

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMÍA
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGRONÓMICAS Y AMBIENTALES



DIANA ALEJANDRA CALAN RIVAS

GUATEMALA, ABRIL 2022

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMÍA
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGRONÓMICAS Y AMBIENTALES

TESIS

“ COMPILACIÓN Y ANÁLISIS DEL REGISTRO DE VARIABLES CLIMÁTICAS, POR
ESTRATOS ALTITUDINALES, EN FINCAS CAFETALERAS, UBICADAS EN LOS
DEPARTAMENTOS DE SAN MARCOS, QUETZALTENANGO, SUCHITEPÉQUEZ,
CHIMALTENANGO Y SOLOLÁ, GUATEMALA, C.A.”

PRESENTADO A LA HONORABLE JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE
AGRONOMÍA DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA.

POR

DIANA ALEJANDRA CALAN RIVAS

EN EL ACTO DE INVESTIDURA COMO

INGENIERA AGRÓNOMA

EN

SISTEMAS DE PRODUCCIÓN AGRÍCOLA

EN EL GRADO ACADÉMICO DE

LICENCIADA

GUATEMALA, ABRIL 2022

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMÍA



RECTOR EN FUNCIONES
M.A. Pablo Ernesto Oliva Soto

JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE AGRONOMÍA

DECANO	Ing. Agr. Waldemar Nufio Reyes
VOCAL I	Dr. Marvin Roberto Salguero Barahona
VOCAL II	Dra. Gricelda Lily Gutiérrez Álvarez
VOCAL III	Ing. Agr. M.A. Jorge Mario Cabrera Madrid
VOCAL IV	Br. Carmen Aracely García Pirique
VOCAL V	Pr. Agr. Mynor Fernando Almengor Orenos
SECRETARIO	Ing. Agr. Walter Aroldo Reyes Sanabria

GUATEMALA, ABRIL 2022

Guatemala, abril 2022.

Honorable Junta Directiva
Honorable Tribunal Examinador
Facultad de Agronomía
Universidad de San Carlos de Guatemala

Honorables Miembros:

De acuerdo con las normas establecidas por la Ley Orgánica de la Universidad de San Carlos de Guatemala, tengo el honor de someter a vuestra consideración, el documento de graduación titulado:

“Compilación y análisis del registro de variables climáticas, por estratos altitudinales, en fincas cafetaleras, ubicadas en los departamentos de San Marcos, Quetzaltenango, Suchitepéquez, Chimaltenango y Sololá, Guatemala, C. A.”

Presentado como requisito previo a optar al título de Ingeniera Agrónoma en Sistemas de Producción Agrícola, en el grado académico de Licenciada.

Esperando que el mismo llene los requisitos necesarios para su aprobación, me es grato suscribirme.

Atentamente.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Diana Calan Rivas', with a stylized flourish at the end.

DIANA ALEJANDRA CALAN RIVAS

ACTO QUE DEDICO

A

DIOS:

Por guardar mi vida con su amor, gracia, misericordia, por guiar mi camino y dar fortaleza en los momentos de debilidad, por darme la vida llena de aprendizajes y por brindarme una familia llena de apoyo, amor y comprensión. Gracias Padre Celestial por permitirme culminar esta etapa de mi vida. Tu mereces el primer lugar.

MIS PADRES:

José Calan y Delfina Rivas.

PAPÁ: por ser el padre comprensible, esforzado, amoroso, divertido. gracias por creer en mí y por estar en los buenos y malos momentos. En ti puedo encontrar un gran padre y amigo. Te amo y te admiro.

MAMÁ: por tu esfuerzo y valentía, tus grandes sacrificios han valido la pena y te admiro por ello. Por los valores inculcados y por bendecir mi vida cada día. Te amo ¡este logro también es de ustedes!

MIS HERMANAS:

Jennifer y Andrea Calan Rivas, gracias por estar conmigo en las buenas y malas, por ser las mejores hermanas que Dios me pudo dar y las mejores amigas que la vida me permite. Llenan mi vida de amor y alegría, son un ejemplo las amo.

MI ESPOSO:

Jorge Luis Sandoval Aguirre, por amarme en todo momento y ayudarme a ser mejor personas cada día, por creer en mi potencial, ahora entiendo que ¡lo puedo lograr! gracias por ser mi mejor amigo, por las aventuras en las buenas y en las malas ¡todo es mejor a tu lado!, eres un esposo, un padre un amigo y un profesional excelente. Te admiro y te amo.

MI HIJA: **Diana Isabella Sandoval Calan** (mamori), por venir a nuestras vidas en los mejores momentos, eres un regalo de Dios lleno de su favor y gracia. Culmino esta etapa para ser un buen ejemplo a ti, te amo tanto y aunque aún eres pequeña sé que tendrás un futuro exitoso, le pido a Dios que seas una mujer de bien y triunfes en la vida. ¡Nunca te rindas!

MI ABUELITA: **Isabel Calan** (Q.E.P.D), siempre te llevo en mi corazón, estas siempre en mi mente, gracias por tus oraciones que me fortalecen hasta el día de hoy, tus caricias, los momentos tan divertidos que vivimos, las canciones aprendidas, tu bondad y tu amor, te amaré por siempre mi viejita hermosa.

MI SOBRINO: **Diego Ordoñez Calan**, le doy gracias a Dios por tu vida, siempre estaré presente aún en la distancia, espero compartir tus éxitos.

MI CUÑADO: **Josué David García Monroy**, gracias por ser como un hermano para mí y darme sabios consejos, gracias por tu apoyo incondicional.

MIS AMIGOS: Leticia Pablo, Brenda Alvarez, Franky Rosales, Luis Raxón, Paola Ixcajó, Katherin Trujillo, Nery, Ing. Agr. Mario Méndez, doña Flory, Wendy Herrera, David, Lic. Armando Florián.

TESIS QUE DEDICO
A

USAC: Por permitir ser parte del gremio académico universitario y abrir las puertas para el inicio a una vida profesional.

FAUSAC: Por darme la oportunidad de crecer profesional y personalmente y aprender cosas nuevas, siempre estaré agradecida.

AGRADECIMIENTOS

A

DR. EDIN OROZCO

Por la asesoría durante la realización de la tesis, sus enseñanzas y consejos, por la paciencia, la confianza, el apoyo constante y sobre todo por su valiosa amistad.

**DR. MARCO ACEITUNO
(Q.E.P.D)**

Por su amistad verdadera, su cariño, sabios consejos y por ser parte de mi formación académica.

**ING. AGR. MARINO
BARRIENTOS**

Por la asesoría, por el apoyo constante durante el Ejercicio Profesional Supervisado, por sus charlas constructivas y por su amistad.

**PLANTA EL PINO
PROGRAMA MOSCAMED**

Por abrir las puertas para la realización del Ejercicio Supervisado y brindar apoyo académico y profesional.

ÍNDICE DE CONTENIDO

	PÁGINA
1 INTRODUCCIÓN	1
2 MARCO TEÓRICO	2
2.1 Marco conceptual	2
2.1.1 Definición del clima	2
2.1.2 Cambios de clima en Centro América	2
2.1.3 Relación del clima y el cultivo de café	3
2.1.4 Relación de temperatura con altitud	3
2.1.5 Fenómeno el Niño y la Niña	4
2.1.6 Patosistema de la roya <i>Hemileia vastatrix</i> y su relación con el clima	5
2.1.7 Características botánicas del café	7
2.1.8 Raíz de la planta de café	7
2.1.9 Floración del café	7
2.1.10 Fruto del café	8
2.1.11 Tallo y hojas del café	9
2.1.12 Condiciones climáticas del café	9
A. Temperatura	10
B. Precipitación	11
C. Altitud	11
D. Luz solar	11
2.1.13 Manejo del cultivo de café	12
A. Sombra de café	12
B. Tipo de sombra	12
C. Especies botánicas de sombra más utilizada para el cultivo de café	13
2.1.14 Enfermedad de la roya del café causada por <i>Hemileia vastatrix</i> y condiciones	13
climáticas requeridas	13
A. Antecedentes de la roya del café en Guatemala	13
B. Roya del café	14
C. Variables climáticas que promueven condiciones para el desarrollo de	15
la roya de café	15
D. Altitud	16
E. Temperatura	16

2.2	Marco referencial.....	16
2.2.1	Ubicación del área sur occidental de Guatemala.....	17
A.	Altitudes de las fincas de estudio.....	19
B.	Clima en la región I, II y III de Guatemala.....	19
2.2.2	Aspectos bio-edafo-climáticos de las regiones cafetaleras de estudio.....	19
A.	Suelo.....	19
B.	Flora.....	20
3	OBJETIVO	21
3.1	Objeto general.....	21
3.2	Objetivos específicos.....	21
4	METODOLOGÍA.....	22
4.1	Recopilación y sistematización de datos climatológicos de las fincas de estudio.	22
4.1.1	Área de estudio	22
4.1.2	Visitas a las fincas.....	22
4.1.3	Entrevistas.....	22
4.1.4	Variables de clima que consideran en las fincas de producción de café.....	23
4.1.5	Reconocimiento de variedades de café	23
4.1.6	Consulta de fuentes de información.....	23
4.1.7	Tabulación de información.....	24
4.2	Estratificación de fincas de agricultores.....	24
4.2.1	Estratos según altitud	24
4.2.2	Georreferenciación	25
4.3	Análisis de la información	25
5	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	26
5.1	Sistematización de información de clima de fincas de caficultores	26
5.1.1	Área de estudio	26
5.1.2	Fuentes de información de variables de clima	27
5.1.3	Información de clima registrado por caficultores particulares.....	28
5.1.4	Información de clima registrado por instituciones y caficultores particulares.....	28
5.2	Georreferenciación de fincas en el estudio.....	30
5.3	Análisis de información de clima obtenido en la región cafetalera del sur.....	
	occidente y altiplano central de Guatemala y su relación con la roya del café.	32
5.3.1	Análisis de información de clima obtenido, en las regiones I, II, III y el	
	requerimiento climático del café.....	32

PÁGINA

5.3.2	Análisis de precipitación para el estrato altitudinal bajo de producción de café	34
5.3.3	Análisis de precipitación en el estrato altitudinal medio de producción de café.....	39
5.3.4	Análisis de precipitación en el estrato alto de producción de café	41
5.3.5	Microclima influenciado por precipitación constante durante el todo el año y su..... relación con enfermedades en café	43
5.3.6	Datos consolidados de precipitación obtenidos en las regiones I, II y III.....	45
5.3.7	Análisis de datos de temperatura para algunas localidades según altitud	48
5.3.8	Análisis de humedad relativa.....	50
5.3.9	Relación de variables climáticas e incidencia de roya del café <i>Hemileia</i> <i>vastatrix</i>	52
6	CONCLUSIONES.....	54
7	RECOMENDACIONES	55
8	BIBLIOGRAFÍA	56

ÍNDICE DE FIGURAS

PÁGINA

Figura 1.	Esquema del patosistema de la roya del café ocasionado por.....	
	<i>Hemileia vastatrix</i>	6
Figura 2.	Ciclo de vida del patógeno <i>Hemileia vastatrix</i>	15
Figura 3.	Mapa de los departamentos de estudio del área sur occidental región I, II, III.....	18
Figura 4.	Áreas utilizadas para cultivo café en Guatemala.....	29
Figura 5.	Ubicación de algunas fincas cafetaleras en las regiones I, II y III de Guatemala.....	31
Figura 6.	Precipitación (mm) en tres fincas en el estrato bajo de producción de café (604 m a 700 m s.n.m.), finca Horizonte y Valle de Oro en San Marcos y finca Parraxé en Suchitepéquez.	36
Figura 7.	Precipitación media anual (mm) de 10 fincas ubicadas en el estrato medio de..... producción de café [800 m a 1,200 m s.n.m.) en el área sur occidente..... de Guatemala.....	41
Figura 8.	Precipitación (mm) con datos de las fincas de café del estrato alto (mayor a 1,200 m s.n.m.) del rea sur occidente de Guatemala.	42
Figura 9.	Comportamiento de la precipitación pluvial (mm) del periodo 1977 al 2016,..... registros de la finca San Diego Buena Vista, del departamento..... de Chimaltenango	43
Figura 10.	Datos de precipitación en una unidad productiva de un agricultor en la aldea..... La Feria, San Rafael Pie de la Cuesta, San Marcos, durante los años 2009 a 2016.	45
Figura 11.	Datos de precipitación anual (mm) obtenidos en fincas de producción de café..... en altitud de 604 m a 1,524 m s.n.m. de altitud durante los años 2000 a 2014, ... en las regiones I, II y III.	46
Figura 12.	Mapa de precipitación promedio anual (mm) 2000 a 2014, de las fincas de..... producción de café de las regiones I, II y III de las fincas de estudio.....	47
Figura 13.	Temperatura mínima, máxima y óptima del cultivo, durante 2005 a 2010 en la finca Parraxé.....	49
Figura 14.	Temperaturas máximas y mínimas durante los años 2000 a 2016, en la..... finca Santo Tomás Perdido, a 1,255 m s.n.m., en el departamento de Sololá.	50

PÁGINA

Figura 15. Precipitación de la finca Santo Tomas Perdido, departamento de Sololá	
a 1,255 m s.n.m., durante el periodo de 2000 a 2016.....	51
Figura 16. Temperatura, humedad relativa y precipitación en la finca Santo Tomas	
Perdido, año 2000 a 2015.	52

ÍNDICE DE CUADROS

	PÁGINA
Cuadro 1. Lista de las 21 fincas de los caficultores con registro de clima.	27
Cuadro 2. Datos históricos de precipitación que estimulan la floración del café en la finca Parraxé, ubicada a 700 m s.n.m. de altitud, en el departamento de Suchitepéquez.	37

**COMPILACIÓN Y ANÁLISIS DEL REGISTRO DE VARIABLES CLIMÁTICAS, POR
ESTRATOS ALTITUDINALES, EN FINCAS CAFETALERAS, UBICADAS EN LOS
DEPARTAMENTOS DE SAN MARCOS, QUETZALTENANGO, SUCHITEPÉQUEZ,
CHIMALTENANGO Y SOLOLÁ, GUATEMALA, C.A.**

**CLIMATE VARIABLE RELATED TO COFFEE CROP PRODUCTION (*Coffea arabica*)
LOCATED IN SAN MARCOS, QUETZALTENANGO, SUCHITEPÉQUEZ
CHIMALTENANGO AND SOLOLÁ; GUATEMALA.**

RESUMEN

El cultivo de café en Guatemala, genera empleos alrededor de 465,000, con 305,000 ha cultivadas para el 2016 en siete regiones cafetaleras (ANACAFÉ, 2016).

El conocimiento de clima, puede utilizarse en la planificación de actividades del cultivo y su manejo, debido que la precipitación después de estrés, induce la floración del cafeto, la distribución de lluvias e intensidad define la productividad. También es indispensable en estudios epidemiológicos, ya que ciertas condiciones propician el apareamiento de plagas y enfermedades, como la roya del café, causada por *Hemileia vastatrix*, problema epidémico durante 2010 al 2014.

El objetivo del estudio fue sistematizar la información de clima en las regiones I, II y III. Se analizó los registros de las fincas e instituciones en lo que fue considerada la precipitación, temperatura y humedad relativa del 2010 al 2016.

Se enmarcaron las áreas de registro de clima y hubo visitas de campo para recopilar información, se obtuvo datos de clima en 21 fincas de café y para su análisis, se dividieron estratos por altitud, el estrato alto mayor a 1,200 m s.n.m., medio [800 m a 1,200 m s.n.m.) y bajo [400 m a 800 m s.n.m.).

La precipitación en el estrato bajo, es de 4,939 mm y el medio con 3,979 mm, promedio de 16 años. De acuerdo al requerimiento de precipitación del café, la cantidad de lluvia supera lo recomendado en la literatura. De las 21 fincas, el 100 % registra precipitación, el 21 % precipitación y temperatura y el 9 % humedad relativa, precipitación y temperatura. Se identificó, que existen episodios de alta y baja precipitación secuenciales, relacionadas a tormentas con intervalo promedio de 7.6 años esto en relación al fenómeno del niño y la niña.

En el periodo epidémico registrado por agricultores de las fincas de estudio, la temperatura fue de 20 °C a 23 °C y la humedad relativa de 62 % a 79 %, que son condiciones favorables para la roya. Se recomendó socializar la información e incentivar a los caficultores a registrar variables climáticas para recomendaciones técnicas, análisis de fenología del cultivo, de plagas y enfermedades, según microclimas presentes del lugar.

1 INTRODUCCIÓN

El conocimiento del clima en el cultivo de café es de importancia, debido a que, para cada cultivo, existen características y condiciones ideales que requiere el sistema café, donde la temperatura media anual para el desarrollo adecuado del cultivo del mismo, se encuentra entre 20 °C a 25 °C (Sánchez, 1998).

El objetivo del estudio, fue realizar la colecta de datos climáticos de fincas de café, sistematizar información y analizar algunas variables de clima, de los departamentos de San Marcos, Quetzaltenango, Suchitepéquez, Chimaltenango y Sololá de Guatemala¹, catalogadas en las Regiones I, II y III.

Se analizaron variables climáticas de los años 2010 al 2016 y las diferencias que estas tienen con la relación al requerimiento óptimo del cultivo de café según literatura citada. Para la realización de la investigación, se llevó a cabo un procedimiento sistemático.

Se seleccionaron las regiones cafetaleras y se estudiaron 21 fincas que registran datos de clima, su ubicación y su georreferenciación. Seguido de entrevistas con caficultores y solicitud de información de clima de los registros existentes. Se recopilaron los datos de las variables climáticas existentes a partir de libros, datos digitalizados e información de instituciones públicas relacionados al sistema café.

Los datos fueron tabulados y graficados y se realizó estratificación de las fincas de estudio según la altitud donde el estrato bajo son finca ubicadas entre [400 m a 800 m s.n.m.) estrato medio [800 m a 1,200 m s.n.m.) y el estrato alto arriba de 1,200 m s.n.m., esto acorde al 31 % de las fincas de café en Guatemala. Se tomó como referencia la altura, para identificar el estrato más lluvioso. Los datos que fueron recopilados de precipitación, temperatura y humedad relativa, fueron analizados de forma gráfica. Esta investigación es parte del proyecto FODECYT 33-2013 y la Facultad de Agronomía, de la USAC.

¹ Regiones cafetaleras propuestas por ANACAFÉ, 2015.

2 MARCO TEÓRICO

2.1 Marco conceptual

2.1.1 Definición del clima

El clima es el valor medio del tiempo atmosférico, que caracteriza el estado de la atmosfera. El clima cuenta con un gran número de factores que interactúan de manera compleja (Fernández, Martínez, 2004).

