



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CHIAPAS  
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS  
CAMPUS V**



**Caracterización morfológica y fisiológica de 21 cultivares de  
café en Villaflores, Chiapas; México**

## **TESIS**

Que para obtener el grado de  
**MAESTRA EN CIENCIAS EN PRODUCCIÓN AGROPECUARIA  
TROPICAL**

### **Presenta**

**ANA ESMERALDA MUÑOZ OCHOA L091050**

### **Director de tesis**

**Dr. José Alfredo Medina Meléndez**

### **Codirector**

**Dr. Luis Alfredo Rodríguez Larramendi**

**Villaflores, Chiapas; julio de 2024**

Villaflores, Chiapas  
29 de julio de 2024  
Oficio N° FCACV/D/0561/24

**C. ANA ESMERALDA MUÑOZ OCHOA**  
MAESTRANTE EN CIENCIAS EN PRODUCCIÓN AGROPECUARIA TROPICAL  
DE LA FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS CAMPUS V  
P R E S E N T E.

En atención a que usted ha presentado los votos aprobatorios del Honorable Jurado designado para su evaluación de posgrado, de la tesis titulada: **“Caracterización morfológica y fisiológica de 21 cultivares de café en Villaflores, Chiapas; México”**, por este conducto le comunico que se le autoriza la impresión del documento, de acuerdo a los lineamientos vigentes de la Universidad.

Sin otro particular, le envío un cordial saludo.

FACULTAD DE  
CIENCIAS AGRONOMICAS  
ATENTAMENTE  
“POR LA CONCIENCIA DE LA NECESIDAD DE SERVIR”  
UNIVERSIDAD  
DE CHIAPAS  
AUTONOMA  
DIRECCION

**M. C. CARLOS ALBERTO VELÁZQUEZ SANABRIA**  
DIRECTOR

C. c. p. Archivo

CAVS\*marh.





Código: FO-113-05-05

Revisión: 0

## CARTA DE AUTORIZACIÓN PARA LA PUBLICACIÓN ELECTRÓNICA DE LA TESIS DE TÍTULO Y/O GRADO.

El (la) suscrito (a) Ana Esmeralda Muñoz Ochoa, Autor (a) de la tesis bajo el título de “Caracterización morfológica y fisiológica de 21 cultivares de café en Villaflores, Chiapas; México” presentada y aprobada en el año 2024 como requisito para obtener el título o grado de Maestra En Ciencias En Producción Agropecuaria Tropical, autorizo licencia a la Dirección del Sistema de Bibliotecas Universidad Autónoma de Chiapas (SIBI-UNACH), para que realice la difusión de la creación intelectual mencionada, con fines académicos para su consulta, reproducción parcial y/o total, citando la fuente, que contribuya a la divulgación del conocimiento humanístico, científico, tecnológico y de innovación que se produce en la Universidad, mediante la visibilidad de su contenido de la siguiente manera:

- Consulta del trabajo de título o de grado a través de la Biblioteca Digital de Tesis (BIDITE) del Sistema de Bibliotecas de la Universidad Autónoma de Chiapas (SIBI-UNACH) que incluye tesis de pregrado de todos los programas educativos de la Universidad, así como de los posgrados no registrados ni reconocidos en el Programa Nacional de Posgrados de Calidad del CONACYT.
- En el caso de tratarse de tesis de maestría y/o doctorado de programas educativos que sí se encuentren registrados y reconocidos en el Programa Nacional de Posgrados de Calidad (PNPC) del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), podrán consultarse en el Repositorio Institucional de la Universidad Autónoma de Chiapas (RIUNACH).

Tuxtla Gutiérrez, Chiapas; a los 07 días del mes de agosto del año 2024.

Ana Esmeralda Muñoz Ochoa

Nombre y firma del Tesista o Tesistas



**MAESTRÍA EN CIENCIAS EN PRODUCCIÓN AGROPECUARIA TROPICAL**

Esta tesis titulada **CARACTERIZACIÓN MORFOLÓGICA Y FISIOLÓGICA DE 21 CULTIVARES DE CAFÉ EN VILLAFLORES, CHIAPAS-MÉXICO**, registrado en la Coordinación de Investigación y Posgrado de la Facultad de Ciencias Agronómicas Campus V, de la Universidad Autónoma de Chiapas bajo la dirección del Dr. José Alfredo Medina Meléndez.

Se incluye en la Línea de Generación y Aplicación del Conocimiento: Sistemas de producción: Estudio del sistema de producción del café. Misma que corresponde con la Línea de Generación y Aplicación del Conocimiento: Manejo agroecológico de cultivos, del Programa de Maestría en Ciencias en Producción Agropecuaria Tropical.

**ATENTAMENTE**

**DR. JOSE ALFREDO MEDINA MELENDEZ**

**Líder del Cuerpo académico**

## **AGRADECIMIENTOS**

### **A Dios**

Doy infinitas gracias a Dios por ser mi guía y sostén en este camino, iluminando cada paso hacia la culminación de esta etapa. Y también por llenarme de fortaleza en los momentos más difíciles mi vida y nunca soltarme de su mano.

### **A mis padres**

Julio Muñoz Pereyra y Noemí Ochoa guillen, gracias por moldearme y ser de mí una mejor persona con valores muy sólidos, los amo, y siempre ha valido la pena cada momento el esfuerzo que hemos realizado para este logro, gracias por brindarme siempre de todo ese amor que siempre me ha motivado.

### **A mi esposo e hijo**

A mi esposo Manuel de Jesús Cruz Ramos y mi hijo amado Anthony Albieri Cruz Muñoz, gracias por ser un gran apoyo en cada momento de mi vida, dando lo mejor y sobre todo llenándome siempre de amor. Este logro también es de ustedes. Los amo mis amores.

### **A mi familia**

A mis tías: Chely, Bety, Ene, Irma, Albi., hermanos: Martha, Julio, Isamar y milton., y sobrinos (as) por todo el cariño y estar conmigo siempre en cada etapa de mi vida.

### **A mis amigos**

A mis queridos amigos (as) tanto de la maestría, como de toda mi vida por su valiosa amistad, gracias por compartir momentos muy importantes en mi vida.

### **Institución y programa educativo**

Al Consejo Nacional de Ciencias y Tecnología (CONACYT), por el apoyo financiero brindado a lo largo de mis estudios, para llevar a cabo el desarrollo y conclusión de esta presente investigación y así poder contribuir en el ámbito científico y tecnológico de nuestro país.

A la Universidad Autónoma de Chiapas, y el programa de Maestría en Ciencias en Producción Agropecuaria Tropical (MCPAT), por darme la oportunidad de realizar mis estudios de posgrado.

### **Comité tutorial**

A mi Director de tesis, el Dr. José Alfredo Medina Meléndez y al codirector el Dr Luis Alfredo Rodríguez Larramendi, por creer en mí, darme la oportunidad de ser su tesista, por su dedicación, paciencia, brindarme siempre la orientación, y experiencia que han generado nuevos conocimientos y han permitido poder culminar el proyecto de investigación.

A mis asesores, el Dr Ramiro Ruiz Nájera, el Dr Francisco Guevara Hernández, por ser mis asesores de tesis y compartir sus conocimientos y experiencias que me ayudan a mejorar cada día y poder realizar aportes al presente trabajo de investigación.

## CONTENIDO

	Página
<b>1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
1.1 Objetivo general.....	2
1.1 Hipótesis.....	2
<b>2. REVISIÓN DE LITERATURA.....</b>	<b>3</b>
2.1 El cultivo de café.....	3
2.2 Importancia del café en México y en Chiapas.....	3
2.3 Clasificación taxonómica.....	4
2.4 Descripción botánica.....	5
2.5 Condiciones agroecológicas que requiere el cultivo.....	6
2.6 Variedades más cultivas en México.....	6
2.7 Calidad de café.....	8
2.8 Caracterización en el cultivo de café.....	8
2.9 Caracterización morfológica.....	9
2.10 Aspectos fisiológicos del cafeto en respuesta a diferentes condiciones climáticas.....	9
2.11 Fotosíntesis.....	11
2.12 Clorofila.....	13
2.13 Fluorescencia.....	14
2.14 Técnica para medir clorofila.....	14
2.15 Técnica para medir fluorescencia.....	15
<b>3. MATERIALES Y MÉTODOS .....</b>	<b>16</b>
3.1 Localización de área de estudio.....	16
3.2 Material vegetal.....	16
3.3 Muestreo.....	17
3.4 Variables evaluadas.....	17
3.4.1 Altura de planta.....	18
3.4.2 Diámetro de tallo .....	18

3.4.3	Número de ramas.....	18
3.4.4	Número de hojas por planta.....	18
3.4.5	Longitud de ramas plagiotrópicas .....	18
3.4.6	Cantidad de nudos por ramas .....	18
3.4.7	Longitud de entrenudos por ramas .....	18
3.4.8	Área foliar.....	18
3.4.9	Contenido de clorofila.....	19
3.4.10	Fotosíntesis.....	19
3.5	Caracterización micro climática del banco de germoplasma de café.....	19
3.6	Análisis estadístico.....	19
<b>4.</b>	<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>22</b>
4.1	Altura de planta (AP) y diámetro de tallo (DT).....	22
4.2	Numero de ramas (NR), número de hojas (NH), área foliar (AF)....	24
4.3	Largo rama por planta (LRP), cantidad de nudos por planta (CNP), largo de entrenudos por planta (LNP).....	28
4.4	Contenido de clorofila total (CCT).....	32
4.5	Fotosíntesis.....	33
4.6	clasificación fenotípica de las variedades de café acuerdo a las variables medidas.....	37
<b>5.</b>	<b>CONCLUSIÓN.....</b>	<b>39</b>
<b>6.</b>	<b>LITERATURA CITADA.....</b>	<b>41</b>

## Índice de cuadro

		<b>Página</b>
Cuadro 1.	Variables climáticas mensuales del banco de germoplasma de café.....	20
Cuadro 2.	Altura de planta (AP) y diámetro de tallo (DT) de genotipos de café a 470, 562 y 651 días después del trasplante.....	22
Cuadro 3.	Número de ramas (NR), número de hojas (NH) y área foliar (AF) de los cultivares de café.....	25
Cuadro 4.	Largo de rama por planta (LRP), cantidad de nudos por planta (CNP), largo de entrenudos por planta (LEP) de las variedades de café.....	29
Cuadro 5.	Contenido de clorofila total de los cultivares de café a los 470, 562 y 651 DDT.....	32

## Índice de figura

## Página

Figura 1.	Mapa de localización del área de estudio Centro Universitario de Transferencia de Tecnología. San Ramón, UNACH, Villaflores, Chiapas.....	16
Figura 2.	Diseño de la plantación de 21 genotipos de café, establecidos en el Centro Universitario de Transferencia de Tecnología. San Ramón, UNACH, Villaflores, Chiapas.....	17
Figura 3.	Rendimiento cuántico de la fotosíntesis de las variedades de café a los 470 días después del trasplante.....	34
Figura 4.	Rendimiento cuántico de la fotosíntesis de las variedades de café a los 562 días después del trasplante.....	35
Figura 5.	Rendimiento cuántico de la fotosíntesis de las variedades de café a los 651 días después del trasplante.....	36
Figura 6.	Dendograma de clasificación fenotípica de las variedades de café acuerdo a las variables medidas.....	37

## RESUMEN

Existen pocos estudios sobre la caracterización morfológica y agronómica del café en México y en particular en Chiapas, no existen investigaciones ecofisiológicas del cultivo del café, a pesar de ser un cultivo muy importante. Tampoco se han estudiado fisiológicamente las variedades existentes ni las nuevas introducidas con genes de resistencia a la roya, por lo cual estudios encaminados al conocimiento de las diversas características morfológicas y agronómicas en Chiapas son primordiales para asegurar la sostenibilidad de las plantaciones.

Con este fin, es importante y necesario establecer un banco de germoplasma de los cultivares de la región. En este sentido en el CUTT San Ramón de Facultad de Ciencias Agronómicas se ha empezado a trabajar para la creación de este banco de germoplasma. Actualmente se cuenta con 21 genotipos de cafetos, sin embargo, por el momento no se cuenta con la información de la caracterización morfológica y fisiológica.

La información generada del estudio *in situ* de los 21 materiales biológicos de cafetos existentes en el banco de germoplasma permitirá contar con un protocolo de referencia para caracterizar morfológicamente y fisiológicamente las variedades presentes en la región. Con el objetivo de contribuir a la caracterización de genotipos de café a partir de criterios morfoagronómicos y fisiológicos.

Para estudio se utilizaron 21 variedades de café, se realizó un muestreo de órganos de las plantas para la caracterización morfológica y fisiológica, este se llevó a cabo cada 3 meses, haciendo un total de tres muestreos, el primero en octubre 2020, el segundo en enero de 2021 y último en abril 2021.

La caracterización morfológica de las plantas se basó en 10 variables cuantitativas: altura de planta (AP en cm) fue de acuerdo Blanco *et al.* (2003). Diámetro de tallo (DT en cm) se hizo con la metodología según Pilati (2005). Número de ramas (NR) por el método de Pilati (2005). Números de hojas por planta (NHP) según Pilati (2005). Longitud de ramas (LR en cm) la metodología utilizada por Blanco *et al.* (2003). Cantidad de nudos por ramas (CNR) según Pilati (2005). Longitud de entrenudos por ramas (LNR en cm (Suazo, 2020). Área foliar (AF, cm<sup>2</sup>) Se realizó por el método

propuesto por Rodríguez y Pérez (1995). Concentración de clorofilas totales (C) se hizo por el método fluorométrico de Welschmeyer (1994) En lo que respecta a fotosíntesis utilizamos la técnica fluorométrica de acuerdo a Strasser (2000). Todos los parámetros fueron medidos en las 4 repeticiones de las 21 variedades de café. Para la caracterización del microclima del banco de germoplasma se utilizó la metodología según Morais *et al.* (2006) en la cual consiste en un monitoreo cada 20 min de la humedad relativa, cantidad de luz, temperatura ambiente y suelo.

Las variedades que mejor se adaptan a la zona son: mundo novo, Icatu, Garnica Equimite, Gueisha, San Ramón, Mibirizi, Blue Motain, Maracatu, Guadalupe, Moka de tahiti ya que presentaron por arriba de .74 de rendimiento cuántico de la fotosíntesis en los muestreos efectuados, además estas variedades sobresalieron estadísticamente en la mayoría de las variables y por lo tanto se puede decir que son las mejores adaptadas.

Así mismo las variedades estudiadas se agrupan en dos grupos fenotípicos similares en cuanto a las variables medidas, en el primer grupo se encuentra Mundo Novo, Batie, Moka de tahiti, Arabusta, Maracatu y Mibirizi y el segundo grupo está conformado por Icatu 77055 34-6, Gueisha, Guadalupe, SL28, Blue Motain, Typica Xanto Carpa, Limani, Iapar comercial, Mundo novo 450, Garnica Equimite, Iapars, Moka 579 catie 49-45, San Ramón, Catuai Rojo y Borbon salvadoreño.

**Palabras claves:** Variedades, morfoagronómicos, fisiológicos, capacidad fotosintética.

## **ABSTRACT**

There are few studies on the morphological and agronomic characterization of coffee in Mexico and in particular in Chiapas. There are no ecophysiological investigations of coffee cultivation, despite it being a very important crop. Neither have the existing varieties nor the new ones introduced with genes for resistance to rust been studied physiologically. Therefore, studies aimed at understanding the various morphological and agronomic characteristics in Chiapas are essential to ensure the sustainability of the plantations.

To this end, it is important and necessary to establish a germplasm bank of the cultivars of the region. In this sense, the CUTT San Ramón of the Faculty of Agricultural Sciences has begun to work on the creation of this germplasm bank. Currently there are 21 genotypes of coffee plants, however, at the moment there is no information on morphological and physiological characterization.

The information generated from the in situ study of the 21 biological materials of coffee plants existing in the germplasm bank will allow us to have a reference protocol to morphologically and physiologically characterize the varieties present in the region. With the objective of contributing to the characterization of coffee genotypes based on morpho-agronomic and physiological criteria.

For the study, 21 coffee varieties were used. A sampling of plant organs was carried out for morphological and physiological characterization. This was carried out every 3 months, making a total of three samplings, the first in October 2020, the second in January 2021 and the last in April 2021.

The morphological characterization of the plants was based on 10 quantitative variables: plant height (HP in cm) was according to Blanco et al. (2003). Stem diameter (SD in cm) was finished with the methodology according to Pilati (2005). Number of branches (NB) by the Pilati method (2005). Number of leaves per plant (NLP) according to Pilati (2005). Branch length (LR in cm) was the methodology used by Blanco et al. (2003).

Number of nodes per branch (CNR) according to Pilati (2005). Length of internodes per branch (LNR in cm (Suazo, 2020). Leaf area (AF, cm<sup>2</sup>) It was carried out by the method proposed by Rodríguez and Pérez (1995). Total chlorophyll concentration (C) was done by the fluorometric method of Welschmeyer (1994) Regarding photosynthesis, we used the fluorometric technique according to Strasser (2000). All parameters were measured in the 4 repetitions of the 21 coffee varieties. For the characterization of the microclimate of the germplasm bank, the methodology according to Morais et al. (2006) was used, which consists of monitoring every 20 min of relative humidity, amount of light, ambient temperature and soil.

The varieties that best adapt to the area are: Mundo Novo, Icatu, Garnica Equimite, Gueisha, San Ramón, Mibirizi, Blue Motain, Maracatu, Guadalupe, Moka de Tahiti since they presented above of .74 of quantum yield of photosynthesis in the samples carried out, in addition these varieties stood out statistically in most of the variables and therefore it can be said that they are the best adapted.

Likewise the varieties studied are grouped into two phenotypic groups similar in terms of the variables measured, in the first group there are Mundo Novo, Batie, Moka de tahiti, Arabusta, Maracatu and Mibirizi and the second group is made up of Icatu 77055 34-6, Gueisha, Guadalupe, SL28, Blue Motain, Typica Xanto Carpa, Limani, Iapar comercial, Mundo novo 450, Garnica Equimite, Iapars, Moka 579 catie 49-45, San Ramón, Catuai Rojo and Borbon salvadoreño.

