

FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y AGROPECUARIAS

DPTO. DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

Título: Respuesta morfoagronómica de cultivares de café adaptados al trópico en la Estación Experimental Agro - Forestal de Velasco, municipio Gibara, provincia Holguín

**TESIS PRESENTADA EN OPCIÓN
AL TÍTULO DE INGENIERO AGRÓNOMO**

Autor: Andrieski Reyes Zaldívar

Tutor: MSc. Diancy Robleda Gómez

Asesora: Ing. Georgina Sánchez Pozo

Holguín 2020

Pensamiento

“Siémbrese química y agricultura y se cosechará nobleza y riquezas”

José Martí

Agradecimientos

Quiero expresar mi gratitud a:

Mis padres que han sido el pilar de mi educación y por su incondicional apoyo en el transcurso de mi formación como profesional.

Mi tutora MSc. Diancy Robleda Gómez por su constante apoyo, colaboración, supervisión, dedicación.

A todos aquellos que de una forma u otra contribuyeron a la realización de este trabajo.

Gracias

Dedicatoria

A mi familia por apoyarme en todo momento.

RESUMEN.

En la Estación Experimental Agro - Forestal sita en Velasco, municipio Gibara, provincia Holguín se desarrolló un experimento en dos años diferentes (2017 y 2018), para estudiar el efecto de cuatro niveles de sombra, 0, 25, 50 y 75 % en el crecimiento de posturas de cafeto en vivero. Se utilizó un diseño experimental muestral en franjas. A partir del primer par de hojas verdaderas y cada 25 días se realizaron muestreos destructivos, evaluándose la altura, la masa seca y el área foliar y densidad estomática. Los datos se procesaron mediante un análisis de varianza de clasificación simple. En los indicadores evaluados, de manera general, se observó que los mejores tratamientos fueron el 75 y 50 % de sombra, las posturas con menor desarrollo fueron las crecidas a plena exposición solar. Asimismo, los tratamientos del 75 y 50 % tuvieron un mayor crecimiento y alcanzaron los valores máximos de este indicador con anterioridad, en relación con los otros tratamientos en ambos años. Respecto a los años, se observó que el crecimiento en la fase inicial fue más rápido en 2017 que en 2018, lo que tuvo relación con el comportamiento de la temperatura, que en el primer año fue mayor al inicio del crecimiento, con tendencia a ir disminuyendo con el tiempo. Lo contrario sucedió en 2018, donde la temperatura fue aumentando hacia el final del período de aviveramiento.

ABSTRACT.

At Agro-Forest Experimental Estation, in Velasco, Gibara municipality, Holguín province an experiment was developed in two years (2017 and 2018), with the aim of studying the effect of four shade levels: 0, 25, 50 and 75 % on coffee seedling growth in the nursery. A sample experimental design was used in stripes. Destructive samplings were performed from the first pair of true leaves every 25 days, evaluating height, dry mass and leaf area and estomatic density. Data were processed through a one-way classification variance analysis. Concerning the indicators evaluated, it was generally observed that the best treatments were 75 and 50 % shade, whereas less developed seedlings were grown at full solar exposure. Furthermore, treatments of 75 and 50 % had a greater growth and reached its maximum values before the others in both years. Regarding years, plant growth at the early stage was faster in 2018 than in 2019, which was related to temperature that was higher at growth beginning in the second year with a trend to decrease over time. However, the opposite occurred in 2017, where temperature gradually increased towards the end of the nursery period.

ÍNDICE

pág

- RESUMEN	
- ABSTRACT	
- INTRODUCCIÓN - - - - -	1
- REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA - - - - -	5
- MATERIALES Y MÉTODOS - - - - -	22
- RESULTADOS Y DISCUSIÓN - - - - -	24
- CONCLUSIONES - - - - -	31
- RECOMENDACIONES - - - - -	32
- BIBLIOGRAFÍA - - - - -	33
- ANEXOS	

INTRODUCCIÓN

Generalmente, el rendimiento y funcionamiento de los cultivos está determinado por factores externos que afectan el desarrollo de las plantas. De esta forma, uno de los más importantes es la radiación solar. Así, es un recurso fundamental en el sustento y producción vegetal. Si bien, es un tema de mucha importancia para agricultor, muchas veces se olvida la relevancia que tiene la radiación solar durante el proceso de plantación. (*Beaudin-Dufour, D. y Muller, 1971*)

Según *Beaudin-Dufour, D. y Muller (1971)*, el sol es una fuente primaria de energía radiante, caracterizada por propagar sus ondas o pulsaciones a través del espacio. Por su parte, las plantas teniendo la capacidad de sintetizar todas las sustancias esenciales para su metabolismo a partir de sustancias inorgánicas, actúan como excelentes captadores de la radiación solar. Por ello, mediante la fotosíntesis son capaces de transformar la energía radiante en energía química. Así, quedan asociadas a los compuestos orgánicos de la biomasa.

Las plantas utilizan la luz solar para producir carbohidratos a partir del dióxido de carbono y agua. Por ello, son capaces de convertir compuestos inorgánicos en compuestos orgánicos más complejos. Sin embargo, hay factores externos que muchas veces condicionan este proceso, disminuyendo el rendimiento de los cultivos. La cantidad de sombra es el primero de ellos. Pues, la falta o baja disponibilidad de luz solar tiende a ser un agente estresor para las plantas. (*Cordeiro et al., 2013*)

Esto, a su vez, dificulta el crecimiento y desarrollo de los cultivos. Igualmente, si las plantaciones se encuentran en ecosistemas con climas áridos, el sobrecalentamiento puede producir daños en su desarrollo.

Al reducir el sobrecalentamiento, la transpiración excesiva y la fotoinhibición que se presentan en las plantas al estar en zonas calientes, sin la protección adecuada, se impide que haya una reducción de la fotosíntesis por exceso de calor.

Cabe señalar que ambos aspectos son igualmente importantes para la agricultura; y en vista de que el estrés en las plantaciones debilita sus funciones, todo agricultor debe

informarse sobre las necesidades y requerimientos particulares de cada especie según las condiciones ambientales de cada región.

De acuerdo con (*Beaudin-Dufour, D. y Muller0, 1971*) la calidad de luz o energía radiante que reciben los cultivos es otro de los factores que inciden en el proceso agrícola.

Considerando que, a mayor altitud las plantas estarán expuestas a mayores longitudes del espectro de luz azul y ultravioleta, si éstas se encuentran en regiones que se ubican al nivel del mar habrá una disminución en la captación de energía solar que perjudicará el crecimiento de la planta.

Una planta en estas condiciones puede tener un crecimiento mucho más extenso, pero con tallos delgados, y tasa fotosintética baja. Si en cambio la intensidad de la luz fuera excesiva, se reduciría el crecimiento vertical.

Los factores ambientales pueden causar distintos cambios morfológicos, fisiológicos y bioquímicos en los cultivos, determinando una variación en su rendimiento, ya que la interacción entre estos factores y los procesos fisiológicos inciden en el mejoramiento de las prácticas de producción, al optimizar la fotosíntesis e incrementar la productividad de los cultivos. En este sentido, el sombreado es una estrategia útil para el cultivo de especies tolerantes a la sombra, en zonas de alta irradiancia. Cuando se reduce la irradiancia también se reduce la demanda evaporativa de las hojas del cultivo y del suelo, lo que incrementa el agua en la planta y la humedad del suelo. (Ruiz et al., 2008)

El metabolismo fotosintético es el proceso fisiológico más importante: de él dependen la productividad primaria y el rendimiento de los cultivos (Lorenzo, 2001), de ahí que las clorofilas son esenciales para el desarrollo de la planta, ya que son responsables para la captura de la energía solar incidente necesaria para la fotosíntesis, pues esta energía se transfiere a los productos fotosintetizados (Lancher, 2003) y por ello influyen directamente sobre el crecimiento y la calidad de los productos poscosecha. De igual

manera, la temperatura tiene una influencia significativa sobre el crecimiento y el desarrollo de frutos, debido a que puede reducir el período de crecimiento.

