



UNIVERSIDAD DE CIENCIAS Y ARTES DE CHIAPAS

**FACULTAD DE INGENIERÍA
SUBSEDE VILLA CORZO**

**DETERMINANTES ECOFISIOLÓGICOS DE LA
PRODUCTIVIDAD BIOLÓGICA Y AGRÍCOLA DE LAS
PLANTAS Y RESPUESTAS AL CAMBIO CLIMÁTICO**

CURSO ESPECIAL DE TITULACIÓN

**COMO REQUISITO PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO EN DESARROLLO SUSTENTABLE**

**RESPUESTA FISIOLÓGICA DEL CAFETO A NIVELES CONTRASTANTES DE
RADIACIÓN SOLAR**

PRESENTA

VICTOR SAMUEL LOPEZ RAMIREZ



Villa Corzo, Chiapas

Septiembre 2019

UNIVERSIDAD DE CIENCIAS Y ARTES DE CHIAPAS

FACULTAD DE INGENIERÍA

SUBSEDE VILLA CORZO

**DETERMINANTES ECOFISIOLÓGICOS DE LA
PRODUCTIVIDAD BIOLÓGICA Y AGRÍCOLA DE LAS
PLANTAS Y RESPUESTAS AL CAMBIO CLIMÁTICO**

CURSO ESPECIAL DE TITULACIÓN

COMO REQUISITO PARA OBTENER EL TÍTULO DE

INGENIERO EN DESARROLLO SUSTENTABLE

**RESPUESTA FISIOLÓGICA DEL CAFETO A NIVELES CONTRASTANTES DE
RADIACIÓN SOLAR**

PRESENTA

VICTOR SAMUEL LOPEZ RAMIREZ

ASESOR

DR. LUIS ALFREDO RODRIGUEZ LARRAMENDI



Villa Corzo, Chiapas

Septiembre 2019

**RESPUESTA FISIOLÓGICA DEL CAFETO A
NIVELES CONTRASTANTES DE
RADIACIÓN SOLAR**

Agradecimiento

A dios: por darme la vida y la dicha de tener una gran familia en quien confiar y contar en los momentos más difíciles de mi carrera.

A mi familia: Doy gracias por el apoyo incondicional que me brindan a cada día, siendo para mí un motivo grande para seguir adelante, en especial a mis padres que han hecho lo posible por verme triunfar en la vida, “gracias”.

A mi asesor: muchas gracias por su paciencia y dedicación, de antemano le extiendo un cordial saludo y las gracias.



Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas
Dirección de Servicios Escolares
Departamento de Certificación Escolar
Autorización de impresión



Villa Corzo, Chiapas
5 de Septiembre de 2019

C. Víctor Samuel López Ramírez

Pasante del Programa Educativo de: Ingeniería en Desarrollo Sustentable

Realizado el análisis y revisión correspondiente a su trabajo recepcional denominado:

Respuesta fisiológica del cafeto a niveles contrastantes de radiación solar

En la modalidad Curso especial de titulación
de:

Nos permitimos hacer de su conocimiento que esta Comisión Revisora considera que dicho documento reúne los requisitos y méritos necesarios para que proceda a la impresión correspondiente, y de esta manera se encuentre en condiciones de proceder con el trámite que le permita sustentar su Examen Profesional.

ATENTAMENTE

Revisores

Dra. Rady Alejandra Campos Saldaña

Ing. Alder Gordillo Curiel

Dr. Luis Alfredo Rodríguez Larramendi

Firmas:

Ccp. Expediente

Capítulo I. Introducción	8
Capítulo II. Generalidades del café	10
2.1. Origen del café	10
2.2. Características morfológicas de la planta de cafeto	14
2.3. Ciclo fisiológico y etapas fenológicas del cultivo de café	19
2.4. Germinación.....	23
2.5. Variables climatológicas para el cultivo del café.....	26
Capitulo III: Factores que definen el crecimiento del cultivo de café.	27
3.1. La radiación solar	27
3.2. Niveles de radiación del cafeto, bajo sombra y a pleno sol.....	28
3.3. ¿Cómo afecta la radiación solar a la morfología y anatomía foliar del cafeto?	30
3.4. Comportamiento de las hojas de cafeto a la radiación solar	33
3.5. Reacción de las plantas de cafeto ante estrés hídrico por radiación solar	36
3.6. Capacidad Fotosintética en las plantas de café.....	38
3.7. Respuesta fotosintética del cafeto	39
3.8. Efecto de la temperatura en la producción de café.....	42
3.9. Cantidad de sombra para el desarrollo de las plantaciones de café.....	43
3.10. Como funciona un sistema cafetalero	45
Capitulo IV. Conclusiones	49
Capitulo V. Referencias bibliográficas	56

Resumen

El café es de importancia económica, social y ambiental. Para la presente investigación, destaca el término socio ambiental; debido al descubrimiento de este cultivo en sus inicios, así como por la experiencia que se han venido desarrollando a lo largo de varios siglos para la producción del mismo. Este cultivo se relaciona con los factores que definen el crecimiento de las plantas de cafetos ante mucha o poca incidencia a la radiación solar y los impactos de la radiación solar presente en la morfología y anatomía foliar del cafeto. Farfán *et al.* (2003) ejemplifican que ante todo la radiación solar es la principal fuente de energía para la fotosíntesis y la bioproductividad. Las plantas interceptan parte de esta energía para llevar a cabo el proceso fotosintético responsable de la principal entrada de energía libre en la biosfera, pero menos del 5% es utilizada normalmente en este proceso, el resto se usa para calentar la planta y los organismos circundantes, determinando también la temperatura a la cual se llevan a cabo los procesos fisiológicos.

Palabras claves: cafeto, radiación solar, fisiología, morfología.

Capítulo I. Introducción

La producción de café en el entorno mundial es uno de los principales productos agrícolas que forman parte de la cadena de valor, desde un bienestar económico como sustento de las familias productoras de este aromático grano, la generación de empleos circundantes a campesinos e inmigrantes, empresarios y profesores-investigadores en la materia.

Además, el café como tal es de importancia económica, social y ambiental. Para la presente investigación, destaca el término socio ambiental; debido al descubrimiento de este cultivo en sus inicios, así como por la experiencia que se han venido desarrollado a lo largo de varios siglos para la producción del mismo.

Por lo tanto, se posiciona en primera instancia las generalidades de café, tales como el origen de este producto comercial, las características morfológicas o etapas fenológicas de las plantas de cafeto, el ciclo fisiológico y/o etapas fenológicas del cultivo, su germinación y las variables climatológicas para su cultivo.

Por otro lado, este cultivo se relaciona con los factores que definen el crecimiento de las plantas de cafetos ante mucha o poca incidencia a la radiación solar; si bien, los niveles de radiación solar del cafeto bajo sombra y a pleno sol. En secuencia, los impactos de la radiación solar presente en la morfología y anatomía foliar del cafeto. Por consiguiente, la reacción de las plantas de cafeto ante el estrés hídrico por radiación solar. Por lo que sigue, la capacidad fotosintética de las plantas de cafeto. Por otro lado, la respuesta fotosintética del cafeto. En otro sentido, el efecto de la temperatura en la producción del café y al final, la cantidad de sombra adecuada para mejor desarrollo de las plantaciones de café. Así como el análisis de la función de un

sistema cafetalero como mejora de producción estándar en granos y de forma que se mantenga una plantación con una fisiología desarrollada correctamente por instinto.

Sin embargo, en los últimos años a nivel mundial se presentan estudios donde varios autores demuestran que la respuesta fisiológica de las plantas de cafeto a niveles contrastantes de radiación solar ha sufrido impactos severos, quizás por el cambio climático adjunto al calentamiento global. Y la falta de propuestas de mejora sigue siendo omisa ya que la importancia de llevar los resultados positivos a todos los rincones de las zonas cafetaleras es para mejora el rendimiento del producto.

Así el objetivo de esta investigación es conocer las generalidades de las plantas de café, basado en su origen y en la caracterización fisiológica, desde su germinación hasta el ciclo fenológico. Diagnosticar las variables climatológicas para el cultivo de café. E identificar los factores que definen el crecimiento de la planta de cafeto, bajo la presencia de la radiación solar.

Por ello, el propósito de llevar a cabo esta investigación es para registrar similitudes o diferencias de la respuesta fisiológica que presentan las plantas de cafeto, presentes a niveles contrastantes de radiación solar o cuando se cultiva bajo diferentes estratos arbóreos manejados como sistema de sombra.

Como secuencia, ante la falta de conocimiento concreto sobre el efecto de la radiación solar en las plantas de cafeto, es necesario hacer una investigación exhaustiva para dar mejora de producción a los productores.

Siendo que no se sabe con exactitud el origen de algunas variedades que se están introduciendo en la actualidad en los cafetales, además la falta de conocimiento sobre

la tolerancia de las plantas ante altas temperaturas y el efecto hacia la radiación solar, las características fenológicas, su ciclo fisiológico y la germinación.

Además de estudiar los factores que favorecen al cultivo ante la radiación solar, la importancia de producir cafetos bajo sombra o a pleno sol, los impactos que genera la radiación solar a las variedades de café. En resumen, un estudio más próximo de cómo debería funcionar un sistema para la producción de este aromático.

Para llevar a cabo esta investigación se tomó en cuenta a fuentes confiables de google académico; donde se consultaron libros, revistas, artículos científicos. Así como el análisis de varias plantas de cafetos con el Método de Evaluación Visual (EVS) con la finalidad de hacer una homologación de resultados y finalmente conocer la problemática en serie.

Capítulo II. Generalidades del café

2.1. Origen del café

En un registro más formal Figueroa *et al.* (2015) expresa que existen muchas historias en relación al origen del café, una de ellas dice que por el año de, 1140 en Abisinia, unos pastores se dieron cuenta que sus cabras se ponían muy inquietas y se dieron a la tarea de investigar el por qué, y descubrieron que comían unos frutos rojos que se daban en unas matas. Los pastores tomaron los frutos y prepararon una bebida caliente para protegerse del frío nocturno del desierto. Se dice que esa bebida es lo que conocemos como café.

En suma, Figueroa *et al.* (2015) describen que otra de las más conocidas leyendas, dice que un pastor llamado Kaldi conducía a su rebaño en Etiopía. Un día las cabras

encontraron unos cafetos y comieron sus bayas y masticaron las hojas. Llegada la noche las cabras en lugar de dormir se pusieron a retozar alegremente y mantuvieron la energía toda la noche.

En otro orden Figueroa *et al.* (2015) así pues cuenta otra leyenda que los monjes capuchinos tomaron los frutos y las hojas de la misteriosa planta e hicieron con ellas una cocción. Para obtener esa infusión el jefe de la comunidad secó en la llama los granos, que sufrieron su primer tueste y así nació el café como tal. Llamaron a esta bebida Kawa (significado de café en árabe).

Otro punto Figueroa *et al.* (2015) en otro punto de vista refiere que un monje cortó los frutos y las hojas de un cafeto y las llevó a la cocina para cocerlos. Una vez cocinado, el monje probó la bebida y la encontró de un terrible sabor, por lo que arrojó a las llamas los granos quedaron sin cocer.

El cultivo de café se produce en más de 50 países, localizados todos en franja comprendida en los trópicos de Cáncer y Capricornio, destacando por su volumen de producción Brasil, Colombia, Vietnam, Indonesia y México (Saldúa, 2018: 1) Por otro lado, Figueroa *et al.* (2015) describe que el café, esa bebida estimulante y aromática tan difundida por el mundo, encuentra su origen en las tierras de Abisinial, (actual Etiopia). Es fácil confundirse con su verdadero origen, ya que antiguas leyendas sobre el cultivo y la costumbre de tomarlo provienen de Arabia.

