

## CAPÍTULO 2

# EFFECTO DEL SOMBREAMIENTO SOBRE EL CRECIMIENTO Y LA FISILOGIA DEL CAFÉ (*COFFEA ARÁBICA L*) VARIEDAD CASTILLO® EN EL MUNICIPIO DE LA FLORIDA ECOTOPO 221A DE NARIÑO

*Data de aceite: 02/05/2024*

### **José Julián Apraez Muñoz**

Ingeniero Agrónomo, Magister en Ciencias Agrarias. PhD. en Genética y Biología Molecular. Docente Universidad de Nariño Departamento de Recursos Naturales y Sistemas Agroforestales

### **Nathalia Apraez Muñoz**

Bióloga. Magister en Desarrollo Sostenible y medio ambiente

**RESUMEN:** La producción de café en Colombia, durante el tercer trimestre del 2021 creció 21,6% frente a igual período de 2022, alcanzando 8,8 millones de sacos en los primeros nueve meses del año. Este comportamiento positivo fue impulsado por el buen clima que favoreció los picos de productividad del parque cafetero, y por la entrada en producción de aproximadamente 117 mil hectáreas que fueron renovadas en los últimos años. La zona cafetera colombiana se caracteriza por presentar una alta nubosidad durante el día, que puede ser estimada a partir de los registros del brillo solar y por una disponibilidad de agua en el suelo, variable cuantificada mediante los balances hídricos regionales (Jaramillo, 2005). Estas dos condiciones,

determinantes de la producción de café, se deben tener en cuenta para orientar las prácticas en el cultivo, entre ellas el sombrero. En este proyecto de investigación se evaluó el comportamiento de diferentes variables fisiológicas, bajo diferentes niveles de sombreado 0%, 35%, 50% y 65%, las variables de índice de asimilación neta e índice de crecimiento relativo, el tratamiento sembrado con 35% de sombrero, presenta los mayores valores en las variables de índices fisiológicos en relación a los tratamientos de 50 y 65% de sombrero. Los índices de crecimiento de cultivo, área foliar e índice de área foliar se presentaron valores mayores en los tratamientos sembrados bajo sombrero de 65% (0,48), 35 y 50% (0,48) que el tratamiento sembrado a libre exposición solar (0,19); el análisis de varianza presentó diferencias estadísticas peso seco de raíz (13,91g; 68,83 g; 11,83 g), longitud de ramas del estrato alto (15,85 cm; 59,16 cm; 9,83 cm), y altura de planta (59,16 cm; 59,33 cm; 68,83 cm;) para los tratamientos 35, 50 y 65% de sombra respectivamente; dentro de las variables fisiológicas donde se incluye la biomasa seca de hojas, tallos, total y longitud de ramas del tercio medio fueron favorecidas en los tratamientos correspondientes a 65 y

35 % de sombreado presentando así diferencias estadísticas significativas.

**PALABRAS-CLAVE:** Radiación fotosintéticamente activa, sombrío, fisiología de cultivo, crecimiento vegetal, índices fisiológicos.

## EFFECT OF SHADING ON THE GROWTH AND PHYSIOLOGY OF COFFEE (*COFFEA ARABICA L*) VARIETY CASTILLO® IN THE MUNICIPALITY OF FLORIDA ECOTOPO 221A OF NARIÑO

**ABSTRACT:** Coffee production in Colombia, during the third quarter of 2021, grew 21.6% compared to the same period in 2022, reaching 8.8 million bags in the first nine months of the year. This positive behavior was driven by the good climate that favored the productivity peaks of the coffee park, and by the entry into production of approximately 117 thousand hectares that were renewed in recent years. The Colombian coffee zone is characterized by high cloud cover during the day, which can be estimated from the records of sunlight and by the availability of water in the soil, a variable quantified through regional water balances (Jaramillo, 2005). These two conditions, determinants of coffee production, must be taken into account to guide cultivation practices, including shading. In this research project, the behavior of different physiological variables was evaluated, under different levels of shading 0%, 35%, 50% and 65%, the variables of net assimilation index and relative growth index, the treatment sown with 35% of shading, presents the highest values in the physiological index variables in relation to the 50 and 65% shading treatments. The crop growth indices, leaf area and leaf area index had higher values in the treatments planted under shade of 65% (0.48), 35 and 50% (0.48) than the treatment planted under free sun exposure. (0.19); The analysis of variance presented statistical differences in root dry weight (13.91g; 68.83g; 11.83g), length of branches in the upper stratum (15.85cm; 59.16cm; 9.83cm), and plant height (59.16 cm; 59.33 cm; 68.83 cm;) for the 35, 50 and 65% shade treatments respectively; Within the physiological variables that include the dry biomass of leaves, stems, total and length of branches of the middle third, they were favored in the treatments corresponding to 65 and 35% shading, thus presenting significant statistical differences.

**KEYWORDS:** photosynthetically active radiation, gloomy, crop physiology, plant growth, physiological indices.

## INTRODUCCION

El café en Colombia es uno de los cultivos más importantes, por ser uno de los principales generadores de divisas, representando el 12% del producto interno bruto. A pesar de la importancia del cultivo, en el departamento de Nariño se ha presentado una disminución del 0,85% en el área sembrada, un 8,97% en la producción y un 8,11% en el rendimiento. Hay 31.000 hectáreas sembradas, en 40 de los 64 municipios del departamento. La producción en esta parte del país representa el 3,5% de la producción cafetera Nacional (Agrocadenas, 2023).

De acuerdo con Ramírez *et al.* (2002) en la última década, la temperatura y la precipitación se han modificado como consecuencia del cambio climático, cambios que se han manifestado en la reducción de la producción, hasta en un 65%. Se considera que el aumento en la concentración de CO<sub>2</sub> eleva la tasa fotosintética en las plantas y por lo mismo, se incrementa el rendimiento (Tubiello *et al.*, 2000); sin embargo, se debe tener en cuenta que la temperatura mínima y máxima se han incrementado en 0,35 y 1,13°C, respectivamente (Peng *et al.*, 2004), y que estos incrementos en la temperatura pueden causar disminuciones en el rendimiento de varios cultivos (Pimentel, 1991).

La calidad y la cantidad de radiación solar afecta el crecimiento y el desarrollo de las plantas, el funcionamiento de los estomas y las respuestas fisiológicas (Lee *et al.*, 2007); en el café, la disponibilidad de radiación afecta de forma muy significativa la producción, especialmente si el sistema de producción se hace bajo árboles de sombrero.

Las observaciones sobre la cantidad de sombra necesaria para el café en sistemas agroforestales y la variabilidad expresada en su heterogeneidad espacial y temporal es muy escasa y los resultados de los estudios se han limitado a algunas localidades de la zona cafetera de Colombia (Farfan, 2007).

En el cultivo de café, se considera como un límite de disponibilidad hídrica, una cantidad de 150 mm acumulados en tres meses continuos, asociada a unos altos niveles de radiación solar, condiciones en las cuales se recomienda establecer los cafetales con árboles de sombrero (Camargo y Pereira, 1994). El sombrero también es recomendable si el relieve es quebrado con pendientes fuertes (>50%), con suelos susceptibles a la erosión, suelos poco profundos y poco estructurados, con bajos contenidos de materia orgánica y baja fertilidad natural, suelos con mal drenaje, con baja permeabilidad y baja retención de humedad (Beer *et al.*, 1998). Se ha establecido que, dependiendo de la localidad, el nivel de sombrero óptimo fluctúa entre 35 y 45% (Farfan, 2007), cuando se emplea una sola especie de árbol y con regulación permanente de la sombra.

Tradicionalmente se ha pensado que el comportamiento de los cafetos es igual bajo cualquier nivel de sombra, lo que equivaldría a decir que el café produce lo mismo bajo cualquier cantidad de luz disponible, independientemente de las condiciones climáticas de la región; el concepto hay que replantearlo, ya que las plantas requieren de diferentes proporciones de sombrero, dependiendo de la ubicación geográfica (latitud, altitud) y de la disponibilidad de radiación solar y de agua en el suelo (Farfan, 2007).

Por lo tanto, es requisito básico en los sistemas de cultivo de café con sombrero, determinar el denominado “porcentaje de sombrero óptimo” o “grado de sombra adecuado”, el cual depende básicamente de la localidad, de la radiación solar anual (cobertura de nubes o nubosidad) y de las necesidades del cultivo, pues éste será el reflejo de las reducciones o incrementos de la producción, al establecer el café con el asocio de árboles (Farfan, 2007).

Las principales características de la radiación fotosintéticamente activa (RFA), que influyen en el comportamiento biológico son la calidad (diferentes rangos de longitudes de onda que constituyen el espectro electromagnético), la intensidad (cantidad de energía que alcanza una superficie en unidad de tiempo) y la duración (tiempo de incidencia de la radiación solar) (Jaramillo, 2005). Cuando 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.

En general, el transcurso anual del brillo solar en la zona cafetera colombiana, sigue una onda opuesta a la distribución de las lluvias. La nubosidad está determinada por la presencia de la Zona de Confluencia Intertropical, que es la región del globo terrestre donde convergen los vientos alisos del hemisferio norte con los del hemisferio sur, caracterizado por grandes masas de aire cálido y húmedo además de los movimientos locales de las masas de aire que se originan dentro de las montañas, denominadas circulaciones valle - montaña – valle (Jaramillo, 2005).

En Colombia, los valles interandinos de los ríos Cauca y Magdalena la distribución del brillo solar presenta sus valores máximos en los meses de menor lluvia, como son enero-febrero y julio-agosto. En las regiones de los Llanos Orientales y la Costa Atlántica la distribución tiende a presentar el valor máximo en diciembre-enero y los valores mínimos en junio-julio. Los mayores valores de brillo solar se registran en la península de La Guajira, con cantidades anuales próximas a las 3.000 horas, y los valores más bajos se observan en el litoral Pacífico con 900 horas al año (Chavez y Jaramillo, 1997).

En cuanto a las exportaciones colombianas de café, las ventas aumentaron 9,1% al pasar de 2,39 millones de sacos en el tercer trimestre de 2013 a 2,61 millones de sacos en el mismo período de 2014. Frente al año 2015, las exportaciones registradas hasta septiembre de 2014 alcanzaron los 7,9 millones de sacos, lo que se traduce en un incremento del 17,4% frente a las ventas externas en el mismo período del año anterior (Agrocadenas, 2023).

## **Sistema actual de la caficultura en Nariño**

La mayor parte de los cultivos de café en Nariño se encuentran en pequeños predios o minifundios en alturas por encima de 1.700 m. s. n. m. Por su parte, la comercialización del grano se efectúa en gran medida a través de las Cooperativas de Caficultores del Norte y Occidente del departamento (Jaramillo *et. al.* 2021). El 40% del suelo de la zona cafetera nariñense se encuentra cultivado con café. El restante 60% cuenta con cultivos de caña, maíz, frijol, plátano, reservas forestales y pastos no tecnificados. La caficultura de Nariño se caracteriza por ser de sombra con predominio de las variedades Caturra y Castillo. La mayor parte de los cultivos se encuentran en pequeños predios o minifundios, correspondientes a una unidad agrícola familiar (UAF) de 2500m<sup>2</sup> (Jaramillo *et. al.* 2021).

La ubicación de Nariño en Colombia hace de su zona cafetera un lugar sin duda especial; las condiciones en el área de producción de café en el departamento; presentan una combinación de factores, tales como la radiación solar que oscila alrededor de 1666 horas, durante el año, los ciclos de lluvia de 700 mm/año, los suelos con alto contenido de materia orgánica y temperaturas medias de 19,9°C, con valores promedio máximo de 25,9°C y mínima de 16°C; todo esto en conjunto, hacen posible cultivar el café (Jaramillo *et. al.* 2021).

Los cultivos de café en Nariño se localizan entre los 1400 y los 2400 m.s.n.m.; producir café a alturas superiores a los 2300 metros sobre el nivel del mar, podría ser casi imposible si el calor que se acumula durante el día en el fondo de los cañones y de los profundos valles no ascendiera en las noches para atenuar el frío de las partes más altas de las montañas (Ramirez *et. al.*, 2010).