Además, los primeros rendimientos son más altos a temperaturas más altas Iglesias y (Muñoz, 2007). La cantidad y calidad de la luz transmitida por las cubiertas afecta el crecimiento de las plantas, pues una disminución en estas variables tiene un efecto negativo sobre los cultivos. Se ha demostrado que la intensidad de luz interceptada afecta la velocidad de crecimiento de la planta, al estar directamente relacionada con el proceso fotosintético. (Castilla., 2001)

El café se cultiva en distintas regiones del mundo, debido al amplio rango de adaptación a las condiciones ecológicas, característica que mantiene particularmente la especie *Coffea arabica* L. que representa el 67 % del cultivo total a nivel mundial. (DáMatta, F. y Rodríguez, 2007)

La baja productividad siempre ha sido un problema a enfrentar y, uno de los elementos fundamentales para lograr cambiar esa realidad en los cafetales es la utilización de posturas de buena calidad, la cual se define como la capacidad que tiene cada una de ellas para adaptarse a las condiciones ambientales en las que serán plantadas de manera definitiva, lo que permite asegurar el éxito de las plantaciones. (Prieto et al., 2009); (Sáenz et al., 2010)

Las posturas de café, tradicionalmente, se producen bajo sombra, ya sea natural o artificial, cuyo objetivo fundamental es que las mismas tengan las condiciones requeridas para ser llevadas al campo. (Marín, G. 2012)

Para lograr que las posturas tengan esas condiciones expresadas en biomasa, es necesario utilizar eficientemente los factores ambientales, especialmente la luz, que permita una mejor utilización de la radiación solar disponible durante el ciclo de crecimiento (Santos et al., 2010), aprovechando la capacidad de aclimatación de las plantas a una determinada intensidad lumínica que puede ser variable, tanto entre especies como entre poblaciones de una misma especie. (Valladares et al., 2002)

El cafeto, como todo organismo vivo, mantiene relaciones con el medio que lo rodea, este medioambiente está constituido por un grupo de elementos, entre los que sobresalen el clima y el suelo (Soto, F, 2006), por lo que es necesario estudiar su influencia en el sitio donde se desarrolla el cultivo.

Es importante destacar que en los últimos años son pocos los trabajos publicados sobre esta temática y, específicamente en Holguín, no existen antecedentes próximos sobre estudios de sombra en viveros de café así como escasas investigaciones sobre la respuesta morfoagronómica de cultivares de cafeto adaptados al trópico, fundamentalmente a las condiciones de iluminación, limitando la obtención de mejores resultados en la producción, lo cual constituye el **problema** de la presente investigación.

Hipótesis

La evaluación de parámetros morfológicos, Tasa Absoluta de Crecimiento e indicadores económicos del cultivo del cafeto bajo diferentes niveles de iluminación, contribuirá a la caracterización agroproductiva del mismo, para su explotación en la provincia Holguín. Para comprobar esta hipótesis se propusieron los siguientes objetivos:

Objetivo general

Evaluar morfoagronómicamente la variedad de cafeto Catimor bajo diferentes niveles de iluminación.

Objetivos específicos

1. Evaluar variables morfológicas de la variedad de cafeto Catimor bajo diferentes niveles de iluminación.
2. Determinar masa seca, área foliar y densidad estomática como elementos de la tasa absoluta de crecimiento en posturas de cafeto de la variedad Catimor bajo diferentes niveles de iluminación.

3. Evaluar los efectos de la temperatura durante dos años sobre el crecimiento y desarrollo de posturas de cafeto de la variedad Catimor bajo diferentes niveles de iluminación.

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

Reseña histórica del café

El origen del café de la gran mayoría de las especies de café conocidas, son de las tierras altas de Etiopía y Sudán, África, situadas a más de 1000 msnm, cerca del lago de Tana, ubicado entre los 12° y 15° N. En esa región el café crece en estado silvestre y subsilvestre.

Todo parece indicar que el árbol de café era un componente de los bosques naturales a nivel de sotobosque y que posteriormente la planta se sometió a un proceso de domesticación (IHCAFE, 2001). De su lugar de origen el café se introdujo a Yemen. Entre los años 575 y 890 los persas y los árabes lo trasladaron a Arabia.

Los árabes exportaron el café a Siria, Persia, Turquía y Europa. En el continente africano el cultivo se extendió por Mozambique y Madagascar. Posteriormente, en el siglo XVII los holandeses y portugueses lo trasladaron a la India y su cultivo se extendió a Ceylán, Java e Indonesia, así como a otras regiones de Asia y África.

En 1708 el embajador de Java llevó unas plantas de café a Holanda, las cuales fueron plantadas en el Jardín Botánico de Ámsterdam. En 1714 llegó el café a América cuando las primeras plantas fueron introducidas a la isla Martinica.

En 1740 el café fue introducido a Puerto Rico, El Salvador y Guatemala. En 1784 llegó a Bolivia, Ecuador y Panamá e introducido a Costa Rica a mediados del siglo XVIII (IHCAFE, 2001). La distribución del cultivo de café a escala mundial se inicia cuando este conquista el continente Europeo, llegando a Italia en 1645 a través de un comerciante llamado Veneciano Pietro Valle.

En 1650 Daniel Edwards abre la primera tienda de café en Inglaterra y Europa. Las zonas productoras de café en el mundo están localizadas entre los trópicos de Cáncer y de Capricornio. En términos ecológicos, el cultivo de café está concentrado en las dos regiones de más baja latitud del globo: tropical y subtropical.

El ámbito de elevación para este cultivo varía con la latitud, es más pronunciada en la región tropical (hasta los 2,000 m de altitud). En la mayor parte de los territorios de la región subtropical el ámbito de elevación se reduce hasta los 1,600 m aproximadamente. En términos climáticos el café requiere temperaturas medias anuales entre 17 y 23 °C y precipitaciones anuales entre 1,600 y 2,800 mm, con una distribución mínima que oscila entre los cinco y ocho meses. (ICAFFE, 1998).

Debido posiblemente a su origen, el café es un cultivo ideal para su establecimiento en sistemas agroforestales (SAF), debido a que el cultivo de café requiere de un microclima fresco y suficiente humedad. Los suelos deben presentar buenas condiciones de drenaje, (PRO-ECUADOR, 2013) profundidad no menor a un metro, ricos en nutrimentos, materia orgánica y potasio, con textura franca y color oscuro. (Fischersworing *et al.*, 2001)

La superficie cultivada con café a escala mundial es de 17 millones de ha. Los cinco países productores de este grano, en términos de volumen son: Brasil 40%, Vietnam 12%, Colombia 11%, Indonesia 5% e India 4%. Entre ellos Vietnam se destaca por mantener su posición entre los 10 primeros productores durante 10 años consecutivos. Los mayores exportadores son Colombia y Brasil quienes han exportado café desde hace varias décadas a nivel mundial (OIC, 2005).

El café ocupa el segundo lugar como producto de mayor comercialización en el mundo, después del petróleo. Se estima que cada año se consumen alrededor de 400,000 millones de tazas de café. La producción de café es importante en la economía mundial ya que se considera que 125 millones de personas viven de esta actividad (Calle Aznar, 2011).

Se estima que a nivel de Centroamérica alrededor de 1.5 millones de personas dependen del cultivo de café. En Honduras se cultiva café en 15 de los 18 departamentos que forman el país (CEPAL, 2002). Las empresas que dominan el mercado internacional de café son: Kraft, Nestlé, Procter & Gambe, Sara Lee, y la Federación Internacional de Cafetaleros, cuyas ventas anuales generan beneficios del orden de \$1,000 millones (OIC, 2005).

La elevación modifica las características físicas del grano; es por ello que el café de altura presenta un grano de color verde gris azulado, ranura irregular y cerrada, de menor tamaño pero a la vez más denso. El café cultivado en tierras bajas presenta un grano de color verde pálido, con ranura abierta, regular y menos denso (Santoyo *et al* 1996). A la fecha, se han descrito más de 100 especies de café, entre ellas *Coffea arabica* y *Coffea robusta* o *C. canephora* las de mayor importancia económica (Chevalier, 1947; Bridson, 1982).

La variedad *C. arabica* aporta el 70% de la producción del grano a escala mundial y es también la especie responsable de producir el mejor café a nivel de América. Los principales países cultivadores de café arábigo son: Brasil, Nicaragua, Guatemala, Ecuador, Colombia, Cuba, Costa Rica, Haití, Perú, Bolivia, Puerto Rico, México, Jamaica, República Dominicana, El Salvador, Venezuela , Tanzania y Honduras. (Calle Aznar, 2011)

A nivel de Honduras es la única especie cultivada comercialmente. Algunas de sus variedades son: Typica, Bourbon, Caturra, Pacas, Villa Sarchi, Catuaí, Ihcafe-90 y Lempira. La variedad *Coffea robusta* o *C. anephora* es procedente de África representa 30 % de la producción de café a nivel mundial. Es un café de menor calidad. Entre las regiones que cultivan esta especie están: África Central y Oriental, Sudeste de Asia y Brasil. (Calle Aznar, 2011)

Debido a la importancia económica y social del cultivo de café, los fitomejoradores han desplegado esfuerzos desde hace mucho tiempo enfocados al desarrollo de líneas mejoradas que garanticen mayor rendimiento y que sean resistentes al ataque de plagas y enfermedades. Algunas de las variedades bajo mejoramiento son:

Catimor, ICAFE-90 y Lempira: variedades mejoradas con el fin de crear mayor resistencia a la roya de café (*Hemileia vastatrix*).

