papaya para control de roya de café:

- Maceración de 2 libras de hojas de papaya agregando 6 litros de agua y
- Reposo de mezcla de un día.
- Se debe colar la mezcla por un pedazo de tela y agregar una penca de sábila (*Aloe vera*) o un pedazo de jabón en barra disuelto en agua caliente como adherente.
- Dosificación de 1.5 litros/bomba (4 galones)
- En caso de ataques fuertes de gotera, roya o muerte descendente en el cafetal, fumigue con caldo bordelés.

### **7.6.3 Aplicación de té de mirto (*Murraya paniculata*)**

Contiene pequeñas cantidades de nutrientes principalmente nitrógeno, fósforo y potasio, entre otros (López Pineda 2005)

Para la preparación de té mirto se pican 20 libras de hojas de mirto y se remueven dentro del ½ barril que está hirviendo con agua, para hacer la infusión, luego disuelven 3 onzas de jabón neutro en 25 litros de agua para obtener agua jabonosa (en caso de lluvia como adherente), para utilizar 4

litros de agua jabonosa por cada litro de solución, se cuela la mezcla de hojas en el barril de 200 litros y se completa con agua.

#### **7.6.4 Bioestimulante a base de chichicaste (*Urera baccifera*)**

El bioestimulante se utiliza principalmente en hortalizas y en café para prevenir enfermedades como la roya (*Hemileia vastatrix*) y el ojo de gallina (*Mycena citricolor*)

Preparación de bioestimulante a base de chichicaste: Colocar 10 litros de agua en la cubeta plástica. Colocar 1 litro de melaza en la cubeta con agua y diluir la melaza en el agua. Picar con un machete las 5 lbs de brotes de chichicaste en trozos pequeños y luego colocarlos en la cubeta. Colocar un litro de microorganismos líquidos en la cubeta y luego rellenar con agua hasta llegar a 20 litros de contenido. Sellar la cubeta correctamente. Estar removiendo el material colocado en la cubeta 1 vez por día durante los primeros 15 días.

La dosificación es de 1 galón por bomba de 4 galones para el cultivo de café, específicamente de la variedad (Costa Rica 95) afectada por la roya, el bioestimulante se puede utilizar a los 5 a 10 días después de la preparación, funciona muy bien para la prevención de enfermedades como roya y ojo de gallo con aplicación cada 21 días.

Según FUNDESYRAM (2022) indica que los resultados En café: después del 5 a 10 días de la preparación funciona muy bien para control y prevención de enfermedades como roya y ojo de gallo. Después de 10 días en adelante el efecto es más de un bioestimulante manteniendo un buen follaje.

#### **7.6.5 Extracto repelente de plantas (M5)**

El M5 es un caldo elaborado a base de materias primas orgánicas y funciona como repelente. Para la preparación del caldo se coloca 100 litros de agua en el barril, luego se agrega el galón de miel y se disuelve bien con el agua, después se pican bien fino 2.2 libras de ajo, 2.2 libras de cebolla, 4.4 libras de jengibre y se colocan dentro del barril, luego se agrega el galón de vinagre. 5. Se pican bien fino todas las plantas restantes (2 libras de zacate limón, 3 libras de flor de muerto, 3 libras de chichicaste, 3 libras de epacina, 2 libras de floripundia, 2 libras de hierbabuena, 2 libras

de ruda) y con ellas se termina de llenar el barril, al final se agrega un galón de microorganismos de montaña. El mantenimiento consiste en removerlo 2 veces diarias durante 15 a 20 días, ahí es cuando está terminado y listo para usar. Las dosis recomendadas van desde 250 hasta 350 centímetros cúbicos, aplicándolo al follaje de las plantas y tranqueado.

#### **7.6.6 Elaboración y aplicación de caldo sulfocálcico.**

El caldo sulfocálcico se compone de azufre y cal, para prepararlo se utiliza un recipiente con 20 litros de agua, el recipiente se coloca al fuego, hasta llegar a punto de ebullición, luego se vierte 8 lbs de azufre y 5 lbs de cal hidratada, cabe resaltar que la dosis puede variar, seguidamente se homogeniza por 30 minutos a fuego lento hasta que el líquido adquiera un color rojo ladrillo, se deja enfriar, luego se agrega unas gotas de aceite vegetal y está listo para su aplicación, se utiliza para controlar enfermedades fúngicas como la roya del café. El caldo sulfocálcico es excelente para proteger el café de la roya, tiene principios acaricidas y se comporta como repelente de algunos coleópteros, también contribuye al equilibrio nutricional de los cafetos. (FUNDESYRAM, 2022)

