

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



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

**POR:  
BR. PEDRO ENRIQUE MORALES RAMÍREZ  
BR. RODRIGO JOSÉ CAMPOS CACERES**

**Requisito para optar al título de:  
Ingeniero Agrónomo**

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS  
DEPARTAMENTO DE DESARROLLO RURAL**



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

**POR:**

**BR. PEDRO ENRIQUE MORALES RAMÍREZ  
BR. RODRIGO JOSÉ CAMPOS CACERES**

**REQUISITO PARA OPTAR AL TÍTULO DE:  
INGENIERO AGRÓNOMO**

**San Salvador, El Salvador, Centro América, 2023**

# **Universidad de El Salvador**

## **Rector:**

Ing. Msc. Juan Rosa Quintanilla Quintanilla

## **Secretario General:**

Lic. Pedro Rosalío Escobar Castaneda

## **Facultad de Ciencias Agronómicas**

## **Decano:**

Ing. MAECE. Nelson Bernabé Granados Alvarado

## **Secretario:**

Ing. Msc. Edgar Geovany Reyes Melara

## **Jefe del Departamento de Desarrollo Rural**

---

Ing. M. Sc. Efraín Antonio Rodríguez Urrutia

### **Docentes Directores**

---

Ing. M. Sc. Efraín Antonio Rodríguez Urrutia

---

Ing. Agr. Oscar Alonso Rodríguez Gracias

---

Inga. Agr. Flor de María López Hernández

---

Lic. Daniel de Jesús Palacios Hernández

### **Coordinadora de Procesos de Grado del Departamento**

---

Licda. Cruz Gilma Ortiz de Alarcón

## 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, el material experimental fueron cuatro clones de café Robusta, para ello se caracterizaron *in situ* 56 plantas del clon FRT06, 68 plantas son 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, flores y frutos.

Para el análisis de los resultados de los atributos cuantitativos y cualitativos en campo y laboratorio se aplicó análisis descriptivo univariante y multivariante, lo que permitió resumir la información de un número grande de casos, 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; el sistema agroforestal 1 se estableció con árboles de conacaste y zorra o carrito; y el sistema agroforestal 2 con plantas de pepeto, paterna, plátano enano, crotalaria y gandul o alverja, 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.

## SUMMARY

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 a Morphological and Agronomic Descriptor was used using the comparison with the coffee descriptor established by 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, 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, flowers and fruits.

For the analysis of the 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.

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

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios todo poderoso, por darme la oportunidad, la fuerza y sabiduría necesaria para lograr mi objetivo profesional.

A mi madre Rubidia Argentina Campos y mi abuela María Sara Campos por su apoyo incondicional durante todo mi proceso de formación profesional.

A las personas que nos ayudaron en la realización de este trabajo de investigación, en particular a:

A mis asesores, Ing. M. Sc. Efraín Antonio Rodríguez Urrutia, Ing. Agr. Oscar Alonso Rodríguez Gracias y a la Ing. Agr. Flor de María López Hernández, por sus conocimientos compartidos, su valioso apoyo y eficaz orientación para el desarrollo de la investigación. Excelentes profesionales, dignos de admiración.

A la Universidad de El Salvador, por abrirme las puertas y permitirme convertir en un profesional de las Ciencias Agrícolas, en especial a la UESE por permitirme formar parte del programa de becas, que me ayudó en mi formación.

A mi amigo y compañero Pedro Enrique, por haberme enseñado el valor de la paciencia y haber logrado juntos el objetivo propuesto para nuestra vida profesional.

A todas aquellas personas que ayudaron directa o indirectamente en el desarrollo de la investigación y en toda mi carrera y no los he mencionado, infinitas gracias por el apoyo.

**Rodrigo José Campos Cáceres**

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios, por darme la sabiduría de sobrellevar de mejor manera cada una de las fases estudiantiles y en mi vida personal; en el cual con fe y esperanza siempre me llevó a obtener la oportunidad de seguir adelante y poder encaminarme en el ámbito espiritual con el poder de llegar a ser un hombre de bien y poder culminar este escalón.

A mis padres María Angélica Ramírez e Israel Antonio Morales por el apoyo incondicional en cada uno de los procesos y las fases a lo largo de cada una de las materias, ciclos y durante toda la carrera, brindándome su ayuda y confianza para poder lograr este objetivo. Para con ellos son todos los logros que se pueden obtener a lo largo de mi vida.

A mis hermanos Joel Armando Morales Ramírez, Oscar Neftalí Morales Ramírez y José Manuel Morales Ramírez por cada ayuda técnica, material, metodológica y de lógica, que pude lograr tener en toda la carrera y por las orientaciones en cada una de las materias que se tuvieron en el proceso de aprendizaje y formación profesional; al enseñarme la ética en cuanto a ser un buen estudiante y profesional de bien, les estaré agradecido siempre.

A mis amigos, por estar allí compartiendo los buenos y malos momentos dentro de la universidad, así como también fuera en prácticas, proyectos, trabajo laboral, con el fin de poder aprender de ellos y obtener nuevas maneras de pensar y poderlo llevar a cabo en cualquier proceso formativo.

A mis asesores de tesis que no han dejado de lado su compromiso como docentes y mentores dentro del proceso de formación que han tenido y a título personal al Ing. Efraín Rodríguez Urrutia por sus consejos a lo largo del proceso académico tanto como docente como amigo y futuro colega.

**Pedro Enrique Morales Ramírez**



## **DEDICATORIA**

A Dios, que me ha permitido tener la oportunidad de poder ser sabio, darme las oportunidades de poder crecer como persona y guiarme de manera espiritual hasta el cumplimiento de todas mis metas.

A mis padres Angelica Ramírez e Israel Morales, ya que este nuevo paso y triunfo fue gracias a ellos, por guiarme en el camino adecuado para poder sobre llevar todo mi estudio, con mucho cariño y amor les entrego una porción de todo el esfuerzo y sacrificio que me dieron a lo largo de mi camino.

A mis hermanos Joel, Oscar y Manuel Morales Ramírez, por guiarme durante mucho tiempo por el camino de ser estudiante y enseñarme en muchas oportunidades como debe de ser la manera ideal de llevar una vida. También por su apoyo económico y emocional.

A mis docentes, que fueron fundamentales para la creación de un nuevo profesional, ya que se llegó a la culminación de todo, en especial a mis asesores que estuvieron al pie del cañón para poder llegar a la finalización de este proyecto, con admiración para ellos.

A mis familiares y amigos por los consejos y los momentos en que me han brindado su amistad.

**Pedro Enrique Morales Ramírez**

## **DEDICATORIA**

Primeramente, a Dios todo poderoso, por bendecirme, darme la sabiduría, la fuerza y perseverancia para conducirme por el camino del triunfo en mis estudios.

A mi abuela, María Sara Campos, por su apoyo incondicional y todos los consejos brindados para guiarme por el camino correcto.

A mi madre Rubidia Argentina Campos, que es mi mayor ejemplo a seguir, para ella con amor, respeto y admiración, que, a pesar de las adversidades, su esfuerzo y sacrificio fueron fundamentales para culminar mi carrera.

A mi hermana Nathaly Alejandra Mendoza Campos con mucho amor y cariño.

A los docentes de la carrera de Ingeniería Agronómica, con mucho respeto y agradecimiento por transmitirme los conocimientos con sinceridad.

A toda mi familia y amigos como una muestra de estima y consideración.

**Rodrigo José Campos Cáceres**

## Índice general

	Página
RESUMEN.....	vi
AGRADECIMIENTOS.....	viii
DEDICATORIA.....	x
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	3
2.1. Objetivos de Desarrollo Sostenible.....	3
2.2. Desarrollo sostenible y la caficultura en El Salvador.....	3
2.3. Desarrollo rural.....	4
2.4. Desarrollo local.....	5
2.5. Recursos naturales.....	5
2.6. Importancia económica, social y ambiental del café en El Salvador.....	6
2.7. El cultivo de café.....	8
2.7.1. Café arábigo ( <i>Coffea arabica</i> L.).....	9
2.7.2. Café robusta ( <i>Coffea canephora</i> Pierre.).....	10
2.7.3. Clones de café Robusta.....	11
2.8. Morfología de una planta de café Robusta.....	12
Figura 1. A) Yema de la rama, B) yema apical y C) yemas laterales.....	12
2.8.1. Tallo.....	13
Figura 2. Estructuras de la planta de café.....	13
2.8.2. Hoja.....	13
2.8.3. Flor.....	14
2.8.4. Fruto.....	15
Figura 3. Partes del fruto del café.....	15
2.9. Sistemas agroforestales.....	15
2.10. Caracterización agronómica.....	16
2.11. Caracterización morfológica.....	17
2.12. Descriptores.....	17
2.13. El cambio climático y su efecto sobre el cultivo del café.....	19
3. OBJETIVOS.....	20
4. MATERIALES Y MÉTODOS.....	21
4.1. Ubicación de la investigación.....	21
Figura 5. Ubicación del sistema agroforestal 1 en la Estación Experimental y de Prácticas..	22
Figura 6. Ubicación del sistema agroforestal 2 en la Estación Experimental y de Prácticas..	22
4.2. Metodología de campo.....	22
4.2.1. Caracterización morfoagronómica de las plantas de café.....	23
Figura 7. Descriptores utilizados para la caracterización morfoagronómica de las plantas de café Robusta.....	24
4.2.2. Variables cualitativas.....	24
4.2.3. Variables cuantitativas.....	25
• Diámetro del tallo: e.....	25
4.3. Metodología estadística.....	26
5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	28
5.1. Variables cualitativas del sistema agroforestal 1 (SAF 1) (lote administrativo).....	28
5.2. Variables cualitativas del sistema agroforestal 2 (SAF 2) (lote El Gallinero).....	29
5.3. Variables cuantitativas del sistema agroforestal 1 (SAF 1) (lote administrativo).....	30
5.3.1. Altura del árbol de café Robusta.....	30

Figura 8. Altura del árbol de los cuatro clones de café Robusta para el SAF 1. ....	31
5.3.2. Diámetro del tallo de café Robusta.....	31
Figura 9. Diámetro del tallo de los cuatro clones de café Robusta para el SAF 1. ....	32
5.3.3. Longitud de bandolas.....	32
Figura 10. Longitud de bandolas de los cuatro clones de café robusta para el SAF 1.....	32
5.3.4. Diámetro de las bandolas.....	33
Figura 11. Diámetro de bandolas de los cuatro clones de café robusta para el SAF 1.....	33
5.3.5. Longitud de las hojas.....	33
Figura 12. Longitud de las hojas de los cuatro clones de café robusta para el SAF 1. ....	34
5.3.6. Ancho de las hojas.....	34
Figura 13. Ancho de las hojas de los cuatro clones de café robusta para el SAF 1. ....	34
5.3.7. Longitud del peciolo de las hojas.....	35
Figura 14. Longitud del peciolo de las hojas de los cuatro clones de café robusta en el SAF 1. ....	35
5.4. Variables cuantitativas para el sistema agroforestal 2 (SAF 2) (lote El Gallinero) ...	35
5.4.1. Altura del árbol.....	35
Figura 15. Altura del árbol de los cuatro clones de café Robusta para el SAF 2. ....	35
5.4.2. Diámetro del tallo.....	36
Figura 16. Diámetros del tallo de los cuatro clones de café Robusta para el SAF 2.....	36
5.4.3. Longitud de bandolas.....	36
Figura 17. Longitud de bandolas de los cuatro clones de café Robusta para el SAF 2. ....	37
5.4.4. Diámetro de bandolas.....	37
Figura 18. Diámetro de las bandolas de los cuatro clones de café robusta para el SAF 2. ...	38
5.4.5. Longitud de las hojas.....	38
Figura 19. Longitud de hojas de los cuatro clones de café Robusta para el SAF 2. ....	38
5.4.6. Ancho de las hojas.....	39
Figura 20. Ancho de las hojas de los cuatro clones de café robusta para el SAF 2. ....	39
5.4.7. Longitud del peciolo de las hojas.....	39
Figura 21. Longitud del peciolo de las hojas de los cuatro clones de café robusta para SAF 2. ....	39
5.5. Análisis multivariante de datos.....	40
5.5.1. Análisis por Conglomerados para el sistema agroforestal 1.....	40
Figura 22. Análisis por Conglomerados SAF 1.....	41
5.5.2. Análisis por Componentes Principales en el sistema agroforestal 1.....	41
Cuadro 1. Varianza de los componentes principales 1 y 2.....	42
Cuadro 2. Variables que contribuyen a la varianza de los componentes principales 1 y 2. ...	42
Figura 23. Biplot de componentes principales para las características cuantitativas de cuatro clones de café Robusta cultivados en el sistema agroforestal 1. ....	43
5.5.3. Análisis por Conglomerados para el sistema agroforestal 2.....	43
Figura 24. Conglomerados en el SAF 2. ....	44
5.5.4. Análisis por Componentes Principales en el sistema agroforestal 2.....	44
Cuadro 3. Varianza por los componentes principales 1 y 2.....	45
Cuadro 4. Variables que contribuyen a la varianza de los componentes principales 1 y 2. ...	45
5.6. Catálogo de cuatro clones de café Robusta en dos sistemas agroforestales... ¡Error!	
<b>Marcador no definido.</b>	
6. CONCLUSIONES.....	46
7. RECOMENDACIONES.....	47
8. BIBLIOGRAFÍA.....	48
9. ANEXOS.....	54

Cuadro A-1. Descriptivos cualitativos de los cuatro clones de café Robusta cultivados en el Sistema Agroforestal 1.....	54
Cuadro A-2. Descriptivos cualitativos de los cuatro clones de café Robusta cultivados en el Sistema Agroforestal 2.....	54
Cuadro A-3. Descriptivos cuantitativos de los cuatro clones de café Robusta cultivados en el Sistema Agroforestal 1.....	55
Cuadro A-4. Descriptivos de cuatro clones de café Robusta cultivados en sistema.....	56
Cuadro A-5. Análisis de correlación de Pearson para las características cuantitativas de cuatro clones de café Robusta cultivados en el sistema agroforestal 1.....	57
Cuadro A-6. Medida de adecuación maestra Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) y prueba de Bartlett para las características cuantitativas de cuatro clones de café Robusta cultivados en el sistema agroforestal 1.....	58
Cuadro A-7. Análisis de correlación de Pearson para las características cuantitativas de cuatro clones de café Robusta cultivados en el sistema agroforestal 2.....	58
Cuadro A-8. Medida de adecuación maestra Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) y prueba de Bartlett para las características cuantitativas de cuatro clones de café Robusta cultivados en el sistema agroforestal 2.....	58

