

**UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS
FACULTAD DE AGRONOMÍA
CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA**



TESIS DE GRADO

**CARACTERIZACIÓN MORFOAGRONÓMICO DE DIEZ CULTIVARES
DE CAFÉ (*Coffea arabica* L.) EN LA ESTACIÓN EXPERIMENTAL DE
SAPECHO DEL DEPARTAMENTO DE LA PAZ**

PAULINO CATARI QUISPE

**La Paz – Bolivia
2017**

**UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS
FACULTAD DE AGRONOMÍA
CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA**

**“CARACTERIZACIÓN MORFOAGRONÓMICO DE DIEZ CULTIVARES DE CAFÉ
(*Coffea arabica* L.) EN LA ESTACIÓN EXPERIMENTAL DE SAPECHO DEL
DEPARTAMENTO DE LA PAZ”**

*Tesis de grado presentado como requisito
parcial para optar al título de
Ingeniero Agrónomo*

PAULINO CATARI QUISPE

ASESOR:

Ing. Casto Maldonado Fuentes

REVISORES:

Ing. Ph.D. David Cruz Choque

Ing. M.Sc. Juan José Vicente Rojas

Ing. Freddy Cadena Miranda

APROBADO

PRESIDENTE TRIBUNAL EXAMINADOR:.....

DEDICATORIA

Con mucho cariño a mis padres, por el apoyo incondicional que me brindaron en diferentes etapas de mi formación profesional, sobre todo a mi amor eterno mi madre; y con mucha humildad ellos apostaron por la educación como estrategia de lucha contra la pobreza.

A mis hermanos con mucho respeto, por apoyar mis decisiones y también han sido el principal apoyo para la culminación satisfactoria de mis estudios.

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Mayor de San Andrés y a la Facultad de Agronomía por acogerme en sus aulas e impartir la enseñanza durante los años de la carrera profesional.

A los Docentes de la Carrera de Ingeniería Agronómica de la Facultad de Agronomía – U.M.S.A., los cuales me acompañaron durante todo el proceso de aprendizaje para alcanzar la profesionalización.

A mi Asesor de Tesis de Grado: Ing. Casto Maldonado Fuentes, por el apoyo incondicional y paciencia otorgada a mi persona durante los trabajos de investigación, en campo| como en gabinete para la realización del presente documento.

A mis Tribunales: Ing. Ph. D. David Cruz Choque, Ing. Freddy Cadena Miranda y al Ing. Juan José Vicente Rojas, los cuales con sus sugerencias constructivas me ayudaron a complementar el trabajo de investigación.

Al Director de la Estación Experimental de Sapecho, Ing. Fernando Manzaneda, por haberme sugerido realizar el trabajo de investigación en dicha Estación Experimental y predisponer el apoyo incondicional durante el trabajo de investigación y culminación del trabajo.

Por último, agradecer con mucho cariño al plantel de docentes investigadores, trabajadores administrativos y de campo de la Estación Experimental de Sapecho por la amistad y apoyo que me brindaron.

ÍNDICE GENERAL

	Página
DEDICATORIA.....	i
AGRADECIMIENTO.....	ii
ÍNDICE GENERAL.....	iii
ÍNDICE DE CUADROS.....	viii
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	ix
ÍNDICE DE ANEXOS.....	x
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xi
RESUMEN.....	xii
SUMMARY.....	xiii
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. OBJETIVOS.....	3
2.1. Objetivo general.....	3
2.2. Objetivos Específicos.....	3
3. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	4
3.1. Centro de origen y diversificación del café arábico.....	4
3.2. Recursos genéticos del café como fuente de diversidad genética.....	5
3.3. Producción de café a nivel mundial.....	6
3.4. Desarrollo del cultivo de café en Bolivia.....	6
3.5. Producción de café en Bolivia.....	6
3.6. Generalidades del café.....	7
3.6.1. Clasificación taxonómica.....	7
3.6.1.1. La variedad.....	7
3.6.1.2. El cultivar.....	7
3.6.2. Descripción morfológica.....	8
3.6.2.1. La raíz.....	8

3.6.2.2. El tallo.....	8
3.6.2.3. Las ramas.....	8
3.6.2.4. Las hojas.....	9
3.6.2.5. Las flores	9
3.6.2.6. El fruto.....	9
3.6.2.7. La semilla	10
3.7. Características de cultivares de café en estudio	10
3.7.1. Cultivar CEFAC 1	10
3.7.2. Cultivar CEFAC 2	11
3.7.3. Cultivar CEFAC 3	11
3.7.4. Cultivar CEFAC 4	11
3.7.5. Cultivar Icatu Precoz	12
3.7.6. Cultivar Catuai Rojo.....	12
3.7.7. Cultivar Tupi	12
3.7.8. Cultivar Paraíso MG H419-1	13
3.7.9. Cultivar Castillo.....	13
3.8. Plagas y enfermedades del café	14
3.8.1. La broca del café.....	14
3.8.2. La roya.....	16
3.8.3. Ojo de gallo.....	18
3.8.4. Mancha de hierro	20
3.8.5. Mal de hilacha.....	21
3.8.6. Antracnosis.....	21
3.9. Calidad de café.....	22
3.10. Caracterización morfoagronómica	23
3.10.1. La caracterización.....	23
3.10.2. Evaluación	24

3.10.3. Descriptor	24
3.10.4. Morfología	25
3.10.5. Carácter	25
3.10.6. Estado	25
3.10.6. Valores o datos	25
4. MATERIALES Y MÉTODOS	26
4.1. Localización.....	26
4.1.1. Ubicación geográfica.....	26
4.1.2. Características climáticas.....	27
4.2. Materiales	27
4.2.1. Materiales y equipos de campo.....	27
4.2.2. Material vegetal	27
4.2.3. Diseño Experimental	27
4.3. Metodología	28
4.3.1. Variables de estudio	28
4.3.2. Método estadístico.....	29
4.3.2.1. Muestreo	29
4.3.2.2. Análisis multivariado para la caracterización morfológica y agronómica de diez cultivares de café en la E.E.S. – UMSA	30
4.3.2.3. Formación de cluster.....	31
4.3.2.4. Formación de Análisis de Componentes Principales (ACP)	31
4.3.3. Caracterización de plantas y ramas	32
4.3.3.1. Hábito de planta	32
4.3.3.2. Desarrollo vegetativo	32
4.3.3.3. Color de la hoja joven.....	32
4.3.4. Caracterización de la hoja.....	32
4.3.4.1. Longitud de la hoja	33

4.3.4.2. Ancho de la hoja	33
4.3.4.3. Longitud del peciolo foliar	33
4.3.4.4. Forma de la hoja.....	33
4.3.4.5. Forma del ápice de la hoja.....	33
4.3.5. Caracterización de la inflorescencia y de la flor	33
4.3.5.1. Posición de la Inflorescencia	34
4.3.5.2. Número de flores por facículo.....	34
4.3.6. Caracterización del fruto.....	34
4.3.6.1. Largo del fruto	34
4.3.6.2. Ancho del fruto.....	35
4.3.6.3. Espesor del fruto.....	35
4.3.6.4. Forma del fruto	35
4.3.6.5. Forma del disco del fruto	35
4.3.6.6. Color del fruto	35
4.3.7. Caracterización de la semilla.....	35
4.3.7.1. Largo de la semilla.....	36
4.3.7.2. Ancho de la semilla	36
4.3.7.3. Espesor de la semilla	36
4.3.7.4. Color de la semilla	36
4.3.7.5. Forma de la semilla.....	36
4.4. Caracterización agronómica de diez cultivares de café en la Estación Experimental de Sapecho.....	37
4.4.1. Caracterización de la arquitectura de la planta.....	37
4.4.1.1. Altura de planta	37
4.4.1.2. Ángulo de inserción de las ramas primarios	37
4.4.1.3. Hábito de ramificación	37
4.4.2. Evaluación del peso de bayas y peso de granos pergamino	38

4.4.3. Evaluación de frutos vanos	38
4.4.4. Evaluación de semillas tipo caracol	39
4.4.5. Evaluación del daño de broca	39
4.4.6. Evaluación de la incidencia de roya	40
4.4.7. Evaluación de la incidencia de ojo de gallo	40
5. RESULTADOS Y DISCUSIONES	41
5.1. Propiedades físico – químico de suelo	41
5.1.1. Variables cualitativas con frecuencia absoluta	42
5.1.2. Evaluación de la altura de planta	42
5.1.3. Evaluación del peso de fruto en cereza	43
5.1.4. Evaluación del porcentaje de semillas tipo caracol	45
5.1.5. Evaluación del daño de broca	46
5.1.6. Evaluación del longitud de hoja.....	48
5.1.7. Evaluación del ancho de hoja	49
5.1.8. Evaluación de la relación largo/ancho de hoja	51
5.1.9. Evaluación del longitud de peciolo foliar	52
5.1.10. Evaluación del largo de semilla	53
5.1.11. Evaluación del ancho de semilla	55
5.1.12. Evaluación del espesor de semilla	56
5.1.13. Variables morfoagronómicos de las cultivares de café.....	58
5.1.14. Análisis de productividad en café oro	59
5.1.15. Análisis de correlación.....	60
5.1.16. Análisis de componentes principales	61
5.1.17. Análisis de conglomerados jerárquicos	63
6. CONCLUSIONES	64
7. RECOMENDACIONES.....	66
8. BIBLIOGRAFÍA	67
ANEXOS	74

ÍNDICE DE CUADROS

	Página
Cuadro 1. Descriptores morfológicos y agronómicos utilizados para la caracterización del ensayo de cultivares de café en la Estación Experimental de Sapecho ...	29
Cuadro 2. análisis de varianza para la altura de planta.....	42
Cuadro 3. prueba de Duncan para altura de planta por cultivar de café	43
Cuadro 4. análisis de varianza para el peso de fruto en cereza.....	43
Cuadro 5. Medias y error estándar para el peso de fruto en cereza por planta	44
Cuadro 6. análisis de varianza para el porcentaje de semillas tipo caracol.....	45
Cuadro 7. prueba de Duncan para el porcentaje de semillas tipo caracol	46
Cuadro 8. análisis de varianza del daño de broca	46
Cuadro 9. medias y error estándar para el porcentaje de daño de broca por cultivar de café.....	47
Cuadro 10. análisis de varianza del longitud de hoja	48
Cuadro 11. medias y error estándar para la longitud de hoja por cultivares de café	49
Cuadro 12. análisis de varianza ancho de hoja	49
Cuadro 13. medias y error estándar para ancho de hoja por cultivar de café	50
Cuadro 14. análisis de varianza de la relación largo/ancho de hoja	51
Cuadro 15. medias y error estándar para la relación largo/ancho de hoja.....	51
Cuadro 16. análisis de varianza del longitud de peciolo foliar.....	52
Cuadro 17. medias y error estandar para longitud de peciolo foliar	53
Cuadro 18. análisis de varianza del largo de semilla	53
Cuadro 19. prueba de Duncan para largo de semilla	54
Cuadro 20. análisis de varianza para ancho de semilla	55
Cuadro 21. prueba de Duncan para ancho de semilla	55
Cuadro 22. análisis de varianza del espesor de semilla	56
Cuadro 23. prueba de Duncan para espesor de semilla	57

Cuadro 24. Resumen de medias de variables cualitativas y cuantitativas por cultivar, no descritas por Duncan de la Estación Experimental de Sapecho – E.E.S...	58
Cuadro 25. rendimiento de cultivares en café oro	59
Cuadro 26. matriz correlaciones ente variables cuantitativas analizadas.....	60
Cuadro 27. valores propios y porcentajes de varianza	61

ÍNDICE DE GRÁFICOS

	Página
Gráfico 1. Medias de altura de planta por cultivar de café	43
Gráfico 2. Medias del peso de fruto en kilogramos planta por cultivar en cereza.....	45
Gráfico 3. Porcentaje de semillas tipo caracol por cultivar de café	46
Gráfico 4. Medias del porcentaje del daño de broca por cultivar de café.....	48
Gráfico 5. Medias de la longitud de hoja por cultivar de café	49
Gráfico 6. Medias de ancho de hoja por cultivar de café	50
Gráfico 7. Medias para la relación largo y ancho de la hoja por cultivar de café	52
Gráfico 8. Medias del longitud del peciolo foliar por cultivar de café	53
Gráfico 9. Medias del largo de semilla por cultivar de café.....	54
Gráfico 10. Medias para el ancho de semilla por cultivar de café	56
Gráfico 11. Medias del espesor de semilla por cultivar de café.....	57

ÍNDICE DE ANEXOS

	Página
ANEXO 1. Origen de los cultivares de café resistentes a la roya, utilizados en la Estación Experimental de Sapecho – E.E.S.....	75
ANEXO 2. Ficha para la caracterización morfológica de diez cultivares de café en la Estación Experimental de Sapecho – E.E.S.....	75
ANEXO 3. Ficha para la caracterización de la hoja de diez cultivares de café en la Estación Experimental de Sapecho – E.E.S.....	76
ANEXO 4. Ficha para la caracterización de la inflorescencia y de la flor de diez cultivares de café en la Estación Experimental de Sapecho – E.E.S.....	76
ANEXO 5. Ficha para la caracterización del fruto de diez cultivares de café en la Estación Experimental de Sapecho – E.E.S.....	77
ANEXO 6. Ficha para la caracterización de la semilla de diez cultivares de café en la Estación Experimental de Sapecho – E.E.S.....	77
ANEXO 7. Ficha para la caracterización agronómica de diez cultivares de café en la Estación Experimental de Sapecho – E.E.S.....	78
ANEXO 8. Monitoreo permanente de la parcela del Ensayo de café en la Estación Experimental de Sapecho y la maduración del cultivar Icatu Precoz.....	79
ANEXO 9. Enfermedad de mal de hilacha	79
ANEXO 10. Matriz Básica de Datos de la caracterización agromorfológica de diez cultivares de café.....	80
ANEXO 11. Fotografías de diez cultivares de café caracterizado morfológicamente y agronómicamente en la Estación Experimental de Sapecho	81
ANEXO 12. Proceso de beneficio y manejo postcosecha de café de los cultivares caracterizados en la E.E.S. – UMSA.....	82
ANEXO 13. Caracterización de la flor, fruto y hoja	83
ANEXO 14. Tres estados de la hoja joven caracterizados en los cultivares de café en la Estación Experimental de Sapecho – E.E.S.....	83
ANEXO 15. Evaluación de la broca, roya y ojo de gallo en los plantas de café.....	83

ANEXO 16. Dificultades en el desarrollo fisiológicos en cultivares de café caracterizados en el trabajo de investigación	84
ANEXO 17. Personal encargado del área de café en la Estación Experimental de Sapecho – UMSA, 2016 a cargo del Ing. Casto Maldonado.....	84

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Ubicación geográfica de la Estación Experimental de Sapecho	26
Figura 2. Croquis del ensayo nacional de cultivares de café.....	28
Figura 3. Variables en el primer y segundo componente principal	62
Figura 4. Cultivares de café en el primer y segundo componente principal	62
Figura 5. Dendrograma de agrupamiento jerárquico	63

RESUMEN

El presente trabajo de investigación se realizó en la Estación Experimental de Sapecho de la Universidad Mayor de San Andrés, ubicado al norte del departamento de La Paz, Bolivia. Dónde fueron caracterizados morfológicamente y agronómicamente diez cultivares de café (*Coffea arabica* L.), que fueron introducidas de la República Federal de Brasil y Colombia, con el objetivo de apoyar el sector cafetalero de país. La caracterización se realizó mediante descriptores cuantitativos y cualitativos, estudiando la variabilidad morfológica y de interés agronómico como: el rendimiento, incidencia de broca, incidencia de roya, ojo de gallo y también la altura de planta, color de la hoja joven, color de fruto y entre otras recomendadas por IPGRI. Para la caracterización morfológica se utilizaron los descriptores establecidos por el IPGRI (1996), y para el análisis estadístico se utilizó el análisis multivariado los datos han sido interpretadas, y en las observaciones los descriptores morfológicos cualitativos como: desarrollo vegetativo de la planta (monopódica), forma de hoja (lanceolada), forma del ápice de hoja (apiculada), forma del fruto (obovada), forma de semilla (obovada) y el color de semilla tienen eventos iguales para los diez cultivares por lo que fueron descartados para el análisis de datos, los resultados para altura de planta varían de 3,17 m en cultivar Icatu Precoz (porte alto) a 1,65 m para CEPAC 3; para el peso de cereza por planta el mayor valor presentó CEPAC 4 con 4,5 kg/pl y el más bajo Catuai Rojo local (testigo) con 2,19 kg/pl; el mayor porcentaje de semillas tipo caracol presenta el cultivar Castillo con 27,33% y con menor CEPAC 2 con 14,67%; el más alto porcentaje de broca presentó el cultivar Castillo con 9,67% y la menor Icatu Precoz con 3,33%; el mayor porcentaje de frutos vanos presenta el cultivar Icatu Precoz con 39,5% y menor CEPAC 3 con 13,6%; los cultivares Tupi, Paraíso y CEPACs presentan mayores hábitos de ramificación; el porcentaje de rendimiento en café pergamino oscila del 20,9% al 15,8%; presentaron dos estados de color de fruto el rojo y amarillo, el color de la hoja joven tres estados: verde, verduzca y marrón rojiza; en el tamaño (largo y ancho) de semilla lidera el cultivar Castillo; la incidencia de la roya fue menor al 2% y el ojo de gallo no supero el 3,10%; en cuanto a la productividad se mostró el cultivar Paraíso con 36,2 ScO 60 kg/ha, CEPAC 1 con 33,9 ScO 60 kg/ha y testigo con 11,1 ScO 60 kg/ha. Por último, de acuerdo al método de agrupamiento jerárquico presentan tres grupos el primero conformado por CEPACs y Tupi, el segundo grupo por cultivares de Icatu, Paraíso, Catuai Rojo y testigo, y tercero por Castillo por ser diferente a todos los demás cultivares.

Palabras clave: caracterización, cultivar, descriptores morfológicos y agronómicos, rendimiento, café.

SUMMARY

The present research work was carried out at the Sapecho Experimental Station of the University of San Andres, located north of the department of La Paz, Bolivia. Where ten cultivars of coffee (*Coffea arabica* L.) were characterized morphologically and agronomically, which were introduced from the Federal Republic of Brazil and Colombia, with the aim of supporting the country's coffee sector. The characterization was performed by quantitative and qualitative descriptors, studying the morphological variability and agronomic interest such as: yield, drill incidence, incidence of rust, crow's eye and also plant height, young leaf color, fruit color and among others recommended by IPGRI (1996). And for the statistical analysis the multivariate analysis was used the data have been interpreted, and in the observations the qualitative morphological descriptors as: Vegetative development of the plant (monopodic), leaf form (lanceolate), leaf apex form (apiculate), fruit form (obovada), seed form (obovada) and seed color have equal events for the ten cultivars Coffee and have been discarded for data analysis, But the results for plant height vary from 3.17 m for growing Icatu Precoz (tall porte) to 1.65 m and for CEPAC 3; for cherry weight per plant the highest yield was CEPAC 4 with 4.5 kg/pl and the lowest local Red Catuai (control) with 2.19 kg / pl; the highest percentage of snail-like seeds presents the Castillo crop with 27.33% and with smaller CEPAC 2 with 14.67%; the highest percentage of drill presents the Castillo crop with 9.67% and the lowest Icatu Precoz with 3.33%; the highest percentage of vain fruits presented the Icatu Precoz crop with 39.5% and lower CEPAC 3 with 13.6%; the cultivars Tupi, Paradise and CEPAs have higher branching habits; the percentage yield in parchment coffee ranges from 20.9% to 15.8%; presented two states of fruit color red and yellow, the color of the young leaf three states: green, green and reddish brown; In the size (long and wide) of seed leads the cultivar Castillo; the incidence of rust was less than 2% and the eye of cock did not exceed the 3,10%; In terms of productivity, the cultivar Paradise with 36,2 ScO 60 kg/ha, CEPAC 1 with 33.9 ScO 60 kg/ha and control with 11.1 ScO 60 kg/ha. By last, according to the method of hierarchical grouping, three groups are presented: the first one composed by CEPACs and Tupi, the second group by cultivars of Icatu, Paraíso, Catuai Red and control, and third for Castillo to be different from all other cultivars.

Keywords: Characterization, cultivar, morphological and agronomic descriptors, yield, coffee.

1. INTRODUCCIÓN

En Bolivia el cultivo de café (*Coffea arabica* L.) se remonta al año 1780 introducido por los esclavos de la realeza africana que huían del Brasil, en principio el café servía como cultivo de lindero para marcar los límites de la propiedad rural, recién a partir del año 1950 se constituye como producción rentable, con excedentes que son destinados a la exportación (FECAFE, 2001).

El cultivo de café en los Yungas del departamento de La Paz constituye una de las principales actividades agrícolas de la región, cuya producción alcanza de 8 – 28 qq de café pergamino por hectárea, siendo actualmente uno de los cultivos que se perfila con mayor potencialidad para el desarrollo de la región, debido a la producción orgánica tradicional de la zona, por lo cual es uno de los cultivos más aceptados para la exportación (FECAFEB, 2006).

El café *Coffea arabica* L. tiene su centro de origen en Abisinia (en la geografía actual Etiopía), en el oriente de África, y es uno de los cultivos ampliamente distribuidos por todo el mundo según la Organización Mundial del Café (OIC) señalan que más de 25 millones de familias cafetaleras dependen del cultivo de café para su subsistencia en los países Latinoamérica, África y Asia (Osorio, 2002; citado por Pomacosi, 2005).

Según Tovar (2015), sobre el volumen y valor de las exportaciones en Bolivia del año 1990 al 2000 se exportaron en promedio por año 101.174 sacos (60 kg) con un valor de 11.74 millones de dólares; del 2001 al 2011 se exporto 79.909 sacos (60 kg) con un valor de 17.05 millones de dólares y del 2012 al 2015 se exporto 54.329 sacos (60 kg) llegando a un valor de 17.08 millones de dólares.

El mismo autor menciona, que las cantidades de las exportaciones redujeron significativamente, sin embargo el valor se mantiene casi constante por incentivos en el mercado de acuerdo a la calidad del producto, por ser café orgánico y comercio justo.

Bolivia posee una tradición en la producción del café y por sus características tiene una oferta única, siendo el mayor productor a nivel Bolivia el departamento de La Paz, concentrándose la producción en la región yungueña con el 91% de la superficie cultivada (MDRyT, 2016). El café está catalogado como estimulante y su consumo a nivel nacional es relativamente bajo, se estima que es menor al 25% de la producción nacional, por tanto, más del 75% de la producción de café está destinada a la exportación a los mercados europeos, americano y asiático (Fomento al Desarrollo Urbano y rural, 2010).