La aplicación del caldo se realiza con 200 a 250 cc por bomba de 20 litros, pero la peculiaridad de este caldo es que como el azufre y el cobre tienen un efecto residual en la planta e inclusive pueden ser tóxicos para la misma si lo absorbe en grandes cantidades, para los productos minerales de contacto se recomienda una frecuencia de aplicación de 2 a 4 semanas dependiendo de las condiciones climáticas. (ANACAFE, 2022)

#### **7.6.7 Elaboración y aplicación de caldo ceniza**

Este caldo se prepara a base de ceniza y jabón y se utiliza para el control, es utilizado para el control de plagas y enfermedades dañinas para las hortalizas, frutales, y puede controlar en cierta medida la roya anaranjada en el cultivo del café.

El caldo se prepara utilizando un perol con 20 litros de agua, el perol se coloca al fuego, hasta que el agua este hirviendo, cuando el agua esté hirviendo se agrega las 10 libras de ceniza, 5 libras de harina de rocas y después los 115 gramos de jabón (preferiblemente jabón para lavar platos), luego se comienza a mover hasta que se comienza a homogenizar la mezcla y partir de este momento

comenzar a contar 30 minutos que es el tiempo necesario para que el producto esté listo, luego se deja enfriar y almacenar para que esté listo para su aplicación. Para la aplicación de este producto se debe utilizar 2 litros por bomba de 20 litros (FUNDESYRAM, 2022)

### **7.6.8 Elaboración y aplicación de caldo visosa**

El caldo visosa controla eficazmente la roya a la vez que aporta micronutrientes a la planta, además de ser eficaz para controlar la roya, tiene un efecto positivo en la producción y se ha demostrado que tiene un impacto positivo en la Cercospora y los minadores del café. Además de esto corrige las deficiencias minerales produciendo plantas más vigorosas.

Para la preparación del caldo llena con 50 litros de agua en un barril plástico. Se echan en un balde pequeño 5 litros de agua y se le agrega 500 gramos de sulfato de cobre, 600 gramos de sulfato de zinc, 400 gramos de sulfato de magnesio y 400 gramos de ácido bórico, en las dosis recomendadas. Luego, con la paleta o palo se bate vigorosamente hasta mezclar bien. Entre tanto, otra persona puede colocar 50 litros de agua en otro barril plástico y agrega los 500 gramos de cal hidratada agitando vigorosamente con la paleta o palo. Ya lista la mezcla de cal hidratada, la solución de sales (primer barril) se mezcla en el barril de la mezcla de ceniza (nunca al revés) y revuelva constantemente. Está lista para usarse.

El caldo visosa o cualquier producto usado para prevenir la roya debe aplicarse a intervalos de 30 a 45 días, principalmente durante los meses de invierno, dependiendo de la intensidad de las lluvias, el caldo se aplica el mismo día de su preparación.

### **7.6.9 Aplicación de Pesticida orgánico de Ceniza y Leche agria.**

Es un pesticida orgánico elaborado principalmente a partir de ceniza y lecha agria y se utiliza como fungicida e insecticida al follaje para el control de plagas y enfermedades dañinas para las hortalizas controlando el hongo mildiú, en el cultivo de café, controla en cierta medida la roya (*Hemileia vastatrix*). Las funciones de este pesticida orgánico sustituyen productos químicos como: benlate, ridomil, tamaron, herald, folidol y otros.

El pesticida se prepara utilizando un recipiente con 1 litro de agua, se agrega una taza de ceniza y se remueve vigorosamente, luego se deja reposar la mezcla una noche con 1 taza de leche agria y está listo para aplicar. La dosis es de 1 litro de leche agria y cucharaditas de ceniza en una bomba de 4 galones (FUNDESYRAM, 2022)

#### **7.6.10 Uso de *Trichoderma harzianum* para el control de la roya.**

El hongo *Trichoderma harzianum* se utiliza como fungicida, en suplementos foliares, tratamientos de semillas y suelos para el control de diversas enfermedades producidas por fitopatógenos, entre una de ellas, la roya del café. El hongo es fácil de aislar y reproducir, por lo que muchas entidades apuestan por su comercialización, ya que introducirlo en el suelo es beneficioso para la planta, y no la daña porque no puede penetrar en las raíces.