Cruz *et al.* (2016). Narra que la introducción del café en Arabia tuvo lugar entre los siglos XII y XIV, donde fue nombrado como medicina natural, se estima que el cultivo se inició en los monasterios de aquella región y fue extendiendo por toda la comunidad

árabe. El consumo en Europa no comienza hasta el siglo XVI, en Italia, a través de Venecia, aunque en un principio su utilización fue más terapéutica.

Castro *et al.* (2018) narran que en los seminarios internacionales el Mexicano Manuel Días, el expositor internacional de la historia del café, planteo dos hipótesis del origen del café: una que es de Arabia del continente asiático y otra hipótesis de Etiopia del continente africano.

Por otra parte, Figueroa *et al.* (2015) notan que desde el área geográfica que interrelaciona Asia y África, con el Mar Rojo de por medio, el café emprendió su largo peregrinaje por los caminos del mundo, como fruto primero, y luego como planta. Las caravanas lo llevaban hacia el Alto Egipto y Nubia, por una ruta, y a las ciudades más importantes de Arabia, por la otra.

Más adelante Figueroa *et al.* (2015) por añadidura a finales del siglo XVI, tal hábito se había arraigado en todo el mundo musulmán. Las virtudes de la bebida fueron difundidas por los peregrinos musulmanes, pero no la planta, que se guardaba celosamente en su lugar de origen. Para mantener el control monopólico sobre su comercio, altamente rentable, los comerciantes árabes sólo vendían los granos verdes hervidos o tostados. Así evitaban la reproducción de la planta, impidiendo que los granos pudieran germinar y convertirse en plantas productoras de café fuera de Arabia.

En seguida Figueroa *et al.* (2015) relatan que lejos de Sudamérica, la cuna del café la encontramos en África, concretamente en lo que hoy conocemos como Etiopia. De allí, el grano viajó a Europa y desde el Viejo Continente y de la mano de los muchos europeos que se lanzaron a la aventura americana, el café llegó al otro lado del

Atlántico. Luis XIV envió unos granos para su cultivo en Martinica, y fue por allí por donde entró al continente Americano.

Análogicamente Figueroa *et al.* (2015) mencionan que, a causa de la revolución haitiana, muchos oriundos y emigrantes europeos escaparon a Brasil y llevaron consigo el café, lo cual convirtió a ese país, con el paso del tiempo, en el primer productor mundial.

Por consiguiente, Figueroa *et al.* (2015) en Colombia se plantaron las primeras semillas en 1732, a cargo de misioneros Jesuitas españoles. El resto de países sudamericanos no quedaron al margen de las bondades de este nuevo cultivo y desde el siglo XVIII se produce café con fines comerciales en Ecuador, Venezuela, Perú y Bolivia.

Ahora bien, Figueroa *et al.* (2015) detallan que la llegada del café a México: Originaria de África Oriental, la planta del cafeto llegó al país en el año de 1796 la región de Córdoba, Veracruz. Posteriormente, se introdujeron otras plantas al estado de Michoacán en 1823 y a la región de Tuxtla Chico, Chiapas durante 1847.

Las indicaciones geográficas (IG) de café en México. Según una de las versiones de la llegada del café a México, este se introdujo por Veracruz procedente de Cuba a finales del siglo XVIII, y se sembró en Teocelo, región cercana a Coatepec. Durante el siglo XIX esta actividad se extendió por el territorio nacional hasta conformar las actuales regiones cafetaleras (Pérez, 2011: 4)

México cuenta con una larga tradición en el cultivo, producción e industrialización del café, la experiencia y el conocimiento adquiridos durante más de 200 años, ubican a

nuestro país como el quinto productor y exportador de café en el mundo y líder mundial en la producción de café orgánico (Saldíva, 2018: 1)

De ahí que Figueroa *et al.* (2015) exponen que hoy en día, el cultivo y producción de café se ha extendido a 12 estados de la República Mexicana, agrupados en cuatro grandes regiones que van desde la frontera sur que colinda con Guatemala, hasta el estado de Nayarit en el Pacífico Norte.

En los comienzos del siglo XXI, una estrategia innovadora para la diferenciación del café fue la definición de las denominaciones de origen Café Veracruz y Café Chiapas, las cuales fueron las primeras en el mundo en conseguir esta protección para el caso del café (Pérez y Pérez, 2011: 102)

2.2. Características morfológicas de la planta de cafeto

Figueroa *et al.* (2015) centra que dentro de la clasificación botánica a la planta del café se denomina cafeto. Fue descrito por Carlos Linneo, científico y botánico sueco, como perteneciente al género *Coffea* y a la familia de las Rubiaceae (Café Siboney, s/f).

Dicho de otro modo, Figueroa *et al.* (2015) comunica que dentro de la morfología del cultivo: El cafeto es un arbusto o árbol pequeño, perennifolio, de tronco recto que puede alcanzar los 10 metros en estado silvestre; en los cultivos se les mantiene normalmente en tamaño más reducido, alrededor de 3 metros.

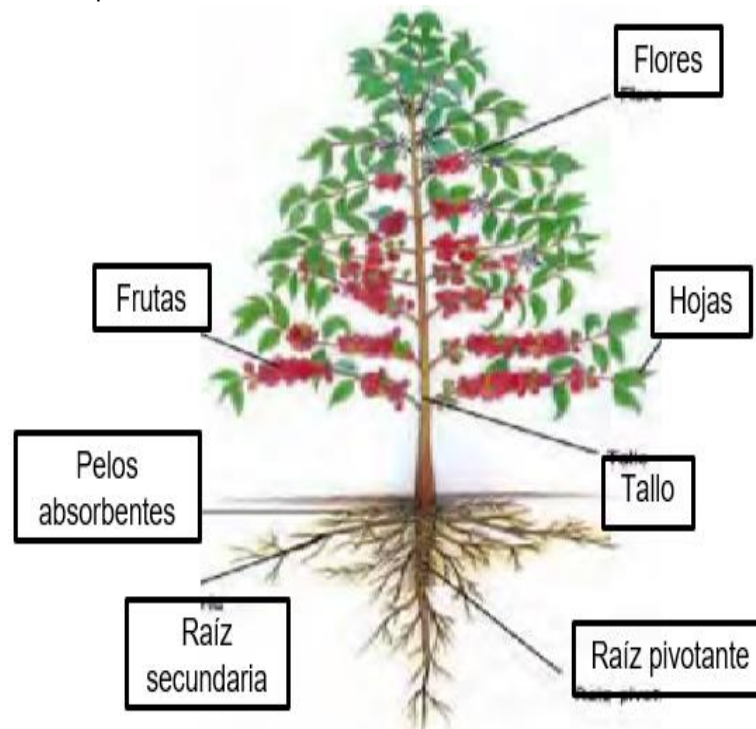
El café es un arbusto que puede alcanzar entre dos a seis metros de altura, es de hoja perenne y comienza a producir flores a partir del primer año (Ciriaco, 2012: 11)

Específicamente Figueroa *et al.* (2015) comienza explicando que para la raíz: El sistema radicular es superficial estando el 60.0% en los primeros 30 centímetros. De profundidad y la raíz pivotante puede llegar a más de un metro de profundidad.

La raíz central es pivotante, su longitud en una planta adulta es de 50 a 60 cm aproximadamente, las raíces secundarias (de sostén y laterales) se originan a partir de la pivotante; de las secundarias, generalmente se desarrollan los pelos absorbentes que, en un alto porcentaje (80-90%), se encuentran en los primeros 30 cm del suelo, con un radio de 2 a 2.5 m a partir de la base del tronco. Los pelos absorbentes son muy importantes porque le permiten a la planta la absorción de agua y nutrientes del suelo (Ciriaco, 2012: 11-12)

La raíz es el principal órgano de asimilación de la planta. La función de la raíz está asociada con el anclaje al suelo, la absorción de agua y sustancias minerales y la síntesis de algunos reguladores de crecimiento, además de otros compuestos orgánicos (Sánchez, 2015: 17)

Figura 1. Morfología de la planta de café



Fuente: (Sánchez, 2015: 17)

Por ende, Figueroa *et al.* (2015) hasta cierto modo expone en lo que concierne al tallo principal: Yemas cabeza de serie, dan origen a ramas plagiotropicas primarias solamente. Tienen conexión vascular con el tallo desde el principio.

El Tallo: es leñoso, erecto y de longitud diversa de acuerdo a la variedad. Presenta la particularidad de producir tres tipos de yemas que originan diferentes partes de la planta: el tallo, las ramas y las hojas (Ciriaco, 2012: 12)

El tallo en una planta adulta, la parte inferior es cilíndrica, mientras que la parte superior (ápice) es cuadrangular y verde, con esquinas redondas y salidas (Saboya, 2019: 16)

A saber, Figueroa *et al.* (2015) recapitula que las yemas seriadas: Originan brotes ortotropicos solamente su número puede aumentar con la edad del cafeto.

A continuación, Figueroa *et al.* (2015) argumenta que inmediatamente dentro de las ramas primarias. Las Yemas cabeza de serie. Forman ramas plagiotropicas secundarias solamente. Mientras que las Yemas seriadas. Originan de 2 a 4 inflorescencias y cada inflorescencia tendrá 4-5 yemas florales. También pueden originar ramas plagiotropicas, pero nunca darán origen naturalmente a ramas ortotropicas.

Las ramas laterales se alargan y la parte superior del eje vertical continúa creciendo, así se producen nuevas ramas en diversos ángulos, por lo que la planta adquiere una forma cónica. El eje central o ramas ortotrópicas que crecen verticalmente, solo producen yemas vegetativas (Saboya, 2019: 15)

Como acto seguido Figueroa *et al.* (2015) expone que las hojas: Son opuestas y alternas en el tallo ortotropico y en ramas plagiotropicas son opuestas. Son de color verde oscuro y brillante en la parte superior y verde claro en el interior. Ovales y terminan en punta, sus bordes son ondulados. Las hojas nuevas presentan una coloración bronceada o verde claro y después toman su coloración definitiva.

La lámina de la hoja mide de 12 a 24 cm de largo por 5 a 12 cm de ancho, variando su forma de elíptica a lanceolada (Ciriaco, 2012: 12)

En las axilas de las hojas se presentan las yemas florales, el número promedio de flores por nudo es de 40 flores, 20 en cada axila. El número de floraciones varía según la precipitación de la zona (Ciriaco, 2012: 12)

La inflorescencia del café es una cima de eje muy corto que posee flores pequeñas, de color blanco y de olor fragante en número variado (Saboya, 2019: 16)

Así pues, Figueroa *et al.* (2015) dictamina que las flores: Se localizan en las axilas de las hojas de las ramas plagiotropicas. La corola es blanca y formada por 5 pétalos fusionados en su base, dando origen al tubo de la corola; el cual se encuentra inserto en la parte superior del ovario. El ovario, normalmente con dos lóculos, contiene un ovulo por lóculo tiene cinco estambres con antenas, de color blanco y bifurcado en el estigma.

