

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS
DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN**

NOMBRE DE LA INVESTIGACIÓN

CÓDIGO: A-I-2305

Caracterización morfoagronómica de cuatro clones de café Robusta (*Coffea canephora* Pierre.) cultivados en dos sistemas agroforestales en San Luis Talpa, La Paz, El Salvador.

Título a obtener: Ingeniero Agrónomo

Autores

Nombres, apellidos de los autores	Dirección	Teléfono y correo electrónico	Firma
Pedro Enrique Morales Ramírez	Barrio El Transito, La Palma Chalatenango.	7590-5466 p3tr.morales@gmail.com	
Rodrigo José Campos Cáceres	Colonia San Martin, San Salvador.	7501-9597 rodrigocamp801@gmail.com	
Efraín Antonio Rodríguez Urrutia	Universidad de El Salvador, Facultad de Ciencias Agronómicas, Departamento de Desarrollo Rural.	7318-0554 efrain.rodriguez@ues.edu.sv	
Oscar Alonso Rodríguez Gracias.	Universidad de El Salvador, Facultad de Ciencias Agronómicas, Departamento de Fitotecnia.	7908-4904 oscar.gracias@ues.edu.sv	
Flor de María López Hernández	Universidad de El Salvador, Facultad de Ciencias Agronómicas, Departamento de Química Agrícola.	7772-4797 flor.hernandez@ues.edu.sv	
Daniel de Jesús Palacios Hernández	Universidad de El Salvador, Facultad de Ciencias Agronómicas, Departamento de Recursos Naturales	7864-3651 daniel.palacios@ues.edu.sv	

Visto bueno

Coordinadora de Procesos de Grado del Departamento: Licda. Cruz Gilma Ortiz de Alarcón	Firma
Director General de Procesos de Graduación de la Facultad: Ing. Agr. Enrique Alonso Alas García	Firma
Jefe del Departamento: Ing. M. Sc. Efraín Antonio Rodríguez Urrutia	Firma
	Sello
Ciudad Universitaria, junio de 2023	

Caracterización morfoagronómica de cuatro clones de café Robusta (*Coffea canephora* Pierre.) cultivados en dos sistemas agroforestales en San Luis Talpa, La Paz, El Salvador.

Morales-Ramírez, PE¹, Campos-Cáceres, RJ¹, Rodríguez-Urrutia, EA², Rodríguez-Gracias OA³, López Hernández, FM³, Palacios Hernández DJ³.

Resumen

La investigación se realizó en el periodo de noviembre 2019 a junio 2020 en la Estación Experimental y de Prácticas de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de El Salvador, ubicada en el cantón Tecualuya, municipio de San Luis Talpa, departamento de La Paz. El objetivo de la investigación fue caracterizar morfoagronómicamente cuatro clones de café Robusta (*Coffea canephora* Pierre.) cultivados en dos sistemas agroforestales.

El sistema agroforestal 1 está ubicado en un lote frente a las oficinas administrativas y el sistema agroforestal 2 está en el lote El Gallinero, para lo cual se utilizó un Descriptor Morfológico y Agronómico del cultivo del café del Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos (IPGRI).

Las variables evaluadas fueron: altura del árbol, longitud de bandolas, diámetro del tallo y de las bandolas; características fenotípicas como color de hojas, largo y ancho de hojas. La toma de datos se realizó una vez por mes *in situ*.

La investigación se llevó a cabo en dos fases, la primera en campo en donde el material experimental fueron cuatro clones de café Robusta, para ello se caracterizaron *in situ* 56 plantas del clon FRT06, 68 plantas eran del clon FRT07, 62 plantas del clon FRT09 y 67 plantas del clon FRT23. La segunda fase se realizó de manera bibliográfica en el laboratorio de Química Agrícola de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de El Salvador, describiendo los procesos que se llevaron a cabo del material vegetal.

Para el análisis de resultados de los atributos cuantitativos y cualitativos en campo y laboratorio se aplicó análisis descriptivo univariante y multivariante, lo que permitió resumir la información agrupándolos con base a similitudes, cercanías o distancia, utilizando el programa estadístico INFOSTAT® 2020.

La mayor altura promedio de los árboles de café Robusta en el sistema agroforestal 1 y 2 se obtuvo con el clon FRT06 con 151.72 cm y 140.08 cm, respectivamente; la mayor longitud promedio de las bandolas de los árboles de café Robusta en el sistema agroforestal 1 y 2 se obtuvo con el clon FRT07 con 63.87 cm y 53.69 cm, respectivamente; el sistema agroforestal 1 se estableció con árboles de Conacaste (*Enterolobium cyclocarpum*) y zorra o carrito (*Samanea saman*); y el sistema agroforestal 2 con plantas de pepeto (*Inga sp.*), paterna (*Inga paterna*), plátano enano (*Musa sapientum*), crotalaria (*Crotalaria longirostrata*) y gandul o alverja (*Cajanus cajan*), no viéndose influenciado ningún clon en estudio con respecto al sistema agroforestal en el cual fue establecido.

Palabras clave: sistema agroforestal, clon, descriptor, café robusta, *Coffea canephora*, El Salvador.

¹ Universidad de El Salvador, Facultad de Ciencias Agronómicas, Departamento de Desarrollo Rural, Estudiantes tesistas.

² Profesor Investigador. Universidad de El Salvador, Facultad de Ciencias Agronómicas, Departamento de Desarrollo Rural, Docente Director. E-mail: efrain.rodriguez@ues.edu.sv

³ Universidad de El Salvador, Facultad de Ciencias Agronómicas, Departamento de Fitotecnia, Asesor. E-mail: oscar.gracias@ues.edu.sv

³ Universidad de El Salvador, Facultad de Ciencias Agronómicas, Departamento de Química Agrícola, Asesora. E-mail: flor.hernandez@ues.edu.sv

⁴ Universidad de El Salvador, Facultad de Ciencias Agronómicas, Departamento de Recursos Naturales, Asesor. E-mail: daniel.palacios@ues.edu.sv

Abstract

The research was conducted from November 2019 to June 2020 at the Experimental and Practice Station of the Faculty of Agronomic Sciences of the University of El Salvador, located in the Tecualuya canton, municipality of San Luis Talpa, department of La Paz. The objective of the research was to morphoagronomically characterize four Robusta coffee (*Coffea canephora* Pierre.) clones grown in two agroforestry systems.