## Índice de cuadros

Página

Cuadro 1. Varianza de los componentes principales 1 y 2.....	<b>42</b>
Cuadro 2. Variables que contribuyen a la varianza de los componentes principales 1 y 2. ...	<b>42</b>
Cuadro 3. Varianza por los componentes principales 1 y 2.....	<b>45</b>
Cuadro 4. Variables que contribuyen a la varianza de los componentes principales 1 y 2. ...	<b>45</b>

## Índice de figuras

	Página
Figura 1. A) Yema de la rama, B) yema apical y C) yemas laterales.....	12
Figura 2. Estructuras de la planta de café.....	13
Figura 3. Partes del fruto del café .....	15
Figura 4. Ubicación de las dos parcelas de investigación en la Estación Experimental y de Prácticas.....	21
Figura 5. Ubicación del sistema agroforestal 1 en la Estación Experimental y de Prácticas..	22
Figura 6. Ubicación del sistema agroforestal 2 en la Estación Experimental y de Prácticas..	22
Figura 7. Descriptores utilizados para la caracterización morfoagronómica de las plantas de café Robusta. ....	24
Figura 8. Altura del árbol de los cuatro clones de café Robusta para el SAF 1. ....	31
Figura 9. Diámetro del tallo de los cuatro clones de café Robusta para el SAF 1. ....	32
Figura 10. Longitud de bandolas de los cuatro clones de café robusta para el SAF 1.....	32
Figura 11. Diámetro de bandolas de los cuatro clones de café robusta para el SAF 1.....	33
Figura 12. Longitud de las hojas de los cuatro clones de café robusta para el SAF 1.....	34
Figura 13. Ancho de las hojas de los cuatro clones de café robusta para el SAF 1. ....	34
Figura 14. Longitud del peciolo de las hojas de los cuatro clones de café robusta en el SAF 1. ....	35
Figura 15. Altura del árbol de los cuatro clones de café Robusta para el SAF 2. ....	35
Figura 16. Diámetros del tallo de los cuatro clones de café Robusta para el SAF 2.....	36
Figura 17. Longitud de bandolas de los cuatro clones de café Robusta para el SAF 2. ....	37
Figura 18. Diámetro de las bandolas de los cuatro clones de café robusta para el SAF 2. ...	38
Figura 19. Longitud de hojas de los cuatro clones de café Robusta para el SAF 2. ....	38
Figura 20. Ancho de las hojas de los cuatro clones de café robusta para el SAF 2. ....	39
Figura 21. Longitud del peciolo de las hojas de los cuatro clones de café robusta para SAF 2. ....	39
Figura 22. Análisis por Conglomerados SAF 1.....	41
Figura 23. Biplot de componentes principales para las características cuantitativas de cuatro clones de café Robusta cultivados en el sistema agroforestal 1. ....	43
Figura 24. Conglomerados en el SAF 2. ....	44
Figura 25 Biplot de componentes principales para las características cuantitativas de cuatro clones de café Robusta cultivados en el sistema agroforestal 2. ....	46

## Índice de anexos

	Página
Cuadro A-1. Descriptivos cualitativos de los cuatro clones de café Robusta cultivados en el Sistema Agroforestal 1.....	54
Cuadro A-2. Descriptivos cualitativos de los cuatro clones de café Robusta cultivados en el Sistema Agroforestal 2.....	54
Cuadro A-3. Descriptivos cuantitativos de los cuatro clones de café Robusta cultivados en el Sistema Agroforestal 1.....	55
Cuadro A-4. Descriptivos de los cuatro clones de café Robusta cultivados en el sistema.....	56
Cuadro A-5. Análisis de correlación de Pearson (r) para las características cuantitativas de cuatro clones de café Robusta cultivados en el sistema agroforestal 1.....	57
Cuadro A-6. Medida de adecuación maestra Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) y prueba de Bartlett para las características cuantitativas de cuatro clones de café Robusta cultivados en el sistema agroforestal 1.....	58
Cuadro A-7. Análisis de correlación de Pearson (r) para las características cuantitativas de cuatro clones de café Robusta cultivados en el sistema agroforestal 2.....	58
Cuadro A-8. Medida de adecuación maestra Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) y prueba de Bartlett para las características cuantitativas de cuatro clones de café Robusta cultivados en el sistema agroforestal 2.....	58





## 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 bajista de la producción del grano.

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 decisiva 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 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: *Coffea arabica* Linneo y *Coffea canephora* Pierre ex Froehner, las cuales se conocen en el mercado como café arábica y café robusto, respectivamente (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, el 29% con Pacas y el 3% restante con variedades como el Caturra, Catuai y el Pacamara, los cuales son susceptibles al ataque de plagas y enfermedades como la Broca del fruto del café (*Hypothenemus hampei*) y 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 objetivo de esta investigación es 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. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1. Objetivos de Desarrollo Sostenible**

El desarrollo sostenible es el que satisface las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las futuras generaciones, requiere esfuerzos concertados para construir un futuro inclusivo, sostenible y resiliente para las personas y el planeta (FAMSI 2017).

Los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) se gestaron en la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo Sostenible, celebrada en Río de Janeiro, Brasil, en el 2012. El propósito era crear un conjunto de objetivos mundiales relacionados con los desafíos ambientales, políticos y económicos con que se enfrenta el mundo. Los ODS sustituyen a los Objetivos de Desarrollo del Milenio (ODM), con los que se emprendió en 2000 una iniciativa mundial para hacer frente a la pobreza extrema y el hambre, prevenir las enfermedades mortales y ampliar la enseñanza primaria a todos los niños, entre otras prioridades del desarrollo (UNESCO 2015).

En el año 2015, los 193 Estados miembros de las Naciones Unidas llegaron a un consenso respecto a un documento final de una nueva agenda de desarrollo sostenible titulada “Transformar nuestro mundo: la Agenda de 2030 para el Desarrollo Sostenible”, a fin de lograr el desarrollo sostenible, fundamental para garantizar una vida saludable y promover el bienestar para todos a cualquier edad (FAO 2015).

La UNESCO plantea 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible, con esta investigación se busca contribuir al cumplimiento de los siguientes: Objetivo 2. Hambre cero; Objetivo 6. Agua Limpia y Saneamiento; Objetivo 13. Acción por el clima y Objetivo 15. Vida de ecosistemas terrestres (UNESCO 2015).

### **2.2. Desarrollo sostenible y la caficultura en El Salvador**

El café se produce en más de 50 países y proporciona un medio de vida a más de 25 millones de familias caficultoras en el mundo entero, asegurando la actividad económica y mejorando la calidad de vida para muchas personas (PROCAFE 2009).

Los ecosistemas basados en el cultivo del café generan cierta estabilidad ecológica al asemejarse a un ecosistema natural, en el que los componentes bióticos y abióticos generan las condiciones para una fauna y flora diversa (PROCAFE 2009).

En los países productores de café, los residuos y sub-productos del café constituyen una fuente grave contaminación y problemas ambientales. Por ese motivo, desde mediados del siglo pasado se ha tratado de inventar métodos de reciclaje y reutilizarlos como materia prima para la producción de piensos, bebidas, vinagre, biogás, cafeína, pectina, enzimas pécticos, proteína y abono (FAO 2014).

### **2.3. Desarrollo rural**

Uno de los objetivos de política económica en el desarrollo rural es lograr un crecimiento sostenido del producto, que genere empleo y, por tanto, mejore la calidad de vida de los habitantes (Ceña 1993).

El desarrollo rural, generalmente, hace referencia a las acciones propiciadas para mejorar la calidad de vida de los habitantes de las áreas rurales, es un proceso de mejora del bienestar de la población, basándose en sus recursos naturales (Ceña 1993).

Existe una visión más amplia de lo rural: “El mundo rural es más diverso y complejo que lo agropecuario, pero lo agrario sigue siendo importante y muchas veces centro de las actividades sociales y económicas” (Trivelli *et al.* 2009).

Restrepo y Bernal (2014) consideran que existe una nueva visión de desarrollo rural que se puede definir por medio de tres postulados:

- a) El campo de acción del desarrollo rural es muy amplio y por tanto no debe entenderse como lo concerniente a las actividades agrícolas y pecuarias, sino que además tiene que ver con las acciones que contribuyan a mejorar la calidad de vida de la población rural, a esto se la ha denominado la nueva ruralidad.
- b) La provisión de “bienes públicos” es fundamental, a cambio de que solo se otorguen subsidios directos que la mayoría de las veces llegan a manos de quienes menos los necesitan: “Un desarrollo rural con enfoque territorial, en el que se privilegie la dotación de bienes públicos, por oposición al método simplista de otorgar subsidios directos regresivos

a los que más capacidades tienen para pedir, que no son necesariamente quienes más necesitan el apoyo del estado”.

- c) Las inversiones asociadas al desarrollo rural deben ser intensivas en áreas en donde hay mayor pobreza relativa, a fin de que la inversión pública tenga considerable impacto en la calidad de vida de la población rural (Cárdenas y Vallejo 2016).

#### **2.4. Desarrollo local**

El espacio local ha sido considerado, por muchos autores, el lugar donde comenzar a solucionar los problemas para conseguirlo de manera efectiva a escala global. Es la parcela en la que los esfuerzos de planificación y organización deben ser aplicados (Juárez 2013).

A nivel general, el desarrollo local pretende situar como punto central al ser humano y a los intereses colectivos, potenciando en su esfera diaria las capacidades de los individuos, con el objetivo de implementar el desarrollo local en los territorios y aprovechar sus potencialidades beneficiando a sus pobladores, se han creado iniciativas de desarrollo local que tienen como objetivo generar actividades, empresas o nuevos empleos (Juárez 2013).

A medida avanza el tiempo el cultivo de café ha sido considerado uno de los pilares económicos de Latinoamérica, por lo que diferentes organizaciones están trabajando de la mano con los pobladores de las diferentes regiones para aumentar su productividad como también corregir diferentes metodologías que los productores utilizan para dicho cultivo. Estas correcciones vienen generando la utilización de nuevas tecnologías como también el cuidado, prevención y renovación de los cafetales en la zona, esto con el fin de obtener resultados apropiados para los compradores de café y aumentar sus ganancias significativamente, lo que se traduce en una mejora del desarrollo local y de las condiciones de vida de los productores (Gálvez 2007).

#### **2.5. Recursos naturales**

Por recurso natural se entiende a todo componente de la naturaleza, susceptible de ser aprovechado en su estado natural por el ser humano para la satisfacción de sus necesidades. Esto significa que para que los recursos naturales sean útiles, no es necesario procesarlos, por ejemplo, mediante un proceso industrial. Al mismo tiempo, los recursos naturales no pueden ser producidos por las personas (Rodríguez 1990).

En otras palabras, son "todos aquellos bienes de los que disponen las personas como un regalo de la naturaleza". Así se incluyen elementos que no son necesariamente utilizados como insumos en el proceso productivo, por ejemplo, el aire puro (Rodríguez 1990).

Los recursos naturales renovables son aquellos cuya existencia no se agota con su utilización, debido a que vuelven a su estado original o se regeneran a una tasa mayor con que son disminuidos mediante su utilización. Esto significa que ciertos recursos renovables pueden dejar de serlo si su tasa de utilización es tan alta que evite su renovación, por ejemplo: el bosque, agua, viento, peces, radiación solar, energía hidráulica, madera, energía eólica y productos. Los recursos naturales no renovables son generalmente depósitos limitados o con ciclos de regeneración muy por debajo de los ritmos de extracción o explotación, como: minería, hidrocarburos, otros (Bastidas 2010).

La creciente demanda de alimentos aumenta la presión sobre los recursos naturales, sean suelos, bosques, praderas, mares o ríos. Para hacer frente a esta situación, los países miembros de la FAO declaran esencial priorizar la producción sostenible de alimentos básicos y nutritivos para garantizar la seguridad alimentaria. Para ello promueven la innovación socio-productiva y la comercialización de productos en sistemas de agricultura familiar, que se han posicionado como un importante proveedor de alimentos para el consumo local y el mercado interno, contribuyendo significativamente al desarrollo rural territorial y al alivio de la pobreza (Trivelli 2005).

Estas prácticas de producción sostenible minimizan la presión sobre los recursos naturales, al realizar un adecuado manejo y conservación de la biodiversidad, reducir el uso de insumos nocivos para el medio ambiente, y usar variedades autóctonas y policultivos. Al mismo tiempo, el análisis de riesgos ambientales, provocados por el cambio climático, y el aumento de la resiliencia, son esenciales para garantizar los sistemas de vida rurales y urbanos (FAO 2016).

## **2.6. Importancia económica, social y ambiental del café en El Salvador**

La historia económica, social y cultural de El Salvador ha estado muy asociada a la actividad productiva del café. Durante los últimos cien años, el café ha sido fuente generadora de riqueza, divisas, empleo, ingresos al fisco y por supuesto fuente importante de servicios ecosistémicos (FUNDE 2006).

Desde finales del siglo XIX, el café ha marcado el paso de la actividad económica, formando parte de la cultura y transformado la historia social del país. Lo anterior, a pesar de una pérdida relativa en el impacto del café dentro de la economía, debido a una reconversión de los sectores productivos, en el marco de un proceso de apertura y desregulación de la economía (Rivas *et al.* 2011).

La importancia del café en El Salvador ha venido cambiando durante los últimos años, esto como producto de la contracción del sector y de la diversificación de la economía, especialmente en la década de los noventa, después de la firma de los acuerdos de paz. Sin embargo, el café continúa siendo una actividad de importancia estratégica para la sostenibilidad económica, social y ambiental, y constituye hoy una fuente de estabilidad social y de servicios ecosistémicos (Rivas *et al.* 2011).

Antes de la crisis de la roya, el café representaba alrededor del 1.5% del Producto Interno Bruto y el 12.6% del PIB agropecuario (esto sin considerar la actividad agroindustrial). En 2013 las exportaciones de café representaron cerca de un 4% del total de exportaciones del país (BFA 2013).

De acuerdo al Consejo Salvadoreño del Café (CSC), en los últimos cinco años el sector cafetalero generó un promedio anual de 23.4 millones de jornales (días/persona), equivalente a unos 93 mil empleos permanentes por año (PMA 2013).

Se estima que el sector genera cerca de 500,000 empleos indirectos; inyecta recursos en el área rural dinamizando el comercio y aliviando la pobreza rural (Rivas *et al.* 2011).

Por otra parte, la mayoría de las fincas están en manos de pequeños productores, pues un 56% de las mismas no sobrepasa las 3 manzanas (2.1 hectáreas), mientras que el 81% no excede las 10 manzanas (7 hectáreas) (PROCAFE 2010).