La floración del café es marcadamente estacional, generalmente coincide con la presencia de las primeras lluvias. Además, cuando se abre la flor, las anteras ya han liberado gran cantidad de polen; por esta razón, la autofecundación se da en un alto porcentaje. Una vez que el polen alcanza los óvulos, la fertilización se completa durante cuatro o seis días (Ciriaco, 2012: 12)

Los Frutos y semillas: el fruto es una baya drupácea con dos almendras con sus respectivos embriones, que constituyen la semilla (Ciriaco, 2012: 12)

Por cierto, Figueroa *et al.* (2015) explican que el fruto es una drupa de superficie lisa y brillante, de pulpa delgada fácilmente desprendible del pergamino. Cuando maduran los frutos son rojos o amarillos, con dos semillas. En ocasiones solo uno de los óvulos se fecunda y se desarrolla originando una semilla de forma redonda que se le conoce como café caracol.

De modo similar Figueroa *et al.* (2015) describe que las semillas: Son oblongas, plano convexas, representan del 35.0 al 38.0% del fruto del café, están constituidas por el

endocarpio o pergamino, una película plateada o perisperma, endosperma cotiledón o embrión.

El fruto, después de la fecundación, el óvulo se transforma en fruto y sus dos óvulos en semillas. El fruto maduro es una drupa elipsoidal en los cultivares comerciales, ligeramente aplanada, cuyos tres ejes principales miden 12 y 18 mm de longitud, 8 y 14 mm de ancho y 7 y 10 mm de espesor (Saboya, 2019: 16)

Las semillas del café son oblongas, planoconvexas, cubiertas por una película plateada o perisperma (vestigios del tegumento del óvulo). La semilla se constituye por el endospermo cuya coloración es verde oscuro amarillento, mide de 10 a 15 mm de largo por 5-10 mm de ancho, con un embrión pequeño basal de 1 a 2 mm. (Saboya, 2019: 17)

La semilla se encuentra cubierta por un endocarpio fibroso, conocido como pergamino, el endospermo es córneo formado por hemicelulosa, proteínas, cafeína, aceite, azúcares, dextrina, celulosa, ácido clorogénico y otros compuestos (Saboya, 2019: 17)

2.3. Ciclo fisiológico y etapas fenológicas del cultivo de café

Para iniciar Coa *et al.* (2015) explica que las investigaciones fenológicas se centran en la observación de cambio en la morfología de la planta, con aparición, transformación o desaparición relativamente rápida de determinados órganos o distintos acontecimientos, que se denominan fenómenos fenológicos.

La raíz de una planta bien desarrollada se puede distinguir la región de conducción, la región de maduración, la región de elongación, la región meristemática y la cofia (Sánchez, 2015: 17)

En las regiones de conducción y maduración es la zona por donde pasan hacia el tallo, el agua y las sustancias minerales absorbidas a través de los pelos absorbentes, en la región de maduración hay una mayor cantidad de pelos absorbentes (Sánchez, 2015: 17)

Lateralmente las raíces se dividen en primarias, secundarias y terciarias y pelos absorbentes. Es al final de las tres raíces y ubicadas a la altura de la copa de la planta de café se encuentran los pelos absorbentes, que absorben los nutrientes en solución (Sánchez, 2015: 17)

Cuadro 1. Fisiología y morfología de la raíz, como ciclo fisiológico normal.

ETAPAS	FLORACION			LLENADO DE GRANO				MADURACION DE FRUTO			DESCANSO	
	1	2	3	1	2	3	4	1	2	3	1	2
DESARROLLO	Aquí nacen los pelos absorbentes			Aquí siguen desarrollándose los pelos absorbentes				Aquí van muriendo los pelos absorbentes			Aquí no existen pelos absorbentes	

Fuente: (Sánchez, 2015: 15)

El Café tiene cuatro Etapas Fisiológicas bien marcadas: Floración: dura 3 meses; Desarrollo de grano o Llenado de grano, dura 4 meses; Maduración de Frutos, dura 3 meses; y Etapa de Descanso, dura dos meses (Sánchez, 2015: 15)

Cuadro 2. Ciclo fisiológico del cultivo de café, como ciclo normal.

ETAPAS	Floración			Llenado de grano				Maduración de fruto			Descanso	
Meses	1	2	3	1	2	3	4	1	2	3	1	2

Fuente: (Sánchez, 2015: 15)

Figura 2. Etapas fenológicas del café



Floración

Llenado de granos

Maduración del fruto

Descanso

Fuente: (Sánchez, 2015: 15)

El ciclo fisiológico del café es el tiempo transcurrido de una campaña a otra; dura doce meses, y tiene cuatro etapas bien marcadas (Ciriaco, 2012: 10)

La floración: las yemas se transforman en flores o ramas, hay mayor desarrollo vegetativo, gran producción de ramas y hojas, máxima actividad radicular y mayor formación de pelos absorbentes. Esta etapa presenta una duración de tres meses (Ciriaco, 2012: 10)

El desarrollo del fruto o llenado intenso del grano, menor producción de ramas y hojas y menor formación de pelos absorbentes. Esta etapa presenta una duración de cuatro meses (Ciriaco, 2012: 10)

La cosecha: crecimiento vegetativo mínimo, se presenta la formación de nuevas yemas, menor actividad radicular y degradación de pelos absorbentes. Esta etapa presenta una duración de tres meses (Ciriaco, 2012: 10)

El descanso: no hay desarrollo de ramas y hojas, no hay absorción de agua y nutrientes, las yemas se diferencian y crecen, pero no se abren. Esta etapa presenta una duración de dos meses (Ciriaco, 2012: 10)

Figura 3. Ciclo fisiológico del cultivo de café, en la zona alta, mayor a 1200 m.s.n.m.



Fuente: (Ciriaco, 2012: 10)

Figura 4. Ciclo fisiológico del cultivo de café, en la zona baja, menor a 1200 m.s.n.m.



Fuente: (Ciriaco, 2012: 10)

2.4. Germinación

Los germinadores permiten tener mayor uniformidad en el Almácigo y tener una gran cantidad de plantas fácilmente manejables buscando el ideal de planta a sembrar (Sánchez, 2015: 16)

1. Es la etapa que va de la semilla hasta la Cabeza de fósforo, "Soldadito" o "Cachaco".
2. Dura aproximadamente entre 45 a 50 días.
3. Semillas de mayor tamaño desarrolla cotiledones más grandes.
4. Cuando se retira el pergamino de la semilla se puede reducir el tiempo de germinación hasta en 20 días.
5. En esta etapa se necesita Arena para que el crecimiento radicular sea fácil y no exista ninguna limitante y sobre todo tenga una buena oxigenación.
6. Se necesita que el desarrollo de la raíz principal sea recto y a la hora de repicarlo sea fácil y no se rompan las raicillas formadas.

7. Es necesario usar Arena lavada del río, y desinfectar la arena con agua hirviendo una o varias veces.

El repique de café en las bolsas preparadas con sustrato se debe hacer cuando la semilla germinada está en cabeza de fósforo, sobre todo cuando la raíz no esta larga (cuarto grano de café según la figura adjunta), si esperamos que la raíz alargue entonces necesitaremos bolsas más grandes y preparar mayor cantidad de sustrato, por eso es importante la eficiencia en el manejo del café (Sánchez, 2015: 16)

En otro orden de cosas, la selección de semilla es una actividad inicial, para ello se recomienda (Ciriaco, 2012: 13)

- Ubicar lotes homogéneos con plantas de cuatro a ocho años en producción.
- Seleccionar y marcar plantas madres con características deseables: alto rendimiento y tolerancia a plagas y enfermedades.
- Cosechar cerezos maduros de la parte central de la planta y rama, durante la cosecha plena.
- Realizar la primera selección haciendo flotar los cerezos.
- Despulpas manualmente para no lastimar las semillas.
- Fermentar, lavar y secar bajo sombra.
- Seleccionar las semillas de acuerdo a la forma y tamaño, descartando los granos siguientes: caracolillos, triángulos, mordidos, elefantes, conchas, partidos, pequeños y brocados.

- Desinfectar con ceniza o fungicida de ingrediente activo carboxin + captan, a dosis de 2 gramos por kilogramo de semilla.
- Almacenar en lugares secos, ventilados y libres de agentes contaminantes por un periodo máximo de seis meses, con una humedad no mayor a 18 – 25%.

De otro modo se describe germinación como (Ciriaco, 2012: 14-15)

- Esta etapa dura de 2 a 2.5 meses aproximadamente, y consiste en colocar la semilla en lugar favorable, para que se desarrollen la radícula y las hojas cotiledonales.
- Para un kilogramo de semilla se construye un cajón con dimensiones de 1 m² y 20 cm de profundidad.
- Se usa como principal sustrato arena lavada de río o tierra negra de bosque virgen, debidamente cernida.
- Desinfectar el sustrato utilizando cualquiera de los siguientes métodos. - 10 litros de agua hirviendo por metro cuadrado. - 4 cojines de lejía por 7.5 litros de agua. - Cuando se quiere producir cantidades mayores de plantas, utilizar un fungicida Benomil a razón de 20 gramos por 20 litros de agua.
- Una vez desinfectado, uniformizar el sustrato con ayuda de una regla de madera y sembrar las semillas al voleo cuidando que no se sobrepongan entre ellas.
- Cubrir las semillas con una capa de sustrato (arena), esta debe ser el doble del espesor de la semilla.

- Cubrir el germinador con costal de yute u hojas de palmera, quillo o gramíneas, para Cajón para conservar la humedad del sustrato, así se inducirá la germinación de la semilla.
- Regar en la mañana o en la tarde, las veces que sea necesario.
- Una vez emergidas las plántulas, entre los 40 a 45 días se quita la cubierta (costal de yute o hojas) y se construye un tinglado a 1.5m de altura aproximadamente para proteger las semillas germinadas.
- Transcurridos los 60 a 70 días de la siembra estarán en estado cachaquito (fosforito) listos para ser repicados y trasladados al vivero.

2.5. Variables climatológicas para el cultivo del café

El cultivo de café se desarrolla adecuadamente entre altitudes de 900 y 2000 m.s.n.m., en zonas con temperaturas media entre 17 y 23 °C, radiación solar de 300 a 450 cal.cm² día⁻¹, con precipitación anual entre 1800 a 4000 mm/año, humedad relativa del 70 al 85 %, evapotranspiración diaria de 3 a 4 mm y vientos menores a 5 km/hora (Sánchez, 2015: 5)

Ahora bien, se menciona que las condiciones agroecológicas del café se describen de la siguiente manera:

Altitud: Incide en forma directa sobre los factores de temperatura y precipitación. La altitud óptima para el cultivo de café se localiza entre los 500 y 1700 msnm. Por encima de este nivel altitudinal se presentan fuertes limitaciones en relación con el desarrollo de la planta (Barba, 2011: 3)

La temperatura promedio anual favorable para el cafeto se ubica entre los 17 a 23 °C. Temperaturas inferiores a 10 °C., provocan clorosis y paralización del crecimiento de las hojas jóvenes (Barba, 2011: 4)

En conclusión, un estudio realizado por la Planeación agrícola nacional (2017-2030) menciona que el cultivo de café requiere un clima cálido, pero con alto nivel de humedad; su altitud debe ser de 1,000 a 1,300 msnm. Se cultiva en regiones frías con temperaturas de crecimiento entre 13 y 26° C.

Capitulo III: Factores que definen el crecimiento del cultivo de café.

3.1. La radiación solar

Bueno Farfán *et al.* (2003) ejemplifican que ante todo la radiación solar es la principal fuente de energía para la fotosíntesis y la bioproductividad. Las plantas interceptan parte de esta energía para llevar a cabo el proceso fotosintético responsable de la principal entrada de energía libre en la biosfera, pero menos del 5% es utilizada normalmente en este proceso. El resto se usa para calentar la planta y los organismos circundantes, determinando también la temperatura a la cual se llevan a cabo los procesos fisiológicos.