Caturra o Villa Sarchi: variedad mejorada para tolerar la enfermedad ojo de gallo (*Mycena citricolar*), propensa a desarrollarse en zonas muy húmedas y excesivamente sombreadas. Es una variedad poco exigente en nutrimentos, presenta buena productividad y adaptabilidad.

Catuaí: variedad recomendada para zonas que no presentan amenazas de roya, ojo de gallo ni mancha de hierro (*Cercospora coffeicola*).

Pacas: variedad recomendada para zonas con altas temperatura, sequias prolongadas y suelos con baja retención de humedad.

Desde su origen, el café ha sido una especie amigable de la sombra y como tal, ha estado asociada con otras especies tolerantes de sombra pero también de luz. Esta especial característica de tolerancia a la sombra ha sido la base para que el proceso de domesticación de esta especie se haya enfocado en dos aspectos: el refinamiento del componente arbóreo asociado del cultivo del café y el desarrollo de variedades resistentes a la radiación solar directa. En casi todos los territorios de la América tropical y subtropical en donde se tienen establecidas plantaciones de café, los cultivos están protegidos por un componente arbóreo.

El estrato arbóreo está conformado por un amplio espectro de especies, que le proporciona sombra al cultivo, mejora las propiedades físicas y químicas de los suelos, incrementa la diversidad biológica, protege los suelos contra la erosión y contribuye al mejoramiento de la calidad ambiental, entre otros aspectos. Tradicionalmente los sistemas agroforestales de café con árboles han utilizado como especies de sombra los remantes de los bosques maduros.

Mediante un proceso de aclareo por lo bajo, los bosques naturales se adaptaron, mediante la inducción del ingreso de luz al piso forestal, al cultivo de café y del cacao. Posteriormente, ante las deficiencias de nitrógeno en el suelo, los sistemas

agroforestales comenzaron a desplazar las especies nativas por árboles fijadores de este elemento.

A la fecha, ante la búsqueda de una mayor sostenibilidad ambiental, social y económica de estos sistemas, se han introducido las especies maderables.

Taxonomía y descripción del cafeto.

Según Wrigley (1988), la descripción taxonómica de la planta de café se clasifica de la siguiente manera: pertenece al reino Plantae, división Magnoliophyta, sub-clase Magnoliopsida, orden Rubiales, familia Rubiáceae, género *Coffea* y especie *arabica* L.

Aspectos generales sobre el café

Wrigley (1988), menciona que: el café arábica crece a partir de los 900 –2000 msnm, mientras que el café canéfora de la variedad robusta puede crecer entre los 200 y 300 msnm, proviene de bosques tropicales de África. Pese que ambas especies son diploides *C. canephora* posee $2n = 22$ cromosomas, mientras que *C. arabica* es $2n=4x=44$ tetraploide, *C. liberica*, *C. excelsa* son diploides $2n = 22$.

Químicamente *C. arabica* y *C. canephora* son muy similares. La única diferencia remarcable es el contenido de cafeína, de 0,9% a 1,3% frente a 1,6% a 2,5%, respectivamente. Las otras dos especies tienen porcentajes de cafeína muy variables.

Wrigley (1988), afirma que el café es un árbol pequeño liso, de hojas lustrosas relativamente pequeñas, pero varían en anchura, promediando de 12-15 cm de largo y más o menos 6 cm de ancho, de forma oval o elíptica, acuminados, cortos, agudos en la base, algunas veces un tanto onduladas. Flores fragantes, de color blanco o cremoso, sub sésiles o muy cortamente pediceladas, cada axila de las hojas hay de 2 a 9 o más flores juntas en racimos axilares bracteoladas; las bractéolas ovadas, cáliz-limbo poco profundo; la corola está formado por 5 lóbulos, obtusos o puntiagudos; las anteras más cortas que los lóbulos–corola, completamente salientes.

(Ramírez, 1996), describe que las ramas primarias, las yemas cabeza de serie forman ramas secundarias solamente. Las ramas plagiotrópicas tienen las mismas yemas que

el eje ortotrópico, sólo que en este caso las yemas cabeza de serie originan ramas plagiotrópicas de segundo orden o ramas secundarias.

(Agrega Wrigley, 1988), el fruto es una baya y se divide en 3 capas: exocarpo, que es la capa más externa y que varía de color durante el ciclo de maduración pasando de verde a rojo y posteriormente a azul oscuro; el mesocarpo, que forma una pulpa dulce y aromática de naturaleza mucilaginoso, y que madura en aproximadamente 35 semanas a partir la floración; y la capa interna que es el endocarpo, protegido por una película de celulosa amarillenta, denominada pergamino, y otra capa plateada, que consta de generalmente de 2 granos de forma ovalada y plana que son las semillas.

Descripción de la variedad Catimor

Según (UNICAFE, 2007), la variedad Catimor se originan con el cruzamiento de la variedad caturra roja y el híbrido timor, es de porte pequeño con brotes bronceados y de bandolas cortas, fruto y grano de tamaño grande; hojas nuevas de color café o bronce además, tiene muy buenas características de grano y buena respuesta a la poda.

Para (Aguilar, 1999), esta variedad, se siembra a la misma densidad de siembra de la variedad caturra, produce rendimientos similares que la caturra y el catuay, según las zonas. Para los altos rendimientos se requiere de una buena fertilización, si no se agota a partir del tercer año de producción.

El grano es de considerable tamaño, significativamente al tamaño de la caturra (respectivamente: 67.90% contra 65.17%, 63.30% y 53.99% sobre un tamiz 17/64 pulgadas). Presenta un poco más de caracoles que la caturra, pero igual que el catuay (alrededor de 6 al 10% en promedio de varias zonas).

Su alta resistencia a la roya lo hace recomendable principalmente para las zonas donde exista la mayor incidencia de la roya (*Hemileia vastatrix*).

Ciclo de vida y fases fenológicas del cafeto

Ciclo de vida del cafeto

Para establecer el manejo adecuado del cultivo de café se requiere un amplio conocimiento de la planta en lo que respecta a su crecimiento, desarrollo y producción, así como de los factores que los afectan. Expresado en términos más simples, el éxito del cultivo del café depende de la cantidad y la calidad de su crecimiento, de tal forma que si éstos son óptimos, los rendimientos en producción serán buenos y excepto en situaciones económicas especiales se obtendrán ganancias, contrario a lo que ocurre cuando el crecimiento del cultivo es deficiente.

Como todo organismo vivo cada especie vegetal, incluido el cafeto, tiene un ciclo de vida y un potencial productivo característicos. En el transcurso de este ciclo es posible distinguir una serie de fases de desarrollo, en las cuales, la planta o sus órganos, permanece por períodos de corta o larga duración, dependiendo de sus características genéticas y de las condiciones ambientales que ocurran en el sitio de cultivo. Esto implica además, que la condición apropiada para una fase de desarrollo por ejemplo, el crecimiento de las hojas, puede ser desfavorable para otra fase, como la floración, y que por consiguiente los requerimientos de manejo sean diferentes en cada caso (Watts,1979).

El cafeto es un arbusto perenne cuyo ciclo de vida en condiciones comerciales alcanza hasta 20-25 años dependiendo de las condiciones o sistema de cultivo. A libre crecimiento, la planta comienza a producir frutos en ramas de un año de edad, continúa su producción durante varios años y alcanza su máxima productividad entre los 6 y 8 años de edad. La planta puede seguir su actividad por muchos años pero con niveles de productividad bajos.

Durante su ciclo de vida, la planta destina una parte de éste a la formación de estructuras no reproductivas como las raíces, las ramas, los nudos y las hojas, actividad denominada desarrollo vegetativo (Dedecca, 1957). La fase durante la cual ocurre la formación y desarrollo de estructuras de reproducción como las flores y los frutos se denomina desarrollo reproductivo. Después de varios años de actividad, la planta

envejece y entra en un proceso de deterioro que se denomina fase de senescencia o envejecimiento.

Fases fenológicas del cafeto

La disponibilidad de agua y energía en las regiones cafeteras y su interacción con los factores genéticos, nutricionales y hormonales, determinan que el ritmo y la cantidad de crecimiento de los diferentes órganos y tejidos de la planta de café varíen en las distintas épocas del año. (Trojer, 1968; Jaramillo, 2005)

Fase de desarrollo vegetativo del cafeto.

En los cultivos anuales se considera como fase vegetativa el tiempo transcurrido desde la germinación hasta la primera floración. En el caso de especies perennes y arbustivas como el cafeto, la definición de la fase vegetativa es bastante compleja, debido a que el crecimiento vegetativo, por ejemplo la formación de nudos y hojas y la generación de nuevas raíces, ocurre durante toda la vida de la planta y en la mayor parte del tiempo está intercalado con el crecimiento reproductivo.