**Keywords:** Varieties, morphoagronomic, physiological, photosynthetic capacity.

## 1. INTRODUCCIÓN

A nivel mundial el café es de los principales productos comercializables y de exportación, ocupando el segundo lugar después del petróleo; se estima que este producto genera ingresos anuales mayores a los 15 mil millones de dólares y además genera más de 20 millones de puestos de trabajo a nivel mundial el café ocupa un lugar primordial en las bebidas, incluso es la bebida más consumida después del agua, formando parte esencial en la vida cotidiana de muchas personas en el mundo entero (Canet *et al.*, 2016).

En México las especies de café que más se cultivan son *arábica* y *canephora*. La mayoría de los cafetos cultivados son variedades arábicas, de las cuales la variedad Typica es la que predomina en México.

Chiapas ocupa el honroso primer lugar a nivel nacional de los 12 estados productores de café (Veracruz, Oaxaca, Puebla, San Luis Potosí, Guerrero, Hidalgo, Nayarit, Querétaro, Colima, Jalisco y Tabasco) y se caracteriza por su tradición en el cultivo estrechamente vinculada a la agricultura campesina, los cafetos son cultivados bajo sombra de árboles nativos, sin usar agroquímicos para evitar contaminar la tierra.

Existen pocos estudios sobre la caracterización morfológica y agronómica del café en México y en particular en Chiapas, no existen investigaciones ecofisiológicas del cultivo del café, a pesar de ser un cultivo muy importante. Tampoco se han estudiado fisiológicamente las variedades existentes ni las nuevas introducidas con genes de resistencia a la roya, por lo cual estudios encaminados al conocimiento de las diversas características morfológicas y agronómicas en Chiapas son primordiales para asegurar la sostenibilidad de las plantaciones.

Con este fin, es importante y necesario establecer un banco de germoplasma de los cultivares de la región. En este sentido en el CUTT San Ramón de Facultad de Ciencias Agronómicas se ha empezado a trabajar para la creación de este banco de germoplasma. Actualmente se cuenta con 21 genotipos de cafetos, sin embargo, por el momento no se cuenta con la información de la caracterización morfológica y fisiológica.

La información generada del estudio *in situ* de los 21 materiales biológicos de cafetos existentes en el banco de germoplasma permitirá contar con un protocolo de referencia para caracterizar morfológicamente y fisiológicamente las variedades presentes en la región.

### **1.1 Objetivo general**

Contribuir a la caracterización de genotipos de café a partir de criterios morfoagronómicos y fisiológicos.

### **Objetivos específicos**

- a) Caracterización morfoagronómica de 21 genotipos de café.
- b) Evaluar la capacidad fotosintética de 21 genotipos de cafeto.

### **1.2 Hipótesis**

- a) Las variedades de café que se están evaluando, presentan diferencias morfológicas y fisiológicas, que podrán permitirles mejores capacidades de adaptación y como consecuencia de producción.
- b) La alta capacidad fotosintética de las variedades de cafetos estará altamente relacionada con el área foliar y esta con la producción.

## **2. REVISIÓN DE LITERATURA**

### **2.1 El cultivo de café**

Originario de África Oriental, la planta de café llegó a nuestro país en el año de 1796 a la región de Córdoba Veracruz, posteriormente, se introdujeron en 1823 al estado de Michoacán, llegando a la región de Tuxtla Chico, Chiapas en 1847 (INFOASERCA<sup>1</sup> 2001).

Con la introducción de cafetos y semillas también se importa la tecnología ligada a los diferentes pasos para su aprovechamiento (cultivo, cosecha y proceso). La primera exportación se hizo en el año de 1803, la cual consistió en 210 sacos, 86 años después de la introducción del café en México, la exportación aumentó (70 000 sacos) al grado que nuestro país pasó a formar parte de los principales países exportadores de este producto (Regalado, 2000). Más del 80% de la producción en México se destina a la exportación.

En México se cultiva café en varios Estados, pero ocho producen prácticamente casi todo el café del país (98.2 %): Chiapas, Veracruz, Oaxaca, Puebla, Guerrero, San Luis Potosí, Hidalgo y Nayarit, de los cuales el Estado de Chiapas es el productor principal, cuyo sistema de producción es bajo sombra mayormente. En el Estado, para la producción del café participan más de 180,636 productores, mayoritariamente minifundistas e indígenas de las zonas marginadas y agrupados en diferentes organizaciones de carácter local y regional (CEDRSSA<sup>2</sup>, 2016b).

### **2.2 Importancia del café en México y en Chiapas**

En México, la cafecultura tiene importancia desde el punto de vista social por la gran cantidad de productores; en 2017, se registró la participación de 500,000 cafecultores en todo el país, además se estima que alrededor de 3 millones de mexicanos se sustentan y benefician de la cadena productiva que va desde la producción primaria, hasta la transformación y comercialización del grano. Este cultivo se encuentra actualmente en 484 municipios del país, de los cuales 74 de ellos generan 70% de la producción nacional. Por todo lo anterior, el café es el producto agrícola que genera mayores divisas a la nación (CEDRSSA, 2018a).

Chiapas es el principal productor de café a nivel nacional, aportando el 39% del volumen producido, en el año 2017 se cosechó una superficie de 207 mil 52 hectáreas con una producción de 1, 317, 011 sacos de 60 kilos de café verde, con un rendimiento promedio por hectárea de 2.032 toneladas de café cereza. Además, Chiapas se caracteriza por su tradición en el cultivo de café estrechamente vinculada a la agricultura campesina (CEDRSSA, 2018b).

Aranda (2008) menciona que en el Estado de Chiapas, la producción de café es un medio de sobrevivencia para muchos agricultores indígenas. A inicios de la década de los 90, se agotaron los préstamos gubernamentales para insumos y la mayoría de los pequeños cafetaleros no tuvieron ingresos suficientes para adquirir los insumos agroquímicos que normalmente utilizaban, así como también la disminución de ganancias, la erosión de la calidad del suelo y de la salud personal, motivó a muchos cafeticultores a la producción de café orgánico.

Hernández y Gómez (2018) señalan que a nivel estatal el café de Chiapas se comercializa en grano verde por medio de empresas comercializadoras sociales y privadas, quienes se surten en las principales regiones productoras y lo distribuyen para exportación. Dada la excelente calidad de este producto, tiene una demanda potencial en el mercado internacional, representando la exportación el 80% del café producido en el estado ligado al bajo consumo de este producto a nivel nacional.

### **2.3 Clasificación taxonómica**

Sánchez (1990) mencionó que el aromático es una planta perenne, originaria de Etiopía (África), de donde se dispersó a varios países. La clasificación taxonómica es la siguiente:

Reino: vegetal

Clase: dicotyledoneae

Orden: rubiales

Familia: rubiaceae

Género: *coffea*

Especie: *coffea arabica* L

## 2.4 Descripción botánica

A continuación, se indica la descripción botánica del café según Pacheco (2012):

a) Raíz: la raíz primaria es gruesa y maciza que crece verticalmente hacia abajo alcanzando hasta un metro de profundidad, las raíces secundarias hacen la función anclaje y las terciarias se les conocen como raicillas que son unos pelos absorbentes tanto de agua como de nutrientes. Un buen desarrollo del sistema radicular es necesario para el crecimiento, producción y longevidad del cafeto.

b) Tallos y ramas: el cafeto está constituido por un solo tallo que es el eje central, presenta dos tipos de crecimiento, el ortotrópico responsable del desarrollo del arbusto verticalmente y plagiotrópico (bandolas horizontales). Una característica en los cafetos, es que en una planta joven solo brotan hojas en los primeros 9-11 nudos, después comienza a emitir ramas laterales.

c) Hojas: Las hojas suelen aparecer en las ramas laterales y en posición opuesta. Tiene un pecíolo corto, plano en la parte superior y convexo en la inferior, cuya textura es fina y ondulada. Entre las formas que se pueden encontrar pueden ser ovaladas, elíptica y hasta lanceolada. El haz es de color verde brillante y el envés un tono claro mate. Presentan venas hundidas y prominentes en la cara menor. El tamaño va de 10 a 20 cm de largo y de tres a 8 cm de ancho.

d) Inflorescencia: está compuesto por una cima de flores pequeñas de color blanco y de olor perfumado; a los tres días de florecer se inicia la formación del fruto. En las axilas de las hojas ubicadas en las ramas laterales, nacen las yemas florales.

Flor: es una flor completa, el cáliz forma parte de la base y sostiene los ovarios, al final hay cinco pétalos blancos, dentro de él se encuentran cinco estambres que mantienen las anteras, al abrirse liberan el polen; en la corola se encuentra el pistilo y sustenta los estigmas. La mayoría de las plantas son autofecundadas, es decir una planta autógena donde ocurre del 90 al 95 % de autofecundación. La floración del cafeto es glomérulo, porque cada axila produce de 3 a 5 botones florales, que, a su vez, son grupos separados de yemas que salen de los nudos de las ramas laterales.

e) Fruto: el fruto del cafeto es una drupa poliesperma, esto se refiere a que en el fruto se encuentra más de una semilla. Cuando el fruto nace, es de color verde, y según la especie, zona de cultivo y el grado de maduración podemos encontrarlo en una variedad de tonalidades entre el color amarillo y rojo.

f) Semilla: en el interior de la drupa o cereza se encuentran dos semillas separadas por un surco; la semilla son de forma plana-convexa y están cubiertas por una membrana (pergamino) y el mucílago.

## **2.5 Condiciones agroecológicas que requiere el cultivo**

Las plantas de café prefieren suelos bien drenados y aireados, que favorezcan la presencia de ambiente oxidante. Pueden crecer en tierra poco profunda, debido a su red de raíces superficiales. Pero, es recomendable un suelo profundo, permeable y de textura franca (Alvarado, 2019).

Sin embargo, Fischersworing y Robkamp (2011) indican que la temperatura óptima de aromático oscila entre 19 y 21°C, con extremos de 17 a 23°C, por el contrario, señalan que las temperaturas medias por encima de los 24°C, aceleran el crecimiento vegetativo, limitando la floración y el llenado de los frutos.

El cafeto, se cultiva en lugares con una precipitación promedio que va de los 750 mm a 3000 mm anuales; es fundamental mencionar, que el mejor café, es aquel que se producen en áreas que se encuentran en altitudes de 1200 a 1700 msnm, con una precipitación pluvial es de 2,000 a 3,000 mm y una temperatura media anual, de 16° a 22° (Cabrera, 2012).

## **2.6 Variedades más cultivadas en México**

Díaz (2018), indica las variedades de café más cultivadas en México, a continuación, se mencionan:

Typica: de porte alto, color de brote de las hojas es bronce, presente un fruto grande, con muy buena calidad en taza, sin embargo con un rendimiento bajo y muy susceptible a enfermedades como la roya, antracnosis y nemátodos. Es la que más se adaptó al terreno mexicano. Se requiere cuatro años para su primera cosecha y con un requerimiento medio de nutrientes.

Bourbon: de porte alto, con color de brotes de las hojas verde y con un tamaño de fruto promedio cuya maduración es precoz, con una muy buena calidad de taza y un rendimiento medio. También, presenta alta susceptibilidad a la roya, antracnosis y nemátodos. Se requiere cuatro años para su primera cosecha y con un requerimiento nutricional medio. Variedad muy apreciada por ser resistente a los vientos, por su adaptabilidad a cualquier altitud y por su producción que es mejor que la Typica, es de las principalmente cultivadas en Chiapas.

Caturra: de porte bajo cuya coloración de brote de hojas es verde, con un fruto de tamaño promedio cuya calidad en taza es buena (ligeramente menor a la Typica) y rendimiento bueno. Al igual que las anteriores presenta alta susceptibilidad a la roya, antracnosis y a los nemátodos. Se requiere tres años para su primera cosecha, pero requiere alto contenido de nutrientes.

Catimor: de porte bajo el color del brote de las hojas son verde, el tamaño del fruto es grande la calidad en taza es buena se considera muy alta en potencial de rendimiento. Posee una ventaja en comparación a las anteriores ya que es resistente a roya, antracnosis, pero susceptible a nematodos. Este cafeto a los dos años da su primera cosecha, con requerimientos nutricionales altos.

Mundo novó: árbol de porte alto, el color del renuevo de las hojas suelen ser verdes o bronce, con un tamaño de frutos promedio el potencial en calidad de taza es bueno y de altos rendimientos, aunque es susceptible a roya, antracnosis y nematodos. Esta variedad tarda 3 años aproximadamente para llevar acabo su primera cosecha, pero necesita un alto contenido de nutrientes.

Robusta: porte alto se considera de mayor altura que las anteriores, con hojas mucho más largas y corrugadas en comparación a la arábica, presenta un grano pequeño y es de menor calidad en taza que la arábica, se usa para cafés instantáneos. Por lo general, son plantas muy resistentes a enfermedades, plagas y condiciones climatológicas adversas.

Catuaí: es considerado de porte bajo y compacto el color del retoño de las hojas es verde, tamaño del fruto promedio con calidad de taza y rendimiento catalogado bueno, pero tiende a ser susceptible a roya, antracnosis y nematodos. Este cultivar tarda 3 años para su primera cosecha, presenta requerimientos altos en nutrición.

## **2.7 Calidad de café**

Leroy *et al.* (2006) mencionan que la calidad del café se determina por factores genéticos y no genéticos. Así mismo, Avelino *et al.* (2002), indican cuatro factores importantes que se relacionan con la calidad del café, en ellas se encuentran la altitud, la acidez del suelo, pluviometría y la sombra, respecto a los factores genéticos capacidad reproductiva (variedad) y granulometría (tamaño de grano).

Por otro lado, Regalado (2006) señala que el tamaño, color, forma y composición química del grano influyen en la calidad del café, indicando que el tamaño del grano tiende a una relación positiva con la calidad de la taza del café. La literatura reporta que a nivel genético se presenta variación en cuanto a la calidad del café dentro y entre especies, por ello, cruza intra e interespecíficas entre las diversas especies, es posible que se mejore la calidad del café.

De igual forma la sombra (factor no genético) afecta la calidad del café, se ha observado que un dosel de sombra de 40 % afecta directamente el tamaño y composición de los granos, resultando un retraso en la maduración de la de cereza hasta por un mes (Vaast *et al.*, 2005). A mayores altitudes y una mayor exposición al sol, favorece a mejorar la calidad en taza (Avelino *et al.*, 2005).

## **2.8 Caracterización en el cultivo de café**

Caracterizar es describir sistemáticamente una especie a partir de características botánicas de alta heredabilidad, fácilmente visibles (medibles) y que no varían con el ambiente, por ello en la caracterización se realiza una descripción de las características morfológicas y fenológicas basándose en lo observado en las plantas, se lleva a cabo una comparación a través de las listas de características descriptivas (descriptores). En la caracterización se establecen todos los caracteres posibles, con la opción de incluir un número limitado de caracteres deseables de un cultivo en particular; por ejemplo: altura de la planta, color de hojas, forma de tallos, flores, semillas, frutos, entre otros caracteres. Una caracterización tiene diferentes finalidades, como es el caso de la identificación (determinación), análisis de la diversidad genética, definición de nuevas variedades, gestión de bancos de germoplasma y hasta para la búsqueda de marcadores de caracteres agronómicos.

Dicha caracterización se puede efectuar mediante un descriptor, es decir, un atributo cuya expresión es fácil de registrar, medir y evaluar, todo ello para establecer la forma, estructura y/o comportamiento de la planta (Franco e Hidalgo, 2003).

Los descriptores permiten la discriminación (diferenciar) fácil entre fenotipos, que son altamente heredables, detectados a simple vista y se expresan de igual forma en todos los ambientes (Franco e Hidalgo, 2003).

## **2.9 Caracterización morfológica**

Abadie y Berretta (2001) definen a la caracterización morfológica como una descripción de la variación que existe en una colección de germoplasma y que permite diferenciar a una especie, sea en términos de características morfológicas y fenológicas de alta heredabilidad o características cuya expresión es poco influenciada por el ambiente.

Por su parte Franco e Hidalgo (2003) mencionan que la caracterización morfológica permite estudiar la variabilidad genética de cada muestra; es por ello que se convierte en una herramienta fundamental para evitar las duplicaciones de un mismo material y minimizar la sobrestimación de la diversidad existente. Los órganos más importantes para la descripción morfológica, son aquellos menos influenciados por el ambiente (la flor y el fruto, seguidos de la hoja, el tronco, las ramas, las raíces y los tejidos celulares).

En el estudio realizado por Lara *et al.* (2012) observaron que las variables morfológicas evaluadas de mayor importancia y considerado suficiente para la distinción de genotipos en el café arábica en la etapa juvenil en cafetos son: longitud de ramas plagiatrópicas, vigor, diámetro de tallo y números de nudos de las ramas plagiatrópicas.

## **2.10 Aspectos fisiológicos del cafeto en respuesta a diferentes condiciones climáticas**

Archila *et al.* (2007) argumentan que en las hojas del cafeto se realizan los tres procesos fisiológicos más importantes como son: la fotosíntesis, la respiración y la transpiración. Así mismo cumplen la función de proteger las yemas, las flores y los frutos, de las condiciones climáticas adversas (granizo y exceso de radiación). La

radiación y la disponibilidad de agua en el suelo favorecen una mayor formación de hojas. Sin embargo, también es un factor que afecta el desarrollo foliar debido que es sensible a las deficiencias hídricas y después de períodos secos prolongados, pueden presentar clorosis (envejecimiento prematuro) y pérdida del follaje.

En un estudio realizado por Rodríguez *et al.* (2001) observaron que las plantas de café cultivadas por debajo del 85% de la exposición solar mostraron los valores más altos de clorofila. Por lo tanto, el estudio muestra que las plantas de café crecen mejor y tienen un mejor estado hídrico y contenido de clorofila en condiciones de luz solar leve, que indica la adaptabilidad de las plantas de café a moderada condiciones de luz solar.

Cambrón *et al.* (2011) argumentan que los factores exógenos importantes para que se lleve a cabo la transformación lumínica son: energía radiante, humedad, temperatura y estrés hídrico. Además, las plantas sometidas a cualquier tipo de estrés tienden a perder capacidad fotosintética y como consecuencia a disminuir el contenido de clorofila de sus hojas. Así mismo hacen mención que las hojas jóvenes de pino bajo condiciones de competencia, disminuye el Ca<sup>+</sup> y la clorofila total y esto posiblemente manifiesta la habilidad de las especies para adaptarse morfológica o fisiológicamente, para capturar y utilizar eficazmente, la escasa luz disponible.