Las condiciones agroecológicas donde se ubica la caficultura, unida a las variedades cultivadas y al sistema de beneficio utilizado, permiten obtener cafés de alta calidad para atender el nicho de mercado de cafés especiales. Desde el punto de vista gremial, el Comité Departamental de Cafeteros de Nariño representa los intereses de 20 comités municipales de cafeteros y los caficultores nariñenses asociados en ellos (Jaramillo *et. al.* 2021).

## **Diversidad de zonas cafeteras en Colombia y algunas características**

En Colombia, la tendencia general de la zona cafetera central (latitudes entre 3° y 7° N) es la de presentar durante el año dos períodos secos (enero-febrero y julio-agosto) y dos húmedos (abril-mayo y octubre-noviembre); para las regiones de la zonas Norte (latitudes mayores a 7° N), Sur (latitudes menores a 3° N) y Oriente del país, la tendencia general es a presentar en el año una sola estación seca (Jaramillo, 2005). En la región cafetera norte, por ejemplo, Pueblo Bello (Cesar) (10°25' N), se presenta una estación seca pronunciada de enero a abril, con un déficit hídrico de 238mm (Cenicafe, 2004), y en la región sur, por ejemplo, Consacá (Nariño) (01°15' N) presenta una estación seca marcada, de julio a septiembre, con un déficit hídrico de 266mm, durante tres meses continuos (Jaramillo, 2005).

En el centro del país se produce la cosecha cafetera colombiana de mayor importancia en volumen. En el eje cafetero, departamentos de Caldas, Quindío, Risaralda y el Norte del departamento del Valle (Paisaje Cultural Cafetero colombiano), se encuentran cultivos de café altamente extensivos que conviven con los de productores más pequeños y tradicionales. Estas zonas al igual que las de Antioquia, Cundinamarca, Boyacá y el Norte del Tolima tienen más de dos ciclos marcados de cosecha y continuas cosechas pequeñas (pepeos) lo que garantiza una producción de café constante durante buena parte del año, realizando hasta ocho visitas al año para cosechar los granos maduros de un mismo árbol (Sadegian y Gonzales, 2012).

La zona cafetera en el Norte del país a latitudes superiores a los 9°, tienen características climáticas similares a los principales países productores centroamericanos de café, en donde la producción se da en altitudes inferiores y a temperaturas superiores. Los cultivos sembrados en regiones como la Sierra Nevada de Santa Marta, la Serranía del Perijá o en los departamentos de Casanare, Santander y Norte de Santander, por su oferta climática, tienden a estar más expuestos a la radiación solar y, en consecuencia, los cultivadores eligen sistemas agroforestales en asocio con los cultivos para que sean frecuentemente protegidos por diferentes niveles de sombrío. Estos cafés, en sus cualidades organolépticas presentan una acidez menor pero un mayor cuerpo (Arcila *et al.* 2001).

## Efectos de la sombra sobre el cultivo de café

El cultivo del café a libre exposición solar es la práctica habitual en muchas partes del mundo y esto provoca la exposición de la hoja a niveles de alta irradiación y la absorción de mucha más energía de la que es utilizable por la fotosíntesis. Estas condiciones pueden provocar una sobrecarga de energía y un sobrecalentamiento de las hojas que, en casos extremos, puede llegar a temperaturas de 40°C o incluso valores más altos (Maestri *et al.*, 2001), sobre todo si los estomas están cerrados, como ocurre en los días soleados en las plantaciones sin sombra (Butler, 1977). Sólo bajo estas condiciones extremas de irradiación se podrían observar efectos negativos de las altas temperaturas, como la clorosis de las hojas y el daño de las mismas (Cannell, 1985; Wrigley, 1988).

En este contexto, las prácticas culturales como el sombreado producido por especies arbóreas, han recibido un renovado interés en los últimos años. Algunos autores han evaluado el manejo de sombra en las plantaciones de café (Beer *et al.* 1998), así como la fisiología y la producción del cafeto bajo estas condiciones (DaMatta, 2004a).

Las plantaciones recientes de café (variedad Caturra y Castillo), tienen una gran plasticidad en respuesta a diferentes niveles de irradiación. Estas nuevas variedades crecen bien sin sombra e incluso pueden mostrar producciones más altas que las obtenidas con árboles de sombra, sobre todo en zonas con clima y suelos adecuados (DaMatta, 2004).

La eficiencia del sombreado, como un medio para proteger la planta de café contra heladas, se debe a que la planta está más cerca del árbol que le está generando dicha condición (Caramori *et al.*, 1995). Para cafetales jóvenes, se necesita un sombreado temporal más denso, como se obtuvo con el uso de árboles como el guandúl (*Cajanus cajan*) el cual es muy eficaz contra las heladas. Trabajos realizados sobre cultivos sembrados bajo sombrío, hablan de resultados prometedores con el uso de otros métodos, como sombreado con especies arbóreas, que confieren una protección notable, ya que las temperaturas registradas en plantas pequeñas (5-6 par de hojas) en el campo fueron alrededor de 10°C más, que en las plantas sin protección (Caramori *et al.* 2004).

Otros efectos del sombrío sobre la fisiología del café son las menores fluctuaciones de temperatura, aumento de la humedad relativa del aire, y los cambios en la rugosidad de la aerodinámica de la superficie cultivada. Tomadas en conjunto, estas alteraciones disminuirían el déficit de presión de vapor, que a su vez permite la apertura estomática (favoreciendo así la absorción de  $\text{CO}_2$ ), sin un aumento proporcional en las tasas de transpiración. Por lo tanto, la pérdida de agua debida a la evapotranspiración del cultivo empieza a reducirse, debido al aumento de la cobertura del suelo y una disminución de la abundancia de malas hierbas (Maestri *et al.* 2001).

Steiman *et al.* (2007) estudiaron en Hawai la aplicación de caolín (una partícula que forma una película reflectante sobre la superficie de la hoja) como una estrategia de protección del dosel del café contra la temperatura excesiva y la radiación solar. Con aplicaciones quincenales de caolín durante 21 meses a cultivos *Typica* cultivados al aire libre, encontraron una disminución significativa del 10% en la temperatura de la hoja que fue acompañado por un aumento del 71% en la tasa de fotosíntesis neta paralela a una duplicación de la producción de cultivos de árboles tratados con caolín, en comparación con los individuos no tratados.

## Comportamiento del cultivo de café bajo diferentes niveles de sombrío

El café es propenso a la fotoinhibición de la fotosíntesis cuando está a libre exposición, ya que por tratarse de una planta C3, este alcanza su punto de saturación con intensidades de luz relativamente bajas (Ramalho *et al.* 2003). Según Chaves *et al.* (2008) las limitaciones fotoinhibidoras causadas por la libre exposición solar, pueden pasar a un segundo plano en algunas variedades, por su nivel de aclimatación a altas intensidades de irradiación solar.

Araujo *et al.* (2008) encontraron una baja flexibilidad fisiológica en condiciones de baja luminosidad, en cuanto a la adaptación del mismo, en hojas de café localizadas bajo sombrío, causando una reducción en dicha plasticidad la cual fue comparada con hojas a libre exposición solar. Los autores han propuesto que la limitación de fotosíntesis se da por la baja disponibilidad de luz; este factor es uno de los principales motivos para las bajas producciones del café cultivado en sistemas asociados con árboles, en contraste con la alta producción de café en áreas productoras a libre exposición del sudeste de Brasil (DaMatta *et al.* 2007).

De igual manera, DaMatta *et al.* (2007) han confirmado que, en condiciones edafoclimáticas óptimas o en condiciones de poco sombrío, se generan ventajas indirectas en época de cosecha. Además, los agroecosistemas con sombríos moderados tienen otras ventajas como impactos positivos financieros por los ingresos suplementarios de árboles asociados (frutales) y la conservación de recursos naturales y diversidad biológica (Vaast *et al.*, 2007). Sin embargo, Araujo *et al.*, (2008), quienes evaluaron plantaciones de café bajo diferentes niveles de sombrío, no encontraron diferencias productivas entre los diferentes niveles de la luz alcanzados con la implementación de sombríos y aquellos con libre exposición solar.

Los diferentes niveles de radiación se relacionan con la regulación de azúcares en la producción, como lo mencionan Franck *et al.* (2006) quienes observaron que esta baja regulación era más severa en horas de la tarde y la relacionaron con un aumento de azúcares solubles en las hojas, debido a un incremento rápido de la demanda durante horas de mañana. Recientemente, DaMatta (2008) demostraron que las bajas regulaciones en las hojas de café son motivadas por una reducción de los azucares, proceso independiente del metabolismo de carbono.

De tal manera, la transpiración de plantas de café cultivadas bajo plena exposición solar, fue limitada por condiciones adversas climáticas (la alta temperatura y evapotranspiración) y esto se ve reflejado por el pobre crecimiento y la baja productividad de plantas de café cultivadas bajo estas condiciones (Van Kanten, 2003).

Vaast *et al.*, (2007) en su trabajo para determinar la evapotranspiración en plantas con sombrero y plantas a libre exposición solar concluyen que durante la estación lluviosa, la transpiración de café se mantuvo en niveles bajos y por consiguiente las tarifas de transpiración eran inferiores bajo árboles de sombra, sobre todo bajo la sombra densa; durante la estación seca, la transpiración de café se disminuyó de manera evidente, (en las plantaciones bajo sombrero en comparación con plantíos sembrados a libre exposición solar, respectivamente), puesto que en ambientes secos y luminosos aumenta la apertura estomática liberando agua en forma de vapor lo que causa una deshidratación. Encontraron además que dichas condiciones climáticas no eran óptimas para el crecimiento de café debido a una temperatura del aire de 26°C, grandes variaciones de radiación y evapotranspiración en el día, sobre todo durante el período donde la disponibilidad de agua de suelo era más baja.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Localización

El presente trabajo se realizó en la vereda Santa Ana del corregimiento de Matituy localizada a 1950m.s.n.m.; su suelo tiene un contenido medio de materia orgánica (5,35%), es ácido (pH=5,57), bajo contenido de fósforo (7,07ppm) y con un contenido alto de potasio (0,55 cmolcarga kg<sup>-1</sup>).

### *Variables evaluadas*

**Humedad y temperatura del suelo.** Se evaluó la humedad del suelo como la cantidad de agua por volumen de suelo; mediante un termo hidrómetro de profundidades LCD DIGITAL 2,8 EX modelo KTC-908, NEWEST INDOOR/OUTDOOR THERMOMETER-HUMIDITY marca ZEN, para suelos, una vez por semana a las 7 am, 1pm y a las 5 pm, se realizaron tres mediciones por unidad experimental. Con el mismo instrumento y metodología se evaluó la temperatura diaria del suelo en °C, a 20cm de profundidad.

**Temperatura ambiental:** se realizaron lecturas diurnas, máximas y mínimas, en la mañana (8 am), a medio día (1pm) y en la tarde (5 pm), para determinar la dinámica de la temperatura durante el día con un termo hidrómetro CLOCK–HUMIDITY-TEMPERATURE de la marca DIGITAL SERIES®

**Humedad relativa:** con un higrómetro se realizaron tres lecturas diarias, en la mañana (8 am), a medio día (1pm) y en la tarde (5 pm) con un termo hidrómetro CLOCK –HUMIDITY-TEMPERATURE de la marca DIGITAL SERIES®.

**Radiación Fotosintéticamente Activa:** Se tomaron los datos con un luxómetro LIGHT METER WIDE RANGE EASYVIEW® marca EXTECH INSTRUMENTS modelo EA90, tres veces diarias (a las 8am, a la 1pm y a las 5pm), tres lecturas por unidad experimental, a un metro sobre el nivel del suelo y se convirtieron estas unidades de radiación fotosintéticamente activa (RFA), multiplicando el valor obtenido en lux por 10 y dividiéndolo por 0,54 encontrando el dato en  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-2}$  (radiación fotosintéticamente activa), para determinar el flujo lumínico en cada uno de los tratamientos con sombrero y a los que están a libre exposición solar, realizando la medición en el menor tiempo posible para evitar que la nubosidad influya en las lecturas correspondientes.

## Variables de crecimiento

Las evaluaciones de índices fisiológicos se hicieron cada dos meses sobre plantas tomadas al azar, extrayendo una planta completa de cada unidad experimental, durante el tiempo que duró el ensayo, para un total de 144 plantas extraídas; en cada evaluación las plantas se llevaron al laboratorio de fisiología vegetal y en una estufa de secado se dejaron a una temperatura de 75°C, hasta que su peso sea constante y se determinó materia seca. Las plantas se dividieron en raíz, tallo y hojas de las cuales se tomó peso fresco y peso seco, utilizando una balanza analítica.