En el tema ambiental, el café es vital desde el punto de vista ecológico, considerando que el 60% de la cobertura boscosa del país está constituido por los cafetales y su sombra. El Salvador cuenta únicamente con un 2% de bosque primario, las plantaciones de café representan aproximadamente un 9% de bosque adicional debido al uso intensivo de sombra que poseen los cafetales (el 95% de los cafetales son cultivados bajo sombra). Asimismo,



alrededor del 80% de los bosques primarios se encuentran rodeados por cafetales, funcionando como áreas de amortiguación del impacto que pudiesen recibir dichos bosques del exterior. Si los cafetales desaparecen los bosques primarios estarían en peligro de desaparecer (Rivas *et al.* 2011).

Los cafetales ofrecen servicios ecosistémicos para las poblaciones locales y para la población en general. El 44% de la demanda total de leña de las poblaciones rurales se satisface gracias a los cafetales. Además, en las fincas de café se cultivan otros productos como frutas, vegetales, flores y árboles maderables. Estas especies son importantes por la biodiversidad y también son una fuente de ingreso adicional para las familias rurales (PROCAFE 2009, citado por Rivas *et al.* 2011).

Uno de los servicios ecosistémicos más importantes del parque cafetalero es la recarga de los mantos acuíferos. Los cafetales bajo sombra han permitido a El Salvador mantener una abundante biodiversidad en flora y fauna. En las fincas cafetaleras se albergan aproximadamente 139 especies de árboles nativos, 150 especies de aves estacionales y migratorias, además de pequeños mamíferos, reptiles, batracios y quelonios, entre otros.

Dada su importancia, el café forma parte de las líneas de acción de la Estrategia Nacional de Biodiversidad del MARN, que buscan restaurar y conservar el bosque cafetero. En términos de mitigación de gases de efecto de invernadero, una hectárea de café bajo sombra puede mantener una reserva de 200 toneladas de carbono (PROCAFE 2009, citado por Rivas *et al.* 2011).

El bosque cafetalero tiene para el país una gran importancia hidrológica, además de proporcionar otros servicios ecosistémicos como servir de fuente de energía, capturar carbono y conservar la biodiversidad (Rivas *et al.* 2011).

## **2.7. El cultivo de café**

El café es originario de Etiopía (antiguamente Abisinia) y del Sudán, se extendió a otras partes del mundo pasando por Arabia. En la actualidad dos tercios de todo el café se cultiva en América Latina donde llegó vía Europa en el siglo XVIII. El café (*Coffea sp*) es el segundo producto comercial de más valor después del petróleo. En la mayoría de países del mundo se consume café (CICAPE 2011).

De las numerosas especies de cafeto sólo tres son de importancia comercial, pero dos se utilizan ampliamente, *Coffea arabica* L. es la que más se cultiva y tiene la mayor demanda, crece en tierras altas entre 400 y 2,000 metros; el café Robusta (*Coffea canephora* Pierre.) es una variedad más resistente que se cultiva a menor altura y lluvia, es importante en la preparación de mezclas y es utilizada para elaborar café instantáneo; y el *Coffea liberica* es también resistente y de tierras bajas (CICAFFE 2011).

Un grano de café contiene normalmente 34% de celulosa, 30% de azúcares, 11% de proteínas, de 6% a 13% de agua, y entre 2% y 15% de materia grasa. Otros componentes destacables son minerales como el potasio, calcio, magnesio y fósforo, ácidos orgánicos (cafeilquínicos o clorogénicos) y alcaloides como la cafeína (1% a 2.5%) y la trigonelina. En algunos casos también se han detectado compuestos exógenos (contaminantes) como restos de pesticidas, micotoxinas y benzopireno (Vanaclocha y Folcara 2003).

### **2.7.1. Café arábigo (*Coffea arabica* L.)**

El café es un arbusto perenne cuyo ciclo de vida en condiciones comerciales alcanza hasta 20-25 años dependiendo de las condiciones o sistema de cultivo. A libre crecimiento la planta comienza a producir frutos en ramas de un año de edad, continua su producción durante varios años y alcanza su máxima productividad entre seis y ocho años de edad. La planta puede seguir su actividad por muchos años pero con niveles de productividad bajos (CENICAFE 2007).

Según CENICAFE (2007), durante su ciclo de vida la planta de café destina una parte de éste a la formación de estructuras no reproductivas como raíces, ramas, nudos y hojas, actividad denominada desarrollo vegetativo. Las fases que ocurren después se denominan desarrollo reproductivo y después de varios años de actividad la planta envejece y entra en un proceso de deterioro que se denomina fase de senescencia o envejecimiento:

- Fase de desarrollo vegetativo. La definición de esta fase es bastante compleja, debido a que en el crecimiento vegetativo, por ejemplo, la formación de nudos, hojas y la generación de nuevas raíces ocurre durante toda la vida de la planta y en la mayor parte del tiempo está intercalado con el crecimiento reproductivo. De acuerdo a la forma como se desarrolla la planta de café puede considerarse que el desarrollo vegetativo comprende tres etapas:

germinación a trasplante (2 meses), almacigo (5-6 meses) y siembra definitiva a primera floración (11 meses).

- Fase de desarrollo reproductivo. Comienza con la aparición de las primeras flores. El periodo de iniciación de esta fase puede estar influenciado por la duración del día (fotoperiodo), época de siembra, temperatura y la disponibilidad hídrica. Se considera como primera floración el momento en que por lo menos el 50% de las plantas hayan florecido. La fase reproductiva continúa luego con el desarrollo del fruto y la maduración.
- Fase de senescencia. El ritmo de envejecimiento depende de la región donde se establece el cultivo, densidad de siembra, intensidad de la producción, disponibilidad de nutrientes, presencia de plagas y enfermedades o del estrés ambiental, entre otros. Los órganos de la planta completan su ciclo de vida en épocas y edades diferentes, por ejemplo, la hoja tiene una duración promedio de 350 días, una rama primaria dura varios años y una flor abierta dura tres días.

### **2.7.2. Café robusta (*Coffea canephora* Pierre.)**

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 fue utilizado por los nativos mucho antes que los europeos llegaran al África Ecuatorial. Los primeros colonizadores movilizados al interior de esta parte del continente encontraron árboles de café en parcelas alrededor de las villas o en las junglas próximas, que eran cosechados regularmente. Todavía hoy, una parte importante del café robusta producido en África proviene de pequeñas propiedades (SAGARPA 2011).

En la región Amazónica Oriental, las provincias dedicadas a este cultivo son Sucumbíos y Ñapo. Las zonas de cultivo se ubican en altitudes inferiores a los 500 metros sobre el nivel del mar (msnm), ocupando un área de aproximadamente 100,000 hectáreas. El promedio de producción por unidad de superficie está en 6.3 quintales/hectárea (qq/ha) de café oro, rendimiento considerado muy bajo (INIAP 1994).

El café Robusta es un arbusto o pequeño árbol robusto que puede crecer hasta alcanzar 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 los 100-700 msnm y una temperatura ambiente entre 24-30°C. Para que su fruto madure puede tardar entre 9-11 meses después de la floración. 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 cierta medida, 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 es un arbusto multicaule que puede alcanzar de 8 a 12 metros de altura. El sistema radical del cafetal adulto está constituido por un eje frecuentemente robusto y en general corto (0,30 a 0,50 m) (INIAP 1994).

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).

### **2.7.3. Clones de café Robusta**

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

- **Clon FRT06:** este material es originario de Togo, posee un canope mediano, bandolas rígidas y horizontales, su follaje posee un color 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 a mortear (AGROMOD s.f.).

## 2.8. Morfología de una planta de café Robusta

El cafeto es caracterizado por ser un arbusto de hojas perennes que alcanza de 6 a 10 metros de altura cuando se deja a libre crecimiento, sus ramas son largas con pocas ramificaciones secundarias, con entrenudos largos. Las hojas son grandes (20 a 25 cm de largo y 8 a 15 cm de ancho) ligeramente corrugadas (MIDA 2012).

El crecimiento de la parte aérea del cafeto se genera a partir de las células meristemáticas ubicadas en el ápice del tallo, de las ramas (yemas apicales) y en las axilas de las hojas (yemas laterales, yemas axilares y yemas seriadas) (MIDA 2012).



Figura 1. A) Yema de la rama, B) yema apical y C) yemas laterales.

### 2.8.1. Tallo

El tallo normalmente es unicaule o de un solo tallo bien definido, aunque en ciertas ocasiones presenta tallos múltiples, el café es un pequeño árbol de unos 4 a 12 m de alto, caracterizado por el dimorfismo de ejes que consiste de un eje vertical u ortotrópico del que salen ramas laterales o plagiotrópicas; el tallo forma nudos y entrenudos, de los primeros 9 a 11 nudos, aparecen ramas laterales con hojas opuestas y en cada una hay de 1 a 2 estipulas, a partir generalmente del doceavo par de hojas aparecen yemas vegetativas en las axilas, donde se desarrollan ramas laterales secundarias adquiriendo la planta forma piramidal. A partir de los meristemas de las yemas se desarrollan los primordios de nudos, hojas, brotes, ramas y flores. El ápice del tallo es el responsable de la formación de nudos, hojas y del crecimiento en altura de la planta (crecimiento ortotrópico). En el ápice de las ramas ocurre la formación de nudos, hojas y la expansión lateral de la planta (crecimiento plagiotrópico) (Pulgarín s.f.).

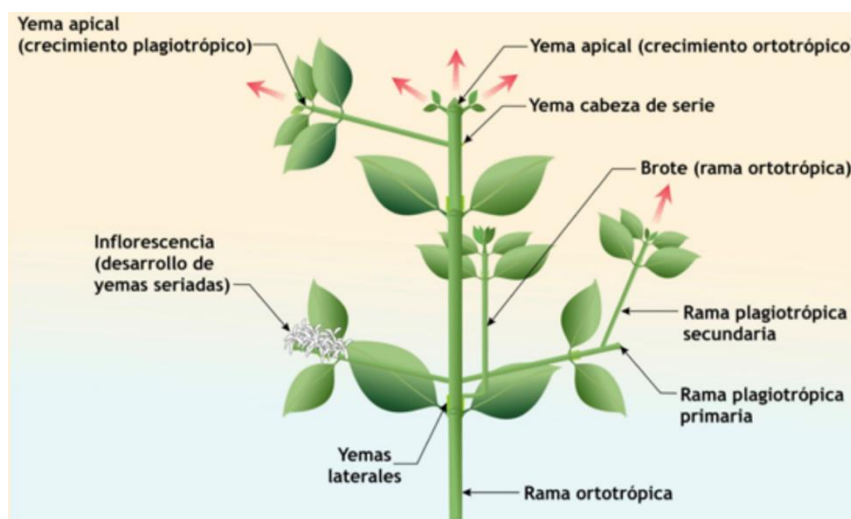


Figura 2. Estructuras de la planta de café.

### 2.8.2. Hoja

La hoja se origina a partir de la yema apical, la cual aparece en un corte longitudinal como una protuberancia formada por varias capas de células, algunas de las cuales tienen la capacidad de dividirse para producir células nuevas que van a formar otros órganos de la planta. De esta manera, el desarrollo foliar se inicia con una serie de divisiones en una de las tres capas celulares más externas cerca de la yema apical, la cual se transforma en otra protuberancia lateral o primordio foliar, que luego por divisiones continuas y crecimiento de sus células se convertirá en una hoja (Pulgarín s.f.).

Los árboles de la especie Robusta tienen hojas mucho más largas y corrugadas que las del Arábica (COVECA, citado por Hernández *et al.* s. f.).

Las ramas del café Robusta son largas, de hojas grandes (20 a 35 cm de largo, 8 a 15 cm de ancho), oblongas acuminadas con relieve abarquillado (INIAP 1994).

### **2.8.3. Flor**

El cafeto da flores olorosas, de color blanco o rosáceo, siendo estas el órgano reproductivo de la planta. Su fecundación ocurre con la unión del polen y el óvulo. En algunas especies hermafroditas como la Arábica se da la auto fertilización; mientras que en otras como la Robusta, es necesaria la intervención de insectos para su polinización. Aparecen en los nudos de las ramas y su formación es un proceso que dura entre cuatro y cinco meses, en el que se dan ciertas etapas como: Iniciación floral y diferenciación, período de latencia corto, renovación rápida del crecimiento del botón floral y la apertura de las yemas (ANACAFE 2016).

La culminación del proceso depende de la suspensión del periodo de latencia, el cual se da por la aparición de la lluvia después de un periodo de sequía. Esto se conoce como estrés hídrico, en el que el cafeto ante un período de verano ve reducidas sus funciones vitales y a la llegada de las lluvias entra en floración (ANACAFE 2016).

El proceso de floración tiene especial importancia para el caficultor, puesto que son las flores las que dan paso a la formación de los frutos. Por ello, es necesario realizar oportunamente los registros de floración del cafetal y así conocer y determinar aspectos como: la distribución de la cosecha, la aplicación de prácticas culturales para el manejo de plagas y enfermedades, y la identificación de los momentos críticos en los que aparecen problemas que pueden afectar la calidad de la cosecha (ANACAFE 2016).

Las inflorescencias del café Robusta son axilares, formadas por 1 a 3 verticilos, constituido cada uno por 15 a 30 flores blancas cuya corola posee de 5 a 7 pétalos. Cada verticilo tiene desde varias decenas hasta un centenar de flores que darán glomérulos repletos de frutos, de forma ovoidea y de 8 a 16 mm de longitud (INIAP 1994).

#### 2.8.4. Fruto

El fruto del cafeto es similar a una pequeña “cereza” o “drupa”. En principio son de color verde, y en la medida en que van madurando se vuelven de color rojo; o en algunos casos de color amarillo. En el interior de cada fruto hay dos semillas separadas por un surco; estos son los granos del café, los cuales se encuentran protegidos por una película plateada y recubiertos por una piel de color amarillo. Internamente el fruto del cafeto lleva la siguiente estructura:

- **Endosperma:** el grano de café como tal. Es la parte del fruto que, una vez tostada y molida, se utiliza para la producción de la bebida del café.
- **Tegumento:** también llamado piel plateada. Es una cubierta o película muy delgada y de color plateado.
- **Endocarpio:** es una cubierta dura que se denomina pergamino o cáscara, y una vez que se ha secado la semilla se separa del grano de café.
- **Mesocarpio:** es una sustancia gelatinosa y azucarada que recibe el nombre de baba o mucílago, la cual queda una vez el café es descerezado y se le retira por medio del proceso de fermentación.
- **Epicarpio:** Una cubierta o piel exterior del fruto conocida como pulpa del café. Puede ser de color rojo o amarillo (CICAFE 2011).