Otra definición descrita por Jaramillo *et al.* (2006) Donde la radiación solar es el principal factor que determina el microclima del cultivo; su energía condiciona la temperatura del aire y del suelo, el movimiento del viento, la evapotranspiración y la fotosíntesis, de tal manera que la intensidad de la radiación, el grado de interceptación y la eficiencia en el uso de la energía radiante son determinantes en la tasa de crecimiento de las plantas.

Por ultimo Jaramillo *et al.* (2006) efectivamente dicen que la cantidad de energía radiante recibida en la distancia media entre el sol y la tierra se denomina constante solar, con un valor de $1.370 \text{ wátios.m}^{-2}$ ($1,96 \text{ cal.cm}^{-2} \text{ min}^{-1}$). La atmósfera absorbe y dispersa selectivamente la radiación solar, cambiando el flujo y la calidad del espectro que incide en la superficie terrestre.

3.2. Niveles de radiación del cafeto, bajo sombra y a pleno sol

Los niveles de radiación solar del cafeto bajo sombra Farfán *et al.* (2003) expresan que es importante cuantificar el grado de sombra que producen especies arbóreas que podrían asociarse al cultivo del café y poder relacionar de manera directa la radiación disponible con el crecimiento, desarrollo, producción y calidad de la bebida, entre otros.

Como idea central al primero y el párrafo tercero Jaramillo *et al.* (2006) narra que el conocimiento de la estructura del dosel, así como de su interacción con el ambiente de radiación solar, constituye la base de la modelación de la fotosíntesis en la planta.

Así los niveles de radiación a pleno sol para Rodríguez *et al.* (2015), los resultados en el ámbito mundial y dentro de Cuba, demuestran que el nivel óptimo de exposición solar depende de muchos elementos, entre ellos se encuentran los ecológicos, topográficos, biológicos y de manejo del cultivo, por lo que no existe un patrón fijo de exposición a la radiación solar que pueda, por sí solo, provocar cambios en el desarrollo y productividad del cultivo.

Pese a que se acepta Encalada *et al.* (2016) de manera general, la importancia de la luz y su manejo en la caficultura, aún es escasa la información referente al

comportamiento de posturas de cafeto en distintos ambientes lumínicos, lo que limita la posibilidad de sugerir su manejo.

En otro sentido Jaramillo *et al.* (2006) exponen que el modelo para simular la absorción de la RFA y la asimilación del dióxido de carbono por el cafeto, tiene los siguientes aspectos: interceptación de la radiación solar en la planta, transmisividad total, coeficiente de extinción. Asimilación instantánea por el follaje y asimilación instantánea del dosel.

Por otro lado, Jaramillo *et al.* (2006) narran que las tasas de absorción de la radiación solar por la planta dependen no solamente de las propiedades ópticas y de la eficiencia fotosintética de la hoja, sino también de la inclinación y orientación espacial.

En estudio hecho por Encalada *et al.* (2016) donde registraron que el área foliar específica (AFE), mostró los menores valores en el tratamiento de pleno sol (146,14 cm² g⁻¹), con diferencia respecto a los demás. Dentro de los tratamientos con restricción lumínica, el 20 % obtuvo el menor valor (186 cm²g⁻¹), con diferencias frente a los demás tratamientos. Esto implica que las posturas del tratamiento de pleno sol, aunque presentaron menor área foliar y menor peso seco total, dado el mayor grosor de sus hojas, invirtió menor superficie por masa seca.

En conclusión, Rodríguez *et al.* (2016) los resultados no son del todo consistentes y se convierten, en la mayoría de los casos, en conclusiones que dependen de aspectos característicos de la localidad o del agro-ecosistema objeto de estudio.

3.3. ¿Cómo afecta la radiación solar a la morfología y anatomía foliar del café?

Las plántulas de café, pasan por un proceso de crecimiento y adaptación en el que las condiciones ambientales tienen gran importancia y ejercen influencia directa sobre su fisiología en las diferentes etapas de crecimiento; uno de esos factores es la luz.

Encalada *et al.* (2017)

Rodríguez *et al.* (1999) Los excesos de radiación solar en el café pueden provocar daños tanto en el crecimiento como en la productividad y que la regulación de radiación solar que llega al cafetal debe partir de un estudio combinado de los factores bióticos y abióticos en su conjunto.

Encalada *et al.* (2017) Debido a la escasa producción científica disponible sobre la ecofisiología del café y particularmente de la luz como factor determinante del crecimiento de posturas en vivero en la Zona Sur del Ecuador, se emprendió en el estudio de su comportamiento en condiciones lumínicas diferentes, como medio para lograr definir mejores alternativas de manejo.

La agronomía de respuesta para la prevención y remediación del estrés causado por el calor se logra mediante la integración de conocimientos en mejoramiento genético, manejo agronómico y prácticas hortícolas variadas (Chaves y Gutiérrez, 2017: 256)

Así Farfán *et al.* (2003) mencionan que una de las mayores dificultades para determinar el efecto de la competencia por radiación entre las especies, ya sea en sistemas naturales o agroforestales, es la medida de las fracciones interceptadas por cada uno de los componentes del sistema.

La morfología de las especies de plantas (altura, tamaño, orientación y color de las hojas) y su disposición en el campo (setos, hileras, doseles continuos), la temperatura de estas puede desacoplarse considerablemente de la temperatura del aire circundante (hasta 10 °C), debido principalmente al dinamismo de la capa límite (“boundary-layer”) (Chaves y Gutiérrez, 2017: 256)

Este acoplamiento está regulado en gran medida por el control relativo de la transpiración ejercido a través de respuestas fisiológicas, como el cierre estomático, y efectos ambientales, como la capa límite, cuyo grosor es modificado constantemente por el viento y el movimiento de las hojas y los doseles (Chaves y Gutiérrez, 2017: 256)

Las altas temperaturas generan cambios anatómicos, morfológicos y funcionales en las plantas, algunos similares a los producidos por el estrés hídrico, tales como: reducción del tamaño de las células, reducida conductancia estomática y cierre de las estomas, cambios en la permeabilidad de las membranas, incrementos de la densidad de estomas y tricomas, y vasos del xilema de mayor tamaño Otras investigaciones hechos por (Chaves y Gutiérrez, 2017: 257)

El estrés por calor afecta la tasa de desarrollo de los cultivos, que se acelera hasta cierto punto y se reduce después de cierto nivel, y controla en gran medida la fenología de las plantas. Además, la respuesta varía según la etapa fenológica, el cultivo y los diferentes genotipos (Chaves y Gutiérrez, 2017: 257)

Evaluaciones hechas por Encalada *et al.* (2016) donde la velocidad de acumulación de la masa seca se fue incrementando a medida que se disminuyó la intensidad de la luz de 0,021 g d-1 a pleno sol hasta 0,050 g d-1 en condiciones de 20 % de luz.

Además, Encalada *et al.* (2016) al analizar la masa seca por órganos, se observó que los valores mayores en hojas, se obtuvieron en el tratamiento de 20 % de luz; seguido del tratamiento a pleno sol, con diferencia significativa entre ellos. Los menores valores (1,82 y 1,92 g) se presentaron en los tratamientos de 70 y 50 % de luz, sin que existiera diferencia entre ellos.

Encalada *et al.* (2016) en cuanto a la raíz, los valores mayores se presentaron para el 20 %, seguido del 100 % con diferencias entre sí y con los demás tratamientos. Lo anterior indica que la mayor contribución a la masa seca, en todos los casos, estuvo dada por las hojas y la raíz respectivamente.

Encalada *et al.* (2016) el tratamiento a pleno sol produjo los valores mayores de masa seca en tallo, seguido del 20 %, pero diferenciándose estadísticamente de todos los demás.

Mismo autores Encalada *et al.* (2016) Presentan que el comportamiento de las posturas en la producción de biomasa y el crecimiento del área foliar, estuvo expresado también en la respuesta fisiológica de las hojas, ya que el contenido de clorofila se presentó con valores mayores en los tratamientos de menor iluminación, con diferencia significativa respecto a pleno sol, incrementándose conforme se redujo la luz de manera lineal hasta los 60 DDT.

Encalada *et al.* (2016). la disminución del contenido de clorofila en el nivel de 20 % de luz, no fue suficiente para incidir en la disminución de la masa seca. Cabe resaltar la respuesta de las posturas del nivel de 100 %, que fueron disminuyendo relativamente su contenido de clorofila, con respecto a las sombreadas; así, a los 60 DDT esta relación fue de 85 % con respecto al valor mayor y a los 105 DDT esta relación bajó a 75 % en relación con el valor más alto.

Encalada *et al.* (2016) la diferencia en grosor estuvo relacionada con el grosor del mesófilo, ya que tanto el parénquima en empalizada, como el lagunar, fueron más gruesos en las hojas que estuvieron a mayor intensidad de luz. Ello se hizo más visible en el corte transversal de la hoja, que mostró las diferencias en el grosor de la epidermis de la lámina foliar, del parénquima en empalizada y del parénquima lagunar, para cada tratamiento.

De manera general Encalada *et al.* (2016) dicen que la luz influyó directamente sobre el crecimiento de las posturas y su comportamiento fisiológico. Los tratamientos de menor iluminación obtuvieron los mayores valores de masa seca, área foliar y contenido de clorofila total, mostrándose una estrecha correspondencia entre estos indicadores; además, el mayor contenido de masa seca estuvo dado por la parte foliar que presentó un rango entre 46 y 51 % en los tratamientos.

3.4. Comportamiento de las hojas de cafeto a la radiación solar

Garza *et al.* (2018) Las hojas son el principal órgano donde se lleva a cabo la fotosíntesis en la planta y su composición química puede variar de acuerdo a sus etapas de desarrollo.

Se estima que en México de 25% a 35% de los predios producen café en sistemas especializados de sombra (policultivo comercial y monocultivo semisombreado), y solamente 10% lo hacen a pleno sol. Es decir que todavía la mayor parte del café, dos terceras partes, se produce en los llamados sistemas tradicionales (rusticano y de policultivo) (Moguel y Toledo, 2004: 4)

Cada especie tiene una temperatura mínima, máxima y óptima para su normal desarrollo y sobrevivencia; sin embargo, los cultivos despliegan una amplia plasticidad estructural y fisiológica que les permite adaptarse a diferentes temperaturas (Chaves y Gutiérrez, 2017: 256)

El balance de energía de las hojas se utiliza para enlazar la temperatura de las plantas y del aire (Chaves y Gutiérrez, 2017: 256)

Sin embargo, Rodríguez *et al.* (2016) en su caso las modificaciones estructurales de la hoja, inducidas por las altas radiaciones solares, no serían de relevancia fisiológica a menos que la tasa de fotosíntesis neta incremente conforme a estos cambios; una respuesta que no ocurre en plantas obligatorias de sombra.

En un estudio hecho por Rodríguez *et al.* (2016) registraron que durante el primer ciclo productivo, el mayor crecimiento foliar se manifestó en los cafetos expuestos a mayor sombra no regulada (SNR) durante la mayoría de los meses del año. Durante el segundo ciclo, el crecimiento fue similar en ambos niveles de exposición solar, excepto en los meses de enero, febrero y junio, momentos en los cuales los cafetos expuestos a SR desarrollaron hojas de mayor tamaño.

De otro modo Rodríguez *et al.* (2015) Exponen que los cafetos expuestos a pleno sol desarrollaron hojas de menor tamaño en la mayoría del período evaluado para el primer ciclo, excepto en los meses de julio, septiembre, octubre y noviembre para el primer ciclo y en mayo del segundo, en el que las hojas expuestas al sol mostraron un crecimiento intermedio en comparación con las hojas expuestas a sombrero.