En el estudio realizado por Encalada *et al.* (2016) observaron que la luz tiene gran influencia sobre el tamaño de las hojas, a menor intensidad de luz (20% de luz) fueron más delgadas, con diferencia significativa respecto a las crecidas a 100 % de luz, que esto posiblemente se deba a que a menor intensidad de luz, las hojas amplían su superficie, para captar mayor iluminación y, por ende, son más delgadas. De manera general, ellos observaron que la luz influye directamente sobre el crecimiento y su comportamiento fisiológico de las plantas de café. Así mismo obtuvieron los mayores valores de masa seca, área foliar y contenido de clorofila total, mostrándose una estrecha correspondencia entre estos indicadores.

Mariño (2014), menciona que existe una correspondencia entre el nivel de luz y el contenido de clorofila total, por otro lado Encalada *et al.* (2016) encontró que hay una relación entre el nivel de luz y el contenido de clorofila total y está relacionado con el incremento en el número de grana y de tilacoides en los cloroplastos, lo que hace más

eficiente la captación y transformación de la energía lumínica. Porque las plantas de café poseen cierta habilidad de adaptación fisiológica a diferentes niveles de luz, en la cual captan y utilizan eficazmente la escasa luz disponible.

En el estudio realizado Fahl *et al.* (1994) encontraron que las hojas fueron más gruesas en pleno sol y en sombra más delgadas y una área foliar más grande que permite una captación más eficiente de la energía luminosa disponible, así mismo tuvieron más tilacoides por granum y más grana por cloroplasto en plantas cultivadas a la sombra, por lo tanto las plantas que estuvieron en sombras presentaron mayor contenido de clorofila.

Rodríguez *et al.* (2015) en sus resultados hallaron que los cafetales expuestos al sol presentaron un cambio morfológico en la hoja en el cual estuvieron más gruesas en comparación con los cafetos que estuvieron en sombra en el cual sus hojas fueron delgadas. Por lo que el crecimiento de hojas individuales independientemente del nivel de exposición solar estuvo relacionado con las precipitaciones, siendo las hojas de plantas crecidas a pleno sol quienes obtuvieron menor área foliar.

## **2.11 Fotosíntesis**

Arcila *et al.* (2007) definen a la fotosíntesis como el proceso fisiológico que permite la elaboración de toda la materia hidrocarbonada necesaria para la planta.

Por su parte Pérez y Carril (2009) definen a la fotosíntesis como un proceso físico-químico mediante el cual las plantas, algas y bacterias fotosintéticas utilizan la energía de la luz solar para sintetizar compuestos orgánicos. El proceso fotosintético se inicia cuando la luz es absorbida por los pigmentos fotosintéticos (básicamente clorofila a, b y carotenoides) de los complejos antena de la membrana fotosintética. Parte de la energía absorbida es transferida como energía de excitación y atrapada por el centro de reacción, en donde es utilizada para hacer trabajo químicamente útil, y la otra parte es disipada principalmente como calor y en menor grado re-emitida como energía luminosa de menor energía (fluorescencia) (Maxwell y Johnson, 2000).

Gonzales *et al.* (2008) definen a la fotosíntesis como el proceso por el cual las plantas, algas, cianobacterias y bacterias fotosintéticas convierten la energía luminosa en energía química en forma de enlaces químicos y es la base de todas las cadenas alimenticias de las que depende la vida animal y humana.

Por su parte Suarez *et al.* (3013) mencionan que la baja disponibilidad de luz, induce a las células de las hojas a un incremento de pigmentos fotosintéticos, a fin de aumentar la capacidad de aprovechamiento de la luz y optimizar la eficiencia fotosintética.

En el estudio desarrollado por Fahl *et al.* (1994) que en las plantas de café que se encuentran en sombra presentan una fotosíntesis máxima en comparación que las que se encuentran a sol. Así mismo ellos denominan a la planta de café como facultativa de sombra, porque tiene algunos rasgos característicos de plantas adaptadas al sol, como un mayor crecimiento y capacidad fotosintética, junto con una alta saturación de luz bajo total irradiación y un rendimiento cuántico significativamente constante tanto en sombra como en Ambientes con mucha luz.

En regiones con temperaturas medias anuales relativamente altas, el café arábica a menudo se cultiva a la sombra, como ocurre en América Central (Maestri y Barros, 1977). Esto se ha explicado tradicionalmente porque a temperaturas superiores a 24 ° C, la fotosíntesis neta disminuiría marcadamente, acercándose a 34 ° C (Nunes *et al.*, 1968). Esta afirmación, aunque engañosa fue hasta cierto punto apoyada por otros trabajos. Heath y Orchard (1957) que la concentración interna de CO<sup>2</sup> de las hojas de café aumentó logarítmicamente hasta 30 ° C y luego más rápidamente hasta 35 ° C (no se evaluaron temperaturas más altas), lo que indica una limitación térmica en la fotosíntesis.

Extrapolando los resultados anteriores a las condiciones de campo en ambientes tropicales, cuando la temperatura de las hojas alcanza fácilmente valores superiores a 30 ° C durante gran parte del día, se llega a la conclusión de que la producción del café sería muy baja a temperaturas relativamente altas. Sin embargo, este ciertamente no es el caso, como se ha visto en Brasil, donde las tasas de fotosíntesis y crecimiento son máximas durante la estación cálida (verano) (Silva *et al.*, 2000).

Con base a las definiciones anteriores se debe entender como fotosíntesis al proceso físico-químico en las cual las plantas a partir de materia inorgánica como el dióxido de carbono elaboran materia orgánica como es la glucosa (azucares) aprovechado la energía de la luz solar. De manera sintetizada es el proceso mediante el cual las plantas elaboran su propio alimento.

## **2.12 Clorofila**

La clorofila es un pigmento de color verde existente en las plantas, algunas algas y bacterias que permite llevar a cabo el proceso de fotosíntesis que es la conversión de energía luminosa en energía química (Mathews *et al.*, 2013). Proviene del vocablo chloros que significa “verde” y fylon que significa “hoja”. Existen diferentes tipos de clorofila, A: que se encuentra presente en la mayoría de los vegetales y absorber la luz durante la fotosíntesis, B: se encuentra presente en los cloroplastos y absorbe la luz de otra longitud y transfiere la energía a la clorofila A, la C está presente en los cloroplastos de las algas pardas, las diatomeas y, por último, la D se halla únicamente en las algas rojas (Ruíz *et al.*, 2019).

García y Gutiérrez (2015) definen a la clorofila como un pigmento de color verde, que absorbe la luz necesaria para llevar a cabo la fotosíntesis y está presente en los cloroplastos de las hojas de las plantas, que estos a su vez son unos orgánulos de las células vegetales en los que se produce la fotosíntesis.

Por otro lado Cambrón *et al.* (2011) mencionan que la concentración de clorofila total es la suma de la clorofila a y b. La clorofila a es el pigmento principal, que transforma la energía lumínica en energía química, la cual se utiliza en el crecimiento de las plantas, por lo que se considera un pigmento activo. Por su parte, la clorofila b absorbe la luz en longitudes de onda diferentes que la clorofila a; la luz se transfiere después a la clorofila a, que la transforma en energía; por ello, a la clorofila b se le considera un pigmento accesorio y forma parte de las antenas colectoras.

Fahl *et al.* (1994) en su estudio mayor contenido de clorofila en las plantas de café joven bajo sombra a comparación de pleno sol, ellos atribuyen esto a la capacidad de la planta de café en tener más tilacoides por granum y más grana por cloroplasto, por lo tanto las hojas desarrolladas bajo sombra presentan mayor contenido de clorofila.

En el trabajo realizado por Rodríguez *et al.* (2001) indican que las plantas de café crecen mejor, tienen un mejor estado hídrico y mayor contenido de clorofila en condiciones de luz solar leve, que esto a su vez se debe a la adaptabilidad de las plantas de café a moderadas o condiciones de luz solar.

### **2.13 Fluorescencia**

Ceacero *et al.* (2012) mencionan que la energía solar y en concreto la parte del espectro comprendida entre los 400 y 700 nm (radiación fotosintéticamente activa) es la radiación utilizada en el proceso de la fotosíntesis para la producción vegetal y que un exceso de luz puede dañar los sistemas fotosintéticos. El fenómeno de fotoinhibición se define como la disminución de la tasa fotosintética o del rendimiento cuántico que se produce como consecuencia de un exceso de radiación. Por tanto, no toda la energía absorbida por la clorofila dentro de las hojas se utiliza durante la fase dependiente de la luz de la fotosíntesis, sino que parte de ella se libera en forma de calor o se re-emite como fluorescencia.

Por su parte García y Gutiérrez (2015) mencionan que el proceso de fluorescencia ocurre en las moléculas de clorofila, que se encuentra situado en el fotosistema II (FSII), que es un sistema involucrado en el proceso de fotosíntesis.

El centro de reacción de la clorofila, al que llega la energía, se conoce como P680, debido a que la clorofila de este fotosistema absorbe la luz con longitud de onda de 680 nm, que se encuentra en la zona roja del espectro. La fluorescencia de la clorofila es un proceso que ayuda a determinar en vivo algunos problemas asociados en las plantas por diversos factores físicos o químicos de estrés ambiental como temperaturas altas, heladas sequía, cambios en la intensidad luminosa, salinidad, deficiencias nutricionales, presencia de metales pesados, detergentes, herbicidas y ozono entre otros, afectan la función del PSII de manera directa o indirecta lo cual modifica la emisión de la fluorescencia (Gonzales *et al.*, 2008).

### **2.14 Técnica para medir clorofila**

Los métodos más empleados para la cuantificación de la clorofila son: espectrofotometría, fluorométrico (método de Welschmeyer)). La primera se realiza por varios pasos estos son: concentración, extracción, clarificación, cuantificación, control

analítico interno, este método es más lento debido a que pasa por todo un proceso hasta llegar a la cuantificación. La segunda es más sensitivo que el espectrofotométrico, requiere menos volumen de muestra, puede ser utilizado en mediciones en vivo, puede sobre o bajo estimar la concentración de clorofila a.

El método fluorométrico de Welschmeyer (1994) es un método muy utilizado para predecir el contenido de la clorofila en la hoja, con base en lecturas de fluorescencia o de reacción instantánea a un haz de luz, ha sido demostrada para diferentes especies vegetales. Cabe resaltar que este es un método no destructivo para determinar la clorofila total en hojas de manera directa y sin destruirlas (Fenech *et al.*, 2008).

### **2.15 Técnica para medir fluorescencia**

Strasser (2000) comenta que para la medición de la emisión de fluorescencia de la clorofila del fotosistema II, actualmente se utilizan principalmente dos técnicas fluorométricas, la primera mide la fluorescencia directa inducida por excitación continua (periodo de adaptación de 10 a 30 min) y otra, la fluorescencia modulada, inducida por excitación modulada (consiste básicamente de 4 fuentes de luz cualitativa y cuantitativamente diferentes).

González *et al.* (2008) comentan que la fluorescencia directa la hoja se adapta previamente a la oscuridad por 10-30 minutos, posteriormente se expone a luz de 650 nm con una intensidad de alrededor de 3000 Pmoles.m<sup>-2</sup>.s<sup>-1</sup> durante 1-10 segundos y simultáneamente se miden y almacenan los valores de la fluorescencia emitida únicamente por la clorofila del PSII, desde los 10 Ps hasta los segundos programados.

Así se obtiene la cinética de emisión de fluorescencia, y los valores de algunos parámetros como Fo, Fm, Fv, Fv/Fm (eficiencia fotoquímica del PSII) y t Fmax (tiempo (ms) en el que se alcanza la fluorescencia máxima); a partir de los valores registrados, se calculan otros parámetros que expresan el funcionamiento de diversos componentes del PSII. Cabe mencionar que el parámetro más usado en la emisión de la fluorescencia es el rendimiento cuántico máximo para la fotoquímica primaria cuando todos los centros de reacción del PSII están oxidados o "abiertos" (Fv/Fm). En la actualidad los fluorómetros de mayor uso a nivel mundial son los de las marcas alemana (Walz) e inglesa (Hansatech) (González *et al.* 2008).

### 3. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1 Localización de área de estudio

La investigación se realizó en el Centro Universitario de Transferencia de Tecnología (CUTT) San Ramón, de la Universidad Autónoma de Chiapas, ubicado en el km 2.5 de la carretera Villaflores a Villa Hidalgo, municipio de Villaflores, Chiapas, México. En las siguientes coordenadas: LN 16°15'13.5", LW 93°15'08.3"), a una altitud de 571 m.

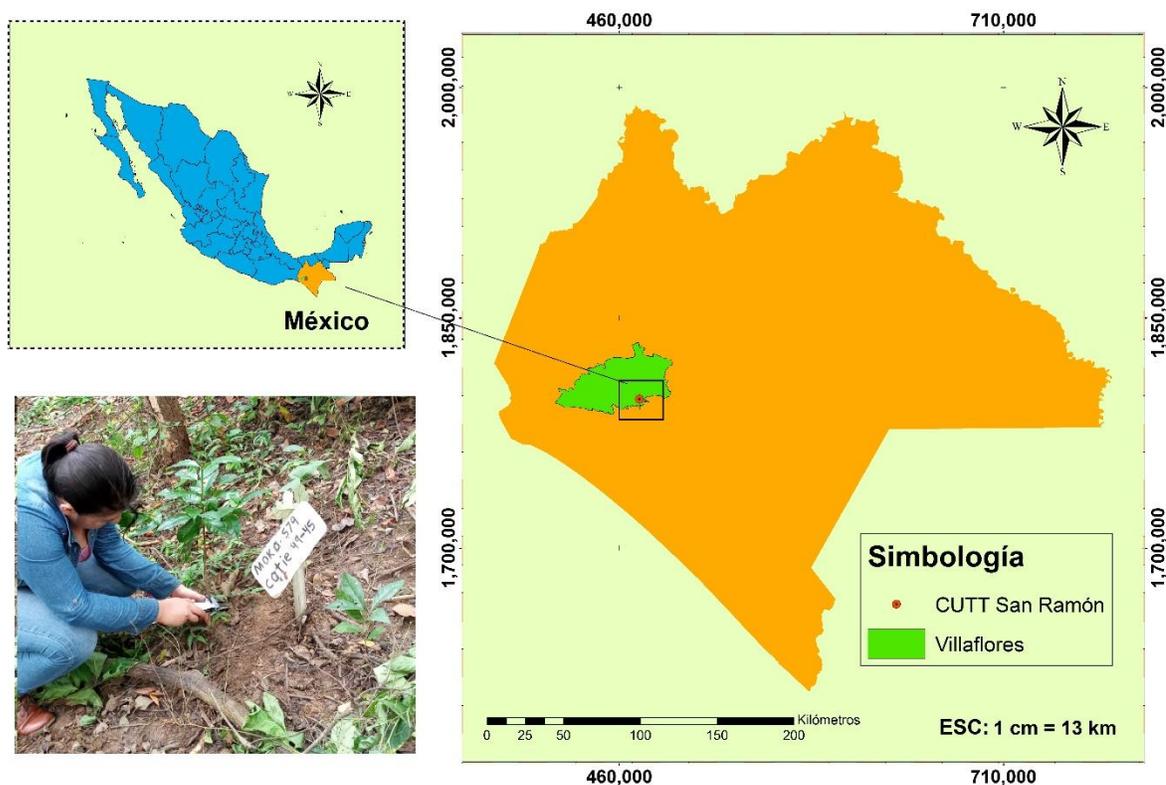


Figura 1. Mapa de localización del área de estudio Centro Universitario de Transferencia de Tecnología. San Ramón, UNACH, Villaflores, Chiapas.

#### 3.2 Material vegetal

La colección del banco de germoplasma de café actualmente está conformada por 21 cultivares. Las plantas fueron establecidas en junio de 2019. El conjunto de la población experimental corresponde a 84 plantas de 21 cultivares con cuatro repeticiones. El material vegetal corresponde a las variedades: Mundo Novo 3, Icatu 77055 34-6, Moka 579 CATIE 49-45, Limani, Mundo Novo 450, Iapars, Garnica Equimite, Guadalupe, Geisha, Typica Xanthocarpa, SL 28, San Ramón, Batie, Arabusta, Mibirizi, Maracatú, Moka de Tahiti, Iapar Comercial, Catuaí Rojo, Blue Mountain y Bourbon Salvadoreño.