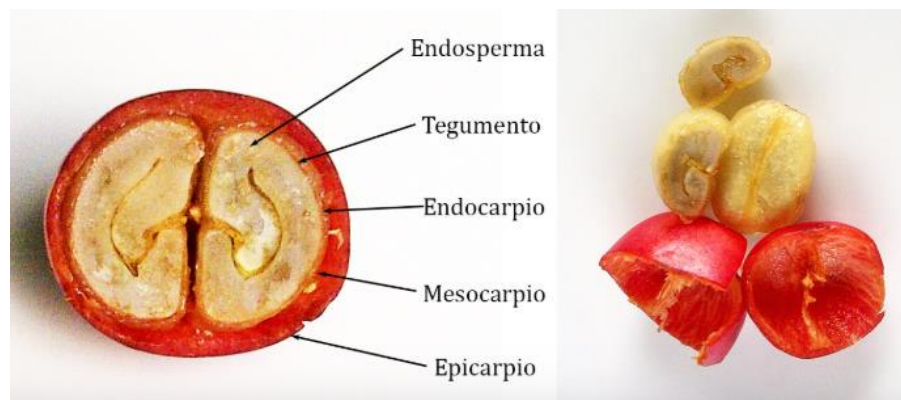


Figura 3. Partes del fruto del café.

#### 2.9. Sistemas agroforestales

Los sistemas de producción agroforestales se definen como una serie de sistemas y tecnologías de uso de la tierra en las que se combinan árboles con cultivos agrícolas o pastos, en función del tiempo y el espacio para incrementar y optimizar la producción en forma sostenida. Estos sistemas pueden contribuir a solucionar problemas en el uso de los recursos naturales debido a las funciones biológicas y socioeconómicas que cumplen (Iglesias 1999).



La biodiversidad también desempeña un papel importante en los sistemas agrícolas al proporcionar bienes y servicios importantes a los agricultores; en los sistemas de cultivo de café, las capas de los árboles de sombra son muy comunes, los cuales desempeñan un papel clave proporcionando madera y frutos, almacenando carbono, manteniendo un microclima favorable y albergando biodiversidad (Jezeer y Verweij 2015).

Los sistemas agroforestales han sido clasificados de diferentes maneras: según su estructura en el espacio, su diseño a través del tiempo, la importancia relativa y la función de los diferentes componentes, los objetivos de la producción y las características sociales y económicas prevalecientes (Iglesias 1999).

### **2.10. Caracterización agronómica**

Los recursos fitogenéticos del café Arábico que poseen un genoma común están conformados por 103 especies descritas en el género *Coffea*. Entre estas especies que constituyen los recursos genéticos del cultivo de café existe una alta variabilidad. Parte de los recursos genéticos se encuentran conservadas en los bancos de germoplasma de café en el mundo, los principales bancos están localizadas en Camerún, Colombia, Costa Rica, Etiopía y Madagascar (CICAPE 2011).

Estos recursos genéticos conservados ex situ, constituyen la fuente de variabilidad genética más accesible para trabajos de mejoramiento genético en el cultivo de café. Es evidente que la base genética del café cultivado es estrecha debido a que proviene principalmente de *Coffea arabica* L. y *Coffea canephora* Pierre., y en escala muy limitada de *Coffea liberica* (CICAPE 2011).

En América Latina, la estrecha base genética de los cultivares actuales se debe a la historia particular de su diseminación, que conllevó a una reducción enorme de la variabilidad original debido a problemas de establecimiento de cafetos en países transitorios fríos como Holanda y Francia. Por lo tanto, las principales fuentes de variación natural son las mutaciones y las hibridaciones intra e interespecíficas, estas últimas cumplen un papel preponderante para la recombinación de genes de resistencia a enfermedades como la Roya del café (*Hemileia vastatrix*), debido a la coevolución patógeno-hospedante en ambientes naturales. Dado este

contexto, los materiales silvestres y semi-silvestres constituyen importantes fuentes de diversidad genética del café, principalmente para América Latina (IPGRI s.f.).

### **2.11. Caracterización morfológica**

Las bases genéticas Typica y Bourbon permiten una diferenciación morfológica de las variedades cultivadas. Los cafetos de la variedad Typica se distinguen por el color bronceado (rojizo) de las hojas que emergen tanto del ápice del eje central como de las ramas laterales. Las plantas, a libre crecimiento, alcanzan hasta 4 m de altura. El tallo generalmente consta de un solo eje vertical con ejes verticales secundarios frecuentes que nacen de los nudos, presentan abundantes ramas laterales. Los frutos maduros se caracterizan por un color rojo vistoso y se desprenden fácilmente de la planta, pero algunos mutantes presentan frutos maduros amarillos (Severo 2007).

La variedad Bourbon está caracterizada por árboles de porte mediano que llegan solo hasta 3 m de altura, presentan ramas con entrenudos largos, el color de las hojas que emergen del ápice central y de las ramas laterales son de color verde. Por el color de frutos maduros se distinguen dos tipos de café Bourbon: el de color rojo/vino tinto y el de color amarillo/anaranjado; es más precoz que la variedad Típica y el tamaño de sus granos es más pequeño. En términos generales ambas variedades son consideradas de porte alto con relación a las variedades Pache, San Bernardo o Caturra (Severo 2007).

### **2.12. Descriptores**

Según el Instituto Internacional de Recursos Filogenéticos (por sus siglas en inglés IPGRI), actualmente se utilizan las siguientes definiciones en la documentación de recursos fitogenéticos:

- Descriptores de pasaporte.
- Descriptores de manejo.
- Descriptores de caracterización.
- Descriptores de evaluación.

En el estudio se utilizarán descriptores de caracterización que permiten una discriminación fácil y rápida entre fenotipos. Generalmente son caracteres altamente heredables, pueden ser fácilmente detectados a simple vista y se expresan igualmente en todos los ambientes.

Además, pueden incluir un número limitado de caracteres adicionales que son deseables según el consenso de los usuarios de un cultivo en particular (IPGRI s.f.).

Las normas aceptadas internacionalmente para la toma de datos, codificación y registro de los estados de los descriptores son las siguientes:

- a. Se utiliza el Sistema Internacional de Unidades (SI de Unidades). Las unidades a aplicarse están dadas entre corchetes al lado del nombre del descriptor.
- b. Se recomienda con énfasis el uso de tablas estándares de color para todos los caracteres de color, tales como tablas Munsell de Color de plantas (la tabla que se utilice deberá especificarse en la sección donde se utiliza).
- c. Muchos caracteres cuantitativos que son continuamente variables se registran en una escala del 1 al 9, donde:
  1. Muy bajo.
  2. Muy bajo a bajo.
  3. Bajo.
  4. Bajo a intermedio.
  5. Intermedio.
  6. Intermedio a alto.
  7. Alto.
  8. Alto a muy alto.
  9. Muy alto.
- d. Cuando se registra un descriptor utilizando una escala del 1 al 9, tal como en c), se debería registrar «0»: i) cuando el carácter no está expresado; ii) cuando un descriptor es inaplicable. En el ejemplo siguiente se registrará «0» si una accesión no tiene el lóbulo de la hoja central:

Forma del lóbulo de la hoja central

  3. Dentado
  5. Elíptico
  7. Linear
- e. La presencia o ausencia de caracteres se registra de la siguiente forma:

Presencia/ausencia de la hojuela terminal

  0. Ausente

## 1. (o +) Presente

- f. Los espacios en blanco se reservan para información aún no disponible.
- g. Para las accesiones que no son generalmente uniformes para un descriptor (por ej. colección mezclada, segregación genética) se registrará el promedio y la desviación estándar cuando la variación es continua o varios códigos en orden de frecuencia si el descriptor es de variación discontinua. Se pueden utilizar otros métodos publicados como el de R. S. Rana *et al.* (1991) o el de van Hintum (1993), que formulan un método para registrar las accesiones heterogéneas;
- h. Las fechas se deben expresar numéricamente usando el formato DDMMAAAA, donde:
  - DD - 2 dígitos que representan el día.
  - MM - 2 dígitos que representan el mes.
  - AAAA - 4 dígitos que representan el año (IPGRI s.f.).

### **2.13. El cambio climático y su efecto sobre el cultivo del café**

Cambio climático es cualquier cambio significativo en el clima como la temperatura o la precipitación, que dura un período prolongado de tiempo, generalmente décadas, ya sea debido a la variabilidad natural o a la actividad humana (Centro Internacional de Investigación Agroforestal 2017).

El planeta está experimentando diferentes fenómenos que son preocupantes, a continuación, veremos algunos que afectan directamente al cultivo del café:

El mundo se está calentando. La temperatura media global está aumentando, especialmente las temperaturas mínimas. Dado que el ritmo de cambio es bastante lento, las diferencias pueden ser prácticamente indetectables, incluso para los productores. Sin embargo, las plagas y las enfermedades pueden surgir mucho más rápido cuando se cruza un umbral determinado (a menudo desconocido o difícil de medir). La tasa de calentamiento global es desigual debido al efecto de los océanos que absorben cerca del 92% de la energía del sol y luego la mueven a través de corrientes horizontales y verticales. Es probable que la temperatura ambiente promedio no aumente significativamente en muchos años, incluso en algunas partes del mundo pueden experimentarse estaciones más frías, conforme cambien los vientos estacionales, mientras que en otras partes causen calentamiento (Centro Internacional de Investigación Agroforestal 2017).

La precipitación global está aumentando debido a que el aire caliente contiene más humedad. Sin embargo, esto no significa que todas las regiones recibirán más lluvia, sino que cuando llueva, puede que sólo llueva con más fuerza, y es probable que aumenten la erosión del suelo y los deslizamientos (Centro Internacional de Investigación Agroforestal 2017).

El mundo está experimentando un clima más extremo, con áreas cada vez más cálidas, más húmedas, más secas o incluso más frescas. Esto es difícil de probar estadísticamente, pero los datos de los estudios científicos y la industria de seguros muestran una creciente frecuencia de fenómenos meteorológicos severos. Esto significa que los productores de café pueden experimentar un clima más extremo, tanto frío como caliente (Centro Internacional de Investigación Agroforestal 2017).

El cultivo del café genera un manto botánico que sirve en la captabilidad de gases que perjudican el medio ambiente, de igual manera genera un hábitat para diferentes especies animales y de flora, reduciendo así, las posibilidades de pérdida de especies ya sea por tala de bosques, como también por caza (Centro Internacional de Investigación Agroforestal 2017).

### **3. OBJETIVOS**

#### **3.1. Objetivo general**

Caracterizar morfoagronómicamente cuatro clones de café Robusta (*Coffea canephora P.*) cultivados en dos sistemas agroforestales, con el fin de determinar cuál se adapta mejor a condiciones de altura 50 a 500 msnm.

#### **3.2. Objetivos específicos**

- Determinar los principales atributos cualitativos y cuantitativos que caracterizan a cada clon.
- Describir las principales características morfoagronómicas de los cuatro clones en un catálogo ilustrado.
- Identificar que clon se desarrolla mejor en condiciones de altura de 0-500 msnm.

## 4. MATERIALES Y MÉTODOS

### 4.1. Ubicación de la investigación

La investigación se realizó en el periodo de enero a julio 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).

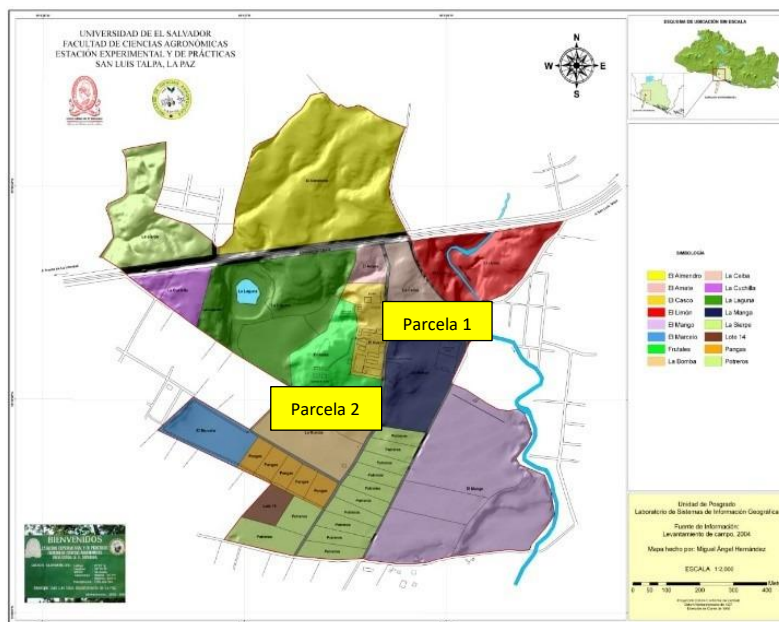


Figura 4. Ubicación de las dos parcelas de investigación en la Estación Experimental y de Prácticas.

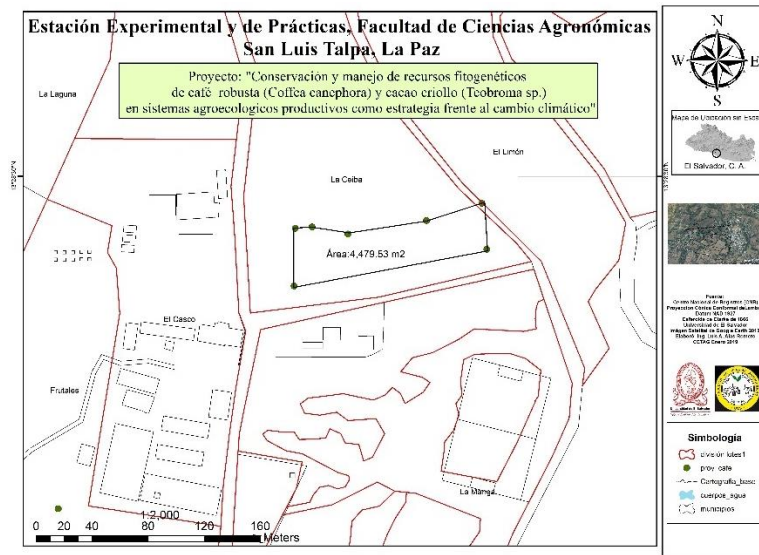


Figura 5. Ubicación del sistema agroforestal 1 en la Estación Experimental y de Prácticas.

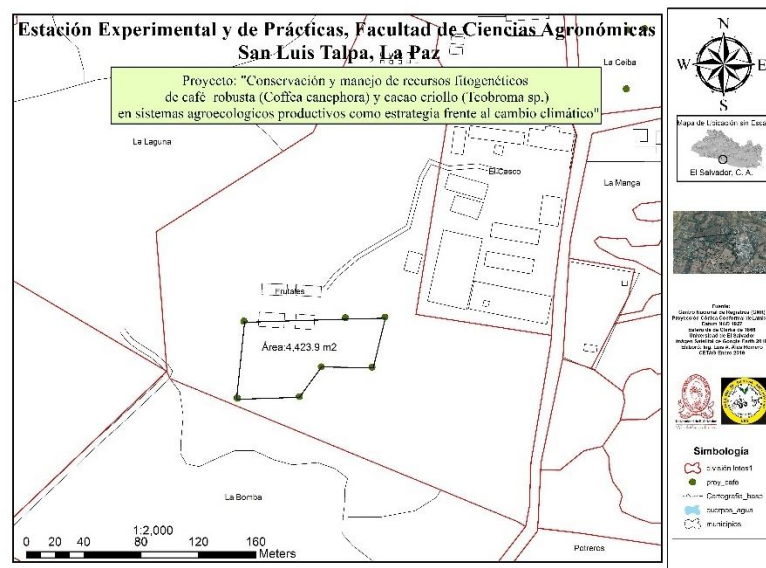


Figura 6. Ubicación del sistema agroforestal 2 en la Estación Experimental y de Prácticas.