Agroforestry system 1 (SAF 1) is located in a lot in front of the administrative offices and agroforestry system 2 (SAF 2) is located in the lot El Gallinero, for which was used a Morphological and Agronomic Descriptor of coffee cultivation of the International Plant Genetic Resources Institute (IPGRI).

The variables evaluated were: tree height, band length, stem and band diameter, and phenotypic characteristics such as leaf color, leaf length and width. Data collection was carried out once a month in situ.

The research was carried out in two phases, the first in the field where the experimental material were four Robusta coffee clones, for which 56 plants of clone FRT06, 68 plants of clone FRT07, 62 plants of clone FRT09 and 67 plants of clone FRT23 were characterized in situ. The second phase was carried out bibliographically in the Agricultural Chemistry laboratory of the Faculty of Agronomic Sciences of the University of El Salvador, describing the processes that would be carried out on the plant material.

For the analysis of results of the quantitative and qualitative attributes in the field and laboratory, Multivariate Descriptive Analysis and Principal Components were applied, which allowed summarizing the information of a large number of cases, grouping them based on similarities, proximity or distance, using the INFOSTAT® 2020.

The highest average height of Robusta coffee trees in agroforestry system 1 and 2 was obtained with clone FRT06 with 151.72 cm and 140.08 cm, respectively; the highest average length of the bandolas of Robusta coffee trees in agroforestry system 1 and 2 was obtained with clone FRT07 with 63.87 cm and 53.69 cm, respectively; agroforestry system 1 was established with Conacaste (*Enterolobium cyclocarpum*) and Carreto o Zorra (*Samanea saman*) trees; and the agroforestry system 2 with pepeto (*Inga* sp.), paterna (*Inga paterna*), Platano Enano (*Musa sapientum*), crotalaria (*Crotalaria longirostrata*) and Gandul o Alverja (*Cajanus cajan*) plants, not being influenced by any clone under study with respect to the agroforestry system in which it was established.

Key words: agroforestry system, clone, descriptor, robusta coffee, *Coffea canephora*, El Salvador.

1. Introducción

El café es uno de los cultivos más importantes en El Salvador, pero con el paso de los años los cafetales han disminuido significativamente su producción, algunas de las causas de este problema son los frecuentes periodos de bajos precios internacionales del café, el envejecimiento de las plantaciones, los altos costos de producción, el efecto del cambio climático, ya que el aumento de la temperatura y la disminución de la precipitación están generando mayor susceptibilidad a plagas y enfermedades; así como la competencia con actividades económicas más rentables como las lotificaciones y la construcción de viviendas, han provocado una disminución en el parque cafetalero nacional y en la productividad del cultivo, reflejándose en una clara tendencia a la baja de la producción del grano (ICAFE 2012).

La producción de café es de suma importancia económica para Centro América, es uno de los principales cultivos de exportación agrícola, genera empleos para aproximadamente 1.8 millones de personas anualmente y gran parte del cultivo pertenece a pequeños productores.

El trabajo relacionado con el café es una fuente de ingresos para los hogares de áreas rurales de los países de la región, lugares donde las oportunidades de diversificación de medios de vida y cultivos no son abundantes (ICAFE 2012).

Para el año 2007 el café representó para El Salvador el 1.5% del Producto Interno Bruto (PIB) y el 12% del PIB Agropecuario, es decir, que la economía cafetalera tiene un éxito en la economía del país, ya que este sector representa mayor ganancia para la sociedad salvadoreña (PROCAFE 2009).

El café pertenece a la familia Rubiaceae y al género *Coffea*. Dos especies son de importancia económica en el mundo: el café Arábico (*Coffea arabica* Linneo) y el café Robusta (*Coffea canephora* Pierre ex Froehner (PROCAFE 2009).

El Salvador es un país con café 100% arábica. Cerca del 68% del territorio dedicado a la producción de café está sembrado con cafetos de la variedad Bourbon, 29% con Pacas y el 3% restante con variedades como el Cuscatleco, Catimor y Pacamara, las cuales son susceptibles al ataque de plagas como la Broca del fruto del café (*Hypothenemus hampei*); el Bourbon, Pacas y Pacamara son susceptibles al daño por la Roya del café (*Hemileia vastatrix*), entre otras (PROCAFE 2009).

La caficultura cubre ciertos requisitos indispensables en los cuales las futuras generaciones pueden gozar de un beneficio tanto ambiental como económico, aumentando, además, la cantidad de flora y fauna que se puede reproducir en un bosque cafetalero. Los ecosistemas basados en el cultivo del café generan cierta estabilidad ecológica al asemejarse a un ecosistema más natural en el que los componentes bióticos y abióticos generan las condiciones para una fauna y flora diversa (Jezeer y Verweij 2015).

El café Robusta es una planta nativa de los bosques Ecuatoriales de África Occidental, desde la costa Oeste en Uganda y la parte Sur del Sudán, en alturas que van desde el nivel del mar hasta aproximadamente los 1,000 metros (SAGARPA 2011).

El café Robusta es un arbusto o árbol que puede crecer hasta 10 metros de altura y tiene una raíz poco profunda, el fruto es redondeado y tarda hasta 11 meses en madurar, la semilla es de forma alargada y más pequeña que la del café Arábica (ICO, citado por Hernández *et al.* s. f.).

Los árboles de la especie Robusta pueden cultivarse entre 100 y 700 metros sobre el nivel del mar (msnm) y a una temperatura ambiente entre 24-30° C. En general son plantas más resistentes a enfermedades, plagas y condiciones climatológicas adversas (COVECA, citado por Hernández *et al.* s. f.).