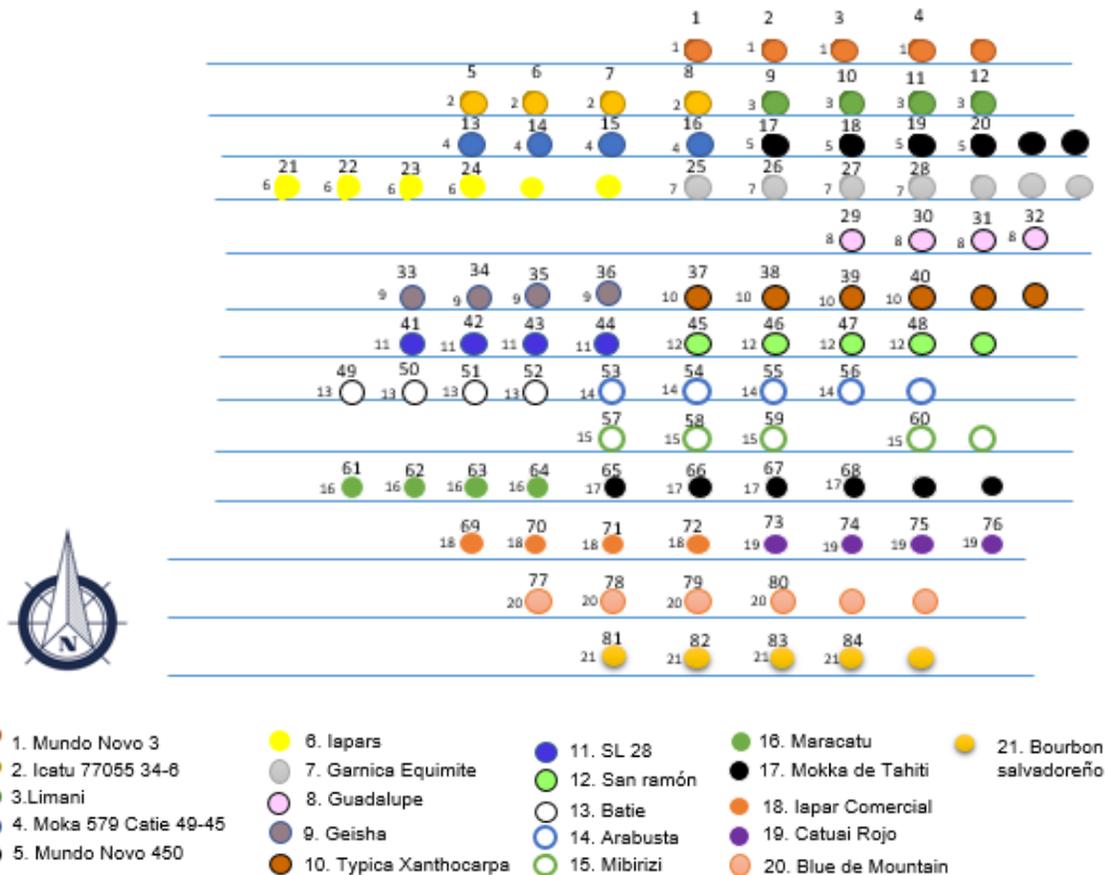


Figura 2. Diseño de la plantación de 21 genotipos de café, establecidos en el Centro Universitario de Transferencia de Tecnología. San Ramón, UNACH, Villaflores, Chiapas.

### 3.3 Muestreo

El muestreo de órganos de las plantas para la caracterización morfológica y fisiológica se realizó cada 3 meses, haciendo un total de tres muestreos, el primero en octubre 2020, el segundo en enero de 2021 y último en abril 2021.

### 3.4 Variables evaluadas

La caracterización morfológica de las plantas se basó en 10 variables cuantitativas: altura de planta (AP en cm), diámetro de tallo (DT en cm), número de ramas (NR), números de hojas por planta (NHP), longitud de ramas (LR en cm), cantidad de nudos por ramas (CNR), longitud de entrenudos por ramas (LNR en cm), área foliar (AF, cm<sup>2</sup>), concentración de clorofilas totales (C) y fluorescencia de la clorofila (F). Los parámetros fueron medidos en las 4 repeticiones de las 21 variedades de café.

#### **3.4.1 Altura de planta**

En la altura de la planta se realizó de acuerdo Blanco *et al.* (2003) que consiste en medir con la ayuda de un flexómetro desde la base del tallo hasta el punto apical del tallo, los resultados fueron expresados en centímetros.

#### **3.4.2 Diámetro de tallo**

El diámetro de tallo se lleva a cabo con la metodología según Pilati (2005) en el cual se registra con un vernier, a 10 cm de la base del tallo para su posterior lectura.

#### **3.4.3 Número de ramas**

Respecto a esta variable se realizó por el método de Pilati (2005) en el cual se contabilizó el número de ramas plagiotrópicas existentes de cada planta.

#### **3.4.4 Número de hojas por planta**

A lo que concierne a esta variable se contabilizó el número total de hojas de cada planta. (Blanco *et al.*, 2003).

#### **3.4.5 Longitud de ramas plagiotrópicas**

En esta variable se empleó la metodología utilizada por Blanco *et al.* (2003) en la se mide la longitud de la rama en cm desde el tallo ortotrópico (vertical) hasta el ápice de cada rama y se promedió.

#### **3.4.6 Cantidad de nudos por ramas**

Para esta variable se realizó según Pilati (2005) se contabilizaron todos los nudos de cada rama de la planta y se promedió.

#### **3.4.7 Longitud de entrenudos por ramas**

Se midió la longitud de entrenudos (cm) de cada una de las ramas y se promedió (Suazo, 2020).

#### **3.4.8 Área foliar**

Se realizó por el método propuesto por Rodríguez y Pérez (1995) que consiste en medir el largo y ancho de cada una de las hojas por planta de cada variedad, después se multiplica por el factor 0.65 y finalmente se realizó la suma total de todas las hojas por planta y así es como se obtiene el área foliar por planta.

### **3.4.9 Contenido de clorofila**

La evaluación del contenido de clorofilas totales se hizo por el método fluorométrico de Welschmeyer (1994) en la cual utilizamos el medidor de clorofila de la marca ICT Internacional Apogee ® Modelo MC 100, en el cual se tomaron tres lecturas de las hojas del centro, tratando de evitar nervaduras, antes de realizar las lecturas las hojas deben de estar libres de polvo, después se procedió a promediar el resultado para conocer el contenido total de clorofila por planta.

### **3.4.10 Fotosíntesis**

En lo que respecta a fotosíntesis utilizamos la técnica fluorométrica de acuerdo a Strasser (2000) que consiste en utilizar el medidor de fluorescencia de la marca Opti-Sciences modelo OS30P+, en el cual se tomó una lectura de la hoja del centro, tratando de evitar nervaduras, cuidando que la hoja sea sana y libre de polvo.

Se abren las celdas y se coloca una celda por planta, cuando se termina de poner la última celda se procede a cerrar las celdas y dejarlas en oscuridad por 20 min, pasado el tiempo se coloca el fluorometro y después se abren las celdas para hacer la lectura. Esta variable se midió dos veces, una por la mañana y otra por la tarde.

## **3.5 Caracterización micro climática del banco de germoplasma de café**

Para la caracterización del microclima del banco de germoplasma se utilizó la metodología según Morais *et al.* (2006) en la cual consiste en un monitoreo cada 20 min de la humedad relativa, cantidad de luz, temperatura ambiente y suelo.

Para las variables de humedad relativa y temperatura del ambiente se instaló una estación meteorológica inalámbrica de marca Misol. Para medir la temperatura del suelo se utilizó el probador de suelo 4 en 1 de la marca Nobran a 10 cm del suelo. Y en lo que respecta a la cantidad de luz se midió con el Luxometro de marca HANNA modelo HI 97500.

Esto se efectuó por tres días de cada mes iniciando en Noviembre 2020 a Mayo 2021. El método para colectar la muestra es de 5 de oros (las cuatro esquinas y en el centro), después se promedió cada lectura.

Lo que corresponde a las variables climáticas de banco de germoplasma del cuadro 4, tomadas mensualmente iniciando con el mes de noviembre para las 9:00 h se

registró una mínima temperatura del ambiente de 15.3 °C en diciembre, con una humedad relativa del 86 %, con 21.8 °C de temperatura del suelo y 1.5 de cantidad de lux. La máxima reportada a esa hora para temperatura del ambiente con 28.5 °C en marzo, con 53 % humedad relativa, con 20 °C de temperatura de suelo y 7.688 de lux. Para las 13:00 h la mínima de 28.2 °C en noviembre, con 54 % de humedad relativa, con 22.26 °C de temperatura del suelo y una cantidad de luz 7.49 de lux. Y la máxima 45°C temperatura del ambiente en febrero, con 10 % de humedad en diciembre, con 24.6°C de temperatura del suelo y 50.766 de cantidad de luz.

Se tienen condiciones pasadas del rango óptimo del cafeto ya que el rango óptimo de temperatura del cafeto es de 17 a 22°C, con humedad relativa menor de 85 %. Como se puede observar que ha presentado una temperatura por encima del óptimo y eso propicia cambio en las estructuras del crecimiento vegetativo de la planta.

Cuadro 1. Variables climáticas mensuales del banco de germoplasma de café.

Fecha	Hora	Temp Amb °C	HR %	Temp S°C	CDL LUX
05-nov-21	<b>09:00</b>	23.4	79	21.8	1.054
29-dic-21		15.3	86	21.82	1.562
29-ene-21		16.8	73	21.2	3.498
18-feb-21		26.1	55	21.2	7.302
09-mar-21		28.5	53	20	7.688
04-nov-21	<b>01:00</b>	28.2	54	22.26	7.494
28-dic-21		29	43	22.12	3.252
29-dic-21		30.8	39	22.06	19.226
29-ene-21		30.3	38	22.2	18.474
18-feb-21		45.6	10	24.6	50.766
09-mar-21		40.1	12	24.6	19.904

El cafeto, se cultiva en lugares con una precipitación promedio que va de los 750 mm a 3000 mm anuales; es fundamental mencionar, que el mejor café, es aquel que se producen en áreas que se encuentran en altitudes de 1200 a 1700 msnm, con una precipitación pluvial es de 2,000 a 3,000 mm y una temperatura media anual, de 16° a 22° (Cabrera, 2012). Así mismo la humedad relativa debe ser menor a 85 %, con Brillo solar y nubosidad entre 4.5 a 5.5 horas de sol al día (CICAFE, 2011).

### **3.6 Análisis estadístico**

Los resultados se sometieron a un análisis de varianza mediante el procedimiento GLM en el paquete estadístico SAS 2004, Versión 9.0. Las medias fueron comparados a través de la prueba de Tukey ( $p < 0.05$ ). Y el agrupamiento de variedades se realizó a través del análisis multivariado de Clúster con el paquete estadístico STATISTICA.

## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1 Altura de planta (AP) y diámetro de tallo (DT)

En el primer muestreo efectuado a los 470 días después del trasplante (DDT), se puede apreciar que la mayoría de las variedades presentaron una altura de planta por encima de 30 cm, sin embargo, no hubo diferencias estadísticas significativas entre los genotipos, tuvieron un comportamiento igual ( $P>0.05$ ) (Cuadro 1).

Para el segundo muestreo a los 562 DDT, se apreció que la mayoría de las plantas presentaron una altura por arriba de los 30 cm, pero cabe destacar que no se observaron diferencias estadísticas entre los genotipos de café, todas tuvieron un comportamiento igual ( $P>0.05$ ) (Cuadro 2).

Cuadro 2. Altura de planta (AP) y diámetro de tallo (DT) de genotipos de café a 470, 562 y 651 días después del trasplante.

Variedad	470 DDT		562 DDT		651 DDT	
	AP (cm)	DT (mm)	AP (cm)	DT (mm)	AP (cm)	DT (mm)
1 Mundo Novo 3	52.25 <sup>a</sup>	6.95 <sup>a</sup>	52.25 <sup>a</sup>	7.47 <sup>a</sup>	59 <sup>ab</sup>	6.97 <sup>ab</sup>
2 Icatu 77055 34-6	29.75 <sup>a</sup>	5.67 <sup>a</sup>	29.75 <sup>a</sup>	6.22 <sup>a</sup>	36.25 <sup>b</sup>	5.45 <sup>b</sup>
3 Limani	28.00 <sup>a</sup>	6.05 <sup>a</sup>	28.00 <sup>a</sup>	6.95 <sup>a</sup>	31.25 <sup>b</sup>	5.00 <sup>b</sup>
4 Moka 579 Catie 49-45	43.00 <sup>a</sup>	5.70 <sup>a</sup>	43.00 <sup>a</sup>	6.85 <sup>a</sup>	50.75 <sup>b</sup>	5.95 <sup>ab</sup>
5 Mundo Novo 450	48.50 <sup>a</sup>	6.02 <sup>a</sup>	48.50 <sup>a</sup>	6.25 <sup>a</sup>	53.25 <sup>b</sup>	6.20 <sup>ab</sup>
6 Iapars	35.75 <sup>a</sup>	5.50 <sup>a</sup>	35.75 <sup>a</sup>	6.92 <sup>a</sup>	43.00 <sup>b</sup>	6.60 <sup>ab</sup>
7 Garnica Equimite	34.75 <sup>a</sup>	5.80 <sup>a</sup>	34.75 <sup>a</sup>	5.90 <sup>a</sup>	38.00 <sup>b</sup>	6.02 <sup>ab</sup>
8 Guadalupe	51.00 <sup>a</sup>	6.75 <sup>a</sup>	51.00 <sup>a</sup>	7.10 <sup>a</sup>	61.50 <sup>ab</sup>	7.27 <sup>ab</sup>
9 Gueisha	60.50 <sup>a</sup>	7.92 <sup>a</sup>	60.50 <sup>a</sup>	8.32 <sup>a</sup>	77.25 <sup>ab</sup>	8.27 <sup>ab</sup>
10 Typica Xanthocarpa	48.00 <sup>a</sup>	7.02 <sup>a</sup>	48.00 <sup>a</sup>	8.02 <sup>a</sup>	59.00 <sup>ab</sup>	7.55 <sup>ab</sup>
11 S L 28	54.50 <sup>a</sup>	9.07 <sup>a</sup>	54.50 <sup>a</sup>	10.32 <sup>a</sup>	58.00 <sup>ab</sup>	9.72 <sup>ab</sup>
12 San Ramón	32.00 <sup>a</sup>	5.03 <sup>a</sup>	32.00 <sup>a</sup>	6.60 <sup>a</sup>	37.50 <sup>b</sup>	5.77 <sup>ab</sup>
13 Batie	55.25 <sup>a</sup>	8.72 <sup>a</sup>	55.25 <sup>a</sup>	10.52 <sup>a</sup>	73.00 <sup>ab</sup>	10.22 <sup>ab</sup>
14 Arabusta	64.50 <sup>a</sup>	7.32 <sup>a</sup>	64.50 <sup>a</sup>	9.52 <sup>a</sup>	78.50 <sup>ab</sup>	9.30 <sup>ab</sup>
15 Mibirizi	67.75 <sup>a</sup>	9.77 <sup>a</sup>	67.75 <sup>a</sup>	11.55 <sup>a</sup>	75.75 <sup>ab</sup>	11.07 <sup>ab</sup>
16 Maracatu	57.50 <sup>a</sup>	8.30 <sup>a</sup>	57.50 <sup>a</sup>	10.37 <sup>a</sup>	70.50 <sup>ab</sup>	10.30 <sup>ab</sup>
17 Mokka de Tahiti	71.50 <sup>a</sup>	8.07 <sup>a</sup>	71.50 <sup>a</sup>	11.52 <sup>a</sup>	104.50 <sup>a</sup>	11.95 <sup>a</sup>
18 Iapar comercial	28.75 <sup>a</sup>	8.30 <sup>a</sup>	28.75 <sup>a</sup>	6.87 <sup>a</sup>	37.50 <sup>b</sup>	7.22 <sup>ab</sup>
19 Catuai rojo	33.50 <sup>a</sup>	7.22 <sup>a</sup>	33.50 <sup>a</sup>	6.17 <sup>a</sup>	44.25 <sup>b</sup>	6.87 <sup>ab</sup>
20 Blue Montain	43.25 <sup>a</sup>	6.57 <sup>a</sup>	43.25 <sup>a</sup>	8.37 <sup>a</sup>	59.25 <sup>b</sup>	9.15 <sup>ab</sup>
21 Bourbon Salvadoreño	38.50 <sup>a</sup>	6.57 <sup>a</sup>	38.50 <sup>a</sup>	6.55 <sup>a</sup>	44.25 <sup>b</sup>	5.72 <sup>b</sup>

AP: altura de planta. DT: diámetro de tallo. DDT: días después del trasplante. La prueba de Tukey ( $P>0.05$ ).

En lo que respecta al tercer muestro a los 651 DDT, se observó que la mayoría de las plantas presentaron una altura por arriba de los 40 cm, pero es importante recalcar

que este último muestreo si hubo diferencia estadística entre los genotipos de café ( $P>0.05$ ), saliendo sobresaliente la variedad Mokka de Tahiti con 104.5 cm, seguido de Arabusta 78.5 cm, Gueischa con 77.25 cm, Mibirizi 75.75 cm, Maractu 70.5 cm, Typica Xanthocarpa, Batie 73.00 cm y Maracatu 70 cm (Cuadro 2).

Por otro lado, Enriquez (1984) citado por Blanco *et al.* (2003) mencionan que hay otros factores de tipo agronómico que influyen el crecimiento del cafeto como es la variedad, densidad de siembra, sombra, manejo y nutrición. Pero para nuestro caso el crecimiento superior de los cultivares Moka de Thahiti, Mibirizi, Arabusta y Gueisha se le puede atribuir la variedad ya que los cultivares antes mencionados son de porte alto.

Así mismo menciona que no solo la variedad es un factor importante si no también, la interacción genotipo ambiente así como altitud, temperatura, cantidad y calidad de luz solar, humedad, características físicas, químicas y biológicas del suelo, sanidad y nutrición de las plantas, manejo, calidad de la planta y características edáficas de la zona en el estudio (zapata y Jiménez, 2016).

En lo que concierne a la variable DT, para el primer muestreo a los 470 DTT, la mayoría de las plantas presentaron valores por encima de 5 mm, todas se comportaron igual.

Para el segundo muestreo a los 562 DDT, hubo un incremento de diámetro de tallo y la mayoría de las plantas estuvieron por arriba de los 7 mm de tallo, todas se comportaron igual.

En el último muestreo a los 651 DDT, hubo un incremento de diámetro de tallo y la mayoría de las plantas estuvieron por arriba de los 7 mm de tallo, se presentó diferencias significativas entre los cultivares ( $P>0.05$ ), alcanzando mayor DDT los siguientes genotipos: Mokka de tahiti con 11.95 mm, seguido de Mibirizi con 11.07 mm, Maracatu con 10.3 mm, Batie con 10.22 mm, SL28 con 9.72 mm, Arabusta con 9.3 mm, Blue Motain con 9.15 mm, Gueisha con 8.27 mm, Typica Xanthocarpa con 7.55 mm, Guadalupe con 7.27 mm, lapars Comercial con 7.22 mm, Mundo Novo 3 con 6.97 mm, Catuai Rojo con 6.87 mm, lapars con 6.6 mm, Mundo Novo 450 con 6.2 mm, Garnica Equimite con 6.02 mm, Moka 579 Catie 49-45 con 5.950 mm, Limani con 5 mm y San Ramón con 5.775.

Arias *et al.* (1976) citados por Pilati (2005) mencionan que diámetro de tallo es de suma importancia, por que determina la capacidad del tallo para sostener la parte aérea de la planta, debido a ello se considera un índice de vigor del cafeto.