En los últimos años la producción del café en Bolivia ha reducido a consecuencia de varios factores, en ellos el ataque de enfermedades, bajo manejo técnico, bajos rendimientos, precios bajos del mercado y entre otros.

La parcela de ensayo de café en la Estación Experimental de Sapecho, es parte de una investigación de comportamiento de nuevos cultivares de café introducidas en diferentes pisos ecológicos del departamento de La Paz y por tanto es sustancial conocer su comportamiento *in situ* de estudio.

Por otro lado, la mejor forma de medir los valores genéticos es evaluar en términos de caracterización utilizando descriptores morfológicos, agronómicos y marcadores moleculares, buscando cultivares de impacto económico que permitan producción y productividad de los cultivares estudiadas y recomendadas por piso ecológico.

Por último, los nuevos cultivares introducidas de café son utilizados comercialmente en los países de origen y presentan rendimientos promedios superiores a las variedades tradicionalmente cultivadas en la región; con el presente trabajo de investigación a nuevos cultivares de café, permitirá dar otras opciones o alternativas al productor cafetalero del país.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo General

Caracterización morfoagronómica de diez cultivares de café (*Coffea arabica* L.) en la Estación Experimental de Sapecho del departamento de La Paz.

2.2. Objetivo Específicos

- Evaluar la variabilidad de los caracteres morfológicos con descriptores cuantitativos y cualitativos de diez cultivares de café.
- Evaluar la variabilidad de los caracteres agronómicos cuantitativos y cualitativos de diez cultivares de café.
- Determinar según las características cuantitativas y cualitativas de los cultivares analizados son recomendables para la producción de café.

3. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

3.1. Centro de origen y diversificación del café arábico

El lugar de origen del café Arábico es Etiopía, país donde se inició su cultivo (Anthony *et al.*, 1999), una evidencia que corrobora esta hipótesis es que en las áreas montañosas de este país y áreas vecinas de Sudán actualmente el café arábico crece en forma silvestre sobre los 1500 msnm (León, 2000; citado en Ignacio, 2007).

Paso a Yemen (Asia occidental), en el transcurso de los siglos XIII y XIV pasó a Guayanas, Antillas y Sumatra, Fue introducida a Brasil en 1727 y a fines del siglo XVIII se encontraba distribuida en toda América Central y México. Siendo la variedad *Typica* de la *Coffea arabica* L., fue la única planta de café cultivada en América y en Antillas hasta la década de los 60 del pasado siglo (Cuba, 2006 citado por Mamani, 2013).

Desde Ámsterdam enviaron unas plantas hacia la Guyana Holandesa (hoy Surinam) y de París a la isla de Martinica en las Antillas, de donde en 1719 el cultivo se extendió rápidamente hacia la Guyana Francesa, y luego en 1727 hacia Brasil (Chevalier y Dagrón, 1928; citado por Anthony *et al.*, 1999).

El origen etimológico la palabra café es discutida, atribuyéndole algunos a la palabra árabe Qhawah y otros ven su origen a la provincia de Kaffa en Etiopía, cerca de la cual se encontraron importantes poblaciones espontáneas de cafetos (FECAFEB, 2006).

Según reportes está claro que los cafés de Yemen dieron origen a dos tipos de café Arábica: 1) *C. arabica* var. *typica*, conocido comúnmente como café Arábigo, *Typica* o *Típica*, que constituyó la base genética de las primeras variedades cultivadas en América y Asia; y 2) *C. arabica* var. *Bourbon* que fue difundido a partir de la isla Bourbon (Krug *et al.* 1939, Carvalho *et al.* 1969 citados por Anthony *et al.*, 1999). Por lo tanto, todas las variedades cultivadas en América Latina hasta mediados del siglo XX compartieron la base genética del café *Typica* (Anthony *et al.*, 1999). Estas evidencias sobre el origen del cultivo de café en América Latina también explican los procesos de erosión genética por las que atravesaron las bases genéticas *Typica* y *Bourbon*. Como consecuencia, los cultivares actuales derivados de estos dos grupos genéticos, debido a su reducida base genética, son altamente susceptibles a nuevas plagas y enfermedades, presentan baja adaptabilidad a nuevas condiciones de cultivo (Wilches, 1995) y las posibilidades para el mejoramiento genético son también limitadas (Anthony *et al.*, 2002 citado por Ignacio, 2007).

3.2. Recursos genéticos del café como fuente de diversidad genética

Según el número cromosómico el género *Coffea* se divide en dos grupos, el grupo grande de las especies diploides ($2n=22$ cromosomas) conformado por *C. canephora*, *C. liberica*, *C. stenophylla*, *C. racemosa* y otros, y el grupo de los tetraploides ($2n=4x=44$ cromosomas) conformado por *C. arabica* (Regalado, 2006). *C. arabica* es una especie alotetraploide producto de una cruce interespecífica natural entre dos especies diferentes con un número básico de cromosomas $x=11$.

Entre estas especies que constituyen los recursos genéticos del cultivo de café existe una alta variabilidad, por ejemplo, en un estudio con microsatélites, Poncet *et al.* (2004) encontraron alta diversidad genética y alto índice de loci polimórficos (más de 80%) en *C. canephora* y *C. pseudozanguebariae*. 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 (Dulloo *et al.* 2001).

Estos recursos genéticos, conservados *ex situ*, constituyen la fuente de variabilidad genética más accesible para trabajos de mejoramiento genético en el cultivo de café.

Está evidente que la base genética del café cultivado es estrecha debido a que proviene principalmente de *C. arabica* y *C. canephora*, y en escala muy limitada de *C. liberica* (León, 2000 citado en Ignacio, 2007). Sólo en algunos lugares como Mozambique aún se cultiva la especie *C. racemosa* (Anthony *et al.*, 1999). Esta estrecha base genética también puede ser atribuido a su origen reciente, más de un millón de años, a su evolución y reproducción por semillas, producto de la autofecundación (Anthony *et al.*, 2002). Pero 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 *H. 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. (León, 2000; citado por Ignacio, 2007).

3.3. Producción de café a nivel mundial

La producción de café para el periodo 2009/2010 fue de 123.1 millones de sacos, notándose una baja de en la producción mundial de café del 3.9% (FECAFEB, 2010; citado por Rojas, 2013).

Así mismo indica que en el periodo 2008, las exportaciones mundiales de café oro verde alcanzaron 97.67 millones de sacos que en términos monetarios corresponde a \$us 15.38 billones, y en 2009 se exportó 94.66 millones de café oro verde alcanzando un valor de \$us 13.48 billones.

3.4. Desarrollo del cultivo de café en Bolivia

El cafeto fue traído por los africanos que huían de la esclavitud en Brasil en 1780 y se establecieron en la región de los yungas del norte de La Paz (Barrientos, 2000).

Al principio el cafeto servía para marcar los límites de la propiedad rural y la producción era destinada para autoconsumo, recién a partir de 1950 el café comienza a explotarse en mayor escala (Cuba, 2006; citado por Rojas, 2013).

En 1953 se produce una fuerte helada en Brasil, y crea una gran expectativa en la producción de este cultivo y aparecen varias empresas privadas acopiadores de café. Ente 1955 y 1956 se inicia un gran despliegue de colonizadores a la región de Nor Yungas y se empiezan a dedicar al cultivo de café (Barrientos, 2000; citado por Rojas, 2013).

3.5. Producción de café en Bolivia

En las zonas cafetaleras de Bolivia, se cultiva la especie *Coffea arabica* L. con una predominancia de la variedad Typica, ocupando el 85% de la superficie total cultivada y un 15% de las variedades mejoradas como Catuai amarillo y rojo, Catimor, Caturra, Cavimor amarillo y rojo. Bolivia produce el 100% de café suave lavado, para la exportación y el consumo nacional (FECAFEB, 2006 y MDRyT, 2016).

Así mismo esta institución se asevera que en el departamento de La Paz, alcanza la producción nacional de 91%, Santa Cruz con 6.2%, Cochabamba con 2%, Beni con 0.6%, Tarija 0.04%, y Pando con 0.03%. (MDRyT, 2016)

Se menciona que el 85% de las plantaciones son de la variedad Typica las cuales se plantan entre 1300 a 1570 pl/ha, con un promedio de 1484 pl/ha. Mientras las variedades mejoradas, tienen una densidad promedio de 2650 pl/ha, esta densidad está influenciada por diversos

factores como la pendiente del terreno, variedad, fertilidad de suelo y manejo del cultivo (FECAFEB, 2006).

3.6. Generalidades del café

3.6.1. Clasificación taxonómica

La clasificación taxonómica del cafeto según Cronquist (1985), mencionado por Mazorca en (1988), es la siguiente, Reino: vegetal; Sub reino: Embryophyta; División: Magnoliophyta; Clase: Magnoliopsida; Sub Clase: Asteridae; Orden: Rubiales; Familia: Rubiaceae; Género: *Coffea*; Especie: *Coffea arabica* L. y Nombre común: café.

3.6.1.1. La variedad

La variedad se define como una población de plantas mejoradas genéticamente para comercialización por parte de un obtentor quien descubrió y luego desarrolló con caracteres que la hacen reconocible e identificable al menos genéticamente, a pesar de la que híbrida libremente con otras poblaciones de la misma especie ya sean silvestres o cultivadas.

Una variedad es genéticamente distinta a cualquier otra conocida a la vez homogénea entre sus propios especímenes (Código Internacional de la Nomenclatura Botánica, 2016).

3.6.1.2. El cultivar

El Código Internacional de Nomenclatura para Plantas Cultivadas (2016), menciona que el cultivar es un subgrupo de plantas cultivadas que es distintivo, uniforme y estable en sus caracteres seleccionados y además registrado internacionalmente en el listado conforme a las reglas para ser legal.

Entre las numerosas cultivares de *Coffea arabica* L. se ha presentado especial atención a aquellas de alta calidad y productividad, sin embargo, en las últimas tres décadas, la caficultura también ha venido considerando como característica importante la resistencia a enfermedades como la roya amarilla del cafeto (*Hemilea vastatrix*) a la cual la variedad Typica no es resistente (Soliebe, 2005).

El mismo autor indica, que desde hace más de 150 años la variedad Typica originaria de Etiopia, fue introducida al Continente Americano en áreas de selva (bosque premontaño) y es la que actualmente crece en mayor extensión en Centroamérica, México, Colombia, Ecuador y Brasil, Perú, y Bolivia, sin embargo, las variedades mejoradas se caracterizan por:

- Mayor productividad en relación a la variedad típica.
- Menor uso de la fuerza de trabajo, especialmente en la cosecha que es muy dificultosa debido a la altura que tienen las plantas.
- Con tolerancia a condiciones ambientales adversas de sequía y mayor respuesta a la fertilidad.

Mayor resistencia y tolerancia al ataque de enfermedades como la Roya, Cercospora y antracnosis.

3.6.2. Descripción morfológica

3.6.2.1. La raíz

La raíz principal del cafeto es pivotante a menudo múltiple, extendiéndose de 45 a 60 cm de profundidad, tiene 4 a 8 axilas que crecen verticalmente hacia abajo hasta 2 a 3 m de profundidad, originadas lateralmente o de la bifurcación de la raíz principal, también presenta raíces superficiales paralelas a la superficie del suelo de 1 a 9 metros a partir del tronco, ramificando se en un plano horizontal o uniformemente en todas las direcciones del suelos (CENICAFE, 1988 y Barrientos, 2000).

3.6.2.2. El tallo

El tallo normalmente es unicaule o de un solo tallo bien definido, aunque en ciertas ocasiones presenta tallos múltiples, el cafeto 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 (CENICAFE, 1988 y Barrientos, 2000).

3.6.2.3. Las ramas

Las ramas laterales primarias se originan de yemas en las axilas de las hojas en el tallo central. Estas ramas se alargan continuamente y son producidas a medida que el eje central se alarga y madura. El crecimiento de éstas y la emisión de nuevas laterales en

forma opuesta y decusada van dando lugar a una planta de forma cónica. Las ramas primarias plagiotrópicas dan origen a otras ramas que se conocen como secundarias y terciarias. En estas ramas se producen hojas, flores y frutos. A excepción de algunas especies, en el tronco o tallo del C. arábica normalmente se produce sólo yemas vegetativas, nunca flores ni fruto. Si a una rama lateral se le poda su ápice, no se induce la formación de otras ramas laterales en la misma axila, o sea, no tiene poder de renovación. (CENICAFE, 1988 y Barrientos, 2000).

3.6.2.4. Las hojas

Las primeras hojas que se forman en el cafeto son los cotiledones, de 9 a 11 hojas que se forman a continuación son elípticas, lanceoladas y obovada de superficie ondulada, las que nacen en las ramas primarias, secundarias y terciarias, aparecen en un mismo plano o pares opuestos, cada una con dos estipulas agudas, la lámina foliar mide a veces de 12 a 24 cm de longitud y de 5 a 12 cm de ancho. La vida de las hojas en la especie arábica es de 7 a 8 meses. (CENICAFE, 1988 y Barrientos, 2000).

3.6.2.5. Las flores

Se desarrollan en las axilas de las hojas sobre glomérulos (tallos cortos) en grupos de 3 a 5 flores, originalmente colocadas en línea recta entre la rama y la hoja, la flor del cafeto tiene de base un receptáculo carnoso, el cáliz consiste de cinco dientes finos e irregulares a manera de un reborde verde y continuo, la corola tubular en la base se abre arriba en cinco pétalos, con cinco estambres insertos en el tubo de la corola localizados en las uniones de los pétalos y en posición continua, de ovario ínfero con 2 óvulos con estigma bifido, la flor se abre por la mañana y tiene una vida efímera comúnmente de solo 24 horas, a cuyo término se seca la corola y se desprende (CENICAFE, 1988 y Barrientos, 2000).

3.6.2.6. El fruto

El fruto del cafeto es una drupa, es de forma ovalada o elipsoidal ligeramente aplanada. Contiene normalmente dos semillas plano convexas separadas por el tabique (surco) interno del ovario. Pueden presentarse tres semillas o más en casos de ovarios tricelulares o pluricelulares o por falsa poliembrionía (cuando ovarios bicelulares presentan más de un óvulo en cada célula). A causa del aborto de un óvulo se puede originar un fruto de una sola semilla (caracolillo).

El tiempo que transcurre desde la floración hasta la maduración del grano varía según la especie: *C. arábica* de 6 a 8 meses y *C. canephora* de 9 a 11 meses. (Figueroa, 1996).

Cada fruto está constituido por un epicarpio rojo o amarillo, un mesocarpio carnudo de color blanco amarillento (pulpa), el endocarpio o pergamino y 2 semillas (granos) reunidos por su faz plana pardo verdoso, cada grano está protegido por dos envolturas, la primera o endocarpio que es delgada y de textura esclerosa (pergamino), la segunda el perisperma o tegumento seminal que es una tela finísima o película plateada a veces adherida al grano. (CENICAFE, 1989 y Barrientos, 2000).

3.6.2.7. La semilla

La semilla está constituida por el endospermo y el embrión, el primero coriáceo de color verdoso y amarillento, las células del endospermo contienen almidón, aceites, azúcares, alcaloides como cafeína y otras sustancias, en su parte basal se encuentra el embrión de 2 a 5 mm de largo, el contenido promedio de cafeína es de 1.015% de aceites y grasas de 10.55% es el factor determinante del aroma y sólidos solubles compuesto por hidratos de carbono y proteínas en un 28.6%. (Barrientos, 2000 y Coste, 1998).

El 1.015% de aceites y grasas de 10.55% es el factor determinante del aroma y sólidos solubles compuesto por hidratos de carbono y proteínas en un 28.6% (Barrientos, 2000 y Coste, 1998).

3.7. Características de cultivares de café en estudio

3.7.1. Cultivar CEPAC 1

Este cultivar proviene de los cruzamientos entre “Villa Sarchi” x “Híbrido de Timor” caracterizándose con un tamaño de planta de porte mediano de altura de 2,40 m, cuya ramificación es mejor que los cultivares del germoplasma Catuaí. También es probable que tiene resistencia a todas las 45 razas de roya del mundo y moderada resistencia a *Colletotrichum* sp., es de maduración mediana entre el cultivar C – 2 y cultivares del germoplasma Catuaí, se adapta a cultivos a pleno sol y bajo sombra, tiene granos de zaranda 16,5 y es recomendado para plantaciones densas de 7000 a 10000 pl/ha. Es susceptible a *Cercospora coffeicola*, minador (*Leucoptera coffeella*) y broca (*Hypothenemus hampei*). (Sera, 2008 y Maldonado, 2016).

En la República Federativa de Brasil este cultivar es conocido como IPR 98 (Moya, 2012).

3.7.2. Cultivar CEPAC 2 (IPR 59)

El cultivar IPR 59, proviene de origen entre “Villa Sarchi” x “Hibrido de Timor 832/2”, se caracteriza por tener un tamaño de planta de porte compacto pequeño con altura de 2,40m, es de ramificación mediana tiene altura y diámetro menor que el cultivar “Catuaí”. Se adecua a cultivos a pleno sol y bajo sombra, tiene resistencia completa a todas las 45 razas de roya del mundo (*Hemileia vastatrix*) y presenta moderada resistencia a *Colletotrichum sp.*. Es de madurez semiprecoz con granos de zaranda 17, con productividad muy alta. Se puede obtener cafés especiales en zonas cafetaleras de temperatura promedio anual entre 18 y 20 °C, con un manejo tecnológico apropiado con abonamiento 30% mayor y distancia entre plantas en la línea de 0,5 m. Este cultivar es susceptible a *Cercospora coffeicola*, minador (*Leucoptera coffeella*) y broca (*Hypothenemus hampei*) (Sera, 2008).

Este cultivar conocido en la República Federal de Brasil como IPR 59, según Moya, 2012.

3.7.3. Cultivar CEPAC 3

El cultivar (IPR 103 o CATUCAI rojo 785/15) proviene de cruzamiento entre plantas de cultivares de germoplasma Catuaí rojo x Icatú Precoz rojo 785, realizado en Caratinga – MG. Es una planta de tamaño mediano, altura de 2,8 m y tiene una ramificación muy alta, los entrenudos en la planta son cortos 4 - 8 cm. Se adaptan en espaciamiento de 2,5 m x 3,0 m entre hileras y entre planta de 0,50 m a 0,80 m, acortar distancia entre plantas en zonas bajas y aumentar distancia entre plantas en zonas altas con mayor altitud. Tiene moderada susceptibilidad a la roya (25% más resistencia que “Catuaí”) el grano es de zaranda 16,5. Este cultivar, fácilmente se adapta a suelo pobre, soporta cerca de 30% mejor a la sequía e insolación, y por eso es recomendable menor sombra. Tiene moderada resistencia a *Colletotrichum sp.*, moderada susceptibilidad a *Cercospora coffeicola*, pero es susceptible al minador (*Perileucoptera coffeella*) y la broca (*Hypothenemus hampei*) (Sera, 2008 citado en Moya, 2012).

3.7.4. Cultivar CEPAC 4

Resultado del cruzamiento de los cultivares IPR 98 x Icatu Precoz. Tamaño mediano, altura de 2.7 m, los entrenudos cortos, tiene resistencia duradera a roya. Desarrolla mejor con un 25% de

sombra y es un cultivo de sistema intensivo, criba 17 a 18. Madurez semi temprano. (CEPAC, 2012).

3.7.5. Cultivar Icatu Precoz

El cultivar Icatú Precoz IAC-3282 proviene de cruzamiento entre plantas de Bourbon Amarillo' x "Mundo Novo", cuyo tamaño de planta es de porte grande con una altura de 3,5 m. Es de ramificación regular con entrenudos largos exige espaciamientos entre 3,0 - 4,0 m entre hileras y de planta a planta 0,70 m. Este cultivar se adapta a sistemas a pleno sol, debido a su porte grande que genera auto sombra. Los frutos son de color amarillo tienen madurez precoz alcanzando un tamaño de grano en zaranda 15,5; excelente calidad de bebida (café expreso) y tiene una calidad de taza mejor que cultivares del "Catuai". Este cultivar tiene moderada susceptibilidad a la roya, pero es susceptible a la *Cercospora coffeicola*, *Colletotrichum* sp., minador (*Leucoptera coffeella*) y broca (*Hypothenemus hampei*) (Sera, 2008).

3.7.6. Cultivar Catuai Rojo

La cultivar Catuai se originó por cruzamientos entre las variedades Caturra y el Mundo Novo en el Brasil, es una variedad de porte mediano de 2,8 m y con alta producción. El tallo principal es grueso, con ramas laterales abundantes las cuales presentan ramas secundarias lo que le da una gran capacidad productiva. Las hojas nuevas son de color verde claro, es un arbusto vigoroso y compacto, tiende a ser de mayor diámetro (ancho) y largo que el Caturra, los frutos no se desprenden fácilmente de las ramas, el rendimiento del grano es bueno, así como la calidad de la bebida. (Nazareno, 1998).

Se caracteriza principalmente por su porte bajo menos compacto y más desarrollado que el Caturra, con elevado vigor vegetativo, alto potencial productivo, ramificación abundante y entrenudos cortos, precoz en el inicio de la producción, buena adaptabilidad a diferentes ambientes y excelente comportamiento en zonas de altura. Su maduración tardía y la no uniformidad en la maduración en zonas de altura se considera como desventaja de la variedad (Fischersworing, 2001).

3.7.7. Cultivar Tupi

El cultivar Tupi IAC-1669/33, proviene de cruzamiento entre las variedades Villa Sarchi con Híbrido de Timor de la planta CIFC 832/2. Es de arquitectura compacta 2,4 m. de altura, tiene media ramificación. La maduración de los frutos semi – precoz. Sus granos son grandes

zaranda 17, mayores que de los cultivares del “Catuai”. Presenta resistencia completa a la roya (*Hemileia vastatrix*) y moderada resistencia a antracnosis (*Colletotrichum sp.*), pero es susceptible a *Cercospora coffeicola*, minador (*Leucoptera coffeella*) y broca (*Hypothenemus hampei*) (Sera, 2008). Se puede obtener cafés especiales en zonas cafetaleras de temperatura promedio anual entre 18 y 20 °C con un manejo tecnológico apropiado como abonamiento 30% mayor y distancia entre plantas en la línea de 0,5 m (Moya, 2012).

3.7.8. Cultivar Paraíso MG H419-1

El cultivar Paraíso MG H419-1 es resultante de la hibridación artificial de Catuai amarillo IAC/30 con Híbrido de Timor UFV (Universidad Federal de Fazenda Vereda) 445/46, es de porte bajo con 1,95 m, copa cónica, fruto amarillo, época de maduración media, resistente a roya, alta productividad, buena calidad de la bebida (UFV Brasil, 2011).