Cuando se habla de clima se refiere a que este es un proceso cambiante de la atmósfera, en escalas de tiempo y espacio, en donde ocurren varios fenómenos. Dentro de estos fenómenos se puede mencionar fenómenos como el Niño y la Niña (Fernández, Martínez, 2004).

2.1.2 Cambios de clima en Centro América

Las temperaturas en Centroamérica según fuentes históricas han variado con relación al tiempo. Según CEPAL, 2014, indican que Centro América ha tenido un alza promedio de 0.5 °C en los últimos 50 años aproximadamente y este puede incrementar 2.5 °C a lo largo del siglo actual. Debido a estos cambios climáticos se puede deducir que estos perjudican la producción agrícola, incluyendo el cultivo de café, ya que su ciclo productivo se ha acoplado a los patrones de lluvias regionales (CEPAL, 2014).

2.1.3 Relación del clima y el cultivo de café

En la actualidad, las áreas productoras de café, estas ligadas a amenazas relacionadas a cambios del clima, ya que el cultivo de café cuenta con etapas de crecimiento y entre ellas, la producción de grano de café, el cual es sensible a condiciones del ambiente. Entre las variables climáticas destacadas principalmente se encuentra la luz, temperatura lluvia y humedad (CEPAL, 2014).

Para ello los eventos climáticos extremos o cambios inesperados en el patrón climático (efecto del Niño y Niña), son de efecto adversos. El cultivo de café requiere un periodo lluvioso y un periodo seco, las temperaturas, desencadenan efectos directos e indirectos en el cultivo del café incluyendo el cambio de incidencia de enfermedades, degradación de suelos y reducción de servicios ambientales como control de plagas y polinización (CEPAL, 2014).

Los elementos meteorológicos han dado mayor relevancia a la lluvia, ya que este es el elemento climático más variable, sin embargo, la temperatura del aire, es una variable climática con poco interés de registro ante los caficultores, que tiene un efecto directo sobre las plantas y por ello algunos cambios o pequeñas variaciones de ésta, pueden incidir drásticamente en los rendimientos de los cultivos (Gregory, 1992; Grierson, 1995; Gliessman, 2007).

2.1.4 Relación de temperatura con altitud

La relación que existe entre la temperatura con respecto a la altitud de siembra de los cultivos, está basada en el efecto que causa en la temperatura diurna y nocturna, factor importante para el cultivo de café. La temperatura del aire disminuye con la altitud, esto ocurre debido a la contribución del calor latente liberado en la condensación del vapor del agua de la atmósfera de una región donde permanentemente hay un alto contenido del mismo (Reyes, 2002).

Según CEPAL (2014), Los departamentos con altitud promedio superior a los 1,000 m s.n.m., tienen rendimientos mayores que los departamentos con cultivos de café establecidos entre altitud inferior promedio de 800 m s.n.m., las temperaturas para el cultivo de café durante el día, varían entre los 20 °C y 25 °C, mientras que las temperaturas para el cultivo de café durante la noche son de 17 °C. En los años 2015 y 2016 se registraron temperaturas menores a los 17 °C en los departamentos altos de Guatemala (INSIVUMEH, 2016).

2.1.5 Fenómeno el Niño y la Niña

La variación en el clima determina la producción agrícola, e influyen en el crecimiento y desarrollo de cultivos. El fenómeno el Niño, consiste en un invierno con lluvias muy irregulares, la zona más afectada es la parte pacífica de Centroamérica, donde es común que la cantidad de lluvia disminuya, provoca períodos de sequía fuertes y retrasa la época de lluvia, aumenta la temperatura media, se prolonga el veranillo y provoca mayor insolación. Esta situación es más notable al finalizar la estación lluviosa en el Pacífico y durante la época de frentes fríos que influye principalmente a la costa Caribe de la región.

En condiciones de Niño se da un descenso en la cantidad de huracanes que se forman en el Caribe y el Golfo de México, lo cual trae consigo precipitaciones inferiores a lo normal durante la estación lluviosa en la vertiente del Pacífico (Brenes, 2014).

Para la época de frentes fríos tiende a haber una mayor incidencia de éstos durante el período que va de diciembre a abril, lo cual produce condiciones normales o más lluviosas sobre la costa Caribe de Centroamérica. Produce pérdidas en la producción de granos del cultivo y retrasa la ejecución de prácticas agrícolas, como siembra, control de plagas y la práctica de cosecha (Brenes, 2014).

2.1.6 Patosistema de la roya *Hemileia vastatrix* y su relación con el clima

La figura 1, presenta un esquema representativo de la enfermedad de la roya del café (*H. vastatrix*), en este se describe de manera más específica, la relación café-roya-ambiente, tomando como base el tetraedro de la enfermedad. Dentro del esquema, el hospedero se representa con la letra (H), al patógeno con la letra (P), y al ambiente con la letra (A).

Para el patógeno, la infección tiene inicio con una lesión, ya sea mecánica o natural. Para luego iniciar con la fase de esporulación (FAESP). Posteriormente se tiene la formación de esporas infecciosas, en donde inicia la fase de dispersión, la cual es llevada a cabo por el viento, lluvia, factores antropogénicos y depende de la densidad del hospedero (FADIS). Después de la fase de dispersión, se tiene la deposición de las esporas infecciosas (ESPDEP), para luego dar lugar a la fase de infección de la roya del café (FAINF), la cual se lleva a cabo cuando las condiciones ambientales de humedad y temperatura son favorables para el desarrollo de la misma (Hernández, 2006).

Para que el crecimiento del hospedero tenga lugar, se requieren de condiciones ambientales favorables para su desarrollo, dentro de las cuales se encuentran variables climáticas, condiciones y fertilidad del suelo, entre otros, dichas condiciones proporcionan una planta saludable. Sin embargo, cuando en esta planta ocurre la deposición de esporas germinativas de *H. vastatrix*, esta tiene lugar en las hojas de la planta, la cual posteriormente llega a causar una infección (TD INF).

La figura 1, indica que cada fase del ciclo de vida relacionada al ambiente. Donde esporulación corresponde a -FAESP, diseminación a -FADIS e infección- FAINF.

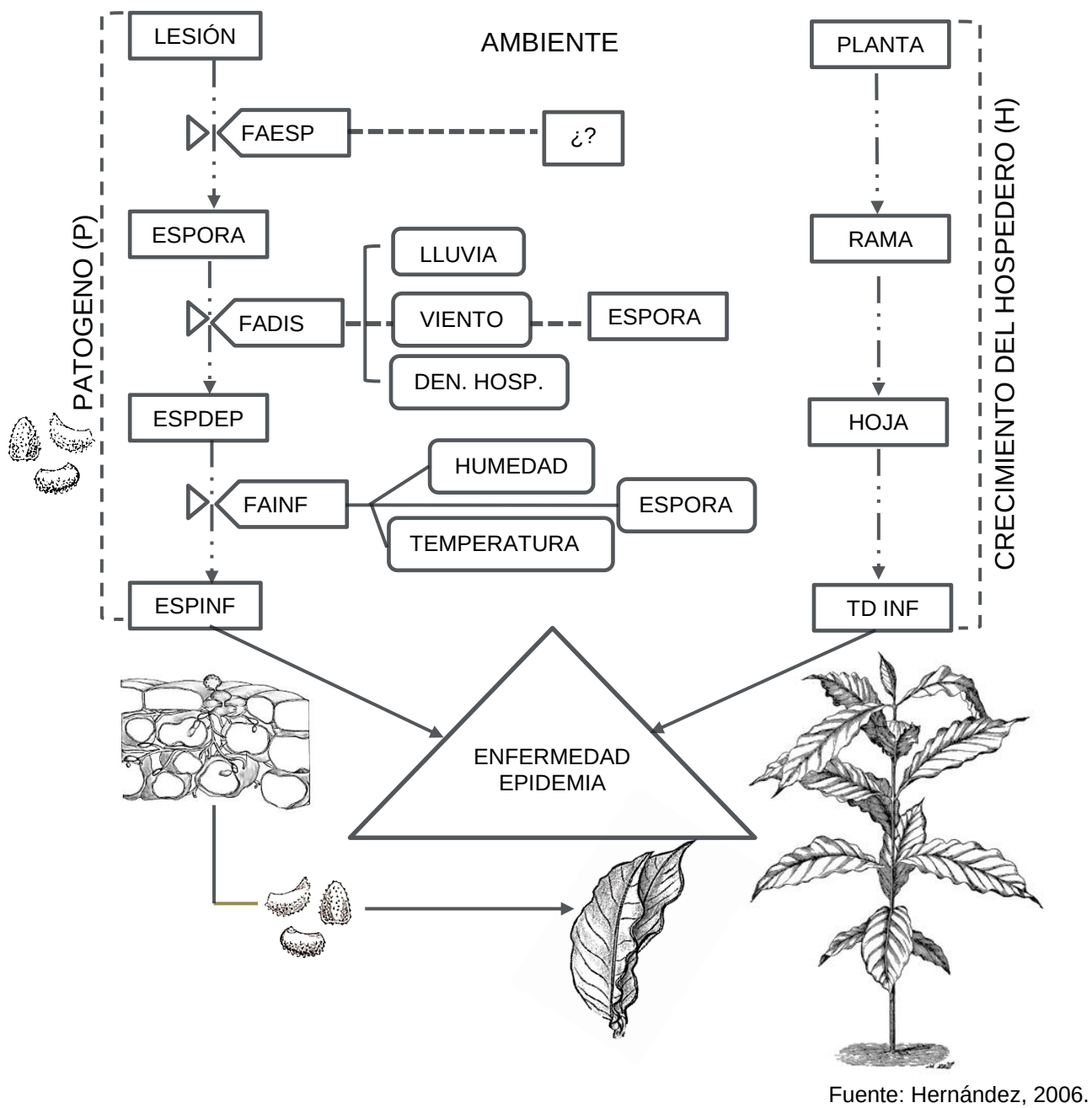


Figura 1. Esquema del patosistema de la roya del café ocasionado por *Hemileia vastatrix*

2.1.7 Características botánicas del café

Se clasifica dentro la clase *Magnoliopsida*, orden *Gentianales*, familia Rubiácea, pertenece al género *Coffea*. A nivel comercial se cultivan *Coffea arabica*, *Coffea canephora* y *Coffea liberica*. La primera especie abarca casi las tres cuartas partes de la producción mundial y se cultiva principalmente en Centro y Suramérica (ANACAFE, 2014).

La especie de *Coffea arabica* tiene el 80 % de la superficie a nivel mundial en cuanto a su cultivo dentro de las cuales se encuentra: Typica, Caturra, Catuaí, Borbón (Soto, 2015).

2.1.8 Raíz de la planta de café

Las raíces del café llevan a cabo un rol muy importante en el crecimiento y la producción del café. Ya que La raíz es el órgano por el cual la planta logra su amarre al suelo y por medio de la misma esta tiene la capacidad de absorber y transportar el agua y los nutrientes esenciales para su debido crecimiento (Arcila, 2001).

El sistema radicular está formado por raíces axilares las cuales están adheridas a la raíz principal la cual es llamada raíz pivotante. Esta es capaz de penetrar el suelo hasta más de 50 cm de profundidad. Este órgano llamado raíz juega otros roles menos conocidos como es la síntesis de algunas hormonas reguladoras para el crecimiento de la misma como lo son las citoquininas y el ácido giberélico (Arcila, 2001).

2.1.9 Floración del café

La floración del café es estacional, se da en época húmeda. La cantidad de flores depende de la cantidad de agua que se da en el área del establecimiento del cultivo, también dependen de la especie de café cultivado. Sin embargo, las flores pueden alcanzar desde 4 hasta 25 flores por axila según la especie de café sembrado, las flores promedio son de 12 flores por axila (Sánchez, 1998).

La flor es de corola blanca contiene 5 pétalos, de 6 mm a 12 mm de longitud y 3 mm a 4 mm de ancho. Las flores son autoestériles, es decir estas son hermafroditas (Sánchez, 1998).

Se considera que el crecimiento, desarrollo de hojas y floración ocurre durante los periodos cuando se incrementa la duración del día (Barros y Maestri, 1974).

En las plantas de café, la cantidad de giberilina incrementa en yemas florales, después que una planta ha recibido el estímulo de agua en forma natural o artificial. Existe un balance en el ácido abscísico, el cual no se altera hasta 4 días antes de la apertura floral, época en la cual el contenido en las yemas disminuye considerablemente, a su nivel normal luego de la floración (Browning, 1973). Así mismo el contenido de almidón en las yemas cambia, tendiendo a desaparecer al momento que el nivel de giberilina va subiendo (Alvim, Kozlowski, 1977).

2.1.10 Fruto del café

Los granos de café o semillas de café que, en estado maduro, toman una coloración rojiza se les llama cereza. Cada una de las cerezas, consiste en una piel exterior que envuelve una pulpa dulce. La semilla mide aproximadamente de 7 mm a 25 mm y el tamaño promedio es de 15 mm (Calderón, 2012).

El crecimiento del fruto, de forma gráfica, es una curva doble sigmoideal, con un periodo inicial muy lento que dura los primeros 45 a 60 días después de la polinización. Luego hay un periodo de 40 a 60 días en los cuales el crecimiento es rápido, hasta 85 a 110 días. El tamaño del fruto final depende de la cantidad de lluvia caída durante el periodo de fructificación (Cannell, 1971).

La maduración de la cosecha, varía desde algunas semanas hasta algunos meses, dependiendo de las variedades y de los factores ambientales. También es importante la latitud con su efecto sobre la duración de los días (Sylvain, 1979).

Durante la maduración de los frutos, el traslado de los materiales fotosintetizados es mucho más fuerte hacia los frutos, especialmente si las ramas están bien cargadas. Durante este periodo incluso los frutos en estado verde son estimulados a la fotosíntesis, aunque su contribución al proceso sea muy pequeña (Cannell, 1971).

El exceso de nitrógeno es capaz de disminuir la densidad de los granos y ayuda a que aumente la producción, pero favorece el apareamiento de enfermedades (Arcila, 2001; Fassbender, Bornemisza, 1987).

2.1.11 Tallo y hojas del café

La planta de café, contiene un tallo central o tronco vertical, sus ramas laterales son abundantes y ramificadas. Las ramas laterales respecto al tallo central de la planta forman un ángulo según la especie cultivada de café. Las hojas del café son de forma elíptica u oblonga de 8 cm a 40 cm de longitud y de 5 cm a 15 cm de ancho, coriáceas, ápice redondeado, la hoja contiene una lámina brillante y en el envés un verde pálido (Túchez, 2012).

Las temperaturas altas o bajas pueden afectar el desarrollo normal del tronco y las raíces, debido a que impiden la translocación. La alternabilidad entre las temperaturas diurnas y nocturnas es otro elemento que afecta el desarrollo del sistema radical.

La variación entre 26 °C en el día y 20 °C en la noche, es la mejor, las raíces crecen menos bajo este cambio y crecen más cuando la temperatura aumenta (Crafts, Crisp, 1971).

2.1.12 Condiciones climáticas del café

Los principales factores que se encuentran dentro de los límites climáticos del café, para el desarrollo adecuado de la planta, se encuentra: la altitud del lugar donde se establece el cultivo, la temperatura, la precipitación pluvial del área en mm, la luminosidad, humedad

relativa, se debe tomar en cuenta también factores edáficos entre ellos tipo de suelo fertilización del suelo (Sánchez, 1998).

La precipitación del cultivo de café sugeridas según Alegre (1958), fluctúan entre los 1,200 mm a 1,800 mm promedio anual, y el factor más importante es la adecuada distribución, es el periodo seco el cual debe de ser alrededor de los tres meses, la duración del periodo seco también varía de acuerdo al suelo, y temperatura entre otros factores, ya que cuando existen lluvias muy intensas que interrumpen estos periodos secos, la planta desequilibra su morfología y esto puede causar efectos negativos como la floración fuera de época (Vicente-Chandler, 1959).

Para el cultivo del café, se necesitan características del clima. Ya que este, tiene sus condiciones de cultivo definidas, para su máxima producción en cuanto a sus diferentes ciclos de vida (Mora, 2008).

La planta de café es sensible a las diferentes condiciones ambientales, entre ellas principalmente se encuentra la luz, temperatura, lluvia y humedad. Este cultivo es sensible también a diferentes eventos extremos del clima como tormentas prologadas entre otras (CEPAL, 2014).

A. Temperatura

El café se desarrolla en altitudes elevadas, la temperatura promedio del café varía entre los 20 °C y 25 °C, según la especie cultivada. Las temperaturas del café durante la noche son de 17 °C, mientras que durante el día las temperaturas óptimas para el cultivo del café son de 23 °C (Sánchez, 1998).

B. Precipitación

El cultivo de café es capaz de tolerar altas precipitaciones pluviales, los niveles de precipitación en Guatemala según el Perfil Ambiental de Guatemala los niveles de precipitación de Guatemala oscilan entre los 1,500 mm a 5,600 mm anuales, sin embargo, los niveles óptimos para el café de precipitación son de 1,500 mm a 2,000 mm anuales (Sánchez, 1998).

C. Altitud

Dentro de la altitud óptima requerida para el cultivo de café, se encuentra entre 600 m a 1,800 m s.n.m. con alturas mayores a estas presentan un limitado desarrollo del cultivo. El área sur occidental de Guatemala cuenta con altitudes de siembra de café que abarca los siguientes rangos: Bourbon de 1,100 m a 2,000 m s.n.m. la variedad de Caturra, todos los rangos de altitudes, Catuaí, de 600 m a 1,200 m s.n.m. en la costa sur y de 1,100 m a 1,800 m s.n.m. en la zona central, oriental y norte del país. La variedad de Mundo Novo va desde los 1,100 m a 1,800 m s.n.m. (ANACAFÉ, 2014).

D. Luz solar

La luminosidad para la planta es de suma importancia. Ya que esta ayuda a su crecimiento vegetativo, requiriendo así cantidades altas de luz. La cantidad de horas luz óptimas para la planta de café son de 1,500 a 2,500 hr luz anualmente ya que si existe exceso de sombra en los cafetos existe un alto nivel de enfermedades (Sánchez, 1998).

2.1.13 Manejo del cultivo de café

A. Sombra de café

El uso de la sombra para el cultivo de café ayuda a la formación de un microclima el cual ayuda a regular los cambios de temperatura dentro de un cafetal. Esto lo protege contra efectos negativos fenómenos naturales como fuertes vientos y lluvias, también ayuda a regular el crecimiento vegetativo (Hernández, 1988). La sombra ayuda al cultivo de café, para que este no tenga daños directos por fenómenos climáticos.