Pilati (2005) en su investigación de evaluación de tres diferentes tipologías de manejo agronómico, sobre la estructura de crecimiento, de productividad y calidad de café, reportó que los cafetales en sistema bajo sombra tuvieron mayor diámetro de tallo en comparación con sistema pleno sol. Esto concuerda con nuestra investigación y se le puede atribuir a la sombra que hace que guarde humedad (Blanco *y col.*, 2003).

Nuestros resultados en cuanto DT se le puede atribuir que está relacionado con la forma en la que interactúan sus componentes (sombra y variedad de café). Además, Una posible razón de esta diferencia puede deberse a la competencia por nutrientes y agua, y también porque cada cultivo (variedad o especie) requiere distintas condiciones de radiación solar para su crecimiento, además cabe mencionar que las variables altura de AP, DT y número de hojas se encuentran relacionales entre sí (Farfán y Urrego, 2004).

#### **4.2 Numero de ramas (NR), número de hojas (NH), área foliar (AF)**

En lo que respecta a la variable número de ramas (NR) (cuatro 3), en el primer muestreo efectuado a los 470 días después del trasplante (DTT), se puede apreciar que la mayoría de las variedades presentaron por encima de 3 ramas, se observaron que estadísticamente estos cinco genotipos fueron los que tuvieron mayor número de ramas respecto a los demás ( por lo tanto el resto de los genotipos son estadísticamente iguales), Mibirizi fue superior con 11 ramas, seguido de Arabusta con 9 ramas, Moka Catie 49-45 7 ramas, Icatu 7705 34-6 y Mundo Novo 3 presentaron 6 ramas.

En el segundo muestreo que corresponde a los 562 DTT, la mayoría de las variedades presentaron por encima de 6 ramas por plantas, no hubo diferencias estadísticas significativas entre los cultivares ( $P > 0.05$ ).

Para el tercer muestreo a los 561 DDT, la mayoría de las variedades tuvieron por encima de 8 ramas por planta, aquí los únicos diferentes son Mibirizi con 15 ramas y Bourbon Salvadoreño con 4 y los demás son estadísticamente iguales.

Encalada *et al.* (2016) en el estudio de influencia de la luz en algunas características fisiológicas del café, nos indica que la luz ejerce de cierta manera una influencia directa sobre el crecimiento y su comportamiento fisiológico de las plantas de café.

Archila *et al.* (2007) mencionan que las disponibilidades de agua y energía en las regiones cafetaleras y su interacción con los factores genéticos (por ejemplo variedades de café), nutricional y hormonal, 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.

En la variable de número de hojas por planta (NHP) (Cuadro 3), para el primer muestreo a los 470 DDT temporada de lluvia, la mayoría de las plantas obtuvieron por arriba de 30 hojas por planta, se observó diferencias significativas entre los cultivares ( $P>0.05$ ), Mibirizi fue sobresalientes con 107 hojas por plantas, seguida de Arabusta y Maracatu con 75 hojas, Moka de Tahiti con 64 hojas y Batie con 56 hojas.

Cuadro 3. Número de ramas (NR), número de hojas (NH) y área foliar (AF) de los cultivares de café.

Variedad	470 DDT			562 DDT			651 DDT		
	NR	NH	AF (cm <sup>2</sup> )	NR	NH	AF (cm <sup>2</sup> )	NR	NH	AF (cm <sup>2</sup> )
1 Mundo novo 3	6 ab	51 ab	1982 ab	6a	38 abc	1544 ab	7 ab	34 c	1112 bc
2 Icatu 77055 34-6	6 ab	42 ab	1412 b	6 a	31 abc	1001 b	7 ab	50 bc	1259 abc
3 Limani	4 bc	35 b	1252 b	4 a	28 bc	112 b	5 b	42 bc	1034 bc
4 Moka 579 Catie 49-45	7 abc	37 ab	939 b	8 a	36 abc	820 b	8 ab	49 bc	1281 abc
5 Mundo Novo 450	3 bc	40 ab	1360 b	7 a	34 abc	1141 ab	8 ab	55 bc	922 c
6 Iapars	3 bc	43 ab	1439 b	7 a	35 abc	1318 ab	10 ab	64 abc	1186 abc
7 Garnica Equimite	3 c	40 ab	1411 b	5 a	32 abc	1330 ab	7 ab	55 bc	1233 abc
8 Guadalupe	3 c	45 ab	1581 ab	6 a	29 bc	1162 ab	9 ab	68 abc	1237 abc
9 Geisha	3 c	51 ab	1642 ab	8 a	40 abc	1610 ab	10 ab	75 abc	2572 abc
10 Typica Xanthocarpa	3 c	46 ab	1811 ab	6 a	39 abc	18278 ab	8 ab	73 abc	1697 abc
11 S L 28	4 bc	42 ab	1604 ab	8 a	51 abc	2116 ab	9 ab	73 abc	1697 abc
12 San Ramón	3 c	35 b	10771 b	7 a	34 abc	912 b	8 ab	52 bc	958 c
13 Batie	3 c	56 ab	2031 ab	7 a	41 abc	1994 ab	10 ab	83 abc	2390 abc
14 Arabusta	9 b	75 ab	2781 ab	8 a	46 abc	2113 ab	13 ab	150 ab	2311 abc
15 Mibirizi	11 a	107 a	4288 a	11 a	75 a	3603 a	15 a	135 abc	3442 a
16 Maracatu	4 bc	75 ab	2982 ab	8 a	50 abc	2393 ab	11 ab	163 a	3332 b
17 Moka de tahiti	4 bc	64 ab	2113 ab	11 a	70 ab	2113 ab	14 ab	106 abc	2189 abc
18 Iapar Comercial	2 c	29 b	1284 b	5 a	25 bc	1855 ab	8 ab	58 bc	1154 bc
19 Catuai Rojo	2 c	23 b	742 b	4 a	27 bc	854 b	7 ab	48 bc	875 c
20 Blue Montain	3 c	33 b	1657 ab	7 a	37 abc	1463 ab	8 ab	59 bc	1193 abc
21 Bourbon Salvadoreño	2 c	21 b	628 b	4 a	20 c	701 b	4 b	32 c	477 c

NR: número de ramas. NH: número de hojas. AF: área foliar. DDT: días después del trasplante. La prueba de Tukey ( $P>0.05$ ).

Por el contrario, en el segundo muestreo realizado a los 562 DDT en periodo de seca, se observó una disminución de hojas por planta donde la mayoría de las plantas presentaron por encima de las 30 hojas por planta, sin embargo, el que mayor número de hojas presentó fue Mibirizi con 75 hojas, seguida de Moka de Tahiti con 70 hojas, SL28 52 hojas y Maracatu con 50 hojas. Como se puede observar existe una diferencia muy marcada entre el primer muestreo a los 470 DDT con mayores números de hojas en comparación con el segundo, esta situación, se le puede atribuir a que en el primer muestreo se tenía mayor disponibilidad de agua y en la segunda fue en periodo de seca en la cual la planta entro en estrés hídrico, ya que el agua es fundamental para la absorción de nutrientes por lo que propicio perdida de follaje.

En lo que respecta al tercer muestreo que corresponde a los 651 DDT (Cuadro 3), se registró un aumento de hojas ya que la mayoría estuvo por encima de 50 hojas por planta, además se observó diferencias significativas entre los cultivares ( $P > 0.05$ ), Maracatu con 163 hojas, seguido de Arabusta con 150 hojas, Mibirizi con 135 hojas, Moka de tahiti con 106, Batie con 83, Typica Xanthocarpa con 75, Geisha con 75, SL28 73, Guadalupe con 68 y lapars con 64.

Archila *et al.* (2007) argumentan que las hojas de los cafetos son órganos muy importantes en la cual se realiza la fotosíntesis, además de soportan el crecimiento y desarrollo vegetativo y reproductivo. Además, los mismos autores mencionan que durante todo el año ocurre formación de follaje, pero existen épocas en que los factores climáticos como la radiación y la disponibilidad de agua en el suelo favorecen una mayor formación de hojas. Sin embargo, también mencionan que las variaciones climáticas es un factor que afecta el desarrollo foliar aunado a ello las deficiencias hídricas (períodos secos prolongados), pueden provocar que las plantas presenten clorosis (envejecimiento prematuro) y pérdida del follaje.

Por otro lado, Rodríguez *et al.* (2015) en el estudio de anatomía foliar relacionada con la ruta fotosintética en árboles de café (*Coffea arabica* L., var. Caturra Rojo) expuestos a diferentes niveles de radiación solar en la Sierra Maestra, Granma en Cuba, menciona que el crecimiento de las hojas individuales independientemente del nivel de exposición solar estuvo relacionado con las precipitaciones, siendo las hojas de plantas crecidas a pleno sol de menor área foliar.

En la variable de área foliar (AF) en el cuadro 3, del primer muestreo a los 470 DTT en temporada de lluvia, la mayoría de las plantas obtuvieron por arriba de 1000 cm<sup>2</sup> de área foliar, se observó diferencias significativas entre los cultivares ( $P > 0.05$ ) siendo superior Mibirizi con 4289 cm<sup>2</sup> de área foliar, seguida de Maracatu con 2982 cm<sup>2</sup> de área foliar, Arabusta con 2781 cm<sup>2</sup> de área foliar, Moka de Tahiti con 2113 cm<sup>2</sup> de área foliar, Batie con 2031 cm<sup>2</sup> de área foliar, Mundo Novo con 1982 y Typica Xanthocarpa con 1811 cm<sup>2</sup> de área foliar.

Para el segundo muestreo a los 562 DTT en época de seca, se presentó una disminución de área foliar debido que hubo pérdida de hojas que se le puede atribuir a la falta de agua, por lo que la mayoría de los cultivares obtuvieron por arriba de 1000 cm<sup>2</sup> de área foliar, el superior fue Mibirizi con 3603 cm<sup>2</sup> de área foliar, seguido de Maracatu con 2394 cm<sup>2</sup>, Moka de tahiti y Arabusta con 2113 cm<sup>2</sup> de área foliar, Batie con 1994 y lapars Comercial con 1855 cm<sup>2</sup> de área foliar.

El muestreo efectuado a los 651 DDT la mayoría de las variedades obtuvieron un área foliar por encima de 1100 cm<sup>2</sup>, se observó diferencias significativas entre los cultivares ( $P > 0.05$ ), siendo la variedad Mibirizi con mayor presencia de área foliar de 3442 cm<sup>2</sup>, seguido de Maracatu con 3332 cm<sup>2</sup> de área foliar, Geisha con 2572 cm<sup>2</sup> de área foliar, Batie con 2390 cm<sup>2</sup> de área foliar y Arabusta 2311 cm<sup>2</sup> de área foliar.

Cabe mencionar que en el primer muestreo se obtuvo mayor área foliar en comparación del segundo y tercer muestreo, a causa del estrés hídrica de la planta lo que provocó la pérdida de las hojas por falta de agua.

Es importante hacer hincapié que esta variable está altamente relacionada con el número de hojas. Porque entre más hojas tenga la planta más área foliar tendrá. Además, tiene una estrecha relación con las precipitaciones lo que favorece un crecimiento mayor de hojas por planta.

Rodríguez *et al.* (2016) en estudio de anatomía foliar relacionada con la ruta fotosintética en árboles de café, reportaron que el crecimiento de hojas individuales independientemente del nivel de exposición solar estuvo relacionado con las precipitaciones, siendo las hojas de plantas crecidas a pleno sol de menor área foliar.

Archila *et al.* 2007 mencionan que las hojas del cafeto emitidas durante los meses más calientes del año y durante la fase de fructificación fueron más pequeñas. Esto se le atribuye a que las auxinas son capaces de migrar a los sitios menos iluminados de ambas caras de la lámina foliar y por ende mayor crecimiento. Al concentrarse en los sitios menos iluminados provocan mayor crecimiento celular. Como resultado las hojas más iluminadas mayor concentración de auxinas dentro del mesófilo a diferencia de lo que ocurre en las hojas sombreadas, donde las auxinas se diluyen en toda la hoja, incluyendo el mesófilo y la epidermis.

Rodríguez *et al.* (2005) en el trabajo de investigación de aplicación del enfoque multivariado para estudiar las respuestas fisiológicas del cafeto, reportaron que el crecimiento foliar fue mayor en cafetos sombreados que en comparación al sol. En ese mismo contexto Rodríguez *et al.* (2016) en el estudio de Anatomía foliar relacionada con la ruta fotosintética en árboles de café (*Coffea arabica* L., var. Caturra Rojo) expuestos a diferentes niveles de radiación solar en la Sierra Maestra, Granma en Cuba, mayor área foliar en sistemas bajo sombra que en comparación en pleno sol, entonces el crecimiento de hojas individuales independientemente del nivel de exposición solar estuvo relacionado con las precipitaciones, siendo las hojas de plantas crecidas a pleno sol de menor área foliar. Las hojas emitidas durante los meses más calientes del año y durante la fase de fructificación fueron más pequeñas. De acuerdo a la información antes mencionada, los resultados obtenidos de esta investigación concuerdan con Rodríguez *et al.* (2016) y Rodríguez *et al.* (2005)

#### **4.3 Largo rama por planta (LRP), cantidad de nudos por planta (CNP), largo de entrenudos por planta (LNP)**

En lo que refiere a la variable longitud de ramas por planta (LRP) en el cuadro 3, de las variedades del banco de germoplasma de café, en el primer muestreo a los 470 DDT en periodo de lluvia, la mayoría de los cultivares alcanzaron por encima de los 10 cm de largo de cada rama por planta, no presentaron diferencias estadísticas significativas entre los cultivares ( $P > 0.05$ ).

En el segundo muestreo a los 562 DDT en época de seca, presentaron incrementos en donde la mayoría de los cultivares estuvieron por arriba de los 12 cm de longitud de bandolas por planta, presentaron diferencias estadísticas significativas entre los

cultivares ( $P>0.05$ ), siendo superior Mibirizi con 30.7 cm, seguida de Moka de Tahiti con 30.29 cm y el más bajo Catuai Rojo con 7.57 cm y la demás de los genotipos se comportaron de la misma manera.

Cuadro 4. Largo de rama por planta (LRP), cantidad de nudos por planta (CNP), largo de entrenudos por planta (LEP) de las variedades de café.

Variedad	470 DDT			562 DDT			651 DDT		
	LRP	CNP	LEP	LRP	CNP	LEP	LRP	CNP	LEP
1 Mundo novo 3	24.22 <sup>a</sup>	5 <sup>a</sup>	6.2 <sup>a</sup>	23.14 <sup>abc</sup>	5 <sup>ab</sup>	5.5 <sup>a</sup>	24.13 <sup>ab</sup>	4 <sup>ab</sup>	4.4 <sup>a</sup>
2 Icatu 77055 34-6	11.53 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>	3.9 <sup>a</sup>	11.19 <sup>abc</sup>	4 <sup>abc</sup>	3.7 <sup>ab</sup>	11.34 <sup>bc</sup>	3 <sup>ab</sup>	3.4 <sup>a</sup>
3 Limani	20.08 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>	3.34 <sup>a</sup>	12.36 <sup>abc</sup>	3 <sup>abc</sup>	3.3 <sup>ab</sup>	11.75 <sup>bc</sup>	3 <sup>ab</sup>	3.2 <sup>a</sup>
4 Moka 579 Catie 49-45	11.97 <sup>a</sup>	4 <sup>a</sup>	3.46 <sup>a</sup>	10.98 <sup>abc</sup>	3 <sup>abc</sup>	3.6 <sup>ab</sup>	11.99 <sup>bc</sup>	3 <sup>ab</sup>	3.3 <sup>a</sup>
5 Mundo Novo 450	17.22 <sup>a</sup>	4 <sup>a</sup>	5.02 <sup>a</sup>	15.80 <sup>abc</sup>	4 <sup>abc</sup>	4.8 <sup>ab</sup>	16.15 <sup>abc</sup>	3 <sup>ab</sup>	3.8 <sup>a</sup>
6 Iapars	13.5 <sup>a</sup>	4 <sup>a</sup>	4.24 <sup>a</sup>	12.23 <sup>abc</sup>	4 <sup>abc</sup>	3.9 <sup>ab</sup>	12.73 <sup>bc</sup>	3 <sup>ab</sup>	3.6 <sup>a</sup>
7 Garnica Equimite	14.03 <sup>a</sup>	4 <sup>a</sup>	3.76 <sup>a</sup>	11.98 <sup>abc</sup>	4 <sup>abc</sup>	3.5 <sup>ab</sup>	13.01 <sup>bc</sup>	4 <sup>ab</sup>	4.2 <sup>a</sup>
8 Guadalupe	20.22 <sup>a</sup>	4 <sup>a</sup>	5.49 <sup>a</sup>	19.57 <sup>abc</sup>	4 <sup>abc</sup>	5.6 <sup>a</sup>	21.09 <sup>bc</sup>	4 <sup>ab</sup>	3.8 <sup>a</sup>
9 Geisha	17.19 <sup>a</sup>	4 <sup>a</sup>	5.4 <sup>a</sup>	13.35 <sup>abc</sup>	3 <sup>abc</sup>	5.5 <sup>a</sup>	15.45 <sup>abc</sup>	3 <sup>ab</sup>	3.8 <sup>a</sup>
10 Typica Xanthocarpa	20.46 <sup>a</sup>	4 <sup>a</sup>	5.05 <sup>a</sup>	19.52 <sup>abc</sup>	4 <sup>abc</sup>	5.1 <sup>a</sup>	21.02 <sup>abc</sup>	5 <sup>ab</sup>	5.2 <sup>a</sup>
11 S L 28	22.5 <sup>a</sup>	5 <sup>a</sup>	4.8 <sup>a</sup>	19.32 <sup>abc</sup>	4 <sup>abc</sup>	4.6 <sup>ab</sup>	22.80 <sup>abc</sup>	5 <sup>ab</sup>	4.8 <sup>a</sup>
12 San Ramón	14.08 <sup>a</sup>	5 <sup>a</sup>	2.98 <sup>a</sup>	9.79 <sup>abc</sup>	4 <sup>abc</sup>	3.6 <sup>ab</sup>	10.77 <sup>bc</sup>	5 <sup>ab</sup>	5.2 <sup>a</sup>
13 Batie	26.04 <sup>a</sup>	6 <sup>a</sup>	4.69 <sup>a</sup>	24.58 <sup>b</sup>	6 <sup>a</sup>	4.9 <sup>ab</sup>	26.13 <sup>b</sup>	6 <sup>a</sup>	5.9 <sup>a</sup>
14 Arabusta	20.26 <sup>a</sup>	4 <sup>a</sup>	5.43 <sup>a</sup>	21.54 <sup>abc</sup>	5 <sup>ab</sup>	4.9 <sup>ab</sup>	21.15 <sup>abc</sup>	5 <sup>ab</sup>	5.1 <sup>a</sup>
15 Mibirizi	27.57 <sup>a</sup>	6 <sup>a</sup>	5.81 <sup>a</sup>	30.67 <sup>a</sup>	5 <sup>ab</sup>	5.5 <sup>a</sup>	30.1 <sup>a</sup>	5 <sup>ab</sup>	5.6 <sup>a</sup>
16 Maracatu	14.89 <sup>a</sup>	4 <sup>a</sup>	4.82 <sup>a</sup>	16.99 <sup>abc</sup>	4 <sup>abc</sup>	5.0 <sup>ab</sup>	21.32 <sup>abc</sup>	5 <sup>ab</sup>	4.8 <sup>a</sup>
17 Moka de tahiti	24.62 <sup>a</sup>	5 <sup>a</sup>	5.5 <sup>a</sup>	30.29 <sup>a</sup>	5 <sup>ab</sup>	5.6 <sup>a</sup>	23.84 <sup>abc</sup>	5 <sup>ab</sup>	5.4 <sup>a</sup>
18 Iapar Comercial	13.98 <sup>a</sup>	4 <sup>a</sup>	4.02 <sup>a</sup>	11.81 <sup>abc</sup>	3 <sup>abc</sup>	3.8 <sup>ab</sup>	11.50 <sup>bc</sup>	3 <sup>ab</sup>	3.5 <sup>a</sup>
19 Catuai Rojo	8.87 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>	3.65 <sup>a</sup>	7.57 <sup>c</sup>	2 <sup>c</sup>	2.7 <sup>b</sup>	8.63 <sup>c</sup>	4 <sup>ab</sup>	3.8 <sup>a</sup>
20 Blue Montain	19.07 <sup>a</sup>	4 <sup>a</sup>	5.57 <sup>a</sup>	17.24 <sup>abc</sup>	3 <sup>abc</sup>	5.0 <sup>ab</sup>	18.77 <sup>abc</sup>	4 <sup>ab</sup>	4.3 <sup>a</sup>
21 Bourbon salvadoreño	12.87 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>	4.72 <sup>a</sup>	10.32 <sup>abc</sup>	2 <sup>c</sup>	5.0 <sup>a</sup>	14.93 <sup>abc</sup>	3 <sup>ab</sup>	3 <sup>a</sup>