Esta especie produce tazas más fuertes, poco aromáticas, ásperas. El contenido de cafeína es el doble que, en la especie Arábica, generalmente con un 2.2%. En general el precio de los cafés Robusta es bastante inferior a los de la variedad Arábica. El mayor productor de café robusta del mundo es Vietnam (Café Siboney, citado por Hernández *et al.* s. f.).

Algunas variedades conocidas son Java, Kouilou, Niaolili y Congensis. El café Robusta se cultiva en África Occidental y Central, en todo el sudeste de Asia y en algunas zonas en Brasil donde se le conoce como Conillon. Durante los últimos años el grano de Robusta está experimentando una importante evolución ascendente en los mercados cafeteros (Federación Española del café, citado por Hernández *et al.* s. f.).

El café Robusta exige temperaturas medias anuales de 22 a 26° C para vegetar y producir satisfactoriamente; lluvias abundantes (2,000 mm como mínimo) distribuidas entre 9 ó 10 meses en el año; humedad atmosférica permanente próxima a la saturación. Respecto al suelo no tiene exigencias definidas en cuanto a la naturaleza del mismo, crece tanto en suelos rojos (ultisoles) como en los de origen volcánico (inceptisoles). Los factores importantes de los suelos que actúan sobre el desarrollo del café son: el volumen del suelo, suelos mal drenados, la facultad de almacenar agua y retener nutrientes en estado disponible (INIAP 1994).

Los clones de café Robusta que se evaluaron en esta investigación poseen características vegetativas y productivas en sus lugares de origen, las cuales se describen a continuación:

- **Clon FRT06:** es originario de Togo, posee un canope mediano, bandolas rígidas y horizontales, su follaje posee un color verde oscuro y sus hojas son de tamaño mediano; el tamaño de sus frutos es grande.
- **Clon FRT07:** es originario de Togo, posee un canope mediano, sus bandolas están orientadas de manera horizontal, su follaje es angosto; frutos de tamaño mediano y fáciles de cosechar.
- **Clon FRT09:** es originario de Vanuatu, posee un canope mediano, sus bandolas son flexibles y horizontales, el tamaño de sus hojas es mediano y muchas son secundarias; el fruto que produce es mediano, fácil de cosechar y de mortear.
- **Clon FRT23:** es originario de Cameron, posee un canope angosto, sus bandolas están orientadas de manera horizontal, el tamaño de sus hojas es largo con presencia de muchas secundarias; su fruto es de tamaño grande y fácil de mortear (AGROMOD s.f.).

El objetivo de esta investigación fue caracterizar morfoagronómicamente cuatro clones de café Robusta (*Coffea canephora* Pierre.) cultivados en dos sistemas agroforestales, y evaluar su crecimiento, desarrollo y producción, con el fin de aumentar la producción de café a nivel nacional, lo que se reflejaría en un mayor crecimiento económico, ya que es uno de los principales cultivos que se han visto afectados por el cambio climático (AMECAFE 2012).

2. Materiales y métodos

2.1. Ubicación de la investigación

La investigación se realizó en el periodo de noviembre 2019 a junio 2020 en la Estación Experimental y de Prácticas de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de El Salvador, ubicada en el cantón Tecualuya, municipio de San Luis Talpa, departamento de la Paz, en El Salvador, con coordenadas geográficas de Latitud Norte 13° 06' y Longitud Oeste 89° 06', a una elevación de 48 metros sobre el nivel del mar (msnm), con precipitación media anual de 1,700 mm, temperatura anual de 28° C, humedad relativa de 76% y velocidad del viento de 8 km/h. La zona de vida en el área de estudio se clasifica como Bosque Húmedo Subtropical con transición caliente (bh-ST(c)), el cual presenta una biotemperatura entre 24° a 33° C (Martínez 2010).

2.3. Metodología estadística

Para realizar estas actividades se utilizaron herramientas y materiales como: descriptores de árbol, hojas, frutos y semillas; pie de rey, cinta métrica y diamétrica, tijera de podar, pinzas, papel toalla, papel milimetrado, tirro, bolígrafo, papel bond, cuaderno de apuntes, cámara fotográfica digital, tabla de Munsel, un microscopio Estereoscopio, un medidor de pH y un Brixómetro.

2.3.1. Variables cualitativas

Las variables cualitativas que se evaluaron fueron:

Árbol de café. Se evaluó el hábito de crecimiento de la planta, apariencia general de la planta y el ángulo de inserción de las ramas primarias, comparándolas con el Descriptor de café (IPGRI s.f.):

- Hábito de crecimiento de la planta: Se observó desde una distancia prudente el crecimiento que tenía la planta y las ramas principales o entre éstas, luego se comparó con el descriptor del árbol, determinando la clasificación siguiente: 1 = Matorral (<5 m – sin un tronco preciso), 2 = Arbusto o árbol pequeño (<5 m – uno o más troncos), 3 = árbol (> 5 m – tronco único).
- Apariencia general de la planta: se determinó mediante el crecimiento que presentaban las ramas, clasificando esta variable de la siguiente manera: 1 = Piramidal, 2 = Arbustiforme, 3 = Elongada cónica.
- Ángulo de inserción de las ramas primarias: se observó desde una distancia prudente el ángulo de inserción de las ramas principales, luego se comparó con el descriptor del árbol, determinando la clasificación siguiente: 1 = Horizontal o difuso, 2 = Colgante, 3 = Semierecto.

Hojas. Se anotaban las siguientes características: forma de la estípula, color de la hoja (según la tabla estándar para colores Munsell), forma de la hoja y del ápice de la hoja, las cuales se compararon con el Descriptor de café (IPGRI s.f.):

- Forma de la estípula: se determinó mediante la forma que adoptan estas estructuras al desarrollarse, después se comparó con el Descriptor del árbol, según la siguiente clasificación: 1 = redonda, 2 = oval, 3 = triangular, 4 = deltoide, 5 = trapeciforme, 6 = otra.
- Color general de la hoja: se utilizó la tabla estándar para colores Munsell para determinar si el color de la hoja era: 1 = verdusca, 2 = verde, 3 = amarronada, 4 = marrón rojiza, 5 = bronce, 6 = otro.
- Forma de la hoja: se tomó una hoja para comparar la forma con el Descriptor, teniendo en cuenta la siguiente clasificación: 1 = obovada, 2 = ovada, 3 = elíptica, 4 = lanceolada, 5 = otra.
- Forma del ápice de la hoja: Observando la punta o ápice de la hoja según el Descriptor correspondiente, se clasificó en: 1 = redonda, 2 = obtusa, 3 = aguda, 4 = puntiaguda, 5 = apiculada, 6 = espatulada, 7 = otra.