Con poca intensidad de luz existe menor apertura de estomas de hojas, haciendo que se reduzca la fotosíntesis. Reduciendo así la energía en su metabolismo provocando una mayor producción. Cuando la intensidad de luz incrementa, esta hace que las estomas se cierren haciendo que la fotosíntesis disminuya aumentando la transpiración del café y necesita de agua y aumentando el calor del suelo y haciendo que la producción disminuya. La sombra del café ayuda a mantener la humedad del suelo, haciendo que el calor disminuya y disminuyendo así la evapotranspiración de la planta del cultivo de café (Hernández, 1988).

Al incrementar la población de plantas por área, disminuye la producción media por planta, esto se debe a la competencia por los recursos que la planta necesita para su crecimiento, la sombra incrementa y mantiene la humedad del suelo dando óptimas condiciones para el desarrollo de enfermedades (López, 2013).

B. Tipo de sombra

Según ANACAFÉ (2014), el tipo de sombra del café se determina según su permanencia en el cafeto, los cuales son: provisional, temporal o semipermanente y definitiva o permanente. La sombra excesiva también es perjudicial pues las funciones de la planta no son completas y en estas condiciones los rendimientos disminuyen seriamente.

Para obtener el máximo de fotosíntesis, la luz que llega a la hoja debe ser menor que un tercio de la insolación total del medio día, la proporción de asimilación neta del cafeto es mayor bajo condiciones de luminosidad moderada que a pleno sol y la asimilación diaria total es mayor en la sombra que en el sol (Haarer, 1977).

C. Especies botánicas de sombra más utilizada para el cultivo de café

En Guatemala son utilizadas diferentes especies para sombra permanente en las plantaciones de café, especialmente del género *Inga*. Este tiene importante y buen comportamiento dentro del cultivo de café, con algunas diferencias en su adaptación a las distintas regiones cafetaleras.

Los principales nombres comunes de las plantas de *Inga* spp. son: chalum, cuje, caspirol, guaba, cushin, pepeto. Otras especies importantes son la gravilea (*Grevillea robusta*) y el pito o miche (*Erythrina* sp.) (ANACAFÉ, 2014).

2.1.14 Enfermedad de la roya del café causada por *Hemileia vastatrix* y condiciones climáticas requeridas

A. Antecedentes de la roya del café en Guatemala

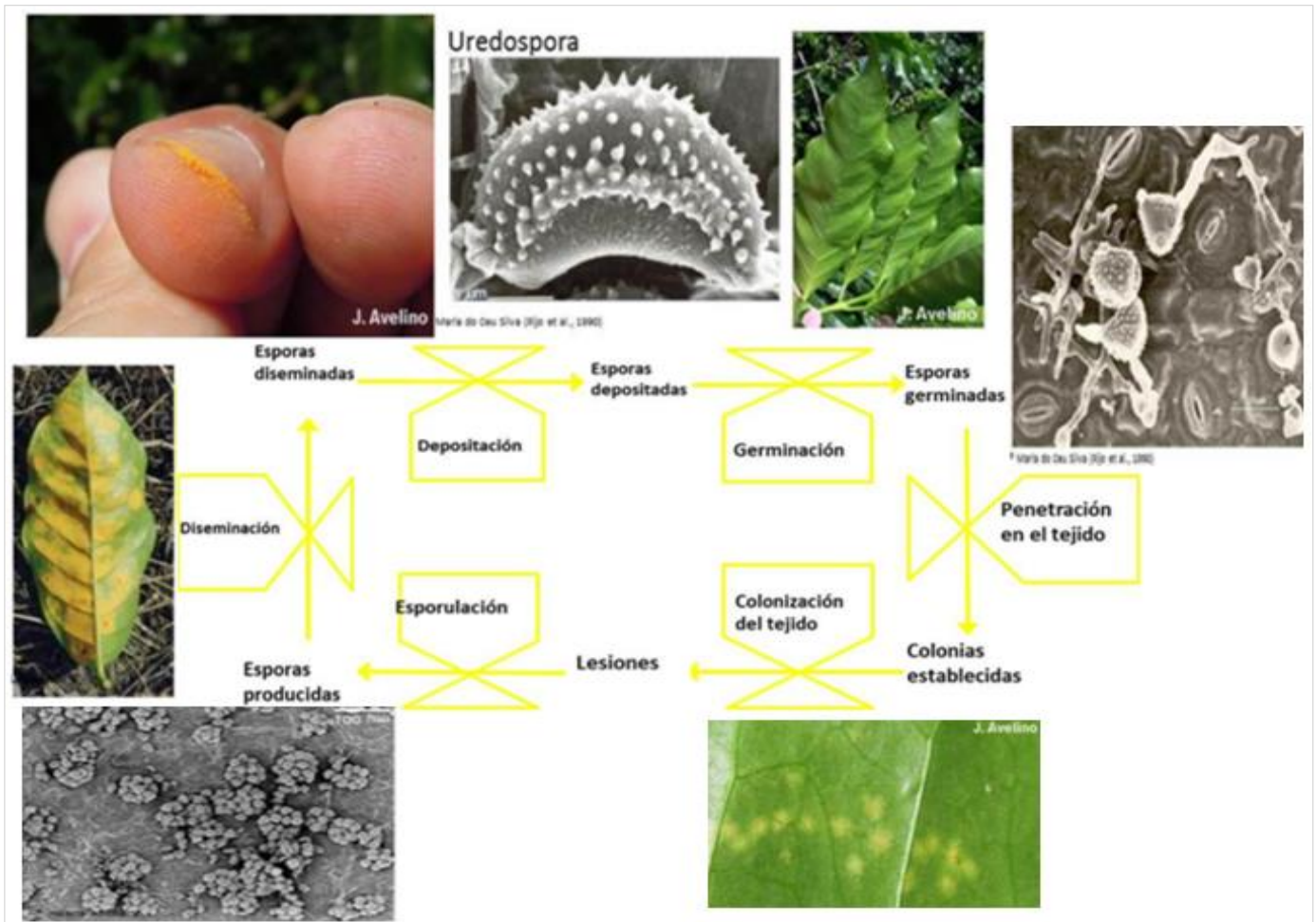
La roya es causada por un parasito obligado *H. vastatrix*, esta se observó en Guatemala en el año 1980. Esta enfermedad daña las hojas en su estado maduro. La roya del café es una enfermedad que provoca la caída de hojas es decir defoliación y perjudica la producción de la planta. En los años 2010 y 2011, fueron los años más lluviosos y se observó problemas de la roya en diferentes lugares en Guatemala (ANACAFE, 2014).

B. Roya del café

La roya del café es causada por *Hemileia vastatrix* Berk & Br., el micelio de este hongo se encuentra dentro del mesófilo, compuesto de hifas hialinas (Calderón, 2012).

Los síntomas que este hongo provoca a la planta de café son: afecta la parte foliar de la planta, se manifiesta en polvos de color amarillo - anaranjado en el envés de las hojas y defoliación de la planta

La enfermedad de la roya causada por el hongo *H. vastatrix*, tiene un ciclo de vida el cual es presentado por la figura 2 (Avelino, 2014), donde se da la diseminación de las esporas del hongo (roya del café), la esporas son depositadas en el hospedero estas germinan cuando se dan condiciones óptimas para su desarrollo, luego estas penetran en el tejido del hospedero por medio de heridas o aberturas naturales del hospedero, estas colonizan el tejido y se da la producción de esporas llamada esporulación causando daño en el hospedero, este ciclo se puede ver detalladamente en la figura 2.



Fuente: Avelino, 1998.

Figura 2. Ciclo de vida del patógeno *Hemileia vastatrix*.

C. Variables climáticas que promueven condiciones para el desarrollo de la roya de café

Para que las esporas germinen deben existir temperatura de 22 °C y escasa luminosidad, ya que estas son condiciones que favorecen a la enfermedad. La humedad es un factor altamente influyente en la aparición de esta ya que con un periodo de mojado mínimo de 6 hr basta para que las esporas germinen procediendo a la penetración del hongo en la planta, otro factor el cual favorece la enfermedad es la edad de la planta del cultivo de café (ANACAFÉ, 2014).

D. Altitud

Según Soto (2015), afirma que la roya del café causa daños más severos en cafetos en altitudes comprendidos entre los 800 m y los 1,200 m s.n.m. comparado a mayores altitudes.

E. Temperatura

La temperatura es un factor que es capaz de afectar el desarrollo de la enfermedad de la roya del café, debido a su acción directa sobre el proceso de germinación e infección del hongo. Las temperaturas óptimas para el desarrollo de la roya ocasionado por *H. vastatrix*, se encuentran entre 18 °C y 28 °C. Cuando las temperaturas se encuentran debajo del nivel óptimo mencionado tienden a inhibir el crecimiento del hongo, haciendo que el tiempo de germinación de las uredósporas sea mayor.

El periodo de latencia es más prolongado este es el que abarca desde que existe penetración de patógeno hasta que se da la esporulación de dicho patógeno en la parte de la planta afectada. La formación de apresorios, la penetración y colonización del hospedante, haciendo más largo el ciclo epidémico de la roya (Subero, 2001).

2.2 Marco referencial

Esta investigación, fue parte del proyecto FODECYT 33-2013, cuyo objetivo fue analizar algunas variables climáticas relacionadas a los microclimas donde se cultiva café en los departamentos de San Marcos, Quetzaltenango y Suchitepéquez que corresponde a la región I, II y el departamento de Chimaltenango y Sololá que corresponden a la región III.

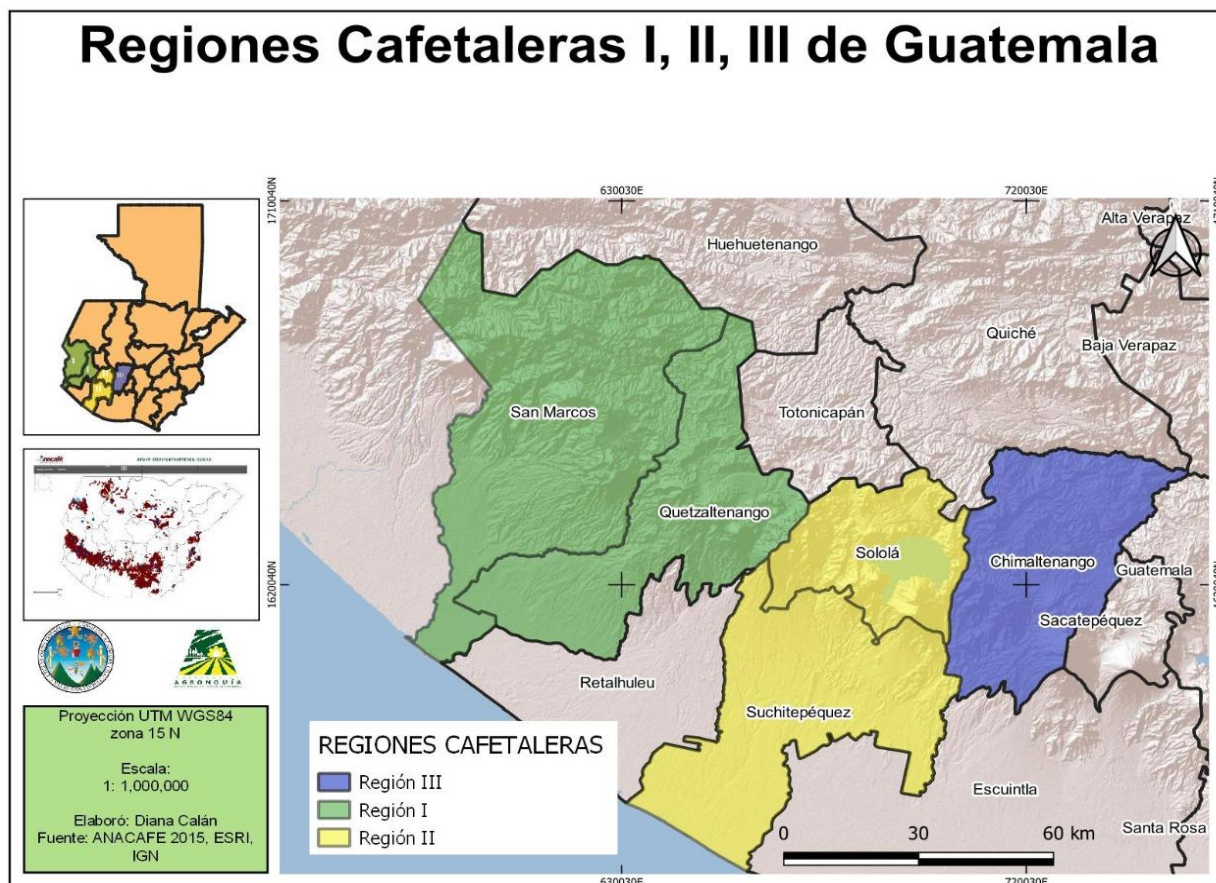
El objetivo del estudio es analizar las causas que favorecen el apareamiento de la enfermedad de la roya del café ocasionada por el hongo *H. vastatrix*.

Para ello, se sistematizó la información de algunas variables de clima disponibles por técnicos, agricultores de las fincas donde se cultiva café y otras fuentes de información como ANACAFE, INSIVUMEH. Esto, involucró varias visitas y entrevistas directas para el logro de la información.

Por otro lado, se obtuvo información de la genética de las variedades de café existentes en las fincas y la relación que estas tienen con la roya de café en Guatemala

2.2.1 Ubicación del área sur occidental de Guatemala

En la figura 3, se presentan las diferentes áreas cafetaleras de Guatemala, donde estas se dividen en siete regiones según ANACAFÉ, 2015. La región I abarca los departamentos de: San Marcos y Quetzaltenango la región II abarca Suchitepéquez y Sololá y la región III abarca Chimaltenango.



Fuente: elaboración propia, 2017.

Figura 3. Mapa de los departamentos de estudio del área sur occidental región I, II, III.

La región I, corresponde al departamento San Marcos y Quetzaltenango, la región II, corresponde a los de Suchitepéquez y Sololá y la región III, al departamento de Chimaltenango.

Las variedades que se producían en esta región para el año 2013, son: Borbón, Caturra y Catuaí. Algunos trabajos de investigación relacionados a clima y café en la región sur occidente de Guatemala son: Estudio de factores epidemiológicos Gabriela Calderón, 2012.

A. Altitudes de las fincas de estudio

Las 21 fincas donde se obtuvieron registros, de las regiones cafetaleras I, II y III de Guatemala, están ubicadas entre los 600 m s.n.m. hasta 1,524 m s.n.m. de altitud (cuadro 1).

B. Clima en la región I, II y III de Guatemala

En las regiones I, II y III de Guatemala, según el INSIVUMEH. Cuenta con una época seca y con una época lluviosa, siendo los meses de mayo a octubre, donde se alcanzan precipitaciones promedio anuales elevadas, con climas templados y lluviosos (INSIVUMEH, 2015).

En la región cafetalera de Guatemala I, II y III, cuenta con precipitaciones promedio anual de 1,500 mm a 5,600 mm y con temperaturas medio anual de 17 °C a 28 °C (URL, 2004).

2.2.2 Aspectos bio-edafo-climáticos de las regiones cafetaleras de estudio

A. Suelo

Según Anacafé 2015, los suelos de la región I, que corresponde al departamento de San Marcos y Quetzaltenango, son suelos que muestran variabilidad, pero en su gran mayoría son poco profundos, con presencia de erosión, son suelos ricos en contenido mineral debido al contenido de cenizas volcánicas, gran altitud y abundante precipitación.

En la región II, que corresponde a Suchitepéquez y Sololá, son suelos fértiles, profundos de materiales volcánicos, con presencia de abundante erosión. En la región III correspondiente al departamento de Chimaltenango, cuenta con suelos con topografía plana, ondulada o inclinada, suelos profundos o poco profundos, fértiles con problemas de erosión y drenaje, con presencia de grandes cantidades de carbono orgánico superficial (MAGA, 2009).

B. Flora

Los departamentos San Marcos y Quetzaltenango que corresponden a la región I de producción de café en Guatemala, el primer departamento, cuenta con bosques de montañas ubicados en el norte, selva subtropical húmeda y sabana tropical húmeda. Quetzaltenango, representa bosque muy húmedo montano bajo subtropical, bosque húmedo montano bajo subtropical, bosque húmedo montano subtropical (MINECO, 2017).

La región cafetalera II cuenta con bosques de árboles de madera fina, como: cedro, caoba, palo blanco, palo volador, otros árboles de varios usos y árboles frutales. La región presenta alto porcentaje de su territorio compuesto por áreas boscosas por lo que cuenta con una variedad amplia de flora en cuanto a plantas ornamentales.

La región III correspondiente al departamento de Chimaltenango y cuenta con gran variedad de flora entre sus recursos naturales. Tiene extensiones de bosques de pino, ciprés, bosque mixto. Sus áreas boscosas son aproximadamente el 70 % de tipo coníferas, 10 % de eucalipto, 10 % roble y ciprés 5 %, existen pocos bosques primarios (MINECO, 2017).

3 OBJETIVOS

3.1 Objeto general

Sistematizar la información de las variables climáticas, precipitación, temperatura y humedad relativa, de fincas de caficultores e instituciones que realizan registros de clima, para las regiones cafetaleras I, II y III de Guatemala, durante el periodo 2010 - 2015.

3.2 Objetivos específicos

1. Recopilar y sistematizar datos climatológicos de las 21 fincas cafetaleras de los departamentos San Marcos, Quetzaltenango, Suchitepéquez, Chimaltenango y Sololá.
2. Estratificación de fincas cafetaleras de estudio según altitud de ubicación y determinación del estrato más lluvioso según altitud en metros sobre el nivel del mar.
3. Analizar las variaciones de precipitación, temperatura y humedad relativa, durante el periodo 2010 - 2015, en la región cafetalera I, II y III de Guatemala.

4 METODOLOGÍA

4.1 Recopilación y sistematización de datos climatológicos de las fincas de estudio

4.1.1 Área de estudio

El área de estudio comprendió los departamentos de San Marcos, Quetzaltenango y Suchitepéquez estas pertenecen a las regiones I, II y III, las cuales se escogieron debido a su importancia en la producción de café. La metodología de campo consistió en desarrollar las siguientes actividades:

4.1.2 Visitas a las fincas

Para definir el área estudiada de las fincas cafetaleras ubicadas en las regiones I, II y III. Se realizaron visitas a las mismas, con la finalidad de poder conocer cuáles eran las fincas que contaban con datos y cuáles de los representantes de las fincas estaban dispuestos a proveer los datos de las variables climáticas necesarias para la realización de este proyecto.