LRP: largo de rama por planta. CNP: cantidad de nudos por planta. LEP: largo de entrenudos por planta. DDT: días después del trasplante. La prueba de Tukey ( $P>0.05$ ).

En lo que respecta al tercer muestro efectuado a los 651 DDT, la mayoría de las plantas presentaron bandolas por encima de los 15 cm de largo, también presentaron diferencias estadísticas significativas entre los cultivares ( $P>0.05$ ), siendo superior Mibirizi con 30.1 cm de largo, seguido de Batie con 26.13 cm de largo y Catuai Rojo con 8.63 cm de largo.

También se observó en algunos casos que en el primer muestreo estuvo más larga que en segundo, pero esto se debió a que los cultivares están establecidos bajo árboles caducifolios y estos al caer las ramas secas trozaron las ramas de los cultivares.

Blanco *et al.* (2003) comentan que la bandola es de mucha importancia que su crecimiento y producción de entrenudos es constante y solo se detiene para dar lugar a la formación y nutrición de los frutos. Por otro lado, el exceso de sombra tiene un efecto negativo en desarrollo las ramas (bandolas) y entrenudos.

Suazo (2020) en el trabajo de investigación de caracterización morfológica y molecular de café, observaron que las plantas que estuvieron bajo sombra presentaron mayor longitud de ramas que le atribuye a los factores físicos y el sistema de sombra, ya que el exceso de sombra tiene un efecto negativo sobre las mismas. Los resultados de la investigación concuerdan con autores antes mencionados debido a que la mayoría de las variedades tuvieron un buen crecimiento en cuanto a longitud de ramas ya que en el primer muestreo tuvo por encima de 10, al segundo 12 y al tercer 15 cm por lo cual la sombra y los factores físicos jugaron un papel importante en el desarrollo de la bandola en sistema bajo sombra.

En el cuadro 4, que corresponde a cantidad de nudos por planta (CNP) de los cultivares de café, en el primer muestreo efectuado a los 470 DDT en periodo de lluvia, la mayoría de las plantas tuvieron por encima de 2 nudos, pero no se observaron diferencias estadísticas significativas entre los cultivares ( $P > 0.05$ ).

Para el caso del segundo muestreo la mayoría de las variedades presentaron por encima de 3 nudos, se presentó diferencias estadísticamente significativas entre los cultivares ( $P > 0.05$ ), el cultivar mayor cantidad de nudos por planta fue Batie con 6 nudos, Mundo Novo, Mibirizi, Arabusta y Moka de Tahiti con 5 nudos.

En el tercer muestreo la mayoría de las plantas presentaron por encima de 4 nudos, se observó diferencias estadísticamente significativas entre los cultivares ( $P > 0.05$ ), siendo Batie superior con 6, seguido de San Ramón, Mibirizi, Moka de Tahiti, Typica Xanthocarpa, Arabusta, SL 28 y Maracatu con 5, Mundo Novo 3, Blue Motain, Garnica Equimite, Guadalupe y Catuai rojo con 4, Mundo Novo 450, Geisha, Icatu 77055 34-6, lapars y lapars comercial con 3.

La variable CN está muy relacionada con la longitud de ramas, debido a que en cuanto más longitud de ramas más cantidad de nudos tendrá la planta que a su vez están se verán reflejados a futuro en mayor producción.

De acuerdo a esto Pilati (2005) en el estudio de caracterización de café, obtuvieron mayor número de nudos en el sistema bajo sombra lo que indico que el porte de hojarasca por los arboles de sombra y el microclima, propician un medio más apropiado para el desarrollo del cafeto por lo que conservan la humedad y la fertilidad del suelo.

Aunado a esto, Briceño y Arias (1992) en la investigación de cafeto (*Coffea arabica*) crecimiento vegetativo y reproductivo de tres cultivares, reportaron que tuvieron más formación de hojas en el eje plagiatrópico como la de nudos, pero en el ortotrópico fue más lento, por lo tanto, el crecimiento vegetativo como el crecimiento reproductivo está asociado a las lluvias y que el crecimiento lento se le atribuye al periodo de seca, debido a la menor tasa fotosintética.

Respecto al cuadro 4, que corresponde a longitud de entrenudos por planta (LEP) de las variedades del banco de germoplasma de café, en el primer muestreo a los 470 DDT en época de lluvia, la mayoría de las plantas presentaron por encima de 4 cm de longitud de entrenudos por planta, no se diferencia estadísticamente significativa entre los cultivares ( $P>0.05$ ).

En el segundo muestreo a los 562 DDT en época de seca, la mayoría de los cultivares estuvieron por arriba de 4 cm de largo de entrenudos, se halló diferencia estadísticamente significativa entre los cultivares ( $P>0.05$ ), presentando superioridad Moka Tahiti y Guadalupe con 5.60 cm, Mibirizi 5.56 cm, Mundo Novo 5.51 cm, Gueisha 5.59, Typica Xanthocarpa 5.29 cm.

En el muestreo tres a los 651 DDT, la mayoría de los cultivares presentaron por encima de 4 cm de longitud de entrenudos por planta, no se aprecia diferencia estadísticamente significativa entre los cultivares ( $P>0.05$ ).

En lo que concierne a longitud de entrenudos está muy relacionada a la genética (variedad) porque ciertas variedades tienen sus características que se distinguen de las demás si son nudos muy cortos (2 a 4 cm), cortos (4 a 6), intermedios de (6 a 8) (ANACAFÉ<sup>1</sup>, 2021).

---

<sup>1</sup> La Asociación Nacional del Café.

#### 4.4 Contenido de clorofila total (CCT)

En el cuadro 5, que hace referencia a la concentración de clorofila de las variedades del banco de germoplasma de café, en el primer muestreo efectuado a los 470 DDT en época de lluvia, la mayoría de los cultivares presentaron por arriba de los 400 micromoles m<sup>2</sup> de clorofila y estadísticamente no hubo diferencias entre los cultivares (P>0.05) y para el segundo muestreo a los 562 DDT en época de seca, la mayoría de las variedades mostraron un incremento de concentración de clorofila por encima de 500 micromoles m<sup>-2</sup>, aunque cabe mencionar que estadísticamente no hubo diferencias entre los cultivares (P>0.05). Y para el tercer muestreo la concentración de clorofila fue por encima de 500 micromoles m<sup>-2</sup> estadísticamente si hubo diferencias entre los siguientes genotipos (P>0.05), los que presentaron mayor concentración fue San Ramón con 603.28 micromoles m<sup>-2</sup>, Mokka de Tahiti 596.18 micromoles m<sup>-2</sup>, Catuai Rojo 590.03 micromoles m<sup>-2</sup> y Bourbon Salvadoreño menor concentración de clorofila con 288 micromoles m<sup>-2</sup>.

Cuadro 5. Contenido de clorofila total de los cultivares de café a los 470, 562 y 651 DDT.

	Variedad	470 DDT	562 DDT	651 DDT
		CCT	CCT	CCT
1	Mundo Novo 3	399.6 <sup>a</sup>	524 <sup>a</sup>	559.03 <sup>ab</sup>
2	Icatu 77055 34-6	477.1 <sup>a</sup>	753.7 <sup>a</sup>	565.10 <sup>ab</sup>
3	Limani	426.6 <sup>a</sup>	442.7 <sup>a</sup>	576.50 <sup>ab</sup>
4	Moka 579 Catie 49-45	578.2 <sup>a</sup>	572.1 <sup>a</sup>	451.18 <sup>abc</sup>
5	Mundo Novo 450	449.4 <sup>a</sup>	704 <sup>a</sup>	507.13 <sup>abc</sup>
6	Iapars	519 <sup>a</sup>	693.3 <sup>a</sup>	434.38 <sup>abc</sup>
7	Garnica equimite	462.8 <sup>a</sup>	543.5 <sup>a</sup>	477.90 <sup>abc</sup>
8	Guadalupe	457 <sup>a</sup>	568.1 <sup>a</sup>	434.25 <sup>abc</sup>
9	Gueisha	453.8 <sup>a</sup>	727.7 <sup>a</sup>	428.45 <sup>abc</sup>
10	Typica Xanthocarpa	475.6 <sup>a</sup>	597.7 <sup>a</sup>	359.55 <sup>abc</sup>
11	S L 28	478 <sup>a</sup>	568.1 <sup>a</sup>	455.50 <sup>abc</sup>
12	San Ramon	517.1 <sup>a</sup>	727.7 <sup>a</sup>	596.18 <sup>a</sup>
13	Batie	492 <sup>a</sup>	640.7 <sup>a</sup>	496.75 <sup>abc</sup>
14	Arabusta	505.7 <sup>a</sup>	641.3 <sup>a</sup>	579.68 <sup>b</sup>
15	Mibirizi	451.4 <sup>a</sup>	538.3 <sup>a</sup>	454.55 <sup>abc</sup>
16	Maracatu	666.2 <sup>a</sup>	800.4 <sup>a</sup>	520.23 <sup>ab</sup>
17	Moka de tahiti	1000.6 <sup>a</sup>	2108.8 <sup>a</sup>	590.03 <sup>a</sup>
18	Iapar comercial	564.4 <sup>a</sup>	589.2 <sup>a</sup>	512.23 <sup>abc</sup>
19	Catuai rojo	390.6 <sup>a</sup>	539.1 <sup>a</sup>	603.28 <sup>a</sup>
20	Blue Montain	580 <sup>a</sup>	597.7 <sup>a</sup>	567.98 <sup>ab</sup>
21	Bourbon Salvadoreño	602 <sup>a</sup>	480.7 <sup>a</sup>	288.00 <sup>c</sup>

CCT: contenido de clorofila total. DDT: días después del trasplante. La prueba de Tukey (P>0.05).

En el estudio realizado por Fahl *et al.* (1994) observaron que las hojas fueron más gruesas en pleno sol y en sombra más delgadas y un área foliar más grande que permite una captación más eficiente de la energía luminosa disponible, así mismo tuvieron más tilacoides por granum y más grana por cloroplasto en plantas cultivadas a la sombra, por lo tanto, las plantas que estuvieron en sombras presentaron mayor contenido de clorofila. Estos resultados del autor antes mencionado concuerdan con los resultados obtenidos en esta investigación.

Mariño (2014) menciona que existe una correspondencia entre el nivel de luz y el contenido de clorofila total, por otro lado Encalada *et al.* (2016) reportó que hay relación entre el nivel de luz y el contenido de clorofila total y está relacionado con el incremento en el número de grana y de tilacoides en los cloroplastos, lo que hace más eficiente la captación y transformación de la energía lumínica. Porque las plantas de café poseen cierta habilidad de adaptación fisiológica a diferentes niveles de luz, en la cual captan y utilizan eficazmente la escasa luz disponible.

#### **4.5 Fotosíntesis**

Respecto al rendimiento cuántico de la fotosíntesis de los cultivares del banco de germoplasma de café en el primer muestreo a los 470 DDT en época de lluvia, la mayoría de las plantas presentaron un rendimiento cuántico por encima de 0.78 de fluorescencia variable y fluorescencia máxima ( $F_v/f_m$ ) a las 9:00 h, pero algunas variedades obtuvieron un mayor rendimiento cuántico como Maracatu con 0.80, seguido de Limani con 0.79 esto nos demuestra que estas variedades se están adaptando mejor a las condiciones de edafoclimáticas del banco de germoplasma por que se encuentran por encima de los 0.73 del parámetro del rendimiento cuántico, si estos estuvieran por debajo del rango las plantas estarían sufriendo de algún estrés ya sea biótico y abiótico. Así mismo se observó variedades que estuvieron por debajo de los 0.72  $F_v/F_m$ , fueron Typica, Arabusta, Iapar Comercial y lo que respecta a la mayoría de las plantas estuvieron por arriba de los 0.74 de rendimiento cuántico.

Respecto a la segunda lectura a las 13:00h la mayoría de los cultivares presentaron un rendimiento cuántico por encima de 0.74  $F_v/F_m$  y los cultivares superior fueron Limani con 0.80, seguido de Garnica Equimite, Batie, Geisha y Maractu con 0.78, Mundo Novo 450, Mokka 579 catie 4945I, Iapars, SL28, San ramón, Mibirizi y bourbon

salvadoreño con 0.76. En comparación a las dos lecturas se observó un mejor rendimiento cuántico a las 13h a comparación de las 9:00 h, y Mundo Novo, Icatu, Garnica Equimite, Geisha, San Ramon y Mibirizi con 0.78 a las 13 h. Pero algunos cultivares también se vieron afectados en cuanto al rendimiento cuántico ya que se mostraron por debajo de los 0.72 Fv/Fm como es Batie, Maracatu, Ipara Comercial y Blue Montain. Este parámetro indica que las plantas que poseen un rendimiento cuántico por encima de 0.73 son las que mejor se están adaptando a las condiciones edafoclimaticas de lugar donde se estableció el banco de germoplasma de café (Muñoz y Hernández 2016).

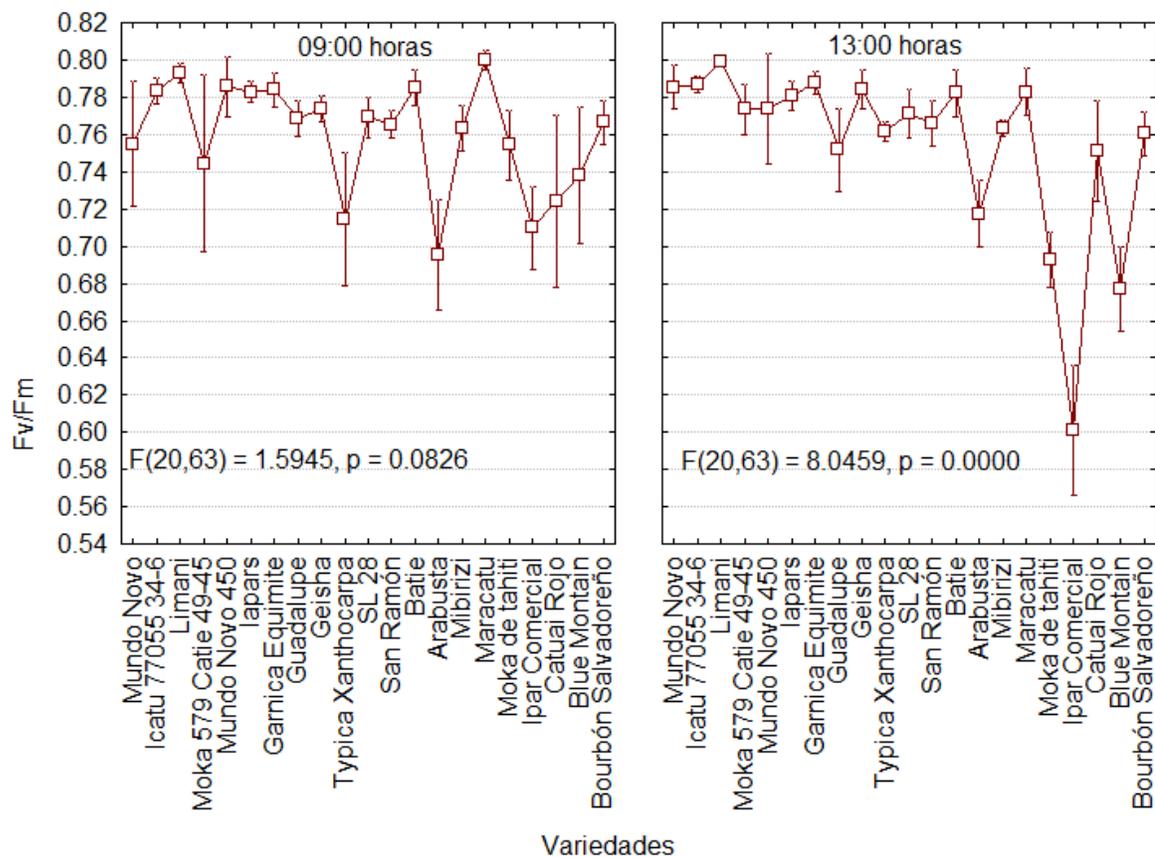


Figura 3. Rendimiento cuántico de la fotosíntesis de las variedades de café a los 470 días después del trasplante.