2.3.2. Variables cuantitativas

Las variables cuantitativas que se evaluaron fueron:

Árbol de café. Las variables altura del árbol y diámetro del tallo de café Robusta se compararon con el descriptor de IPGRI:

- Altura del árbol: con una cinta métrica se ha medido desde la base del tallo hasta el ápice.

- Diámetro del tallo: esta variable se ha medido en tres partes diferentes del tallo principal y a diferentes alturas: diámetro basal a 10 cm, diámetro medio a 50 cm y diámetro apical a 100 cm.

Bandolas. Las variables largo de bandolas y diámetro de las mismas se compararon con el descriptor de IPGRI:

- Longitud de bandolas. Se tomó por medio del método de unidades, se colocó una cinta métrica desde la base del tallo principal hasta la parte exterior de la bandola, para este procedimiento se tomaron 5 bandolas al azar, midiendo las cinco bandolas y promediando.
- Diámetro de bandolas. Usando un pie de rey, se tomaron tres diámetros diferentes en cada bandola seleccionada al azar, dichas medidas se realizaron en la base de la bandola, al medio de la bandola (tercer par de nudos) y en el ápice de la misma. Esta práctica se repitió para las cinco bandolas seleccionadas, al final se realizó un promedio de cada una de ellas.

Hojas. Las variables largo de la hoja, ancho de la hoja y largo del peciolo se compararon con los descriptores de IPGRI y AGROMOD:

- Largo de la hoja. Se midieron cinco hojas maduras con una regla graduada en centímetros desde el punto de inserción del peciolo hasta el ápice, luego se obtuvo un promedio.
- Ancho de la hoja. Se midieron cinco hojas maduras con una regla graduada en centímetros en el punto más ancho de la hoja, luego se obtuvo un promedio.
- Longitud del peciolo. Con una regla graduada se midió desde la base del peciolo hasta la base de la hoja, midiendo cinco peciolos por cada planta de café para promediar.

Si en la parcela se encontraban frutos maduros de café, se describieron y se anotaban dentro de los resultados obtenidos.

Se aplicó el muestreo no probabilístico según “criterio del investigador”, basado en la experiencia científica de los docentes asesores, para lo cual se trabajó con una muestra de 18 plantas por clon en cada sistema agroforestal, haciendo un total de 144 plantas, siendo una muestra representativa de los sistemas agroforestales de café. Los datos obtenidos en campo fueron procesados en hojas de cálculo de Excel® 2016, el programa estadístico SPSS® versión 25 e INFOSTAT® 2020.

Para la organización, procesamiento y análisis estadístico de los datos se utilizaron métodos estadísticos descriptivos como: frecuencias, representaciones gráficas, medidas resumen (media aritmética, desviación estándar y coeficiente de variación), y análisis multivariante de datos, específicamente análisis por conglomerados y análisis de componentes principales (ACP).

3. Resultados y discusión

Para la caracterización morfoagronómica de los cuatro clones de café Robusta se utilizó el manual Descriptores del café (*Coffea spp.* y *Psilanthus spp.*) del Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos (por sus siglas en español IPGRI), a partir de este descriptor se elaboró una guía adaptada para la descripción adecuada de las características de los cafetos seleccionados en la investigación. Se caracterizaron *in situ* 96 plantas (48 por cada parcela) del clon FRT06, 96 plantas (48 por cada parcela) del clon FRT07, 96 plantas del clon FRT09 y 96 plantas del clon FRT23.

3.1. Caracterización cualitativa de cuatro clones de café robusta en el sistema agroforestal 1

En la variable hábito de crecimiento de la planta los clones evaluados presentaron un hábito de crecimiento similar entre sí debido a que todos los clones están en condiciones edafo-climáticas similares, siendo caracterizado su hábito de crecimiento como un arbusto o árbol pequeño que no sobrepasa los 5 m de alto.

En la variable apariencia general de la planta los clones FRT06 y FRT09 presentaron apariencia arbustiforme y los clones FRT07 y FRT23 poseen apariencia piramidal.

El INIAP (1994) menciona que un árbol es multicaule cuando presenta muchos tallos, siendo uno de ellos el elegido para formar la parte aérea del clon y teniendo así su distintiva forma por cada clon evaluado.

Todos los clones en estudio presentaron similar comportamiento en las variables forma de la estipula (oval), color general de la hoja (verde), forma de la hoja (elíptica), forma del ápice de la hoja (apiculada) y posición de la floración (axilar).

Velásquez (2019) menciona que las bandolas del café Robusta forman un ángulo de 50 a 55 grados con el eje principal, es de porte intermedio (2.40 m), bandolas largas (más de 0.80 m), el follaje es denso con hojas grandes y corrugadas de color verde intenso, brotes de color verde claro.

La UNSC 2017 (citado por Hernández *et al.* s. f.) en una caracterización morfo-agronómica en café Robusta en Perú menciona que la forma general de la estipula es dentoide a ovalada de acuerdo a la madurez fisiológica del árbol.

MIDA 2012(citado por Hernández *et al.* s. f.) menciona que la forma de las hojas es elíptica, son hojas grandes entre 20 a 25 cm de largo, 8 a 15 cm de ancho y ligeramente corrugadas.

Pulgarín (citado por Hernández *et al.* s. f.) dice que el ápice de las hojas forma una especie de triángulo, que la misma presenta una curva hacia el envés de la misma.

Al analizar la variable posición de la flor, se refiere al lugar específico donde se generan los cojinetes florales, en este último se evaluaron las plantas en las que se presentaban dichos cojinetes, obteniendo el 100% de esta variable en la posición axilar de la planta.