#### 4.2. Metodología de campo

El trabajo de campo inició con visita a las dos parcelas de café robusta, para seleccionar las plantas que fueron las unidades experimentales para la toma de datos, las cuales debían poseer características como: altura promedio, mayor cantidad de bandolas y hojas: Fueron identificadas 12 plantas por clon en cada parcela, haciendo un total de 48 plantas por parcela; se acordó que se haría una toma de datos por mes, por seis meses.

La primera parcela (parcela 1) ubicada cerca de la oficina administrativa (lote Administrativo) de la Estación Experimental y de Prácticas cuenta con 10 surcos, orientados de sur a norte, en el primer surco se encuentran el clon FRT 06, en el segundo surco el clon FRT 07, en el tercero el clon FRT09 y en el cuarto surco el clon FRT23. Las plantas de café Robusta están sembradas al cuadro con distanciamiento tres metros entre planta y tres m entre surco. En el quinto surco se estableció un surco de cacao, en el sexto surco se sembró un surco de café Arábico variedad Cuscatleco, en el séptimo surco se estableció el clon FRT 06 y así sucesivamente se repitió el diseño hasta completar los 10 surcos de los clones de café; en cada surco se han plantado 12 árboles. El sistema agroforestal que se estableció fue con árboles de montaña como conacaste (*Enterolobium cyclocarpum*) y zorra o carrito (*Samanea saman*).

La segunda parcela (parcela 2) se ubica en el lote El Gallinero, se establecieron 10 surcos, en el primer surco se alternan dos clones, el FRT-06 y el FRT-09; en el segundo surco se alternan los otros dos clones, el FRT-07 y el FRT-23, y así sucesivamente hasta completar los 10 surcos. El distanciamiento de siembra es de 3 m entre planta y de 3 m entre surcos, al cuadro; en cada surco se han plantado 13 árboles de café. El sistema agroforestal que fue establecido es con plantas de pepeto (*Inga sp.*), paterna (*Inga paterna*), plátano enano (*Musa sapientum*), crotalaria (*Crotalaria longirostrata*) y gandul o alverja (*Cajanus cajan*).

Cada parcela cuenta con sistema de riego por goteo, con una descarga de ocho litros de agua por hora. Con un GPS (Sistema de Posicionamiento Global) se georreferenciaron las dos parcelas para obtener sus coordenadas geográficas.

#### **4.2.1. Caracterización morfoagronómica de las plantas de café**

Para la caracterización morfoagronómica de los cuatro clones de café Robusta se utilizó el manual Descriptores del café (*Coffea spp.* y *Psilanthus spp.*), del IPGRI 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 (48 por cada parcela) plantas del clon FRT06, 96 (48 por cada parcela) plantas del clon FRT07, 96 plantas del clon FRT09 y 96 plantas del clon FRT23.



Se caracterizaron *in situ* 48 árboles de café por cada parcela, haciendo un total de 96 árboles por cada clon. No se tomó en cuenta la flor y fruto debido a que al momento de la investigación no había floración ni fructificación, debido a esto solo se caracterizó de manera descriptiva.

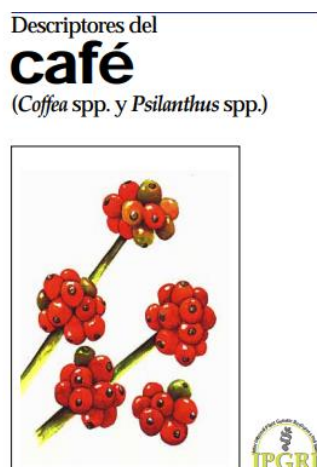


Figura 7. Descriptores utilizados para la caracterización morfoagronómica de las plantas de café Robusta.

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 Munsell, un microscopio Estereoscopio, un medidor de pH y un Brixómetro.

#### 4.2.2. 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 estipula, 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 estipula: 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.

#### **4.2.3. 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 bandolay, para este procedimiento se tomaron 5 bandolas completamente 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.

### **4.3. Metodología estadística**

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).

## 5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 5.1. Variables cualitativas del sistema agroforestal 1 (SAF 1) (lote administrativo)

En la variable sistema de cultivo con una frecuencia relativa del 100% los árboles en estudio tienen una condición de cultivos auxiliares con otros árboles dentro de la parcela en estudio (cuadro A-1).

En la variable hábito de crecimiento de la planta los clones evaluados no mostraron diferencias significativas, presentado 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 (cuadro A-1).

Hernández *et al.* (s.f.) mencionan que este tipo de árbol se caracteriza por ser pequeño o tiene una forma de árbol pequeño, pero puede llegar a una altura en su adultez de 10 m.

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 (cuadro A-1).

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) 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) 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 (s.f.) dice que el ápice de las hojas forma una especie de triangulo, que la misma presenta una curva hacia el envés de la misma (cuadro A-1).

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 no se evaluó la producción porque las flores se secaron y algunos pocos frutos estaban pequeños (cuadro A-1).

## **5.2. Variables cualitativas del sistema agroforestal 2 (SAF 2) (lote El Gallinero)**

En la variable sistema de cultivo con una frecuencia relativa del 100% los árboles en estudio tienen una condición de cultivos auxiliares con otros árboles dentro de la parcela en estudio (cuadro A-2).

En la variable habito de crecimiento los clones en estudio no presentan diferencia significativa entre ellos, es decir que el 100% de las plantas en estudio se rigen bajo la misma condición de manejo agronómico, caracterizándose como un árbol pequeño.

Hernández *et al.* (s.f.) mencionan que dicha característica es particular en este tipo de café, indicando su altura adulta entre 5 a 10 m en su estado fenológico más vigoroso (cuadro A-2).

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) (cuadro A-2).

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 (cuadro A-1), 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 (cuadro A-2).

### **5.3. Variables cuantitativas del sistema agroforestal 1 (SAF 1) (lote administrativo)**

#### **5.3.1. 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.

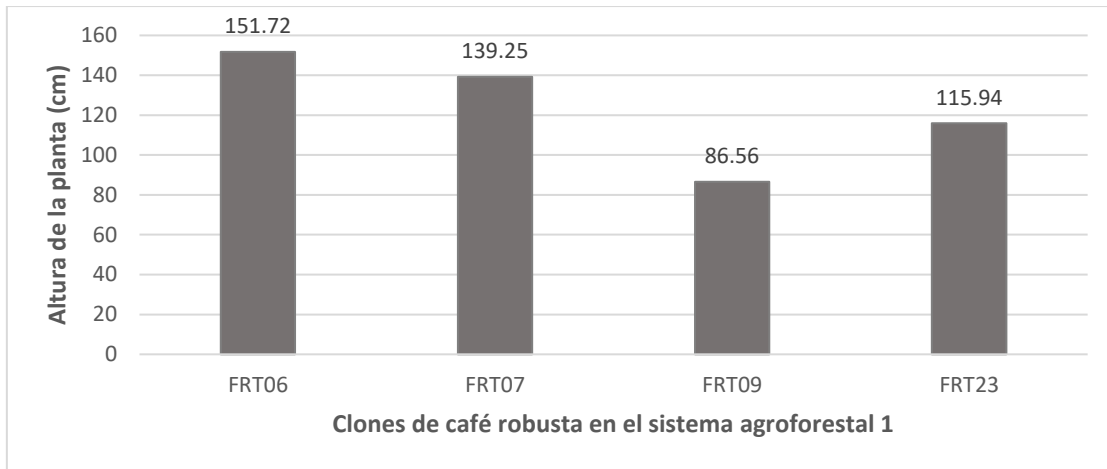


Figura 8. Altura del árbol de los cuatro clones de café Robusta para el SAF 1.

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 (cuadro A-1 y 3).

### 5.3.2. Diámetro del tallo de café Robusta

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.

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.



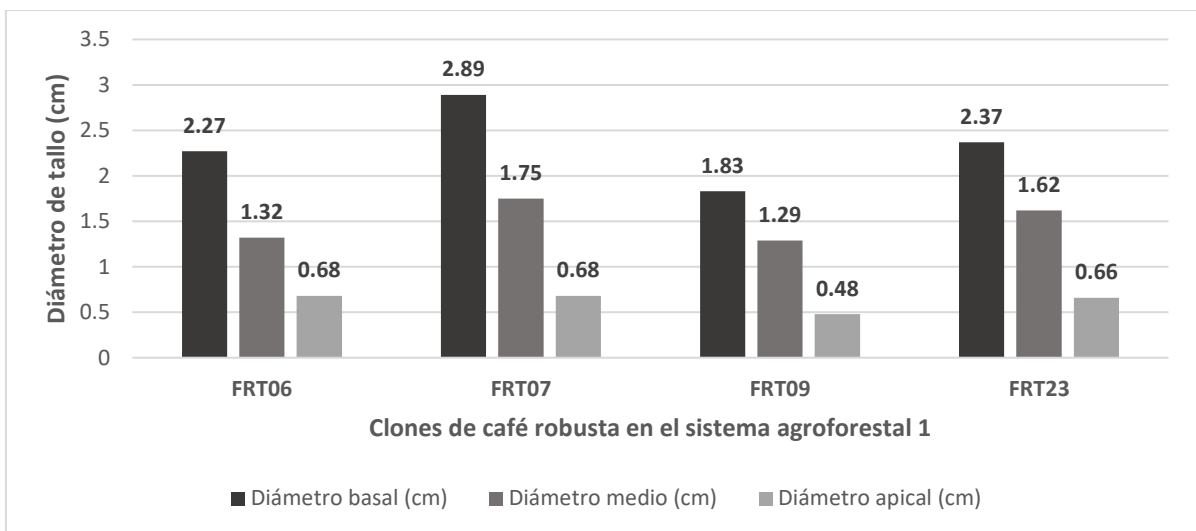


Figura 9. Diámetro del tallo de los cuatro clones de café Robusta para el SAF 1.

### 5.3.3. 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.

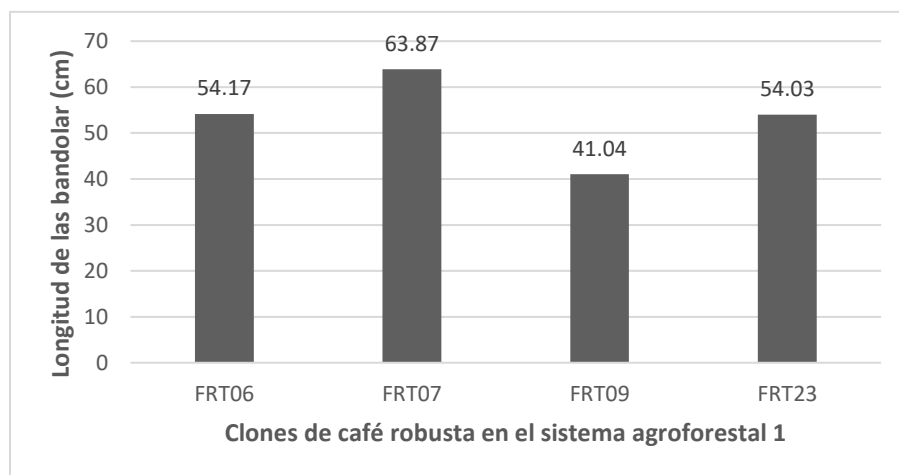


Figura 10. Longitud de bandolas de los cuatro clones de café robusta para el SAF 1.

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 (cuadro A-3).

### 5.3.4. Diámetro de las bandolas

Esta variable se midió en tres partes diferentes de la bandola: en la base, el medio y el ápice.

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.

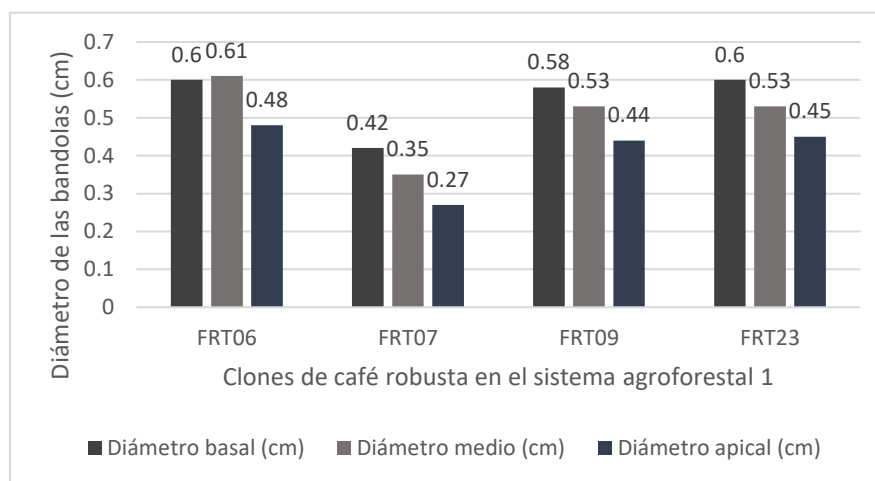


Figura 11. Diámetro de bandolas de los cuatro clones de café robusta para el SAF 1.

### 5.3.5. 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.

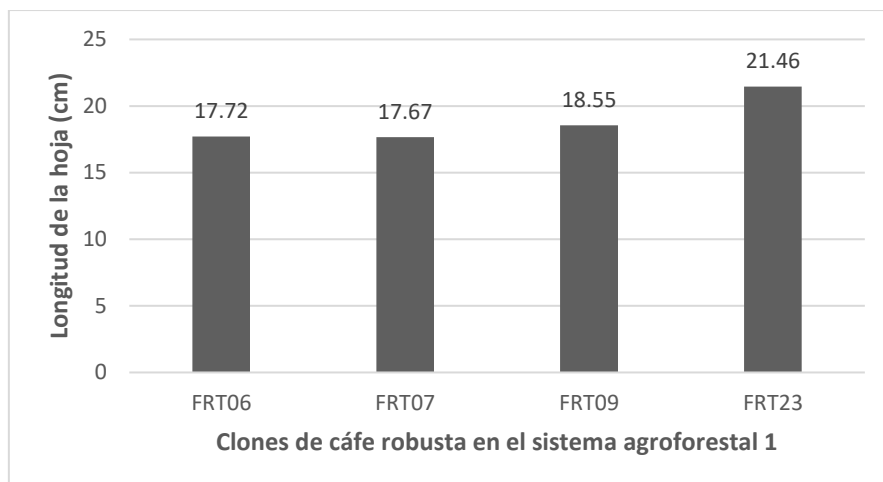


Figura 12. Longitud de las hojas de los cuatro clones de café robusta para el SAF 1.