Azcon *et al.* (2021) mencionan que la fotosíntesis se ve afectada por los factores tales como la luz, temperatura (óptimo 34°C), disponibilidad hídrica (estrés hídrico) y los nutrientes minerales en el suelo (N P K), etc.

La fluorescencia de clorofila (indicador Fv/Fm) es una herramienta muy útil para detectar el daño en el fotosistema II (PSII) en plantas expuestas a algún tipo de estrés (biótico y / o abiótico). Muñoz y Hernández (2016) indican que la emisión de fluorescencia puede ser medida como indicador del rendimiento cuántico del fotosistema II (Fv/Fm) se utiliza mayormente para determinar si la planta está en un tratamiento de estrés y si los valores decrecen a valores por debajo de 0.75 indica que el rendimiento para reemitir la luz está afectado, hasta llegar a la muerte de la planta. Estos resultados concuerdan con lo de nuestra investigación que nos indica que hay ciertas plantas que se están adaptado mejor las que está dentro de rango de .75 a .80 y a futuro recomendar las mejores adaptadas.

En el segundo muestreo de rendimiento cuántico de fotosíntesis efectuado a los 562 DDT en época de seca, en el horario de las 9:00 h la mayoría de los cultivares presentaron por encima de 72 Fv/Fm, aunque se observaron cultivares con un rendimiento cuántico superiores como Ipar Comercial con 0.77, Blue Motain con 0.76, Maracatu con 75, seguido de Guadalupe y Moka de Thahiti con 0.74. Para las 13:00 h se mostró una disminución de rendimiento cuántico en la mayoría de los cultivares, la mayoría estaba por arriba de 0.68, el cultivar Maracatu presento mayor rendimiento cuántico con 0.78, seguido de Moka de Tahiti, Ipar Comercial con 0.77 y Blue Montain con 0.75.

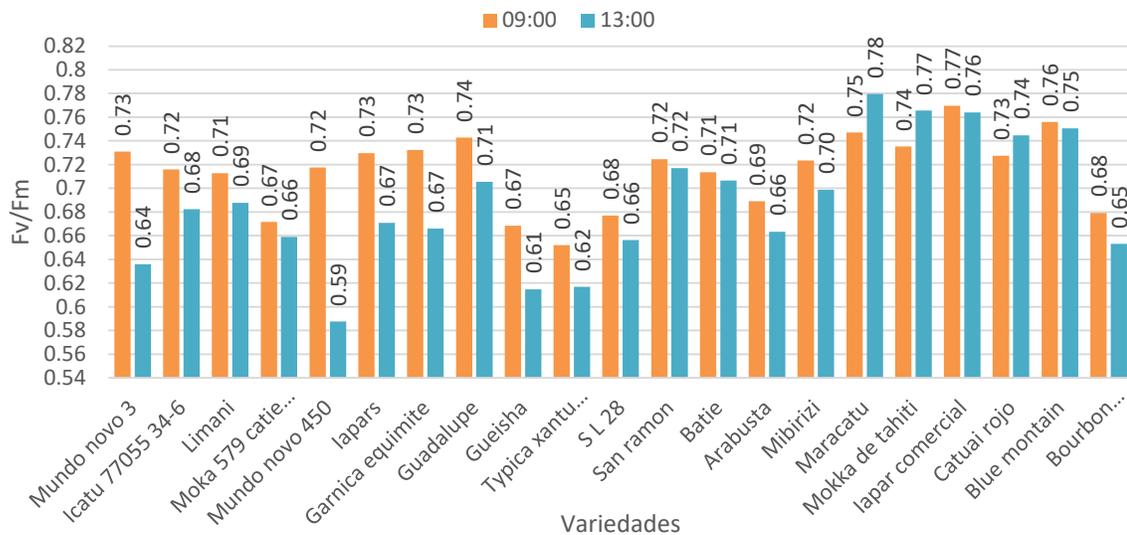


Figura 4. Rendimiento cuántico de la fotosíntesis de las variedades de café a los 562 días después del trasplante.

Por lo tanto si comparamos el primer muestreo a los 470 DDT con el segundo a los 562 DDT podemos apreciar una disminución del rendimiento cuántico, esto posiblemente se deba a que en el primer muestreo en el suelo existía un mayor disponibilidad de agua en comparación al segundo muestreo en donde la disponibilidad de agua era menor (época de seca) y aunado a ello la altas temperaturas afectan al rendimiento cuántico así como la cantidad de luz, por ende todo ello suma a un rendimiento cuántico bajo la disminución del rendimiento cuántico (Azcon *et al.*, 2021).

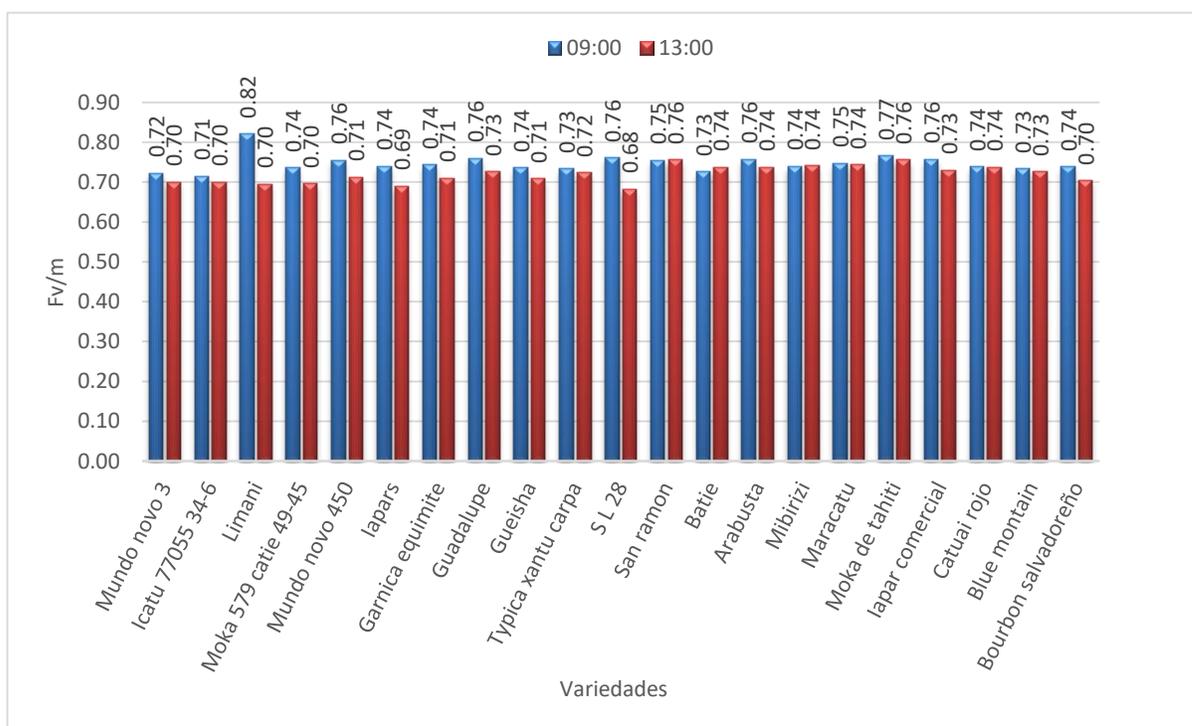


Figura 5. Rendimiento cuántico de la fotosíntesis de las variedades de café a los 651 días después del trasplante.

Respecto al tercer muestreo de rendimiento cuántico de fotosíntesis efectuado a los 651 DDT, en el horario de las 9:00h la mayoría de los cultivares presentaron por encima de 73 Fv/Fm, la que mayor rendimiento cuántico presento fue la variedad Limani con 0.82, seguido de Mokka de tahiti con 77, Mundo Novo 450, Guadalupe, SL28, Arabusta y lapars comercial con 0.76. Y para la lectura de las 13:00h se apreció una disminución del rendimiento cuántico de la fotosíntesis en donde la mayoría de las variedades estuvo con 0.70 Fv/Fm, mostrando superior la variedad moka de Tahiti con

0.76, seguido de la variedad Catuai rojo, Maracatu, Mibirizi, Arabusta, Batie con 0.74. Entonces realizando una comparación de los tres muestreos al que mejor rendimiento cuántico presento es el primer muestro efectuado a los 470 DDT esto posiblemente se le puede atribuir a la disponibilidad de agua que tenían a comparación de dos muestreos posteriores ya que fue en época de seca.

#### 4.6 clasificación fenotípica de las variedades de café acuerdo a las variables medidas

En la figura 6, que corresponde al dendograma de clasificación fenotípica de las variedades de café acuerdo a las variables medidas, se puede observar que se forman dos grupos fenotípicamente similares en el primer grupo se encuentra los cultivares Mundo Novo, Batie, Moka de Tahiti, Arabusta, Maracatu y Mibirizi. El otro grupo se subdivide en dos, el primer subgrupo está conformado Icatu 77055 34-6, Gueisha, Guadalupe, S28, Blue Motain, Typica Xantu Carpa, Limani, Iapar Comercial, Mundo Novo 450, Garnica Equimite, Ipars y el segundo subgrupo está conformado por Moka 579 catie 49-45, San Ramón, Catuai Rojo, Borbon Salvadoreño.

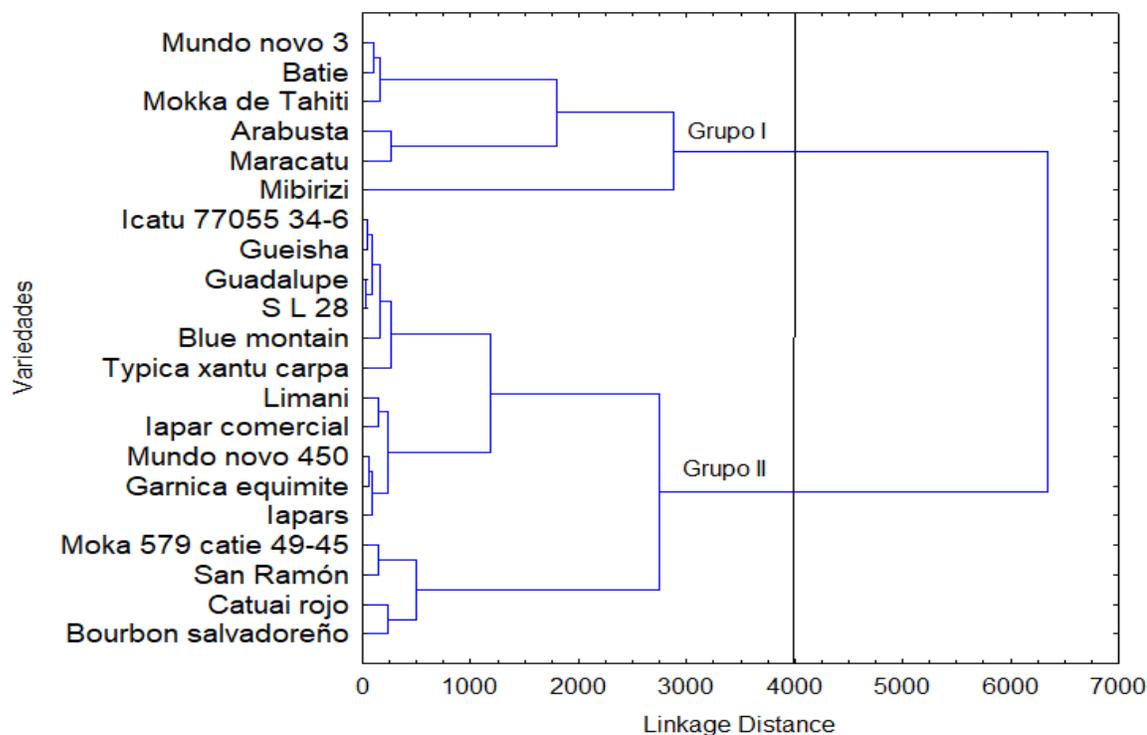


Figura 6. Dendograma de clasificación fenotípica de las variedades de café acuerdo a las variables medidas.

En el Dendograma se formaron dos grupos fenotípicamente similares en cuanto a las variables medidas, esto posiblemente se le atribuye al factor genético (variedad) debido a que posee un conjunto características específicas y por lo tanto tienen el mismo aspecto que hace que se distinga de otras variedades, además de ser estable (World Coffee Research<sup>1</sup>, 2016). Los mismos autores mencionan que una variedad debe tener tres aspectos importantes, la primera ser homogénea: que posee un conjunto características específicas y todas deben de tener el mismo aspecto, la segunda ser diferente: se distingue de otras variedades por sus características peculiares, y la tercera ser estable.

El cafeto puede ser reproducido de una manera tal que sus características no se modifican en las siguientes generaciones. Por su parte Franco e Hidalgo (2003) mencionan que la caracterización morfológica permite estudiar la variabilidad genética de cada muestra; es por ello que se convierte en una herramienta fundamental para evitar las duplicaciones de un mismo material y minimizar la sobrestimación de la diversidad existente. Y los órganos más importantes para la descripción morfológica, son aquellos menos influenciados por el ambiente (la flor y el fruto, seguidos de la hoja, el tronco, las ramas, las raíces y los tejidos celulares).

---

<sup>1</sup>Organización agrícola de investigación y desarrollo sin fines de lucro.

## 5. CONCLUSIÓN

Con base a los resultados obtenidos respecto a las variedades presentes en el banco de germoplasma de café se concluye lo siguiente:

En lo respecta a la variable AP sobresalieron estadísticamente la variedad Mokka de Tahiti, seguido de Arabusta, Mibirizi, Batie, Maracatu, Guadalupe, Blue Motain, Mundo Novo 3, Typica Xanthocarpa y SL 28. Entonces se le atribuye al factor genético que propicio que unas variedades sobresalieran en comparación a otras.

En DT las variables sobresalieron estadísticamente Mokka de tahiti, seguido de Mibirizi, Maracatu, Batie, SL28, Arabusta, Blue Motain, Gueisha, Typica Xanthocarpa, Guadalupe, lapars Comercial, Mundo Novo 3, Catuai Rojo, lapars, Mundo Novo 450, Garnica Equimite, Moka 579 catie 49-45, Limani y San Ramón.

En cuanto a la variable NR las variedades que mayor número de ramas presentaron fueron: Mibirizi, Arabusta, Moka catie 49-45, Icatu 7705 34-6 y Mundo Novo 3.

En lo que respecta a NH las variedades que sobresalieron fueron: Maracatu, seguido de Arabusta, Mibirizi, Moka de tahiti, Batie, Typica Xanthocarpa, Geisha, SL28, Guadalupe y lapars.

En AF las variedades que se mostraron superiores en cuanto área foliar fueron: Mibirizi, seguida de Maracatu, Geisha, Batrie, Arabusta, Moka de Tahiti, Batie, Mundo Novo y Typica Xanthocarpa, esto se le atribuye a que se encontraba en época de lluvia se tenía mayor humedad y eso propicio mayor crecimiento de hojas y por lo tanto se tuvo mayor número de hojas y por lo consiguiente mayor área foliar.

La variable LRP la mayoría de las variedades registraron por encima de 15 cm de largo, pero las variedades que siempre tuvieron más largas las bandolas fueron Mibirizi, seguido de Batie, Mundo novo, Moka de tahiti, SL 28, Maracatu, Arabusta, Guadalupe, Typica Xanthocarpa, Blue Montain, Mundo Novo 450 y Geisha.

En cuanto CNP la mayoría obtuvieron por encima de 4 nudos por planta y las variedades que se observaron superiores fueron: Batie, San Ramón, Mibirizi, Moka de Thahiti, Typica Xanthocarpa, Arabusta, SL 28, Maracatu, Mundo Novo, Blue Motain, Garnica Equimite, Guadalupe, Catuai rojo, Mundo Novo 450, Geisha, Icatu 77055 34-6, lapars y lapars comercial.

Respecto a esta variable CEP la mayoría de las variedades obtuvo por encima de 4 cm de largo de entrenudos y las variedades que fueron superiores fueron Moka Tahiti, Guadalupe, Mibirizi, Mundo Novo, Gueisha, Typica Xanthocarpa.

Las variedades de Moka de tahiti, Maracatu, Icatu 77055 34-6, 579 Catie 49.45 y San Ramón presentaron mayor concentración de clorofila y está relacionada con el área foliar.

Las variedades que mejor se adaptan a la zona son: mundo novo, Icatu, Garnica Equimite, Gueisha, San Ramón, Mibirizi, Blue Motain, Maracatu, Guadalupe, Moka de tahiti ya que presentaron por arriba de .74 de rendimiento cuántico de la fotosíntesis en los muestreos efectuados.

Las variedades estudiadas se agrupan en dos grupos fenotípicos similares en cuanto a las variables medidas, en el primer grupo se encuentra Mundo Novo, Batie, Moka de tahiti, Arabusta, Maracatu y Mibirizi y el segundo grupo está conformado por Icatu 77055 34-6, Gueisha, Guadalupe, SL28, Blue Motain, Typica Xanto Carpa, Limani, lapar comercial, Mundo novo 450, Garnica Equimite, lapars, Moka 579 catie 49-45, San Ramón, Catuai Rojo y Borbon salvadoreño.