Las hojas nuevas de coloración verde y verde oscuras brillante cuando maduras con bordes ligeramente ondulados. Son plantas de porte bajo y arquitectura cónica ligeramente inferior a Catuai, es resistente a roya.

3.7.9. Cultivar Castillo

A partir del cruzamiento entre la variedad Caturra (progenitor femenino) y el Híbrido de Timor CIFC#1343 (progenitor masculino), se obtuvieron las plantas F1 y de ellas, por autofecundación, las generaciones F2 y F3. Éstas, se cultivaron individualmente por progenie y se les realizó selección por vigor, porte bajo de las plantas, calidad en taza, producción, proporción de defectos de las semillas, tamaño del grano, resistencia completa e incompleta a *H. vastatrix* y probable tolerancia a la enfermedad de las cerezas del café (Castillo, 1987).

El mismo autor menciona que la variedad Caturra, por el porte bajo de sus plantas permite el establecimiento en altas densidades de siembra, favoreciendo la obtención de mayores producciones por unidad de superficie. Sin embargo, es altamente susceptible a la roya del café y a la enfermedad de las cerezas, causadas por hongos patógenos que limitan la producción y afectan notablemente la calidad del café obtenido.

El Híbrido de Timor, ha sido utilizado como progenitor resistente en programas de mejoramiento genético de varios países. Posee al menos 5 factores de resistencia específica a la roya y un fondo poligénico de resistencia incompleta. Se postula que posee varios genes de resistencia a la enfermedad de las cerezas ocasionada por *Colletotrichum kahawae*, disturbio que aún se

encuentra restringido al Continente Africano, pero que constituye una amenaza potencial a la caficultura del país. (CENICAFE, 2005).

3.8. Plagas y enfermedades del café

3.8.1. La broca del café

La broca del café (*Hypothenemus hampei* (Ferrari, 1867)) es un escarabajo originario de África (Fischersworrying y Robkam, 2001; Crowe, 2004) y actualmente se encuentra distribuido en casi todos los países cafeteros del mundo; en América Latina se encuentra en México, parte de Centro América, América del Sur y el Caribe (Fischersworrying y Robkam, 2001). Las hembras son de color marrón oscuro y miden aproximadamente 2.5 mm de largo, mientras que los machos miden sólo aproximadamente 1.5 mm (Crowe, 2004) y son superados en número por las hembras en una relación de 10:1 (Baker *et al.* 1992, Crowe, 2004). El ciclo biológico de esta plaga dura entre 25 a 35 días (Crowe, 2004) y pasa por cuatro estados de desarrollo: huevo, larva, pupa y adulto (IHCAFE, 1986). Las hembras perforan los frutos generalmente por el disco, hacen una galería a través de la pulpa hasta llegar al interior del grano donde depositan sus huevos (IHCAFE, 1986; Crowe, 2004; Lan y Wintgens, 2004).

La broca del café ocasiona daños directos (caída de las cerezas lechosas, pérdida de peso en granos maduros, pérdidas de hasta la cuarta parte de la producción por alimentación) e indirectos en el fruto (pudrición y apertura que facilita el ingreso de enfermedades) (Fischersworrying y Robkam, 2001). Debido a ello es considerada la plaga que causa el mayor daño económico al cultivo del café, ya que sus ataques a los frutos ocasionan pérdidas considerables al disminuir tanto el peso de la cosecha como la calidad del grano (Álvarez *et al.*, 2002, Romero y Cortina, 2004), pérdida de la inocuidad y calidad de la bebida debido a la presencia de ochratoxinas e impurezas (Fuenmayor, 1999 y Camilo *et al.*, 2003), aumento de costos y la disminución del precio de compra de granos brocados (Fuenmayor, 1999; Romero y Cortina, 2004). Las pérdidas totales en la producción causadas por la broca pueden llegar hasta un 80% (IHCAFE, 1986) tanto por caída de frutos y pérdidas de cosecha en la conversión cereza-pergamino (Ochoa *et al.*, 1989).

Todos los cultivares de *C. arabica*, cultivadas actualmente, son atacadas por la broca (Romero y Cortina, 2004) y aún no se ha encontrado fuentes de resistencia contra este insecto en el género *Coffea* (Montagnon *et al.*, 2002), pero todavía existe una amplia gama de germoplasma de café que requiere ser evaluado para identificar genotipos resistentes (o menos susceptibles), como primer paso para la generación de variedades resistentes a este insecto (Romero y Cortina,

2004). El uso de la resistencia genética para el control de la broca del café constituye una forma de control ecológica de bajo costo y de fácil adopción (Álvarez *et al.* 2002), compatible con otras medidas de control y puede ser una estrategia importante en el manejo de esta plaga (Romero y Cortina, 2004). Gran parte de los genes que condicionan la resistencia a plagas y enfermedades se encuentran presentes en materiales silvestres y en especies dentro del mismo género, por ejemplo, Romero y Cortina (2004) reportan que encontraron, bajo condiciones de campo, algunas introducciones de Etiopía con menos infestación de broca con relación a la variedad Caturra.

La manifestación de resistencia de las plantas contra los insectos plaga, en términos generales, están dadas por dos variables: la poca o ninguna disminución en la producción y el efecto nocivo de la planta sobre el insecto (Álvarez *et al.*, 2001). En este contexto, los autores señalan tres mecanismos de resistencia de las plantas contra los insectos: 1) antixenosis, cuando algunas características físicas y/o químicas de la planta evitan que esta sea preferida por el insecto para la oviposición, refugio o alimento; 2) antibiosis, cuando la planta afecta negativamente la fisiología del insecto; y 3) tolerancia, cuando una planta mantiene elevadas poblaciones de la plaga, o esta afecta algunos órganos, sin que se disminuya su producción. Álvarez *et al.* (2002), señalan que la antixenosis a *H. hampei* en café está determinada por el color de los frutos, dureza del pergamino y el espesor de la pulpa. Dado este panorama, las evaluaciones para identificar fuentes de resistencia contra la broca en materiales genéticos del café pueden realizarse tanto a nivel de laboratorio, a través de la construcción de tablas de vida y fecundidad (Romero y Cortina, 2004), así como en condiciones de campo (Álvarez *et al.*, 2001, Romero y Cortina, 2004).

La evaluación de resistencia de los genotipos de café a la broca se puede hacer a través de variables, tales como, número de perforaciones en los frutos afectados, número de individuos vivos y muertos (larvas, pupas y adultos) dentro del fruto brocado o mediante la clasificación de los granos perforados en grados, según el número de perforaciones y/o porción de grano dañado, en tal sentido, Castaño y Quinteros (2004), mencionan tres grados: grano normal (N), con granos sanos; granos brocados grado 1, con una sola perforación; granos brocados grado 2, con dos perforaciones y granos brocados grado 3, con una porción más o menos grande de grano dañado.

Asimismo, se han desarrollado varias metodologías para la evaluación de la población de broca en los cafetales. Castaño *et al.*, (2005). Evaluaron las poblaciones de broca en cafetales zoqueados, a través de dos variables: número promedio de estados biológicos de broca vivo y el

porcentaje de infestación de los frutos verdes, maduros y secos; para lo cual utilizaron un total de 300 frutos (100 frutos verdes, 100 maduros y 100 secos) infestados por el insecto en condiciones de campo, en las cuales contabilizaron los estados biológicos de la plaga presentes en cada sub-muestra. Félix *et al.* (2004) señalan que en condiciones de sombra densa (60% - 70%) hay mayor infestación de broca (17% - 25%) con relación a las condiciones de cultivo bajo sombra de 40% - 50% y en cultivo a pleno sol, en ambos casos el porcentaje de infestación de broca llegó sólo hasta el 2%). Romero y Cortina (2004), en condiciones controladas, encontraron una mayor infestación de broca en los frutos ubicados a mayor altura de la planta.

3.8.2. La roya

En el lenguaje agrícola, se conoce como royas o polvillos a los hongos Uredinales, básicamente por los síntomas de herrumbre producidos en el hospedante (Salazar *et al.*, 2002). La roya del cafeto, causada por el hongo *Hemileia vastatrix* Berk. y Br. es una de las enfermedades más limitativas de la caficultura mundial (Rodríguez y Moreno, 2002; Moreno, 2004 y Silva *et al.*, 2006). Se encuentra diseminada en todos los países donde es cultivado el café y puede causar pérdidas de 10% a 40% (Silva *et al.*, 2006).

Apareció por primera vez en África Oriental en 1861, pero fue reportada por primera vez aún a principios de 1869 en la isla asiática de Ceilán (Moreno, 2004). La gama de resistencia genética contra este patógeno observada en los cafetales silvestres de Etiopía apoya la hipótesis de que la enfermedad se originó en África.

La diseminación hacia América Latina se inició en el territorio de Brasil, donde se detectó por primera vez en 1970. Sobre su introducción a esta región existen dos versiones: i) las uredosporas serían transportadas por los vientos alisos desde el África, ii) introducción accidental a través de material vegetal o ropas contaminadas. Luego, desde Brasil se diseminó a todos los demás países latinoamericanos (Avelino *et al.* 1999).

Este hongo es un parásito obligado que afecta las hojas de las especies del género *Coffea*, básicamente *C. arabica* (Aguilar, 1995 y Avelino *et al.*, 1999) y se multiplica principalmente a través de la uredospora (Avelino *et al.* 1999). Los primeros síntomas de la enfermedad, que consisten en pequeñas lesiones amarillentas, aparecen alrededor del punto de penetración (envés de las hojas), que con el tiempo se unen y producen las uredosporas de color anaranjado característico; en el haz se observa manchas cloróticas y finalmente las lesiones se vuelven necróticas.

La receptividad de las hojas a la roya aumenta en la fase de producción, debido a la desprotección de las hojas por migración de compuestos fenólicos (sustancias que intervienen en la defensa) hacia los frutos; además una fuerte intensidad lumínica y temperaturas altas aumentan la receptividad de las hojas. Luego de la penetración, la resistencia genética, el potencial hídrico del suelo, la humedad relativa y la temperatura son factores determinantes de la colonización de la hoja por el hongo. En la zona tropical el desarrollo epidemiológico del hongo comprende cuatro fases: desarrollo lento, fase de crecimiento acelerado, infección máxima y descenso. La curva de desarrollo de la enfermedad está relacionada a cinco factores principales, la lluvia, la temperatura, la carga fructífera, la época de cosecha y el inóculo residual (Avelino *et al.* 1999).

La agresividad de la enfermedad se debe a la abundancia del inóculo y la rápida diseminación influenciada por los factores ambientales (Aguilar, 1995). Con un nivel de infección de 68% se han reportado pérdidas de producción de hasta 48%, además, se ha constatado que la roya acentúa el ritmo bienal de la producción (Avelino *et al.* 1999). El control de esta enfermedad se basa en el uso de técnicas de erradicación y uso de fungicidas que degradan el ambiente, por lo cual una alternativa sana y amigable con el medio la constituye el uso de la resistencia genética.

La interacción genética hospedante – patógeno es del tipo específico y se conocen al menos nueve genes de resistencia (SH1 hasta SH9) y nueve de virulencia (V1 hasta V9). Entre los genes de resistencia cuatro, SH1, SH2, SH4, SH5, provienen de *C. arabica*; SH3 proviene de *C. liberica* y los cuatro últimos, SH6, SH7, SH8, SH9 provienen de *C. canephora*, pero predomina la resistencia SH5 del hospedante y la virulencia V5 del patógeno. Dada la relación “gen a gen” de los genes de resistencia y de virulencia, una reacción compatible se produce cuando el hongo posee al menos todos los genes de virulencia correspondientes a los genes de resistencia del hospedero, en caso contrario la reacción será incompatible (sin ningún tipo de síntoma). La recombinación de los genes de resistencia determina diferentes grupos de resistencia, así mismo la recombinación de genes de virulencia determina las diversas razas fisiológicas del patógeno (Avelino *et al.* 1999), de las que fueron descritas 39 razas (Moreno, 2004).

La importancia de la roya radica en que es la enfermedad más devastadora del cultivo de café, por lo tanto, desarrollar variedades resistentes a roya, vía mejoramiento genético de plantas, viene siendo un objetivo de alta prioridad en muchos países (Prakash *et al.* 2004). El cultivo de

variedades genéticamente resistentes constituye una de las estrategias más apropiadas y efectivas económicamente para el manejo de las enfermedades en el cultivo de café, entre ellas la roya (Silva *et al.*, 2006), porque el género *Coffea* exhibe gran variabilidad en el grado de susceptibilidad a la roya (Aguilar, 1995).

señalan que líneas de Catimores expresan un cierto grado de resistencia a la roya del café, por lo que recomiendan recombinar las mejores líneas y enriquecer la base genética a partir de individuos silvestres, mencionan que se han desarrollado variedades Catimores resistentes a roya utilizando como padre donante de resistencia al Híbrido de Timor (Bertrand y Anthony, 1995). Además, existe la resistencia incompleta, cuantitativa o no específica presente en *C. canephora* y *C. arabica*, pero la solución genética duradera al problema se lograría sólo si se acumula un gran número de genes de resistencia, tanto completa como incompleta (Avelino *et al.* 1999).

Muchos estudios se han desarrollado para evaluar la resistencia del hospedero contra la infección de roya. Silva – Acuña *et al.* (1999). Evaluaron incidencia y severidad de *H. vastatrix* en un cultivo de *C. arabica* de seis años de edad, hicieron una evaluación cada 20 días en 10 hojas tomadas del tercer o cuarto nudo de las ramas plagiotrópicas seleccionadas aleatoriamente del tercio bajo y medio de las plantas; como resultados encontraron alta correlación entre incidencia de hojas con roya y número de pústulas esporuladas por hoja ($r^2=0.87$) e incidencia y el área de hojas con pústula ($r^2=0.92$). Samayoa y Sánchez (2000) evaluaron incidencia y severidad en dos sistemas de manejo del café, sistema convencional y sistema orgánico; como resultado encontraron una correlación de 0.91 ($p=0.0001$) para incidencia y severidad en café bajo sistema orgánico y una correlación de 0.84 ($p=0.0001$) en café bajo sistema convencional.

Con base a estos resultados los autores afirman que existe alta correlación entre estas dos variables incidencia y severidad.

Por otro lado, encontraron resultados positivos, derivados del cruzamiento entre Caturra x Híbrido de Timor, utilizando como testigos genotipos con resistencia incompleta, var. Colombia (resistencia completa) y la variedad Caturra (susceptible), como resultado encontró infecciones bajas en el grupo de los híbridos, en un rango de 0.2% a 0.8%, con relación a la variedad Caturra donde la incidencia alcanzó un rango de 29.3% a 48.6% (Alvarado, 2002).

3.8.3. Ojo de gallo

El hongo *Mycena citricolor* (Berk. Y Curt.) Sacc. = *Omphalia flavida* (Maublanc y Rangel) (Muller *et al.* 2004) pertenece a la clase *Basidiomycetes*, orden *Agaricales* y familia *Agaricaceae* (Muller *et al.*, 2004). Este patógeno, es esencialmente predominante en América Latina y causa la enfermedad conocida como “ojo de gallo” (Canet e Ibarra, 2002 y Muller *et al.*, 2004). La importancia de este hongo está relacionada a su naturaleza policíclica (Wang y Avelino, 1999) y a su capacidad de infectar desde tallos, hojas, frutos hasta ramas (Muller *et al.*, 2004), principalmente durante las etapas de fructificación y crecimiento vegetativo del cultivo. Ataques fuertes en las hojas causan caídas prematuras y los ataques en frutos lechosos también originan caída prematura (Fischersworing y Robkam, 2001);

Las condiciones ambientales favorables para la presencia de esta enfermedad son la alta humedad (95%), exceso de sombra (Fischersworing y Robkam, 2001; GRDE, 2006), altitudes sobre los 1200 msnm (Muller *et al.*, 2004), altas precipitaciones, altas densidades de arvenses, temperaturas bajas y muchas horas de mojadura foliar, también los cultivos a pleno sol son sensibles debido al efecto de la desnutrición (GRDE, 2006).

Los medios de transmisión son la semilla, el hombre, insectos y otros animales, y localmente es dispersada por la lluvia y el viento (Fischersworing y Robkam, 2001). Otras características importantes de este hongo son la capacidad de sobrevivir en tejidos muertos y la facultad de mantenerse inactivo durante los meses de verano. El principal daño que ocasiona el ojo de gallo en las plantaciones de café es la defoliación, la cual disminuye considerablemente el área fotosintética de las plantas (López, 2001) y consecuentemente ocasiona pérdidas de cosecha entre 13% y 35%, según los niveles de infección (Muller *et al.*, 2004).

M. citricolor presenta dos tipos de fructificaciones: i) asexual, que se observa como una serie de gemas o cabecitas de pocos milímetros de altura y ii) sexual, que son los carpóporos con un diámetro de unos pocos milímetros y un cm de altura; de las cuales el primero es el principal órgano de diseminación y reproducción del hongo (Wang y Avelino, 1999). El micelio de este hongo consiste de hifas hialinas, bien desarrolladas, septadas y profundamente ramificadas, que generalmente crecen en forma de abanico; siendo el color característico el blanco, amarillo o anaranjado (López, 2001).

El mecanismo de patogénesis de este hongo está relacionado a la producción y liberación del ácido oxálico antes y después de la penetración del hongo al tejido, por ello se cree que al

menos en la fase inicial la lesión causada por este hongo en el hospedante es consecuencia de una disminución en el pH debido a la presencia del mencionado compuesto (Wang y Avelino, 1999). Este ácido secuestra el calcio estructural y el magnesio de los pectatos de las paredes celulares de la planta (Browne, 1990 y Vargas, 1996); para luego producir oxalatos de calcio causando así debilitamiento en la estructura de los tejidos y de esta manera permite que los órganos de crecimiento del hongo invadan el tejido (Vargas, 1996).

Los síntomas de *M. citricolor* se presentan como unas pequeñas manchas redondas hundidas, a veces ovaladas y de diferente tamaño (6 - 10 mm) presentes en las dos caras de las hojas. Las lesiones jóvenes son de color oscuro y las viejas son de color crema y volviéndose pardo al final, lo cual corresponde al estado avanzado de la enfermedad y entonces el tejido afectado puede desprenderse, dejando perforaciones en las hojas (Wang y Avelino, 1999; y López, 2001). Como regla general las manchas redondeadas varían en color desde un marrón castaño a un marrón oscuro (Muller *et al.*, 2004). En las lesiones se producen gran cantidad de “gemas”, que constituyen los órganos de propagación del hongo. Estas lesiones ocasionan la caída de las hojas debido al incentivo del incremento del contenido de etileno (López, 2001).

La importancia del patógeno orienta, a los investigadores relacionados con la actividad agrícola, hacia la búsqueda de estrategias alternativas económica y ecológicamente viables para el manejo de esta enfermedad; una de estas estrategias es la búsqueda de genes de resistencia específica e inespecífica presentes en los recursos genéticos del café incluyendo a los cafés Arábigo etiopíes (Muller *et al.*, 2004), mecanismo que incentiva la estabilización de las razas de los patógenos y consecuentemente contribuye con el equilibrio patológico, ya que las variedades cultivadas se caracterizan por su extrema uniformidad genética (Moreno, 2004). Por otro lado, con base a los resultados de una investigación sobre determinación de la presencia de la enzima trehalasa en el hongo *M. citricolor*, y se concluye que la determinación del carbohidrato trehalosa en los cultivares de café sería útil para la caracterización de susceptibilidad y/o resistencia del hospedante frente a este patógeno (Vargas, 2002).

3.8.4. Mancha de hierro

Esta enfermedad (*Cercospora coffeicola*) ataca al café en cualquier edad desde las plántulas germinadas hasta cafetales adultos, especialmente cuando están mal abonados, sembrados a libre exposición solar o con poca sombra. La enfermedad afecta al follaje y el fruto del café. En las hojas aparecen pequeñas manchas circulares de color marrón rojizo. A medida que crecen, la mancha del centro de ésta se torna gris claro y se rodea de un anillo rojizo. Cuando el ataque

es fuerte ocasiona la caída de hojas y frutos. En las cerezas atacadas la pulpa se pega a la semilla y provoca la “mancha en el café pergamino” (ECURED, 2016).

3.8.5. Mal de hilacha

Enfermedad provocada por el hongo *Pellicularia koleroga* que afecta al cultivo del café produce hilos de micelio de color blancuzco que avanzan por el tallo y las hojas. Los hilos más gruesos se ramifican en el envés de las hojas en forma de una telaraña. Las hojas se secan y se desprenden, pero quedan suspendidas de las ramas por el micelio.

Esta enfermedad es originaria de la India y fue descubierta en un material procedente de este país en 1876. Se encuentra presente en México, Guatemala, El Salvador, Nicaragua, Cuba, Costa Rica, República Dominicana y otros países productores de café.

Se propaga a través del contacto directo, los insectos y las herramientas de trabajo. Un buen manejo de la plantación evita y controla la enfermedad. Su combate se realiza cortando y eliminando las ramas enfermas, tras lo cual se deben desinfectar las herramientas usadas.

Daños de la enfermedad, usualmente, no causa mayores daños, pero en condiciones extremas puede producir la muerte de ramas. Se produce en condiciones de abandono o excesiva sombra de las plantaciones.

Ataca los tallos tiernos, ramas, hojas, yemas florales y cerezas. Generalmente el ataque comienza en la base de las ramas y avanza hacia las puntas. Todas las partes afectadas son cubiertas por una especie de hilos muy finos (Micelio) que posteriormente succionan los jugos celulares o savia de los tejidos. Con el tiempo las partes afectadas se ponen negras por la muerte de los tejidos y las hojas cuelgan como hilachas, de ahí su nombre.

Los síntomas más característicos son la marchites de la planta, en donde las hojas secas quedan colgando. Al examinar de cerca se ve que las hojas están suspendidas de las ramas por unas hilachas color café oscuro, que son filamentos del hongo, los cuales suben al envés de las hojas. En algunos casos el curso de estos filamentos puede seguirse hasta el suelo. Los frutos también pueden ser invadidos (Areny, 2016).

3.8.6. Antracnosis

La antracnosis del café es una de las enfermedades más importantes que afectan a este cultivo. Esta enfermedad es causada por el hongo *Colletotrichum* spp. Diversos factores inciden en el desarrollo de esta enfermedad, entre los que podemos mencionar, condiciones ambientales favorables al desarrollo y multiplicación del patógeno, así como estrés fisiológico en la planta causada por diversos factores como la mala nutrición, el ataque de otras plagas, suelos de mala calidad entre otros (Areny, 2016).