Para la obtención del hongo se realiza a través de procesos de laboratorio, este hongo se encuentra en la madera o en hojas en estado de descomposición, hoy en día, hay instituciones, empresas o cooperativas en donde se encargan de la comercialización de este hongo como producto agroecológico. La dosis del hongo *Trichoderma harzianum* debe ser de 100 gramos del producto en 20 litros de agua o 85 gramos en una bomba de capacidad de 17 galones

## VIII. CONCLUSIONES

Los datos indican que antes de aplicar el caldo bordelés, la parcela 2 presentaba una mayor incidencia con el 57.38% y la parcela que tenía menos incidencia era la parcela 4 con el 34.79%.

En cuanto a la severidad, la parcela 2 también tenía los mayores valores de severidad con el 21.68 %, mientras que la parcela 4 registraba el 13.96 % de la severidad de la enfermedad, los valores más bajos.

La incidencia y la severidad tienen una correlación significativa del 0.61 entre ambas variables ya que entre algunas parcelas los niveles de incidencia y severidad destacan entre las más altas en valores como lo es en las bandolas del estrato medio, y las más bajas en el estrato superior, condiciones atípicas que no favorezcan la esporulación afectan a ambas variables, o condiciones favorables como la carga fructífera y los factores climáticos estimulan el desarrollo de la incidencia y severidad en cierto estrato.

El control de la roya del cafeto con caldo bordelés logró buenos resultados, la incidencia de la parcela 2 fue menor después de la aplicación del caldo, disminuyendo en un 21,60%., al mismo tiempo se reflejó en la severidad teniendo una reducción del 5.08 %, ambos porcentajes son adecuados para la reducción de la enfermedad de roya dando el más bajo y menos porcentaje, en la parcela 3 redujo en valores porcentuales del 16.45 % en incidencia y el 4.87 % en severidad, seguido se tiene la parcela con un valor de 9.47 % en incidencia y el 4.35 % en severidad, y por último la parcela 4 en general las plantas muestreadas llegaron a una reducción de la enfermedad con un valor de 7.01 % en incidencia y el 2.93 % en severidad.

En base a los resultados obtenidos en el monitoreo de la enfermedad se determinó que es necesario la implementación de técnicas y método de carácter agroecológico para combatir y convivir con la roya. Las tecnologías que se han propuesto como los caldos, bioestimulante, extractos y microorganismos permitirá aumentar el valor y productividad del cafetal, mejorar las prácticas de fitoprotección y manejar de forma agroecológica y sostenible el cultivo de la variedad Costa Rica 95, así como un equilibrio en el ecosistema, también se producirá buena calidad de cosechas, ya que eso es uno de los lineamientos de la certificación orgánica.

## IX. BIBLIOGRAFIA

- Agrios, G. N. 1995. Fitopatología (en línea). México D.F, México. 486 p. Consultado 29 ago. 2022. Disponible <http://biblioteca.utsem-morelos.edu.mx/files/asp/biologia/FITOPATOLOGIA%20-%20George%20N-Agrios.pdf>
- Amaya Meléndez, OR; Rosales Portillo, BG. 2019 Aislamiento y aplicación de *Simplicillium lanosoniveum* Zare y Gams 2001 para el control biológico de *Hemileia vastatrix* Berkeley y Broome 1869 (roya del cafeto) en Concepción de Ataco, El Salvador (en línea). Tesis Lic. en Biología. San Salvador, El Salvador, UES. Consultado 1 nov. 2022. Disponible en <https://ri.ues.edu.sv/id/eprint/20321/1/19201127.pdf>
- Alvarado Dimas, DJ; Evangelista Méndez, RE; Mejía Figueroa, KL. 2004. Identificación de territorios de café (*Coffea arabica*) de calidad en El Salvador (en línea). Tesis Ing. Agr. San Salvador, El Salvador, UES. Consultado 28 oct. 2022. Disponible en <https://ri.ues.edu.sv/id/eprint/1511/1/13100101.pdf>
- Altieri, M; Toledo, V. 2011. La Revolución Agroecológica en América Latina: rescate de la naturaleza, aseguramiento de la soberanía alimentaria y empoderamiento al campesino (en línea). Berkeley, EUA. Disponible en [https://www.semillas.org.co/apc-aa-files/5d99b14191c59782eab3da99d8f95126/AGROECOLOGIA\\_ALTIERTOLEDO.pdf](https://www.semillas.org.co/apc-aa-files/5d99b14191c59782eab3da99d8f95126/AGROECOLOGIA_ALTIERTOLEDO.pdf)
- ANACAFE (Asociación Nacional del Café, Guatemala). 2013. Análisis de 5 fungicidas de contacto para el control de la roya del café. Ciudad de Guatemala, Guatemala. 32 p. Consultado 14 dic 2022. Disponible en: <https://www.anacafe.org/glifos/index.php?title=16TEC:Fungicidas-control-roya>
- ANACAFE (Asociación Nacional del Café, Guatemala). 2016. Guía de variedades de café. Ciudad de Guatemala, Guatemala. 13 p. Consultado 31 jul 2022. Disponible en: <https://www.anacafe.org/uploads/file/9a4f9434577a433aad6c123d321e25f9/Gu%C3%ADa-de-variedades-Anacaf%C3%A9.pdf>