**Área foliar.** Es el área de hojas que tiene la planta evaluada. Para su determinación se seleccionó en un cultivo de café variedad Castillo ®, un total de 100 hojas de diferentes estratos; se tomarán fotografías de cada una de ellas y mediciones reales del ancho y el largo; el área de cada una de las hojas seleccionadas se determinó con el software IMAGEJ. Con los datos mencionados y el área correspondiente a cada medición, se evaluaron diferentes modelos de área foliar en función del largo y/o el ancho para seleccionar el de mejor ajuste que se utilizó en las evaluaciones mensuales de esta variable, durante el periodo investigativo.

**Índice de área foliar:** El IAF es la relación entre el área foliar de la planta y el área de suelo ocupada por la misma (2):

La eficiencia fisiológica en el uso de la radiación se midió a través del índice de asimilación neta (IAN) que es la ganancia neta de asimilados por unidad de área foliar en un tiempo determinado (3) (Fageria, *et al.*, 2006).

**Índice de crecimiento relativo.** (RGR, siglas del inglés “relative growth rate”) es la medida principal del análisis de crecimiento y se define como la ganancia de biomasa por unidad de biomasa y tiempo (4) (Fageria, *et al.*, 2006).

**Índice de crecimiento del cultivo (icc).** También conocida como tasa de crecimiento del cultivo, indica el crecimiento por unidad de área en el suelo y por unidad de tiempo; se calcula con la siguiente ecuación (5) (Fageria *et al.*, 2006).

**Altura de la planta (AP).** Para esta medida se utilizó una cinta métrica, tomándola desde la base de la planta hasta la base del pecíolo de la última hoja emitida en la zona apical. Siempre sobre las mismas, dos (2) plantas por unidad experimental, una lectura cada mes, en plantas marcadas dentro de cada uno de los tratamientos del lote, las mediciones se realizaron con una regla que tenía unidades en decímetros.

**Biomasa seca:** esta variable se evaluó mensualmente, se determinó la biomasa seca de raíces, tallos, hojas y biomasa total, con una balanza analítica; el secado se realizó en un horno, a una temperatura de 75°C, hasta que el peso sea constante lo cual significaba que había evaporado toda el agua que contenía el material vegetal.

**Longitud de ramas:** En dos (2) plantas por unidad experimental se midió la longitud de ramas desde la base al ápice con cinta métrica, por estratos: 1/3 bajo, 1/3 medio y 1/3 alto; la medición se realizó mensualmente durante un año en plantas marcadas desde el inicio del estudio.

**Número de nudos por rama:** En las mismas plantas de la evaluación anterior, mensualmente se contaron los nudos de dos (2) ramas de cada tercio, durante un año.

## ANÁLISIS ESTADÍSTICO

La evaluación de las diferentes variables se realizó con base en un análisis de varianza correspondiente al modelo de BCA (Bloques completos al azar). En las variables con diferencias estadísticas entre tratamientos, se realizaron pruebas de comparación de promedios de Tukey al 95% de confiabilidad. El comportamiento de crecimiento se analizó con base en un análisis de tendencia en función de la variable tiempo, realizado con el programa Microsoft Excel y seleccionando el modelo con base en el mayor R<sup>2</sup>.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Dinámica de las Variables Ambientales

#### *Humedad del suelo y Temperatura del suelo*

La figura 1a y 1b muestra el comportamiento de la humedad y temperatura del suelo, en los diferentes tratamientos evaluados durante un año de cultivo de café *Coffea arabica* variedad Castillo®. Se puede observar que la humedad del suelo no varió considerablemente de un tratamiento a otro, independientemente de las horas donde se tomó la medición correspondiente.

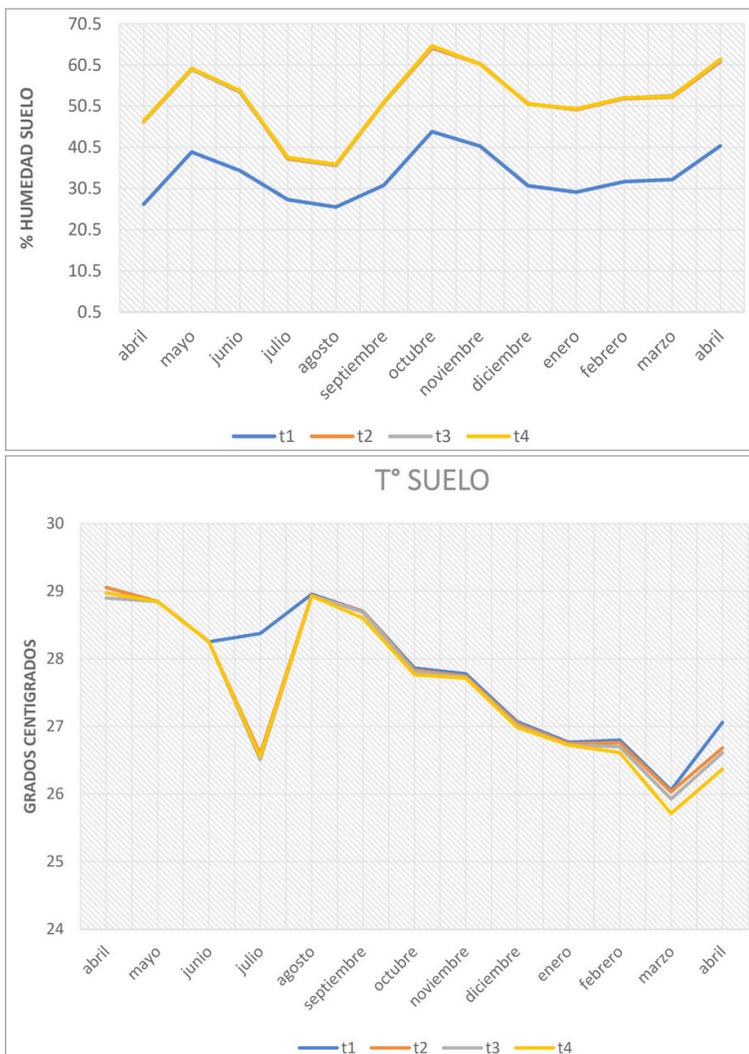


Ilustración 1. a) Comportamiento de la variable humedad del suelo (promedio mensual) en los cuatro tratamientos; b) Comportamiento de la variable temperatura del suelo (promedio mensual) en los cuatro tratamientos en el ciclo del cultivo evaluado.

Respecto a este indicador, Beer *et. al* (1998), mencionan que el uso de sombra se recomienda en sitios con limitaciones en las propiedades de los suelos, por ejemplo, baja retención de humedad o cuando la precipitación es insuficiente o está mal distribuida, lo cual genera períodos secos. También, cuando los suelos y la oferta hídrica son apropiados, pero el cultivo se halla en zonas demasiado altas o bajas, el uso del sombrío evita daños por la exposición a libre radiación, lo que conlleva aumento de temperaturas, y un efecto acelerado en la evapotranspiración.

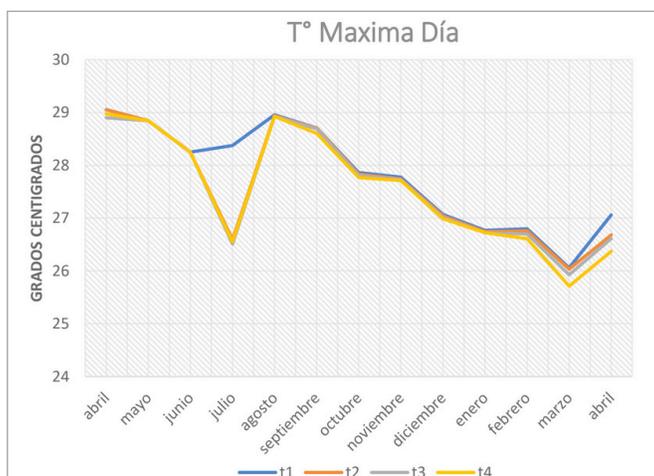
Los resultados obtenidos en este estudio difieren de los estudios de Poveda y Jaramillo (2005) y Poveda *et al.* (2001), que demuestran que bajo una cobertura vegetal de café a la sombra, ocurren consecuencias importantes con respecto a las condiciones de disponibilidad de agua que propicia la presencia del bioma circundante y de los flujos superficiales hacia la atmósfera, posiblemente porque el árbol de sombrero genera condiciones de humedad y las polisombras por ser inertes, son incapaces de generar.

Como se observa en la figura 1 (b), la temperatura del suelo en las mediciones de 8 am, 1 pm, respectivamente, no muestra cambios en esta variable, en los diferentes tratamientos, aunque en el tratamiento a libre exposición solar (T1), la temperatura del suelo presenta un comportamiento un mayor, aunque leve, frente a los demás tratamientos.

En comparación a este estudio, y basados en los leves aumentos de temperatura del suelo que presenta el tratamiento bajo libre exposición solar (T1), Cardona y Sadeghian (2012), encontraron diferencias de temperatura del suelo cuando trabajaron con cultivos de café con sistemas de sombrero con guamo (*Inga sp.*) y determinaron que los suelos de cafetales a libre exposición presentaron la mayor temperatura y no se observaron variaciones relevantes a través del perfil, los menores valores de esta variable en cafetales con sombrero de guamo se atribuyen según Roa *et al.* (1999), a la menor radiación solar y velocidad del viento, sumados al aumento de la humedad en el ambiente, que produce el sombrero; estos fenómenos hacen que se disminuya la demanda de agua de los cultivos y la evaporación del suelo, por lo tanto los tratamientos sembrados bajo diferentes niveles de sombra presentaban una tendencia más baja en comparación al testigo.

### Temperatura Ambiental

En cuanto a la temperatura ambiental registrada en los diferentes tratamientos tanto en las horas del día como en la noche no se observaron diferencias en el comportamiento de esta variable durante el periodo evaluado (Figura 2a, 2b, 2c y 2d).



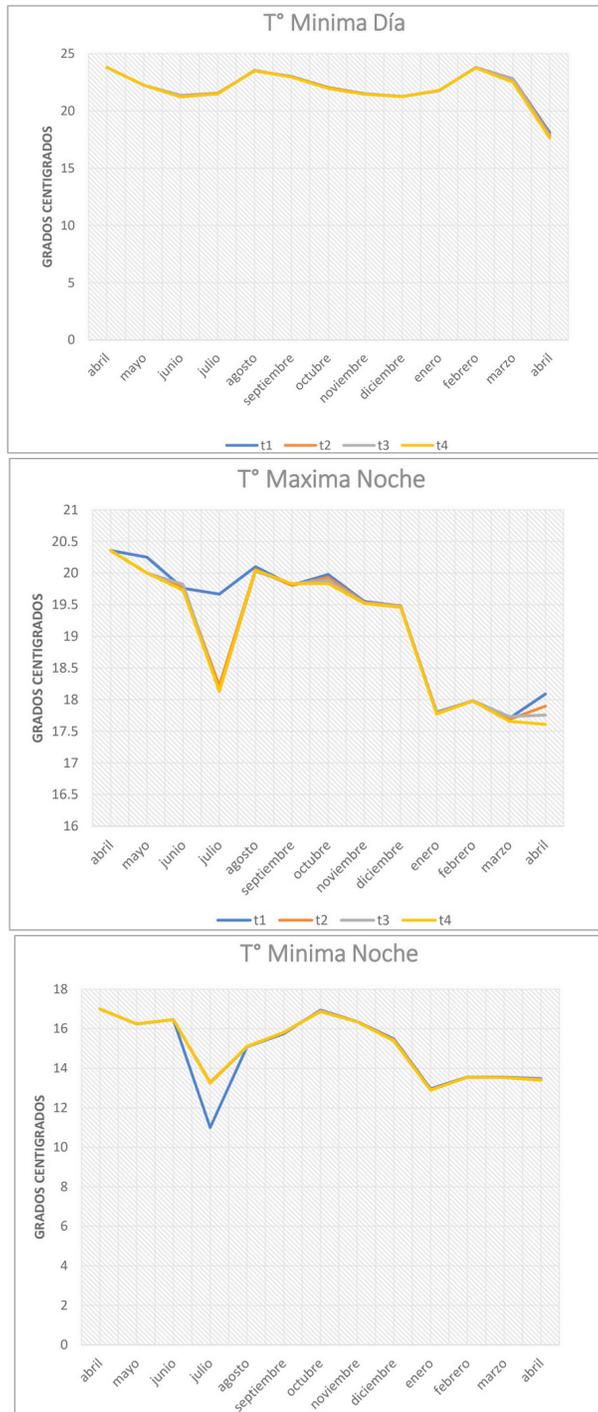


Ilustración 2. a) Comportamiento de la variable temperatura máxima en el día para los tratamientos evaluados; b) Comportamiento de la variable temperatura mínima en el día para los tratamientos evaluados. c) Comportamiento de la variable temperatura máxima en la noche

El comportamiento de la temperatura es comparable con los resultados del estudio realizado por Roa *et al.* (1999), quien después de varias evaluaciones determinó que los cafetales a libre exposición presentaron la mayor temperatura y no se observaron variaciones relevantes a través del perfil de la planta. Los menores valores de esta variable en cafetales con sombrero de gualumo se atribuyen a la menor radiación solar y a la velocidad del viento.