Además, Rodríguez *et al.* (2015) durante el segundo ciclo, el crecimiento fue similar en ambos niveles de exposición solar, excepto en los meses de enero, febrero y junio, momentos en los cuales los cafetos expuestos a SR desarrollaron hojas de mayor tamaño.

Rodríguez *et al.* (2005) indicaron, además, que cuando el cafeto se cultiva a pleno sol, desarrolla hojas más gruesas, los cloroplastos contienen menos granas y menos tilacoides por grana, una característica típica de plantas adaptadas al sol.

En otro registro hecho por Encalada *et al.* (2016) teniendo como resultado que las hojas se presentaron más delgadas en las plantas crecidas a menor intensidad lumínica, con diferencia significativa respecto a las crecidas a 100 % de luz, los tratamientos de 50 y 20 % de luz, tuvieron los menores valores, sin diferencias significativas entre ellos. Este comportamiento se produce debido a que a menor intensidad de luz, las hojas amplían su superficie, para captar mayor iluminación y, por ende, son más delgadas.

En cuanto a la densidad estomática, se observó que las hojas expuestas a pleno sol presentaron una mayor densidad, diferenciándose significativamente con los demás tratamientos; los niveles de 70 y 50 % no se diferenciaron significativamente entre sí;

El nivel de 20 % de luz presentó la menor densidad de estomas por superficie foliar.
Encalada *et al.* (2017)

3.5. Reacción de las plantas de café ante estrés hídrico por radiación solar

En muchos climas tropicales, el exceso de radiación y las altas temperaturas son factores que frecuentemente afectan el crecimiento y el rendimiento de los cultivos; y suelen ir acompañados de otros estreses que se desarrollan simultáneamente, como la poca disponibilidad de agua (Chaves y Gutiérrez, 2017: 259)

Basados en el párrafo anterior estos estreses múltiples causan quemaduras en hojas y frutos, senescencia y abscisión temprana de hojas, pérdida del vigor o inhibición de la germinación de las semillas, inhibición del crecimiento del tallo y la raíz, pérdida de la viabilidad del polen, aborto de flores y frutos jóvenes, y decoloración y daños de frutos, que afectan negativamente el rendimiento de los cultivos (Chaves y Gutiérrez, 2017: 259)

El estrés térmico causa el reemplazo constante de órganos vegetativos como las hojas, en detrimento del crecimiento de los órganos cosechados como los frutos del café, la palma aceitera o el cocotero, o las raíces de la yuca. Debido a ello, es esperable que el calentamiento global conduzca a que el crecimiento y la productividad de algunos cultivos perennes declinen a mediano y largo plazo (Chaves y Gutiérrez, 2017: 261)

El estrés por alta temperatura afecta el establecimiento de los cultivos desde la germinación de las semillas, y tiene efectos inmediatos sobre el vigor de las plántulas. En este sentido, la temperatura del suelo y de las raíces debe ser considerada tan

cuidadosamente como la temperatura del aire y de la copa Dicho de otro modo (Chaves y Gutiérrez, 2017: 259)

En otro orden de cosas, bajo estrés térmico las estomas responden directamente a los aumentos en la transpiración y tienden a cerrarse, lo que reduce la disipación de la radiación en forma de calor latente (evaporación), pero aumenta el flujo de calor sensible (temperatura), en un círculo vicioso (Chaves y Gutiérrez, 2017: 256-257)

Por otro lado, Rodríguez *et al.* (2005) en un estudio registraron que el efecto de los niveles de exposición solar en el crecimiento foliar y la altura de la planta.

El análisis de varianza multivariado (MANOVA) detectó interacción significativa de los niveles de exposición solar y las densidades de plantación sobre los indicadores del crecimiento (Área foliar por planta (AFP), Índice de área Foliar (IAF), Masa foliar por planta (MSFP), Altura de la planta (AP), Abscisión foliar por planta (ABS), Masa seca foliar específica (MFE) y Área foliar específica (AFE)) durante las fases de crecimiento del fruto (I de Wilk=0,22; p £ 0,0047) y maduración del fruto (I de Wilk = 0,26; p £ 0,016).

Además Rodríguez *et al.* (2005) comenta que a partir de la fase de crecimiento del fruto cuando se diferenciaron con mayor claridad las variantes de exposición en ambas densidades de plantación, sobre todo para las variables que caracterizan el crecimiento foliar, pues aunque la altura de la planta se diferencia más durante las fases de crecimiento y maduración del fruto en la densidad de 12 500 plantas/ha, en la menor densidad (7 140 plantas/ha) no se reproduce el mismo efecto, alcanzando mayor altura los cafetos expuestos al sol al final del período reproductivo.

Otro caso registrado por Rodríguez *et al.* (2005) donde la combinación del Análisis de Varianza Multivariado con el Análisis de Componentes Principales permite enfocar integralmente los procesos de adaptación del cafeto a niveles contrastantes de radiación solar ya que con estos se combinan las correlaciones que existen entre las variables del crecimiento de acuerdo con su naturaleza fisiológica y posibilita, al simplificar la magnitud de la información disponible, en un mismo análisis, visualizar las correlaciones entre los indicadores fisiológicos y la intensidad de la radiación solar, así como agrupar los tratamientos en función de dichos indicadores.

En otro contexto Rodríguez *et al.* (2005) argumenta que durante estas fases los cafetos desarrollan mayor Área foliar, Índice de Área foliar, Área foliar específica y Altura de la planta cuando se cultivan bajo sombra regulada. Bajo sol se incrementa la Masa foliar específica (MFE), lo cual se puede considerar como una característica de acomodo a los altos niveles de irradiancia. Bajo las condiciones de sol se produce un incremento significativo en la abscisión foliar lo cual fue la causa de la disminución en el crecimiento foliar durante las fases de fructificación.

Para finalizar Rodríguez *et al.* (2005) expone que este enfoque permitió demostrar que el efecto de la irradiancia en el cultivo del cafeto, para la zona de estudio, guarda estrecha relación con la fenología de la planta y la misma se produce durante las fases posteriores a la floración, fundamentalmente durante el crecimiento y maduración del fruto

3.6. Capacidad Fotosintética en las plantas de café

Gómez *et al.* (2001) generaliza que la mayoría de los estudios sobre la actividad fotosintética en diferentes especies se han realizado sobre hojas individuales, sin tener

en cuenta que, por diversos factores, lo que ocurra en una hoja puede no ser en realidad lo que está ocurriendo para todas las hojas de la misma planta y del cultivo en general.

En otro sentido fotosintético, como variables de crecimiento de frutos de café cereza, Aguilar *et al.* (2015) expresa que los frutos de café presentaron un rápido incremento de tamaño hasta los 90 días después de la floración (ddf) momento en que alcanzaron en promedio un 93% de diámetro polar y 75 % de diámetro ecuatorial, para luego estabilizarse hasta la etapa de maduración donde vuelve a presentar incrementos de tamaño.

Mismos autores Aguilar *et al.* (2015) presentan que, en cuanto al diámetro polar, la combinación de sombra ILSS (guaba y genízaro) presentó los mayores valores hasta los 90 ddf, sin embargo, en ese momento no mostró diferencias significativas ($Pr = 0.6017$) con los demás tratamientos, mientras que café a pleno sol mostró los menores diámetros.

Otro resultado mostrado por Aguilar *et al.* (2015) dicen que, para el momento de cosecha, los resultados mostraron que hay diferencia significativa ($Pr = 0.0054$), la combinación de TRSS (roble y genízaro) fue superior a los demás tratamientos, los frutos presentaron un diámetro de 15.1 mm y el tratamiento TRSG (roble y aceituno) presentó el valor más bajo con 13.86 mm.

3.7. Respuesta fotosintética del cafeto

La Radiación Fotosintéticamente Activa (RFA). Es la franja del espectro electromagnético utilizada para los procesos de la fotosíntesis (400 a 700 nm) y es un rango muy próximo a la radiación visible (luz) (Farfán y Jaramillo, 2009: 3)

La radiación se expresa como un porcentaje de la radiación incidente en la parte externa del cultivo, se debe asociar con la cantidad real de radiación medida, que ingresa al agrosistema (Farfán y Jaramillo, 2009: 3)

En su caso Zapata *et al.* (2017) en un estudio de Radiación fotosintéticamente activa incidente (RAFAi): Se detectaron diferencias significativas ($p < 0,0001$) en la RAFAi entre los tres niveles de sombrero. Como era de esperarse, la mayor RAFAi se alcanzó en los cafetales con baja sombra, lo que superó en más de cuatro y casi dos veces lo alcanzado en cafetales de alta y media sombra.

Zapata *et al.* (2017) el sombrero limita la cantidad de RAFAi para el cultivo asociado, restricción que está relacionada con la densidad, edad y características estructurales de las especies arbóreas.

Mismos autores Zapata *et al.* (2017) Se encontró una interacción estadística ($p < 0,0001$) en la RAFAi entre el nivel de sombra y la época de muestreo, en donde el mayor valor de esta variable se alcanzó en la época seca en SAF con bajo sombrero y los valores inferiores en la misma, pero en alta sombra; en la época lluviosa, las tendencias contrastaron con lo hallado en la seca: la mayor RAFAi se presentó en plantas de café con sombra media.

Conductancia estomática Zapata *et al.* (2017) detectaron diferencias significativas ($p < 0,01$) en la conductancia estomática entre niveles de sombra, siendo mayor en los SAF con media y baja sombra, con respecto a los de sombra alta: $160,6 \pm 36,1$; $148,2 \pm 31,0$ y $81,3 \pm 21,9 \mu\text{mol H}_2\text{O}/\text{m}^2/\text{s}$, respectivamente. En la época lluviosa, se registró una mayor conductancia estomática en sombra media y baja, que en alta, comparado

con menores valores de actividad estomática en SAF con alta sombra, durante la época seca.

Así, Zapata *et al.* (2017) en la época seca, la RAFAi tuvo un impacto directamente proporcional en la conductividad estomática, mientras que en la transición y en la época lluviosa, la mayor actividad de las estomas, se alcanzó en sombras intermedias

En otro orden de cosas la transpiración para Zapata *et al.* (2017) mencionan que los cafetos que crecían a sombra baja y media presentaron tasas de transpiración estadísticamente superiores ($p < 0,05$), que aquellos en SAF con alta sombra: $2,0 \pm 0,4$; $2,0 \pm 0,4$ y $1,3 \pm 0,3 \mu\text{mol H}_2\text{O}/\text{m}^2/\text{s}$, respectivamente. La transpiración presentó una interacción estadística ($p = 0,0002$) entre el nivel de sombrío y la época, ya que en época seca y lluviosa este valor fue mayor en sombra media, mientras que en la época de transición la mayor pérdida de agua fue en baja sombra.

Zapata *et al.* (2017) durante el periodo de lluvias, los cafetos transpiraron más, disminuyendo a medida que se reducía la precipitación; la mayor tasa de transpiración en cafetos durante la época lluviosa estaría relacionada con mayores tasas de conductancia estomática

Por ultimo Zapata *et al.* (2017) entre el nivel de sombra y la transpiración, se encontró una relación significativa e inversa $r = -0,65$; $p < 0,05$ (Figura 2c), lo cual, demuestra la importancia del manejo de la sombra en la economía hídrica y, posiblemente, en la eficiencia de uso de agua. La transpiración de cafetos en los SAF con alta sombra se redujo, en promedio, en un 36% respecto a los cafetales con baja y media sombra. La

transpiración, se puede explicar mediante una ecuación cuadrática, empleando la sombra, como variable independiente.