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 (cuadro 3).

### 5.3.6. 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.

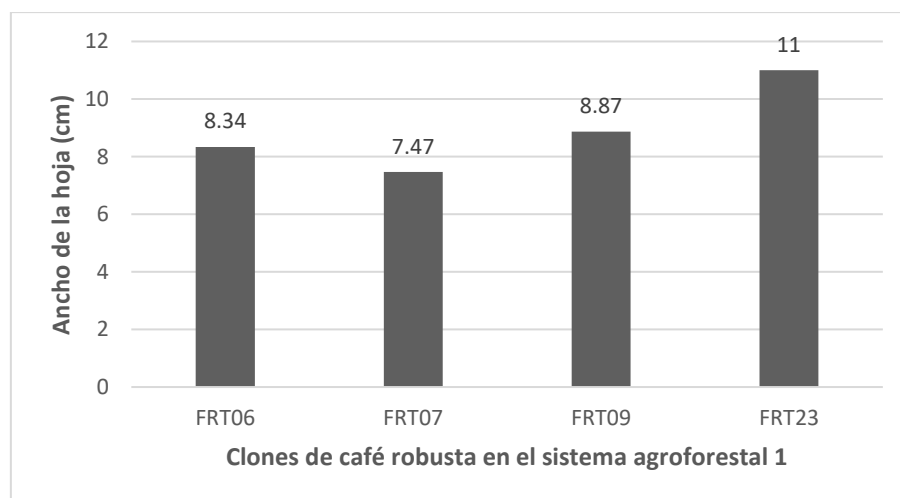


Figura 13. Ancho de las hojas de los cuatro clones de café robusta para el SAF 1.

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 (cuadro 3).

### 5.3.7. 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 (cuadro 3).

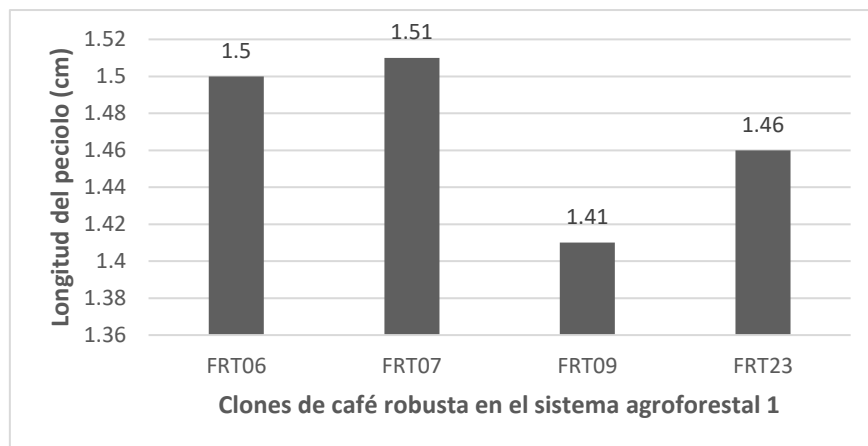


Figura 14. Longitud del peciolo de las hojas de los cuatro clones de café robusta en el SAF 1.

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

### 5.4.1. 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.

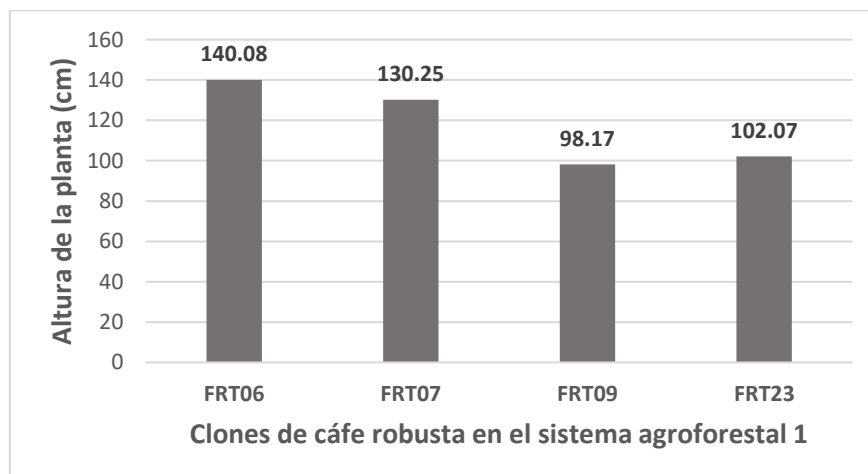


Figura 15. Altura del árbol de los cuatro clones de café Robusta para el SAF 2.

### 5.4.2. 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.

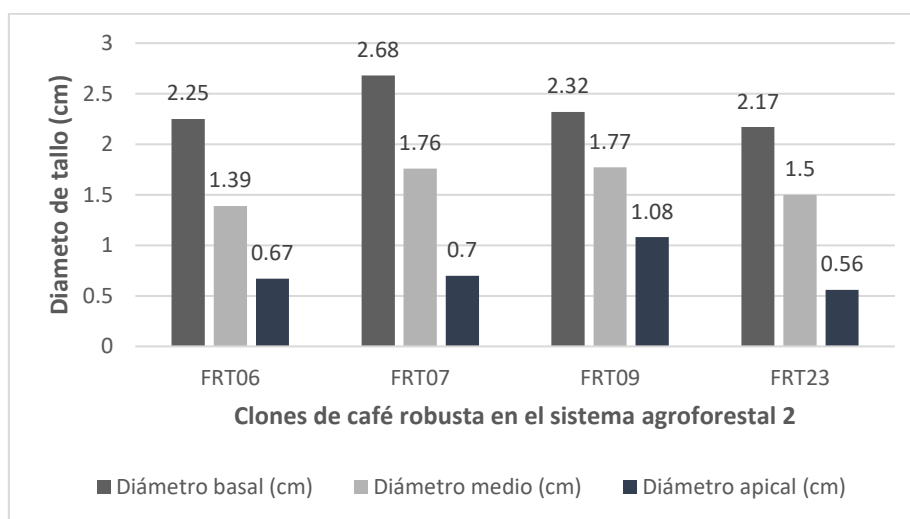


Figura 16. Diámetros del tallo de los cuatro clones de café Robusta para el SAF 2.

### 5.4.3. 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.

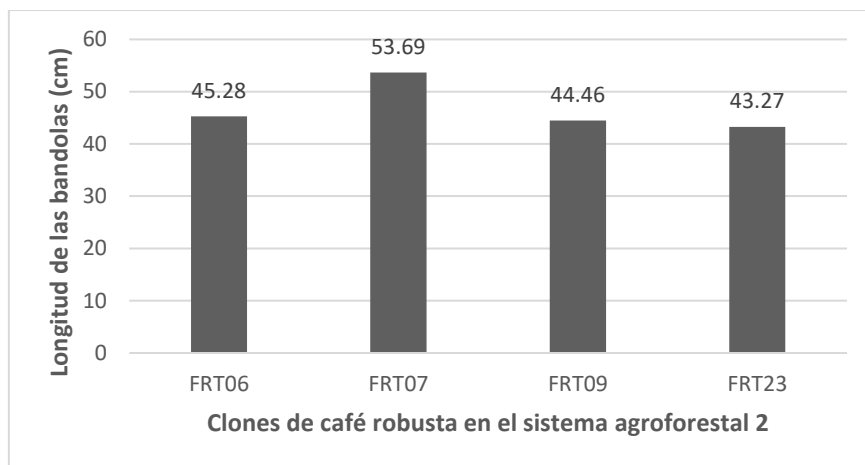


Figura 17. Longitud de bandolas de los cuatro clones de café Robusta para el SAF 2.

#### 5.4.4. 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.

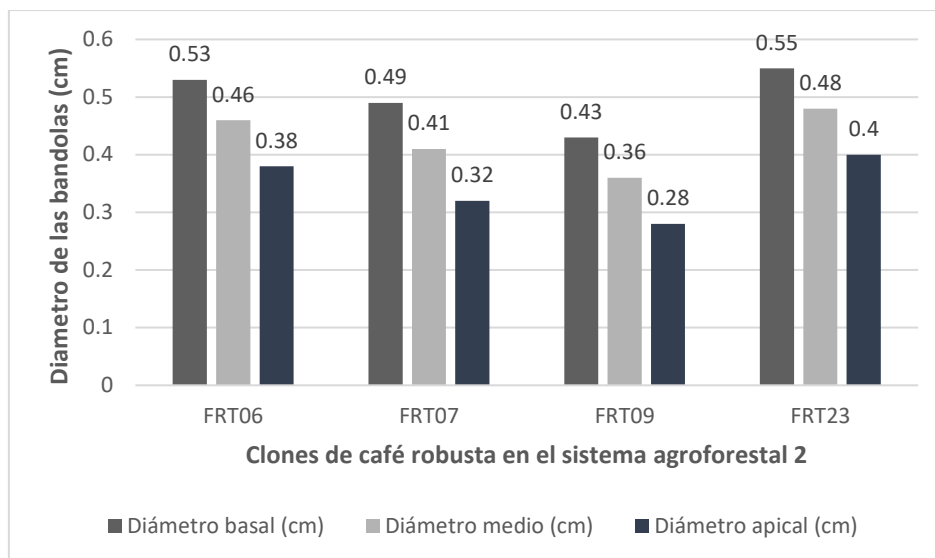


Figura 18. Diámetro de las bandolas de los cuatro clones de café robusta para el SAF 2.

#### 5.4.5. 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.

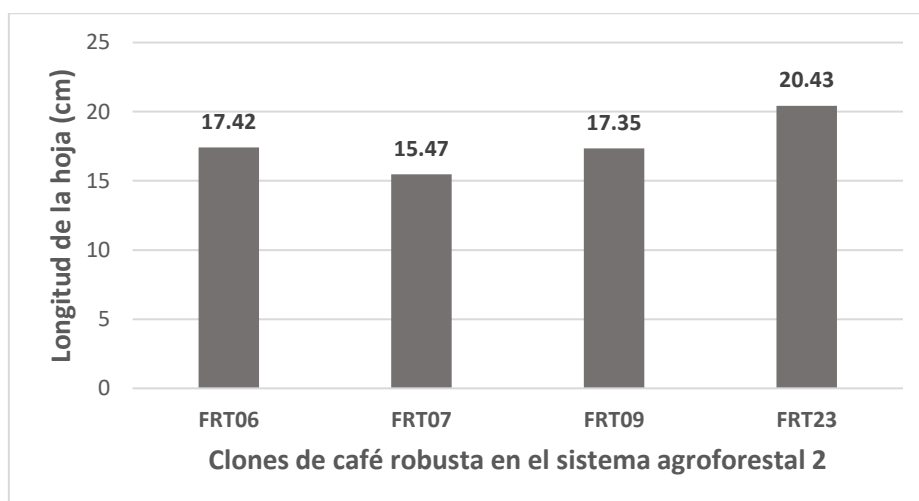


Figura 19. Longitud de hojas de los cuatro clones de café Robusta para el SAF 2.

#### 5.4.6. 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.

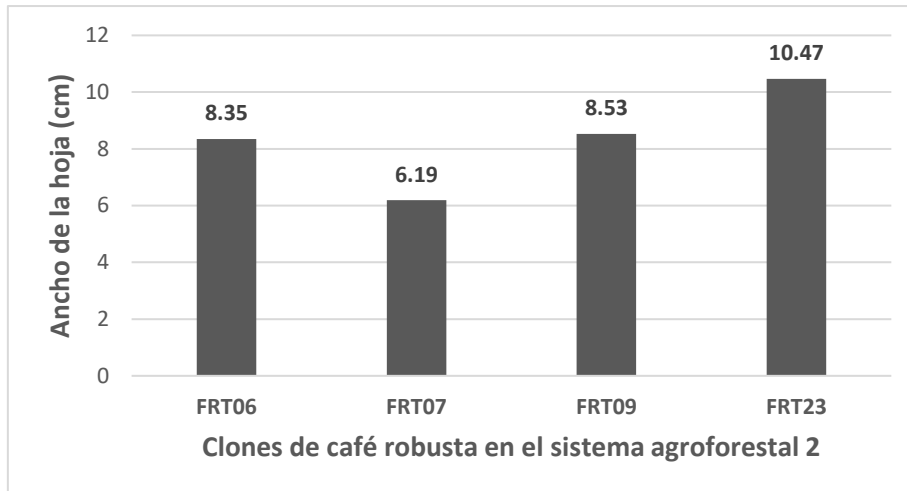


Figura 20. Ancho de las hojas de los cuatro clones de café robusta para el SAF 2.

#### 5.4.7. Longitud del peciolo de las hojas

La mayor longitud promedio de los peciolo 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.

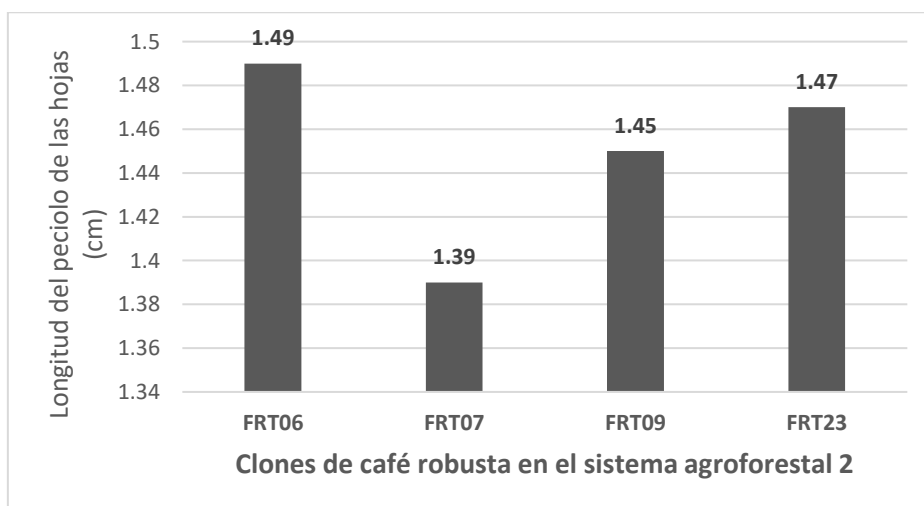


Figura 21. Longitud del peciolo de las hojas de los cuatro clones de café robusta para SAF 2.