ANACAFE (Asociación Nacional del Café, Guatemala). 2019. Monitoreo de la Roya en Variedades Mejoradas de *Coffea arabica* L., en las Siete Regiones de Guatemala. Ciudad de Guatemala, Guatemala. 2 p. Consultado 4 nov 2022. Disponible en: <https://www.anacafe.org/uploads/file/4560ebe3898348a09fe81e96142f533b/BoletinEspecial-MonitoreoRoya-Marzo-2019.pdf>

Arcila, L; Farfán, F; Argemiro, B; Salazar, B; Hincapié, E. 2007. Sistemas de producción de café en Colombia (en línea). Chinchiná, Colombia. 39 p. Consultado 24 jul. 2022. Disponible en <https://www.cenicafe.org/es/documents/LibroSistemasProduccionCapitulo2.pdf>

Aucancela Guamán, D. 2017. propagación vegetativa de café robusta (*Coffea canephora*) utilizando dos hormonas enraizantes en diferentes concentraciones en el Cantón Bucay (en línea). Tesis Ing. Agr. Cumandá, Ecuador, UTA. Consultado 25 jul. 2022. Disponible en <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/25046/1/tesis%20020%20Ingenier%C3%ADa%20Agropecuaria%20-%20David%20Aucancela%20-%20cd%20020.pdf>

Avelino, J; Muller; R.A; Eskes, A; Santacreo, R., Holguín, F; 2013. La roya anaranjada del cafeto: mito y realidad, In: Bertrand, B., Rapidel, B. (Eds.), Desafíos de la caficultura en Centroamérica. Turrialba, Costa Rica. 194-241 p. Consultado 14 oct. 2022. Disponible en <http://hdl.handle.net/11554/3311>

Capucho, A. 2011. Development and validation of a standard area diagram set to estimate severity of leaf rust in *Coffea arabica* and *Coffea canephora* (en línea). Viosa, Brasil. Consultado 28 ago. 2022. Disponible en <https://bsppjournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1111/j.1365-3059.2011.02472.x>

Castaño-Zapata, J; Del Río Mendoza, L. (1994) Guía para el diagnóstico y control de enfermedades. Zamorano AcademicPress (en línea) Tegucigalpa, Honduras, 249 p. Consultado 26 jul. 2022. Disponible en <https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/4f8aa70c-d874-4985-9108-d1d0bb7be1c7/content>

CENICAFE (Centro Nacional de Investigaciones de Café, Colombia). 1986. Descripción de especies v variedades de café. Chinchiná, Colombia. 23 p. Consultado 30 jul 2022. Disponible en: <https://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/597/1/011.pdf>

CSC (Consejo Salvadoreño de Café, El Salvador). 2022. Estadísticas cafetaleras junio 2022: Informe Oficial (en línea). San Salvador, El Salvador 8 p. Consultado 25 jul. 2022. Disponible en <http://www.csc.gob.sv/download/estadisticas-cafetaleras-al-31-de-julio-de-2018/?wpdmdl=8070&refresh=62e789ff56b3c1659341311>

Decreto No. 52, 2004. Reglamento para la producción, procesamiento y certificación de productos orgánicos. Diario Oficial. El Salvador. 22 may.