Esta enfermedad ataca plantas de café en todas sus etapas de desarrollo, iniciando desde el vivero, hasta plantas en desarrollo y en producción en la plantación establecida. Afecta las hojas, ramas, flores y frutos del café. Provoca defoliación y muerte regresiva en las ramas, causando la muerte de las plantas o reduciendo su capacidad productiva. La enfermedad se presenta en diferentes condiciones y altitudes, afectando cafetales con diferentes niveles tecnológicos, desde tradicional hasta tecnificado, así como diferentes variedades; se presenta en todas las zonas cafetaleras, tanto en zonas bajas y secas como en zonas altas y húmedas. El hongo que causa la antracnosis es considerado oportunista ya que aprovecha el daño causado por otros organismos o por otros factores para penetrar en el tejido de la planta. El hongo infecta principalmente plantas mal nutridas o plantas que sufren de algún estrés causado por factores climáticos, por factores de manejo o por otras plagas (Areny, 2016).

El mismo autor menciona, en el campo los síntomas de esta enfermedad se manifiestan principalmente en cafetales con mala nutrición, ubicados en suelos pobres en materia orgánica y poco profundos; también es común encontrarla en plantíos enmalezados, así como en plantas que presentan daños causados ya sea por herbicidas, factores climáticos o por otras plagas. Debido a las características del hongo y su forma de ataque, los síntomas que ocasiona son muy variables, y en muchos casos pueden ser confundidos con síntomas causados por otros factores o por otras enfermedades.

Esto puede conducir a realizar un diagnóstico incorrecto, lo que puede tener consecuencias en el manejo de la enfermedad. Es importante destacar que para lograr un manejo oportuno y eficiente de la enfermedad, es determinante el reconocimiento e identificación correcta de los síntomas, así como el entendimiento de los factores que favorecen su desarrollo. La antracnosis es una enfermedad que se presenta en todas las etapas de desarrollo del cultivo; la podemos encontrar en: plántulas en el semillero y plantas jóvenes en el vivero.

3.9. Calidad de café

Leroy *et al.* (2006) señalan que la variación en la calidad del café está determinada por factores genéticos y no genéticos. Avelino *et al.* (2002) mencionan cuatro factores no genéticos relacionadas con la calidad de bebida del café (altitud, pluviometría, acidez del suelo y la sombra) y dos factores genéticos (producción y granulometría). Por otro lado, Regalado (2006) menciona que el tamaño, forma, color y composición química del grano influyen en la calidad del café, además resalta que el tamaño de grano presenta una relación positiva con la calidad de la taza del café. Una característica relacionada con la calidad del café Arábigo que se viene mejorando actualmente con buen progreso en los programas de mejoramiento genético, es el tamaño del grano, así mismo en Robusta el contenido de compuestos bioquímicos (cafeína, azúcares, ácidos clorogénicos y lípidos), relacionados con la calidad de taza del café es otra variable para mejorar. Según Leroy *et al.* (2006), a nivel genético hay una variación para la calidad del café dentro y entre especies, por lo tanto, mediante cruza intra e interespecíficas utilizando la variabilidad disponible es posible mejorar la calidad del café.

La literatura reporta las relaciones encontradas entre la calidad de la bebida y algunos factores genéticos y no genéticos. Avelino *et al.* (2005), mencionan que la relación entre la producción y la acidez de la bebida del café es negativa. Con respecto a los factores no genéticos, señalan que la sombra afecta la calidad del café, por ejemplo, mencionan que en *C. arabica* cv. Costa Rica 95 un dosel de sombra de 40% afecta positivamente el tamaño y composición de los granos, así como, la calidad de bebida, debido a un retraso en la maduración de la pulpa de la cereza hasta por un mes; Avelino *et al.* (2005) mencionan que a mayores altitudes junto con un mayor número de horas de exposición de la pendiente al sol son factores que favorecen una mejor calidad de bebida del café.

3.10. Caracterización morfoagronómico

3.10.1. La caracterización

La caracterización es la descripción de la variación que existe en una colección de germoplasma, en términos de características morfológicas y fisiológicas con alta heredabilidad, es decir características cuya expresión es altamente independiente del medio ambiente, es decir genéticamente determinadas; El objetivo de la caracterización, es generalmente la clasificación de una colección en base a características preferiblemente relacionadas en alguna forma con la utilidad y el uso potencial del material (Valls, 1992).

La caracterización, consiste en describir sistemáticamente la colección de una especie a partir de características botánicas de alta heredabilidad, fácilmente visibles o medibles y que no varían

con el ambiente, así entendida la caracterización se fija básicamente en aspectos morfológicos y fenológicos observados de forma sistemática en las accesiones a través de la comparación con listas de características descriptivas o “descriptorios” (Jaramillo y Baena, 2000).

La información recopilada con la caracterización se basa fundamentalmente en los caracteres morfológicos, mediante los cuales se llega a identificar a los individuos en una forma tal que nos permita encontrar las semejanzas y diferencias entre las colecciones o accesiones dentro de una especie (Rojas, 2003).

Caracterización es conversión de los estados de un carácter en términos de dígitos, datos o valores, mediante el uso de descriptorios y todos los estados de un mismo carácter deben ser homólogos (Gómez, 2000).

3.10.2. Evaluación

La evaluación es importante ya que, mediante esta actividad, no solo se identifica a las accesiones a base de sus características y comportamiento frente al ambiente, sino que se puede encontrar una aplicación o un uso potencial del material disponible. Esta actividad debe estar encaminada a conocer a las accesiones tal cual se comportan en la naturaleza, sin importar las características a obtener si son promisorias o deficitarias (Nieto *et al.*, 1983, citado por Rojas, 2002).

La evaluación es una actividad complementaria que consiste en describir los atributos cualitativos y cuantitativos del germoplasma de una misma especie. Para diferenciarlos y determinar su utilidad, estructura, variabilidad genética y relaciones entre ellas y localizar genes que estimulan su uso en la producción o en el mejoramiento de cultivos (Jaramillo y Baena, 2000).

Los mismos autores sostienen, que la evaluación consiste en describir las características agronómicas de las accesiones (rendimiento y resistencia a estrés biótico y abiótico) generalmente cuantitativas variables con el ambiente y de baja heredabilidad en el máximo posible de ambientes, con el fin de identificar materiales adaptables y con genes útiles para la producción de alimentos y el mejoramiento de cultivos.

3.10.3. Descriptor

Un descriptor, es un atributo cuya expresión es fácil de medir, registrar y evaluar y que hace referencia a la forma, estructura o comportamiento de una accesión. Los descriptorios de

caracterización permiten la discriminación fácil entre fenotipos, que generalmente son altamente heredables, pueden ser detectados a simple vista y se expresan de igual forma en todos los ambientes (Hidalgo, 2003).

Los descriptores son aplicados a la caracterización y evaluación, sobre una colección de plantas debido a que ayudan a su diferenciación y a expresar el atributo de manera precisa y uniforme, lo que simplifica la clasificación, el almacenamiento, la recuperación y el uso de los datos (IPGRI, 2006).

Los descriptores varían de acuerdo a la especie y al criterio de quien ha de utilizarlos, así los fitomejoradores tienden a utilizar descriptores de interés agronómico, los botánicos tratan de tener descriptores que definan aspectos morfológicos, sin tomar en cuenta la regulación genética, los generalistas eligen caracteres cualitativos y cuantitativos (Rea, 1985).

Los descriptores, codificadores o marcadores son características que se expresan más o menos estables bajo la influencia de diferentes condiciones de medio ambiente, permiten identificar los individuos (Gómez, 2000).

3.10.4. Morfología

Estudio e interpretación de las formas y colores de los tejidos, órganos y estructuras (expresiones), y el desarrollo durante el ciclo vital de las plantas (Gómez, 2000).

3.10.5. Carácter

Cualquier propiedad o evidencia taxonómica que varía entre las entidades estudiadas o descritas. Ejemplo: color de la hoja joven (Gómez, 2000).

3.10.6. Estado

Los estados son los posibles valores que ese carácter pueda presentar. (Sneath y Sokal, 1973 citado en Gómez, 2000). Ejemplo para forma del fruto.

3.10.7. Valores o datos

Los valores o datos son registrados que codifica el estado de un carácter. Ejemplo: Cada uno de los valores: 1, 2, 3 y 4 que describen cada uno de los estados de las formas de hoja. (Gómez, 2000).

4. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1. Localización

La investigación se realizó en la región Alto Beni, municipio de Palos Blancos, en predios de la Estación Experimental de Sapecho, perteneciente a la Facultad de Agronomía de la Universidad Mayor de San Andrés. Ubicada a 276 km de la ciudad de La Paz, para su acceso desde la sede de gobierno se recorre un primer tramo hasta llegar a Sapecho (Ruta 3 de la Red Fundamental: La Paz–Trinidad), para continuar hacia el desvío que se dirige a la localidad de Covendo y que pasa por la capital del municipio la ciudad de Palos Blancos ubicado a 10 Km de Sapecho.

El municipio a partir de la línea del Ecuador y el meridiano de Greenwich, se ubica entre los $67^{\circ}00'81''$ de y $71^{\circ}60'81''$ de latitud y $83^{\circ}33'109''$ y $82^{\circ}48'90''$ de longitud Oeste, por lo que geográficamente se localiza en la región sub andina (PDM, 2012).

4.1.1. Ubicación geográfica



Figura 2. Ubicación geográfica de la Estación Experimental de Sapecho – UMSA. Flores, 2016.

4.1.2. Características climáticas

La región de Alto Beni tiene clima subtropical, con suelo franco arcilloso, y de acuerdo a datos meteorológicos pertenecientes a la Estación Experimental de Sapecho (EES), se tiene registros para el área una temperatura promedio de 26°C, con precipitaciones pluviales promedio son de 1.800 mm sin embargo las variaciones topográficas influyen en la distribución de las precipitaciones y con respecto a la humedad relativa es de 80% (EES, 2012; citado en Chipana, 2015). Mientras que las temperaturas extremas máximas mensuales superan los 34°C, y las temperaturas extremas mínimas mensuales descienden de los 16°C (CUMAT - COTESU, 1985; citado en Jiménez, 2014).

4.2. Materiales

4.2.1. Materiales y equipos de campo

Los materiales y equipos utilizados fueron: bolsas de plástico, fluxómetro, machete, cajas de papel periódico, pinzas, vernier, planilla de campo, transportador, despulpadora de café, balanza analítica, hidrómetro, secador, cámara fotográfica y máquina desmalezadora.

4.2.2. Material vegetal

El material vegetal está conformado por diez cultivares de café: CEPAC 1, CEPAC 2, CEPAC 3, CEPAC 4, Icatú Precoz, Catuaí, Tupi, Paraíso, Castillo y Catuai local (testigo). Nueve de los cultivares son de origen brasileño y uno colombiano. El Catuaí local es convencionalmente cultivado en las zonas cafetaleas del norte de La Paz, que ha sido utilizado como testigo.

4.2.3. Diseño experimental

El área de investigación tiene el diseño de bloques completamente al azar; Inicialmente cada unidad experimental tenía 32 plantas con tres repeticiones haciendo un total en la parcela experimental 960 árboles, sin embargo, en el proceso de adaptación al campo definido o por efecto de plagas y enfermedades estos se redujeron.

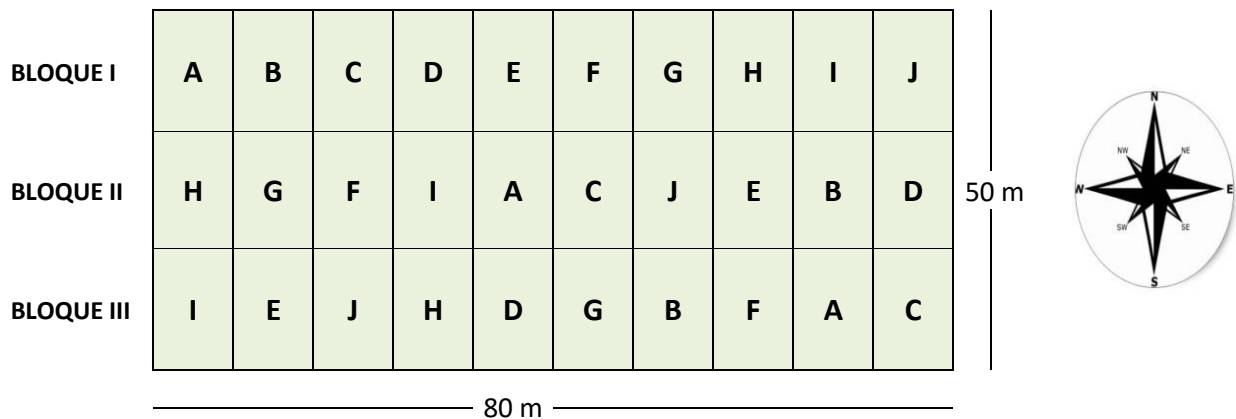


Figura 3. Croquis del diseño experimental de los cultivares de café

CULTIVARES:

- A = CEPAC 1
- B = CEPAC 2
- C = CEPAC 3
- D = CEPAC 4
- E = ICATU PRECOZ
- F = CATUAI ROJO
- G = TUPI
- H = PARAISO
- I = CASTILLO
- J = CATUAI ROJO – TESTIGO

REFERENCIA:

- Sistema de plantación en tres bolillos
- Número de plantas por unidad experimental = 32
- Distancia entre hileras = 1.5 m.
- Distancia dentro hileras = 2.0 m.
- Distancia entre calles = 2.5 y 2.0 m. de planta a planta

4.3. Metodología

4.3.1. Variables de estudio

La caracterización del ensayo de café en la Estación Experimental de Sapecho – UMSA se realizó a través de descriptores: descriptores morfológicos y agronómicos (cuantitativos y cualitativos) (Cuadro 1). Además, se obtuvieron tres variables derivadas, tales como, relación longitud de la hoja/ancho de la hoja, porcentaje de granos pergamino y porcentaje de granos oro con respecto al total de frutos, previamente eliminados los frutos vanos.

Cuadro 1. Descriptores morfológicos y agronómicos utilizados para la caracterización del ensayo de cultivares de café en la Estación Experimental de Sapecho

Descriptores	Cuantitativos	Cualitativos
Morfológicos	Longitud de la hoja (LH) Ancho de la hoja (AH) Longitud del peciolo foliar (LFP) Relación LH/AH Longitud del fruto (LF) Ancho del fruto (AF) Espesor del fruto (EF) Longitud de la semilla (LS) Ancho de la semilla (AS) Espesor de la semilla (ES)	Hábito de planta (HP) Desarrollo vegetativo de la planta (DVP) Color de la hoja joven (CHJ) Forma de la hoja (FH) Forma del ápice de la hoja (FAH) Posición de la inflorescencia (PI) Forma del fruto (FF) Forma del disco del fruto (FDF) Color del fruto (CF) Color de la semilla (CS) Forma de la semilla (FS)
Agronómicos	Altura de planta (AP en cm) Ángulo de inserción de las ramas primarias (AIRP) Frutos vanos (FV en %) Semillas tipo caracol (SC en %) Daño de broca en número de frutos (DBF en %) Daño de broca en número de semillas (DBS en %) Incidencia de roya (IR en %) Incidencia de ojo de gallo (IOG en %) Peso de frutos por planta (PFP) Rendimiento de grano pergamino (GP en %) Peso de 100 granos oro al 11% de contenido de humedad Rendimiento de grano oro (GO en %)	Hábito de ramificación (HR)

Fuente: IPGRI, 1996.

4.3.2. Método estadístico

Para realizar la caracterización agromorfológica de las accesiones de café consideradas, se procedió al análisis descriptivo, posteriormente el análisis multivariado para tal efecto se realizó primero una tabla matriz básica ($p \times n$) de datos tanto de características de los frutos, flores, hojas y de rendimiento de acuerdo al procedimiento descrito por Plá (1996), en donde “p” representa el número de las accesiones y “n” al número de variables estudiadas.

4.3.2.1. Muestreo

El muestreo de órganos de las plantas para la caracterización morfológica y agronómica fue aleatorio en la unidad de muestreo (árbol), excepto para la evaluación de incidencia de enfermedades como: ojo de gallo y roya, para ellos se realizó un muestreo sistemático debido a las particularidades patológicas del hongo que infecta tejidos de hojas que completaron su etapa de crecimiento (hojas que alcanzaron la madurez fisiológica).

El muestreo sistemático se realizó solamente para la evaluación de la incidencia de roya y ojo de gallo para lo cual se marcó cuatro bandolas productivas, tomando en cuenta la referencia de los puntos cardinales, en el tercio medio de cada árbol de café. El tamaño de la muestra se determinó según la variación de la variable.

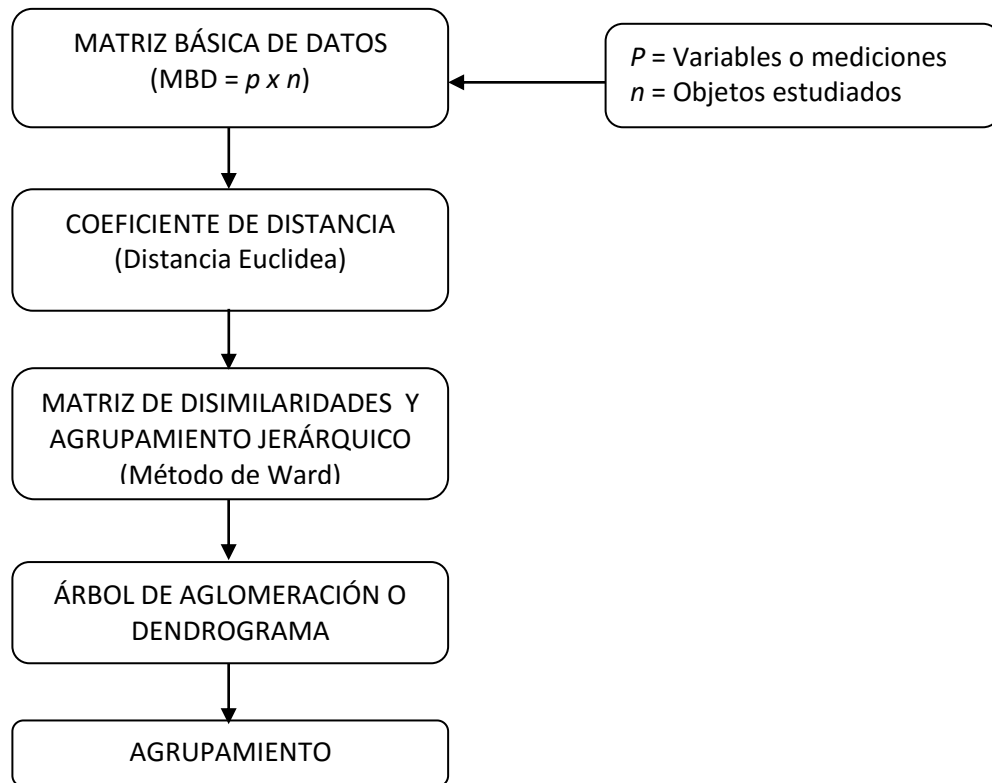
4.3.2.2. Análisis multivariado para la caracterización morfológica y agronómica de diez cultivares de café en la E.E.S. – UMSA

El análisis multivariado permite describir las cultivares tomando en cuenta simultáneamente varias características sin dejar de considerar la relación existente entre ellas.

La caracterización morfológica y agronómica fue analizada utilizando el programa InfoStat/Versión 2008. Se realizó un análisis exploratorio a través de los estadísticos descriptivos (media, desviación estándar, error estándar, coeficiente de variación) para tener una visión general sobre la variabilidad de las características cuantitativas a nivel de los cultivares de café en estudio. Así mismo los resultados experimentales fueron sometidos al análisis de varianza y luego obtener la prueba de Duncan (5%) para la comparación de medias de las variedades de café. Posteriormente se realizó un análisis de correlación entre las variables cuantitativas con la finalidad de detectar variables altamente correlacionadas ya sea en forma positiva o negativa; finalmente el análisis de conglomerados (distancia euclídea y método de ward) para explorar la similitud entre cultivares de café en las variables observadas y componentes principales para estudiar simultáneamente la relación entre variables cuantitativas y la relación entre cultivares de café.

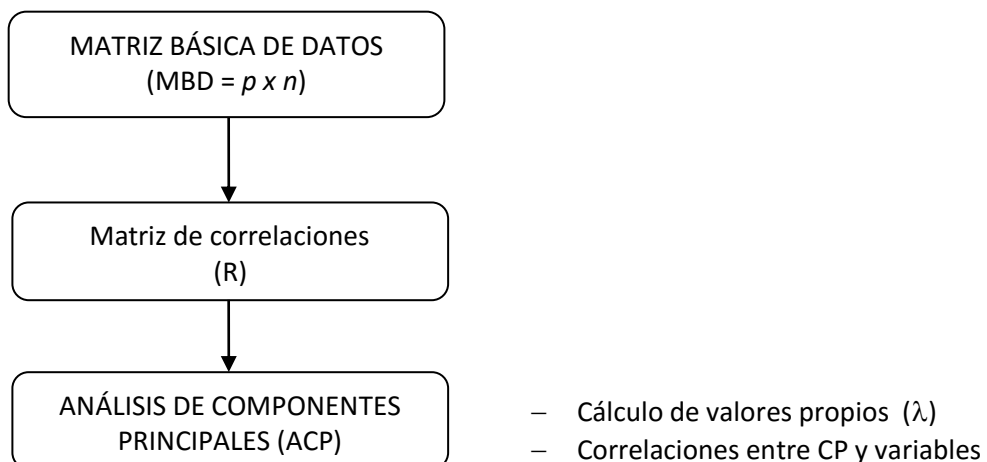
4.3.2.3. Formación de cluster

Para formación de cluster los pasos seguidos fueron los siguientes:



4.3.2.4. Formación de Análisis de Componentes Principales (ACP)

Para formación de análisis de componentes principales, los pasos seguidos fueron los siguientes:



4.3.3. Caracterización de las plantas y ramas

Para la caracterización de las plantas y ramas se consideraron tres descriptores cualitativos: hábito de planta, desarrollo vegetativo de la planta y color de la hoja joven.

4.3.3.1. Hábito de planta

Se contó el número de troncos por planta y se midió en el tallo dominante la altura del tronco, en metros. Con base a los tres datos, el hábito de las plantas fue clasificada mediante códigos 1 – 3, donde (1) codifica hábito matorral (altura de la planta < 5 m y sin un tronco preciso), (2) arbusto o árbol pequeño (altura de la planta < 5 m y con uno a más troncos) y (3) árbol (altura de la planta > 5 m y tronco único). El criterio para elegir el tallo dominante fue la altura de los tallos que presentaron al momento de la observación (Aguilar, 2000).

4.3.3.2. Desarrollo vegetativo

Se determinó mediante observación de la arquitectura de la planta distinguiéndose en (1) monopódico y (2) simpódico.