De acuerdo a la forma como se desarrolla la planta de café en Colombia, puede considerarse que el desarrollo vegetativo, es decir, la formación de raíces, ramas, nudos y hojas, comprende tres etapas: germinación a transplante (2 meses), almácigo (5-6 meses) y siembra definitiva a primera floración (11 meses). Hasta este momento se considera una etapa netamente vegetativa y de ahí en adelante, las fases de crecimiento vegetativo y reproductivo transcurren simultáneamente durante el resto de vida de la planta. (Raven *et al.*, 1999)

Fase de desarrollo reproductivo del cafeto.

Comienza con la aparición de las primeras flores. El período de iniciación de esta fase puede estar influenciado por la duración del día (fotoperíodo), la época de siembra, la temperatura y la disponibilidad hídrica. Se considera como primera floración, el momento en que por lo menos el 50% de las plantas hayan florecido. La fase

reproductiva continúa luego con el desarrollo del fruto y la maduración. (Raven *et al.*, 1999)

Superposición de las fases de desarrollo vegetativo y reproductivo.

Una vez que se ha completado el período desde la siembra hasta la primera floración, hasta este momento se considera una etapa netamente vegetativa y de ahí en adelante, las fases de desarrollo vegetativo y reproductivo transcurren simultáneamente durante el resto de vida de la planta.

Fase de senescencia del cafeto.

Según Raven *et al.*, (1999) el cafeto es una planta perenne y se considera que alcanza su desarrollo y productividad máxima entre los 6 y los 8 años de edad, a partir de los cuales la planta se deteriora paulatinamente y su productividad disminuye a niveles de poca rentabilidad. El ritmo de envejecimiento depende de la región donde se establece el cultivo, la densidad de siembra, la intensidad de la producción, la disponibilidad de nutrimentos, la presencia de plagas y enfermedades o del estrés ambiental, entre otros.

Los órganos de la planta completan su ciclo de vida en épocas y edades diferentes, por ejemplo, la hoja tiene una duración promedio de 350 días, una rama primaria dura varios años y una flor abierta dura tres días.

Desarrollo vegetativo del cafeto:

Crecimiento y desarrollo de las raíces

Las raíces desempeñan un papel fundamental en el crecimiento y la producción del cafeto. La raíz es el órgano por medio del cual la planta se ancla al suelo y absorbe y transporta el agua y los minerales esenciales para su crecimiento. La raíz tiene además otras funciones menos conocidas como es la síntesis de algunas hormonas reguladoras del crecimiento como las citoquininas y el ácido giberélico, y en ocasiones, la síntesis de metabolitos secundarios. En algunas especies la raíz puede servir como órgano de almacenamiento. (Raven *et al.*, 1999)

Una raíz pivotante central muy fuerte, a menudo múltiple, que disminuye su diámetro abruptamente y que rara vez se extiende como una unidad reconocible más allá de 45 cm de profundidad. Cuatro a ocho raíces axiales que penetran verticalmente hasta 2 ó 3 m de profundidad. Estas raíces se originan lateralmente o en la bifurcación de la raíz pivotante y se ramifican en todas las direcciones a diferentes profundidades.

Desarrollo vegetativo del cafeto: Origen y desarrollo de los órganos vegetativos aéreos (tallos, ramas y hojas)

El crecimiento de la parte aérea del cafeto se genera a partir de las células meristemáticas ubicadas en el ápice del tallo y de las ramas (yemas apicales) y en las axilas de las hojas (yemas laterales, yemas axilares y yemas seriadas). A partir de los meristemas de las yemas se desarrollan los primordios de nudos, hojas, brotes, ramas y flores. El ápice del tallo es el responsable de la formación de nudos, hojas y del crecimiento en altura de la planta (crecimiento ortotrópico). En el ápice de las ramas ocurre la formación de nudos, hojas y la expansión lateral de la planta (crecimiento plagiotrópico). (Raven *et al.*, 1999)

Yemas en el tallo.

En cada nudo formado en el tallo se desarrollan dos axilas foliares opuestas y en cada una de las axilas se originan de 4 a 5 yemas ordenadas en forma lineal, de mayor a menor, razón por la cual se les denomina yemas seriadas (yemas laterales o axilares).

La primera, que a su vez es la de mayor edad, da origen únicamente a brotes que crecen horizontalmente (ramas primarias), se forma un solo par de ramas primarias por nudo. La siguiente yema de la serie, origina brotes verticales o “chupones”, mientras que las otras yemas permanecen latentes o eventualmente, forman flores y frutos caulinares, es decir, que crecen en el tallo.

Yemas en las ramas.

En cada nudo formado en las ramas se desarrollan dos axilas foliares opuestas y en cada una de ellas se originan de 4 a 5 yemas ordenadas en forma lineal, de mayor a

menor, razón por la cual se les denomina yemas seriadas (yemas laterales). Estas yemas son de edad desuniforme y dan origen principalmente a flores, en la medida que las condiciones ambientales sean propicias. De cada yema se forman entre 4 y 6 flores, y a este conjunto se le denomina inflorescencia o glomérulo. Aquellas pocas yemas que no alcanzan a diferenciarse en flores, forman ramas secundarias o terciarias, cuando se dan condiciones ambientales poco favorables para la floración.

La formación de estas ramas ocurre principalmente en plantas mayores de 15 meses, en la zona de las ramas que ya fructificó y en unos pocos nudos, sin un patrón determinado. Por estas razones se considera que la formación de ramas secundarias es también un fenómeno común, dentro de unas condiciones normales de desarrollo de la planta de café. (Valencia, 1973).

Las hojas del cafeto.

Son órganos en los cuales se realizan los tres procesos fisiológicos más importantes que soportan el crecimiento y desarrollos vegetativo y reproductivo, éstos son: la fotosíntesis, la respiración y la transpiración.

La fotosíntesis es el proceso fisiológico que permite la elaboración de toda la materia hidrocarbonada necesaria para la planta.

La respiración es la función fisiológica en la cual la planta utiliza parte de los hidratos de carbono fotosintetizados para obtener la energía necesaria para los procesos de crecimiento y desarrollo. La respiración ocurre en todos los tejidos de la planta pero es particularmente intensa en las hojas y los tejidos jóvenes.

En *C. arabica* las hojas son elípticas, levemente coriáceas, con la lámina y las márgenes un poco onduladas, de un color verde claro cuando jóvenes y verde oscuro cuando completan su desarrollo. (Valencia, 1973).

Crecimiento de la hoja.

De acuerdo con Valencia, (1973) la hoja se origina a partir de la yema apical, la cual aparece en un corte longitudinal como una protuberancia formada por varias capas de

células, algunas de las cuales tienen la capacidad de dividirse para producir células nuevas que van a formar otros órganos de la planta. De esta manera, el desarrollo foliar se inicia con una serie de divisiones en una de las tres capas celulares más externas cerca de la yema apical, la cual se transforma en otra protuberancia lateral o primordio foliar, que luego por divisiones continuas y crecimiento de sus células se convertirá en una hoja.

Cantidad de follaje.

El número de hojas por árbol y el área foliar de las plantas varían según la edad y la densidad de población. En cafetos de la var. Caturra de 5 años, el número de hojas observado fue de 3.920, 6.400 y 7.600 para las densidades de 10.000, 5.000 y 2.500 plantas por hectárea, respectivamente. (Valencia, 1973).

En otro estudio con la variedad Colombia se encontró que para las mismas densidades de siembra, los máximos valores del número de hojas alcanzado por planta fueron de 12.521, 11.623 y 4.365 y el tiempo en el cual se alcanzó este máximo fue a los 56, 53 y 43 meses, respectivamente. Se observó además, una tendencia a disminuir el tamaño promedio de las hojas con la edad. (Arcila y Chávez, 1995).

Desarrollo de inflorescencias y flores del cafeto.

La floración del cafeto es un evento asociado estrechamente con las condiciones climáticas de cada región y generalmente se registra como el momento de la antesis, cuando se abren las flores. Sin embargo, debe considerarse que la floración es un proceso de desarrollo complejo que inicia 4 a 5 meses antes de la apertura floral. (Camayo y Arcila, *et al.*, 1996, Camayo *et al.*, 2003).

Las flores del cafeto se forman en las yemas ubicadas en las axilas foliares, en los nudos de las ramas. El proceso puede mirarse desde dos aspectos: a) desarrollo de la inflorescencia en las axilas foliares (nudos en las ramas) y b) desarrollo de las flores en cada inflorescencia.