4.1.3 Entrevistas

Durante la recopilación de datos en las fincas de café, se realizaron entrevistas directamente a los encargados del área, para la obtención de información como fuente primaria, sin embargo, se pudo determinar que no contaban con muchos de los datos requeridos para la realización del actual proyecto.

4.1.4 Variables de clima que consideran en las fincas de producción de café

Las principales variables a considerar dentro del análisis del clima, para esta investigación, fueron las descritas a continuación y se determinaron mediante fuentes de información confiables, las condiciones óptimas del cultivo de café con respecto a las condiciones o variables climáticas que se están presentando en el periodo del 2000 - 2015, en las fincas productoras de café, donde se consideraron las variables siguientes:

- Temperaturas optimas máximas y mínimas del café (teóricas) / temperaturas máximas y mínimas (reales) alcanzadas durante un periodo de 15 años.
- Precipitaciones optimas máximas y mínimas del café (teóricas) / precipitaciones máximas y mínimas (reales) alcanzadas durante un periodo de 15 años.
- Humedad relativa optima máximas y mínimas del café (teóricas) / humedad relativa máximas y mínimas (reales) alcanzadas durante un periodo de 15 años.

4.1.5 Reconocimiento de variedades de café

Para la obtención de la información de variedades de café en las fincas, se realizaron durante las visitas y las entrevistas observaciones directas en el campo de algunas variedades de café y se recopiló la información de las diferentes variedades cultivadas dentro de algunas fincas de estudio.

4.1.6 Consulta de fuentes de información

Por medio de fuentes de información de instituciones encargadas de recolectar datos, como lo es ANACAFÉ, INSIVUMEH, se solicitaron registros de variables del clima de las fincas de estudio, también se tomaron como referencias tesis relacionadas al tema, como fuente de apoyo.

Dentro de las instituciones de donde se obtuvieron algunos datos de variables climáticas para el estudio, fueron ANACAFÉ, INSIVUMEH. Los datos están disponibles en páginas web con dicha información. La información de estas instituciones es de uso público, con ello se pudo complementar y comparar la información que se registra por los caficultores y se determinó así la diferencia que existe entre los datos.

4.1.7 Tabulación de información

Con los datos de clima obtenidos en las fincas de estudio, se realizó una matriz de información. A partir de ese momento, se observó que los registros existentes tenían datos históricos de precipitación y de otras variables, pero con diferentes años en cuanto a registro. Por ello se decidió contemplar los años 2000 a 2016 para el análisis en este estudio. Se consideraron los departamentos, localidades, coordenadas, para su ordenamiento correspondiente y para la ubicación según su altitud en los estratos realizados.

Se recolectaron datos climáticos en algunas fincas de café, desde el año 1949 y para su análisis solo se tabuló el año 2000 a 2016.

4.2 Estratificación de fincas de agricultores

4.2.1 Estratos según altitud

Este proceso fue necesario para realizar el análisis de datos obtenidos en las fincas de café donde se utilizó el criterio de estratos de las zonas de producción de café. Así, se consideraron tres estratos:

- Bajo, definido para aquellas fincas comprendidas entre [400 m a 800 m s.n.m.)
- Medio, para las comprendidas entre [800 m a 1,200 m s.n.m.)
- Alto, para zonas de producción de café superior a los 1,200 m s.n.m.

Con la finalidad del procesamiento categorizado de datos, haciendo más asimilable la información de las fincas y determinando así la altitud y las variables climáticas que se presentan en dichas alturas.

4.2.2 Georreferenciación

Como parte de la metodología se realizó el proceso de georreferenciación y se recurrió al uso de un sistema de geo-posicionamiento (GPS). Con dichos datos se realizó el mapa con las 21 fincas de estudio el cual se muestra en los resultados (figura 5).

4.3 Análisis de la información

Los datos de registros de algunas variables de clima obtenidas en las diferentes fuentes de información, fueron tabulados y estratificados según la altitud de ubicación de fincas. Se realizaron gráficas con ayuda del software Excel®, e InfoStat®, en el análisis, fueron considerados valores óptimos requeridos para el cultivo de variables climáticas necesarios para el desarrollo del café.

Los datos recopilados fueron comparados con la información de clima indicada en la literatura, para el cultivo de café. También fueron elaborados mapas de precipitación, según la georreferenciación de los puntos tomados durante la visita a las fincas. Se realizó un análisis de variables climáticas (precipitación, temperatura y humedad relativa).

5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1 Sistematización de información de clima de fincas de caficultores

5.1.1 Área de estudio

El área de estudio, donde se obtuvo los registros de algunas variables de clima, para esta investigación en fincas de agricultores corresponde a los departamentos de San Marcos, Quetzaltenango, Suchitepéquez, Sololá y Chimaltenango.

Las fincas que fueron visitadas para obtención de los datos recopilados, pertenecen al área del sur occidente de Guatemala y altiplano central donde se cultiva café, principalmente de la especie *C. arabica*. la lista de las fincas y su ubicación se muestran en el cuadro 1.

Las 21 fincas donde se obtuvo registros, están ubicadas en altitud entre los 600 m s.n.m. hasta 1,524 m s.n.m., no obstante, la frontera donde se cultiva café en Guatemala oscila entre 500 m s.n.m. a 1,800 m s.n.m. de altitud con ligeras variaciones.

De las fincas indicadas, el 48 % pertenecen a San Marcos, 24 % en Quetzaltenango, 19 % en Suchitepéquez y 9 % en Chimaltenango y Sololá. Recientemente, algunos agricultores de Santa Rosa, han iniciado por registrar datos de clima.

La información del cuadro 1, presenta las 21 fincas de estudio, de cultivo de café, las cuales forman parte del proyecto FODECYT 33-2013.

Cuadro 1. Lista de las 21 fincas de los caficultores con registro de clima.

No.	Finca	Coordenadas UTM		Departamento	Altitud (m s.n.m.)
		X	Y		
1	Finca San Diego Buena Vista	718217	1608567	Chimaltenango	1,524
2	Finca Culpán	641038	1629340	Quetzaltenango	1,436
3	Finca Las Marías	652564	1620092	Quetzaltenango	1,010
4	Finca La Fama	638164	1625537	Quetzaltenango	969
5	Finca El Faro	652868	1623601	Quetzaltenango	876
6	Finca La Providencia	630390	1631420	Quetzaltenango	1,337
7	Finca Nueva Granada	617562	1641791	San Marcos	1,032
8	Finca El Pomaroso	610125	1649546	San Marcos	640
9	Finca El Tumbador	615224	1643592	San Marcos	950
10	Finca Manila	623746	1638367	San Marcos	1,079
11	Finca El Horizonte	610125	1649546	San Marcos	721
12	Finca Lorena	615279	1623197	San Marcos	918
13	Finca Armenia	617779	1648796	San Marcos	1,290
14	Finca Platanillo	617201	1647027	San Marcos	1,150
15	Finca Monte Perla	605741	1653029	San Marcos	819
16	Finca Santa Julia	618301	1651241	San Marcos	1,331
17	Finca Santo Tomás Perdido	701855	1613236	Sololá	1,255
18	Finca Las Nubes	661829	1620516	Suchitepéquez	1,193
19	Finca Parraxé	664827	1614540	Suchitepéquez	700
20	Finca Los Andes	694931	1606858	Suchitepéquez	1,300
21	Finca Valle de Oro	683927	1604428	Suchitepéquez	604

5.1.2 Fuentes de información de variables de clima

De las 21 fincas que se visitaron, se determinó que en el 9 % hay registro de precipitación, humedad relativa y temperatura. El 12 % registra precipitación y temperatura. En el 100 % de las fincas, se registra precipitación. Entre las últimas mencionadas, el 40 % cuenta con datos de precipitación de un periodo mayor o igual a 15 años y el 39 % con registros de precipitación durante 5 años. Se pudo analizar que de las fincas donde se lleva registro de algunas variables climáticas, se caracterizan porque tienen áreas entre 75 ha a 595 ha de cultivo de café.

Agricultores que cuentan con extensiones menores a 75 ha de cultivo, informaron que no registran datos de clima. Es posible que aquellos que no realizan registro de clima,

desconozcan los requerimientos climáticos del cultivo de café y el manejo adecuado que deben darle a este en función del clima local o microclima donde esté ubicada la unidad productiva.

De las instituciones donde se obtuvo registro de clima, específico, dentro del área donde se cultiva café, fueron: ANACAFÉ, INSIVUMEH, MOSCAMED. Estas cuentan con datos públicos. En algunos casos, la información es limitada y con registro no mayor de 10 años. En la búsqueda de información, se tuvo problemas para su adquisición, no está tabulada y ordenada. Los registros en algunas fincas están de manera física en cuadernos, la información es valiosa y requiere de ordenamiento para su interpretación.

5.1.3 Información de clima registrado por caficultores particulares

En la recopilación de información de datos climáticos de las fincas de café, se encontró que la mayoría de caficultores, no cuentan con información de variables climáticas requeridas para un estudio epidemiológico. La variable con mayor porcentaje de registro encontrada fue precipitación pluvial con 100 % en las fincas de estudio, seguido de temperatura 21 % y 9 % poseen datos de humedad relativa. Por ello, se recurrió a fuentes de información de algunas instituciones que tienen datos de clima donde se hizo el estudio.

5.1.4 Información de clima registrado por instituciones y caficultores particulares

Algunas instituciones y agricultores han empezado a recolectar otras variables climáticas y se encuentran disponibles aproximadamente del 2010 a 2015, tal es el caso de ANACAFÉ que cuenta con una red de estaciones meteorológicas tipo “datalogger”, figura 5. Las variables climáticas que se registran son: dirección del viento, velocidad del viento, temperatura del aire, humedad relativa, punto de rocío, lluvia, radiación solar y evapotranspiración. Estos datos son importantes para el sector cafetalero y deben de estar disponibles para uso público. La figura 4, contiene puntos azules y rojos, los cuales corresponden a estaciones tipo DATALOGGER de ANACAFÉ.

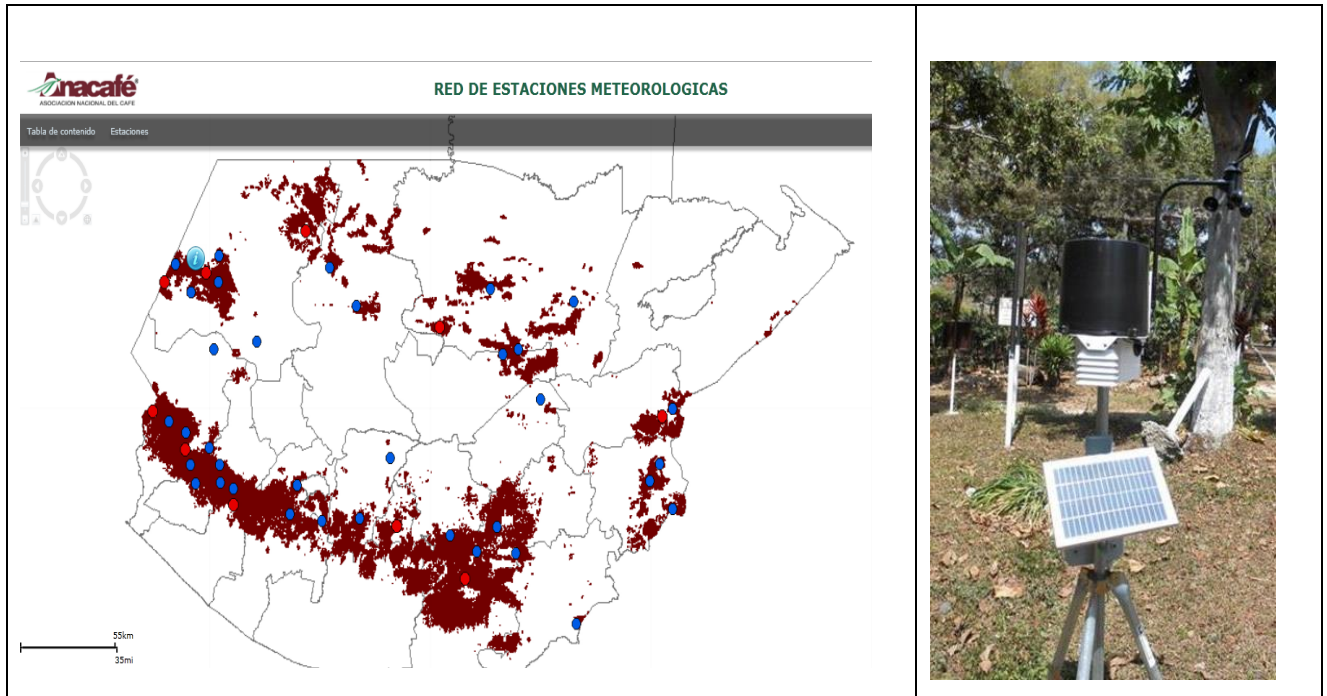


Figura 4. Áreas utilizadas para cultivo café en Guatemala.

Algunas razones expuestas, por los caficultores, del porqué se registra datos de clima en las fincas son: contar con información disponible a la hora de realizar un estudio, cuantificar la precipitación en determinado momento, para conocer la cantidad de lluvia que promovió floración, determinar si es necesario el uso de riego dentro del sistema café y para conocer a grandes rasgos las posibles condiciones microclimáticas óptimas que se pueden desarrollar dentro del sistema y así determinar de mejor manera el manejo que se le dará al cultivo con el fin de evitar posibles enfermedades del café, entre otras.

Se puede concluir que la información de clima en el agro-ecosistema café en Guatemala, en general es limitada. Se da prioridad a registro de precipitación en las fincas con áreas mayores de 75 ha. Muchos de los agricultores que cuentan con algunas variables de clima, no aprovechan esa información para manejo del cultivo de café y de enfermedades. Según ANACAFÉ (2014), la información de clima es necesaria para conocer el requerimiento de

clima del cultivo de café, para su manejo, producción, el tipo y manejo de enfermedades que pueden presentarse, entre otras.

5.2 Georreferenciación de fincas en el estudio

En la figura 5, se presenta la ubicación de las fincas de café de acuerdo a la georreferenciación realizada en cada visita según la metodología. Cada punto rojo en el mapa, representa las fincas de estudio en esta investigación y todas están situadas en el área montañosa del sur occidente y parte del altiplano de Guatemala donde se cultiva café.

La información de la figura 5, son datos de campo obtenido en visitas a fincas, para el proyecto FODECYT 33-2013, donde los puntos rojos corresponden al punto georreferenciado de las fincas.

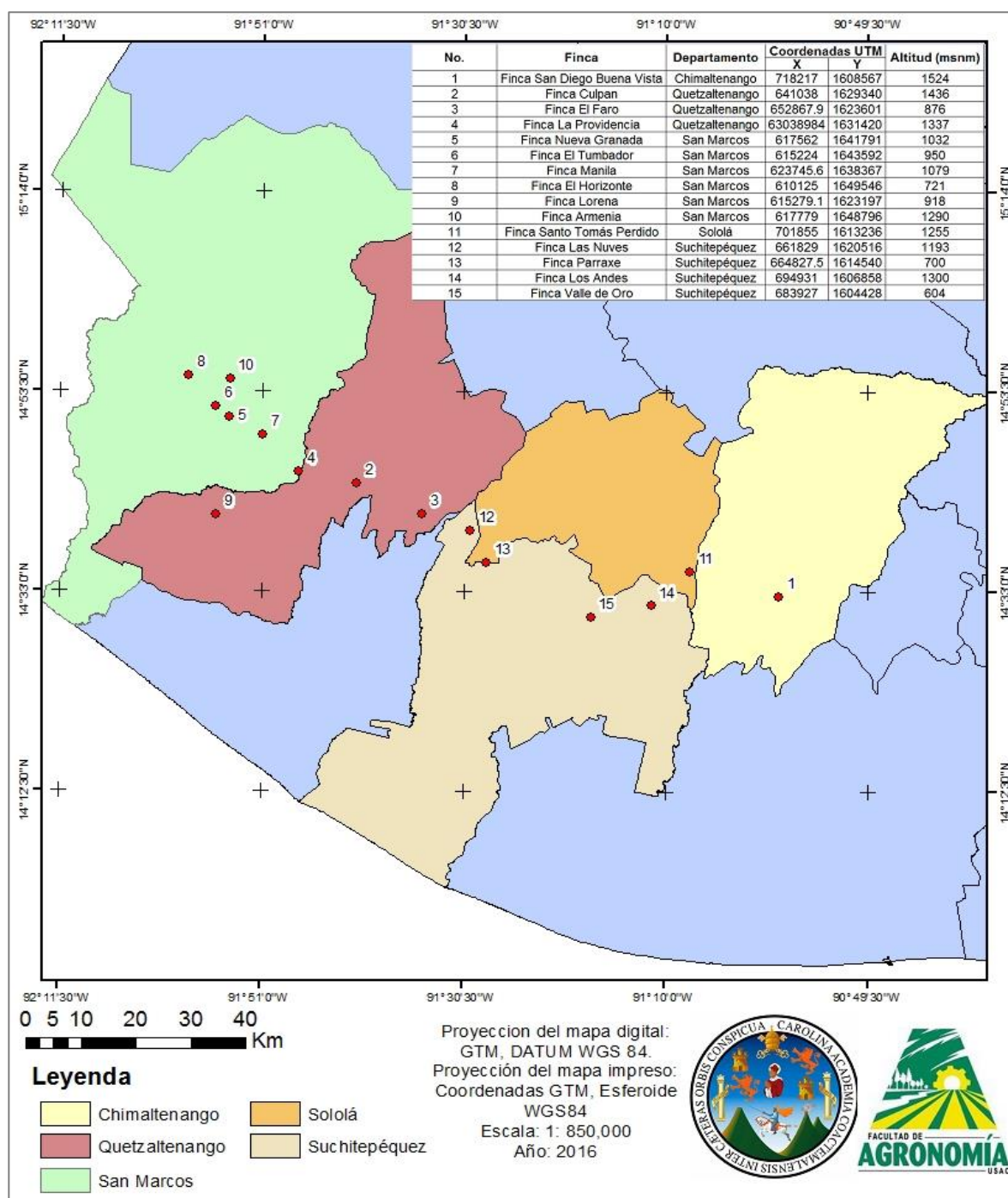


Figura 5. Ubicación de algunas fincas cafetaleras en las regiones I, II y III de Guatemala donde se registra variables de clima.