### Humedad Relativa

En la figura 3, se puede observar el comportamiento de la humedad relativa en cada uno de los tratamientos sembrados bajo sombrero T2, T3 y T4 (35, 50 y 65% de sombra), los cuales presentaron valores más altos, en relación al cultivo sembrado a libre exposición. En el tratamiento a libre exposición se ilustran menores valores en la humedad relativa, durante todo el periodo experimental.

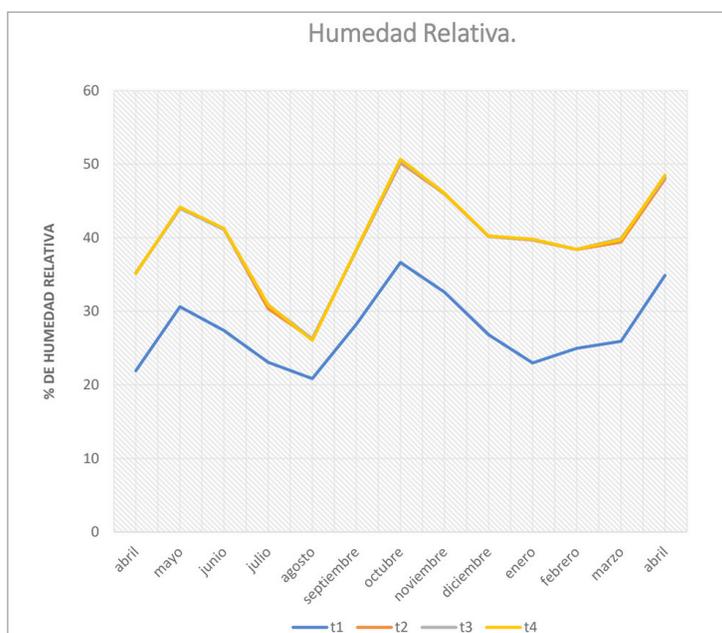


Ilustración 3. Comportamiento de la variable humedad relativa promedio, en los cuatro tratamientos

En relación a lo anterior, Jaramillo (2005) determina que la cantidad de radiación solar, el agua disponible en el suelo, y la Humedad relativa del ambiente son factores que interactúan, particularmente en ambientes secos, por lo tanto, las respuestas de las plantas a la luz o a la sombra están muy afectadas por la disponibilidad hídrica y la Humedad relativa lo que se relaciona con los datos obtenidos en esta variable en donde los tratamientos sembrados bajo sombrero presentan un porcentaje de humedad relativa que fluctúa entre 35 y 50%, mientras que el tratamiento sembrado bajo libre exposición (T1), no supera el 35% de humedad relativa durante todo el ciclo de cultivo evaluado.

## Radiación fotosintéticamente activa (RFA)

Al determinar el comportamiento de la variable luminosidad, medida como radiación fotosintéticamente activa (RFA), en los diferentes tratamientos, se pudo establecer que el comportamiento de esta variable en el tratamiento sembrado a libre exposición solar (T1), presenta los valores más altos a lo largo del ciclo del cultivo, (figuras 4a, b y c); cabe resaltar que el comportamiento de los tratamientos sembrados bajo un sistema de sombrío (T2,T3 y T4) presentaron disminución en la radiación fotosintéticamente activa (RFA), siguiendo un comportamiento directamente proporcional al porcentaje de sombrío, que dejaba infiltrar cada polisombra, teniendo valores de radiación fotosintéticamente (RFA) más altos el tratamiento testigo T1 (libre exposición solar) seguido por el tratamiento T2 (35% de sombra), T3 (50% de sombra) y T4 (65% de sombra), para todos los horarios evaluados ( 8 a.m., 1 y 5 p.m.).



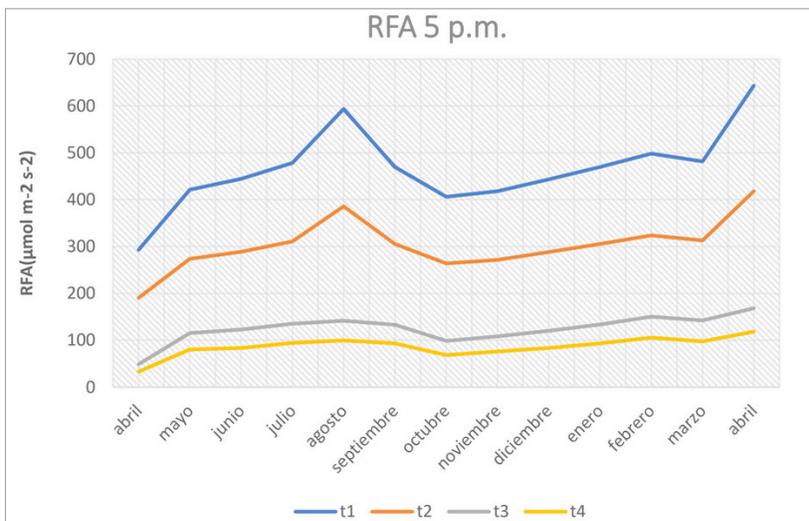


Ilustración 4. Comportamiento de la variable luminosidad, medida en radiación fotosintéticamente activa (RFA), en el ciclo del cultivo a las 8am. b) Comportamiento de la variable luminosidad, medida en radiación fotosintéticamente activa (RFA), en el ciclo del cultivo.

Se debe tener en cuenta que el sombrío proviene de la adecuación de materiales artificiales (uso de polisombra de diferentes densidades) y que no se utilizaron especies arbóreas para generar este efecto dentro de los tratamientos; posiblemente por esta razón, el cambio en las variables de radiación fotosintéticamente activa con polisombra artificial como método de sombrío, difiere de los estudios realizados con la utilización de agrosistemas como método de sombrío tal como lo aclara Jaramillo (2005) quien encontró que la radiación se expresa como un porcentaje de la radiación incidente en la parte externa del cultivo y se debe asociar con la cantidad real de radiación medida, que ingresa al agrosistema.

## ÍNDICES DE CRECIMIENTO

### Variables de Crecimiento

El análisis de varianza (Tabla 3) indica que en las variables altura de planta, biomasa seca (raíz, tallo, hojas, total), longitud de ramas (estrato bajo, medio y alto), número de nudos por rama (estrato alto), se presentaron diferencias estadísticas entre los tratamientos evaluados; para la variable número de nudos en el estrato bajo y medio no se presentaron diferencias estadísticas significativas en los tratamientos evaluados en este estudio, indicando que el nivel de sombreado afectó significativamente el crecimiento de las plantas y se relacionan indirectamente con los factores ambientales, entre ellos, la precipitación, brillo solar, temperatura y evapotranspiración y disponibilidad de nutrientes y defoliación de la planta, (Barros *et. al.* 1999).

Fv	Gl	Altura Planta	Biomasa seca				Longitud de Ramas			Numero de Nudos		
			Hojas	Tallo	Raiz	Total	Bajo	Medio	Alto	Bajo	Medio	Alto
Trata	3	15,91*	6,73*	9,12*	11,31*	8,83*	6,74*	6,53*	9,33**	2,51ns	1,93ns	7,31*
Rep	2	0,88	0,52	0,15	0,68	0,3	0,19	0,02	0,22	0,29	1,59	1,42
Error	6	16,06	420,31	34,47	6,41	713,42	14,06	6,95	3	0,937	0,47	0,131
Cv		7,11	38,54	23,09	20,89	29,43	13,42	11,79	18,96	12,83	11,21	13,83

\*= Nivel de significancia al 5% de probabilidad; ns = sin diferencia estadística significativa.

Tabla 1. Análisis de Varianza para las variables altura de planta, biomasa seca (raíz, tallo, hojas, total), longitud de ramas (estrato bajo, medio, alto), numero de nudos por rama (estrato bajo, medio, alto) en cuatro tratamientos correspondientes a diferentes

## Área foliar

Al analizar el comportamiento del área foliar (figura 5), se observó una influencia positiva del sombreado, ya que los valores más altos se presentaron en el tratamiento con mayor porcentaje de sombrío (T4 65%); igualmente, los tratamientos T2 y T3 (35% y 50 % de sombrío respectivamente) presentaron un comportamiento similar a lo largo del ciclo del cultivo, aunque al final de las evaluaciones, los valores de AF en estos dos tratamientos fueron inferiores al área foliar alcanzada por T4. Todos los tratamientos con sombra mostraron valores superiores al área foliar al tratamiento a libre exposición solar (T1).

Los modelos correspondientes a cada uno de los tratamientos se ajustaron a modelos de tipo lineal con un R<sup>2</sup> superiores al 74% de ajuste.

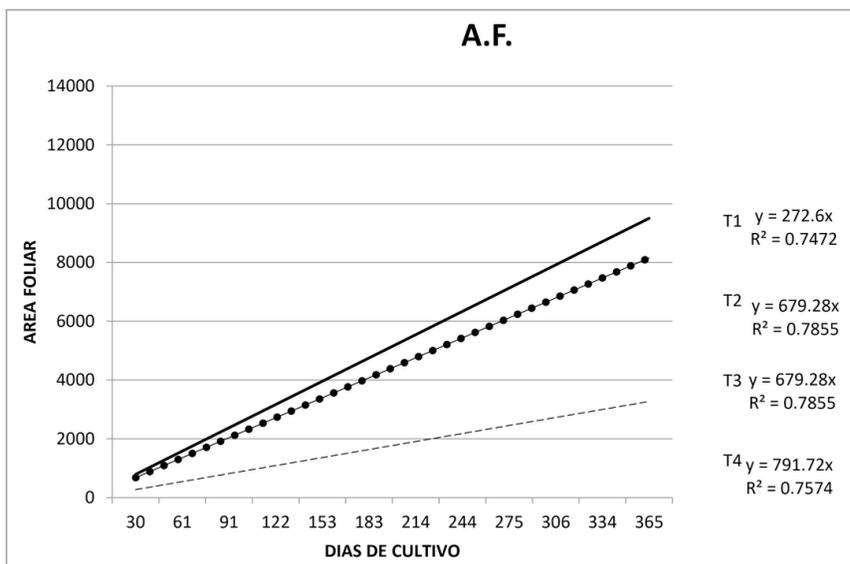


Gráfico 1. Comportamiento de la variable Área Foliar durante los primeros doce primeros meses de ciclo de cultivo para los diferentes tratamientos evaluados.

La variable área foliar (AF) en los tratamientos T2, T3, y T4, presenta una tendencia ascendente durante todo el periodo de evaluación. A diferencia de los tratamientos con algún grado de sombra, el tratamiento con iluminación plena incrementó su AF hasta el mes de diciembre, para luego decrecer y estabilizar su crecimiento hasta el final de las evaluaciones; la escasa pluviosidad y baja humedad de suelo, que se evidenciaron a lo largo de las evaluaciones es de las variables climáticas, unida a la presencia de vientos provocó una fuerte defoliación traducida en la caída de los valores de área foliar (AF). Puede afirmarse que el mejor modelo que es el T4 cuya pendiente ( $b= 791.72$ ) fue superior a los demás tratamientos.