García, JC; Alvarado García, JA; García Dubón, EA. 1980. Efectos de la roya del cafeto (*Hemileia vastatrix*) sobre la rentabilidad del cultivo de café (en línea). Boletín UCA 1980-1:147-148. Consultado 20 jul. 2015. Disponible en [http://www2.uca.edu.sv/boletines/upload\\_w/file/boletines/4f4be376d5ac42.efectosdelaroya.pdf](http://www2.uca.edu.sv/boletines/upload_w/file/boletines/4f4be376d5ac42.efectosdelaroya.pdf)

García, JE. 1997. Consecuencias indeseables de los plaguicidas en el ambiente (en línea). Revista Agronomía Mesoamericana 8(1): 119-135. Consultado 24 jul. 2022. Disponible en [https://www.researchgate.net/publication/242167451\\_consecuencias\\_indeseables\\_de\\_los\\_plaguicidas\\_en\\_el\\_ambiente/fulltext/0285e7780cf2effb422c3f13/consecuencias-indeseables-de-los-plaguicidas-en-el-ambiente.pdf](https://www.researchgate.net/publication/242167451_consecuencias_indeseables_de_los_plaguicidas_en_el_ambiente/fulltext/0285e7780cf2effb422c3f13/consecuencias-indeseables-de-los-plaguicidas-en-el-ambiente.pdf)

Gliessman, S. 2002. Agroecología - Procesos Ecológicos en Agricultura Sostenible (en línea). Turrialba, CR. Consultado 20 jul. 2022. Disponible en <https://biowit.files.wordpress.com/2010/11/agroecologia-procesos-ecolc3b3gicos-en-agricultura-sostenible-stephen-r-gliessman.pdf>

Helfer, S. 2014. Research review: Rust fungi and global change (en línea). Edimburgo, UK. 770 p Consultado 25 sep. 2022. Disponible en <https://nph.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1111/nph.12570>

Fernández, P; Castro, F; Martínez, A; Siles, P; Läderach, P; Lundy, M; Bunn, C. 2019. Café sostenible adaptado al clima en El Salvador. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia. 26 p. Consultado 8 sep. 2022. Disponible en [https://cgspace.cgiar.org/bitstream/handle/10568/105524/CSACaf%c3%a9\\_brief\\_ElSalvador.pdf?sequence=4&isAllowed=y](https://cgspace.cgiar.org/bitstream/handle/10568/105524/CSACaf%c3%a9_brief_ElSalvador.pdf?sequence=4&isAllowed=y)

Feijóo G., J. A. 2014. Los fungicidas sistémicos en la prevención y control de la roya del cafeto (*Hemileia vastatrix* Berk. & Br.), en el Cantón Piñas, Provincia de El Oro. Tesis para optar al título de Ingeniero Agrónomo. Universidad Técnica de Machala. Machala. Ecuador. 70 p. Consultado 30 oct. 2022. Disponible en [http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/1050/7/CD312\\_TESIS.pdf](http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/1050/7/CD312_TESIS.pdf)

FUNDESYRAM (Fundación para el Desarrollo Socioeconómico y Restauración Ambiental, El Salvador). 2015. FUNDESYRAM: Café Orgánico (en línea, sitio web). Consultado 27 oct. 2022. Disponible en <https://biblioteca.fundesyram.info/biblioteca.php?id=3549>

FUNDESYRAM (Fundación para el Desarrollo Socioeconómico y Restauración Ambiental, El Salvador). 2022. FUNDESYRAM: Tecnologías de agricultura orgánica a validar en fincas (en línea, sitio web). Consultado 24 nov. 2022. Disponible en <https://fundesyram.info/wp-content/uploads/2022/01/libro-tecnologia-de-agricultura-organica-a-validar-en-fincas..pdf>

Hernández, A. 2015. Plan de control de la Roya en el marco de la reactivación de la caficultura de El Salvador. Edit. FAO. Ciudad de Panamá, Panamá. (en línea). 20 p. Consultado 27 jul. 2022. Disponible en <https://www.fao.org/3/i5137s/i5137s.pdf>

Escobar Molina, M. 2017. Selección de cultivares promisorios de café (*Coffea arabica* L). basado en resistencia a roya del café *Hemileia vastatrix* Berk. & Br. in vitro y en condiciones de campo en zonas cafetaleras de Guatemala C.A. (en línea). Tesis Ing. Agr. Guatemala, Guatemala, USAC. Consultado 11 jul. 2022. Disponible en <http://www.repositorio.usac.edu.gt/6890/1/EscobarMolinaMyriamConsuelo.pdf>