Cada nudo de una rama tiene dos axilas foliares opuestas. En cada axila se forman de 3 a 4 yemas o inflorescencias y en cada una de ellas, entre 4 y 5 flores, es decir, en un nudo existen potencialmente entre 24 y 32 botones florales (12 a 16 botones florales por axila).

Cada yema está conformada por un pedúnculo, que contiene varios nudos en los cuales se insertan dos hojas diminutas y opuestas (brácteas) y en cuyas axilas se producen entre 3 y 5 botones florales. Este conjunto constituye la inflorescencia y se le conoce también como glomérulo. La yema que produce un glomérulo se demora aproximadamente 12 semanas para dar origen a los botones florales. (Camayo *et al.*, 2003).

Durante el desarrollo de la inflorescencia y de la flor ocurren las siguientes etapas (Barros *et al.*, 1978; Camayo *et al.*, 1996; Wormer y Gituanja, 1970):

Inducción floral e iniciación de la inflorescencia (primera etapa), que ocurre a nivel molecular a una tasa muy rápida y no diferenciable externamente.

Después de la inducción se inicia la inflorescencia y en este estado el nudo está rodeado por estípulas de color verde claro. El desarrollo de la inflorescencia continúa y puede durar de 30 a 35 días aproximadamente.

La segunda etapa es la de desarrollo de los botones florales en las yemas. Termina en el momento en que se observan los botones florales adheridos entre sí y todavía sin abrir emergiendo en una inflorescencia multiflora.

Los botones alcanzan el tamaño de un "comino". Esta etapa tiene una duración en promedio, de 45 días.

En la tercera etapa, los botones florales alcanzan un tamaño de 4 a 6 mm, se separan y aun verdes, cesan su crecimiento entrando en una fase de reposo que puede durar alrededor de 30 días. Esta inactividad es una verdadera latencia, inducida por la exposición continua de la yema a estrés hídrico o a factores endógenos.

En una cuarta etapa, las lluvias repentinas, la reducción súbita de la temperatura y la variación de los contenidos de ácido giberélico pueden estimular el crecimiento del

botón floral latente, que aumenta su longitud 3 ó 4 veces. Los botones inician la etapa de preantesis, la cual se detecta por la coloración blanquecina de los pétalos, todavía cerrados. Esta etapa dura de 6 a 10 días.

La última etapa es la de antesis o florescencia (apertura de la flor) propiamente dicha. Una flor abierta dura en promedio 3 días. En *Coffea arabica*, la flor se autofecunda y cuando la flor abre ya la fecundación está completa en un porcentaje mayor del 90%. (Camayo *et al.*, 2003).

Desarrollo del fruto

Desde el momento de la floración hasta la maduración del fruto transcurren en promedio 32 semanas. El desarrollo del fruto dura de 220 a 240 días en promedio, dependiendo de la región. En la zona oriental de Caldas (Marquetalia) se observó la menor duración del período de crecimiento con 204 días; la mayor duración se encontró en 254 y 266 días, respectivamente. (Cenicafé, 2001).

Durante su desarrollo, el fruto pasa a través de diferentes estados (Cenicafé, 2001; Salazar *et al.*, 1994, 1993; Suárez, 1979; Huxley, 1969; León y Fournier, 1962), así:

- Etapa 1: Primeras 7 semanas después de la floración (0 – 50 días). Es una etapa de crecimiento lento, en la cual el fruto tiene el tamaño de un fósforo.
- Etapa 2: Semanas 8 a la 17 después de la floración (50 – 120 días). El fruto crece en forma acelerada y adquiere su tamaño final, y la semilla tiene consistencia gelatinosa.
- Etapa 3: Semanas 18 a la 25 después de la floración (120–180 días). La semilla o almendra completa su desarrollo, adquiere consistencia sólida y gana peso.
- Etapa 4: Semanas 26 a la 32 después de la floración (180 – 224 días). El fruto se encuentra fisiológicamente desarrollado y comienza a madurar.

Etapa 5: Después de la semana 32 (más de 224 días), el fruto se sobre madura y se torna de un color violeta oscuro y finalmente se seca. En esta etapa generalmente el fruto pierde peso.

El cambio climático y la caficultura

El impacto del cambio climático durante el último decenio sobre la cafiultura regional y las poblaciones dependientes de su producción ha incrementado las amenazas de múltiples orígenes asociadas con los cambios del clima. La planta de café, en sus diferentes etapas de crecimiento y la producción del grano, es muy sensible a las condiciones climáticas, principalmente a luz, temperatura, lluvia y humedad, por ello la ocurrencia de eventos extremos y los cambios inesperados en los patrones climáticos afectan la cafiultura. (Cenicafé, 2001).

El cultivo del café está aclimatado al patrón de lluvias, que presenta un período lluvioso de mayo a octubre en la mayoría de las regiones de producción. El café también ha tenido un proceso de adaptación a la topografía, conducido por la producción de diferentes variedades según la altitud, y se obtiene mejor calidad en las zonas altas.

Aunque la región se caracteriza por la variabilidad de las lluvias, hay creciente evidencia de que los cambios en los extremos de lluvia intensa y sequía y alza progresiva de la temperatura (especialmente la nocturna) están provocando efectos directos e indirectos en el cultivo del café, los cuales incluyen una mayor incidencia de enfermedades, degradación de suelos y la reducción de servicios ambientales como control de plagas y polinización. (Cenicafé, 2001).

Los eventos extremos también deterioran la infraestructura, que es parte clave en las operaciones de procesamiento y transporte del producto. La sequía que ha afectado a la región en 2014 ha complicado aún más el panorama, especialmente en la vertiente del Pacífico seco de Centro América, que ha causado una grave disminución en la producción de granos básicos y que ha enfrentado a la población a una situación de inseguridad alimentaria.

La prolongada canícula tuvo efectos desfavorables para los procesos de formación y desarrollo de los frutos de café, con la consecuente reducción del rendimiento. Para los productores de subsistencia de granos básicos y para los trabajadores que dependen de la cosecha de café para generar sus ingresos ha sido un duro proceso de sobrevivencia. (Dá Matta, F. y Rodríguez, N 2007)

Efecto de la luz solar

La influencia de la luz solar se manifiesta en los vegetales por el efecto de dos variables: a) duración (fotoperiodo) y b) intensidad (irradiación). De estas, la que más influencia tiene sobre el comportamiento del género *Coffea* es la intensidad lumínica.

Los estudios pioneros efectuados por *Franco* dieron paso para considerar al cafeto como una planta de día corto (*Franco, C. M. 1940*). Estos resultados fueron corroborados por otros autores (*Maestri, M. y Barros, 1977*). La investigación efectuada recientemente en Kenya, específicamente sobre la respuesta del café Arábica a días largos, durante tres años consecutivos, indicaron que los arbustos aparentemente retienen por seis o más meses el estímulo inductivo, pero que posteriormente tienden a comportarse como plantas de días cortos. (*Gobbi et al., 2011*)

Se observó que los arbustos experimentales los que se sometieron a una interrupción de tres horas del período oscuro, iniciaron su floración más lentamente y las ramas se extendieron más rápidamente que en los arbustos que no se sometieron a cambios de fotoperíodo.

Las experiencias efectuadas en Costa Rica demostraron que el cafeto produce más materia seca y fotosíntesis por unidad de área foliar cuando crece en condiciones desolada (*Soto, F, 2006*), (*Hernández, N. y Soto, 2012*). En el clima de Perú se encontró en plantas de vivero que, entre otras variables, el peso seco total de las plantas y, por ende, el de la parte aérea y del sistema radical, resultan mayores cuando las plantas se cultivan bajo un 40% de sombra. (*Sáenz et al., 2010*)

La comparación de los datos anteriores con los obtenidos en Colombia y en Brasil, permiten concluir que los resultados que se obtienen al respecto no son consistentes y que es obvio que en experimentos de esta clase la ecología y el método de trabajo que se adopta tienen una influencia marcada en los datos finales. (*Sáenz et al., 2010*).

En los dos últimos países citados el mejor comportamiento se observó en plantas cultivadas bajo sombra. Como quiera que las exigencias nutricionales, responsables del

crecimiento de las plantas varíen según se trate del cultivo al sol o a la sombra, la fertilidad intrínseca del suelo debe ser un factor importante a considerar en cada caso.

En relación con la capacidad fotosintética (índice de asimilación neta - IAN) los hallazgos han demostrado que representantes de este género exhiben una eficiencia relativamente baja, así como en cuanto a intensidad relativa de crecimiento (IRC), en comparación con lo que se observa en otros géneros.

Valores de IAN y de IRC han sido obtenidos para diferentes cultivares de *C. arabica* (Sáenz et al., 2010).