En este sentido, la dinámica de la mortalidad foliar en café es poco conocida; algunos datos obtenidos por Cenicafe (2019), muestran un amplia variación en cuanto a la duración de las hojas así: cafetales al sol entre 132 y 571 días (promedio 354 días), y en cafetales a la sombra entre 176 y 522 días ( 385 días promedio), con una mayor frecuencia de caída de las hojas entre los 10 y 12 meses de edad, lo que coincide con este estudio en donde después del mes de diciembre empieza una defoliación considerable, la cual se evidenció cuando se hizo el conteo de numero de hojas por planta, en el tratamiento sembrado a libre exposición solar (T1); estudios realizados por Cenicafe (2019) encontraron que el área de hojas verdes es el principal y mayor determinante de la absorción de la luz y de la fotosíntesis del cultivo. Bajo condiciones óptimas, la intensidad de la luz y la temperatura son los factores medioambientales que más influyen en la tasa de expansión foliar. La intensidad de la luz determina la tasa de fotosíntesis y por lo tanto el suministro de asimilados para las hojas mientras que la temperatura afecta las tasas de división y expansión foliar Cenicafe (2019).

La dinámica de crecimiento del área foliar (AF), en los cuatro tratamientos evaluados fue superior en los periodos de lluvias (mes de septiembre a diciembre), que el tratamiento testigo (sembrado a libre exposición solar), como se observa en las gráficas de las variables climáticas, se pudo establecer que el crecimiento se detiene cuando inicia el segundo periodo de sequía; estos resultados coinciden con los obtenidos en estudios realizados por Cenicafe (2013), quienes determinaron que en la zona cafetera del centro del país se presentan dos meses consecutivos de lluvia, por debajo del valor mínimo requerido por el cultivo, que hace necesario manejar sistemas de sombrero y recomendar prácticas de conservación del agua en el suelo con el fin de que el cultivo no se afecte.

## Índice de área foliar

Los resultados del índice de área foliar, se presentan en la figura 6, la tendencia de los tratamientos que se encuentran sembrados bajo sombrero los cuales presentan los valores más altos en relación al tratamiento sembrado a libre exposición solar, este comportamiento se describe durante el periodo de abril a agosto del primer año, en donde no se observan cambios en la variable en los diferentes tratamientos, al ser este un periodo caracterizado por el bajo nivel de precipitación, a partir del mes de septiembre (inicio del

periodo de lluvias para la zona sur), el índice de área foliar empieza a incrementarse de manera considerable presentando valores más altos en todos los tratamientos sembrados bajo sombrío artificial, siendo el tratamiento T4 (65% de sombra), el que presenta los mayores cambios (0,7) en dicha variable, y se puede determinar que inclusive durante el inicio del segundo periodo seco, enero y febrero del siguiente año, esta tendencia continua, caso contrario a lo observado con el tratamiento sembrado a libre exposición solar, el cual no logra valores considerables en esta variable (0,15) en relación con los otros tratamientos sembrados bajo sombrío T2 (0,6) y T3 (0,6) al final del periodo de evaluación.

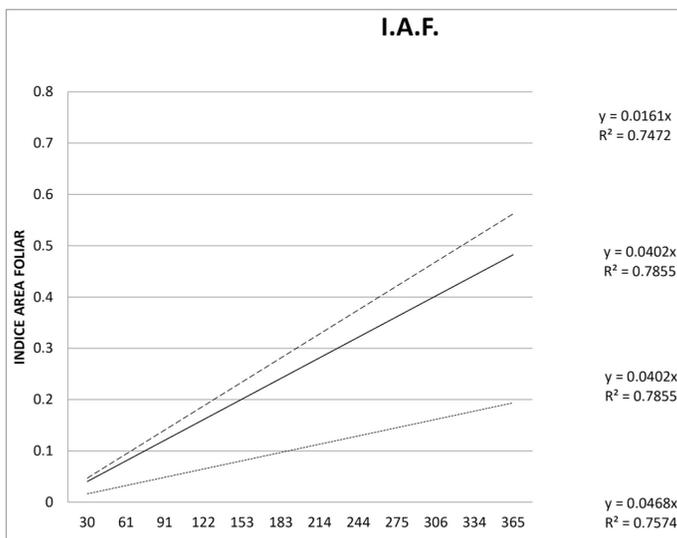


Gráfico 2. Comportamiento de la variable índice de área foliar en los doce primeros meses de ciclo de cultivo para los diferentes tratamientos evaluados.

Al analizar la variable índice de área foliar (figura 6) se observó una influencia positiva del porcentaje de sombrío. Para el tratamiento de 65% de sombra (T4), las plantas mostraron los más altos valores en el coeficiente de x (0,0468), seguida de los tratamientos 2 (35%) y 3 (50%) respectivamente. El índice de área foliar obtenido en el tratamiento testigo (libre exposición solar) con un coeficiente bajo (0,0161) en comparación a los tratamientos bajo sombra. Lo anterior puede deberse al hecho de que el sombrío al potenciar el metabolismo celular favorece el incremento del área foliar cuando están las plantas sembradas bajo sombra.

El sombreado es una técnica creciente en las plantaciones de café en diferentes regiones del país, la utilización de esta técnica depende del conocimiento de la variación del periodo de lluvias e índice de área foliar (IAF), teniendo en cuenta que el área foliar del cultivo es la responsable de las mayores pérdidas de agua. Por lo tanto, el estudio de esta variable permite la estimación de las necesidades hídricas del cultivo, así como identificar las mejores estrategias de gestión de irrigación, que permitan el uso más eficiente, económica y ambientalmente sostenible, debido a la escasez de este recurso para la agricultura (Santinato *et al.* 1997).

Al respecto (Farfan *et al.* 2003) mencionaron que un criterio fundamental en los aumentos de la producción agrícola de la última mitad del siglo es el incremento de la interceptación de la radiación solar por las plantas cultivadas, ya sea por cambios en su arquitectura o por aumentos en la densidad de población, lo que ocasiona un incremento del área foliar total capaz de interceptar y convertir dicha energía lumínica en energía cosechada, en donde cultivos de café con edad de 15, 17 y 20 meses presentan valores de índice área foliar de 0,27, 0,58 y 0,68 respectivamente, lo cual concuerda con este trabajo puesto que en el periodo final de evaluación cuando el cultivo de café se aproxima a los 12 meses de edad el IAF llega a 0,56 en el tratamiento T4 (65% de sombra) y a 0,48 para los tratamientos T2 y T3 (35 y 50% de sombra); el tratamiento T4 por estar sometido a una mayor penumbra (65% de sombra) tiende a aumentar su área foliar para interceptar la radiación que necesita.

Se debe aclarar que todos los tratamientos bajo sombra, constaban de material inerte (polisombra plástica) ya que esta interacción de sombrío artificial no genera cambios considerables en humedad relativa y temperatura, como se observa en las gráficas de las variables climáticas, que influyeron de manera directa en las variaciones de índice de área foliar. Es importante cuantificar el grado de sombra adecuado que producen las especies arbóreas que podrían asociarse al cultivo de café y poder relacionar de manera directa la radiación disponible con el crecimiento, el área foliar, la producción entre otros (Farfan *et al.* 2003).

### **Intensidad De Asimilación Neta**

Como se puede observar en la figura 7, el tratamiento T2 correspondiente a un nivel de sombra del 35%, presentó en el quinto mes los mayores valores de asimilación neta en comparación a los demás tratamientos; los tratamientos con niveles de sombra del 50% (T3) y 65% (T4), mostraron similares comportamientos al tratamiento a libre exposición (T1).

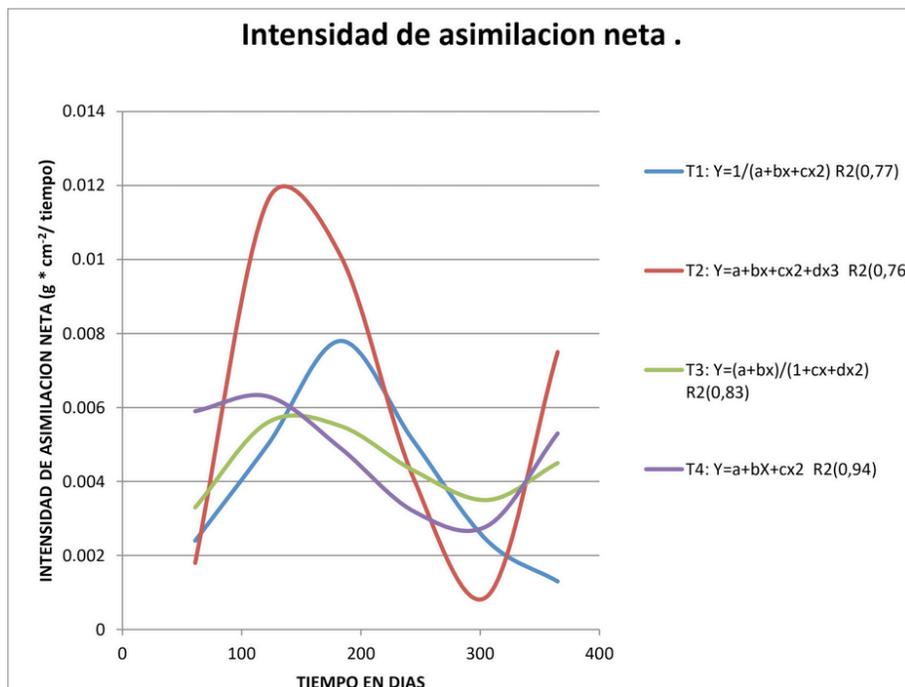


Figura 7. Comportamiento de la variable intensidad de asimilación neta en los doce primeros meses del ciclo de cultivo para los diferentes tratamientos.

Dentro de los modelos obtenidos para este estudio, el mejor, lo presento el tratamiento T2 (35% de sombra) con un modelo Polinomial de grado tres, seguido por los tratamientos T1 con un modelo de Harris (libre exposición solar), T3 (50% de sombra) con un modelo racional y T4 (65% de sombra) con un modelo cuadrático, el tratamiento T2 el cual presenta mayores variaciones, posee un R<sup>2</sup> de 77%.

En el tratamiento sembrado con un porcentaje de sombrero del 35% (T2) se observan los valores más altos en cuanto al índice de asimilación neta, entre los 100 y 200 días de cultivo, lo cual permite afirmar que la planta utiliza esta luminosidad de manera más eficiente en comparación a los demás tratamientos bajo sombrero T3 y T4 (50 y 65%), mientras que el tratamiento a libre exposición solar (T1), incrementa su IAN, en los primeros 60 días de cultivo, después de los 200 días de cultivo empieza un descenso que se mantiene hasta la última evaluación (365 días de cultivo). Farfan y Jaramillo (2009) confirman que la asimilación neta depende de numerosos factores, puesto que a medida que avanza el ciclo del cultivo, la planta empieza a experimentar procesos de una rápida asimilación de la radiación (periodo del cuarto al octavo mes, periodo de lluvia) y comienza su declive a partir del noveno al décimo mes (periodo de sequía), pasando por un estado de reactivación (últimos dos días del cultivo). Smart y Robinson (1991) resumen el efecto de las condiciones ambientales, sobre el comportamiento de las plantas, en que las estomas se abren y se

cierran como respuesta a la radiación. A medida que avanza el día la planta transpira, y cuando es incapaz de translocar el agua suficiente desde las raíces para satisfacer las tasas de transpiración, cerrará parcial o totalmente los estomas. Avanzada la tarde, si las condiciones ambientales vuelven a ser propicias, la planta abrirá de nuevo las estomas. Pero, en cualquier caso, al atardecer como consecuencia de la caída de la luz, éstos se cerrarán y permanecerán así durante toda la noche, bloqueando el proceso fotosintético, como se evidencio en el tratamiento sembrado bajo libre exposición solar (T1), en donde la radiación alcanzaba valores muy superiores a los evaluados para los tratamientos bajo sombrío (T2, T3 y T4), como se relacionan en las gráficas de radiación fotosintéticamente activa a lo largo del ciclo de cultivo evaluado.