Iglesias (1999) describe la floración como el inicio del fruto, que se da frecuentemente en el cafeto a la altura de las axilas de las ramas, en el cual se puede observar una gran cantidad de flores de color blanco.

En esta investigación por la edad y desarrollo de las plantas de café no se evaluó la producción de frutos porque no hubo producción.

3.2. Variables cuantitativas del sistema agroforestal 1 (SAF 1) (lote administrativo)

3.2.1. Altura del árbol de café Robusta

La mayor altura promedio de los árboles de café Robusta se obtuvo con el clon FRT06 con 151.72 cm; seguido por el clon FRT07 con 139.25 cm, luego el clon FRT23 con 115.94 cm y por último el clon FRT09 con 86.56 cm.

Velásquez (2019) menciona que el tallo principal de las plantas de café Robusta crece hasta 10 metros a libre crecimiento y en condiciones edafo-climáticas ideales para el cultivo; aunque,

a través del manejo de tejido se logra una altura a conveniencia del caficultor para mantener una productividad adecuada y facilidad de corte de los frutos en un rango de 4 a 5 m.

3.2.2. Diámetro del tallo de café Robusta

El mayor diámetro basal promedio del tallo de los árboles de café Robusta se obtuvo con el clon FRT07 con 2.89 cm; seguido por el clon FRT23 con 2.37 cm, luego el clon FRT06 con 2.27 cm y por último el clon FRT09 con 1.83 cm.

El mayor diámetro medio del tallo de los árboles de café Robusta se obtuvo con el clon FRT07 con 1.75 cm; seguido por el clon FRT23 con 1.62 cm, luego el clon FRT06 con 1.32 cm y por último el clon FRT09 con 1.29 cm.

El mayor diámetro apical promedio del tallo de los árboles de café Robusta se obtuvo con los clones FRT06 y FRT07 con 0.68 cm; seguido por el clon FRT23 con 0.66 cm y por último el clon FRT09 con 0.48 cm.

3.2.3. Longitud de bandolas

La mayor longitud promedio de las bandolas de los árboles de café Robusta se obtuvo con el clon FRT07 con 63.87 cm; seguido por el clon FRT06 con 54.17 cm, luego el clon FRT23 con 54.03 cm y por último el clon FRT09 con 41.04 cm.

Velásquez (2019) menciona que las bandolas del café Robusta son semi largas en condiciones favorables (de 1 a 1.5 m), con la característica de no tener emisión de ramas secundarias en las bandolas de la parte baja, con hojas grandes y brote terminal verde.

3.2.4. Diámetro de las bandolas

El mayor diámetro basal promedio de las bandolas de los árboles de café Robusta se obtuvo con el clon FRT06 y FRT23 con 0.60 cm; seguido por el clon FRT09 con 0.58 cm y por último el clon FRT07 con 0.42 cm.

El mayor diámetro medio de las bandolas de los árboles de café Robusta se obtuvo con el clon FRT06 con 0.61 cm; seguido por el clon FRT09 y FRT23 con 0.53 cm y por último el clon FRT07 con 0.35 cm.

El mayor diámetro apical de las bandolas promedio de los árboles de café Robusta se obtuvo con el clon FRT06 con 0.48 cm; seguido por el clon FRT23 con 0.45 cm, luego el clon FRT09 con 0.44 cm y por último el clon FRT07 con 0.27 cm.

3.2.5. Longitud de las hojas

La mayor longitud promedio de las hojas de los árboles de café Robusta se obtuvo con el clon FRT23 con 21.46 cm; seguido por el clon FRT09 con 18.55 cm, luego el clon FRT06 con 17.72 cm y por último el clon FRT07 con 17.67 cm.

Según Velásquez (2019), las dimensiones de las hojas de una planta de café Robusta son mayores que las plantas de café arábigo con un largo promedio de 24.5 cm.

3.2.6. Ancho de las hojas

El mayor ancho promedio de las hojas de los árboles de café Robusta se obtuvo con el clon FRT23 con 11 cm; seguido por el clon FRT09 con 8.87 cm, luego el clon FRT06 con 8.34 cm y por último el clon FRT07 con 7.47 cm.

Según Velásquez (2019), el ancho promedio de las hojas de una planta de café Robusta es mayores que las de café arábigo, con 10.38 cm, lo que se traduce en mayor capacidad para captar la luz solar y más energía para realizar sus procesos biológicos.

3.2.7. Longitud del peciolo de las hojas

La mayor longitud promedio de los peciolos de las hojas de los árboles de café Robusta se obtuvo con el clon FRT07 con 1.51 cm; seguido por el clon FRT06 con 1.50 cm, luego el clon FRT23 con 1.46 cm y por último el clon FRT09 con 1.41 cm.

3.3. Caracterización cualitativa de cuatro clones de café robusta en el sistema agroforestal 2

En la variable hábito de crecimiento el 100% de las plantas de los clones en estudio se caracterizan como un árbol pequeño.

En la variable apariencia general de la planta existen diferencias entre los grupos de clones FRT07 y FRT23, los cuales presentan una apariencia piramidal, y el grupo de clones FRT06 y FRT09 presentaron características arbustiformes, esto indica que el árbol es multicaule o que presenta muchos tallos (INIAP 1994).

Todos los clones en estudio presentaron similitud en las variables forma de la estipula (oval), color general de la hoja (verde), forma de la hoja (elíptica), forma del ápice de la hoja (apiculada) y posición de la floración (axilar).

En la variable forma de la estipula, en el 100% de las plantas evaluadas la estipula tiene forma oval y se encuentran a cada lado de la base de la hoja.

En la variable color general de la hoja se tomaron hojas maduras de cada clon y se determinó por medio de una tabla de Munsell que el 100% de las hojas evaluadas entran en el código 10 GY 5/12 10 GY Verde-amarillo, evaluando dichas hojas a una altura de 1 m, tomando un total de 5 hojas por cada planta (hojas que no fueron cortadas, sino marcadas).