5.3 Análisis de información de clima obtenido en la región cafetalera del sur occidente y altiplano central de Guatemala y su relación con la roya del café

En las regiones I, II y III, el periodo en que se presenta el mayor progreso de la enfermedad de la roya del café es durante agosto a enero y coincide con la maduración de frutos y cosecha del café en esas localidades y es cuando el inóculo es abundante y las esporas del hongo tienen mayor probabilidad de ser diseminadas por diferentes medios.

En el caso del clima, coincide con la época de mayor precipitación del año en Guatemala (figuras 6 a 11), seguido de un periodo seco y caluroso conocido como canícula, que es favorable para el hongo que ocasiona la roya del café. De ello se concluye que, existe condición inductiva de clima durante el periodo indicado, aunado a factores antropogénicos para la dispersión del hongo durante la cosecha del café, ambos son subsistemas del sistema epidemiológico roya-café. Esta información es análoga a la indicada para el mismo patosistema en años anteriores (Calderón, 2012).

El área geográfica cultivada con café en Guatemala para 2016, estaba localizada en altitudes de 500 m a 1,900 m s.n.m., con ligeras variaciones. En ese intervalo, hay varios microclimas, con condiciones favorables para la roya del café. Así, las recomendaciones de manejo de esa enfermedad, no se pueden generalizar y deben ser locales, basados en esos microclimas. De la misma manera, las variedades a recomendar, el manejo del cultivo por los agricultores y comportamiento del patógeno, entre otros factores, difiere.

5.3.1 Análisis de información de clima obtenido, en las regiones I, II, III y el requerimiento climático del café

Se menciona que el cultivo de café está adaptado a regiones donde la precipitación es alrededor de 1,500 mm anuales (Alegre, 1959). En los datos obtenidos en las fincas de café, se ha registrado precipitación anual entre 830 mm a 7,298 mm en San Marcos. Con la precipitación mínima que fue en el 2002 y 2016, hubo escasez de lluvia y para la máxima precipitación indicada en el 2010, sobrepasa lo requerido para el cultivo de café. En esta

región hay varios microclimas aptos para el desarrollo y producción de café, así como para el progreso de diversas enfermedades según el clima.

En el caso de la roya del café, adicional a lo indicado, con la cobertura arbórea para sombra utilizada en el cultivo, crea cierta humedad en los cafetales y facilita el progreso de esta enfermedad.

El ambiente inductivo para la roya del café, consiste en humedad superior a 80 % y temperatura cercana a 22 °C. Estas condiciones se encuentran en los datos de clima aquí analizados (18 °C a 25 °C). Por lo tanto, con clima favorable o inductivo para la roya del café, variedades susceptibles como Caturra, Borbón y Catuaí que se cultivan en las fincas de esta región, manejo agronómico deficiente del cultivo, se espera que los problemas de roya del café sean catastróficos, tal como acontecido en los años 2010 a 2014, cuando esta enfermedad fue catalogada como epidemia.

Los datos de precipitación, a través de los años, han variado en Guatemala. El año de mayor precipitación, en los últimos sesenta años según registros de clima provenientes de áreas cafetaleras donde se hizo el estudio, fue el 2010. Esto fue debido a la precipitación que hubo durante la tormenta tropical Agatha. Fue registrado por el 100 % de los caficultores que brindaron información, tal como se visualiza en las figuras 6 a 11.

Esto causó alto impacto en el cultivo de café porque favoreció el progreso de varias enfermedades, principalmente roya del café ocasionado por *H. vastatrix*, considerada como epidemia en esa época y ojo de gallo causado por *Mycena citricolor*. Esto obligó a los agricultores a modificar la estructura del sistema café, consistente en la introducción de nuevas tecnologías como uso de fungicidas y variedades resistentes a roya del café. Desde luego, causó impacto económico, por el incremento de costos de producción.

La variación de precipitación, también ocurre según la altitud. En el análisis de los datos de precipitación obtenidos en las regiones I, II y III, se definieron tres estratos. Para registros obtenidos en fincas ubicadas entre [400 m a 800 m s.n.m.), fueron denominados como parte baja de producción de café y según el promedio de precipitación de tres fincas en 15 años,

ahí ocurre la mayor precipitación con 4,939 mm. La parte media de [800 m a 1,200 m s.n.m.), tiene precipitación promedio de 3,979 mm, de acuerdo a datos de registro de 10 fincas durante 15 años.

En el estrato alto, para las zonas de producción de café situadas arriba de 1,200 m s.n.m., el promedio de precipitación de acuerdo a registro de 8 fincas y 15 años es de 3,176 mm, los cuales se discuten a continuación.

5.3.2 Análisis de precipitación para el estrato altitudinal bajo de producción de café

En este estrato se obtuvo datos de tres fincas. En la finca Parraxé ubicada a 700 m s.n.m., el registro de clima es de 2010 a 2016. Además, hay relatos históricos, como acontecimientos naturales ocurridos durante 68 años, fechas relacionadas a floración en cultivo de café (cuadro 2), entre otros.

En la finca El Horizonte hay datos de 2008 a 2016, dicha finca está situada a 721 m s.n.m. y de la finca Valle de Oro situada a 604 m s.n.m., el registro de precipitación es del año 1999 a 2015. Los datos de precipitación obtenidos en las tres fincas mencionadas se presentan en la figura 6.

La precipitación anual en este estrato ha sido variable y se ha registrado entre 3,009 mm a 7,114 mm por año, que corresponde a los municipios de Samayac y Chicacao, respectivamente, ambos del departamento de Suchitepéquez. Estos valores, se encuentran arriba de 1,500 mm de precipitación recomendado, en la literatura, para áreas destinadas para el cultivo de café (Alegre, 1959).

En los datos obtenidos de las tres fincas para este estrato, la precipitación más alta fue en 2010, año en que ocurrió la tormenta Agatha, figura 6. A partir de esa fecha, según entrevistas a los agricultores, se incrementó la intensidad de la roya del café hasta considerarse como epidemia.

Relacionado a la humedad relativa en el estrato bajo, se cuenta con escasa información. En el registro de Moscamed para las condiciones de la finca Parraxé, se indica mínima de 28 %, máxima de 98 % y promedio de 77 %.

En el caso de la temperatura registrada en la finca Parraxé se menciona 21.7 °C a 29.8 °C con media de 25 °C, que se consideran alta para el cultivo y favorable para el patógeno. Por ello, el ambiente para este estrato es considerado inductivo para la roya del café.

En el análisis temporal de roya del café para las condiciones de la finca Parraxé, se registraron valores altos de tasa de incremento de roya en 2009 a 2010 basado en la intensidad de enfermedad cuantificada (Calderón, 2012).

Bajo estas condiciones desde el 2009, se observó incremento de roya hasta ser considerada como epidemia en el 2010 y 2011 en esta región de Guatemala, dado al ambiente inductivo que ahí se presenta para el progreso de la roya del café.

La figura 6, muestra los datos de precipitación de las fincas de estudio en el estrato bajo, ubicadas entre los 604 m a 700 m s.n.m., la información de la figura 6, fue obtenida en el registro de clima de caficultores, para el proyecto FODECYT 33-2013.

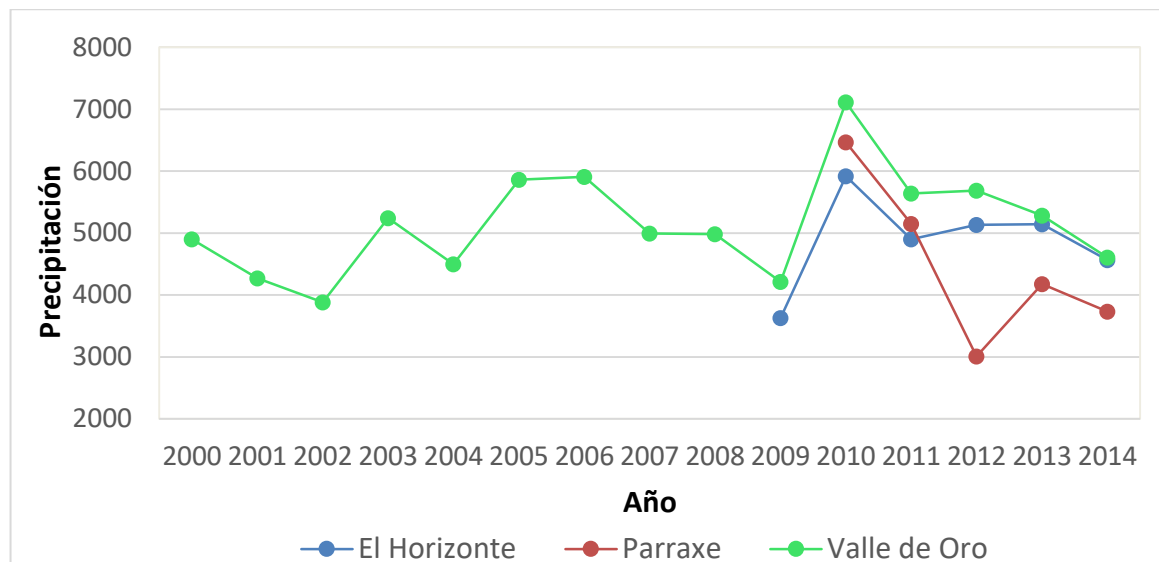


Figura 6. Precipitación (mm) en tres fincas en el estrato bajo de producción de café (604 m a 700 m s.n.m.), finca Horizonte y Valle de Oro en San Marcos y finca Parraxé en Suchitepéquez.

La fenología del café varía según el estrato y el clima que ahí se presente. En el estrato bajo, existen dos periodos climáticos, el seco que ocurre de noviembre a marzo y se caracteriza por ser seco y caluroso. Luego, de abril a octubre, se marca el periodo lluvioso acompañado de alta humedad relativa.

Las primeras lluvias ocurren en febrero a marzo y propician la floración del café. Se indica que es necesario época seca de tres meses para estimular floración (Vicente-Chandler, Abruna, & Silva, 1959).

En el cuadro 2, se presentan datos históricos de precipitación que hubo en la finca Parraxé, Suchitepéquez y la lluvia que propició la floración en el café. Se observa que el número de floraciones ha sido variable, hubo 8 en 1955, la moda es 3 floraciones abundantes. La flor se estimuló luego de un periodo seco con precipitación variable en diciembre hasta abril. Al respecto, se menciona que el periodo seco es importante para procesos fisiológicos del café, como crecimiento de raíces, maduración de ramas, iniciación floral y maduración de frutos (Haarer, 1977). Luego del estímulo de la lluvia, se incrementa la cantidad de giberelina

y en las yemas florales dan inicio a la floración (Browning, 1973). Para las condiciones de finca Parraxé, la floración del café aconteció después de 35 mm de precipitación.

El cuadro 2, contiene datos históricos de precipitación en la finca Parraxé ubicada en el departamento de Suchitepéquez. Cada dato de precipitación registrada estimuló la floración del cultivo del café según los registros obtenidos.

Cuadro 2. Datos históricos de precipitación que estimulan la floración del café en la finca Parraxé, ubicada a 700 m s.n.m. de altitud, en el departamento de Suchitepéquez.

Año	Precipitación mensual (mm) previo a floracion											PP acumu- lada	Fecha y número de floraciones durante el año							Total de floraciones	
	Nov.	Dic.	Ene.	Ene.	Feb.	Feb.	Feb.	Mar.	Mar.	Abr.	Abr.		1ra.	2da.	3ra.	4ta.	5ta.	6ta.	7ma.	Buenas	Irregulares
1950			26		22	25		65				138	5-feb	20-feb	27-feb	16-mar				4	
1951		31	43		84							158	19-ene	14-feb	19-mar					3	
1952			18		53			115				186	9-feb	9-mar	5-abr					2	1
1953		85	22		1	45		21				174	27-dic	28-ene	23-feb	18-mar				1	3
1954		35	48		8			28		77		196	15-dic	19-feb	6-mar	19-mar	17-abr			3	2
1955		35	48		23	28		0	0	62		196	17-dic	2-feb	9-feb	17-feb	9-mar	21-mar	6-abr	4	3
1956			17		33			7	189			246	3-feb	20-feb	19-mar	30-mar				3	1
1957					11	4		4	14	97		130	10-feb	16-feb	7-mar	18-mar	6-abr			1	4
1958			164		12			193				369	20-ene	4-mar	24-mar					3	
1959		66	23		31	13		20	150			303	13-dic	9-ene	4-feb	27-feb	11-mar	24-mar		2	4
1960			20		73			122				215	3-feb	4-mar	31-mar					2	1
1961					90	10	7	6	149			262	8-feb	12-feb	14-feb	12-mar	28-mar			1	4
1962		102						62	10			174	20-dic	8-mar	12-mar					1	2
1963	173		14		15		61	19	200			482	6-dic	12-ene	11-feb	6-mar	17-mar	15-abr		2	1
1964			7		47							54	15-feb	2-mar						1	1
1965	39	91	10					30		19		189	22-dic	5-ene	8-feb	10-mar	19-abr			2	3
1966			41		32	23		69				165	17-ene	15-feb	3-mar	16-mar				1	3
1967		52	3		15			96				166	31-dic	15-feb	10-mar	7-abr				3	1
1969			42		59			64				165	16-feb	10-mar	4-abr					2	1
1970			35		12					74	115	236	20-ene	14-mar	16-abr	21-abr					3
1971			47	94	25	29				76	6	183	18-ene	26-ene	22-feb	13-mar	8-abr	12-abr		2	4
2006		35	106									141	7-ene	12-feb						Ni	
2007			58	93								151	4-feb	21-feb	15-mar	25-mar				Ni	
2008		23	107									130	22-ene	8-feb	19-feb					Ni	
2009						6						6			6-mar					Ni	
2010												NR		16-feb						Ni	
2011			71									71	5-ene	6-feb	24-feb					Ni	
2012		181	22	41								244	8-ene	26-mar						Ni	
2013		40	14	48								102	12-dic	11-mar	29-mar					Ni	
2014												NR	20-ene	30-ene	22-feb	9-mar				Ni	
2015												NR	31-ene	17-feb	14-mar	27-mar				Ni	

NR= no registrado.

NI= no indicado en la finca.

Se hizo análisis de datos de floración del cultivo de café, a partir del registro de datos de un caficultor durante los años 1950 a 2015 en la finca Parraxé ubicada a 700 m s.n.m., en el municipio de Samayac, Suchitepéquez y clasificada para este estudio en el estrato bajo. Se determinó que durante ese tiempo ocurrieron de 3 a 4 floraciones como moda por año. Sin embargo, también hubo registro de 2 a 7 floraciones por año.

Por lo tanto, el número de floraciones en el cultivo de café puede variar entre ese intervalo. Para la floración, se observa que requiere un periodo de estrés posterior a la cosecha entre 30 a 60 días y luego existe relación con el clima, principalmente la precipitación que se presente posterior a ese periodo. Luego, dependiendo de la cantidad de lluvia, motiva la floración. Las floraciones para esas condiciones se presentaron de diciembre al mes de abril. Con mayor frecuencia inicia en enero y finaliza en marzo y abril, que se presentan en el cuadro 2.

Durante los 29 años de registro de floración para la finca Parraxé, se determinó que las floraciones se presentan el 8 % en el mes de diciembre, el 15 % en el mes de enero, en el mes de febrero se presenta el 32 % el 35 % en el mes de marzo y 11 % el mes de abril.

El comportamiento de la floración del café para la finca Parraxé, lleva un orden consecutivo al mes, ya que la segunda floración se da en el mes de febrero, la tercera y cuarta floración se da en el mes de marzo y de la quinta a la séptima floración se presentan en el mes de abril.

Cuando existen mayor o igual a tres floraciones anuales, la precipitación acumulada previa a las floraciones no es menor a 120 mm, esta precipitación es acumulada para el mes de enero a abril ya que son los meses en donde se presentan las floraciones. Para el año de 1964 se registran datos de floraciones donde solamente ocurrieron dos anuales, se puede ver que la precipitación acumulada previa a las dos floraciones ocurridas fue de 54 mm.

Se contemplaron los años en que más floraciones existieron y se deduce que cuando existe mayor cantidad de floraciones anuales mayores o iguales a 5 floraciones el comportamiento de estas es de forma dispareja, escasa e irregular en la finca.

La época lluviosa en el estrato bajo, ocurre de abril a octubre en donde se da la emisión de tejido nuevo (ramas y hojas), desarrollo del fruto y la cosecha se realiza en septiembre a noviembre. En Guatemala, es el primer estrato donde ocurre la maduración del fruto y se realiza la cosecha del café en septiembre y noviembre, posteriormente continua hacia altitudes mayores, en donde la cosecha es de octubre a marzo. Se menciona que el factor más importante del clima y cultivo de café debe ser la adecuada distribución del periodo lluvioso y el seco durante el año, el desequilibrio en los mismos tiene efecto adverso en la fisiología de las plantas del cafeto (Vicente-Chandler et al., 1959).

5.3.3 Análisis de precipitación en el estrato altitudinal medio de producción de café

Para este estudio, el estrato altitudinal medio fue catalogado para plantaciones de café cultivados entre [800 m a 1,200 m s.n.m.), el área se caracteriza por ser la principal zona de producción de café en Guatemala y ahí se encuentran fincas de mayor tamaño. En dichas unidades productivas en este estrato, se disponibiliza de registro de datos de clima y está relacionado con la importancia del cultivo de café en esta altitud. Al respecto, la información de precipitación fue obtenida a partir del registro de 12 fincas cafetaleras, figura 7. La precipitación promedio de 15 años es de 3,979 mm anual.

De acuerdo a datos de ANACAFÉ, en el municipio de Tumbador, San Marcos, se reporta la máxima precipitación promedio con 5,644 mm, esto es análogo a lo encontrado en el registro de la finca Nueva Granada, del mismo municipio, con 4,678 mm y valores cercanos fueron adquiridos en los registros de las demás fincas indicadas para este estrato.

En la precipitación promedio anual que se presenta en la figura 7, se observa que el 2010, fue el más lluvioso en esta altitud, similar a lo observado en el estrato bajo de producción de café, figura 7. Por ejemplo, en las fincas Nueva Granada y las Nubes se registraron 7,298 mm y 7,150 mm en su orden, para el mismo año. Los meses de mayor precipitación del año son: mayo y junio durante el primer semestre y agosto septiembre en el segundo.

Relacionado a la precipitación para este estrato, se concluye que existe información a través de registros pero no están disponibles. Esta información de las fincas ayuda con el conocimiento del clima local, permite la interpretación de eventos y es útil para el manejo del café.