4.3.3.3. Color de la hoja joven

Se seleccionaron al azar cinco puntos apicales de cinco ramas diferentes, donde se describió el color de las hojas más jóvenes utilizando la tabla estándar para colores denominada *Royal Horticultural Society Colour Chart*. El color de las hojas jóvenes se clasificó utilizando códigos del 1-5, donde (1) verdusca, (2) verde, (3) amarronada, (4) marrón rojiza y (5) bronce. El color de la hoja joven por planta se determinó con base a la moda de las cinco observaciones, distinguiéndose finalmente en dos grupos, color verde de la hoja joven y color amarronada de la hoja joven.

4.3.4. Caracterización de la hoja

La caracterización de la hoja se realizó mediante tres descriptores cuantitativos: longitud de la hoja, ancho de la hoja y longitud del peciolo foliar, y dos descriptores cualitativos: forma de la hoja y forma del ápice de la hoja. Para medir/observar estas características se muestreó aleatoriamente cinco hojas maduras, mayores al tercer nudo de la yema terminal de la rama, ubicadas en diferentes ramas (IPGRI, 1996).

4.3.4.1. Longitud de la hoja

Para la medición de la longitud de la hoja se utilizó un vernier digital y se midió en milímetros desde el peciolo hasta el ápice de la hoja. El descriptor por planta se expresó como el promedio de las cinco mediciones.

4.3.4.2. Ancho de la hoja

El procedimiento fue similar a la medida del largo de la hoja. Se midió en milímetros las cinco hojas en el punto más ancho, y luego el valor del ancho de la hoja por planta se expresó como el promedio de las cinco mediciones.

4.3.4.3. Longitud del peciolo foliar

Se midieron en milímetros las cinco hojas desde la base del peciolo hasta la inserción con la lámina foliar, el valor del descriptor por planta se expresó como el promedio de las cinco mediciones.

4.3.4.4. Forma de la hoja

La caracterización de la forma de la hoja se realizó mediante códigos del 1 – 4, donde (1) abovada, (2) ovada, (3) elíptica y (4) lanceolada (IPGRI, 1996). El tipo de descriptor por planta quedó determinado por la moda de las cinco observaciones.

4.3.4.5. Forma del ápice de la hoja

Para la caracterización de la forma del ápice de la hoja se utilizaron códigos del 1-6, donde (1) redonda, (2) obtusa, (3) aguda, (4) puntiaguda, (5) apiculada y (6) espatulada (IPGRI, 1996). El tipo de descriptor por planta se determinó con base a la moda de las cinco observaciones.

4.3.5. Caracterización de la inflorescencia y de la flor

La caracterización de la inflorescencia se realizó mediante dos descriptores: posición de la inflorescencia (cualitativo) y longitud del tallo de la inflorescencia (cuantitativo). La caracterización de la flor se realizó mediante descriptor cuantitativo discreto: número de flores por nudo.

El proceso de la floración en el cultivo de café comprende varias etapas, como la inducción, iniciación, diferenciación, crecimiento y desarrollo, latencia y anthesis (Camayo *et al.*, 2003).

La caracterización de la inflorescencia y de la flor es importante porque el sistema de clasificación dentro de los dos géneros, *Coffea* y *Psilanthus*, está basado en su estructura floral (Charrier y Eskes, 2004), además dentro de las especies está relacionada con la capacidad de producción de los árboles.

4.3.5.1. Posición de la inflorescencia

La caracterización de esta variable se realizó mediante la observación de la posición de la inflorescencia en cinco ramas con abundante floración seleccionadas aleatoriamente del tallo dominante o tallos laterales. Luego el valor del descriptor por planta se expresó como la moda de las cinco observaciones.

4.3.5.2. Número de flores por nudo

En los 10 nudos seleccionadas para el caso anterior se contó el número de flores por nudo floral, luego se estimó el promedio de flores para cada nudo y finalmente el valor del descriptor por planta quedó expresado como el promedio de los 10 nudos.

4.3.6. Caracterización del fruto

La caracterización de frutos se realizó en tres cosechas: segunda, tercera y cuarta cosechas respectivamente. En este caso se utilizaron tres descriptores cuantitativos (largo del fruto, ancho del fruto y espesor del fruto) y tres descriptores cualitativos (forma del fruto, color del fruto y forma del disco del fruto). Los descriptores cuantitativos fueron medidos utilizando un vernier y para el caso de los descriptores cualitativos se utilizaron muestras de imágenes para comparación. Todos los descriptores fueron medidos/observados en una muestra de cinco frutos sanos seleccionados al azar. El valor de las características cuantitativas por planta se expresó como la media de las tres evaluaciones y para las características cualitativas se estableció como la moda del total de las 15 observaciones.

4.3.6.1. Largo del fruto

Se midió en milímetros en la parte más larga del fruto (IPGRI, 1996) luego el valor del descriptor por planta se expresó como la media de las tres mediciones.

4.3.6.2. Ancho del fruto

También fue medido en milímetros en la parte más ancha del fruto (IPGRI, 1996). Finalmente, el valor del descriptor por planta se consideró como la media de las tres mediciones.

4.3.6.3. Espesor del fruto

Se midió en milímetros a lo largo del tabique que separa a las dos semillas (León, 2000 citado en Ignacio, 2007). El valor del descriptor por planta fue la media de las tres mediciones

4.3.6.4. Forma del fruto

Para describir la forma del fruto se utilizaron figuras establecidas clasificadas en códigos del 1-5, donde (1) redondeada, (2) obovada, (3) oval, (4) elíptica, (5) oblonga (IPGRI, 1996). La forma del fruto por planta se determinó con base a la moda del total de los 15 frutos (total de las tres muestras) caracterizados (IPGRI, 1996).

4.3.6.5. Forma del disco del fruto

Esta característica también se caracterizó mediante códigos del 1-4, donde (1) disco no marcada, (2) disco marcado, pero no prominente, (3) disco prominente y (4) disco forma picuda (IPGRI, 1996) luego la forma del disco del fruto por planta se determinó en forma similar a la característica anterior.

4.3.6.6. Color del fruto

El color del fruto se describió utilizando la tabla estándar para colores denominada *Royal Horticultural Society Colour Chart*, el color de los frutos se clasificó utilizando códigos del 1-10 donde (1) amarillo, (2) amarillo naranja, (3) naranja, (4) naranja rojizo, (5) rojo, (6) rojo púrpura, (7) púrpura, (8) púrpura violeta, (9) violeta y (10) negro (IPGR, 1996). El color del fruto por planta se determinó en función a la moda del total de los frutos evaluados.

4.3.7. Caracterización de la semilla

La caracterización de las semillas se realizó entre 30% a 40% de contenido de humedad en los granos pergamino. Se utilizaron tres descriptores cuantitativos (largo de la semilla, ancho de la semilla y espesor de la semilla) y dos cualitativos (color y forma de la semilla). El tamaño de muestra utilizada fue de cinco semillas seleccionadas aleatoriamente del total de semillas de las tres cosechas por planta.

Los descriptores cuantitativos fueron medidos utilizando el mismo equipo graduado en milímetros que se utilizó para medir los frutos, mientras que para los descriptores cualitativos se utilizaron muestras de imágenes para comparación.

4.3.7.1. Largo de la semilla

Se midió en milímetros en la parte más larga del fruto (IPGRI, 1996). El valor del descriptor por planta fue establecido como la media de las cinco mediciones.

4.3.7.2. Ancho de la semilla

Fue medido en milímetros en la parte más ancha del fruto (IPGRI, 1996). También el valor del descriptor por planta fue establecido como la media de las cinco mediciones.

4.3.7.3. Espesor de la semilla

Se midió en milímetros teniendo como línea de referencia la marca del hilo central de las semillas. El valor del descriptor por planta fue establecido como la media de las cinco mediciones

4.3.7.4. Color de la semilla

De acuerdo con IPGRI (1996) el color de la semilla es una característica polimórfica dentro del género *Coffea*. El color de las semillas se caracterizó utilizando la tabla estándar para colores denominada *Royal Horticultural Society Colour Chart* y la escala de clasificación para color de semillas propuesto por el IPGRI (1996) cuyos códigos van del 1-2, donde (1) amarilla y (2) marrón-púrpura. Finalmente, el color de la semilla por planta fue establecido como la moda de las cinco observaciones.

4.3.7.5. Forma de la semilla

La forma de la semilla fue caracterizada comparando con las muestras de imágenes utilizadas para la caracterización de frutos, luego para describir se utilizaron códigos del 1-5, donde (1) redonda, (2) obovada, (3) oval y (4) elíptica y (5) oblonga (IPGRI, 1996). El valor del descriptor fue establecido como la moda de las cinco observaciones.

4.4. Caracterización agronómica de diez cultivares de café en la Estación Experimental de Sapecho

4.4.1. Caracterización de la arquitectura de la planta

La caracterización de la arquitectura de la planta se realizó a través de dos descriptores cuantitativos: altura de la planta y ángulo de inserción de las ramas primarias y un descriptor cualitativo, hábito de ramificación.

La altura de planta, el ángulo de inserción de las ramas primarias y el hábito de ramificación son características determinantes de la arquitectura de la planta del café, la cual, se caracteriza por presentar un solo tallo o múltiples tallos verticales principales, los cuales, llevan ramas horizontales primarias con diferentes ángulos de inserción en cada internudo para formar ramas horizontales secundarias (Charrier y Eskes, 2004).

4.4.1.1. Altura de planta

Se midió en metros, desde el nivel del suelo a la base del tallo hasta el punto apical del tallo dominante (Angrand, 2002).

4.4.1.2. Ángulo de inserción de las ramas primarios

Se tomaron aleatoriamente cinco ramas primarias en el tallo dominante y con un transportador se midió el valor del ángulo en grados sexagesimales entre el tallo y las ramas primarias. El ángulo de inserción por planta se expresó como la media aritmética de las cinco medidas.

4.4.1.3. Hábito de ramificación

Para esta característica se contó el número de ramas (primarias, secundarias, terciarias, etc.) en cinco ramas principales seleccionadas aleatoriamente en el tallo principal de la planta. Luego el hábito de ramificación de las plantas se clasificó según el nivel de ramificación alcanzada al momento de la observación, para lo cual, se utilizaron códigos del 1-6, donde (1) muy pocas ramas primarias, (2) muchas ramas primarias con algunas ramas secundarias, (3) muchas ramas primarias con muchas ramas secundarias, (4) muchas ramas primarias y secundarias con algunas ramas terciarias, (5) muchas ramas primarias con muchas ramas secundarias y terciarias y (6) muchas ramas primarias, secundarias y terciarias con algunas ramas cuaternarias.

4.4.2. Evaluación del peso de bayas y peso de granos pergamino

La evaluación del peso de frutos en cereza (PFC) se realizó por planta y luego se determinó el peso total por accesión, mientras que el peso de granos oro se realizó sólo por accesión. Para la evaluación de los frutos por árbol se cosecharon las cerezas que alcanzaron la madurez fisiológica, luego se pesó en gramos el total de bayas en cada cosecha (Alvarado *et al.*, 2002 y Alvarado, 2005) utilizando una balanza de precisión. Para la recolección de frutos en campo se utilizó bolsas plásticas debidamente marcadas con el número del cultivar y planta. El valor de la variable respuesta se estableció como el peso total de frutos en cereza por árbol de todas las cosechas realizadas y expresada en gramos.

El peso de granos pergamino (PGP) se determinó para cada planta con una balanza de precisión y luego se determinó el peso total por cultivar. Antes del pesado se clasificaron los granos pergamino sanos y los brocados, el peso se determinó sobre el total de granos sanos, para todas las cosechas, entre los 15 – 20 días después del beneficio (30% – 40% de contenido de humedad).

Con las variables PFC por cultivar, el PGP y el PGO al 11% de contenido de humedad, se determinaron el porcentaje de grano pergamino (% GP) y el porcentaje de grano oro (% GO) por cultivar calculadas mediante la Fórmula 1 (Fischersworrning y Robkam, 2001):

$$\text{Fórmula 1: } \%GP (\%GO) = PGP/PFC \times 100 (PGO/PFC \times 100)$$

4.4.3. Evaluación de frutos vanos

Los frutos vanos (FV) se originan por aborto tardío del óvulo fecundado, el cual detiene el crecimiento del endospermo, pero no el de la cavidad locular; este fenómeno puede ocurrir sólo en uno de los granos o en ambos granos del fruto y las causas pueden ser genéticos o fisiológicos (Alvarado *et al.*, 2002 y Regalado, 2006). La evaluación de esta variable se realizó en tres cosechas consecutivas: segunda, tercera y cuarta cosecha mediante el método de flotación (Alvarado *et al.*, 2002) utilizando un recipiente de 20 l lleno con agua. El tamaño de muestra fue de 100 frutos sanos, excepto en las plantas que no llegaron a producir 100 frutos por cosecha se consideró el total de frutos sanos. Se contó y registró la cantidad de frutos que flotan una vez sumergidas al recipiente con agua. Luego el valor de la variable para cada cosecha se estableció como la proporción de FV por planta, la cual fue determinada como el porcentaje del número de frutos flotantes (NFF) sobre el número total de frutos (NTF) multiplicado por 100 (Fórmula 2). Finalmente, el valor de la variable respuesta para cada planta

se estableció como el promedio del porcentaje de frutos vanos de las tres evaluaciones.

$$\text{Fórmula 2: } FV (\%) = (NFF/NTF) \times 100$$

4.4.4. Evaluación de semillas tipo caracol

Las semillas tipo caracol (SC) se originan cuando uno de los óvulos aborta tempranamente y además, se produce atrofia en la cavidad locular (Alvarado *et. al* 2002). Para la evaluación de las SC se juntó y secó las semillas de cuatro cosechas (cosechas dos, tres, cuatro y cinco), se realizaron muestreos aleatorios de 100 semillas sanas por planta, del total de cosechas; en este caso se utilizó del total de semillas disponibles. En la muestra se separó y contó el número de semillas que tienen forma redondeada, es decir las semillas que no presentan el plano convexo o planchuela (Regalado, 2006). Se registró el número total de SC por planta y luego el valor de la variable respuesta se estableció como la proporción de SC determinado como la relación entre el número de semillas tipo caracol (NSC) y el número total de semillas (NTS) muestreadas multiplicada por 100 (Fórmula 3).

$$\text{Fórmula 3: } SC (\%) = (NSC/NTS) \times 100$$

4.4.5. Evaluación del daño de broca

Para tal fin la evaluación de broca se realizó en tres cosechas: Las dos variables consideradas fueron: 1) proporción de frutos perforados por árbol, el cual es considerado por Montoya (1997) como una forma de evaluar infestación de broca en el cultivo de café; 2) proporción de semillas perforadas por árbol. Se decidió seguir esta metodología considerando el enunciado de Montoya (1997) quien señala que los niveles de población de la broca son muy difíciles de estimar debido a la distribución agregativa del escolítido y la heterogeneidad de las plantaciones, por lo tanto, evaluando las dos variables trató de medir los efectos de la población de adultos (perforación en frutos) y de la población de larvas (perforación en semillas).

Para determinar el porcentaje de frutos perforados se utilizó un tamaño de muestra de 100 frutos (Castaño *et al.*, 2005). Se contó y registró el número total de frutos perforados y luego el valor de la variable se determinó como la proporción del daño de broca en frutos (DBF) por árbol mediante la relación entre el número de frutos brocados (NFB) sobre el número total de frutos (NTF) muestreados multiplicado por 100 (Fórmula 4).

$$\text{Fórmula 4: } PFP (\%) = (NFB/NTF) \times 100$$

La evaluación de la variable proporción del daño de broca en semillas se realizó 15 días después de la cosecha, cuando las semillas tenían entre 30% a 40% de humedad. La metodología que se empleó fue la misma que se describió para la variable anterior.

4.4.6. Evaluación de la incidencia de roya

La evaluación de la incidencia a roya (*H. vastatrix*) se realizó entre los meses de febrero a julio, dicha evaluación consistió en la estimación de la cantidad de inóculo bajo condiciones de infección natural.

Se seleccionaron y se marcaron sistemáticamente cuatro ramas productivas (una en cada punto cardinal) en el tercio medio de la planta. En cada una de las bandolas marcadas la evaluación de roya se realizó cada 30 días (Alvarado, 2004), esta metodología fue determinada considerando el tiempo requerido para el desarrollo de síntomas de la enfermedad (20 días) (Eskes, 2004). En el eje primario de las ramas marcadas (Silva – Acuña *et al.*, 1999) se contó y registró el número total de hojas y el número de hojas con lesiones en esporulación, cualquiera que sea la cantidad de lesiones presentes en cada hoja (Alvarado y Castillo, 1997). La variable respuesta se expresó como el porcentaje de incidencia de roya (IR) por planta, que fue determinado por la relación entre el número de hojas afectadas (NHA) y el número de hojas presentes (NHP) en la bandola en el momento de cada lectura (Fórmula 5) (Alvarado y Castillo, 1997) luego adoptando la metodología de Alvarado y Moreno (2005) con base a esta variable se discriminó las plantas por accesión que presentaron menores o mayores incidencias de roya.

$$\text{Fórmula 5: } IR (\%) = (NHA/NHP) \times 100$$

4.4.7. Evaluación de la incidencia de ojo de gallo

La evaluación de la incidencia a *M. citricolor* se realizó entre los meses de febrero a julio, considerando que en estos meses el ambiente es más favorable para el desarrollo de la enfermedad debido a un incremento de la humedad que coincide con niveles de mayor precipitación (López, 2001). Se seleccionaron aleatoriamente tres bandolas (una en cada tercio del árbol) (Samayoa, 1999), en cada una de las bandolas la evaluación del hongo fitopatógeno se realizó cada 30 días. En el eje primario de las bandolas marcadas se contó y registró el número total de hojas y el número de hojas enfermas, con las cabecitas o gemas del hongo (Umaña *et al.*, 1990). La variable respuesta se expresó como el porcentaje de incidencia de ojo de gallo (IOG) por planta y fue determinado utilizando la misma fórmula matemática establecida para el caso de roya.

5. RESULTADOS Y DISCUSIONES

5.1. Análisis de las propiedades físico – químico de suelo

El suelo del ensayo nacional de cultivares de café, donde se realizó la investigación presenta una clase textural franco arcillosa (FY), con un pH de 6,27 en agua, los cationes de cambio (CIC) son 12,57 meq/100 g suelo; mayor presencia de calcio con 10,93 meq/100 g suelo, magnesio de 1,26 meq/100 g suelo, aluminio con 0,15 meq/100 g suelo, potasio con 0,14 meq/100 g suelo y sodio con 0,1 meq/100 g suelo. También presentan fósforo asimilable de 5,92 ppm y con 2,58% de nitrógeno total. El análisis de suelo realizado en Instituto Boliviano de Ciencia y Tecnología Nuclear – IBTEN, unidad de Análisis y Calidad Ambiental.

El requerimiento nutricional de café cultivado en condiciones extensivas a pleno sol, las plantas exigen altas cantidades de nutrientes. Normalmente los primeros dos años son menores y es importante en esta fase no exceder de nitrógeno ya que generará un desequilibrio de la parte aérea con la radicular (YARA, 2016).

El mismo autor indica que después de tres años en adelante requerimiento nutricional para los frutos es mayor, el mantillo y la poda ayuda a reciclar los nutrientes, pero cantidades óptimas de nutrientes son necesarias para satisfacer las necesidades del árbol, para un rendimiento promedio de 3000 kg cO/ha de café arábico, el requerimiento nutricional son las siguientes: nitrógeno asimilable 163 kg N/ha/año, fósforo (P_2O_5) 26 kg/ha/año, potasio (K_2O) 154 kg/ha/año, Calcio (CaO) 74 kg/ha/año, magnesio (MgO) 33 kg/ha/año y azufre 14 kg/ha/año.

Sin embargo, haciendo una conversión de datos del análisis del suelo en nutrientes disponibles presenta los siguientes datos: nitrógeno disponible 21,67 kgN/ha/año, 14,43 kg P_2O_5 /ha/año y 138, 74 kg K_2O /ha/año.

Por tanto, existe una deficiencia de macro nutrientes disponibles para el cultivo, que puede ser causal de la variación de algunos variables en estudio.

Según Malavolta, 1990. La absorción de micronutrientes para el café arábico con plantas de 6 años de edad y un rendimiento de 3000 kg/ha de café oro se requiere de hierro 2202 g/ha/año, manganeso de 746 g/ha/año, zinc 489 g/ha/año, cobre de 360 g/ha/año y boro de 199 g/ha/año. El 55% de hierro absorbido en el fruto se queda en café almendra mientras el 85% de zinc absorbido en fruto se va en la pulpa (citado en YARA, 2016).

5.1.1. Variables cualitativas con frecuencia absoluta

Según las observaciones de resultados, los descriptores morfológicos cualitativos como: desarrollo vegetativo de la planta (monopódica), forma de hoja (lanceolada), forma del ápice de la hoja (apiculada), forma del fruto (obovada), forma de la semilla (obovada) y color de la semilla (amarilla) tienen eventos o estados iguales para todos los cultivares de café en estudio. Según Ignacio, 2007. Los descriptores con tendencias iguales deben ser descartados del análisis de datos. Por tanto, han sido excluidos para el análisis comparativo.

5.1.2. Evaluación de la altura de planta

Cuadro 2: análisis de varianza para la altura de planta

Fuentes de variación	SC	GL	CM	F	P>F	
BLOQUE	0,31	2	0,16	1,25	0,309	NS
CULTIVAR	4,45	9	0,49	3,96	0,006	**
Error	2,25	18	0,12			
Total	7,01	29				

CV = 16,61

Dónde: SC = suma de cuadrados; GL = grados de libertad; CM = Cuadrado Medio; F = valor calculado de F; p = significancia (P>F): p > 0.05 = NS (no significativo); p < 0.05 = * (significativo); p < 0.01 = ** (altamente significativo).

El cuadro 2, de análisis de varianza, acerca de la variable altura de planta indica que entre bloques no existe diferencia significativa, mientras que entre cultivares se observa una diferencia altamente significativa. En el cuadro 3, de comparación de medias se observa que el cultivar Icatu Precoz se diferencia de las demás con una altura de 3,17 m, presentando la menor altura CEPAC – 3 con 1,65 m. Al respecto Sera. (2008), clasifica a Icatu Precoz como un cultivar de porte alto con una altura promedio de 3,5 m, la ramificación regular con entrenudos largos exige espaciamientos entre 3,0 – 4,0 m entre hileras y de planta a planta 0,70 m. También menciona, que este cultivar se adapta a sistemas a pleno sol, debido a su porte grande que genera auto sombra.