En conclusión, Gómez *et al.* (2001) los estudios sobre el comportamiento fotosintético en el cafeto se han llevado a cabo en hojas individuales y poco se conoce en relación con la planta completa.

3.8. Efecto de la temperatura en la producción de café

La temperatura óptima para el cultivo de café esta entre 18 y 21°C, por lo tanto, los cultivos de café en zonas que estén por debajo de esta temperatura requieren de mayor tiempo cronológico para alcanzar la producción potencial, mientras que en cultivos en zonas por encima de esta temperatura puede verse afectado el llenado de frutos Montoya *et al.* (2016)

Rivera *et al.* (2013) Como resultado, concluyeron que a mitad del siglo XXI se espera una reducción de entre 22 y 27% de la productividad de café debido al incremento de la temperatura y la reducción de la precipitación.

En un inicio Figueroa *et al.* (2015) expone que, como todas las plantas, el café necesita de condiciones ambientales especiales para su producción, y todas ellas tienen importancia.

Mismo autor Figueroa *et al.* (2015) sigue diciendo que la temperatura debe ser entre los 17 a 26°C. La temperatura es muy importante porque si es menor a 16 grados se pueden quemar los brotes, y si la temperatura sobrepasa los 27 grados hay más riesgo de deshidratación de la planta con reducción de la fotosíntesis.

Por otra parte, Figueroa *et al.* (2015) comenta que la altura apropiada para la producción del café es de entre 900 a 1600 metros sobre el nivel del mar. Si se cultiva el café a menor altura, los costos de producción aumentan, ya que se reduce la calidad de los granos de café. En cambio, si se cultiva a mayor altura de la aconsejada, se produce un menor crecimiento de las plantas.

En otro sentido Figueroa *et al.* (2015) expone que los vientos también son importantes en la producción del café, porque si los vientos superan los 30 Km. /h se produce un daño en la planta con la caída de hojas, rotura de flores y frutos y deshidratación de las yemas.

En secuencia Figueroa *et al.* (2015) procede con la explicación de las lluvias; donde el agua natural que reciben las plantas es esencial, pero si es excesiva puede ser perjudicial. Por ello, el rango establecido de precipitaciones necesarias para la producción de café es de, entre 1,000 a 3,000 milímetros/año. Si llueve más se producen hongos, y si reciben menos lluvias la producción disminuye, porque se reduce el crecimiento de las plantas de café.

Y para finalizar este apartado Figueroa *et al.* (2015) menciona que la humedad es también muy importante y va de la mano de las precipitaciones. Si la humedad relativa es mayor a 90.0% hay riesgo de que la planta se enferme con hongos. Por ello, se aconseja que el ambiente tenga en un 65.0 a 90.0% de humedad.

3.9. Cantidad de sombra para el desarrollo de las plantaciones de café

Se encontró que los árboles tenían un área de copa promedio de 60,4 m² (4,8 - 205,4 m²) con un factor de oclusión de la copa de 0,79. Es decir, la copa obstruye el 79% de

la radiación incidente sobre la copa, para dejar un 21% de claros (Andrade y Segura, 2016: 80)

Como idea principal sobre la descripción de los estratos arbóreos Jaramillo *et al.* (2006) argumenta que la estructura de la parte aérea se puede definir por el tamaño, forma, orientación y distribución de posición de los diferentes órganos: hojas, tallos, ramas, flores y frutos. La manera más simple de obtener información sobre la estructura del dosel es mediante la medición directa de estos órganos, incluyendo área, forma, ángulos o posiciones.

De otro modo Farfán *et al.* (2003) explica que han sido varios estudios se han desarrollado en el cultivo del café que han determinado el efecto del sombreado natural sobre el microclima de la planta, la producción de biomasa, y la producción y la calidad de la bebida, entre otros.

Como idea correlacionar Farfán *et al.* (2003) dice que en los estudios consultados la sombra se describe cualitativamente, ya sea por el tipo de árbol asociado, su edad o densidad de siembra, pero en ninguno de ellos se llevó a cabo una determinación cuantitativa de la sombra producida.

Para finalizar Rodríguez *et al.* (2015) argumenta que la respuesta de los árboles de café a diferentes niveles de exposición solar es el objeto de estudio más ampliamente difundido en la caficultura moderna. Sin embargo, los resultados no son del todo consistentes y se convierten, en la mayoría de los casos, en conclusiones que dependen de aspectos característicos de la localidad o del agro-ecosistema objeto de estudio.

3.10. Como funciona un sistema cafetalero

A propósito, esquemáticamente, la cafecultura es un sistema de producción que intercambia materia y energía con su medio a través de sistemas que fluctúan sin pausa hasta acercarse a un punto crítico de inestabilidad, donde la estructura previa no puede conservarse y salta a un nivel inferior o superior de orden (Contreras, 2010: 154)

De manera similar Alvarado *et al.* (2013) describen que el cultivo de café es un sistema de producción que tiene unas entradas representadas por mano de obra, insumos, tierra y energía, entre otros, y un producto final del sistema que es el café pergamino seco obtenido.

Así Rojas *et al.* (2012) describen que los sistemas de café se caracterizan por presentar diversas formas de manejo, haciéndolo más amigable con los ecosistemas en cuanto a la oferta de bienes y servicios ambientales.

Por lo anterior, existe un gradiente de cinco principales modalidades de producción de café que van desde los dos sistemas “tradicionales” con sombra diversificada y con árboles de la vegetación original, un sistema de policultivo comercial con árboles introducidos y, finalmente, dos sistemas especializados: con sombra de una sola especie o a pleno sol (Moguel y Toledo, 2004: 4)

El cultivo del café es un buen ejemplo de sistema productivo donde existen diversas formas de manejo que lo hacen más o menos amigable con la biodiversidad y la oferta de bienes y servicios ambientales (Guhl, 2009: 116).

Los cinco tipos de producción van desde estrategias de producción de café con sombrero muy tradicionales hasta café producido a plena exposición solar (Guhl, 2009: 116).

Rústico: el sotobosque de las selvas tropicales se tala y se siembra el café bajo el dosel de los árboles originales. Este sistema se asocia con un consumo de insumos muy bajo.

Policultivo tradicional: el café se siembra bajo el bosque original, junto con otras plantas útiles (frutales, maderables). Se crea un “huerto cafetero”. Este sistema tiene la mayor complejidad vegetal y estructural.

Policultivo comercial: los árboles originales del bosque son reemplazados por especies de sombrero, adecuadas para el cultivo del café (por lo general, son especies útiles).

Sombrero de una sola especie: se utilizan casi exclusivamente árboles de especies leguminosas como sombrero. Cultivo de café bajo sombrero especializado de muy pocas especies.

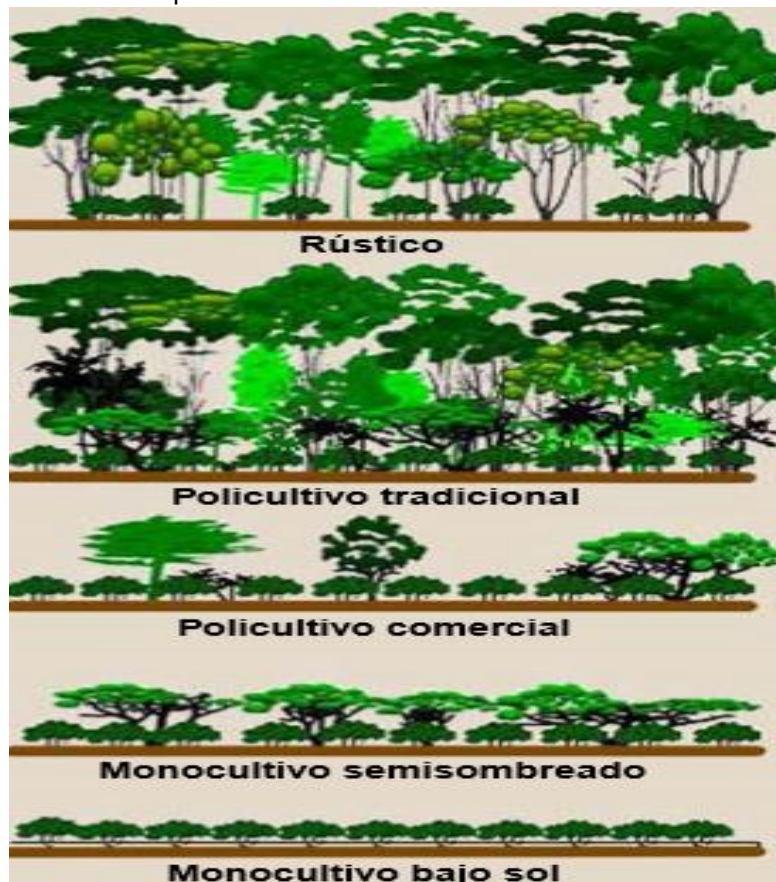
Monocultivo sin sombra: no hay sombrero. Requiere el nivel más alto de insumos.

Por tanto, de los factores abióticos que interactúan en el sistema de producción de café, estudiados por (González y Hernández, 2016: 110) encontraron que para el establecimiento de la zonificación agroecológica del café se parte del concepto de potencial agroecológico, como el conjunto de propiedades cuantitativas y cualitativas de la oferta natural de la región, favorables para el adecuado desarrollo del cultivo.

Ahora bien, la incorporación de árboles de sombra en los cafetales se presenta como una buena alternativa de adaptación y sostenibilidad de los sistemas cafetaleros,

ayudando a amortiguar los efectos de eventos climáticos extremos, y reducir los riesgos que enfrenta la caficultura del futuro (Villarreyna, 2016: 1)

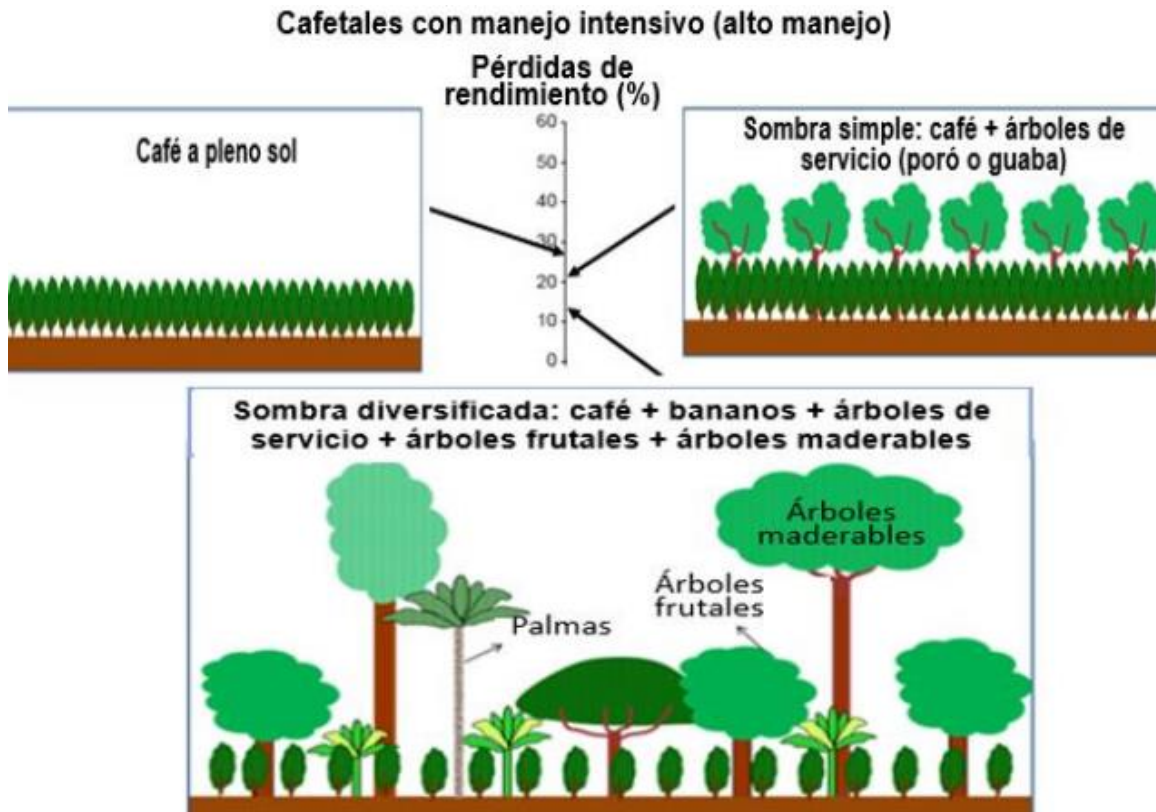
Figura 5. Los cinco sistemas de producción de café en México



Fuente: (Moguel y Toledo, 2004: 3)

En otro espacio generalmente interactúan plantas en diversas especies. Por ello, estudios hechos por Duicela *et al.* (2016) demuestran que los sistemas agroforestales en la producción de café; en lo ambiental, el café se cultiva básicamente en sistemas agroforestales y contribuye a la conservación de los recursos naturales y biodiversidad.