### Índice de crecimiento relativo

Como se puede observar en la figura 8, el tratamiento dos (T2) presentó los valores más altos en cuanto al crecimiento relativo del cultivo en el periodo de 100 A 150 días de cultivo, teniendo un modelo racional con un  $R^2$  de 0,90; cabe resaltar que el tratamiento T3 (sembrados a 50% de sombra) con un modelo racional y un  $R^2 = 0,83$ ; no presentan un comportamiento diferente al tratamiento testigo T1 (libre exposición solar) que presento un comportamiento cuadrático con un  $R^2= 0,96$ , lo que permite inferir que el uso excesivo de sombreamiento puede llevar a un retraso en el crecimiento, puesto que el tratamiento expuesto a mayor penumbra (T4, 65 % de sombra) presento un comportamiento Polinomial en grado tres con un  $R^2= 0,74$ ; pero no se diferencia de tratamientos T3 y T1.

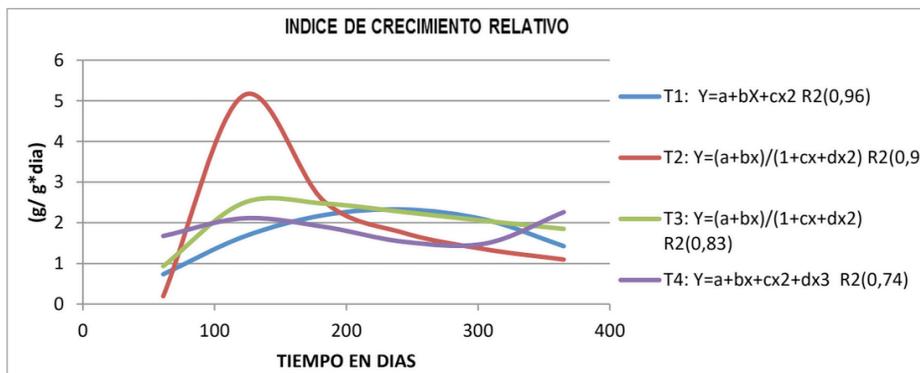


Figura 8. Comportamiento de la variable índice de crecimiento relativo en los doce primeros meses de ciclo de cultivo para los diferentes tratamientos evaluados.

Myster and Moe (1995) afirman que las diferencias diarias de temperatura y caídas de temperatura, tienen efectos en el crecimiento del cultivo, si bien en este estudio se relaciona los cambios diarios de temperatura (altas amplitudes térmicas), en los cuales las diferencias son mínimas, es importante mencionar que el periodo en el que más el índice de crecimiento de cultivo aumenta sus valores, es en el periodo 50 hasta los 150 días de

cultivo ( periodo de mayo a septiembre), , para el tratamiento sometido a 35% de sombra (T2), es este periodo el de mayor ganancia de crecimiento (5), mientras que el tratamiento T3 y T4(50 y 65 % de sombra) solo llegan a valores de 2,7 en el mismo periodo, para el caso del tratamiento testigo T1 (libre exposición solar), sus valores de índice de crecimiento no superan el número dos y durante todo el ciclo de cultivo está por debajo de los tratamientos sembrados bajo sombra, cabe resaltar que el periodo de mayo a septiembre coincidió con el inicio en la división y formación de órganos de la planta de café, después de doscientos días y hasta el los 370 días de cultivo, no se observan cambios numéricos considerables en el cultivo debido posiblemente al cese de crecimiento vegetativo y a la entrada de la fase de ciclo reproductivo del mismo, lo cual es determinado para todos los tratamientos independientemente de si hay o no sombreamiento.

Swisher, (1999) demostró la interacción entre las variables precipitación y temperatura ambiente de la zona, observando una relación directa con la temperatura, y la ganancia de grados día en relación al crecimiento y desarrollo del cultivo y mencionó que durante agosto, época de verano, se incrementó la temperatura y disminuyeron las precipitaciones, que en cultivo a plena exposición solar causan un exceso de temperatura que repercute en descenso del crecimiento, como se observó en las gráficas de las variables climáticas en especial en el cultivo sembrado bajo libre exposición solar (T1); el desarrollo fisiológico relacionado con la elevación de la temperatura en la planta está acompañada de una baja la humedad del suelo, causando condiciones favorables; en plantaciones bajo sombrero, se forman microclimas dentro de las plantaciones de café, que evitan ese exceso de temperatura y baja de humedad del suelo cuando se utilizan especies vegetales determinadas, en este estudio no se presentaron variaciones entre los tratamientos con sombrero y el tratamiento sembrado a libre exposición solar, lo cual permite inferir que la temperatura no afecto solo dentro de los microclimas generados al interior de cada tratamiento, sino que estos dependen igualmente de la humedad del suelo y de la precipitación, independientemente del sombreamiento; es importante mencionar que en este caso el sombrero es un efecto generado por un material sintético que, si bien, interfiere en la entrada de los rayos solares, no modifican sustancialmente las variables ambientales mencionadas como si lo hacen las especies arbóreas que generan sombrero.

## Índice de crecimiento del cultivo

En las evaluaciones del ICC, los valores fueron siempre crecientes en los tratamientos sembrados bajo sombrero; los tratamientos con sombreamiento presentan bajos incrementos en las etapas iniciales del cultivo, y valores que se incrementaron fuertemente a partir de los 250-300 días con un modelo de tipo Polinomial en grado tres y racional con unos valores de  $R^2$  entre 0,88 y 0,96 para los tratamientos T2, T4 y T3. El testigo (T1) presento un bajo ICC durante todo el primer año de cultivo con un comportamiento ajustado al modelo de Richards y de un  $R^2= 0,90$ , como lo muestra la figura 9.

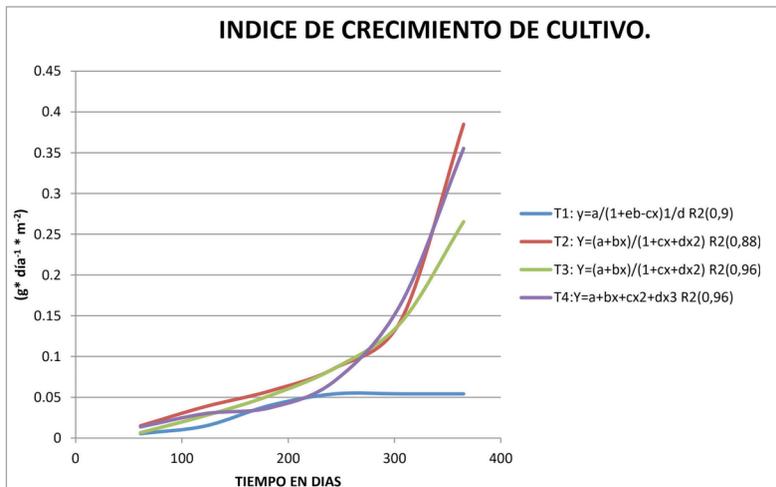


Figura 9. Comportamiento de la variable índice de crecimiento de cultivo en los doce meses de ciclo de cultivo para los diferentes tratamientos evaluados.

El comportamiento de la variable ICC, coincide con los estudios realizados por Farfan *et. al.* (2003), los cuales evaluaron el comportamiento fisiológico del cultivos de café bajo sombrío y encontraron que el resurgimiento notorio del crecimiento en extensión y desarrollo se da de manera más pronunciada en los periodos de septiembre-octubre, con una buena disponibilidad hídrica y energética; aunque en el periodo enero-febrero y marzo, (250 a 350 días de cultivo) se presentó una tendencia marcada en el déficit hídrico, su efecto sobre el crecimiento y el desarrollo no fue notorio en los tratamientos T2, T4 y T3; si bien en los periodos de sequía el crecimiento de la planta continua, lo hace con menor velocidad, en relación a periodos de tiempo donde el agua no es un factor limitante. Además, la radiación solar, por su cantidad y distribución espectral, juega un papel importante en la regulación del crecimiento y desarrollo vegetal, cuando se siembra a libre exposición solar (Farfan *et. al.* 2003).

En las investigaciones realizadas por Farfan *et. al.* (2003), y de acuerdo a los modelos ajustados que se utilizaron para observar el crecimiento fisiológico, se atribuye los bajos valores de crecimiento vegetativo, al estrés hídrico, el brillo solar y la temperatura, los cuales favorecen la maduración de la planta de café, y encontraron que el déficit hídrico podría ser el factor más limitante en condiciones de cultivo a libre exposición solar, coincidiendo con lo encontrado en este trabajo, donde el testigo T1 (libre exposición solar), parece estar afectado de manera directa por las condiciones ambientales; su crecimiento nunca fue superior independientemente de los periodos evaluados (365 días de cultivo), y estuvo siempre por debajo de los tratamientos sembrados bajo sombra.

## ALTURA DE PLANTA

En la tabla 4 se presenta la prueba de comparación de promedios correspondientes a la altura de planta en los diferentes tratamientos. La altura de plantas obtenida en los tratamientos T2, T3 y T4, fue de 59,16cm, 59,33cm y 68,83cm, respectivamente, sin diferencias estadísticas entre ellos, pero con diferencias al compararse con el T1, que presentó una altura de 42,83cm.

VARIABLE	ALTURA DE PLANTA (cm)	BIOMASA SECA (g)				LONGITUD DE RAMAS (cm)			NUDOS POR RAMA
		HOJAS	TALLO	RAIZ	TOTAL	BAJO	MEDIO	ALTO	
T1	42,83B	9,07B	10,61B	4,87B	24,56B	19,75B	16,91B	4,75B	1,83B
T2	59,16A	79,29A	33,58A	15,85A	128,73A	29,33AB	25,16A	9,83A	2,66AB
T3	59,33A	57,72AB	26,93AB	13,84A	98,49AB	30,16AB	22,16AB	10,16A	2,83AB
T4	68,83A	79,29A	30,55A	13,91A	111,13A	32,50A	25,16A	11,83A	3,16A

\*letras diferentes indican diferencia estadística entre los tratamientos.

Tabla 4. Prueba de comparación de medias para las variables altura de planta, biomasa seca de hojas, tallo, raíz, y total, Longitud de ramas en el tercio bajo, medio, alto y número de nudos por rama, obtenido con diferentes niveles de sombreado en el ecotopo 221A (Nariño) 2015.

En plantaciones de café cultivadas con niveles de irradianza baja o relativamente baja es común observar respuestas de plantas con adaptaciones a ambientes sombreados, por ejemplo: punto de compensación de luz bajo (Rena *et al.* 1994), aumento del área foliar específica, reducción en el grosor de la cutícula, aumento de la altura de la planta, como se observó en este trabajo en donde el café sin sombra fue presentando alturas inferiores a los tratamientos sembrados bajo sombra.

La cantidad de radiación solar y el agua disponible en el suelo son dos factores que interactúan, particularmente en ambientes secos; por lo tanto, las respuestas de las plantas a la luz o a la sombra están muy afectadas por la disponibilidad hídrica. No obstante, los efectos de la interacción que se pueden identificar en cada caso varían dependiendo sobre todo de la variable de respuesta (ecofisiológica, crecimiento, supervivencia) de las especies y de la variabilidad climática (Valladares *et al.* 2005).

## BIOMASA SECA

**Biomasa seca total.** La tabla 4 muestra la prueba de comparación de Tukey (0,05) para los promedios de biomasa seca obtenidos con los diferentes tratamientos. El cultivo a libre exposición (T1; 24,56g) y el tratamiento con 50% de sombra (T3; 98,49g) se comportaron estadísticamente similares en la biomasa total; los tratamientos con 35% de sombra (T2; 128,73g) y 65% de sombra (T4; 111,13g), fueron estadísticamente superiores a los dos primeros.

**Biomasa de seca de Raiz.,** todos los tratamientos con sombra T2 (15,85g), T3 (13,84g) y T4 (13,91g) presentaron una mayor biomasa radical que el tratamiento T1 (4,87), presentando diferencias estadísticas (Tabla 4).

**Biomasa seca de Tallos.** En esta variable se presentaron diferencias estadísticas significativas entre el tratamiento T4 (30,55 g), T2 (33,58 g) y el tratamiento testigo T1 (10,61 g), pero no se encuentran diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos T3 (26,93) y T1 ni tampoco entre los tratamientos bajo sombra (T2, T3 y T4), como lo representa la prueba de Tukey (Tabla 4).

**Biomasa seca de Hojas.** Para esta variable se presentaron diferencias estadísticas significativas entre el tratamiento T4 (79,29), T2 (79,29 g) y el tratamiento testigo T1 (9,07g), pero no se encuentran diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos T3 (57,72) y T1, ni tampoco entre los tratamientos bajo sombra (T2, T3 y T4) como lo representa la prueba de Tukey (Tabla 4).