López Bravo, DF. 2010. Efecto de la carga fructífera sobre la roya (*Hemileia vastatrix*) del café, bajo condiciones micro climáticas de sol y sombra (en línea). Tesis de maestría. Turrialba, Costa Rica, CATIE. Consultado 11 dic. 2022. Disponible en [https://repositorio.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/4863/Efecto\\_de\\_la\\_carga\\_fructifera\\_sobre\\_la\\_roya.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/4863/Efecto_de_la_carga_fructifera_sobre_la_roya.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Martínez De Paz, NR. 2014. Establecimiento in vitro de café (*Coffea arabica*) variedad cuscatleco por medio de microesquejes (en línea). Tesis Lic. en Biología. San Salvador, El Salvador, UES. Consultado 1 nov. 2022. Disponible en <https://ri.ues.edu.sv/id/eprint/13735/1/ESTABLECIMIENTO%20IN%20VITRO%20DE%20CAF%C3%89%20%28Coffea%20arabica%29%20VARIEDAD%20CUSCATLECO%20POR%20MEDIO%20DE%20MICROESQUEJES.pdf>

Monroig, M. (2007). Morfología del cafeto, Mayagüez, PR. (en línea) Consultado 26 jul. 2022. Disponible en [https://academic.uprm.edu/mmonroig/HTMLobj-1858/Morfologia\\_cafeto2.pdf](https://academic.uprm.edu/mmonroig/HTMLobj-1858/Morfologia_cafeto2.pdf)

Mora, N. (2008). Agrocadena del café. Ministerio de Agricultura y Ganadería, Huetar Norte, CR. (en línea) 35 p. Consultado 30 jul. 2022. Disponible en <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/a00080.PDF>

OIC (Organización Internacional del Café, Inglaterra). 2013. OIC: la roya afecta 74 % de café en ES. Londres, Inglaterra. 13 p. Consultado 25 jul 2022. Disponible en: <https://www.ico.org/clar/elsalvador-22may.pdf>

Parada, P; Cerdán, C; Ortiz G; Barradas V; Cervantes, J (2020) *Hemileia vastatrix*: una prospección ante el cambio climático. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios* 7(3): e2507. DOI: 10.19136/era.a7n3.2507

Restrepo J; Ángel, D; Prager, M. 2000. Agroecología. Santo Domingo, República Dominicana Consultado 23 ago. 2022. Disponible en <https://morralcampesino.files.wordpress.com/2016/03/agroecologia-restrepopinheiro.pdf>

Santiago, E; Zamora, E; Zamora, M; Elizalde, K. 2020. Interacción entre *Mycodiplosis* y *Hemileia vastatrix* en tres escenarios de manejo del cultivo de café (*Coffea arabica*) (en línea). Revista mexicana de fitopatología 38(3): 320-336. Consultado 23 dic. 2022. Disponible en <https://www.scielo.org.mx/pdf/rmfi/v38n3/2007-8080-rmfi-38-03-320.pdf>

Schierber, E. 1974. Situación actual de la roya del cafeto en América latina. Ed. IICA. Guatemala, GT. (en línea) 37 p. Consultado 31 jul. 2022. Disponible en <https://repositorio.iica.int/bitstream/handle/11324/8895/BVE21057974e.pdf>

Soto, G. 2015. Manejo de la Roya por los productores orgánicos de Costa Rica. Edit. FAO. Ciudad de Panamá, Panamá. (en línea). 64 p. Consultado 27 jul. 2022. Disponible en <https://www.fao.org/3/i5137s/i5137s.pdf>

Vera Obando, N; Mestanza Ibérico, CO; Oliva, M. 2015. Efecto del manejo cultural y caldo bordelés sobre la roya del café (*Hemileia vastatrix*) en la provincia de Rodríguez de Mendoza, Amazonas (en línea). Amazonas, Perú. Consultado 28 jul. 2022. Disponible en <http://revistas.untrm.edu.pe/index.php/INDES/article/viewFile/52/169>

Waller, J; Bigger, M; Hillocks, R. 2007. Coffee Pests, Diseases and Their Management. Surrey, Inglaterra (en línea). Consultado 19 ago. 2022. Disponible en <http://sherekashmir.informaticspublishing.com/654/1/9781845931292.pdf>

# **ANEXOS**

## Anexo de Cuadros

Cuadro A- 1. Formato de muestreo de incidencia de la roya del café (*Hemileia vastatrix*).