En esta investigación el 100% de las plantas ha presentado una floración en posición axilar.

En esta investigación por la edad y desarrollo de las plantas de café no se evaluó la producción de frutos porque no hubo producción.

3.4. Variables cuantitativas para el sistema agroforestal 2 (SAF 2) (lote El Gallinero)

3.4.1. Altura del árbol

La mayor altura promedio de los árboles de café Robusta se obtuvo con el clon FRT06 con 140.08 cm; seguido por el clon FRT07 con 130.25 cm, luego el clon FRT23 con 102.07 cm y por último el clon FRT09 con 98.17 cm.

3.4.2. Diámetro del tallo

El mayor diámetro basal promedio del tallo de los árboles de café Robusta se obtuvo con el clon FRT07 con 2.68 cm; seguido por el clon FRT09 con 2.32 cm, luego el clon FRT06 con 2.25 cm y por último el clon FRT23 con 2.17 cm.

El mayor diámetro medio del tallo de los árboles de café Robusta se obtuvo con el clon FRT09 con 1.77 cm; seguido por el clon FRT07 con 1.76 cm, luego el clon FRT23 con 1.50 cm y por último el clon FRT06 con 1.39 cm.

El mayor diámetro apical promedio del tallo de los árboles de café Robusta se obtuvo con el clon FRT09 con 1.08 cm; seguido por el clon FRT07 con 0.70 cm, luego el clon FRT06 con 0.67 cm y por último el clon FRT23 con 0.56 cm.

3.4.3. Longitud de bandolas

La mayor longitud promedio de las bandolas de los árboles de café Robusta se obtuvo con el clon FRT07 con 53.69 cm; seguido por el clon FRT06 con 45.28 cm, luego el clon FRT09 con 44.46 cm y por último el clon FRT23 con 43.27 cm.

3.4.4. Diámetro de bandolas

El mayor diámetro basal promedio de las bandolas de los árboles de café Robusta se obtuvo con el clon FRT23 con 0.55 cm; seguido por el clon FRT06 con 0.53 cm, luego el clon FRT07 con 0.49 cm y por último el clon FRT09 con 0.43 cm.

El mayor diámetro medio de las bandolas de los árboles de café Robusta se obtuvo con el clon FRT23 con 0.48 cm; seguido por el clon FRT06 con 0.46 cm, luego el clon FRT07 con 0.41 cm y por último el clon FRT09 con 0.36 cm.

El mayor diámetro apical promedio de las bandolas de los árboles de café Robusta se obtuvo con el clon FRT23 con 0.40 cm, seguido por el clon FRT06 con 0.38 cm, luego el clon FRT07 con 0.32 cm y por último el clon FRT09 con 0.28 cm.

3.4.5. Longitud de las hojas

La mayor longitud promedio de las hojas de los árboles de café Robusta se obtuvo con el clon FRT23 con 20.43 cm; seguido por el clon FRT06 con 17.42 cm, luego el clon FRT09 con 17.35 cm y por último el clon FRT07 con 15.47 cm.

El clon FRT07 presenta diferencias estadísticas significativas (p valor = 0.0001) con respecto a los demás clones evaluados.

3.4.6. Ancho de las hojas

El mayor ancho promedio de las hojas de los árboles de café Robusta se obtuvo con el clon FRT23 con 10.47 cm; seguido por el clon FRT09 con 8.53 cm, luego el clon FRT06 con 8.35 cm y por último el clon FRT07 con 6.19 cm.

3.4.7. Longitud del peciolo de las hojas

La mayor longitud promedio de los peciolos de las hojas de los árboles de café Robusta se obtuvo con el clon FRT06 con 1.49 cm; seguido por el clon FRT23 con 1.47 cm, luego el clon FRT09 con 1.45 cm y por último el clon FRT07 con 1.38 cm.

3.5. Análisis por Componentes Principales (ACP) para el SAF 1

Al aplicar el ACP, el determinante obtenido en el análisis de correlación de Pearson es 2.112 E-8, un valor casi aproximado a cero, la medida de adecuación maestra Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) y la prueba de Bartlett muestran un valor de KMO de 0.592 y una significancia de 0.000. Trabajando con un coeficiente de correlación cofenética = 0.938, existiendo una excelente correlación entre las variables en estudio, lo que indica que el análisis por componentes principales es excelente para explicar los datos obtenidos en la investigación.

La figura 2 muestra la variabilidad existente en las características cuantitativas de cuatro clones de café Robusta cultivados en el sistema agroforestal 1, donde el componente principal

1 contribuyó con el 63% de la varianza total explicada y el componente principal 2 con el 19%, representando una varianza acumulada del 82%; las variables que se relacionaron para la formación del componente principal 1 fueron: diámetro del tallo basal, medio y apical; longitud de bandola y del peciolo, todas las variables anteriores influyeron en forma positiva. En el componente principal 2 las variables que se relacionan en forma positiva para su formación son: ancho y longitud de hoja; diámetro basal, medio y apical de bandola.

El clon de café robusta FRT07 mostró el mejor comportamiento en las variables diámetro basal, medio y apical del tallo, longitud de bandola y del peciolo; el clon FRT23 presentó los mejores resultados en las variables longitud y ancho de hoja; el clon FRT06 expresó el mejor comportamiento en las variables diámetro basal, medio y apical de bandola; el clon FRT09 presentó los menores valores en las variables en estudio.