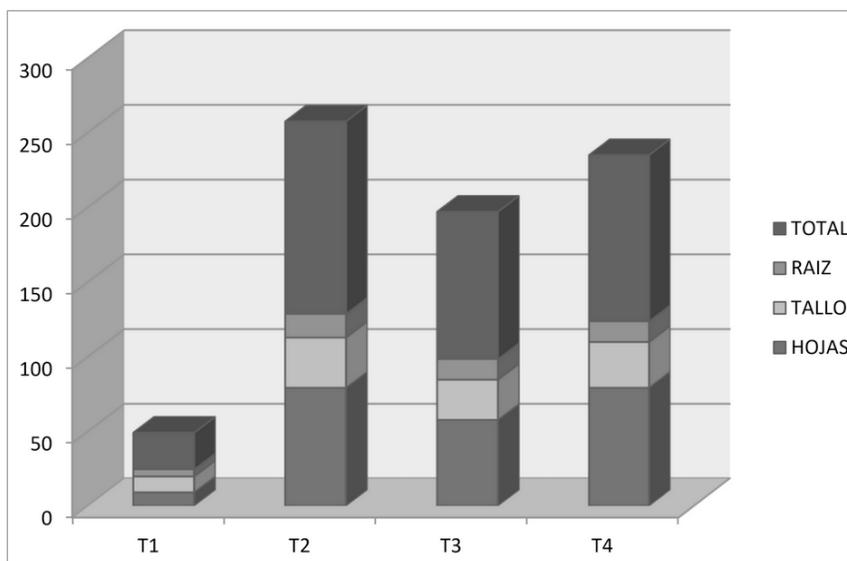


Figura 10. Comportamiento de la variable Biomasa seca de Total, Raiz, Tallo, Hojas, en los tratamientos T1, T2, T3 y T4.

Como lo muestra la figura 10, estos resultados coinciden con los reportados por Arcila (2009) puesto que afirman que los tratamientos sembrados bajo sombrío presentan valores más altos de biomasa de raíces, basados en los resultados obtenidos con un sistema de sombrío de guamo (*Inga sp.*); la densidad aparente y el espacio poroso que son propiedades importantes y que están influenciadas por las condiciones climáticas que determinan las condiciones ideales para el desarrollo y distribución de las raíces, con base en este parámetro se puede determinar que el mal desarrollo radical puede causar problemas de anclaje, alta incidencia de mancha de hierro y cosechas de mala calidad, entre otros, tal como sucedió en este estudio donde el tratamiento sembrado bajo libre exposición solar (T1) presentó los valores más bajos en la biomasa seca de las raíces (4,87gr).

El desarrollo del sistema radical de un árbol es un proceso muy complejo que involucra muchos factores internos y ambientales, y sus interacciones. Entre los factores ambientales se encuentran el índice de humedad del suelo (capacidad de campo, exceso y déficit de agua), la disponibilidad de nutrientes, la luminosidad, condicionante en relación con el aumento de temperatura y la disponibilidad de agua necesaria para el buen desarrollo del sistema radical y el estrés mecánico. En general, existe muy poca información cuantitativa sobre todos los aspectos del desarrollo radical de los árboles (Coutts *et al.* 1999).

Igualmente, los resultados observados en la gráfica 10, coinciden con la afirmación de Riaño *et al.* (2004) cuando afirma que el potencial de acumulación de la materia seca es modulado por la distribución de asimilados entre los frutos y los órganos vegetativos durante su etapa de crecimiento exponencial, y que este proceso está íntimamente relacionado con la oferta ambiental.

Los órganos vegetativos responden continuamente al estímulo de la radiación y es esta la que modifica en muchos casos la estructura y la longitud de los mismos como lo menciona Anten *et al.* (2005) quienes realizaron un análisis de las relaciones dimensionales de tallos y hojas de cada una de las tres categorías de ejes identificadas en el presente estudio (tronco, ramas principales y ramas terminales) concluyendo la función que cumple cada una de estas categorías. El tronco presenta unidades de alargamiento con bajas relaciones entre la longitud y el peso del tallo y entre el área foliar y el volumen del tallo. Dados estos resultados, podría concluirse que el tronco estaría más capacitado que las ramas cortas para soportar la carga estática debida a su propio peso y el de sus ramas, así como la carga dinámica debida al viento y que es en la parte terminal en donde se presenta la mayor elongación de los tejidos la cual es más influenciada por las condiciones ambientales (temperatura, humedad relativa, precipitación, velocidad del viento), y por eso en esta zona de la planta es donde se presentan mayores variaciones en relación a los demás tercios evaluados.

## LONGITUD DE RAMAS

**Tercio Alto.** En la tabla 4, se observa la prueba de Tukey (0,05) para la variable longitud de ramas en los tercios bajo, medio y alto, de las plantas de café en cada tratamiento; los sistemas que se encuentran sembrados bajo sombrío (T2, T3 y T4) presentan las mayores longitudes en el tercio alto evaluado, en comparación al tratamiento sembrado a libre exposición solar (T1).

**Tercio Medio.** Para este tercio de la planta, los tratamientos sembrados bajo sombrío T4 (25,16cm) y T2 (25,16cm) presentan diferencias estadísticas significativas, al tratamiento T1(16,91cm) sembrado a libre exposición solar, pero este a su vez no presenta diferencias con el tratamiento T3 (22,16cm), el cual está sembrado bajo sombrío del 50% (Tabla 4).

**Tercio Bajo.** En este tercio de la planta el tratamiento sembrado bajo sombrío de 65% T4 (32,50cm) presentan diferencias estadísticas significativas, con el tratamiento T1 (19,75cm) sembrado a libre exposición solar, pero este a su vez no presenta diferencias con el tratamiento T3 (22,16cm), el cual está sembrado bajo sombrío del 50% y el tratamiento T2 (29,33cm), sembrado bajo 35% de sombra (Tabla 4).

En los resultados de la variable longitud de ramas en sus tres tercios, se puede observar que el tratamiento donde se obtuvo la mayor longitud en las ramas del tercio bajo (32,5cm) fue el de mayor porcentaje de sombrío (T4 65% de sombra), con diferencias estadísticas respecto al tratamiento testigo (T1) con 19,75cm; no se presentaron diferencias entre los demás tratamientos. En el tercio medio, fueron los tratamientos T2 y T4 los que permitieron una mayor longitud de ramas (25,16cm y 25,16cm) con diferencias estadísticas al compararse con T1(16,91cm) pero sin diferencias con T3 (22,16cm); en el tercio superior, los tres tratamientos sombreados (T2, T3 y T4) mostraron mayores longitudes de ramas que el testigo T1 (4,75cm).

Estos resultados se pueden comparar con las investigaciones realizadas por Barthélémy & Caraglio (2007) quienes evaluaron el comportamiento de la elongación de tejidos en numerosas especies leñosas, y concluyeron que cada eje constituyente del sistema caulinar suele alargarse en forma constante, de modo que alternan períodos de alargamiento de los ejes y períodos en los cuales la longitud de los mismos se mantiene constante. En general, lo anterior permite agrupar a las porciones de un eje correspondientes a sucesivos períodos de alargamiento, en «*unidades de alargamiento*» (UA). La UA puede ser considerada una unidad estructural y funcional de un eje, dada la relativa simultaneidad con que se desarrollan el tallo y las hojas que la componen están determinadas por factores ambientales como la disponibilidad hídrica, la humedad y la luminosidad que condicionan estos comportamientos.

De la misma forma trabajos relacionados con el crecimiento de las ramas de café presentados por Gonzales de Miguel (2007), indican que el crecimiento vegetativo es mayor cuando la duración de los días se incrementa, aunque en la zona ecuatorial tanto el crecimiento vegetativo, como la floración ocurren periódicamente. Así mismo Barros y Maestri (1974), determinaron que la curva de reducción en la velocidad de crecimiento de las ramas coincidía con las altas temperaturas, lo cual puede explicar el por qué el tratamiento T1 mostro un menor crecimiento de ramas que los tratamientos con diferentes niveles de sombreado.

## NUMERO DE NUDOS POR RAMA

El análisis de varianza (Tabla 3) para el número de nudos por ramas en el tercio bajo, medio y superior, permitió determinar la ausencia de diferencias significativas en las fuentes de variación de la variable para los tercios bajo y medio; para las ramas del tercio superior se encontraron diferencias estadísticas en el número de nudos.

La prueba de comparación de medias para el número de nudos de las ramas del tercio superior (Tabla 4), mostró diferencias estadísticas en el valor obtenido con el tratamiento T4 (3,10 nudos/rama) y el testigo T1 (1,83 nudos/rama); no se presentaron diferencias entre los demás tratamientos.

Después de analizar los resultados tanto para las variables fisiológicas y climáticas contempladas en este estudio se puede afirmar que para esta zona, el café necesariamente necesita ser sembrado bajo sombrío si se quiere tener una mejor actividad fisiológica que repercuta en una alta productividad como lo menciona DaMatta, (2004) quienes evaluaron diferentes comportamientos fisiológicos de cultivo de café bajo sombrío y a libre exposición solar y determinaron que, es inadecuado clasificar al cafeto como una especie típica de sombra, pero sí se le puede denominar como una especie facultativa de sombra o como una especie con una plasticidad relativamente elevada de su aparato fotosintético a los cambios de la irradianza.

El número de nudos es una variable que se utiliza para cuantificar la productividad del cultivo de café; en esta investigación no se presentaron diferencias estadísticas entre los tratamientos en las ramas de los tercios bajo y medio de las plantas de café lo cual coincide con lo reportado en los estudios realizados por Farfan y Urrego (2004), quienes al comparar la producción de seis cosechas de cuatro tratamientos sembrados bajo sombrío mostraron que no hay diferencia entre las producciones de café obtenidas bajo diferentes coberturas arbóreas (Nogal, pino y eucalipto), ni entre los tratamientos con sombrío y el café a libre exposición.

En muchos casos, las ramas pueden sufrir una deshidratación severa o presentar una reducción en su crecimiento, lo que puede provocar la disminución de la producción en la cosecha siguiente. Por lo tanto, la arborización o sombrío en ese contexto puede

minimizar significativamente la ocurrencia de daños foto-oxidativos. Esto puede explicar, por lo menos en parte, por qué la arborización puede ser más eficiente para mantener el vigor de las plantaciones de café en regiones marginales o bajo condiciones sub-óptimas de cultivo (DaMatta, 2004).

## CONCLUSIONES

El sombrío influyó de manera directa en el comportamiento de las variables fisiológicas del cultivo de café variedad Castillo®, los tratamientos sembrados bajo sombrío crearon un microclima, modificando las variables climáticas que favoreció la conservación de la humedad del suelo, que puede ser alterada por la acción de la radiación.

Los tratamientos con diferentes niveles de sombreamiento artificial favorecieron el comportamiento de las variables peso seco de raíz, longitud de ramas del estrato alto y altura de planta; la biomasa seca de hojas, tallos, total y longitud de ramas del tercio medio fueron favorecidas por los tratamientos correspondientes a 65% y 35 % de sombreamiento.

Las variables longitud de ramas del tercio bajo y el número de nudos por rama, se vieron altamente favorecidas por el nivel de sombreamiento correspondiente al 65% (T4), en donde se presentaron diferencias significativas con el tratamiento sembrado a libre exposición solar (T1).

En las variables climáticas, los tratamientos bajo sombrío (T2, T3 y T4) presentan valores más altos en comparación al testigo (T1) que fue sembrado a libre exposición solar, todos los tratamientos presentan un comportamiento ascendente en los primeros cinco (5) meses de evaluación (periodo de abril a agosto) y después de este periodo todos los tratamientos presentan un decrecimiento y un comportamiento estable durante la etapa final de evaluación.

En las variables índice de asimilación neta (IAN) índice de crecimiento relativo (ICR), índice de crecimiento de cultivo (ICC), área foliar (AF) e índice de área foliar (AIF), todos los tratamientos sembrados bajo sombrío (T2, T3 y T4) presentaron valores superiores que el tratamiento testigo (T1), sembrado a libre exposición solar), durante todo el ciclo evaluado.