Para este estrato no se obtuvo datos de humedad relativa, en los registros de las fincas. Para temperatura, en la finca Armenia, ubicada en el municipio de San Rafael Pie de la Cuesta, San Marcos, se registra 13.14 °C a 38 °C con media de 20 °C, que se consideran aptas para el cultivo y favorable para el patógeno. El ambiente para este estrato también es considerado propicio para la roya del café en variedades susceptibles como Caturra, Catuaí y Borbón.

En conclusión, en las fincas del estrato medio la precipitación ha sido superior a lo requerido para el cultivo de café. Los valores de precipitación registrados en ese estrato, tienen el doble o triple de lo requerido por el cultivo de café, además, se pueden presentar problemas de erosión y lavado de bases, situación que favorece el apareamiento de enfermedades fungosas.

La figura 7, muestra de forma gráfica los datos de precipitación de las fincas ubicadas en el estrato medio, en el área sur occidente de Guatemala.

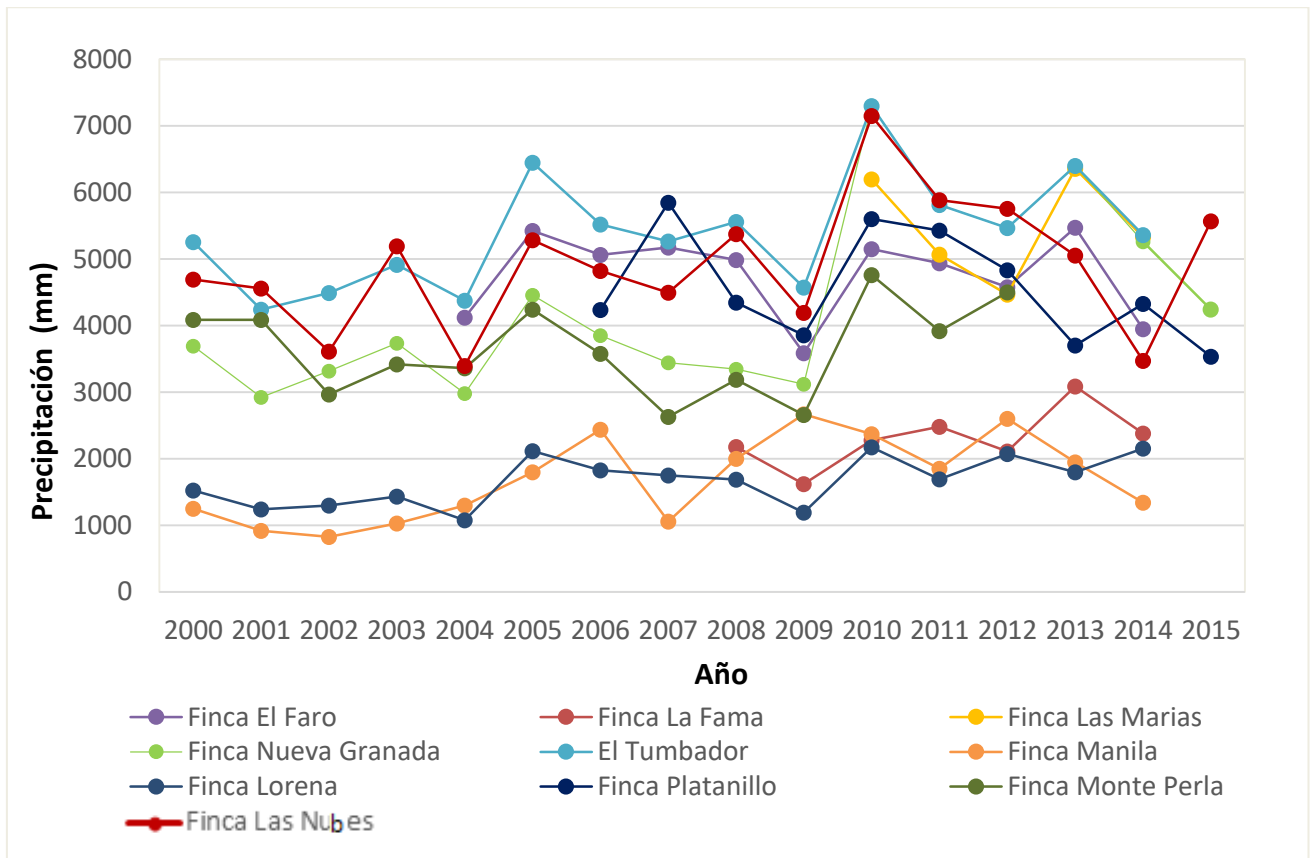


Figura 7. Precipitación media anual (mm) de 10 fincas ubicadas en el estrato medio de producción de café [800 m a 1,200 m s.n.m.) en el área sur occidente de Guatemala.

5.3.4 Análisis de precipitación en el estrato alto de producción de café

Este estrato se consideró para fincas de café situadas arriba de 1,200 m s.n.m. en esa región, se obtuvo datos de precipitación, en 10 fincas, con registro de precipitación de 15 años. En los años 2010 y 2013, se registró precipitación promedio anual de 7,298 mm y 6,360 mm en fincas cafetaleras en el municipio de El Tumbador, San Marcos y en finca las Marías en el departamento de Quetzaltenango, respectivamente.

La precipitación promedio de 15 años para todas las fincas indicadas en la figura 8, fue de 3,979 mm anual. La lluvia que precipita en esa región propicia el desarrollo de la enfermedad denominada ojo de gallo ocasionado por *Mycena citricolor*, específicamente en cultivares

de Catimor y Sarchimor que son resistentes a roya del café. Los datos de precipitación obtenidos en las fincas se presentan en la figura 8. En la finca Santo Tomas Perdido, se registran datos de tres variables de interés: precipitación, temperatura y humedad relativa. Los datos son de 16 años consecutivos a partir del año 2000 a 2015.

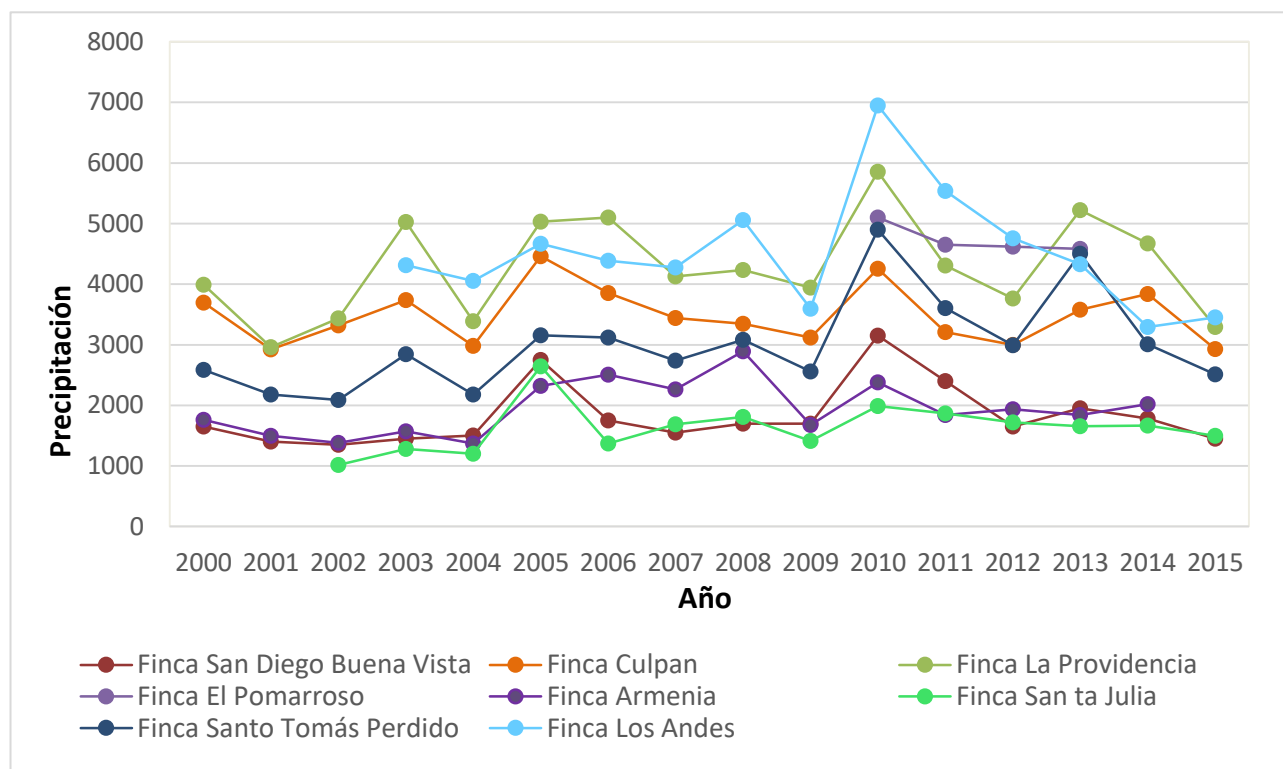


Figura 8. Precipitación (mm) con datos de las fincas de café del estrato alto (mayor a 1,200 m s.n.m.) del área sur occidente de Guatemala.

En la finca San Diego Buena Vista, existen datos de clima desde el periodo 1977 a 2015, la precipitación ha sido variable. En intervalo de 5 a 8 años (promedio de 7.6 años), acontece un año de alta precipitación y luego disminuye. Los 5 años con mayores medias de precipitación durante los 38 años fueron: 1979, 1988, 1995, 2005 y 2010 como se observa en la figura 9.

Estos episodios están relacionados a tormentas tropicales como Huracán Stan en octubre de 2005 y la mayor precipitación se registró en mayo 2010 por la tormenta Agatha. Los años

de menor precipitación fueron 1977, 1991 y el año más seco desde 1977 fue el 2016 donde se registró precipitación de 1,139 mm (figura 9). A partir de estos datos, se puede recomendar que la precipitación deba analizarse por lo menos en periodos de 5 a 7 años y los agricultores deben realizar monitoreo constante de enfermedades.

La figura 9, muestra el comportamiento de la precipitación en la finca San Diego Buena Vista, donde sobresale el año 2010 como el año con la máxima precipitación pluvial, durante el periodo 1977 a 2016 del departamento de Chimaltenango.

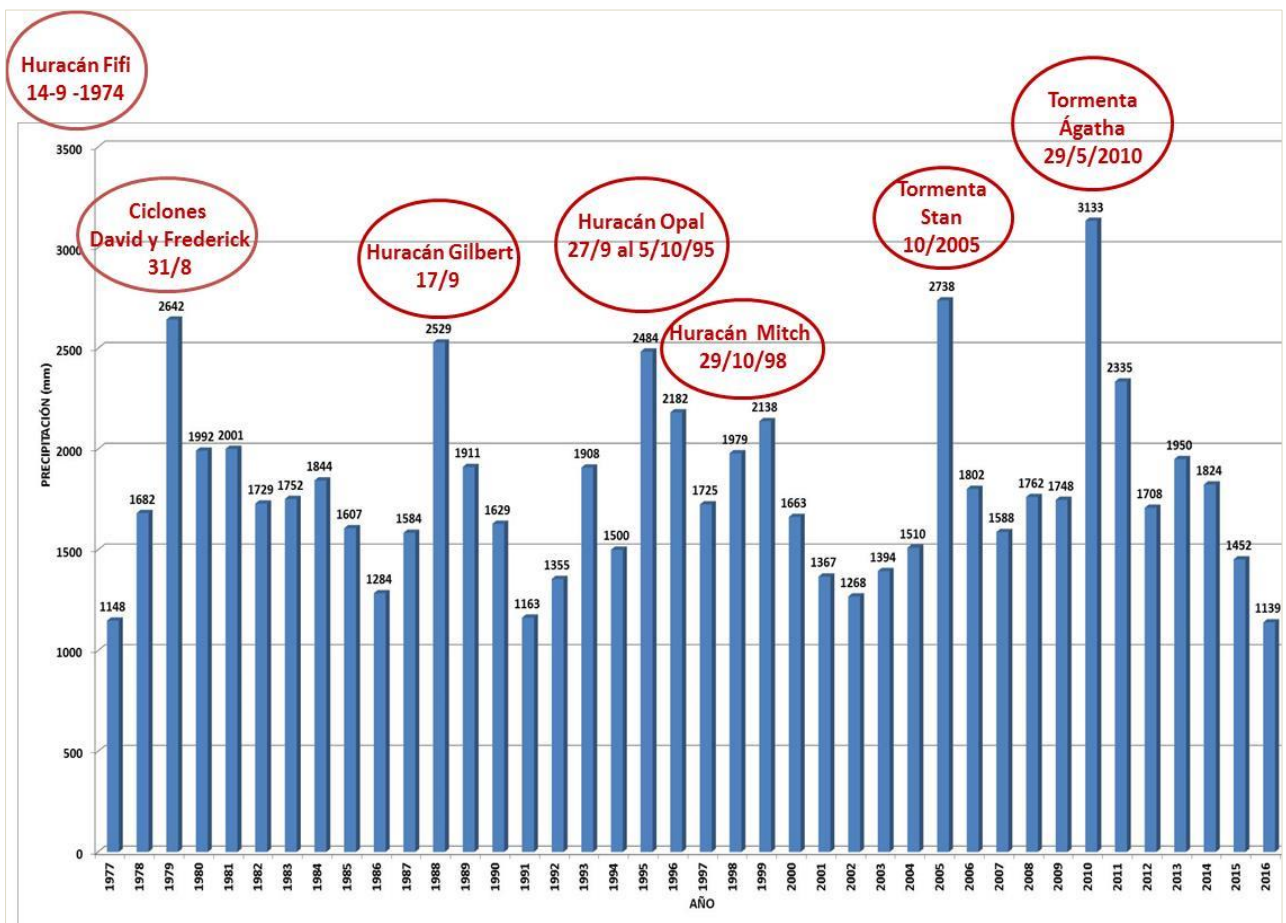


Figura 9. Comportamiento de la precipitación pluvial (mm) del periodo 1977 a 2016, registros de la finca San Diego Buena Vista, del departamento de Chimaltenango.

A manera de ejemplo de microclima, en el cultivo del café, se presentan los datos de un agricultor que registra clima en aldea FERIA, San Rafael Pie de la Cuesta, San Marcos, a 1,535 m s.n.m., figura 10. En ese lugar, la precipitación se presenta todo el año y la máxima registrada fue en junio de 2014. Donde se presenta la enfermedad más importante del café y que ocasiona pérdidas es ojo de gallo causado por *Mycena citricolor*. Pacheco (2012), en la misma localidad concluyó que esta enfermedad tiene relación con la precipitación.

Para el caso de la roya del café, este mismo productor indicó que el problema epidémico fue en julio de 2014 y le causó pérdida de 50 %. Esto indica que la enfermedad de roya se presentó para este agricultor de manera tardía. Por ello, se enfatiza en la necesidad de que las recomendaciones de manejo del cultivo y enfermedades de café deben ser más específicas basadas en clima local y situación socioeconómica del agricultor, algo que no siempre se realiza en Guatemala.

La figura 10, muestra de forma gráfica los datos de precipitación registrados por un agricultor en la aldea La FERIA, del departamento de San Marcos, ubicado en las coordenadas UTM; 15p 616764, 1651878, altitud; 1,535 m s.n.m.

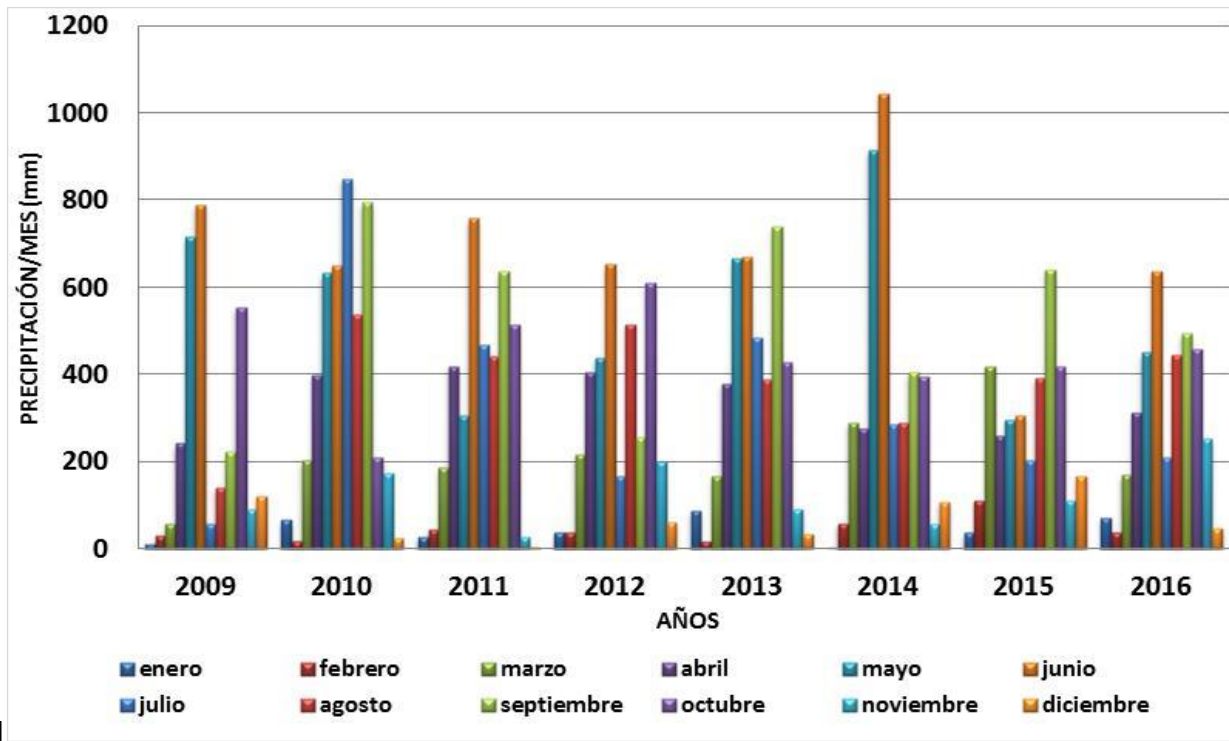


Figura 10. Datos de precipitación en una unidad productiva de un agricultor en la aldea La Feria, San Rafael Pie de la Cuesta, San Marcos, durante los años 2009 al 2016.

5.3.6 Datos consolidados de precipitación obtenidos en las regiones I, II y III

En la figura 11, se presentan datos de precipitación anual registrados en algunas de las fincas cafetaleras de la región sur occidente y altiplano del país, entre el periodo de 2000 a 2014. En los años registrados, la mayor precipitación fue para el 2010, esto fue debido al efecto la tormenta tropical Ágatha (INSIVUMEH, 2010).