Planta	Estrato Inferior				Estrato Medio				Estrato Superior			
	# Total de Hojas		# de Hojas con roya		# Total de Hojas		# de Hojas con roya		# Total de Hojas		# de Hojas con roya	
	HVI	HNU	HVI	HNU	HVI	HNU	HVI	HNU	HVI	HNU	HVI	HNU
1												
2												
3												
4												
5												
6												
7												
8												
9												
10												
<i>Sub-Total</i>												
<b>TOTAL</b>												
<b>Incidencia (%)</b>												

Fuente: Elaboración propia

Cuadro A- 2. Formato de muestreo de severidad de la roya del café (*Hemileia vastatrix*).

Planta	Severidad Hojas						Porcentaje (%)
	E. Inferior		E. Medio		E. Superior		
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							
9							
10							

Fuente: Elaboración propia

## Anexo de Figuras

Figura A- 1. Diagramas del porcentaje de severidad de la roya de café en área foliar. (Capucho et al. 2011)

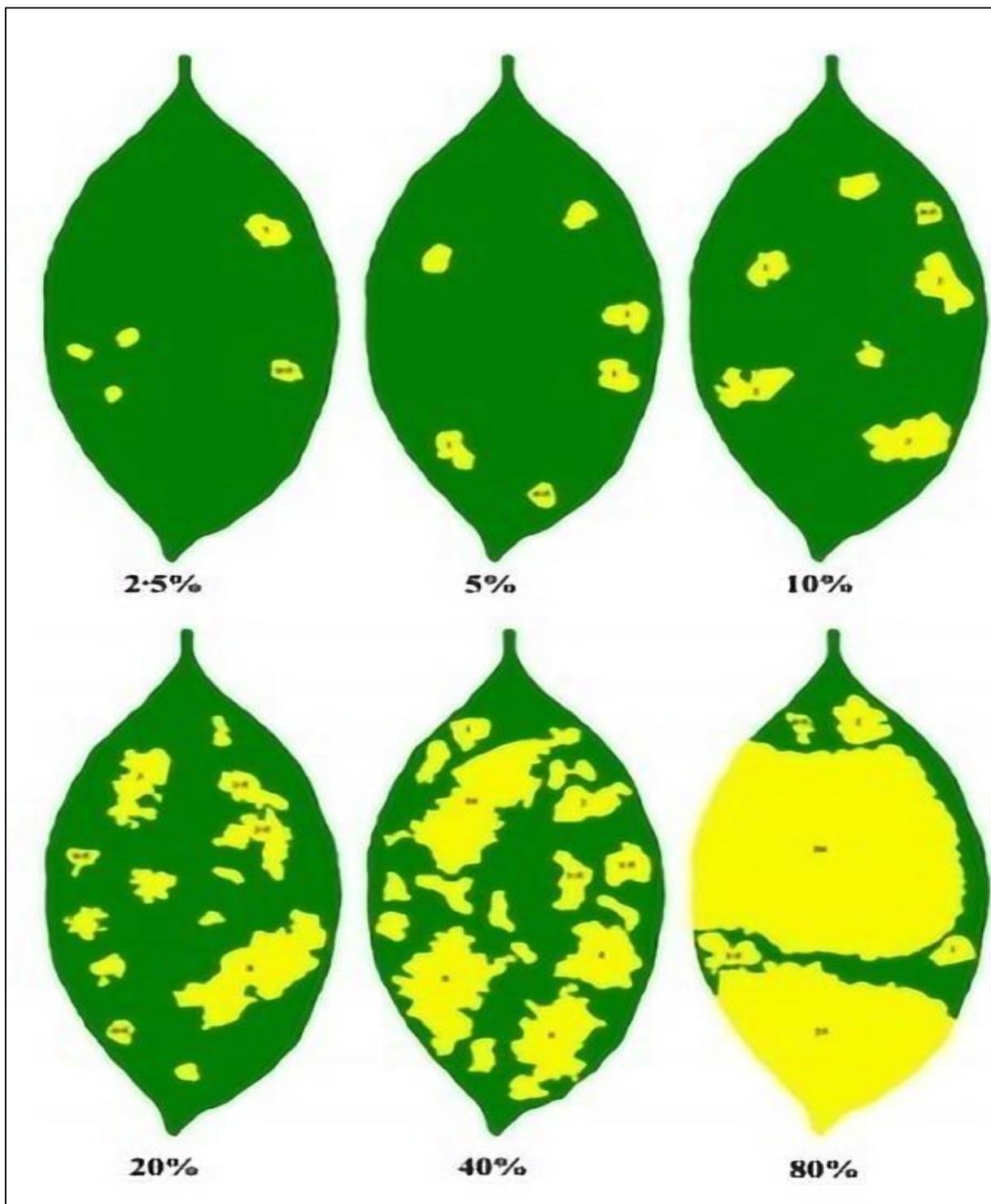


Figura A- 2. Explicación del uso de los formatos y diagramas de muestro de la incidencia y severidad del café.



Figura A- 3. Muestreo de la incidencia de la roya en los sectores o parcelas del área en estudio.



Figura A- 4. Muestreo de la severidad de la roya en los sectores o parcelas del área en estudio.



Figura A- 5. Aplicación de caldo bordelés en parcelas muestreadas de café var. Costa Rica 95 (CR-95)



Figura A- 6. Muestreo de la incidencia y severidad de la roya después de la aplicación de caldo bordelés.



Figura A- 7. Hojas de café con caldo bordelés.



Figura A- 8. Datos de muestreo por estrato en el programa InfoStat v.2020.

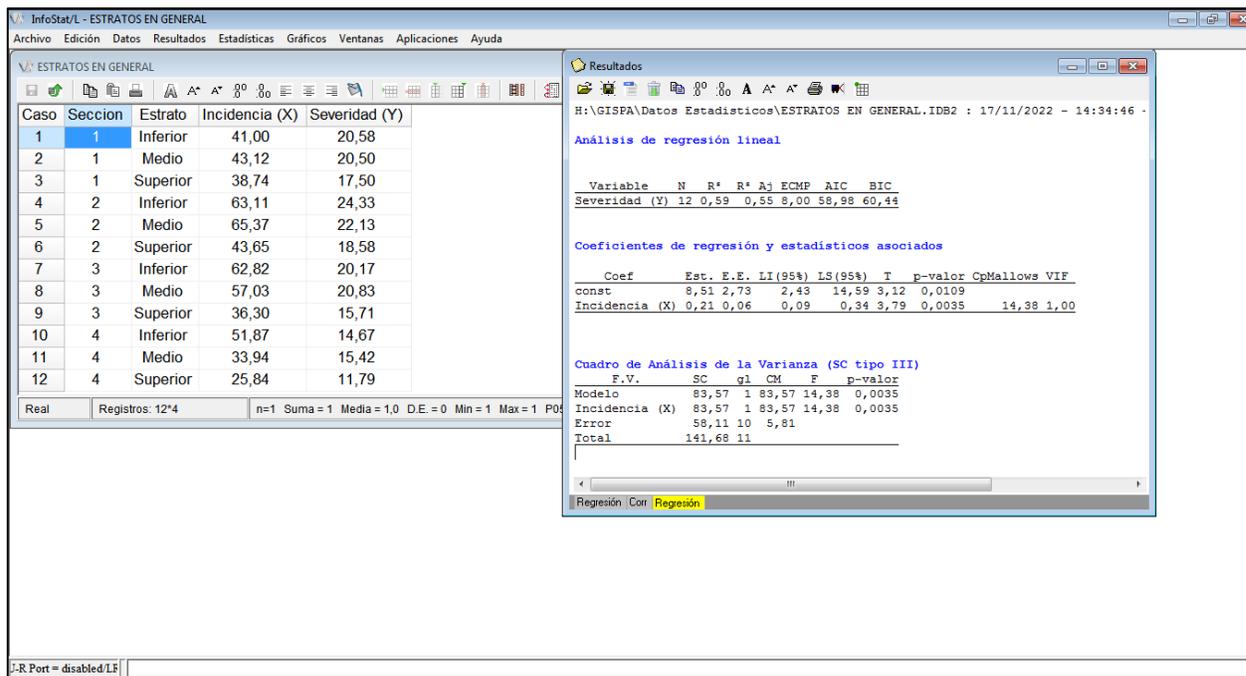


Figura A- 9. Datos de muestreo por estrato y parcela en el programa MOS Excel v. 2016