La producción mayor entre cultivares de *C. arabica* con respecto a *Typica*, ha sido correlacionada con la magnitud de los índices de IAN e IRC, como indicadores de las diferencias en producción.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para dar cumplimiento al objetivo planteado se desarrolló un experimento en dos años diferentes (2017 y 2018) en la Estación experimental agroforestal y, sita en Velasco, municipio Gibara a 30 msnm y 1200 mm anuales, con una temperatura media anual de 28,5 °C y sobre un suelo Pardo sin carbonatos.

En el experimento se estudiaron cuatro niveles de sombra: 0, 25, 50 y 75 %, para lo cual se utilizaron pencas de coco como sombra. A partir del tercer par de hojas se comenzó a regular la misma en tres momentos, hasta dejar las posturas a plena exposición solar un mes antes de concluir el período de aviveramiento. Se utilizó un diseño muestral en franjas, donde cada franja correspondió a un tratamiento de intensidad lumínica. La variedad a estudiar es la Catimor.

En el primer año la siembra se realizó en el mes de julio de 2017 y en el segundo se realizó en julio de 2018, teniendo en cuenta que las posturas estuvieran listas para ser llevadas al campo en el periodo óptimo, de acuerdo al régimen de lluvias de cada año. El sustrato para la siembra estuvo conformado por una mezcla de tierra agrícola de cafetal, obtenida de los 10 primeros cm y humus de lombriz en proporciones 3:1. (Marín, G, 2012)

Cada 25 días, a partir de la emisión del primer par de hojas y hasta que alcanzaron los siete pares de hojas, se evaluaron cinco posturas por tratamiento, a las que se les determinó masa seca total y área foliar.

La masa seca se obtuvo separando los diferentes órganos, los que se secaron en una estufa de circulación forzada a 80 °C, hasta peso constante; el área foliar se determinó utilizando las medidas lineales de las hojas (Soto, F, 1980). Al final del período de aviveramiento se evaluó la altura de las plantas.

Se estimó el Área foliar mediante la siguiente ecuación: $AF = 0.64 \times (L \times A) + 0.49$ (Soto, 1994, citado por Da Silva (2013) donde AF= Área foliar, L= Largo de las hojas, A= Ancho de las hojas.

Densidad estomática. La evaluación se realizó a los 215 (después de la emergencia) DDE y consistió en colocar una capa de esmalte de uñas incoloro sobre ambos lados de la nervadura central del lado abaxial de las hojas ubicadas en la parte central de la postura (Caldwel y Stone, 1932); se obtuvo de cada aplicación una lámina grabada que se colocó en un portaobjetos humedecido y luego se cubrió para su observación.

Las muestras se observaron en un microscopio óptico MOTIC, modelo BA-210 Digital, con un aumento de 100x. Se tomaron dos campos por muestra, para un total de ocho campos por tratamiento. Para el conteo se consideró un estoma cuando las dos células oclusivas estuvieron presentes.

El procesamiento de los datos se realizó con un análisis de varianza simple, y se expresó la densidad con número de estomas por mm^2 (Herrera et al., 2000).

Los resultados se procesaron mediante análisis de varianza de clasificación simple; utilizándose el programa estadístico Statgraphics plus 5.0. (Soto, Cuba, 2006).

Los datos de temperatura media mensual se tomaron de la estación meteorológica de la propia entidad.

Las atenciones culturales al vivero se aplicaron de acuerdo con el manual técnico para la producción de posturas de cafeto. (Marín, 2012)

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Tabla I se observa que los tratamientos del 75 y 50 % de sombra, al final del período de aviveramiento, alcanzaron los mayores valores de altura, sin diferencias significativas entre ellos; los valores más bajos correspondieron al tratamiento de plena exposición solar, aunque en 2017 este no se diferenció con el de 25 % de sombra y en 2018 con el de 25 y 50 %. Además, en 2017 el tratamiento de 50 % de sombra no fue diferente del de 25 %.

Tabla I. Altura de las posturas (cm) al final del período de aviveramiento con cuatro niveles de sombra en dos años diferentes.

Nivel de sombra (%)	2017	2018
75%	22.0 a	19.6 a
50%	20.8 ab	17.0 ab
25%	18.0 bc	16.0 b
0%	15.0 c	15.2 b
ES	1.9	1.18
CV %	10.6	11.9

*Promedios con letras comunes en la misma columna no difieren significativamente a $p \leq 0.05$ según test de Tukey.

Masa seca total: algo similar ocurre con la masa seca total (Tabla II), en 2017 el tratamiento de 75 % de sombra alcanzó el mayor desarrollo, aunque sin diferencias significativas con el de 50 %; de la misma forma, el tratamiento de mayor iluminación alcanzó los menores valores de masa seca sin diferencia con el de 25 %; en el caso de 2018 hubo una mayor acumulación de masa seca con el 75 % de sombra.

Tabla II. Masa seca total (g) de las plántulas al final del período de aviveramiento con cuatro niveles de sombra en dos años diferentes.

Nivel de sombra (%)	2017	2018
75	3,83 a	3,90 a
50	3,26 a	3,12 b
25	2,38 b	2,64 b
0	2,38 b	1,90 c
ES	0,07	0,16
CV (%)	4,2	9,3

*Promedios con letras comunes en la misma columna no difieren significativamente a $p \leq 0.05$ según test de Tukey.

Área Foliar: en el caso del área foliar (Tabla III), las plantas crecidas al 75 y 50 % de sombra, al final del período de aviveramiento, alcanzaron los mayores valores sin diferencias significativas entre ellas en ambos años.

Aquí también, los menores valores se alcanzaron con el 0 % de sombra, aunque en el año 2018, este no difirió del de 25 % de sombra.

Tabla III. Área foliar de las posturas (cm²) al final del período de aviveramiento con cuatro niveles de sombra en dos años diferentes.

Nivel de sombra (%)	2017	2018
75	47,89 a	36,37 a
50	43,86 a	37,09 a
25	36,30 b	22,69 b
0	19,59 c	26,79 b
ES	1,36	2,60
CV (%)	6,45	14,8

*Promedios con letras comunes en la misma columna no difieren significativamente a $p \leq 0.05$ según test de Tukey.

De manera general se observó en los indicadores evaluados, que los mejores tratamientos fueron el 75 y el 50 %, lo cual expresa una mayor eficiencia fotosintética de las plantas bajo niveles mayores de sombra; por otro lado, los menores valores se presentaron en las posturas a pleno sol, lo que evidencia que el aumento de radiación induce a la formación de plantas más bajas. (Arcila, J2007).

Masa seca: en la masa seca, los resultados están relacionados con los demás indicadores evaluados, esto tiene explicación debido a que la producción de las plantas es el resultado de la eficiencia del follaje del cultivo en la interceptación y utilización de la radiación solar disponible durante el ciclo de crecimiento (Santos et al., 2010; Jerez et al., 2012; Jerez et al., 2014; Hernández, C. N. y Soto, 2013).

Las plantas sombreadas invierten, relativamente, mayor proporción de foto asimilados en el aumento del área foliar, la cual se incrementa linealmente en función del incremento de los niveles de sombra, para maximizar la captación de la luz disponible

(Gobbi et al., 2011); sin embargo, el área foliar específica disminuye con valores altos de radiación. (Castrillo, M 2006).

El crecimiento de las posturas demostró que el mismo es resultante del aprovechamiento de la luz solar en la fabricación de los componentes constituyentes y funcionales de los distintos órganos de la planta, por lo tanto, este crecimiento, está directamente relacionado con la capacidad de la copa para capturar la luz incidente (Hernández, C. N. y Soto, C. F, 2012 y 2013); es decir, de la cantidad de radiación fotosintéticamente activa (RFA) que pudieron interceptar las hojas, lo cual influye en la acumulación de su masa seca (García et al., 2009 ; Morales et al.,2006).

Se destaca el comportamiento del tratamiento de 0 % de sombra en 2018, que tuvo un crecimiento lento desde el inicio hasta aproximadamente 125 días después de la emergencia (DDE), a partir del cual se acelera, llegando al final del período a tener valores similares que los demás. En 2017 no sucedió aquello, dado que las posturas crecidas con nivel de 0 %, obtuvieron los valores menores.

En el caso de la masa seca total se aprecia un comportamiento similar al área foliar de las posturas crecidas bajo 75 y 50 % de sombra, que tuvieron un crecimiento más rápido desde los primeros días, lo que hizo que alcanzaran sus valores máximos con anterioridad al resto de los tratamientos. Resulta interesante destacar cómo las plántulas desarrolladas en 2018 tuvieron una mayor velocidad de crecimiento al inicio con respecto a 2017, lo que motivó que alcanzara su máxima velocidad en menor tiempo, pero con valores inferiores.