## 6. LITERATURA CITADA

- Abadie, T., and A. Berretta. 2001. "Caracterización y Evaluación de Recursos Fitogenéticos." Pp. 88–95 in *Estrategia en recursos fitogenéticos para los países del Cono Sur*. Montevideo: PROCISUR.
- Alvarado, C. I. 2019. Influencia de las condiciones climáticas y meteorológicas sobre el desarrollo fenológico de café (*Coffea arabica*) y severidad de la roya *Hemeleia vastatrix*. Tesis para obtener el grado de Maestría en Ciencias. Facultad de Ciencias Agronómicas. Universidad Autónoma de Chiapas. Villaflores, Chiapas, México. p. 86.
- ANACAFE. 2021. Guías de variedades de café. Consultado el 03 de mayo de 2021 en <https://www.anacafe.org/uploads/file/9a4f9434577a433aad6c123d321e25f9/Gu%C3%ADa-de-variedades-Anacaf%C3%A9.pdf>
- Aranda, J. 2008. El sistema campesino-indígena de producción de café. En: <http://www.jornada.unam.mx/2004/08/03/eco-c.html> p.23.
- Arcila pulgarin, j., F. Farfán valencia., A. M. Moreno berrocal., L.F. Salazar Gutiérrez., E. Hincapié Gómez. 2007. Sistemas de producción de café en Colombia. Fitotecnia, Prácticas de cultivo, Caficultura Manejo de cafetales. Editorial Blanecolor Ltda. Primera edición. P 33- 35.
- Arias, S. G., Arias, M. O. Gutierrez, Z. 1976. Relaciones entre las características, morfológicas y la producción de cinco cultivos de café (*Coffea arabica* L.) "MAG-UCR. Costa Ric, pp.2
- Avelino, J; Muller, R; Eskes, A; Santacreo, R; Holguín, F. 1999. La roya anaranjada del cafeto: mito y realidad. In Bertrand, B; Rapidel, B. eds. Desafíos de la caficultora en Centroamérica. San José, CR, IICA. pp. 193-241.
- Barrera, L. 2006. El cafetal el futuro: realidades y visiones. Manejo holístico de plagas hacia un nuevo paradigma de la protección sanitaria. Tapachula Chiapas, México. En: [http://plagas.cafe.tapecosur.edu.mx/proyectoProduce/PDFs/PDF\\_Barreramanejo%20hol%20C3%ADstico%20de%20plagas.pdf](http://plagas.cafe.tapecosur.edu.mx/proyectoProduce/PDFs/PDF_Barreramanejo%20hol%20C3%ADstico%20de%20plagas.pdf).p5.
- Blanco M., J. Hagggar, P. Moroga, P., J. C. Madriz., G. Pavón. Morfología del café (*coffea arabica* L.), en lotes comerciales. Nicaragua. 2003. *Agronomía mesoamericana* 14(1): 97-103.
- Briceño, J.Oy O. E. Arias. 1992. Desarrollo del cafeto (cofea arabica L.) crecimiento eregativo y reproductivo de tres cultivares. *Agronoia Costarricense* 16(1):125-10.
- Cabrera, M. M. Del C. 2012. Análisis de los factores de producción del cultivo de café en el municipio de Tlapacoyan, Veracruz. Tesis Profesional. División de Ciencias Socioeconómicas. Departamento de Administración Agropecuaria. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. pp. 5-33.
- Cambrón Sandoval, V. H., M. L. España Boquera., N. M. Sánchez Vargas., C. Sáenz Romero., J. J. Vargas Hernández y Y. Herrerías Diego. 2011. Producción de clorofila en pinus pseudostrobus en etapas juveniles bajo diferentes ambientes de desarrollo. *Revista Chapingo Serie Ciencias*

- Forestales y del Ambiente 17(2): 253-260.
- Canet, G. B., C. Soto V., P. Ocampo T., J. Rivera R., A. Navarro H., G. M. Guatemala
- Castelvecchi, D. 2009. Fotosíntesis. Investigación y ciencia. <https://www.investigacionyciencia.es/revistas/investigacion-y-ciencia/origenes-493/fotosntesis-1191>. Consultada el 04 de abril de 2021.
- Ceacero, C.J., J. L. Díaz Hernández., A. D del Campo y R. M. Navarro Cerrillo. 2012. Evaluación temprana de técnicas de restauración forestal mediante fluorescencia de la clorofila y diagnóstico de vitalidad de brinzales de encina (*Quercus ilex* sub. *ballota*) Bosque 33(2): 191-202.
- CEDRSSA (Centro de Estudios para el Desarrollo Sustentable y la Soberanía Alimentaria). 2018a. El café en México diagnóstico y perspectiva. Disponible en: <http://www.cedrssa.gob.mx/files/10/30EI%20caf%C3%A9%20en%20M%C3>
- CEDRSSA (Centro de Estudios para el Desarrollo Sustentable y la Soberanía Alimentaria). 2018b. Panorama del Mercado de Café. Disponible en: [https://www.cima.aserca.gob.mx/work/models/cima/pdf/cadena/2018/Reporte\\_mercado\\_cafe\\_100818.pdf](https://www.cima.aserca.gob.mx/work/models/cima/pdf/cadena/2018/Reporte_mercado_cafe_100818.pdf). Consultada el 20 de octubre de 2020.
- Díaz, R. F. 2018. Estimación de la adopción de innovaciones en el sistema de producción de café. Tesis para obtener el título de ingeniero agrónomo en Fitotecnista. Universidad Autónoma de Chiapas. Villa Flores Chiapas.
- Encalada Córdova M., F. Soto Carreño., D. Morales Guevara e I. Álvarez Bello. 2016. Influencia de la luz en algunas características fisiológicas del cafeto (*coffea arabica* l. cv. caturra) en condiciones de vivero. Cultivos Tropicales 37(4):89-97.
- Enriquez, G. A. 1984. Ecolofisiología del cultivo del café. Memoria ANACAFE. Lima. Per. 245 pp.
- Fenech Larios L., E. Troyo Diéguez., M. Trasviña Castro., F. Ruiz Espinoza., A. Beltrán Morales., B. Murillo Amador., J. García Hernández., S. Zamora Salgado. 2008. Relación entre un método no destructivo y uno de extracción destructivo, para medir el contenido de clorofila en hojas de plántula de albahaca (*ocimum basilicum* l) Universidad y Ciencia trópico húmedo 25 (1):99-102.
- Figueroa, H.E., F.P, Soto y L.G. Montoya. 2015. La producción y el consumo del café. ECORFAN- Spain.p.12. Disponible en: [http://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/64936/Libro\\_caf%C3%A9\\_con%20fecha.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/64936/Libro_caf%C3%A9_con%20fecha.pdf?sequence=1&isAllowed=y) Consultada el 16 de Noviembre de 2019.
- Fischersworrning, B.; Robkamp, R. 2001. Guía para la Caficultura Ecológica. GTZ Alemania. 3 ed. Popayán, CO. 153 p.
- Flores, F. V. 2014. La producción de café en México: ventana de oportunidad para el sector agrícola de Chiapas. Espacio I+D Innovación más Desarrollo, 4 (7), 184-186
- Franco, T. L. y Hidalgo, R. 2003. Análisis Estadístico de Datos de Caracterización Morfológica de Recursos Fitogenéticos. Boletín técnico no. 8, Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos (IPGRI), Cali, Colombia. pp. 2-22
- García Pomar, J.L. y R. Gutiérrez Contreras. 2015. Fluorescencia roja de la clorofila. Óptica pura y aplicada 48 (2) 93-97.

- Gonzales, E. T. 2018. Los pequeños productores de café en Chiapas y el desarrollo de capacidades locales a partir del proceso de integración al Comercio justo. Tesis para obtener el grado de Maestría en Desarrollo Regional. Colegio de la Frontera Norte. Tijuana Baja California, México. p.160.
- González Moreno, S., H. Perales Vela y M. O. Salcedo Álvarez. 2008. La fluorescencia de la clorofila a como herramienta en la investigación de efectos tóxicos en el aparato fotosintético de plantas y algas. *Revista de Educación Bioquímica* 27(4):119- 129.
- González Moreno. S., H. Perales Vela., M O Salcedo Alvarez. 2008. La fluorescencia de la clorofila a como herramienta en la investigación de efectos tóxicos en el aparato fotosintético de plantas y algas. *Revista de Educación Bioquímica* (27) 4:119- 129.
- Hernández, L. A. E y W. Gómez. F. 2018. Evaluación de sustratos en la germinación de semilla de café (*Coffea arabica* L.) Variedad "Garnica". Tesis para obtener el título de Ingeniero Agrónomo. Facultad de Ciencias Agronómicas. Universidad Autónoma de Chiapas. Villa flores, Chiapas, México. p. 86.
- Ignacio. S. C. 2007. Caracterización morfológica y agronómica de la colección del núcleo de café (*Coffea arabica* L.) del CATIE. Tesis para obtener el grado de: Magister Scientiae en Agricultura Ecológica. Turrialba, Costa Rica. pp. 1-55.
- Información de Apoyos y Servicios Agropecuario (INFOASERCA). 2001. Perspectivas del mercado nacional e internacional del café. SAGARPA. En: <http://www.infoaserca.gob.mx>.
- Instituto Nacional de Estadísticas y Geografía (INEGI). 2004. Cuaderno Estadístico Municipal. Gobierno del Estado de Chiapas. México. p 41.
- J, Azcon Bieto., I. F., Xavier Aranda y N., Gómez Asanovas. Fotosíntesis, factores ambientales y cambio climático.2021. Citado el 05 de mayo de 2021 en: <http://biblio3.url.edu.gt/Publi/Libros/2013/FisioVegetal/13.pdf>.
- J. I. Fahl, M. L. C. Carelli, J. Vega & A. C. Magalhães. 1994. Nitrogen and irradiance levels affecting net photosynthesis and growth of young coffee plants (*Coffea arabica* L.), *Journal of Horticultural Science* 69(1):161-169.
- Lara Teixeira, A., F. M. Avelar Goncalves., J. Costa de Rezende., R. Barros Rocha., A. Alveles Pereira. 2012. Análise de componentes principais em caracteres morfológicos de café arábica em estágio juvenil. *Coffee Science, Lavras* 8 (2): 205-210.
- Leroy, T; Ribeyre, F; Bertrand, B; Charmetant, P; Dufour, M; Montagnon, C; Marraccini, P; Pot, D. 2006. Genetics of coffee quality. *Brazilian Journal of Plant Physiology* 18(1):229-242.
- López, L.R. 2005. Diagnóstico del cultivo de café (*coffea arabica* L.) en el ejido Nueva Colombia municipio de Ángel Albino Corzo, Chiapas. Tesis para el obtener el título de ingeniero agrónomo. Universidad Autónoma de Chiapas México. p.12.
- M. y S. Villanueva R. 2016. La situación y tendencias de la producción de café en América Latina y el Caribe. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA) y Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco A.C. (CIATEJ). Costa Rica. p.80. Disponible en: [file:///C:/Users/casa/Downloads/BVE17048805e%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/casa/Downloads/BVE17048805e%20(1).pdf)
- Mardhu, L. E. 2008.El cultivo de café En: <http://Pormiscafes-cultivodecafé.mht.p.34>.
- Mariño, Y. A. 2014. "Respuesta fotosintética de *Coffea arabica* a diferentes niveles de luz y disponibilidad hídrica". *Acta Agronómica* 63(2):28-135.

- Martínez, V. I. 2006. Aspectos tecnológicos de la producción de café orgánico en la sierra de Atoyac de Alvarez Guerrero México, UACH, Chapingo México. Tesis de licenciatura en Agroecología. pp 59-72.
- Mathews K.C, Van Holde K.E., Appling D.R., Spencer J.A. (2013) Bioquímica. Editado por Pearson Educación Madrid, pp. 678-679.
- Maxwell K, Johnson GN (2000) Chlorophyll fluorescence. A practical guide. J Exp Bot 51: 659-668.
- Morais h., P. H. Caramori. , D. de Oliveira., F. de Souza., A. Leal., w. s. Ricce., F. P. Chaimsohn. Instituto Agronômico de lo Paraná, Londrina, Brasil. Agroconsult Ltda. Rio de Janeiro, Brasil. P 817-821.
- Muñoz Pablo y G. Hernandez. 2016. Fluorescencia de clorofila a como indicador de los efectos de la ceniza volcánica en plántulas de frijol. citado en: [http://rstudio-pubs-static.s3.amazonaws.com/186363\\_d2fc219dde674ba7b87e3372552a1c99.html](http://rstudio-pubs-static.s3.amazonaws.com/186363_d2fc219dde674ba7b87e3372552a1c99.html)
- Pacheco P. T. (2012). Diversidad morfológica del café y de su mesofauna asociada, distribuida en el sur de Ecuador. p.185.
- Pérez E. y U. Carril. 2009. Fotosíntesis: Aspectos Básicos. Reduca (Biología). Serie Fisiología Vegetal 2 (3): 1-47.
- Pilati, A. 2005. Evaluación de tres diferentes tipológicas de manejo agronómico, sobre la estructura de crecimiento, de productividad y calidad de café (*coffea arabica* L.) en la zona del pacifico del sur de Nicaragua. Tesis profesional. Universidad nacional agraria. Facultad de agronomía. P 25-27
- Regalado, O. A. 2000. Manual para la cafecultura mexicana. México, D. F. pp. 7-11.
- Regalado, O. A. 2006. ¿Qué es la calidad en el café? Chapingo, ME. Universidad Autónoma Chapingo. p. 309.
- Rodríguez I.I., Pérez A.O., 1995. Estimación indirecta del área y la biomasa foliar en plantas de cafeto cultivadas al sol y bajo sombra. Centro Agrícola, 2: 23-26.
- Rodríguez Larramendi L. A., F. Guevara Hernández., H. Gómez Castro., M. Fonseca Flores., J. C. Gómez Castañeda y R. Pinto Ruiz. 2016. Anatomía foliar relacionada con la ruta fotosintética en árboles de café (*Coffea arabica* L., var. Caturra Rojo) expuestos a diferentes niveles de radiación solar en la Sierra Maestra, Granma, Cuba. Acta Agronómica 65(3):248-254.
- Rodríguez, L.; R. Valdés, J. Verdecia, L. Arias, R. Medina y E. Velasco. 2001. Growth, relative water content, transpiration and photosynthetic pigment content in coffee trees (*coffea arabica* l.) growing at different sunlight regimes. Cultivos Tropicales 22 (4):37-41.
- Ruiz Santiago F.L., J.A. Ruiz Velázquez., J.A. Hernández Becerra., R. García Jiménez., A. Valadez Villarreal. 2019. Extracción y cuantificación de clorofila en hojas comestibles del estado de Tabasco. Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos. Universidad Tecnológica de Tabasco, División de Procesos Industriales, Carretera Villahermosa-Teapa Km 14.6 S/N Fracc. Parrilla II, Parrilla, Centro, Tabasco, México. Pp.891-896.
- Strasser RJ, Srivastava A, Tsimilli-Michael M (2000) The fluorescence transient as a tool to characterize and screen photosynthetic samples. En: Probing Photosynthesis, Mechanism, Regulation, Adaptation. Editores: Yunus M, Pathre U, Mohanty P. Taylor & Francis. pp 445-483.

- Suárez, A., Guevara, M., González, M., Cortez, R. y Arredondo, V. B. 2013. "Crecimiento y composición bioquímica de *Thalassiosira pseudonana* (Thalassiosirales: Thalassiosiraceae) bajo cultivo semi-continuo en diferentes medios y niveles de irradiancias". *Revista de Biología Tropical* 61(3):1003-1013.
- Suazo Ubieta, T. D. 2020. Caracterización morfológica y molecular de café (*Coffea arabica* L.) variedad Catrenic proveniente de las fincas CENECOOP Fedecaruna y El Rosal de Nicaragua, Laboratorio de Biotecnología, UNAN-Managua, 2018-2020. Monografía para optar al título de licenciado en química industrial. [%A9xico:%20diagn%C3%B3stico%20y%20perspectiva.pdf](#). Consultada el 15 de noviembre de 2019.
- Vaast, P; Bertand, B; Perriot, JJ; Guyot, B; Génard, M. 2006. Fruit thinning and shade improve bean characteristics and beverage quality of coffee (*Coffea arabica* L.) under optimal conditions. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 86(2):197-204
- Welschmeyer N. 1994. Fluorometric Analysis of Chlorophyll a in the Presence of Chlorophyll b and Pheopigments. *Limnol Oceanogr* 39(8):1985-1992.
- Wintgens, N. 2009. Coffee: Growing, Processing, Sustainable Production. Ed. Jean Nicolas Wintgens. 2 ed. Weinheim, DE. p.
- World Coffee Research. 2016. Las variedades de café de Mesoamérica y el Caribe. Citado en internet. <https://varieties.worldcoffeeresearch.org/es/info/catalog/about/reviewers>
- Zapata, O., & Jiménez, J. 2016. Evaluación agromorfológica de dos variedades de café arábica (*coffea arábica* l.) en tres localidades del cantón Caluma, provincia bolívar, Ecuador. *avances. Revista de Investigación Talentos*, 3(2), 43-50.
- Milla-Pino, Manuel Emilio, Oliva-Cruz, Segundo Manuel, Leiva-Espinoza, Santos Triunfo, Collazos-Silva, Roicer, Gamarra-Torres, Oscar Andrés, Barrena-Gurbillón, Miguel Ángel, & Maicelo-Quintana, Jorge Luis. 2019. Características morfológicas de variedades de café cultivadas en condiciones de sombra. *Acta Agronómica*, 68 (4), 271-277.
- Farfán, F.; y Urrego, JB 2004. Comportamiento de las especies forestales *Cordia alliodora*, *Pinus oocarpa* y *Eucalyptus granáis* como sombrío e influencia en la productividad del café. *Cenicafé* 55(4):317-329.

## 7. ANEXO



Figura A1. Mundo novo 3



Figura A2. Icatu77055 34-6



Figura A3. Limani



Figura A4. Moka 579  
CATIE 49-4



Figura A5. Mundo Novo 450



Figura A6. Iapars



Figura A7. Garnica equimite



Figura A8. Guadalupe



Figura A9. Geisha



Figura A10. Typica Xanthocarpa



Figura A11. SL 28



Figura A12. San Ramon



Figura A13. Batie



Figura A14. Arabusta



Figura A15. Mibirizi



Figura A16. Maracatu



Figura A17. Moka de Tahiti



Figura A18. Iapar Comercial



Figura A19. Catuaí Rojo



Figura A20. Blue Mountain



Figura A21. Bourbon Salvadoreño



Figura A22. Fluorometro



Figura A23. Estación meteorologica



Figura A24. Medidor de clorofilab