Cuadro 3: prueba de Duncan para altura de planta por cultivar de café

CULTIVAR	MEDIA (m)	N	E.E.	Duncan (0.05)
ICATU PRECOZ	3,17	3	0,20	A
CEPAC 1	2,36	3	0,20	B
TESTIGO – CR	2,1	3	0,20	B C
CASTILLO	2,04	3	0,20	B C
PARAISO	2,03	3	0,20	B C
TUPI	2,02	3	0,20	B C
CEPAC 4	1,97	3	0,20	B C
CATUAI ROJO	1,96	3	0,20	B C
CEPAC 2	1,96	3	0,20	B C
CEPAC 3	1,65	3	0,20	C

Dónde: E.E. = Error Estándar

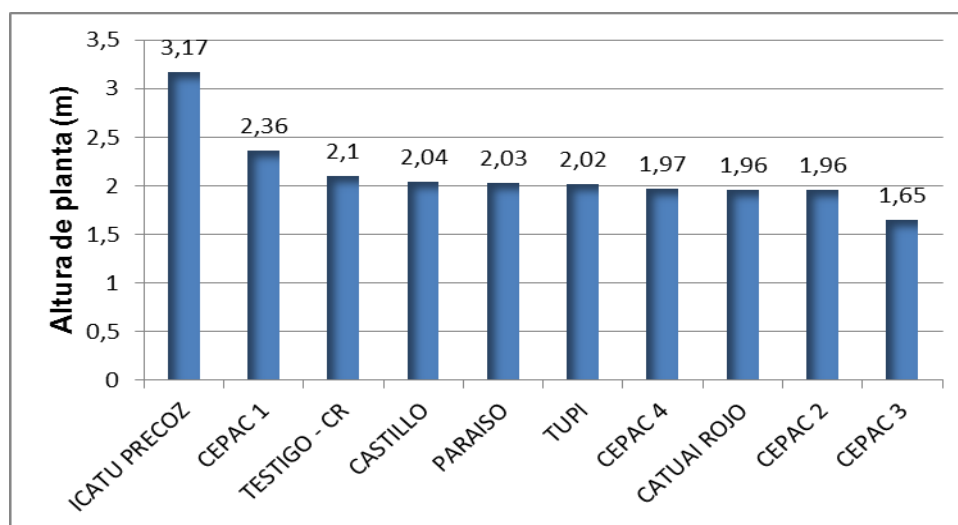


Gráfico 1. Medias de altura de planta por cultivar de café

5.1.3. Evaluación del peso de fruto en cereza

Cuadro 4: análisis de varianza para el peso de fruto en cereza

Fuentes de variación	SC	GL	CM	F	P>F	
BLOQUE	41374516	2	20687258	8,54	0,0025	**
CULTIVAR	12962567	9	1440285	0,59	0,7853	NS
Error	43614981	18	2423055			
Total	97952065	29				

CV = 48,40

Dónde: SC = suma de cuadrados; GL = grados de libertad; CM = Cuadrado Medio; F = valor calculado de F; p = significancia (P>F): p > 0.05 = NS (no significativo); p < 0.05 = * (significativo); p < 0.01 = ** (altamente significativo).

En la variable de peso de fruto en cereza por planta, entre bloques existe diferencias altamente significativas; este factor se atribuye al diferente grado de desarrollo de los cultivares en los diferentes bloques. Mientras entre cultivares la diferencia es no significativa, sin embargo, es importante considerar este variable en el estudio porque es indirectamente proporcional al ingreso económico por tal motivo se describe los promedios por cultivar en el gráfico N° 5.

Al respecto Manzaneda (2007) indica que, para obtener el peso real de las cerezas, únicamente debe cosechar los frutos maduros, dejando los verdes o pintones ya que los mismos producirán granos de baja calidad. También indica que se debe eliminar hojas, palos y frutos quebrados.

Por tan motivo en el cuadro 5, es para mostrar las medias y errores estándar por cada cultivar de café y no es necesario realizar la prueba de Duncan.

Cuadro 5: Medias y error estándar para el peso de fruto en cereza por planta

CULTIVAR	MEDIA (g)	N	E.E.
CEPAC 4	4496,33	3	898,71
PARAISO	3768,00	3	898,71
CEPAC 3	3535,89	3	898,71
CEPAC 1	3507,11	3	898,71
TUPI	3435,78	3	898,71
CASTILLO	3152,67	3	898,71
CEPAC 2	3078,44	3	898,71
ICATU PRECOZ	2624,56	3	898,71
CATUAI ROJO	2367,89	3	898,71
TESTIGO – CR	2191,56	3	898,71

Dónde: E.E. = Error Estándar

En el cuadro anterior se puede observar que el cultivar CEPAC 4 tiene un rendimiento mayor en cereza llegando alcanzar 4496 gramos y el menor rendimiento es el cultivar Catuai local (testigo), con 2191 gramos de fruto en cereza por planta, esta variable es directamente proporcional a granos pergamino y café oro para todos los cultivares, considerando el porcentaje de frutos vanos.

De acuerdo a la ficha técnica de CENICAFE (2008). Indica que el 20% es el valor del café pergamino. Mientras Uribe (1977), señala que el 22% es el valor de café pergamino.

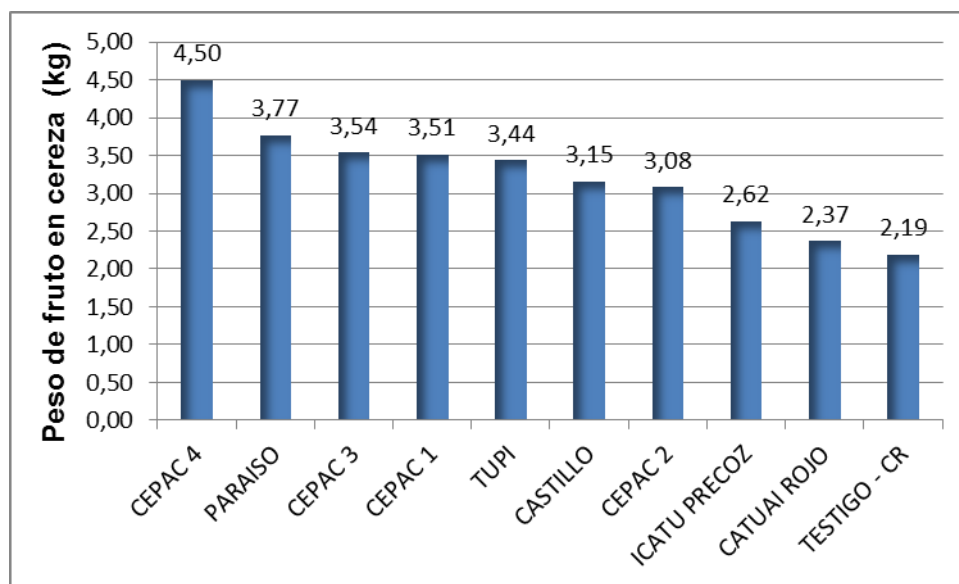


Gráfico 2. Medias del peso de fruto en kilogramos planta por cultivar en cereza

5.1.4. Evaluación del porcentaje de semillas tipo caracol

Cuadro 6: análisis de varianza para el porcentaje de semillas tipo caracol

Fuentes de variación	SC	GL	CM	F	P>F	
BLOQUE	132,2	2	66	4	0,0355	NS
CULTIVAR	538,53	9	60	4	0,0092	**
Error	294,47	18	16			
Total	965,2	29				

CV = 21,75

Dónde: SC = suma de cuadrados; GL = grados de libertad; CM = Cuadrado Medio; F = valor calculado de F; p = significancia (P>F); p > 0.05 = NS (no significativo); p < 0.05 = * (significativo); p < 0.01 = ** (altamente significativo).

En análisis de varianza para el porcentaje de semillas caracol, que los valores no presentan diferencias significativas entre bloques y una diferencia altamente significativa entre cultivares. El Cultivar Castillo ha presentado mayor cantidad de semillas tipo caracol relacionadas a sus características.

Las semillas tipo caracol, se produce por el crecimiento aislado de uno de los lóculos; debido al aborto inicial de uno de los óvulos. Las semillas en su crecimiento libre toma la forma redondeada. Este efecto se presenta debido a irregularidades meióticas. Cuando el desarrollo de un grano se paraliza temprano, el otro puede llenar enteramente el espacio del fruto (Anthony *et al.*, 1980).

Cuadro 7: prueba de Duncan para el porcentaje de semillas tipo caracol

CULTIVAR	MEDIA (%)	N	E.E.	DUNCAN (0.05)	
CASTILLO	27,33	3	2,34	A	
CEPAC 4	23,33	3	2,34	A	B
TUPI	23,33	3	2,34	A	B
CEPAC 3	18,33	3	2,34		B C
TESTIGO – CR	17,33	3	2,34		B C
CEPAC 1	16,00	3	2,34		B C
ICATU PRECOZ	15,67	3	2,34		B C
CATUAI ROJO	15,00	3	2,34		C
PARAISO	15,00	3	2,34		C
CEPAC 2	14,67	3	2,34		C

Dónde: E.E. = Error Estándar

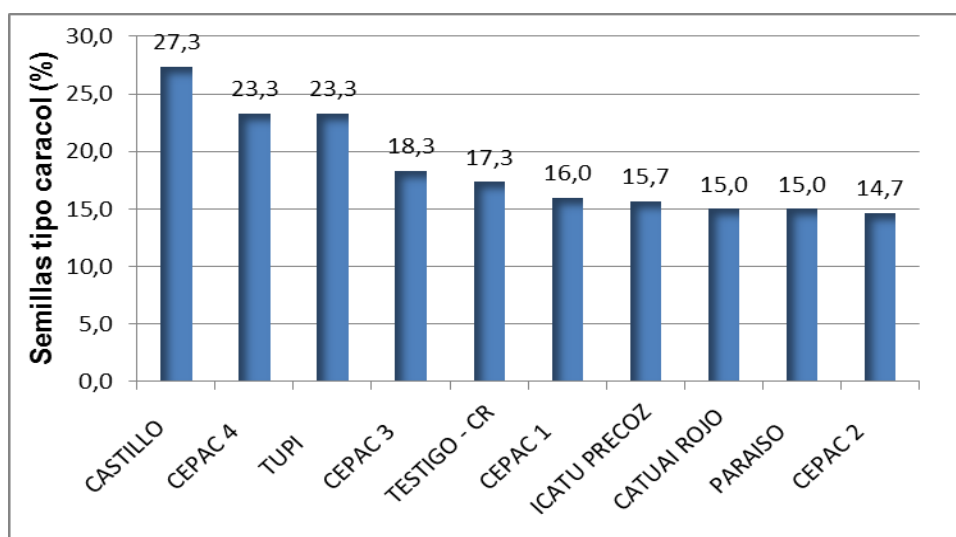


Gráfico 3. Porcentaje de semillas tipo caracol por cultivar de café

5.1.5. Evaluación del daño de broca

Cuadro 8: análisis de varianza del daño de broca

Fuentes de variación	SC	GL	CM	F	P>F	
BLOQUE	14,07	2	7	1,19	0,328	NS
CULTIVAR	112,8	9	12,5	2,12	0,084	NS
Error	106,6	18	5,9			
Total	233,47	29				

CV = 41,48

Dónde: SC = suma de cuadrados; GL = grados de libertad; CM = Cuadrado Medio; F = valor calculado de F; p = significancia (P>F):
 $p > 0.05 = \text{NS}$ (no significativo); $p < 0.05 = *$ (significativo); $p < 0.01 = **$ (altamente significativo).

En el análisis de varianza (Cuadro 8) los valores reflejan que no existe diferencias significativas del daño de broca entre bloques y entre cultivares, los más altos porcentajes de daño de broca fueron del cultivar Castillo (cuadro 9) con 9,67% de frutos afectados por la broca y se considera que es un variable atribuida al manejo del cultivo y no es directamente a las características propias de cada cultivar.

Todas las variedades de *C. arabica*, cultivadas actualmente, son atacadas por la broca (Romero y Cortina 2004) y aún no se ha encontrado fuentes de resistencia contra este insecto en el género *Coffea* (Montagnon *et al.*, 2002).

La broca del café ocasiona daños directos (caída de las cerezas lechosas, pérdida de peso en granos maduros, pérdidas de hasta la cuarta parte de la producción por alimentación) e indirectos en el fruto (pudrición y apertura que facilita el ingreso de enfermedades) (Fischersworing y Robkam, 2001).

Señalan que en condiciones de sombra densa (60%-70%) hay mayor infestación de broca (17% - 25%) con relación a las condiciones de cultivo bajo sombra de 40% - 50% y en cultivo a pleno sol, en ambos casos el porcentaje de infestación de broca llegó sólo hasta el 2%). Romero y Cortina (2004).

Cuadro 9: medias y error estándar para el porcentaje de daño de broca por cultivar de café

CULTIVAR	MEDIA (%)	N	E.E.
CASTILLO	9,67	3	1,41
CEPAC 2	7,33	3	1,41
TESTIGO – CR	7,33	3	1,41
CEPAC 4	7,33	3	1,41
TUPI	5,67	3	1,41
CEPAC 3	5,33	3	1,41
CEPAC 1	5,33	3	1,41
CATUAI ROJO	3,67	3	1,41
PARAISO	3,67	3	1,41
ICATU PRECOZ	3,33	3	1,41

Dónde: E.E. = Error Estándar

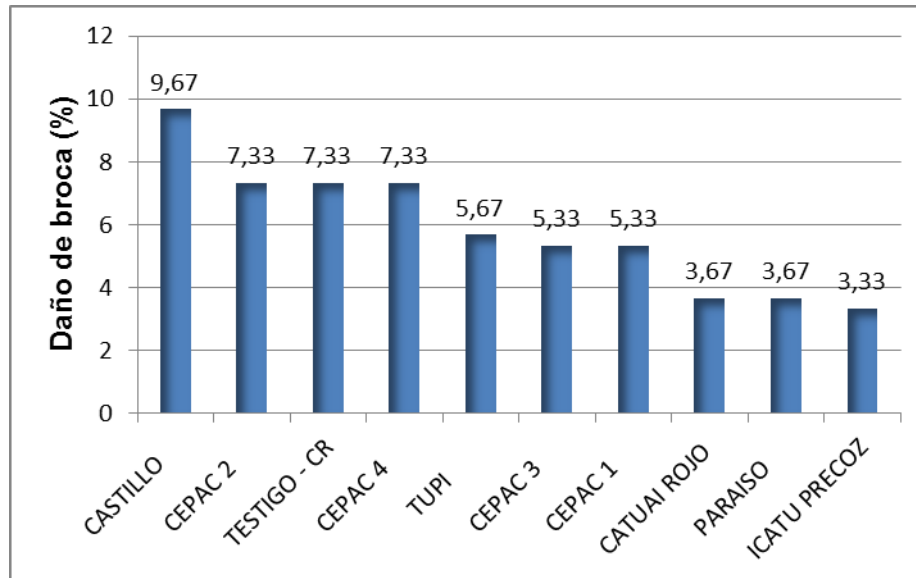


Gráfico 6. Medias del porcentaje del daño de broca por cultivar de café

5.1.6. Evaluación de la longitud de hoja

Cuadro 10: análisis de varianza de la longitud de hoja

Fuentes de variación	SC	GL	CM	F	P>F	
BLOQUE	0,57	2	0,28	0,29	0,749	NS
CULTIVAR	15,87	9	1,76	1,83	0,132	NS
Error	17,38	18	0,97			
Total	33,82	29				

CV = 6,78

Dónde: SC = suma de cuadrados; GL = grados de libertad; CM = Cuadrado Medio; F = valor calculado de F; p = significancia (P>F): p > 0.05 = NS (no significativo); p < 0.05 = * (significativo); p < 0.01 = ** (altamente significativo).

En análisis de varianza para la longitud de hoja el valor obtenido no expresa diferencias significativas entre bloques y cultivares (cuadro 10) este variable es muy probable que tenga esos valores, porque los diez cultivares en evaluación pertenecen a la especie *Coffea arabica* L. y algunos variables morfológicos en estudio presentan estados iguales.

Cuadro 11: medias y error estándar para la longitud de hoja por cultivares de café

CULTIVAR	MEDIA (cm)	N	E.E.
CEPAC 2	15,97	3	0,57
CEPAC 1	15,41	3	0,57
CEPAC 3	14,69	3	0,57
CEPAC 4	14,6	3	0,57
TESTIGO – CR	14,48	3	0,57
CASTILLO	14,44	3	0,57
CATUAI ROJO	14,31	3	0,57
PARAISO	14,15	3	0,57
TUPI	13,57	3	0,57
ICATU PRECOZ	13,39	3	0,57

Dónde: E.E. = Error Estándar

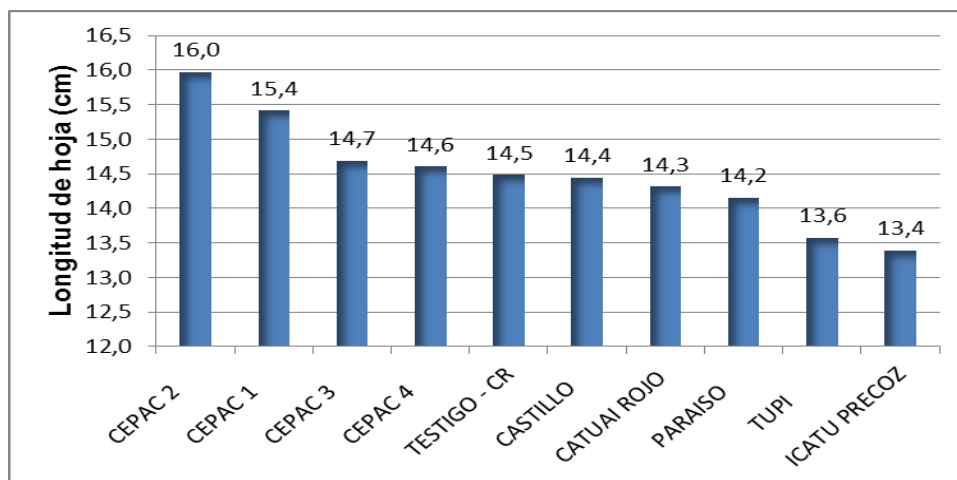


Gráfico 5. Medias de la longitud de hoja por cultivar de café

5.1.7. Evaluación del ancho de hoja

Cuadro 12: análisis de varianza ancho de hoja

Fuentes de variación	SC	GL	CM	F	P>F	
BLOQUE	0,03	2	0,01	0,07	0,933	NS
CULTIVAR	3,99	9	0,44	2,1	0,087	NS
Error	3,81	18	0,21			
Total	7,83	29				

CV = 7,08

Dónde: SC = suma de cuadrados; GL = grados de libertad; CM = Cuadrado Medio; F = valor calculado de F; p = significancia (P>F): p > 0.05 = NS (no significativo); p < 0.05 = * (significativo); p < 0.01 = ** (altamente significativo).

En el ancho de la hoja, es el mismo caso de la anterior variable, y las razones son justificables por que pertenecen a la misma especie todos los cultivares. Se considera no significativo entre bloques y entre cultivares. Aunque el más ancho de la hoja pertenece al cultivar Castillo con 7,27 cm y el menor al Icatu Precoz con 5.89 cm de ancho.

Cuadro 13: medias y error estándar para ancho de hoja por cultivar de café

CULTIVAR	MEDIA (cm)	N	E.E.
CASTILLO	7,3	3	0,27
CEPAC 2	7,0	3	0,27
CEPAC 1	6,5	3	0,27
TESTIGO – CR	6,5	3	0,27
CEPAC 4	6,5	3	0,27
TUPI	6,4	3	0,27
PARAISO	6,3	3	0,27
CEPAC 3	6,3	3	0,27
CATUAI ROJO	6,3	3	0,27
ICATU PRECOZ	5,9	3	0,27

Dónde: E.E. = Error Estándar

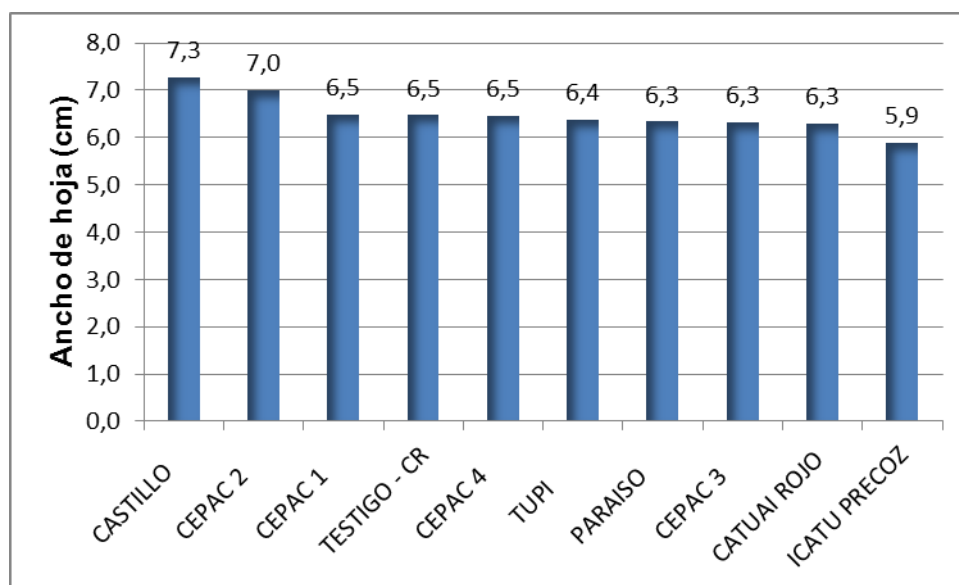


Gráfico 6. Medias de ancho de hoja por cultivar de café

5.1.8. Evaluación de la relación largo/ancho de hoja

Cuadro 14: análisis de varianza de la relación largo/ancho de hoja

Fuentes de variación	SC	GL	CM	F	P>F	
BLOQUE	0,01	2	0,006	0,308	0,739	NS
CULTIVAR	0,33	9	0,036	1,969	0,106	NS
Error	0,33	18	0,018			
Total	0,67	29				

CV = 6,05

Dónde: SC = suma de cuadrados; GL = grados de libertad; CM = Cuadrado Medio; F = valor calculado de F; p = significancia (P>F): p > 0.05 = NS (no significativo); p < 0.05 = * (significativo); p < 0.01 = ** (altamente significativo).

En cuadro 14, igual que en caso anterior las diferencias no son significativas entre bloques y cultivares. Se considera, por ser directamente relacionado a la misma especie y por tanto existe poca variabilidad.

Cuando estadísticamente las diferencias son no significativas, no es necesario mostrar la prueba de Duncan y por tal razón incluyo en resultados las medias y errores estándar por cada cultivar de café.