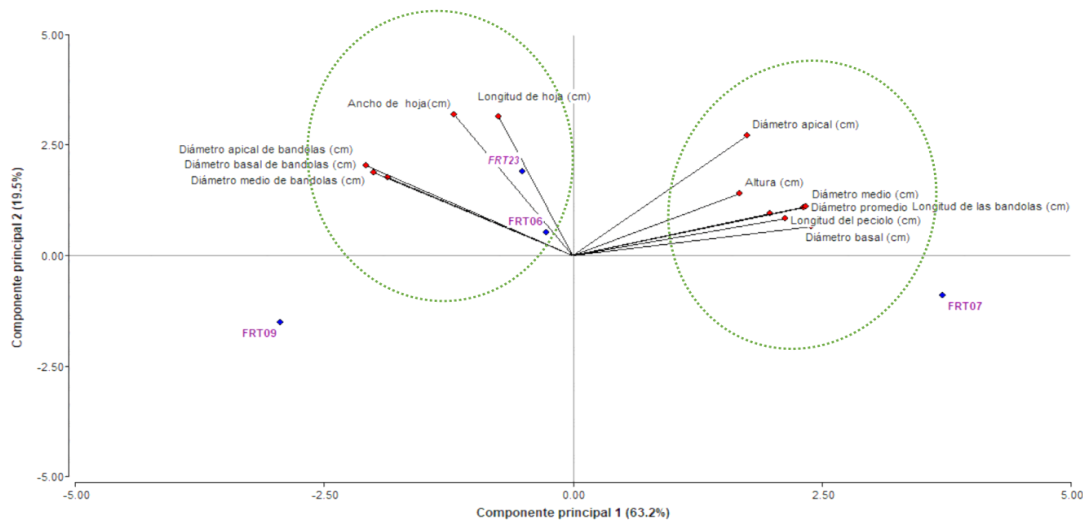


Figura 2. Biplot de componentes principales para las características cuantitativas de cuatro clones de café Robusta cultivados en el sistema agroforestal 1.

3.6. Análisis por Componentes Principales (ACP) para el SAF 2

Al aplicar el ACP, el determinante obtenido en el análisis de correlación de Pearson es de 0.000, un valor casi aproximado a cero; la medida de adecuación maestra Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) y la prueba de Bartlett muestran un valor de KMO de 0.748 y una significancia de 0.000. Trabajando con un coeficiente de correlación cofenética = 0.99, existiendo una correlación casi perfecta entre las variables en estudio, lo que indica que el análisis por componentes principales es excelente para explicar los datos obtenidos en la investigación.

La figura 3 muestra la variabilidad existente en las características cuantitativas de cuatro clones de café Robusta cultivados en el sistema agroforestal 2, donde el componente principal 1 contribuyó con 61.4% de la varianza total explicada y el componente principal 2 con 29.9%, representando una varianza acumulada del 91.3%; las variables que se relacionaron para la formación del componente principal 1 fueron diámetro basal, medio y apical de las bandolas, ancho y longitud de hoja; longitud del peciolo, todas las variables anteriores influyeron en forma positiva; en el caso del componente principal 2 las variables que se relacionan en forma positiva para su formación son altura de la planta, longitud de bandolas, diámetro basal de las bandolas y diámetro basal del tallo.

El clon de café robusta FRT23 mostró el mejor comportamiento en las variables longitud del peciolo, longitud y ancho de la hoja; el clon FRT06 presentó los mejores resultados en el

diámetro basal, medio y apical de bandola; el clon FRT07 expresó el mejor comportamiento en las variables longitud de bandola y diámetro basal del tallo; y el clon FRT09 presentó el mejor comportamiento en la variable diámetro medio y apical del tallo.

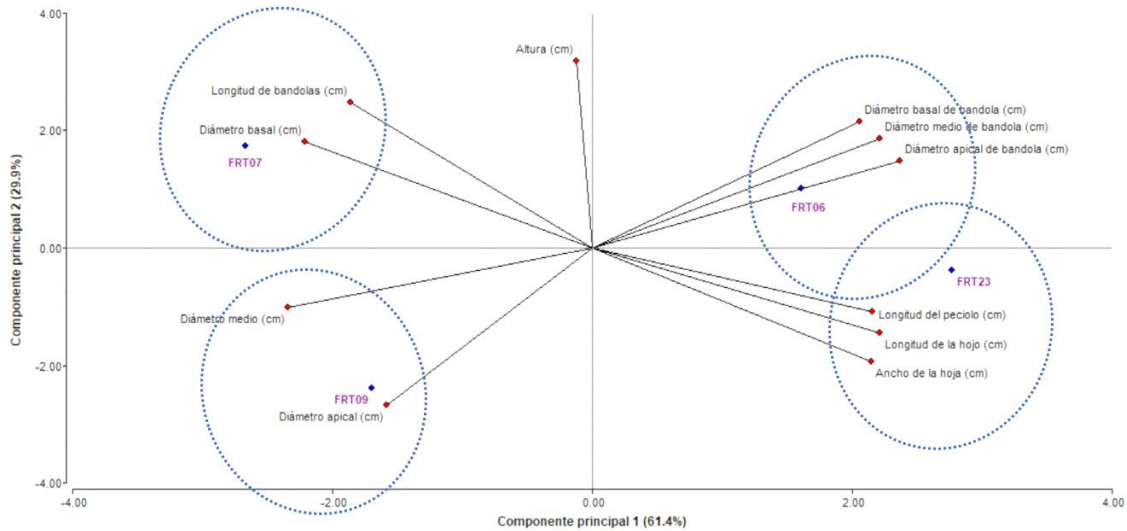


Figura 3. Biplot de componentes principales para las características cuantitativas de cuatro clones de café Robusta cultivados en el sistema agroforestal 2.

4. Conclusiones

La mayor altura promedio de los árboles de café Robusta en el sistema agroforestal 1 y 2 se obtuvo con el clon FRT06 con 151.72 cm y 140.08 cm, respectivamente; y la menor con el clon FRT09 con 86.56 cm y 98.17 cm, respectivamente.

El mayor promedio del diámetro basal del tallo de los árboles de café Robusta en el sistema agroforestal 1 y 2 se obtuvo con el clon FRT07 con 2.89 cm y 2.68 respectivamente.

La mayor longitud promedio de las bandolas de los árboles de café Robusta en el sistema agroforestal 1 y 2 se obtuvo con el clon FRT07 con 63.87 cm y 53.69 cm, respectivamente.

La mayor longitud y ancho promedio de las hojas de los árboles de café Robusta en el sistema agroforestal 1 y 2 se obtuvo con el clon FRT23 con largo de 21.46 cm y 20.43 cm respectivamente; y ancho de 11 cm y 10.47 cm respectivamente, lo que se traduce en mayor capacidad para captar la luz solar, más energía para realizar sus procesos biológicos y mayor producción.