Figura 6. Efecto de los árboles de sombra sobre la pérdida de rendimiento en comparación con pleno sol, en cafetales con alto manejo. El porcentaje de pérdidas reflejado, es con base al rendimiento esperado o alcanzable y el rendimiento real obtenido.



Fuente: Cerda et al. (2015). Figuras representativas de sistemas de café, cortesía de Clemente (2015).

Como seguimiento del estudio agroforestal el café un sistema de producción agroforestal, las variedades de C. arábica son sembradas bajo una sombra diversificada que les protege de las fuertes precipitaciones, conserva los suelos mientras los nutre con la caída de hojas, fomenta microorganismos y la fijación de nitrógeno en el suelo (en el caso de leguminosas como los árboles de sombra del

Género Inga), a la vez que provee otros beneficios como leña, fruta y diversos comestibles en la producción de café, por su parte (Libert, 2017: 6)

Capítulo IV. Conclusiones

En definitiva, una vez realizado la presente investigación y basado en los parámetros registrados, se llegó a las siguientes conclusiones para los capítulos dos “generalidades del café” y tres, “factores que definen el crecimiento del cultivo de café bajo la radiación solar”.

Para el primer caso se tiene que existen expresiones diversas sobre el origen del café.

A ciencia cierta, no se sabe con exactitud donde fue el descubrimiento del café como aprovechamiento para subsistencia en la sociedad. Ya que pudieron existir otras experiencias fantasmas como mayor antigüedad y por razones diversas no se dieron a conocer ante los medios de comunicación.

En la actualidad muchas personas consumen café, desde una oficina hasta un pequeño hogar, expresando que lo hacen para resistir ante el sueño cuando es necesario para culminar parte de alguna actividad. Mientras otros dicen que lo hacen para equilibrar la temperatura corporal cuando hace demasiado frío.

Dentro del “conocimiento empírico-artesanal” se sabe que, para obtener café listo para preparar la bebida, se maquila el café posteriormente se hecha sobre el comal para removerlo constantemente hasta que los granos tomen un color café, finalmente se muele hasta tener un tono fino.

Una experiencia sobre la historia de la introducción de café en una zonificación agroecológica para la sierra madre de Chiapas, precisamente en Laguna del Cofre, el

café se empezó a producir a finales del siglo XIX cuando inversionistas europeos fueron invitados por el gobierno federal para establecer las primeras plantaciones.

Para las expresiones anteriores Figueroa *et al.* (2015) concluye que el café, esa bebida estimulante y aromática tan difundida por el mundo, encuentra su origen en las tierras de Abisinial, (actual Etiopia). Es fácil confundirse con su verdadero origen, ya que antiguas leyendas sobre el cultivo y la costumbre de tomarlo provienen de Arabia.

Mientras que para las características morfológicas de la planta de cafeto.

Se registró que este arbusto alcanza su tamaño según la variedad, además su fuste puede ser enorme como las variedades caturras o catimor a diferencia de árabe y bourbon que tiene fuste menor.

Dicho de otro modo, Figueroa *et al.* (2015) comunica que dentro de la morfología del cultivo: El cafeto es un arbusto o árbol pequeño, perennifolio, de tronco recto que puede alcanzar los 10 metros en estado silvestre; en los cultivos se les mantiene normalmente en tamaño más reducido, alrededor de 3 metros.

Por otro lado, el ciclo fisiológico y etapas fenológicas de las plantas de cafeto.

Generalmente a las hojas le empiezan a salir unos puntos negros que con el paso de los días estos se desgastan, según la incidencia estos omiten el desarrollo fisiológico de las plantas de cafeto, entonces al caerse las hojas la posibilidad de producir granos de café es nula ya que las yemas florales nacen precisamente y con mayor severidad en las axilas de las hojas.

En las axilas de las hojas se presentan las yemas florales, el número promedio de flores por nudo es de 40 flores, 20 en cada axila. El número de floraciones varía según la precipitación de la zona (Ciriaco, 2012: 12)

En la sierra madre de Chiapas “zonificación cafetalera” la floración de café se da entre los meses de abril, mayo y junio, el desarrollo de granos entre junio, julio y agosto o hasta septiembre, aunque para algunos casos en septiembre empieza la maduración y permaneciendo esta por octubre y noviembre., finalmente después de la colecta de granos que vendría siendo para algunos casos desde noviembre hasta marzo. O según la ubicación del cafetal donde es más frío, estos meses de maduración se recorren y algunas plantas tienden a un mayor descanso.

El ciclo fisiológico del café es el tiempo transcurrido de una campaña a otra; dura doce meses, y tiene cuatro etapas bien marcadas (Ciriaco, 2012: 10)

La etapa de la germinación de granos es una etapa inicial para producir cafetos, ya que primeramente se seleccionan los granos de café cuando están en etapa de madurez, seleccionando las ramas más sanas adjunto a los granos más sanos y vigoroso, es decir libre de plagas y enfermedades.

Posteriormente se vierte en un recipiente con agua para ver si no flotan, en caso de que algunos granos lo hagan estas no se utilizan para germinar, y las que quedan en el asiento del recipiente se siembra en un pequeño jardín o cuadrantes que funcionan como espacios de germinación de mariposas.

Mientras que la germinación permite tener mayor uniformidad en el Almácigo y tener una gran cantidad de plantas fácilmente manejables buscando el ideal de planta a sembrar (Sánchez, 2015: 16)

La variedad de climas en la sierra madre de Chiapas para el establecimiento de cafetales van desde los 1200 hasta 1900 msnm. Con diversidad de bosques; bosque de pino-encino, bosque de coníferas y bosque mesofilos de montaña, introduciendo así variedades diversas de café bajo los estratos arbóreos. Y estos granos según la ubicación geográfica son precoces en su maduración, mismas características geográficas permiten tener granos grandes y vigorosos. Con mayor aceptación en el mercado internacional.

Variables climatológicas para el cultivo del café; el crecimiento y desarrollo vegetativo del café, están relacionados con factores medioambientales y edáficos de las zonas cafetaleras tales como: clima (temperatura, luz, humedad, precipitación) (Ciriaco, 2012: 7)

Ahora bien, para el capítulo tres; factores que definen el crecimiento del cultivo de café en efecto a mucha o poca presencia de la radiación solar.

La radiación solar es responsable del crecimiento de las plantas de cafeto. Además, su importancia logra verse cuando llega la etapa de maduración de granos. Otro punto es, cuando las plantas descansan empieza a notarse la severidad de la enfermedad de la roya naranja del cafeto (generalmente se da en los meses de diciembre, enero y febrero), probablemente sea por la presencia de rayos solares.

Como idea central Farfán *et al.* (2003) ejemplifican que ante todo la radiación solar es la principal fuente de energía para la fotosíntesis y la bioproductividad.

Mientras que para los niveles de radiación del cafeto; bajo sombra y a pleno sol, respectivamente:

Para el primer caso existe una aceptación donde la importancia de cultivar café bajo sombra es para proteger a las plantas del estrés hídrico en temporada de verano, además las hojas son tolerantes a sufrir quemaduras severas por los rayos del sol. Y el producir café a pleno sol; esto permite con facilidad un mejor desarrollo fisiológico de la planta de cafeto por la presencia de los rayos del sol, además por este método la maduración de granos se da en corto tiempo.

Lo ideal es que el productor encuentre la esencia necesaria de producir cafetos, de acuerdo a la ubicación geográfica de los cafetales, las variedades de café, el tipo de clima y la altura sobre el nivel del mar. Con el propósito de que las plantas no sean beneficiosas y perjudiciales, si no que se mantengan en un término estándar en su desarrollo.

Farfán *et al.* (2003) expresan que es importante cuantificar el grado de sombra que producen especies arbóreas que podrían asociarse al cultivo del café y poder relacionar de manera directa la radiación disponible con el crecimiento, desarrollo, producción y calidad de la bebida, entre otros.

El efecto de la radiación solar a la morfología y anatomía foliar del cafeto; para tal caso: En el 2012, año que hizo presencia con mayor severidad la enfermedad de la roya naranja en las hojas de cafeto, de hace más de seis años por medio del método

de evaluación visual, por experiencia de productores de la sierra madre de Chiapas, expresan que en los temporadas de lluvias esta enfermedad se oculta al caerse o al renovarse las hojas de las plantas de cafeto y empiezan salir nuevas hojas precisamente por la temporada de lluvias.

El estrés por calor afecta la tasa de desarrollo de los cultivos, que se acelera hasta cierto punto y se reduce después de cierto nivel, y controla en gran medida la fenología de las plantas. Además, la respuesta varía según la etapa fenológica, el cultivo y los diferentes genotipos (Chaves y Gutiérrez, 2017: 257)

El comportamiento de las hojas de cafeto a la radiación solar; estas podrían desarrollarse fisiológicamente vigorosas conforme a la poca o nula cantidad de sombra, ya que por un lado la sombra ayuda a que sufran estrés por los rayos del sol, pero por el lado contrario es necesario que las hojas sean desarrolladas por una buena cantidad de radiación solar.

Para esta expresión, cada especie tiene una temperatura mínima, máxima y óptima para su normal desarrollo y sobrevivencia; sin embargo, los cultivos despliegan una amplia plasticidad estructural y fisiológica que les permite adaptarse a diferentes temperaturas (Chaves y Gutiérrez, 2017: 256)

Además, cuando en temporadas de lluvias, no es tan común que llueva se distingue el afligimiento de las plantas de cafeto, como casi queriendo secarse, sobre todo esto se da en ubicaciones de 1200 msnm donde el clima es más caluroso, un caso preciso se dio en la sierra madre de Chiapas en el ejido la Lucha, Montecristo de Guerrero.