Cuadro 15: medias y error estándar para la relación largo/ancho de hoja

CULTIVAR	MEDIA (cm)	N	E.E.
CEPAC 1	2,4	3	0,08
PARAISO	2,3	3	0,08
CEPAC 3	2,3	3	0,08
CEPAC 2	2,3	3	0,08
ICATU PRECOZ	2,3	3	0,08
CATUAI ROJO	2,3	3	0,08
CEPAC 4	2,3	3	0,08
TESTIGO – CR	2,2	3	0,08
TUPI	2,1	3	0,08
CASTILLO	2,0	3	0,08

Dónde: E.E. = Error Estándar

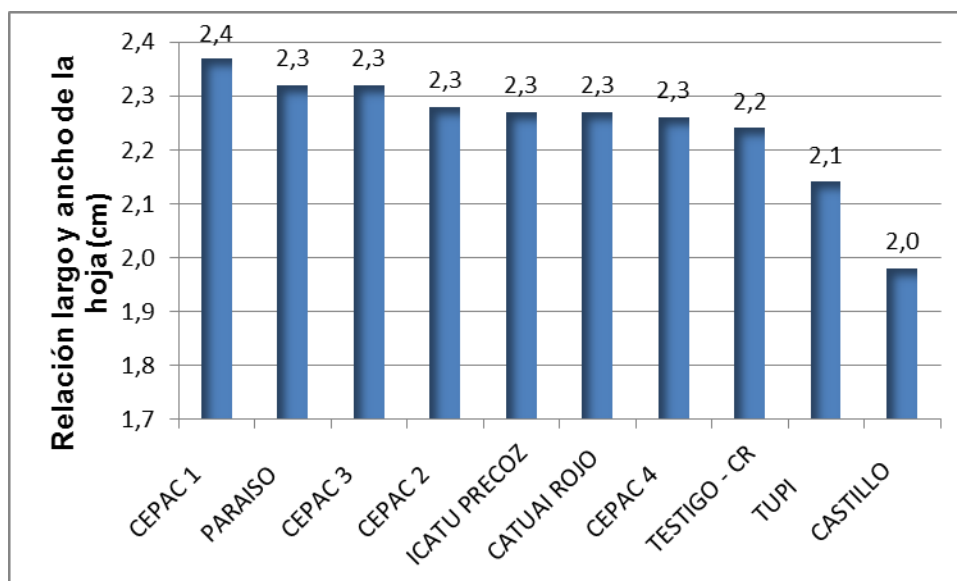


Gráfico 7. Medias para la relación largo y ancho de la hoja por cultivar de café

5.1.9. Evaluación de la longitud de peciolo foliar

Cuadro 16: análisis de varianza de la longitud de peciolo foliar

Fuentes de variación	SC	GL	CM	F	P>F	
BLOQUE	0,09	2	0,043	1,61	0,228	NS
CULTIVAR	0,59	9	0,065	2,42	0,053	NS
Error	0,48	18	0,027			
Total	1,16	29				

CV = 12,21

Dónde: SC = suma de cuadrados; GL = grados de libertad; CM = Cuadrado Medio; F = valor calculado de F; p = significancia (P>F): p > 0.05 = NS (no significativo); p < 0.05 = * (significativo); p < 0.01 = ** (altamente significativo).

En análisis de varianza de longitud del peciolo foliar es significativo entre cultivares, debido a caracteres heredado de sus progenitores, mayor longitud del peciolo presenta el cultivar CEPAC 2 con 1.5 cm y la menor el cultivar Castillo con 1.12 cm.

Según Sera (2008), señala que el cultivar IPR 59 (CEPAC 2), se obtuvo por cruzamiento de “Villa Sarchi” por “Híbrido de Timor 832/2”, sin embargo el cultivar Castillo se obtuvo del cruzamiento entre la variedad Caturra (progenitor femenino) y el Híbrido de Timor CIFC#1343 (progenitor masculino)(CENICAFE, 2011).

Cuadro 17: medias y error estandar para longitud de peciolo foliar

CULTIVAR	MEDIA (cm)	n	E.E.
CEPAC 2	1,5	3	0,09
CEPAC 1	1,5	3	0,09
CEPAC 4	1,5	3	0,09
CEPAC 3	1,5	3	0,09
TUPI	1,4	3	0,09
ICATU PRECOZ	1,4	3	0,09
CATUAI ROJO	1,3	3	0,09
TESTIGO – CR	1,2	3	0,09
PARAISO	1,2	3	0,09
CASTILLO	1,1	3	0,09

Dónde: E.E. = Error Estándar

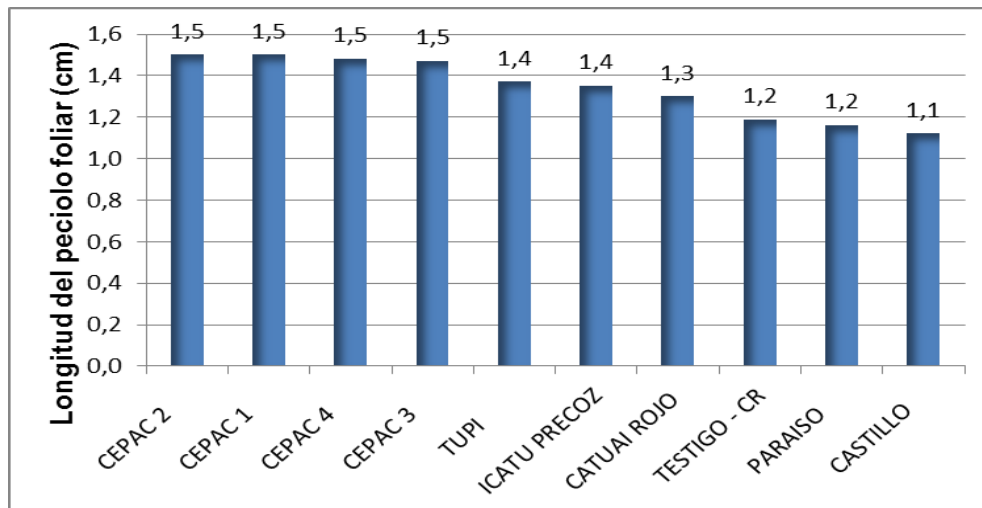


Gráfico 8. Medias de la longitud del peciolo foliar por cultivar de café

5.1.10. Evaluación del largo de semilla

Cuadro 18: análisis de varianza del largo de semilla

Fuentes de variación	SC	GL	CM	F	P>F	
BLOQUE	1,07	2	0,53	4,26	0,0305	NS
CULTIVAR	5,88	9	0,65	5,22	0,0014	**
Error	2,25	18	0,13			
Total	9,21	29				

CV = 2,94

Dónde: SC = suma de cuadrados; GL = grados de libertad; CM = Cuadrado Medio; F = valor calculado de F; p = significancia (P>F): p > 0.05 = NS (no significativo); p < 0.05 = * (significativo); p < 0.01 = ** (altamente significativo).

El análisis de varianza para largo de la semilla, entre bloques es significativo debido a la diferencia de adaptabilidad en lugar definitivo de plantas en los bloques motivo por el cual el largo de semillas es diferente. Por otro lado, entre cultivares es altamente significativo debido a las particularidades de cada cultivar, entre el más largo es del cultivar Castillo con 13.10 mm, seguido de CEPAC 3 con 12. 45 mm y en el más pequeño es el cultivar CEPAC 2 con 11.44 mm.

Cuadro 19: prueba de Duncan para largo de semilla

CULTIVAR	MEDIA (mm)	n	E.E.	Duncan (0.05)
CASTILLO	13,10	3	0,2	A
CEPAC 3	12,45	3	0,2	B
CEPAC 1	12,14	3	0,2	B C
ICATU PRECOZ	12,10	3	0,2	B C
TESTIGO – CR	12,00	3	0,2	B C
PARAISO	11,97	3	0,2	B C
CATUAI ROJO	11,74	3	0,2	C
CEPAC 4	11,73	3	0,2	C
TUPI	11,71	3	0,2	C
CEPAC 2	11,44	3	0,2	C

Dónde: E.E. = Error Estándar

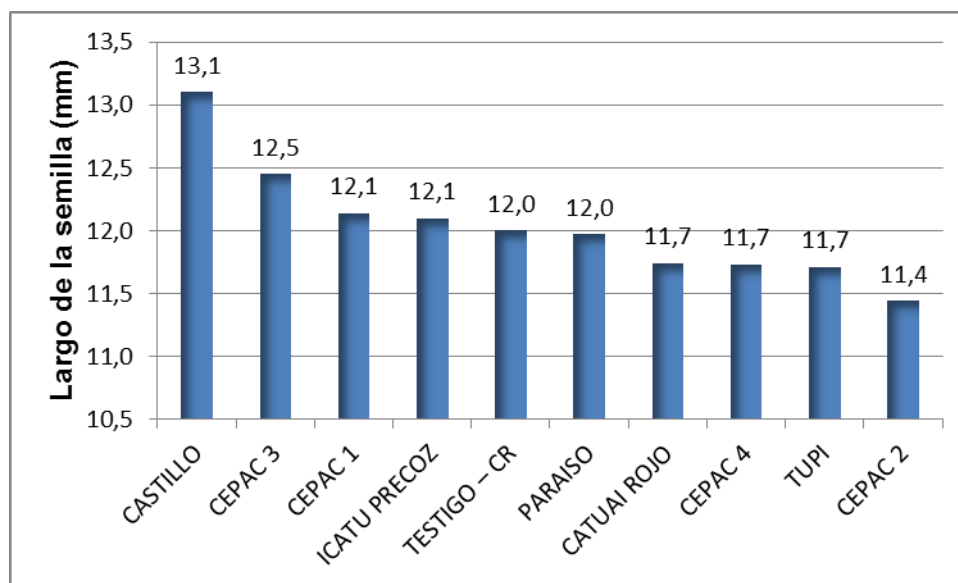


Gráfico 9. Medias del largo de semilla por cultivar de café

5.1.11. Evaluación del ancho de semilla

Cuadro 20: análisis de varianza para ancho de semilla

Fuentes de variación	SC	GL	CM	F	P>F	
BLOQUE	0,07	2	0,04	1,52	0,2451	NS
CULTIVAR	8,65	9	0,96	40,61	0,0001	**
Error	0,43	18	0,02			
Total	9,15	29				

CV = 1,81

Dónde: SC = suma de cuadrados; GL = grados de libertad; CM = Cuadrado Medio; F = valor calculado de F; p = significancia (P>F): p > 0.05 = NS (no significativo); p < 0.05 = * (significativo); p < 0.01 = ** (altamente significativo).

En el cuadro de análisis de varianza para el ancho de la semilla, entre bloque es no significativo, mientras pasa lo contrario en entre cultivares es altamente significativo, debido a las particularidades de cada cultivar en estudio. Podemos observar que el mayor valor registra el cultivar Castillo con 9.90 mm y el menor valor para cultivar Tupi con 7.73 mm de ancho.

Cuadro 21: prueba de Duncan para ancho de semilla

CULTIVAR	MEDIA (mm)	N	E.E.	Duncan (0.05)
CASTILLO	9,90	3	0,09	A
CEPAC 4	8,78	3	0,09	B
CEPAC 3	8,54	3	0,09	B C
CEPAC 1	8,53	3	0,09	B C
ICATU PRECOZ	8,45	3	0,09	C D
PARAISO	8,43	3	0,09	C D
CEPAC 2	8,25	3	0,09	C D
TESTIGO – CR	8,22	3	0,09	D
CATUAI ROJO	8,19	3	0,09	D
TUPI	7,73	3	0,09	E

Dónde: E.E. = Error Estándar

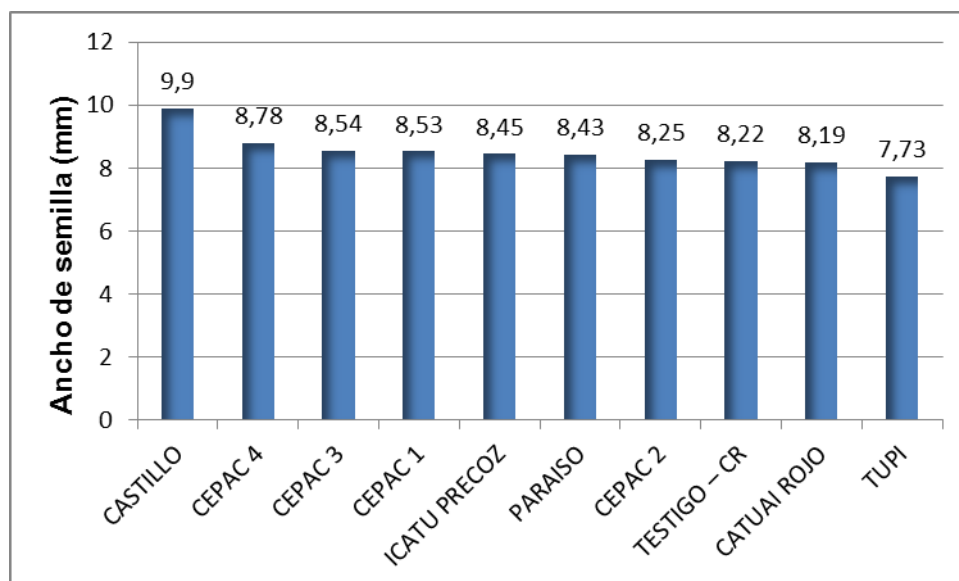


Gráfico 10. Medias para el ancho de semilla por cultivar de café

5.1.12. Evaluación del espesor de semilla

Cuadro 22: análisis de varianza del espesor de semilla

Fuentes de variación	SC	GL	CM	F	P>F	
BLOQUE	0,1	2	0,05	1,39	0,2754	NS
CULTIVAR	2,58	9	0,29	7,97	0,0001	**
Error	0,65	18	0,04			
Total	3,32	29				

CV = 4,8

Dónde: SC = suma de cuadrados; GL = grados de libertad; CM = Cuadrado Medio; F = valor calculado de F; p = significancia (P>F): p > 0.05 = NS (no significativo); p < 0.05 = * (significativo); p < 0.01 = ** (altamente significativo).

En el cuadro de análisis de varianza, la variable de espesor de semilla indica el valor entre bloques no existe diferencias significativas, mientras entre cultivares las diferencias son altamente significativas.

En la comparación de medias (Cuadro. 23) se observa que el cultivar castillo presenta 4.52 mm, Paraíso con 4.21 y en menor valor el tupi con 3.56 mm.

Cuadro 23: prueba de Duncan para espesor de semilla

CULTIVAR	MEDIA (mm)	N	E.E.	Duncan (0.05)	
CASTILLO	4,52	3	0,11	A	
PARAISO	4,21	3	0,11	A	B
ICATU PRECOZ	4,12	3	0,11	B	C
TESTIGO – CR	4,12	3	0,11	B	C
CATUAI ROJO	4,10	3	0,11	B	C
CEPAC 3	3,82	3	0,11	C	D
CEPAC 4	3,81	3	0,11	C	D
CEPAC 1	3,64	3	0,11		D
CEPAC 2	3,63	3	0,11		D
TUPI	3,56	3	0,11		D

Dónde: E.E. = Error Estándar

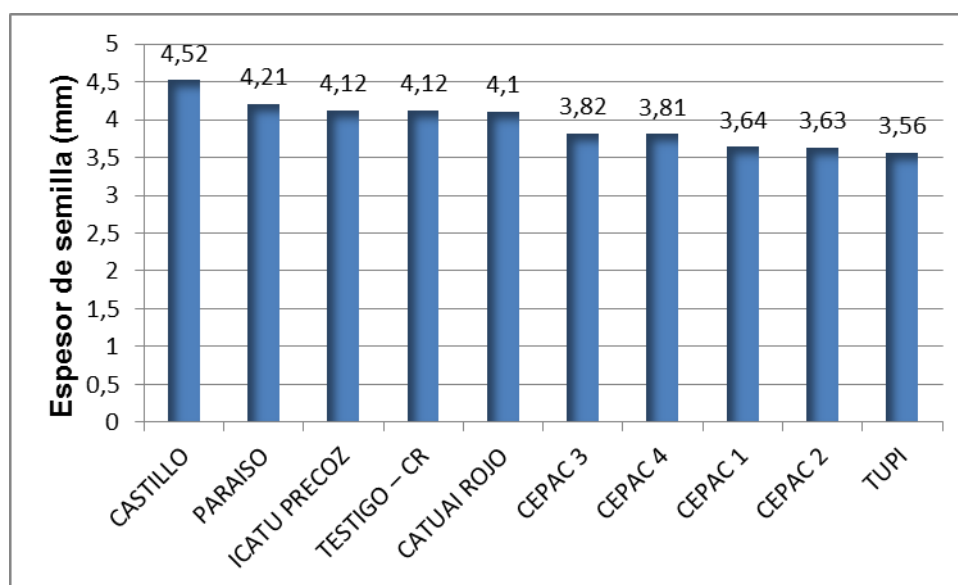


Gráfico 11. Medias del espesor de semilla por cultivar de café

5.1.13. Variables morfoagronómicos de cultivares de café

Cuadro 24: Resumen de medias de variables cualitativas y cuantitativas por cultivar, no descritas por Duncan de la Estación Experimental de Sapecho – E.E.S.

CULTIVAR	HABITO DE RAMIFICACIÓN	ÁNGULO DE INSERCIÓN DE RAMAS	Nº DE FLORES POR NUDO	RENDIMIENTO PERGERGAMINO (%)	LARGO DE FRUTO (mm)	ANCHO DEL FRUTO (mm)	ESPOSOR DEL FRUTO (mm)	FRUTOS VANOS (%)	INCIDENCIA DE LA ROYA (%)	INCIDENCIA DE OJO DE GALLO (%)	COLOR DE FRUTO	COLOR DE LA HOJA JOVEN
CEPAC 1	2,67	61,25	19,80	20,90	14,82	13,96	13,02	22,43	1,00	2,30	ROJO	VERDE
CEPAC 2	1,67	51,25	17,10	18,92	16,20	13,99	12,71	17,31	0,00	0,00	ROJO	VERDE
CEPAC 3	2,00	55,25	19,50	20,25	15,88	13,63	12,42	22,81	0,00	0,00	ROJO	VERDUZCA
CEPAC 4	2,33	55,00	21,80	16,51	16,71	14,60	13,15	22,15	0,00	0,00	ROJO	VERDUZCA
ICATU PRECOZ	2,00	63,33	14,82	18,20	15,37	14,22	13,38	39,57	2,00	2,60	AMARILLO	VERDE
CATUAI ROJO	2,00	57,33	17,10	19,52	15,75	14,07	12,65	20,51	1,00	0,00	ROJO	VERDE
TUPI	2,67	52,33	18,50	19,82	15,65	14,33	13,11	13,98	0,00	0,00	ROJO	VERDE
PARAISO	2,33	56,25	17,40	18,65	16,69	14,33	12,85	10,68	0,00	0,00	AMARILLO	VERDE
CASTILLO	2,00	62,50	14,70	17,86	18,57	16,66	14,63	22,09	0,00	0,00	ROJO	MARRÓN ROJIZA
TESTIGO – CR	2,00	48,75	13,87	15,85	15,60	14,73	13,05	21,57	1,00	3,10	ROJO	VERDE

Las características cualitativas presentaron variabilidad fenotípica entre variables de color de fruto presentando dos estados (rojo y amarillo) y color de la hoja joven se encontraron tres estados (verde, verduzca y marrón rojizo).

En las características morfológicas presentan poca variabilidad, mientras en las agronómicas una mayor variabilidad.

El hábito de ramificación para presentan desde ramas secundarias hasta terciarias, dependiendo la arquitectura de la planta y desarrollo de los cultivares.

Sin embargo, las variables como porcentaje de frutos vanos, porcentaje de rendimiento en pergamino, largo, ancho y espesor de la semilla (Cuadro 24) no han sido considerados para el análisis de clasificación por que solo se tuvo datos exactos de las tres cosechas que no presenta el potencial *per se* de producción de frutos de las plantas dentro de los cultivares y además es muy influenciada por las condiciones ambientales, el estado de plantas el manejo del cultivo.

Por ejemplo, Angrand et al (2004) menciona que la caída de cerezas es mayor en sistemas a pleno sol, que con sistemas agroforestales con árboles (citado en Ignacio, 2007).

5.1.14. Productividad de café oro por cultivares

Cuadro 25: rendimiento de cultivares en café oro

CULTIVAR	P g/pl	P Kg/ha	ScO 60 kg/ha
CEPAC 1	656,6	2544,8	33,9
CEPAC 2	597,4	2315,6	30,9
CEPAC 3	577,9	2239,9	29,9
CEPAC 4	575,2	2229,4	29,7
ICATU PRECOZ	341,8	1324,9	17,7
CATUAI ROJO	395,6	1533,3	20,4
TUPI	569,6	2207,9	29,4
PARAISO	700,9	2716,5	36,2
CASTILLO	449,4	1741,8	23,2
TESTIGO – CR	214,1	830,0	11,1

Dónde: ScO = Sacos de café oro

Los resultados de rendimientos en café oro por hectárea, para el cultivar Paraíso es de 36,2 ScO 60 kg/ha, seguido por CEPAC 1 con 33,9 ScO 60 kg/ha y CEPAC 3 con 29,9 ScO 60 kg/ha; estos rendimientos a nivel experimental se han distanciado claramente del cultivar utilizado localmente como es el Catuai local con 11,1 ScO 60 kg/ha.

Sin embargo, según UFV (s/f) la productividad media de tres cosechas en sacos (60 kg) de café oro beneficiado por hectárea del Híbrido de Paraíso MG H 419 – 1 alcanzaron hasta 65,1 ScO 60 kg/ha, llegando producir una media de 37,5 ScO 60 kg/ha la región de San Sebastián de Paraíso al Sur de Minas Gerais.

Sin embargo, es importante mencionar el cultivar catuai rojo (cultivar utilizado como testigo) alcanza una productividad media de 18,2 ScO 60 kg/ha a un distanciamiento de 3,5 x 1,0 m. (UFV, s/f.)

5.1.15. Análisis de correlación

Cuadro 26: matriz correlaciones ente variables cuantitativas analizadas

Variable	ALTURA	PESO DE FRUTO/PL	% SC	% SDB	LONG. DE LA HOJA	ANCHO DE LA HOJA	RELACION L/A HOJA	LONG. PECIOLO FOLIAR	LARGO DE SEMILLA	ANCHO DE SEMILLA	ESPESOR DE SEMILLA
ALTURA	1										
PESO DE FRUTO/PL	-0,310	1									
% SC	-0,240	0,371	1								
% SDB	-0,370	0,134	0,686	1							
LONG. DE LA HOJA	-0,400	0,147	-0,240	0,400	1						
ANCHO DE LA HOJA	-0,460	0,086	0,463	0,849	0,575	1					
RELACION L/A HOJA	0,100	0,118	-0,816	-0,634	0,313	-0,572	1				
LONG. PECIOLO FOLIAR	-0,040	0,391	-0,211	-0,115	0,472	-0,166	0,546	1			
LARGO DE SEMILLA	0,020	-0,026	0,501	0,359	-0,149	0,329	-0,517	-0,460	1		
ANCHO DE SEMILLA	-0,020	0,195	0,557	0,581	0,120	0,582	-0,535	-0,340	0,811	1	
ESPESOR DE SEMILLA	0,170	-0,336	0,192	0,124	-0,370	0,163	-0,478	-0,863	0,634	0,637	1

Dónde: %SC = Porcentaje de semillas caracol; %SDB = porcentaje de semillas dañados por broca

Correlaciones apreciables positivas se determinan entre %SC y %SDB con un valor de $r = 0,685$, posteriormente %SDB y Ancho de lámina ($r=0,849$), por otro lado, la correlación alta negativa se aprecia entre %SC y relación L/A común valor de $r = - 0,826$. La matriz de correlaciones nos permite analizar la interdependencia de las variables altamente relacionadas ya sea de manera positiva o negativa.