Las plantas de café Robusta de los clones FTR06 y FTR09 tienen apariencia arbustiforme, y las plantas de los clones FTR07 y FTR23 apariencia piramidal, en los dos sistemas agroforestales evaluados.

El sistema agroforestal 2 con café Robusta presenta más diversidad de árboles como pepeto, paterna, plátano enano, crotalaria y gandul o alverja, lo que permite que no haya mucho daño físico en el follaje de las plantas por excesiva luz solar en comparación con el sistema agroforestal 1 que se estableció con árboles de conacaste y zorra o carrito.

El cultivo de café Robusta en sistemas agroforestales contribuye a mejorar el micro clima del sitio, a captar e infiltrar el agua lluvia y por la cantidad de hojarasca que produce protege el suelo contra los problemas que causa la erosión del suelo como la escorrentía.

5. Recomendaciones

El sistema agroforestal 2 es el más conveniente para establecer una finca de café Robusta porque presenta más diversidad de árboles como pepeto, paterna, plátano enano, crotalaria y gandul o alverja, lo que permite que no haya daño físico en el follaje de las plantas por excesiva luz solar.

De los cuatro clones evaluados se recomienda el clon FRT07 para el sistema agroforestal 1 y el clon FRT23 para el sistema agroforestal 2, debido a que muestran los mejores resultados cuantitativos y cualitativos, lo que indica un mejor desarrollo de la parte vegetativa,

Las plantas de café Robusta tienen polinización cruzada al momento de la floración por lo que se recomienda sembrar al menos 2 clones en la misma parcela para favorecer el trabajo de las abejas.

Terrenos incultos ubicados por debajo de los 700 metros de altura son una oportunidad para establecer plantaciones de café Robusta en sistemas agroforestales, como una alternativa de producción de este tipo de café que es demandado por la industria para proporcionar y complementar el aroma del café instantáneo que se comercializa en el país, y poder así mejorar las condiciones económicas de las familias.

Antes de establecer una plantación de café Robusta hacer muestreo y análisis de suelo para conocer el contenido de nutrientes como fósforo, potasio, calcio, magnesio, aluminio o acidez intercambiable y de parámetros como el pH y la textura del suelo.

Continuar realizando investigaciones sobre el cultivo de café Robusta en sistemas agroforestales en diversos lugares del país para evaluar cómo responde a otros pisos altitudinales y tipos de suelo.

6. Bibliografía

AGROMOD. s.f. Clones de Café Robusta. El Salvador. p 1.

AMECAFE (Asociación Mexicana de la Cadena Productiva del Café). 2012. Plan Integral de Promoción del Café de México. p 7-20.

Hernández, E; Pérez F; Godínez, L. s.f. La producción y el consumo del café. ECORFAN, España (en línea). Consultado 24 sep. 2019. Disponible en https://ecorfan.org/spain/libros/LIBRO_CAFE.pdf?fbclid=IwAR3756jbP8EJ4Gz6P7cwflI7qwCKHADs9C_9If5HadJJS-gjAMNupAkYp6s

ICAFE (Instituto del Café de Costa Rica). 2012. Informe sobre la Actividad Cafetalera de Costa Rica. Instituto del Café de Costa Rica. Preparado en el Instituto del Café de Costa Rica para los Delegados al XLI Congreso Nacional Cafetalero Ordinario. San José, Costa Rica. Consultado 2 diciemb Disponible en http://www.icafe.go.cr/icafe/cedo/documentos_textocompleto/lcafetalero/4077.pdf

Iglesias, JM. 1999. Sistemas de producción agroforestales: conceptos generales y definiciones. Pastos y Forrajes, Vol. 4, No. 2. Estación Experimental de Pastos y Forrajes Indio Hatuey, Cuba. 2009. ProQuest Ebook Central (en línea). Consultado 28 may 2019. Disponible en <http://ebookcentral.proquest.com/lib/bibliouessp/detail.action?docID=3179594>. p. 2-10.

INIAP (Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias, Ecuador). 1994. "El manejo de café robusta *Coffea canephora* en la región amazónica" (en línea). Consultado 5 sep 2019. Disponible en <http://repositorio.iniap.gob.ec/bitstream/41000/4343/7/iniapeecaM27.pdf>

IPGRI (International Plant Genetic Resources Institute, Italia). S.f., Descriptores de café (*Coffea* spp. y *Psilanthus* spp.) (en línea). Consultado 25 abr 2019. Disponible en https://cgspace.cgiar.org/bitstream/handle/10568/72790/Descriptores_café_487.pdf?sequence=1&isAllowed=y. P. 3-5

Jezeer, R; Verweij, P. 2015. Café en Sistema Agroforestal- doble dividendo para la biodiversidad y los pequeños agricultores en Perú. Hivos, The Hague, Holanda (en línea). Consultado 5 sep 2019. Disponible en https://www.hivos.org/sites/default/files/cafe_en_sistemas_agroforestales_ciuv-version_espanola_de_shade_grown_coffee_report.pdf

Martínez, Y. 2010. Elementos Sustanciales del Desarrollo Local, Universidad de Cienfuegos, Cuba (en línea). Consultado 10 ener 2019. Disponible en <http://www.eumed.net/rev/oidles/08/ymp.pdf>

PROCAFE (Fundación Salvadoreña para Investigaciones del Café). 2009. El café de El Salvador. San Salvador, El Salvador (en línea). Consultado 28 may 2019. Disponible en https://www.forumdelcafe.com/sites/default/files/biblioteca/f-50_cafe_salvador.pdf p.1-5

SAGARPA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, México). 2011. Paquete Tecnológico Café Robusta (*Coffea canephora* P.) Establecimiento y mantenimiento (en línea). México. Consultado 10 feb. 2019. Disponible en http://www.inifap.gob.mx/Documents/inicio/paquetes/cafe_robusta.pdf

Velásquez, O. 2019. Guía de café de Guatemala. 2ª ed. Guatemala. p 5-40.