## REFERENCIAS

ANTEN, P. R., R. CASADO-GARCIA & H. NAGASHIMA. 2005. Effects of mechanical stress and plant density on mechanical characteristics, growth, and lifetime reproduction of tobacco plants. *Amer. Naturalist* 166: 650-660.

ARAUJO WL, DIAS PC, MORAES GABK, CELIN EF, CUNHA RL, BARROS RS, DAMATTA F.M. 2008 Limitations to photosynthesis in coffee leaves from different canopy positions. *Plant Physiol Biochem* 130: 1992-1998.

ARCILA P., 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. Boletín Técnico Cenicafé No. 23:1-31.

- BARROS, R.S., J.W.S. MOTA, F.M. DAMATTA Y M. MAESTRI. 1999. Decline of vegetative growth in *Coffea arabica* L. in relation to leaf temperature, water potential and stomatal conductance. *Field Crops Res.* 54, 65-72.
- BARTHÉLÉMY, D. & Y. CARAGLIO. 2007. Plant architecture: a dynamic, multilevel and comprehensive approach to plant form, structure and ontogeny. *Ann. Bot.* 99: 375-407.
- BEER J, MUSCHLER RG, KASS D, SOMARRIBA E 1998. Shade management in coffee and cacao plantations. *Agrofor Syst* 38:139–164.
- CAMARGO A., P. D; PEREIRA, A.R. (1994). Agrometeorology of the coffee crop. Ginebra, World Meteorological Organization, 43 p.
- CARAMORI PH, ANDROCIOLI FILHO A, BAGIO A. 1995. Arborização do cafezal com *Grevillea robusta* no norte do estado do Paraná. *Arq. Biol. Tecnol.* 38:1031-1037.
- CASTILLO Z., J. LÓPEZ A., R. 1966. Nota sobre el efecto de la intensidad de la luz en la floración del café. *Cenicafé* 17(2):51 - 60.
- CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIONES DE CAFÉ-CENICAFÉ. 2019. Cenicafé. CHINCHINA. COLOMBIA. Archivo de información climática. Chinchina, Colombia.
- CENTRONACIONAL DE INVESTIGACIONES DE CAFÉ - CENICAFÉ. CHINHINÁ. COLOMBIA. 2000-2001, 2001- 2002, 2002-2003, 2003-2004. Selección por resistencia incompleta a la roya del café. In: Informe anual de la Disciplina de Mejoramiento Genético y Biotecnología. Chinchiná, Cenicafé. Años
- CENTRONACIONAL DE INVESTIGACIONES DE CAFÉ - CENICAFÉ. CHINHINÁ. COLOMBIA. 2013. Selección por resistencia a la enfermedad de los frutos del café (*Colletotrichum kahawae*). In: Informe anual de la Disciplina de Mejoramiento Genético y Biotecnología.
- COUTTS, M.P.; NIELSEN, C.C.N. ; NICOLL, B. C. 1999. The development of symmetry, rigidity and anchorage in the structural root systems of conifers. *Plant and Soil* 217:1-15.
- CHAVES A; TEN-CATEN A.; PINHEIRO HA.; RIBEIRO A.; DAMATTA FM.; 2008. Seasonal changes in photoprotective mechanisms of leaves from shaded and unshaded field-grown coffee (*Coffea arabica* L.) trees. *Trees – Struct. Funct.*, in press. 230p.
- DA MATTA, F.M. 2008. Ecophysiological constraints on the production of shaded and unshaded coffee: a review. *Field Crops Research* 86(2-3): 99-114.
- DAMATTA FM, Ronchi CP, Maestri M, Barros RS. 2007. Ecophysiology of coffee growth and production. *Braz J Plant Physiol* 19(4):485–510.
- DAMATTA, F.M. 2004. Ecophysiological constraints on the production of shaded and unshaded coffee: a review. *Field Crops Res.* 86, 99-114.
- DAMATTA FM. 2004a Ecophysiological constraints on the production of shaded and unshaded coffee: a review. *Field Crops Res.* 86:99-114.
- FAGERIA, N.K., V.C. BALIGAR AND R.B. CLARK. 2006: *Physiology of crop production*. Haworth Press, New York. 342 p.

FARFAN V., F.; JARAMILLO R., A. 2019. Sombrío para el cultivo del café según la nubosidad de la región. Avances Técnicos Cenicafé (Colombia) No. 379:1-8. 98

FARFÁN V., F.; JARAMILLO R., A. 2008. Efecto de la cobertura vegetal muerta y arbórea sobre la disponibilidad de agua en el suelo en sistemas agroforestales con café. Cenicafé, 59(1): 39 - 54. 58

FARFÁN V., F. 2007. Producción de café en sistemas agroforestales. In: Arcila P., J.; Farfán V., F.; Moreno B., A.; Salazar G., L.F.; Hincapié G., E. Sistemas de producción de café en Colombia. Chinchiná, Cenicafé. p. 161-200.

FARFAN V., F.; URREGO, B. 2004. Comportamiento de las especies forestales *Cordia alliodora*, *Pinus oocarpa* y *Eucalyptus grandis* como sombrío e influencia en la productividad del café. Cenicafé 55(4): 39.

FARFAN V., F.; ARIAS H., J.J.; RIAÑO H., N.M. 2003. Metodología para medir sombrío en sistemas agroforestales con café. Cenicafe 54(1): 100.

FRANCK N, VAAST P, GE'NARD M, DAUZAT J. 2006. Soluble sugars mediate sink feedback down-regulation of leaf photosynthesis in field-grown *Coffea arabica*. Tree Physiol 26:517–525.

GOMEZ, L.F.; LOPEZ, J.C.; RIAÑO, N.M.; LOPEZ, Y; MONTOYA, E.C. 2000. Diurnal changes in leaf gas Exchange and validation of a mathematical model for coffee (*coffea Arabica* L.) Canopy photosynthesis. Photosynthetica. 43(4): 575-582. [HTTP://WWW.AGROCADENAS.GOV.CO](http://WWW.AGROCADENAS.GOV.CO) "consolidado agropecuario". Bogotá, marzo 2023.

JARAMILLO, R. A.; RAMIREZ, B.V.H.; ARCILA, P.J. 2021. Distribucion de la lluvia: clave para planificar las labores en el cultivo de café en Colombia. Avances técnicos Cenicafe. No. 411. 8p.

JARAMILLO-ROBLEDO, A. 2005. La redistribución de la radiación solar y la lluvia dentro de plantaciones de café (*Coffea arabica* L.). Rev. Acad. Colomb. Cienc. 29 (112): 371-382.

LEE., S.; TEWARI R., K.; HAHN., E.; PAEK., K. (2017). Photon flux density and light quality induce changes in growth, stomatal development, photosynthesis and transpiration of *Withania Somnifera* (L.) Plant Cell Tiss Organ Cult. 90:141–151 p.

MAESTRI M, BARROS RS, RENA AB. 2001. Coffee. In: Last FT(ed), Tree Crop Ecosystems, pp.339-360. Elsevier Publishers, Amsterdam.

MORENO R., L.G.; ALVARADO A.; G. 2000. La variedad Colombia: Veinte años de adopción y comportamiento frente a nuevas razas de la roya del cafeto. Boletín Técnico Cenicafé No.22: 1- 32.

MYSTER J., MOE R. 1995. Effect of diurnal temperature alternations on plant morphology in some greenhouse crops—a mini review. 4 (2): 33 p.

PENG,S., HUANG, J., SHEEHY, J.E., LAZA,R.C., VISPERAS, R.M. ZHONG, X., CENTENO, G.S., KUSH, G.S., & CASSMAN, K.G. 2004. Rice yield decline with higher night temperature from global warming. In E.D. redone. A.P, Castro & G.P Ilanto, eds, rice integrated crop management: towards a Ricecheck system in the philippines p. 46-56 Nueva ecija, Philippines.

PIMENTEL, D., MCLAUGHLIN, L., ZEPP, A., LAKITAN, B., KRAUZ, T., KLEINMAN, P., VANCINI, F., ROACH, W.J., GRAAP, E., KEETON, W.S. and SELIG, G., 1991. Environmental and economic impacts of reducing U.S. agricultural pesticide use. IN: D. PIMENTEL (editor), Handbook of pest Management in agriculture, second edition,. Vol I. CRC. Press, boca raton FL. Pp. 679-718.

- POVEDA, G., JARAMILLO, A., GIL, M. M., QUICENO, N. & R. MANTILLA, 2001. Seasonality in ENSO – related precipitation, river discharges, soil moisture, and vegetation index in Colombia. *Water Resources Research* 37(8): 2169-2178.
- RAMALHO JC, QUARTIN V, FAHL JI, CARELLI ML, LEITÃO AENUNES MA. 2003. Cold acclimation ability of photosynthesis among species of the tropical *Coffea* genus. *Plant Biol.* 5:631-641.
- RAMÍREZ, L.F.; SILVA, G.; VALENZUELA, L.C.; VILLEGAS, A.; VILLEGAS, L.C. 2002. El café, capital social estratégico; informe final Comisión de Ajuste de la Institucionalidad Cafetera. Bogotá, FNC, 173 p.
- RAMÍREZ B., V.H.; ARCILA P.,J.; JARAMILLO R., A.; RENDÓN S., J.R.; CUESTA G.,G.; MENZA F., H.D.; MEJÍA M., C.G.; MONTOYA, D.F.; MEJÍA M., J.W.; TORRES N., J.C.; SÁNCHEZ A., P.M.; BAUTE B., J.E.; PEÑA Q., A.J. 2010. Floración del café en Colombia y su relación con la disponibilidad hídrica, término y de brillo solar. *Cenicafé* 61 (2):132-158 p.
- RENA, A.B., R.S. BARROS, M. MAESTRI Y M.R. SÖNDAHL. 1994. Coffee. En: Schaffer, B. y P.C. Andersen, (eds.). *Handbook of environmental physiology of tropical fruit crops: Sub-tropical and tropical crops. Vol. II.* CRC Press, Boca Raton. pp. 101-122.
- ROA M., G.; OLIVEROS T., C.E.; ÁLVAREZ G., J.; RAMÍREZ G., C.A.; SANZ U., J.R.; DÁVILA A., M.T.; ÁLVAREZ H., J.R.; ZAMBRANO F., D.A.; PUERTA Q., G.I.; RODRÍGUEZ V., N. 1999. Beneficio ecológico del café. Chinchiná, Cenicafé, 273 p.
- SADEGHIAN K., S.; GONZALES O., H. 2012. Respuesta del café *coffea Arabica L.* a fuentes y dosis de nitrógeno en la etapa de almácigo. En congreso Colombiano de la ciencia del suelo. Scss. Bogota. Colombia.
- SANTINATO, R.; FERNANDES, A. L. T.; FERNANDES, D. R. IrrigaĂo na cultura do café. Campinas:  rvore Agrícola, 1997. 146 p.
- STEIMAN SR, BITTENBENDER HC, IDOL TW. 2007. Analysis of kaolin particle film use and its application on coffee. *Hortscience* 42:1605-1608.
- SWISHER, M. 1999. Manual para los estudios de campo, M dulo 1. La Ecología de la Parcela. Universidad de la Florida. 84p.
- TUBIELO, F.N., M DONATELLI, C., ROSENZWEING and C.O. Stockle. 2000. EFFECT OF CLIMATE CHANGE and elevated CO<sub>2</sub> on cropping systems: model prediction at two Italian location. *European journal of agronomy*, 12: 179-189.
- THINGNAES, E.; TORRE,S.; ERNSEN,A.; MOE, R. 2003. Day and night temperature responses in Arabidopsis: Effect on gibberellin and auxin content, cell size, morphology and flowering time. *Annals of Botany*.92:601-612.
- VAAST P, VAN KANTEN R, SILES P, ANGRAND J, AGUILAR A. 2007. Biophysical interactions between timber trees and Arabica coffee in suboptimal conditions of Central America. In: Shibu J, Gordon A (eds) *Advances in agroforestry: toward agroforestry design: an ecological approach.* Dordrecht, Springer, pp. 135–148.
- VALLADARES., F.; ARANDA., I.; G MEZ S., D. 2005. La luz como factor ecológico y evolutivo para las plantas y su interacción con el agua. In: *Ecología del bosque mediterráneo en un mundo cambiante.* Madrid, Centro de Ciencias Medioambientales. CSIC, p. 335 – 369.