La precipitación máxima registrada en algunas fincas, fue alrededor de 7,000 mm en el año 2010. Esa cantidad de lluvia es superior a lo recomendado para el cultivo de café según Alegre (1959), quien sugiere precipitación anual entre 1,200 mm y 1,800 mm.

En la figura 11, se muestra que las fincas cafetaleras estudio, sobrepasan el intervalo óptimo de precipitación anual en 5,500 mm más de lo requerido por el cultivo, referido a los mayores registros de precipitación de fincas. Se menciona que cuando las plantas se encuentran

expuestas ante estrés por agua, disminuye el uso eficiente del nitrógeno y otros nutrientes (Pérez, Chaverri, & Bornemisza, 1956).

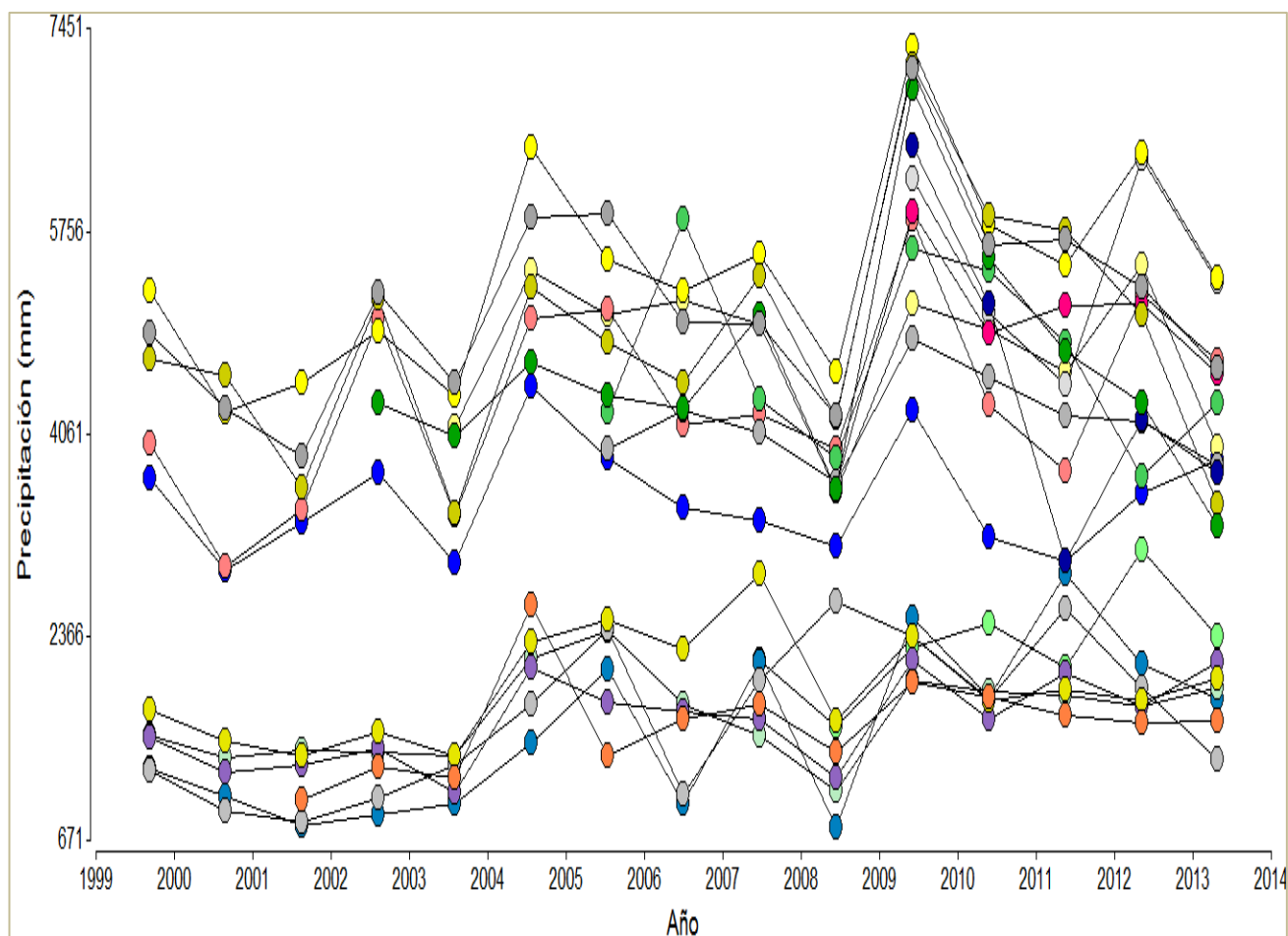


Figura 11. Datos de precipitación anual (mm) obtenidos en fincas de producción de café en altitud de 604 m a 1,524 m s.n.m. durante los años 2000 a 2014, en las regiones I, II y III.

La figura 12, detalla la ubicación y precipitación de las 21 fincas de café, donde se analiza la relación que tiene la precipitación según la altitud a la que están ubicadas las fincas de producción de café.

La mayor precipitación se da en la finca Las Marias y el municipio El Tumbador los cuales se mantienen dentro de los rangos de precipitación de 4,500 mm a 5,000 mm promedio de los años 2000 a 2014.

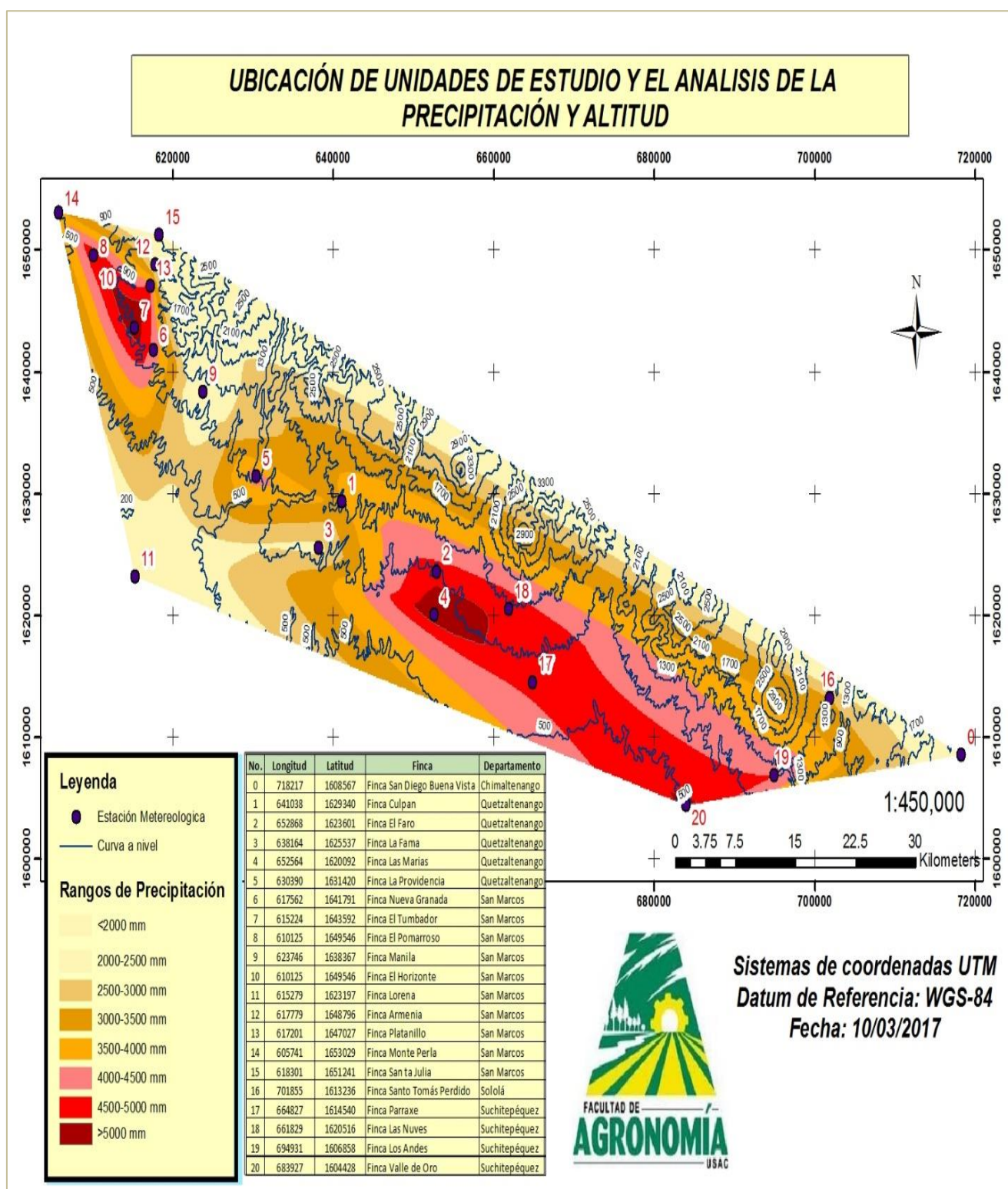


Figura 12. Mapa de precipitación promedio anual (mm) 2000 a 2014, de las fincas de producción de café de las regiones I, II y III de las fincas de estudio.

5.3.7 Análisis de datos de temperatura para algunas localidades según altitud

Para la variable temperatura, se presentó la limitante de falta de información en las fincas cafetaleras. A continuación, se analiza la temperatura para dos localidades. En base a datos de temperatura en la finca Parraxé, en Suchitepéquez, ubicada a 700 m s.n.m., durante el periodo de 2005 a 2015.

Se observa que hubo variación de temperaturas máximas y mínimas. En esa localidad se tiene registrado temperatura mínima de 10 °C y máxima de 33 °C. Estos valores se consideran fuera del intervalo de temperatura óptima para el cultivo de café.

Alegre (1959) indica que la temperatura adecuada para el desarrollo del café es entre 16 °C a 23 °C y Sánchez (1998) recomienda de 20 °C a 23 °C. Además, indican que la temperatura en el sistema café, no debe ser extrema. Existen varios efectos de estrés asociados a temperatura en el cultivo de café.

Nunes, Bierhuizen & Ploegman (1968), indican que con temperatura superior a 24 °C decrece la fotosíntesis y a 34 °C se hace casi imperceptible. Carvajal (1972), menciona que temperatura alta favorece el crecimiento de la planta, pero arriba de 30 °C diurno y 24 °C nocturno, induce flores estrellas que abortan.

En la figura 13, se presenta la variabilidad la temperatura mínima y máxima en la finca Parraxé durante 6 años (2005 a 2010), donde la temperatura mínima representa la línea color café, la temperatura máxima representa la línea color azul y la línea media indica la temperatura óptima para la producción del café, según Sánchez (1998).

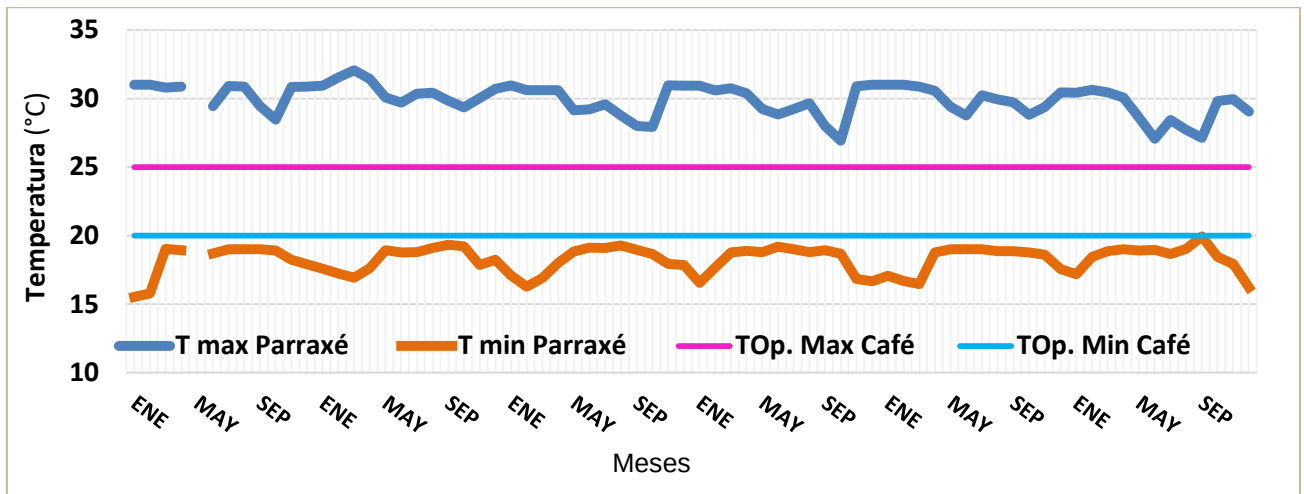


Figura 13. Temperatura mínima, máxima y óptima del cultivo, durante 2005 a 2010 en la finca Parraxé.

La información de la figura 13, se elaboró con datos de temperatura máxima y mínima provenientes de la finca Parraxé. La segunda localidad, corresponde al análisis de datos de temperatura de la finca Santo Tomas Perdido, en el departamento de Sololá, municipio de San Lucas Tolimán, a 1,255 m s.n.m., las temperaturas registradas ahí, en el periodo 2000 a 2016 se muestran en la figura 14.

El ambiente que se presenta en esa altitud es apto para cultivo de café. La temperatura registrada en esa finca, está relacionada a los valores óptimo mínimo y máximo recomendado para el cultivo de café según Alegre (1959) y Sánchez, (1998), quienes indican 16 °C como mínimo y 23 °C máximo.

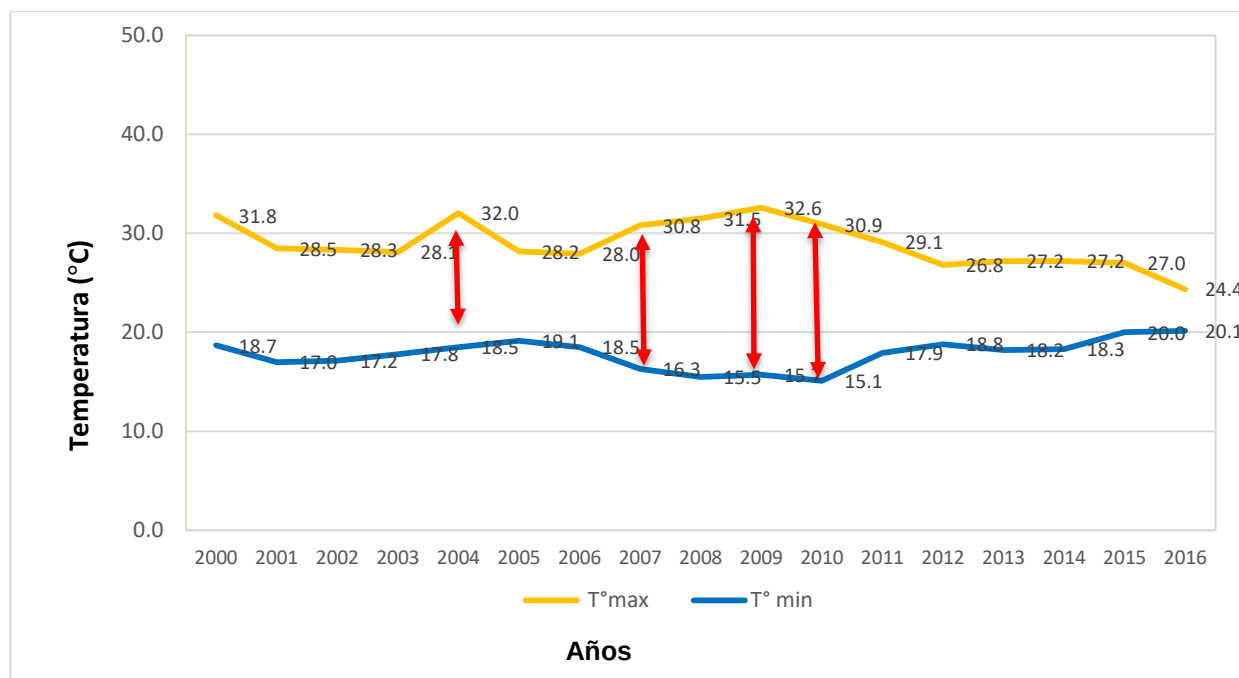


Figura 14. Temperaturas máximas y mínimas durante los años 2000 al 2016, en la finca Santo Tomás Perdido, a 1,255 m s.n.m., en el departamento de Sololá.

5.3.8 Análisis de humedad relativa

La humedad relativa, no se registra en la mayoría de las fincas, excepto en aquellas que cuentan con estaciones registradoras de datos tipo “datalogger”, mismo que para roya del café es indispensable. En la figura 15, se presenta los datos promedio de humedad relativa registrados en la finca de café Santo Tomas Perdido, en el departamento de Sololá, municipio de San Lucas Tolimán, a 1,255 m s.n.m.

Se observa que, en el 2004, hubo temperaturas arriba de 30 °C y la humedad relativa disminuyó por abajo del 50 %. Cuando la temperatura fue menor a 30 °C, la humedad relativa promedio se incrementó. Al existir humedad relativa alta, los problemas fitosanitarios se incrementan, incluyen la roya del café. Así, la alta humedad relativa, tiene una fuerte influencia para la aparición de enfermedades en el cultivo de café. Por ello, es un dato importante que debe de considerarse en un cultivo.

La finca de café Santo Tomas Perdido cuenta con datos de precipitación, humedad y temperatura, proveniente de una estación meteorológica tipo “datalogger”. Se puede observar que, en el año 2010, se alcanzó la máxima precipitación, al igual que la humedad relativa. En el 2010, el 100 % de las fincas donde se hizo el estudio reportan el mayor valor de precipitación. Los datos de la finca Santo Tomas Perdido se muestran en la figura 15.