La reacción de las plantas de cafeto causadas por el estrés hídrico ante la radiación solar: en muchos climas tropicales, el exceso de radiación y las altas temperaturas son factores que frecuentemente afectan el crecimiento y el rendimiento de los cultivos; y suelen ir acompañados de otros estreses que se desarrollan simultáneamente, como la poca disponibilidad de agua (Chaves y Gutiérrez, 2017: 259)

Capacidad fotosintética en las plantas de café; Para empezar Gómez *et al.* (2001) generaliza que la mayoría de los estudios sobre la actividad fotosintética en diferentes especies se han realizado sobre hojas individuales, sin tener en cuenta que, por diversos factores, lo que ocurra en una hoja puede no ser en realidad lo que está ocurriendo para todas las hojas de la misma planta y del cultivo en general.

Respuesta fotosintética del cafeto; La radiación se expresa como un porcentaje de la radiación incidente en la parte externa del cultivo, se debe asociar con la cantidad real de radiación medida, que ingresa al agrosistema (Farfán y Jaramillo, 2009: 3)

Efecto de la temperatura en la producción de café; Figueroa *et al.* (2015) sigue diciendo que la temperatura debe ser entre los 17 a 26°C. La temperatura es muy importante porque si es menor a 16 grados se pueden quemar los brotes, y si la temperatura sobrepasa los 27 grados hay más riesgo de deshidratación de la planta con reducción de la fotosíntesis.

La cantidad de sombra para el desarrollo de las plantaciones de café; como idea a los estratos arbóreos Jaramillo *et al.* (2006) argumenta que la estructura de la parte aérea se puede definir por el tamaño, forma, orientación y distribución de posición de los diferentes órganos: hojas, tallos, ramas, flores y frutos. La manera más simple de

obtener información sobre la estructura del dosel es mediante la medición directa de estos órganos, incluyendo área, forma, ángulos o posiciones.

En cuanto a la función adecuada de un sistema cafetalero; Rojas *et al.* (2012) describen que los sistemas de café se caracterizan por presentar diversas formas de manejo, haciéndolo más amigable con los ecosistemas en cuanto a la oferta de bienes y servicios ambientales.

Capítulo V. Referencias bibliográficas

Acuna, V., & Antonio, R. (2016). Efecto de los árboles de sombra sobre el rendimiento de los cafetos, basado en perfiles de daño.

Aguilar Bustamante, V., Munguía Hernández, R., Chavarría Rivera, A., & Calderón Guido, N. (2015). Crecimiento, acumulación de biomasa seca y nutrientes en los frutos de café (*Coffea arabica* L.) variedad Pacas, Masatepe, Nicaragua. La Calera.

Aguilar-Rivera, N., Houbron, E., Rustrian, E., & Reyes-Alvarado, L. C. (2014). Papel amate de pulpa de café (*Coffea arabica*) (Residuo de beneficio húmedo). *Ra Ximhai*, 10(3), 103-117.

Akaki, P. P. (2011). Denominaciones de origen (DO) y marcas colectivas (MC) en el café mexicano, ¿estrategia para el desarrollo regional? *Revista Geográfica de América Central*, 2, 1-22.

Akaki, P. P. (2011). Denominaciones de origen (DO) y marcas colectivas (MC) en el café mexicano, ¿estrategia para el desarrollo regional? *Revista Geográfica de América Central*, 2, 1-22.

Akaki, P. P., & Tapia, M. P. (2012). Las denominaciones de origen del café mexicano y sus cuestionamientos como modelo de desarrollo regional. *Perspectivas Rurales Nueva Época*, (19), 97-110.

Andrade, H. J., & Segura, M. A. (2016). Dinámica de la sombra de *Cordia Alliodora* en sistemas agroforestales con café en Tolima, Colombia. *Agronomía Costarricense*.

Arango, P. C. Z., Castañeda, H. J. A., & Abril, Z. K. N. (2017). Comportamiento ecofisiológico del cafeto (*Coffea arabica* L.) CV. Castillo en sistemas agroforestales de Tibacuy, Cundinamarca. *Revista UDCA Actualidad & Divulgación Científica*, 20(1), 61-70.

Arcila Pulgarín, J., Buhr, L., Bleiholder, H., Hack, H., & Wicke, H. (2001). *Aplicación de la Escala BBCH ampliada para la descripción de las fases fenológicas del desarrollo de la planta de café (Coffea sp.)*. Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, Chinchiná, Caldas (Colombia) Centro Nacional de Investigaciones de Café, Chinchiná, Caldas (Colombia).

BARRETO CASTRO, K. J., & MERO MACÍAS, V. A. (2018). *ALTERNATIVAS COMERCIALES PARA EL CAFÉ CON VALOR AGREGADO DE LOS EMPRENDIMIENTOS EN MANABÍ, PROMOVIDOS POR EL INSTITUTO DE ECONOMÍA POPULAR Y SOLIDARIA DEL PERIODO 2018-2022* (Doctoral dissertation).

Castañeda-Castro, O. (2018). Variaciones en área foliar y concentraciones de clorofilas y nutrimentos esenciales en hojas de café robusta (*coffea canephora* p.) Durante un ciclo anual. *AgroProductividad*, 11(4).

Chaves-Barrantes, N. F., & Gutiérrez-Soto, M. V. (2017). Respuestas al estrés por calor en los cultivos. II. Tolerancia y tratamiento agronómico. *Agronomía Mesoamericana*, 255-271.

Coa Urbaez, M., Silva-Acuña, R., Méndez Natera, J. R., & Mundarain Padilla, S. (2015). Fenología de la floración del cafeto var. Catuaí Rojo en el municipio Caripe del estado Monagas, Venezuela. *Idesia (Arica)*, 33(1), 59-67.

Córdova, M. E., Carreño, F. S., Guevara, D. M., Erreyes, T. C., & Rojas, M. J. (2017). Influencia de la intensidad de luz en la producción de posturas de cafeto (*Coffea Arabica L.*) en vivero. *CEDAMAZ*, 6(1).

Encalada-Córdova, M., Soto-Carreño, F., Morales-Guevara, D., & Álvarez-Bello, I. (2016). Influencia de la luz en algunas características fisiológicas del cafeto (*Coffea arabica L. cv. Caturra*) en condiciones de vivero. *Cultivos Tropicales*, 37(4), 89-97.

Encalada-Córdova, M., Soto-Carreño, F., Morales-Guevara, D., & Álvarez-Bello, I. (2016). Influencia de la luz en algunas características fisiológicas del cafeto (*Coffea arabica L. cv. Caturra*) en condiciones de vivero. *Cultivos Tropicales*, 37(4), 89-97.

Encalada-Córdova, M., Soto-Carreño, F., Morales-Guevara, D., & Álvarez-Bello, I. (2016). Influencia de la luz en algunas características fisiológicas del cafeto (*Coffea arabica L. cv. Caturra*) en condiciones de vivero. *Cultivos Tropicales*, 37(4), 89-97.

FARFAN, F., & Jaramillo, A. (2013). *Sombrío para el cultivo del café según la nubosidad de la región.*

FARFAN, F., Arias, J. J., & Riaño, N. M. (2003). Desarrollo de una metodología para medir sombrío en sistemas agroforestales con café.

Gay, C., Estrada, F., Conde, A. C., & Eakin, H. (2004). Impactos potenciales del cambio climático en la agricultura: escenarios de producción de café para el 2050 en Veracruz (México).

GÓMEZ, L., MONTOYA, E., LÓPEZ, Y., & RIAÑO, N. (2001). Estimación de la fotosíntesis en plantas completas y validación de un modelo matemático para el cafeto *Coffea arabica* L. In *Simposio Internacional Medición y Monitoreo de la Captura de Carbono en Ecosistemas Forestales, Valdivia, Chile*.

González, H. A. G., & Santana, J. R. H. (2016). Zonificación agroecológica del *Coffea arabica* en el municipio Atoyac de Álvarez, Guerrero, México. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía*, 2016(90), 105-118.

Guambi, L. A. S., Talledo, D. S. F., & Ávila, E. L. G. (2016). Calidad organoléptica del café (*Coffea arabica* L.) en las zonas centro y sur de la provincia de Manabí, Ecuador. *Revista española de estudios agrosociales y pesqueros*, (244), 15-34.

Hernández, A. C. (2010). Los cafetales de Veracruz y su contribución a la sustentabilidad. *Revista de Estudios Agrarios*, 45, 143-citation_lastpage.

<https://www.cenicafe.org/publications/4.Efecto.pdf>

Larramendi, M. S. L. A. R. (2002). Tesis presentada en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Agrícolas.

Lindao Cruz, K. A. (2016). Selección preliminar de líneas de café robusta (*Coffea canephora* P.) con base al rendimiento y características agronómicas deseadas en la zona de Colonche provincia de Santa Elena.

Montagnini, F., Somarriba Chávez, E., Murgueitio, E., Fassola, H., Eibl, B., Combe, J., & Palma, E. (2015). Sistemas agroforestales: funciones productivas, socioeconómicas y ambientales. In *Biocenosis (Costa Rica)* v. 2 (3) p. 5-6. (No. CATIE ST IT-402). CATIE, Turrialba (Costa Rica) CIPAV (Centro para la Investigación en Sistemas Sostenibles de Producción Agropecuaria, Cali, Colombia).

MONTOYA, E., & Jaramillo, Á. (2016). Efecto de la temperatura en la producción de café.

PÉREZ-SOTO, F. R. A. N. C. I. S. C. O., GODÍNEZ-MONTOYA, L. U. C. I. L. A., & FIGUEROA-HERNÁNDEZ, E. S. T. H. E. R. (2014). La producción y el consumo del café.

Ramírez, V. H., Arcila, J., Jaramillo, A., Rendón, J. R., Cuesta, G., García, J. C., & Torres, J. C. (2013). *Variabilidad climática y la floración del café en Colombia*.

Rodríguez Larramendi, L. A., Guevara Hernández, F., Gómez Castro, H., Fonseca Flores, M., Gómez Castañeda, J. C., & Pinto Ruiz, R. (2016). Anatomía foliar relacionada con la ruta fotosintética en árboles de café (*Coffea arabica L., var. Caturra Rojo*) expuestos a diferentes niveles de radiación solar en la Sierra Maestra, Granma, Cuba. *Acta Agronómica*, 65(3), 248-254.

Rodríguez Larramendi, L. A., Guevara Hernández, F., Gómez Castro, H., Fonseca Flores, M., Gómez Castañeda, J. C., & Pinto Ruiz, R. (2016). Anatomía foliar relacionada con la ruta fotosintética en árboles de café (*Coffea arabica L., var. Caturra Rojo*) expuestos a diferentes niveles de radiación solar en la Sierra Maestra, Granma, Cuba. *Acta Agronómica*, 65(3), 248-254.

Saboya Pisco, A. (2019). Evaluación del efecto bioprotector de hongos micorrízicos arbusculares nativos sobre roya (*Hemileia vastatrix*) en café (*Coffea arabica*) variedad caturra bajo condiciones de vivero en la Región San Martín.

Sánchez, Á. R., Ulloa, K. H., & Marques, R. A. (2012). El impacto de la producción de café sobre la biodiversidad, la transformación del paisaje y las especies exóticas invasoras. *Ambiente y Desarrollo*, 16(30), 93-104.

Silva, R., del Rayo, M., Nikolskii Gavrilov, I., Castillo Álvarez, M., Ordaz Chaparro, V. M., Díaz Padilla, G., & Guajardo Panes, R. A. (2013). Vulnerabilidad de la producción del café (*Coffea arabica* L.) al cambio climático global. *Terra Latinoamericana*, 31(4), 305-313.

Vichi, F. (2015). La producción de café en México: ventana de oportunidad para el sector agrícola en Chiapas. *Espacio I+ D, innovación más desarrollo*, 4(7).