## 5.5. Análisis multivariante de datos

Los métodos multivariantes se aplican con el propósito de resumir el comportamiento morfoagronómico de los cuatro clones de café Robusta cultivados en dos sistemas agroforestales aplicando el análisis por Conglomerados, Análisis Multidimensional no Métrico y Análisis por Componentes Principales (ACP). Los resultados se presentan a continuación:

### 5.5.1. Análisis por Conglomerados para el sistema agroforestal 1

El conglomerado que se presenta en la figura 22 muestra el proceso de agrupamiento en el primer sistema agroforestal estudiado con una distancia de Jaccard de 0.23. Muestra los conglomerados que se han establecido con el número total de plantas estudiadas.

A partir de los resultados de los cuatro clones de café Robusta evaluados se aplicó un análisis por conglomerados, encontrando similitudes entre algunos clones y disimilitudes entre otros. Se determinaron 2 grupos a una distancia euclidiana de 3.7 unidades. Trabajando con un coeficiente de correlación cofenética = 8.846, existiendo una buena correlación entre las variables en estudio.

Según el dendrograma, en el conglomerado 1 predominan los clones FRT07 y FRT23; y en el conglomerado 2 predominan los clones FRT06 y FRT09. Los cuatro clones de café Robusta presentan similitudes en todas sus variables en estudio excepto en la variable apariencia general de la planta, ya que los clones FRT07 y FRT23 presentan una apariencia de planta piramidal, y los clones FRT06 y FRT09 mostraron una apariencia arbustiforme.

```
Ward
Distancia: (Jaccard (sqrt(1-S)))
Correlación cofenética= 1,000
Variables estandarizadas
Casos leídos 144
Casos omitidos 0
```

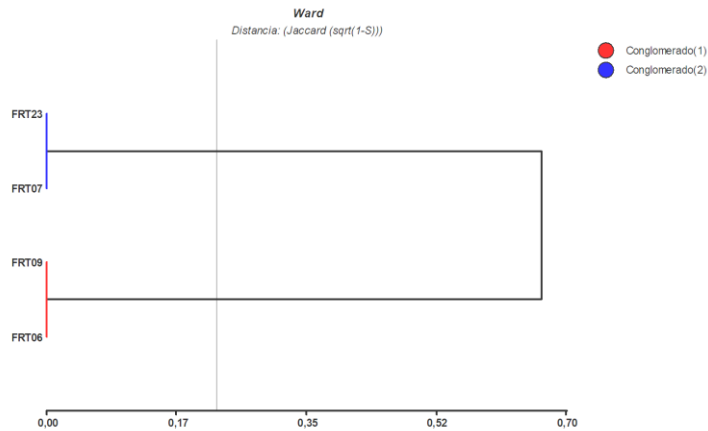


Figura 22. Análisis por Conglomerados SAF 1.

### 5.5.2. Análisis por Componentes Principales en el sistema agroforestal 1

El análisis de componentes principales transforma un conjunto de variables correlacionadas en un nuevo conjunto de variables no correlacionadas. El objetivo del análisis es reducir la dimensionalidad en la cual se expresa el conjunto original de variables (Restrepo *et al.* 2012).

El determinante obtenido en el análisis de correlación de Pearson es  $2.112E-8$ , un valor casi aproximado a cero, la medida de adecuación maestra Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) y la prueba de Bartlett muestran un valor 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 (cuadro A-1 y A-2).

La figura 21 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% (cuadro 1); 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 (cuadro 2).

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 21).

Cuadro 1. Varianza de los componentes principales 1 y 2.

<b>Autovalores</b>			
<b>Lambda</b>	<b>Valor</b>	<b>Proporción</b>	<b>Proporción acumulada</b>
1	7.59	0.63	0.63
2	2.34	0.19	0.83
3	2.08	0.17	1
4	0	0	1
5	0	0	1
6	0	0	1
7	0	0	1
8	0	0	1
9	0	0	1
10	0	0	1
11	0	0	1
12	0	0	1

Cuadro 2. Variables que contribuyen a la varianza de los componentes principales 1 y 2.

<b>Autovectores</b>		
<b>Variables</b>	<b>e1</b>	<b>e2</b>
Altura (cm)	0.25	0.21
Diámetro basal (cm)	0.36	0.1
Diámetro medio (cm)	0.3	0.14
Diámetro apical (cm)	0.26	0.4
Diámetro promedio	0.35	0.16
Longitud de las bandolas (cm)	0.35	0.17
Diámetro basal de bandolas (cm)	-0.31	0.31
Diámetro medio de bandolas (cm)	-0.28	0.26
Diámetro apical de bandola (cm)	-0.3	0.28
Longitud de hoja (cm)	-0.11	0.47
Ancho de hoja (cm)	-0.18	0.48
Longitud del peciolo (cm)	0.32	0.12
Correlación cofenética	0.938	

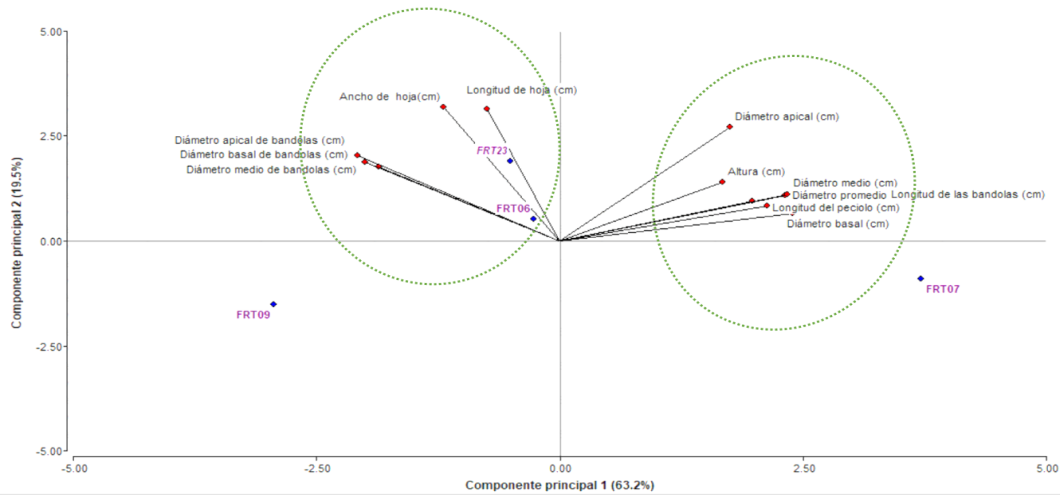


Figura 23. Biplot de componentes principales para las características cuantitativas de cuatro clones de café Robusta cultivados en el sistema agroforestal 1.

### 5.5.3. Análisis por Conglomerados para el sistema agroforestal 2

A los cuatro clones de café Robusta se les aplicó un análisis por conglomerados encontrando similitudes entre algunos clones y disimilitudes entre otros clones (figura 24). Se determinaron 2 grupos a una distancia euclidiana de 4.4 unidades. Trabajando con un coeficiente de correlación cofenética = 0.846, existiendo una buena correlación entre las variables en estudio.

Según el dendrograma, en el conglomerado 1 predominan los clones FRT07 y FRT23, en el conglomerado 2 predominan los clones FRT6 y FRT09. Los cuatro clones de café Robusta presentan similitudes en todas sus variables en estudio excepto en la variable apariencia general de la planta; los clones FRT07 y FRT23 presentan una apariencia piramidal, los clones FRT6 y FRT09 mostraron una apariencia arbustiforme

```

Ward
Distancia: (Jaccard (sqrt(1-S)))
Correlación cofenética= 1,000
Variables estandarizadas
Casos leídos 144
Casos omitidos 0

```

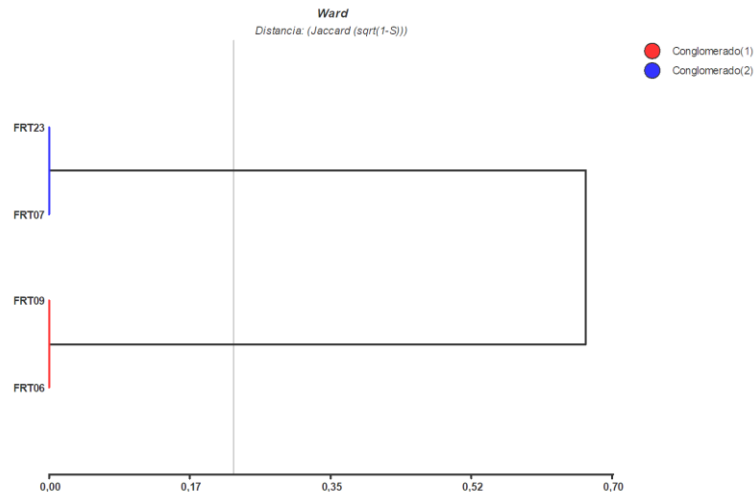


Figura 24. Conglomerados en el SAF 2.

#### 5.5.4. Análisis por Componentes Principales en el sistema agroforestal 2

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 (cuadro A-1 y A-2).

La figura 25 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% (cuadro 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 (cuadro 4).

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 25).

Cuadro 3. Varianza por los componentes principales 1 y 2.

<b>Autovalores</b>			
<b>Lambda</b>	<b>Valor</b>	<b>Proporción</b>	<b>Proporción acumulada</b>
1	6.75	0.61	0.61
2	3.29	0.3	0.91
3	0.95	0.09	1
4	0	0	1
5	0	0	1
6	0	0	1
7	0	0	1
8	0	0	1
9	0	0	1
10	0	0	1
11	0	0	1

Cuadro 4. Variables que contribuyen a la varianza de los componentes principales 1 y 2.

<b>Autovectores</b>		
<b>Variables</b>	<b>e1</b>	<b>e2</b>
Altura (cm)	-0.02	0.47
Diámetro basal (cm)	-0.33	0.27
Diámetro medio (cm)	-0.35	-0.15
Diámetro apical (cm)	-0.24	-0.4
Longitud de bandolas (cm)	-0.28	0.37
Diámetro basal de bandola (cm)	0.31	0.32
Diámetro medio de bandola (cm)	0.33	0.28
Diámetro apical de bandola (cm)	0.35	0.22
Longitud de hoja (cm)	0.33	-0.22
Ancho de la hoja (cm)	0.32	-0.29
Longitud del peciolo (cm)	0.32	-0.16
Correlación cofenética		0.990

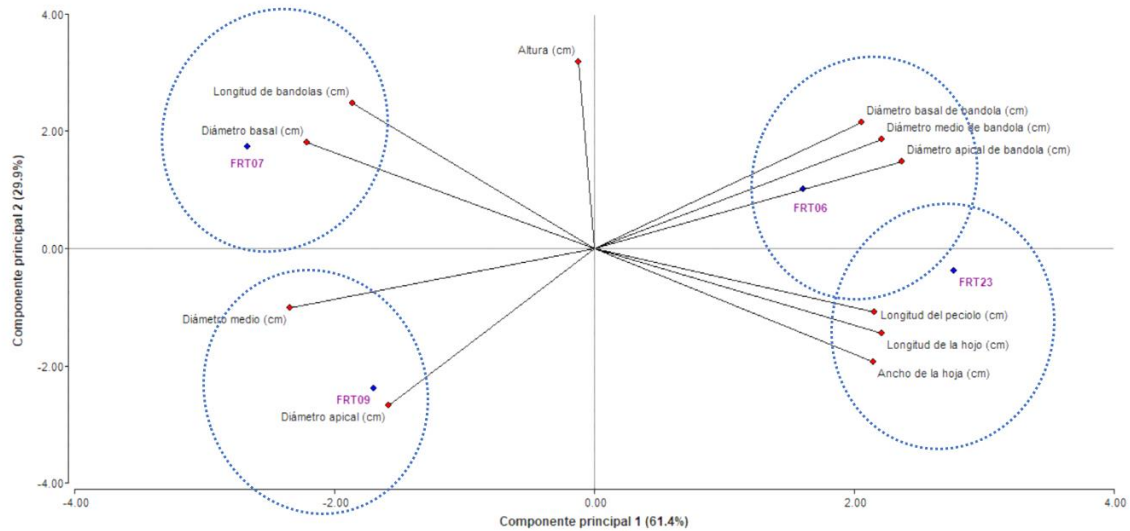


Figura 25 Biplot de componentes principales para las características cuantitativas de cuatro clones de café Robusta cultivados en el sistema agroforestal 2.

## 6. 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 carreto.

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.

## **7. 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.

## **8. 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.

AOAC (Association of Official Analytical Chemistry, United States of America). 1970. Official Analytical Chemists. 11 th. Ed. Whashington D. C. Published By. The Association Oficial Chemists. p 5-12.

Bastidas R, MD. 2010. La explotación de los recursos naturales no renovables y el impacto ambiental frente a la renovación natural. Universidad Nacional de Loja, Ecuador. Tesis Licenciado (en línea). Consultado 17 ener 2018. Disponible en <http://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/2457/1/TESIS%20LOLA.pdf>

Cárdenas, N. 2002. El Desarrollo Local, su conceptualización y procesos. Venezuela. 2002. p. 54-60.

CENICAFE (Centro Nacional de Investigaciones de Café, Colombia). 2007. Sistemas de producción de café en Colombia. Chinchina, Colombia (en línea). Consultado 10 feb. 2019. Disponible en [https://www.cenicafe.org/es/publications/sistemas\\_de\\_produccion.pdf](https://www.cenicafe.org/es/publications/sistemas_de_produccion.pdf)

Ceña, F. 1993. El desarrollo rural en sentido amplio. En R. Ramos, E. y P. Caldente y del Pozo. El desarrollo rural andaluz a las puertas del siglo XXI. Congresos y Jornadas 32/93. Andalucía, España: Dirección General de Investigación, Tecnología y Formación Agroalimentaria y Pesquera, Consejería de Agricultura y Pesca, Junta de Andalucía. España. p. 20-27

CICAFE (Centro de Investigación del Café, Colombia.). 2011. Guía técnica para el cultivo de café. Costa Rica (en línea) Consultado 10 feb. 2019. Disponible en <http://www.icafe.cr/wp-content/uploads/cicafe/documentos/GUIA-TECNICA-V10.pdf>

FAMSI (Fondo Andaluz de Municipios para la Solidaridad Internacional, España). 2017. Monográfico Objetivos de desarrollo sostenible y gobiernos locales (en línea). Andalucía, España. Consultado 04 mar. 2017. Disponible en <http://www.andaluciasolidaria.org/monograficos/especial-objetivos-de-desarrollo-sostenible-y-gobiernos-locales>

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, Guatemala). 2016. Agricultura Sostenible “Una Herramienta para Fortalecer la Seguridad Alimentaria y Nutricional en América Latina y el Caribe”. Alta Veracruz, Guatemala p. 6-20.

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, Chile). 2014. Política Nacional de Desarrollo Rural. Santiago de Chile. Chile. p. 7-23.