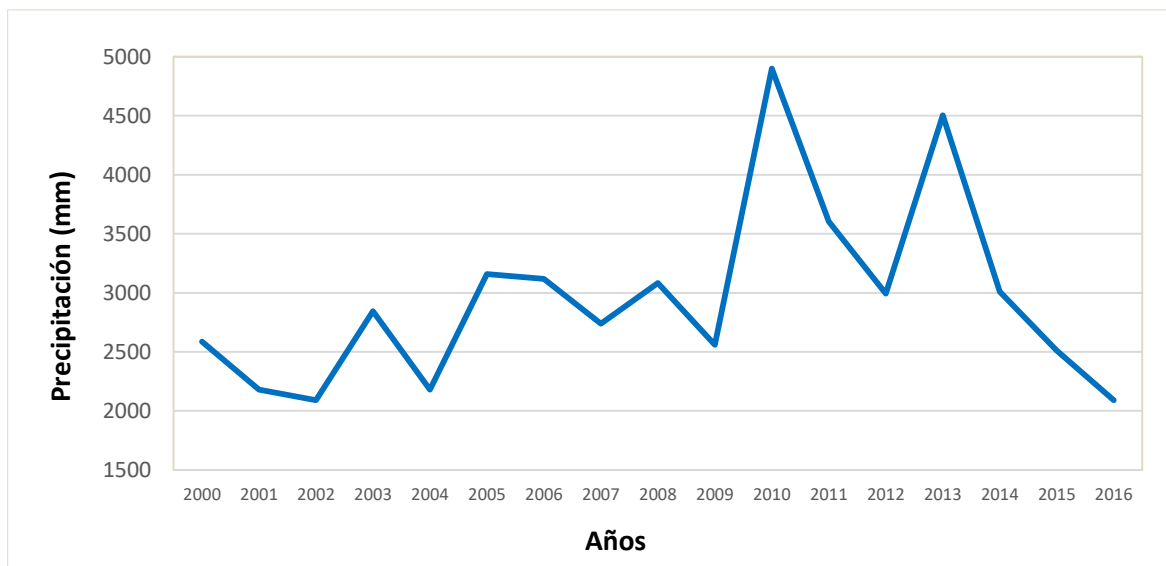


Figura 15. Precipitación de la finca Santo Tomas Perdido, departamento de Sololá a 1,255 m s.n.m., durante el periodo de 2000 a 2016.

En la figura 16, se muestran datos de forma gráfica de la forma en que la temperatura influye en el porcentaje de humedad relativa presente durante el periodo 2000 a 2015.

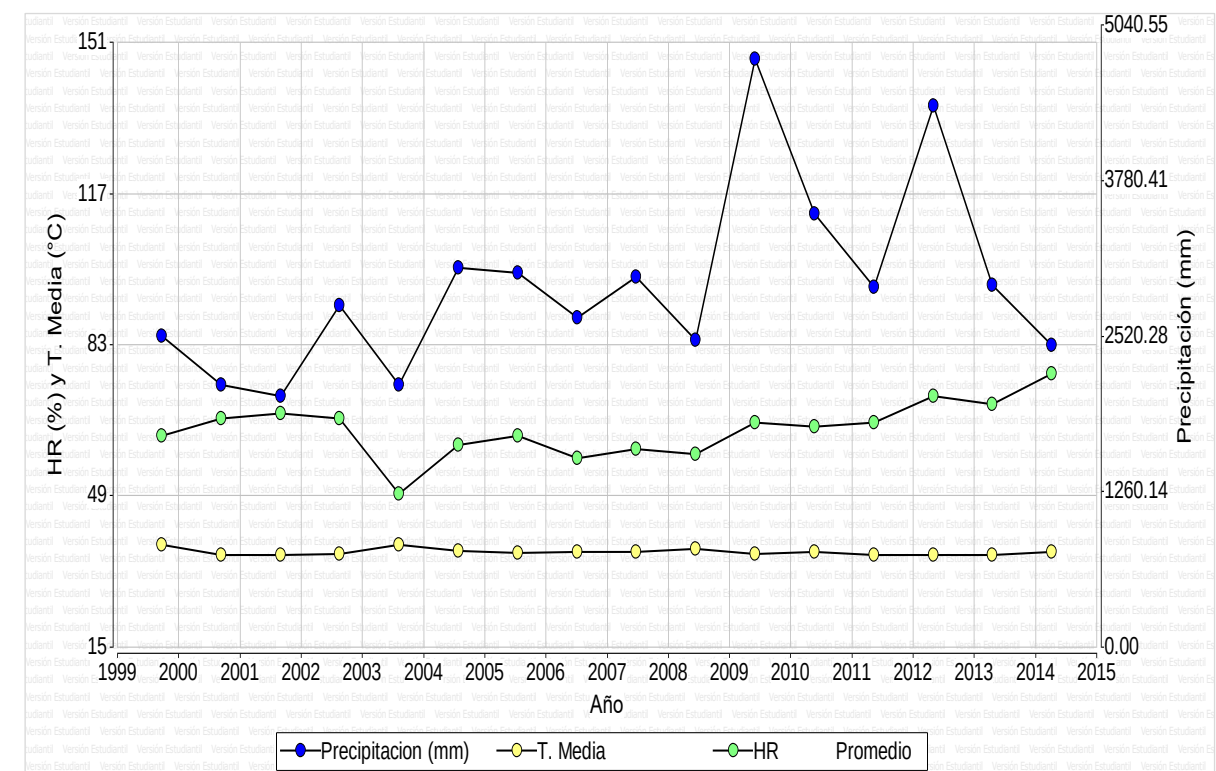


Figura 16. Temperatura, humedad relativa y precipitación en la finca Santo Tomas Perdido, año 2000 a 2015.

5.3.9 Relación de variables climáticas e incidencia de roya del café *Hemileia vastatrix*

De acuerdo a los datos sistematizados y presentados, se puede indicar que si existe información importante de clima en fincas de agricultores. Es incompleta y permite explicar parte de lo ocurrido durante los años 2010 a 2014, durante la epidemia de la roya del café. Parte de la información permite percibir que, a partir del año 2010, hubo incremento de la humedad relativa en las áreas de producción de café tal como se muestra en la figura 16.

En los años anteriormente indicados, la temperatura fue variable, en las principales áreas de producción de café oscilaron entre 20 °C a 23 °C, con humedad relativa de 64 %, promedio de 17 años, pero con tendencia a crecimiento ascendente durante 2010 y 2016, según datos finca Santo Tomás Perdido, en Sololá, figuras 15 y 16. Este ambiente fue ideal

en la biología de *H. vastatrix*. Tal situación, acompañado del cultivo de variedades susceptibles al patógeno y algunas prácticas deficientes de manejo del cultivo por parte de los caficultores, fue favorable para el progreso de la roya del café, situación que ocasionó severos daños al cultivo de café.

Análisis similar fue planteado por Calderón (2012), a partir del estudio efectuado en la finca Parraxé, en donde existe clima inductivo para roya del café consistente en humedad relativa superior al 70 % y temperatura 18 °C a 29 °C. Basado en datos de agricultores aquí presentados, se concluye que existe información importante de algunas variables de clima en áreas de producción de café.

A partir del 2010, se analiza que el clima fue inductivo para el progreso de la roya del café. Deberá socializarse para uso de los caficultores principalmente para aquellos que no cuentan con información de clima. Datos de precipitación son abundantes, pero de temperatura y humedad relativa son escasos.

En otros países como Brasil, los datos de humedad relativa son considerados de mayor interés para el análisis de la roya del café, por lo que se recomienda que los agricultores inicien por registrar esta variable. Su uso puede estar relacionado a comprender la fenología del cultivo, el aparecimiento de varias floraciones y fuera de época como está aconteciendo, el manejo del cultivo, presencia de plagas y enfermedades, entre otros.

Se recomienda seguir con el criterio de análisis de datos por estrato altitudinal tendiente al conocimiento de microclimas. Así, las recomendaciones técnicas de manejo del cultivo deben ser basadas en microclima y por lo tanto de manera local.

6 CONCLUSIONES

1. Datos de clima fueron sistematizados en 21 fincas de cultivo de café caracterizadas por tener área mayor o igual a 75 ha. La variable con mayor frecuencia de registro fue precipitación con 100 %, por lo menos de 5 años consecutivos. El 21 % registra temperatura y precipitación, 9 % humedad relativa, temperatura y precipitación. Estas tres variables son consideradas importantes para el cultivo de café, no obstante, la información es escasa y aun para muchos agricultores de poca importancia su registro.
2. De los tres estratos establecidos para el estudio alto, medio y bajo, se terminó que el estrato más lluvioso fue el estrato bajo, el cual fue de 4,939 mm promedio de 16 años, seguido del estrato medio con 3,979 mm. Las precipitaciones sobrepasan lo requerido por el cultivo de café, de 1,500 mm promedio anual. El 100 % de las 21 fincas de estudio, alcanzaron la mayor precipitación en el año 2010, periodo epidémico donde existieron condiciones de clima favorables para *Hemileia vastatrix* que ocasionó la roya del café, específicamente con el incremento de la humedad relativa (62 % a 79 %) con temperatura (20 °C a 23 °C) favorable al patógeno.
3. Según datos recopilados de la finca cafetalera San Diego Buena Vista, los 5 años con mayor precipitación, durante 38 años fueron: 1979, 1988, 1995, 2005 y 2010, y los de menor precipitación 2002 y 2016. Los episodios de alta y baja precipitación son secuenciales y están relacionados a tormentas tropicales en intervalo promedio de 7.6 años. A partir del 2010, se analiza que el clima fue inductivo para el progreso de la roya del café.

7 RECOMENDACIONES

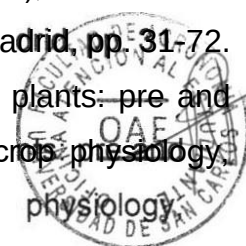
1. Continuar con la sistematización de información de clima y socializar para uso de los caficultores. Su uso debe estar relacionado a comprender la fenología del cultivo, el apareamiento de varias floraciones y fuera de época como está aconteciendo, el manejo del cultivo, presencia de plagas y enfermedades, entre otros.
2. Se recomienda seguir con el criterio de análisis de datos por estrato altitudinal tendiente al conocimiento de microclimas. Así, las recomendaciones técnicas de manejo del cultivo de café deben ser basadas en microclima y por lo tanto de manera local.
3. Incentivar a los caficultores a registrar la variable de humedad relativa por ser considerada de mayor interés para el análisis de la roya del café y temperatura por existir varios microclimas. La precipitación debe analizarse por lo menos en periodos de 5 a 7 años.
4. Crear una base de datos de variables climáticas que esté disponible para los caficultores minifundistas e incentivarlos a que realicen registro de datos y que los puedan proporcionar para el análisis de los mismos.

8 BIBLIOGRAFÍA

1. Alegre, C. 1959. Climats et cafeiers d'Arabie. Agron. Trop. 14:23-58.
2. ANACAFÉ (Asociación Nacional del Café, Guatemala). 2014. Guía técnica de caficultura. Guatemala. 212 p.
3. _____. 2015. Anacafé-14, la variedad de café de Guatemala resistente a la roya (en línea). El Cafetal: la Revista del Caficultor 41(1):4-5. Consultado 8 ago. 2015. Disponible en http://anacafe.org/glifos/images/0/0c/REVISTA_No._41_EL_CAFETAL_ENE-FEB-MAR-ABR_2015-cambio.pdf
4. Arcila, J. 2001. Crecimiento y desarrollo de la planta de café (en línea). Colombia. Consultado 5 sep. 2015. Disponible en <http://www.cenicafe.org/es/documents/LibroSistemasProduccionCapitulo2.pdf>
5. Avelino, J; Rivas, G. 1998. La roya anaranjada del cafeto. Noruega, CIRAD / CATIE / IICA / PROMECAFE. 47 p.
6. Browning, G. 1973. Flower bud dormancy in *Coffea arabica* L. I Studies of gibberellin in flower buds and axiems ap and of abscisic acid in flower buds in relation to dormancy release. J. Hortic. Sci. 48(1):29-41.
7. Calderón, Estrada, GC. 2012. Epidemiología de la roya del café causada por *Hemileia vastatrix* Berk. & Br en los departamentos de San Marcos, Quetzaltenango, Suchitepéquez y Escuintla. Tesis Ing. Agr. Guatemala, USAO, Facultad de Agronomía. 97 p.
8. Carvajal, JF. 1972. Cafeto; Cultivo y fertilización. Berna, Suiza, Instituto Internacional de la Potasa. p. 140-141.



9. CEPAL, Chile; CAC / SICA (Consejo Agropecuario Centroamericano del Sistema de la Integración Centroamericano, El Salvador). 2014. Impactos potenciales del cambio climático sobre el café en Centroamérica. México. 131 p.
10. CIAT, Colombia. 2012. Escenarios del impacto del clima futuro en áreas de cultivo de café en Guatemala (en línea). Cali, Colombia. p. 6. Consultado 23 jul 2015. Disponible en <http://dapa.ciat.cgiar.org/wp-content/uploads/2012/03/Informe-Guatemala-Fine.pdf>
11. Fassbender, H; Bornemisza, E. 1987. Química de suelos con énfasis en suelos de América Latina (en línea). Costa Rica, IICA. Consultado 5 set. 2015. Disponible en <http://orton.catie.ac.cr/REPDOC/A9793E/A9793E.PDF>
12. Fernández, A; Martínez, J. 2004. Cambio climático una visión desde México (en línea). México. Consultado 13 set. 2015. Disponible en <http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones/download/437.pdf>
13. García Túchez, JW. 2012. Caracterización biológica del hongo *Mycena citricolor* Berk & Curt, con aislamientos obtenidos de cultivares de café (*Coffea arabica* L.) provenientes de las diferentes zonas cafetaleras de Guatemala, C.A. Tesis Ing. Agr. Guatemala, USAC, Facultad de Agronomía. 69 p.
14. Gliessman, S. (2007), Agroecology: The ecology of sustainable food systems, CRC Press, Boca Raton, Florida, pp. 59-71.
15. Gregory, P. (1992), "Crecimiento y desarrollo vegetal", en Wild, A. (ed.), Condiciones del suelo y desarrollo de las plantas, Ediciones Mundi-Prensa, Madrid, pp. 31-72.
16. Grierson, W. (1995), "Role of temperature in the physiology of crop plants: pre and postharvest", in Pessarakli, M. (ed.), Handbook of plant and crop physiology, Dekker Publisher, Nueva York, pp. 61-81.
17. Haarer, AE. 1977. Producción moderna de café. México, CECOSA. p. 652.



18. Hernández, M. 1988. Manual de caficultura. Guatemala, ANACAFÉ. p. 3.
19. Hernández, Terrones TA. 2006. Epidemiología; Fundamentos de análisis y manejo sistémico de epidemias de cultivos tropicales. Lima, Perú, INCADES / FEDAM. p. 6-8.
20. INSIVUMEH (Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología, Guatemala). 2010. Zonas climáticas de Guatemala (en línea). Guatemala. Consultado 14 set. 2015. Disponible en <http://www.insivumeh.gob.gt/meteorologia/zonas%20climaticas.htm>
21. López Castillo, JR. 2013. Densidad de siembra (en línea). El Cafetal: la Revista del Caficultor 35(2):8-9. Consultado 9 set. 2015. Disponible en http://www.anacafe.org/glifos/images/c/c2/2013_36_El_Cafetal.pdf
22. Mora S, N. 2008. Agrocadena del café (en línea). Costa Rica, Ministerio de Agricultura y Ganadería, Dirección Regional Huetar Norte. 49 p. Consultado 23 jul 2015. Disponible en <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/a00080.pdf>
23. Nuñez, MA; Bierhuizen, JF; Ploegman, C. 1968. Studies on the productivity of coffee; I effect of light temperature and CO₂ concentration on photosynthesis of *Coffea arabica*. Acta Bot. Neerl. 17:93-102.
24. Pérez S, VM; Chaverri, G; Bornemisza, E. 1956. Algunos aspectos del abonamiento del cafeto con boro y calcio en las condiciones de la meseta central de Costa Rica. Turrialba, Costa Rica, IICA. p. 1-14.
25. Pérez Vicente, L. 2015. La roya del café (*Hemileia vastatrix*) en Cuba: evolución del manejo de la enfermedad (Power Point). Presentado en Taller de Agroecología y Royas del Café (2015, Guatemala). Guatemala, ANACAFE. 51 diapositivas.



26. Reyes Coca, S. (2002) Introducción a meteorología. Universidad Autónoma de Baja California. pp 1-428. pp. (PA: CEOFZ20021)
27. Sánchez C, JC. 1998. Caficultura moderna. 5 ed. Guatemala, ANACAFE. 262 p. (Serie Comunicación Agrícola).
28. Soto Fuentes, LR. 2015. Roya del café y perspectivas de la caficultura en el país (Power Point). Presentado en Taller de Agroecología y Roya del Café (2015, Guatemala). Guatemala, ANACAFE. 30 diapositivas.
29. Subero, L. 2001. La roya del cafeto (en línea). Lima, Perú, InfoCafés. 15 p. Consultado 9 set. 2015. Disponible en <http://www.infocafes.com/descargas/biblioteca/136.pdf>
30. Universidad Rafael Landívar, Guatemala. 2004. Perfil ambiental de Guatemala; informe sobre el estado del ambiente y bases para su evaluación sistemática. Guatemala. p. 197.
31. UVG (Universidad del Valle de Guatemala, Guatemala). 2013. Perfil socio ambiental de la región sur occidente (en línea). Guatemala. Consultado 2 ago. 2015. Disponible en http://www.uvg.edu.gt/investigacion/ceab/cea/doc/otras%20publicaciones/perfil_socioambiental.pdf
32. Vicente Chandler, AF; Silva, S. 1959. A guide to intensive coffee culture in Washington D.C., US, USDA, Dept. of Agr. Production Research, Report no. 31 p. 51.





UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMÍA -FAUSAC-
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGRONÓMICAS
Y AMBIENTALES -IIA-



REF. Sem. 15/2021

LA TESIS TITULADA:

"COMPILACIÓN Y ANÁLISIS DEL REGISTRO
DE VARIABLES CLIMÁTICAS, POR ESTRATOS
ALTITUDINALES, EN FINCAS CAFETALERAS,
UBICADAS EN LOS DEPARTAMENTOS DE
SAN MARCOS, QUETZALTENANGO,
SUCHITEPÉQUEZ, CHIMALTENANGO Y
SOLOLÁ, GUATEMALA, C.A."

DESARROLLADA POR LA ESTUDIANTE:

DIANA ALEJANDRA CALAN RIVAS

CARNE:

201112027

HA SIDO EVALUADO POR LOS PROFESIONALES: Ing. Agr. Edwin Guillermo Santos
Dr. Ezequiel López

El Asesor y las Autoridades de la Facultad de Agronomía, hacen constar que ha cumplido con las
Normas Universitarias y Reglamentos de la Facultad de Agronomía de la Universidad de San
Carlos de Guatemala.

Dr. Edin Francisco Orozco Miranda
ASESOR

Ing. Agr. Carlos Fernando López Búcaro
DIRECTOR DEL IIA

IMPRIMASE

Ing. Agr. Waldemar Nufio Reyes
DECANO

CFLB/nm
c.c. Archivo