Al hacer un análisis de los dos años independientemente de los tratamientos de sombra, se observa en los indicadores evaluados cómo en el año 2018 el crecimiento es más rápido al inicio con respecto a 2017, lo que hace que en el primer año los valores máximos se alcancen con anterioridad y que sean; por lo general, más bajos. Lo anterior se puede explicar a través del comportamiento de la temperatura media en ambos años durante el desarrollo de los experimentos.

En el año 2018 en los primeros estadios del desarrollo de las plántulas se presentaron las mayores temperaturas, presentando una tendencia marcada a ir disminuyendo con el tiempo, en el año 2017 todo lo contrario, las menores temperaturas ocurrieron al inicio y fueron aumentando hacia el final del periodo de aviveramiento, lo que evidencia la importancia de la temperatura en el crecimiento de las plantas.

Tabla V. Densidad estomática (estomas x mm²) a los 225 DDE.

Nivel de sombra (%)	Estomas por mm ² 2017	Estomas por mm ² 2018
75	180,0 c	204,0 c
50	270,1 b	288,1 b
25	250,3 b	270,2 b
0	321,5 a	352,5 a
ES	5,01	6,05

*Promedios con letras comunes en la misma columna no difieren significativamente a $p \leq 0.05$ según test de Tukey.

Densidad estomática. En cuanto a la densidad estomática (Tabla V), se observó que las hojas expuestas a pleno sol presentaron una mayor densidad, diferenciándose significativamente con los demás tratamientos; los niveles de 25 y 50 % no se diferenciaron significativamente entre sí; el nivel de 75 % de sombra presentó la menor densidad de estomas por superficie foliar. Este comportamiento fue similar en los dos años evaluados.

De manera general, se observó que los mejores tratamientos fueron el 75 y 50 % de sombra para todos los indicadores evaluados, lo cual se entiende como una mayor eficiencia fotosintética de las plantas bajo estas condiciones (Cordeiro et al.,2013,pp. 62-69), las posturas con menor desarrollo fueron las crecidas a plena exposición solar. Asimismo, se observó que los tratamientos del 75 y 50 % alcanzaron los valores máximos con anterioridad, en relación con los otros tratamientos en ambos años.

Tabla VI. Comportamiento de la temperatura durante los años 2017-2018 en las áreas de la Estación Experimental Agro - Forestal, Velasco, Holguín.

2017		2018
Meses	Temp °(C)	Temp °(C)
Julio	31,3	33,2
Agosto	32,2	35,4
Sept	33,2	35,3
Octubre	29,2	31,0
Nov	28,7	27,8
Diciembre	26,7	26,3
Enero	20,8	19,9
Febrero	21,7	20,8
Marzo	28,3	27,6
Abril	29,7	28,4
Mayo	29,7	27,5
Junio	30,4	30,3

Comparando los años en los indicadores evaluados, se observó que en 2017 el crecimiento fue más rápido al inicio en relación con 2018, debido a que en los primeros estadios de las plantas se presentaron las mayores temperaturas con tendencia marcada a ir disminuyendo con el tiempo. En 2018 ocurrió todo lo contrario, las

menores temperaturas ocurrieron al inicio y fueron aumentando hacia el final del período de aviveramiento.

Esto corrobora que la productividad de los cultivos presenta una estrecha relación entre el clima y los procesos fisiológicos; por tanto, el éxito productivo no solo depende de la intensidad de los estímulos climáticos sino también de la secuencia temporal de estos durante el ciclo de la vida de los cultivos. (Ruiz et al., 2008)

Los cultivos en su etapa temprana, deben lograr un incremento acelerado del área foliar, que conlleve a una mayor interceptación de la radiación solar (Parry et al., 2010), lo cual unido a la temperatura, que es la que controla la tasa de desarrollo de muchos organismos (Valdez et al., 2012; Noriega et al., 2011) cuyo aumento provoca incremento de la fotosíntesis (Hernández y Soto, 2013), implica una mayor acumulación de masa seca. (Morales et al., 2006).

CONCLUSIONES

A partir de los resultados de este trabajo se puede considerar que el cafeto se ha definido como una planta C3, que tiene, entre otras características, mejor capacidad para vivir en condiciones de sombra y variación climática, aunque a determinados niveles puede verse afectado su crecimiento; el comportamiento de las posturas, con un nivel del 75 y 50 % de sombra en los primeros estadios, reafirma este planteamiento.

Los resultados de las variables evaluadas, demostraron una relación directa entre la intensidad de la luz y la producción de las posturas expresada en masa seca; ya que en todos los casos se observó que a menor intensidad lumínica, mayor fue la acumulación de masa seca.

En los tratamientos de menor intensidad de luz se obtuvo una mayor superficie foliar, la cual está relacionada directamente con una mayor capacidad para la interceptación de la limitada luz disponible.

RECOMENDACIONES

Estos elementos sugieren la necesidad de acometer otros trabajos donde se evalúen otros indicadores fisiológicos, que permitan conocer, con mayor profundidad, el comportamiento de las posturas de cafeto crecidas a diferentes niveles de sombra.

BIBLIOGRAFÍA:

- Alegre, G.: Climats et cafeiers d'Arabie. L'Agronomie Trop. 14 (1), 23-58 (1959)
- Alpinus, P.: De Plantis Aegypti. . . Venetiis. Apud Franciscum de Franciscis Senensem, 1592
- A/vim, P. de T.: Algunos estudios sobre la fisiologla del cafeto. Suelo Tico 7 (29), 58-62(1953)
- A! Vim, P. de T.: Physiology of growth and flowering in coffee. Coffee 2 (6), 57-62(1960)
- A/vim, P. de T. y Hovis, R.: An improved infiltration series for studying stomatal openmgas illustrated with coffee. Plant Physiol. 29, 97- 98 (1954)
- Anaya, A. L, et al.: Potencial alelopatico del as rrincipales plantas de un cafetal. In: Memorias 1 Simposio Estudios Ecol6gicos en e Agroecosistema Cafetalero. Xalapa, Veracruz (México, 1980)
- AGUILAR. (1999). Variedad Catimor. CAFÉ. 1ra Edición. San José, Costa R
- Arcila, J. "Factores que determinan la productividad del cafetal". En: Arcila J., Farfán F., Moreno A., y Salazar H., *Sistemas de Producción de café en Colombia*, edit.FNC-Cenicafé, 2007, pp. 61-86, Código: 6A6Aa: xa, A62.ica. 30
- Beaudin-Dufour, D. y MULLer, LE.: Effet de la radiation solaire et de! 'ge sur le contenu en cafeine et en azote des feuilles et des fruits de trois especes de cafeiers. Turrialba 31,387- 392 (197 1)
- Bierhuizen, J. F., Nunes, M. A. y Ploegman, C.: Studies on the productivity of coffee. II. Effect of soil moisture on photosynthesis and transpiration of *Coffea arabica*. Acta Bot. n Neerl. 18, 367- 374 (1969)

- *Blue, W. G. y Kretschmer, A.*: Report on the clay fraction of Costa Rica soils. Ministerio de Agricultura e Industrias STICA. Laboratorio Químico de Investigaciones Agronómicas. Informe poligrafiado, 5p. s.f.

- *Briceño, J. A. y Carvajal, J. F.* El equilibrio entre los metales alcalinos y alcalinoteros en el suelo, asociado con la respuesta del café al potasio. Turrialba 23, 5-71 (1973)

- *Castrillo, M.* "Fotosíntesis en tres poblaciones latitudinales de la planta andina *Espeletia schultzii* (Compositae)". *International Journal of Tropical Biology and Conservation*, vol. 54, no. 4, 12 de mayo de 2006, pp. 1143-1149, ISSN 2215-2075, DOI 10.15517/rbt.v54i4.3091.

- *Cordeiro, S.; Coutinho, K.; Vieira, J.; Pereira, L.; Vincis, L.; Pereira, S.; Rogalsk, M. y Murilo, F.* "Photosynthetic induction and activity of enzymes related to carbon metabolism: insights into the varying net photosynthesis rates of coffee sun and shade leaves". *Theoretical and Experimental Plant Physiology*, vol. 25, no. 1, 2013, pp. 62-69, ISSN 2197-0025.

- *Carvajal, J. F., López, C. A. y Acevedo, A.*: Efecto del pH del sustrato en el crecimiento y la absorción del café. *Rev. Biol Trop.* 11 (2), 141-155 (1963)

- *Café. Do plantio a colheita.* Química Industrial Brasileira S.A., Quimbrasil, 1980

- *Cannell, M. G. R.*: Photoperiodic response of mature trees of Arabica coffee. Turrialba 22, 198-206 (1972)

3617. *Cannell, M. G. R.*: Crop physiological aspects of coffee bean yield: A review. *J. Coffee Res.* 5 (1/2), 7, 20 (1975)

- *Caldwell, R. y Stone M.* (1932). Aporium formation and penetration by leaf rust of Wheat *Puccinia triticina* in relation to stomatal aperture. *Phytopathology*, vol. 22 pp. 39-51. 5

- DáMatta, F. y Rodríguez, N. "Producción sostenible de cafetales en sistemas agroforestales del Neotrópico. Una visión agronómica y ecofisiológica". *Agronomía Colombiana*, vol. 25, no. 1, 2007, pp. 113-123, ISSN 0120-9965.