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, Italia). 2015. Objetivos de desarrollo sostenible. 17 objetivos para transformar nuestro mundo (en línea). Roma, Italia. Consultado 04 mar. 2017. Disponible en <http://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>

Ferrán Aranaz, M. 2001. SPSS para Windows: análisis estadístico. Ed. C. Sánchez Gonzáles. Madrid, ES, McGraw-Hill. 375 p.

Gálvez Capote, K. 2007. Dimensión sociocultural del desarrollo local. Perspectiva de inserción para Santa Isabel de las Lajas. Cuba. p. 22-50.

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=IwAR3756jbP8EJ4Gz6P7cwfl17qwCKHADs9C\\_9lf5HadJJS-gjAMNupAkYp6s](https://ecorfan.org/spain/libros/LIBRO_CAFE.pdf?fbclid=IwAR3756jbP8EJ4Gz6P7cwfl17qwCKHADs9C_9lf5HadJJS-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](http://www.icafe.go.cr/icafe/cedo/documentos_textocompleto/lcafetalero/4077.pdf)

ICAFE (Instituto del Café de Costa Rica). 2016, Viabilidad Legal y Técnica de Sembrar Café Robusta en Costa Rica (en línea). Consultado 25 abr 2019. Disponible en [http://www.icafe.cr/wp-content/uploads/informe\\_comision\\_cafe\\_robusta/A1%20Marco%20Teorico%20-%20Cafe%20Robusta.pdf](http://www.icafe.cr/wp-content/uploads/informe_comision_cafe_robusta/A1%20Marco%20Teorico%20-%20Cafe%20Robusta.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](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/caf%C3%A9%20en%20sistemas%20agroforestales%20ciuu-version%20espanola%20de%20shade%20grown%20coffee%20report.pdf>

Juárez, A. 2013. Revisión del concepto de Desarrollo Local desde una perspectiva territorial, España. p. 3-15.

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>

Molina Escalante, MO; Castillo Guerra, LO. 2014. Caracterización morfológica *in situ* de Ojushte (*Brosimum alicastrum* swartz) y su incidencia en la selección de germoplasma de alto potencial nutricional en El Salvador (en línea). Consultado 08 feb. 2017. Disponible en <http://ri.ues.edu.sv/6501/1/13191567.pdf>

Pecqueur, B; Colletis, G. 1995. Roles des politiques technologiques dans la creation de ressources spécifiques et avantages dynamiques de localisation. En: Rallet, A. Torre A. (dir.). Économique industrielle et économie spatiale. París: Económica. Francia. p. 445-462.

PNUD (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, Estados Unidos). s.f. Transformar nuestro mundo: La agenda 2030 para el desarrollo sostenible. Buenos Aires, Argentina. 24 p.

- 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](https://www.forumdelcafe.com/sites/default/files/biblioteca/f-50_cafe_salvador.pdf) p.1-5
- Restrepo, J; Bernal, A. 2014. La cuestión agraria. Tierra y posconflicto en Bogotá. Colombia. p. 3-16.
- Rodríguez, L. 1990. La influencia de la ciencia y la tecnología dentro de los procesos claves para alcanzar el desarrollo sostenible de la localidad. Barcelona (en línea). Consultado 12 mar 2019. Disponible en <http://www.eumed.net/rev/oidles/08/ymp.htm>
- 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](http://www.inifap.gob.mx/Documents/inicio/paquetes/cafe_robusta.pdf)
- Severo, I. 2007. Caracterización morfológica y agronómica de la colección núcleo de café (*Coffea arabica* L.) del CATIE. Programa de Educación para el Desarrollo y la Conservación del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Tesis Magister Scientiae en Agricultura Ecológica. Turrialba, Costa Rica. p. 4-19
- Trivelli, C; Escobal, J; Revesz, B. 2009. Desarrollo rural en la Sierra. Aportes para el debate. IEP. CIPCA. GRADE. CIES (en línea). Consultado 10 diciemb 2018. Disponible en <http://www.grade.org.pe/download/pubs/libros./Desarrollo.pdf>
- Trivelli, C. 2005. Estrategias y políticas de desarrollo rural. Revista Economía y Sociedad (en línea). Consultado 10 diciemb 2018. Disponible en <http://old.cies.org.pe/files/ES/bol%2057/01-trivelli.pdf>
- UNESCO (Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura, Francia). 2015. Informe de Seguimiento de la Educación para todos en el Mundo. El Desarrollo Sostenible comienza por la Educación (en línea). Consultado 10 diciemb 2018. Disponible en [https://es.unesco.org/gem-report/sites/gem-report/files/UNGA\\_PR\\_sp.pdf](https://es.unesco.org/gem-report/sites/gem-report/files/UNGA_PR_sp.pdf)

Vanaclocha, BV; Folcara, SC. 2003. Fitoterapia: Vademécum de prescripción. Barcelona. Masson. p. 45-49.

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

## 9. ANEXOS

Cuadro A-1. Descriptivos cualitativos de los cuatro clones de café Robusta cultivados en el Sistema Agroforestal 1.

Variables en estudio	Clones de café robusta				Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa (%)
	FTR06	FTR07	FTR09	FTR23		
Sistema de cultivo: Cultivos auxiliares con otros árboles	36	36	36	36	144	100%
Hábito de crecimiento de la planta: Arbusto o árbol pequeño (<5 m - uno o más troncos)	36	36	36	36	144	100%
Apariencia general de la planta	Piramidal		36	36	72	50%
	Arbustiforme	36		36	72	50%
Ángulo de inserción de ramas primarias en tallo principal: Horizontal o difuso	36	36	36	36	144	100%
Forma de la estípula: Oval	36	36	36	36	144	100%
Color general de la hoja: Verde	36	36	36	36	144	100%
Forma de la hoja: Elíptica	36	36	36	36	144	100%
Forma del ápice de la hoja: Apiculada	36	36	36	36	144	100%
Posición de la floración: Axilar	36	36	36	36	144	100%

Cuadro A-2. Descriptivos cualitativos de los cuatro clones de café Robusta cultivados en el Sistema Agroforestal 2.

Variables en estudio	Clones de café robusta				Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa (%)
	FTR06	FTR07	FTR09	FTR23		
Sistema de cultivo: Cultivos auxiliares con otros árboles	36	36	36	36	144	100%
Hábito de crecimiento de la planta	36	36	36	36	144	100%
Apariencia general de la planta	Piramidal		36	36	72	50%
	Arbustiforme	36		36	72	50%
Ángulo de inserción de ramas primarias en tallo principal: Horizontal o difuso	36	36	36	36	144	100%
Forma de la estípula: Oval	36	36	36	36	144	100%
Color general de la hoja: Verde	36	36	36	36	144	100%
Forma de la hoja: Elíptica	36	36	36	36	144	100%
Forma del ápice de la hoja: Apiculada	36	36	36	36	144	100%
Posición de la floración: Axilar	36	36	36	36	144	100%

Cuadro A-3. Descriptivos cuantitativos de los cuatro clones de café Robusta cultivados en el Sistema Agroforestal 1.

<b>Clon de café robusta</b>	<b>Variable (cm)</b>	<b>Media</b>	<b>D.E.</b>	<b>CV</b>
FRT06	Altura del árbol	151.72	23.74	15.65
FRT07	Altura del árbol	139.25	16.1	11.56
FRT09	Altura del árbol	86.56	10.1	11.67
FRT23	Altura del árbol	115.94	11.55	9.96
FRT06	Diámetro basal del tallo	2.27	0.2	8.88
FRT07	Diámetro basal del tallo	2.89	0.72	24.81
FRT09	Diámetro basal del tallo	1.83	0.3	16.64
FRT23	Diámetro basal del tallo	2.37	0.19	7.89
FRT06	Diámetro medio del tallo	1.32	0.15	11.59
FRT07	Diámetro medio del tallo	1.75	0.54	30.85
FRT09	Diámetro medio del tallo	1.29	0.15	11.46
FRT23	Diámetro medio del tallo	1.62	0.07	4.52
FRT06	Diámetro apical del tallo	0.68	0.13	18.84
FRT07	Diámetro apical del tallo	0.68	0.34	49.8
FRT09	Diámetro apical del tallo	0.48	0.12	24.85
FRT23	Diámetro apical del tallo	0.66	0.07	11.33
FRT06	Longitud de bandolas	54.17	3.46	6.39
FRT07	Longitud de bandolas	63.87	6.77	10.6
FRT09	Longitud de bandolas	41.04	6.34	15.44
FRT23	Longitud de bandolas	54.03	2.92	5.41
FRT06	Diámetro basal de bandolas	0.6	0.03	4.75
FRT07	Diámetro basal de bandolas	0.42	0.06	13.4
FRT09	Diámetro basal de bandolas	0.58	0.05	8.13
FRT23	Diámetro basal de bandolas	0.6	0.01	2.27
FRT06	Diámetro medio de bandolas	0.61	0.18	29.8
FRT07	Diámetro medio de bandolas	0.35	0.05	13.73
FRT09	Diámetro medio de bandolas	0.53	0.06	11.8



FRT23	Diámetro medio de bandolas	0.53	0.02	3.35
FRT06	Diámetro apical de bandolas	0.48	0.04	9.12
FRT07	Diámetro apical de bandolas	0.27	0.05	17.19
FRT09	Diámetro apical de bandolas	0.44	0.06	13.93
FRT23	Diámetro apical de bandolas	0.45	0.03	5.67
FRT06	Longitud de hojas	17.72	0.5	2.81
FRT07	Longitud de hojas	17.67	0.83	4.68
FRT09	Longitud de hojas	18.55	1.33	7.16
FRT23	Longitud de hojas	21.46	0.7	3.26
FRT06	Ancho de hojas	8.34	0.36	4.36
FRT07	Ancho de hojas	7.47	0.55	7.34
FRT09	Ancho de hojas	8.87	0.68	7.63
FRT23	Ancho de hojas	11	0.29	2.67
FRT06	Longitud del peciolo de hojas	1.5	0.04	2.45
FRT07	Longitud del peciolo de hojas	1.51	0.13	8.62
FRT09	Longitud del peciolo de hojas	1.41	0.14	9.94
FRT23	Longitud del peciolo de hojas	1.46	0.04	2.57

Medias con letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ ).

Cuadro A-4. Descriptivos de cuatro clones de café Robusta cultivados en sistema agroforestal 2.

Clon de café robusta	Variable (cm)	Media	D.E.	CV
FRT06	Altura del árbol	141	13,3	9,44
FRT07	Altura del árbol	130,25	29,78	22,86
FRT09	Altura del árbol	98,17	20,45	20,83
FRT23	Altura del árbol	102,07	9,2	9,01
FRT06	Diámetro basal del tallo	2,24	0,23	10,09
FRT07	Diámetro basal del tallo	2,68	1,01	37,69
FRT09	Diámetro basal del tallo	2,32	0,76	32,66
FRT23	Diámetro basal del tallo	2,17	0,25	11,65
FRT06	Diámetro medio del tallo	1,39	0,24	17,15
FRT07	Diámetro medio del tallo	1,76	0,65	36,59
FRT09	Diámetro medio del tallo	1,77	0,73	41,33
FRT23	Diámetro medio del tallo	1,5	0,21	14,27
FRT06	Diámetro apical del tallo	0,66	0,06	9,54
FRT07	Diámetro apical del tallo	0,7	0,51	72,92
FRT09	Diámetro apical del tallo	1,08	0,51	47,21
FRT23	Diámetro apical del tallo	0,56	0,1	17,74
FRT06	Longitud de bandolas	45,52	3,24	7,12
FRT07	Longitud de bandolas	53,69	9,71	18,09
FRT09	Longitud de bandolas	44,46	5,07	11,41

FRT23	Longitud de bandolas	43,27	5,7	13,18
FRT06	Diámetro basal de bandolas	0,54	0,03	4,67
FRT07	Diámetro basal de bandolas	0,49	0,04	9,06
FRT09	Diámetro basal de bandolas	0,43	0,04	9,72
FRT23	Diámetro basal de bandolas	0,55	0,03	5,79
FRT06	Diámetro medio de bandolas	0,47	0,03	6,85
FRT07	Diámetro medio de bandolas	0,41	0,05	12,26
FRT09	Diámetro medio de bandolas	0,36	0,04	11,15
FRT23	Diámetro medio de bandolas	0,48	0,03	7,13
FRT06	Diámetro apical de bandolas	0,39	0,03	6,72
FRT07	Diámetro apical de bandolas	0,32	0,05	15,66
FRT09	Diámetro apical de bandolas	0,28	0,04	14,55
FRT23	Diámetro apical de bandolas	0,4	0,03	7,76
FRT06	Longitud de hojas	17,41	0,43	2,48
FRT07	Longitud de hojas	15,47	1,29	8,33
FRT09	Longitud de hojas	17,35	1,43	8,25
FRT23	Longitud de hojas	20,43	0,43	2,12
FRT06	Ancho de hojas	8,34	0,3	3,58
FRT07	Ancho de hojas	6,19	0,56	9,02
FRT09	Ancho de hojas	8,53	0,98	11,52
FRT23	Ancho de hojas	10,47	0,26	2,52
FRT06	Longitud del peciolo de hojas	1,49	0,04	2,75
FRT07	Longitud del peciolo de hojas	1,39	0,09	6,42
FRT09	Longitud del peciolo de hojas	1,45	0,08	5,8
FRT23	Longitud del peciolo de hojas	1,47	0,03	1,91

Cuadro A-5. Análisis de correlación de Pearson para las características cuantitativas de cuatro clones de café Robusta cultivados en el sistema agroforestal 1.

**Matriz de covarianzas<sup>a</sup>**

a. Determinante = 2.112E-8

Cuadro A-6. Medida de adecuación maestra Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) y prueba de Bartlett para las características cuantitativas de cuatro clones de café Robusta cultivados en el sistema agroforestal 1.

<b>Prueba de KMO y Bartlett</b>		
Medida Kaiser-Meyer-Olkin de adecuación de muestreo		0.592
Prueba de esfericidad de Bartlett	Aprox. cuadrado	Chi- 2441.810
	GI	66
	Sig.	0.000

Cuadro A-7. Análisis de correlación de Pearson para las características cuantitativas de cuatro clones de café Robusta cultivados en el sistema agroforestal 2.

**Matriz de covarianzas<sup>a</sup>**

a. Determinante = 0.000

Cuadro A-8. Medida de adecuación maestra Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) y prueba de Bartlett para las características cuantitativas de cuatro clones de café Robusta cultivados en el sistema agroforestal 2.

<b>Prueba de KMO y Bartlett</b>		
Medida Kaiser-Meyer-Olkin de adecuación de muestreo		0.748
Prueba de esfericidad de Bartlett	Aprox. Chi-cuadrado	1214.810
	GI	55
	Sig.	0.000