-Da Silva, M. (2013). Plasticidade do cafeeiro à luz: respostas morfofisiológicas em genótipos de *Coffea arabica* L. Tesis presentada como opción al grado de Dr. en Ciencias. Universidad de Viçosa. 71p.

- Franco, C. M.: Fotoperiodismo em cafeeiro (*C. arabica* L.). *Rev. Inst. Café* 15, 1586-1592(1940)

-Gobbi, K. F.; García, R.; Ventrella, M. C.; Garcez Neto, A. F. y Rocha, G. C. "Área foliar específica e anatomía foliar quantitativa do capim-braquiariae do anendoinforrageirosometidos a sombreamento". *Revista Brasileira de Zootecnia*, vol. 40, no. 7, 2011, pp. 1436–1444, ISSN 1806-9290.

-García, P.; Cabrera, S.; Sánchez, J. y Pérez, L. "Rendimiento del maíz y las épocas de siembra en los Llanos Occidentales de Venezuela". *Agronomía Tropical*, vol. 59, no. 2, junio de 2009, pp. 161-172, ISSN 0002-192X.

-Gliessman, S. *Agroecología: procesos ecológicos en agricultura sostenible*. edit. CATIE, 2002, 392 p., ISBN 978-9977-57-385-4.8-5936

-Hernández, C. N. y Soto, C. F. "Determinación de índices de eficiencia en los cultivos de maíz y sorgo establecidos en diferentes fechas de siembra y su influencia sobre el rendimiento". *Cultivos Tropicales*, vol. 34, no. 2, junio de 2013, pp. 24-29, ISSN 025

-Hernández, N. y Soto, F. "Influencia de tres fechas de siembra sobre el crecimiento y la relación fuente demanda del cultivo del maíz (*Zea mays* L.)". *Cultivos Tropicales*, vol. 33, no. 1, marzo de 2012, pp. 28-34, ISSN 0258-5936.

- Jerez, M. E. y Martín, M. R. “Comportamiento del crecimiento y el rendimiento de la variedad de papa (*Solanum tuberosum* L.) Spunta”. *Cultivos Tropicales*, vol. 33, no. 4, diciembre de 2012, pp. 53-58, ISSN 0258-5936.

- Jerez, M. E.; Martín, M. R. y Díaz, H. Y. “Estimación de la superficie foliar en dos variedades de papa (*Solanumtuberosum* L.) por métodos no destructivos”. *Cultivos Tropicales*, vol. 35, no. 1, marzo de 2014, pp. 57-61, ISSN 0258-5936.

- Marín, G. *Producción de Cafés Especiales*. (Ser. Programa Selva Central), Manual Técnico, 2012, p. 46, ISBN 978-612-4043-41-3.

- Morales, D.; Rodríguez, P.; Dell’Amico, J. A.; Torrecillas, A. y Sánchez, B. M. J. “Efecto de altas temperaturas en algunas variables del crecimiento y el intercambio gaseoso en plantas de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill. CV. AMALIA) ”. *Cultivos tropicales*, vol. 27, no. 1, 2006, pp. 45–48, ISSN 0258-5936, 1819-4087.

- *Maestri, M. y Barros, R. S.: Coffee. In: Ecophysiology of Tropical Crops. Academic Press. pp. 249--278 (1977).*

- *Maestri, M. y Barros, R. S.: Coffee. In: Ecophysiology of Tropical Crops. Academic Press. pp. 249—27 (1977).*

- no. 6, agosto de 2002, pp. 395-403, ISSN 0931-1890, 1432-2285, DOI 10.1007/s00468-002-0184-4.

- Noriega, L.; Preciado, R.; Andrio, E.; Terrón, A. y Prieto, J. “Fenología, crecimiento y sincronía floral de los progenitores del híbrido de maíz QPM H-374C*”. *Revista Mejicana de Ciencias Agrícolas*, vol. 2, no. 4, 2011, pp. 489-500, ISSN 2007-0934.

- PRO-ECUADOR, Dirección de Inteligencia Comercial Inversiones. “El café en el Ecuador. Perspectivas de exportación al Reino Unido”. *Boletín de Análisis de Mercados Internacionales*, vol. 2, no. 10, 2013, ISSN 1390-8138.

- Prieto, J.; García, J.; Mejía, J.; Huchín, S. y Aguilar, J. *Producción de planta del género Pinus en vivero en clima templado frío*. (no. ser. 28), 1. a ed., edit. Centro de Investigación Regional Norte Centro, Campo Experimental Valle del Guadiana, 2009, ISBN 978-607-425-133-3, Publicación especial.

-Parry, M. A. J.; Reynolds, M.; Salvucci, M. E.; Raines, C.; Andralojc, P. J.; Zhu, X.-G.; Price, G. D.; Condon, A. G. y Furbank, R. T. "Raising yield potential of wheat. II. Increasing photosynthetic capacity and efficiency". *Journal of Experimental Botany*, vol. 62, no. 2, 27 de October de 2010, pp. 453-467, ISSN 0022-0957, 1460-2431, DOI 10.1093/jxb/erq304, PMID: 21030385.

- Ruiz, F.; Marrero, P.; Cruz, O.; Murillo, B. y García, J. "Influencia de los factores agroclimáticos en la productividad de albahaca (*Ocimum silicum* L.) en una zona árida de Baja California Sur, México". *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, vol. 17, no. 1, 2008, pp. 44-47, ISSN 1010-2760.

- RAMÍREZ J. E. (1996). Poda y Manejo de *Coffea arabica* L. 1ra. Edición. Heredia, Costa Rica. 60 pp.

- Sáenz, J.; Villaseñor, F.; Muñoz, H.; Rueda, A. y Prieto, J. *Calidad de planta en viveros forestales de clima templado en Michoacán*. Folleto Técnico, no. 17, Inst. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Centro de Investigación Regional Pacífico Centro. Campo experimental Uruapan, 2010, ISBN 978-607-425-335-1.

- Santos, C. M.; Segura, A. M.; López, Ñ. y Eduardo, C. "Análisis de Crecimiento y Relación fuente-demanda en cuatro variedades de papa (*Solanum tuberosum* L.) en el Municipio de Zipaquirá (Cundinamarca-Colombia)". *Revista Facultad Nacional de Agronomía*, vol. 63, no. 1, junio de 2010, pp. 5253-5266, ISSN 0304-2847.

- Soto, F. "Ecofisiología del cafeto". En: Rivera R. y Soto F., *El cultivo del cafeto en Cuba. Investigaciones y perspectivas*, edit. Ediciones INCA, La Habana, Cuba, 2006, pp. 81-137, ISBN 959-7023-37-7.

- Soto, F. "Estimación del área foliar en *C. arabica* L. a partir de las medidas lineales de las hojas". *Cultivos tropicales*, vol. 2, no. 3, 1980, pp. 115–128, ISSN 0258-5936,1819-4087.

- UNICAFE (2007). Revista El Caficultor. Año I Segunda Época. No. p. 1. 46.

- Valladares, F.; Chico, J.; Aranda, I.; Balaguer, L.; Dizengremel, P.; Manrique, E. y Dreyer, E. "The greaterseedling high-light tolerance of *Quercus robur* over *Fagus sylvatica* is linked to a greater physiologicalplasticity". *Trees*, vol.

- Valarezo, C.; Iñiguez, M. y Guaya, P. *Los suelos de la Región Sur de Ecuador*. 1. a ed., edit. Universitaria, Loja, Ecuador, 1998, 89 p.

- Valdez, T. J. B.; Soto, L. F.; Osuna, E. T. y Báez, S. M. A. "Phonological prediction models for white corn (*Zeamays* L.) and fall armyworm (*Spodoptera frugiperda* J.E.Smith)". *Agrociencia (Montecillo)*, vol. 46, no. 4, 2012, pp. 399-410, ISSN ISSN 1405-3195.

- WRIGLEY G. (1988) "Coffee". Longman Higherb Education Division (Pearson Education Company), Essex, England.64

ANEXOS:



**Plantación en la CPA resultantes de las posturas de cafeto del experimento:
Evaluación de la incidencia de la luz solar en el desarrollo de posturas en el
cultivo del cafeto variedad Catimor.**



Viveros de café posturas Catimor