También existe una correlación positiva en las variables de la semilla como: largo, ancho y espesor de semilla con las variables de la hoja, la razón de este fenómeno es muy probable a la capacidad de fotosíntesis que tienen las hojas.

5.1.16. Análisis de componentes principales y cluster

Cuadro 27: valores propios y porcentajes de varianza

Componente Principal	Auto Valor (λ)	Proporción	Proporción Acumulada
CP1	4,52	0,41	0,41
CP2	2,78	0,25	0,66
CP3	1,31	0,12	0,78
CP4	1,01	0,09	0,87
CP5	0,76	0,07	0,94
CP6	0,36	0,03	0,98

El análisis de componentes principales, muestra una variación acumulada de 66% en los dos primeros componentes principales, relación que se observa en el plano generado por los primeros dos componentes principales.

Permite analizar la interdependencia de variables y observaciones y encontrar una representación gráfica óptima de la variabilidad de los datos de una tabla de observaciones. El análisis de componentes principales (ACP) trata de encontrar, con pérdida mínima de información, un nuevo conjunto de variables (componentes principales) no correlacionadas que expliquen la estructura de variación en las filas de la tabla de datos (Di Rienzo, 2008).

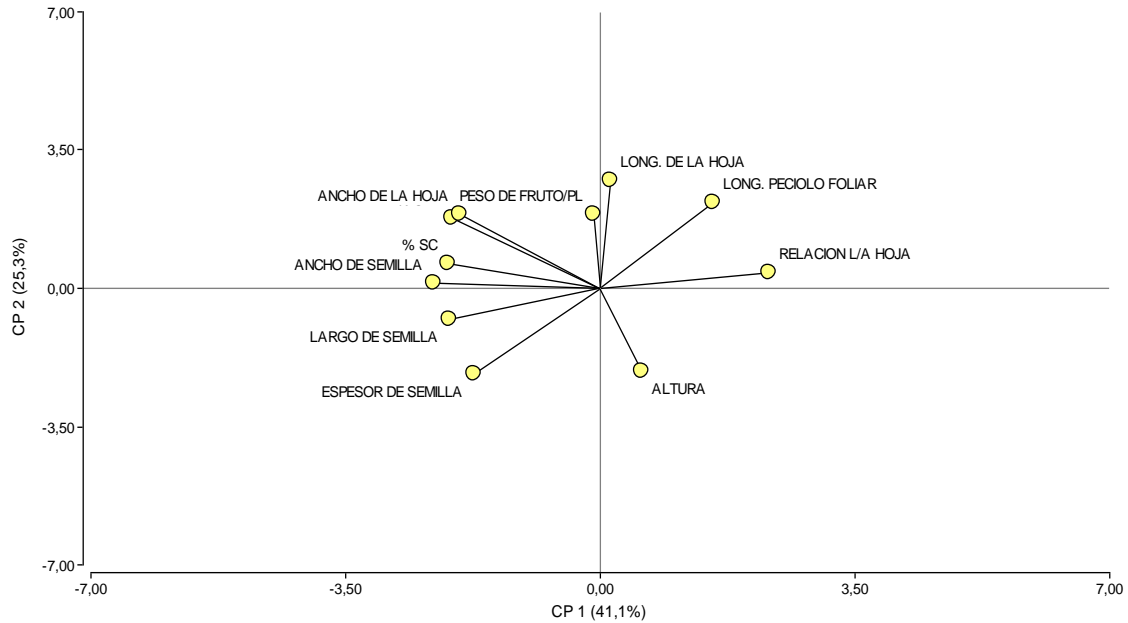


Figura 3. Variables de café en el primer y segundo componente principal ($\lambda_{acumulada}=66,0\%$)

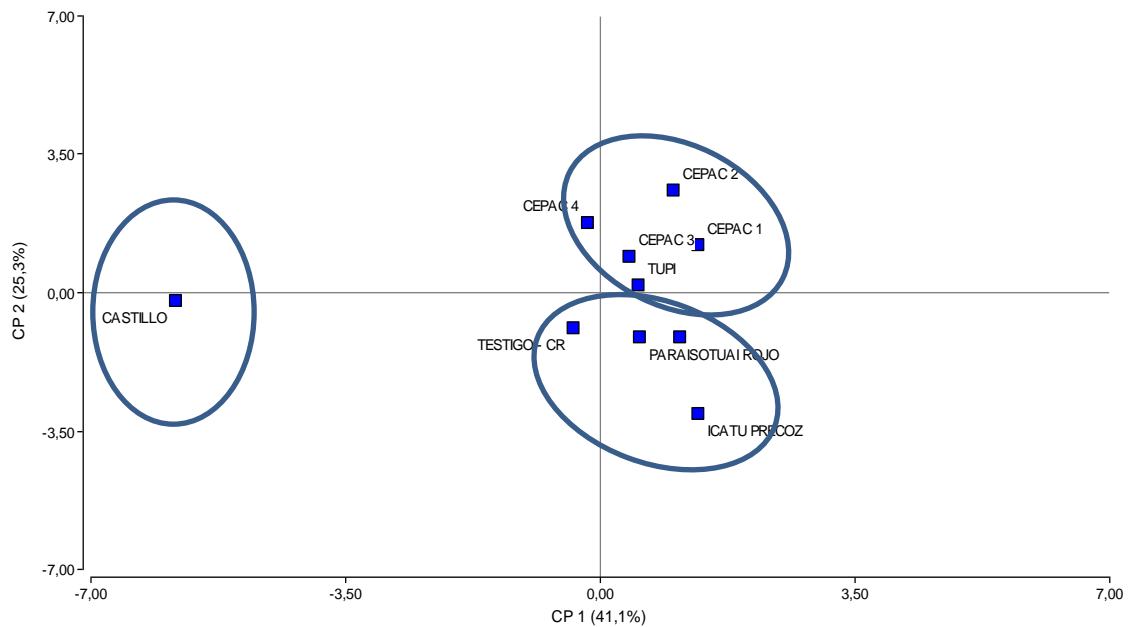


Figura 4. Cultivares de café en el primer y segundo componente principal ($\lambda_{acumulada}=66,0\%$)

El análisis de componentes principales que explica 66% de variación (Figura 4 y Figura 5), permite estimar las relaciones de las variables, de esta manera se detectan correlaciones positivas entre las variables ancho de hoja, %SDB, %SC, ancho de la semilla, espesor de la semilla, como un grupo de variables correlacionadas entre sí, por otra parte se observan otras correlaciones positivas entre peso de fruto y longitud de la hoja, correlaciones corroboradas en la matriz de correlaciones, en cuanto a la distribución de las variedades, por sus coordenadas en

los dos primeros ejes del ACP, la variedad Castillo se caracteriza de ser diferente del resto de variedades, un mayor valor promedio en el primer grupo de variables (ancho de hoja, %SDB, %SC, ancho de la semilla, espesor de la semilla) caracterizará a esta variedad.

5.1.17. Análisis de conglomerados jerárquicos

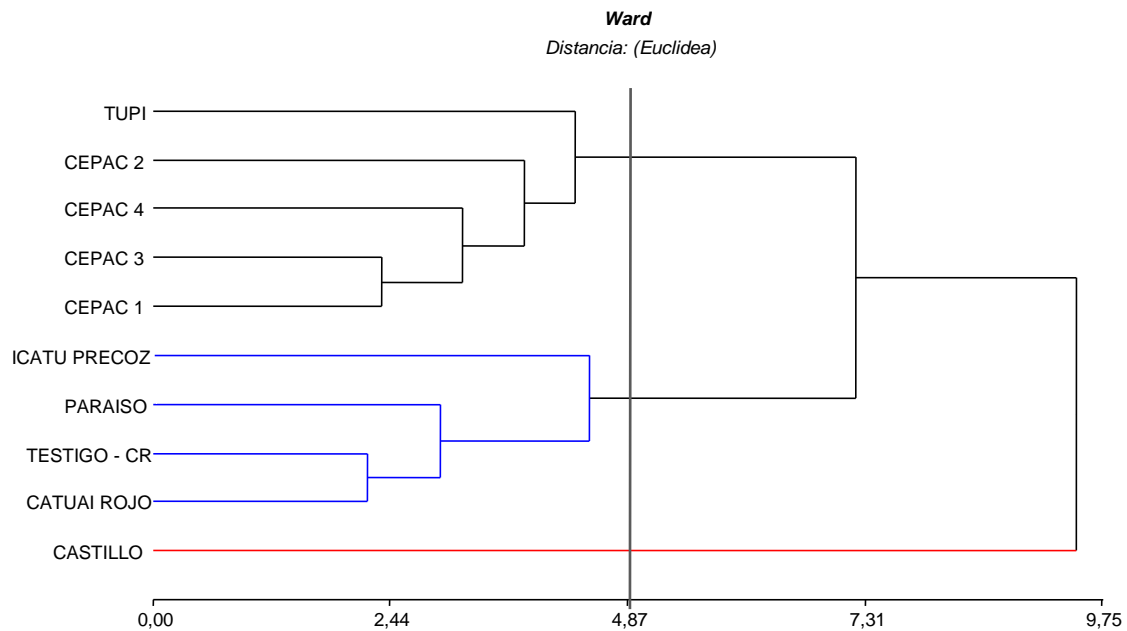


Figura 5. Dendrograma de agrupamiento jerárquico (distancia Euclides y método de Ward)

De acuerdo al análisis de componentes principales (ACP) así como el análisis de agrupamientos, se aprecian tres grupos de cultivares, el primer grupo conformado por el cultivar Castillo. Procedente de Colombia obtenido mediante la cruce de Caturra y el Híbrido de Timor (Castillo, 1987), que de acuerdo a la relación de variables de la figura 6, se caracteriza por mayores valores en semilla (ancho, largo y espesor), por otra parte existe un agrupamiento de variedades tales como: CEPAC 1, CEPAC 3, CEPAC 2, CEPAC 4 y Tupi, que se caracterizarían por las variables de la hoja, y finalmente el grupo conformado por cultivares como: Catui rojo, Catuai (testigo), Paraíso e Icatu Precoz caracterizado por la altura de planta y del fruto.

6. CONCLUSIONES

- Los descriptores morfológicos cualitativos como: desarrollo vegetativo de la planta (monopódica), forma de hoja (lanceolada), forma del ápice de la hoja (apiculada), forma del fruto (obovada), forma de la semilla (obovada) y color de la semilla (amarrilla) tienen eventos o estados iguales para todos los cultivares de café.
- Para la altura de planta, el cultivar Icatu Precoz es más alto midiendo 3.17m considerado de porte alto, y el resto de cultivares de porte medio superando los 2 m de altura.
- El peso de fruto en cereza por planta el mayor promedio tiene el cultivar CEPAC 4 con 4496 g/pl seguido por el cultivar Paraíso con 3768 g/pl y el más bajo rendimiento en cereza tuvo el cultivar Catuai Rojo (testigo) con 2191 g/pl; aunque estadísticamente no existe una diferencia significativa ($p = 0.78$).
- El daño de broca en el fruto, es afectado todos los cultivares en estudio de los cuales el mayor valor corresponde al Cultivar Castillo con 9.67% seguido por el cultivar CEPAC 2 con 7.33% y se considera relativamente bajo el ataque de la broca.
- La incidencia de las enfermedades es considerada bajo, teniendo una incidencia de roya hasta 2% en cultivar Icatu Precoz y 1% en CEPAC 1, Catuai Rojo y Testigo; mientras la incidencia de ojo de gallo fue 2.6% al cultivar Icatu Precoz, 2.3% al cultivar CEPAC 1 y Testigo con 3.1% de incidencia.
- En la evaluación de la longitud de hoja, ancho de hoja y relación largo/ancho de hoja estadísticamente no existe diferencias significativas, teniendo el rango del largo de hoja de 15.97cm – 13.39cm y ancho de con un rango de 7.30 cm – 5.9cm.
- La longitud del peciolo foliar, es significativo entre cultivares y la mayor longitud del peciolo presenta el cultivar CEPAC 2 con 1.5 cm y menor el cultivar Castillo con 1.12 cm.
- El color de la hoja joven se observó tres estados; color verde para los cultivares (CEPAC 1, CEPAC 2, Icatu Precoz, Catuai Rojo, Tupi, Paraíso y Testigo – CR), color verduzco para cultivares (CEPAC 3 y CEPAC 4) y color marrón rojiza de la hoja joven para el cultivar Castillo.

- El color de frutos se observó dos estados el color amarillo para cultivares (Icatu Precoz y Paraíso) y color rojo para los cultivares (CEPAC 1, CEPAC 2, CEPAC 3, CEPAC 4, Tupi, Catuai Rojo y Castillo).
- El largo, ancho y espesor de fruto son variables directamente proporcionales a sus propios valores, de cual es liderado por el cultivar Catillo con 18.57 mm de largo, 15.66 mm de ancho y 14.62 mm de espesor son las variables que le hace diferentes del resto de los cultivares. Para largo de semilla, ancho de semilla y espesor de semilla existe diferencias significativas, el cultivar Castillo también presenta la semilla más grande que los demás cultivares con un valor de 13.1mm de largo y 9,9mm de ancho.
- El mayor porcentaje de frutos vanos (FV) registró el cultivar Icatu Precoz con 39.57%, seguido con CEPAC 3 con 22.81% y cultivar Castillo con 22.09% de frutos vamos.
- Los cultivares que mostraron mejor rendimiento en sacos de Café oro por hectárea son Paraíso con 36.2 ScO 60 kg/ha, CEPAC 1 con 33.9 ScO 60 kg/ha y CEPAC 3 con 30.9 ScO 60 kg/ha. El testigo (Catuai Rojo - local) tiene un rendimiento de 11.1 ScO 60 kg/ha y ha sido el menor rendimiento que se obtuvo de diez cultivares a nivel experimental.
- El análisis de componentes principales permitió reducir a 2 dimensiones con 66% de varianza, en el primer eje las variables que aportan son: ancho de la hoja, ancho de la semilla, largo de la semilla, relación L/A de la hoja y espesor de la semilla y en el segundo eje las variables que aportan a su construcción son: altura de planta, peso del fruto, longitud del peciolo foliar.
- Tanto en análisis de conglomerados jerárquicos, en el diagrama de Ward y en análisis de componentes principales como en conglomerados se observó tres grupos, el primero formado por castillo (que se destaca por las variables de la fruto y semilla), segundo grupo (CEPACs y Tupi) diferenciados por las características de la hoja, y el tercer grupo formado por Paraíso, Icatu Precoz, Catuai Rojo, testigo – CR.

7. RECOMENDACIONES

Las características de interés agronómico como; tamaño comercial y grande de granos se encuentran en el cultivar Castillo. Por lo tanto, es recomendable continuar con la investigación sobre la adaptabilidad en diferentes pisos ecológicos.

Para verificar la existencia de antixenosis en el fruto, ya sea por del color del fruto y la forma prominente del fruto al ataque de broca se deben realizar ensayos más rigurosos, tales como, pruebas en condiciones controladas.

Tomar en cuenta a cultivares con altos rendimientos, en programas de propagación de plantas y semillas, ya que por su elevada producción en el departamento de La Paz podrían ser una alternativa, para mejorar las condiciones de vida de los productores que se dedican a este rubro.

Realizar ensayos con los cultivares que presentan buenos rendimientos, en condiciones similares a la zona de estudio, para determinar con precisión su potencial genético, respecto a variables de rendimiento.

Por último, la Parcela del ensayo de café de la Estación Experimental de Sapecho tiene deficiencia de nitrógeno asimilable y es importante suplir los requerimientos nutricionales que requiere los cultivares de café.

8. BIBLIOGRAFÍA

- Aguilar C, A. 2000. Evaluación de sistemas agroforestales con café asociado con *Eucalyptus deglupta* o *Terminalia ivorensis* e implicaciones metodológicas. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 73 p.
- Aguilar V, GJ. 1995. Variedad Costa Rica 95. San José, CR, ICAFE. 33 p.
- Alvarado A, G; Moreno R, G; Cortina G, H. 2002. Características agronómicas y resistencia incompleta a *Hemileia vastatrix* de progenies de caturra x híbrido de Timor. Cenicafé 53(1):7-24.
- Alvarado A, G; Moreno R, LG. 2005. Cambio de la virulencia de *Hemileia vastatrix* en progenies de Caturra x Híbrido de Timor. Cenicafé 56(2):110-126.
- Álvarez S, JH; Cortina G, HA; Villegas M, JF. 2002. Método para evaluar antixenosis a *Hypothenemus hampei* en café, bajo condiciones controladas. Cenicafé 53(1):49-59.
- Álvarez S, JH; Cortina G, HA; Villegas M, JF. 2001. Métodos para evaluar antibiosis a *Hypothenemus hampei* en café bajo condiciones controladas. Cenicafé 52(3):205-214.
- Angrand, JC. 2002. Floración, desarrollo vegetativo y fotosíntesis de *Coffea arabica* en diferentes sistemas de cultivos en Pérez Zeledón y Heredia, Costa Rica. Tesis Magister Scientiae, Turrialba, CR, CATIE. 56 p.
- Anthony, F; Astorga, C; Berthaud, J. 1999. Los recursos genéticos: las bases de una solución genética a los problemas de la caficultura latinoamericana. In Bertrand, B; Rapidel, B. eds. Desafíos de la caficultura en Centroamérica. San José, CR, IICA. p. 369-406.
- _____, C; Quiros, O; Bertrand, B; Etienne, H; Topart, P; Lashermes, L. 2003. Diversidad genética de los cafés (*Coffea arabica*) silvestres y cultivados, revelada por marcadores moleculares. Boletín PROMECAFE no. 96. p. 7-12.
- _____, F; Astorga, C; Topart, P; Bertrand, B; Lashermes, P. 2002. La caracterización de las variedades de café (*Coffea arabica*) por los marcadores moleculares: ¿mito o realidad? Boletín PROMECAFE no. 93. p. 9-13.
- Areny, A. 2016. Enfermedades del café. Fundación para el Desarrollo Socioeconómico y Restauración Ambiental – FUNDESYRAM. El Salvador. Disponible en <http://www.fundesyram.info/biblioteca.php?id=3545>

- Avelino, J; Barboza, B; Araya, JC; Fonseca, C; Davrieux, F; Guyot, B; Cilas, C. 2005. Effects of slope exposure, altitude and yield on coffee quality in two altitude *terroirs* of Costa Rica, Orosi and Santa María de Dota 85(11):1869-1876.
- Avelino, J; Muller, R; Eskes, A; Santacreo, R; Holguín, F. 1999. La roya anaranjada del cafeto: mito y realidad. *In* Bertrand, B; Rapidel, B. eds. Desafíos de la caficultora en Centroamérica. San José, CR, IICA. p. 193-241.
- Avelino, J; Savary, S. 2002. Rational and optimized chemical control of coffee leaf rust (*Hemileia vastatrix*). *In* CIRAD (Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement) ed. Recherche et caféiculture. Montpellier Cedex, FR. p. 135-143.
- Balzarini M.G., Gonzalez L., Tablada M., Casanoves F., Di Rienzo J.A., Robledo C.W. (2008). *Manual del Usuario*, Editorial Brujas, Córdoba, Argentina.
- Bertrand, B; Anthony F. 1995. El mejoramiento genético de *Coffea arabica* en América Central. *In* Simposio CIRAD/CATIE Mejoramiento genético y desarrollo de los cultivos tropicales (1995, Turrialba, CR). Resúmenes. Turrialba, CR, CIRAD/CATIE. p. 32.
- Camayo V, CG; Chaves C, B; Arcila P, J; Jaramillo R, A. 2003. Desarrollo floral del cafeto y su relación con las condiciones climáticas de Chinchirá-Caldas. *Cenicafé* 54(1):35-49.
- Camilo, JE; Olivares, FF; Jiménez, HA. 2003. Fenología y reproducción de la broca del café (*Hypothenemus hampie* Ferrari) durante el desarrollo del fruto. *Agronomía Mesoamericana* 14(1):59-63.
- Canet B, G; Ibarra, EL. 2002. PROMECAFE en marcha: el ICAFE, el CIRAD y PROMECAFE implementan investigación sobre "ojo de gallo". *Boletín PROMECAFE* no. 94. p. 2-3.
- Castaño C, JJ; Quintero, GP. 2004. Calidad de extractos de café perforado por broca obtenidos por crioconcentración. *Cenicafé* 55(3):183-201.
- Castaño S, A; Benavides M, P; Baker, PS. 2005. Dispersión de *Hypothenemus hampie* en cafetales zoqueados. *Cenicafé* 56(2):142-150.
- Castillo Z, J; Alvarado A, G. 1997. Resistencia incompleta de genotipos de café a la roya bajo condiciones de campo en la región central de Colombia. *Cenicafé* 48(1):40-58.

Castillo Z, J; Alvarado A, G. 1997. Resistencia incompleta de genotipos de café a la roya bajo condiciones de campo en la región central de Colombia. *Cenicafé* 48(1):40-58.

CEPAC. 2012. Centro de Promoción Agropecuaria Campesina. Santa Cruz, Bolivia.

Charrier, A; Eskes, AB. 2004. Botany and genetics of coffee. *In* Wintgens, JN. ed. Coffee: growing, processing, sustainable production: a guidebook for growers, processors, traders, and researchers. Corseaux, CH, Wiley-VCH. p. 25-56.

Chipana, M. 2015. Comportamiento agronómico de ocho variedades de soya (*Glycine max*) en relación a tres densidades de siembra, en la estación experimental de Sapecho Alto Beni – La Paz (tesis de pregrado). Universidad Mayor de San Andrés. La Paz, Bolivia. 39 p.

Crowe, TJ. 2004. Coffee pests in Africa. *In* Wintgens, JN. ed. Coffee: growing, processing, sustainable production: a guidebook for growers, processors, traders, and researchers. Corseaux, CH, Wiley-VCH. p. 421-458.

Di Rienzo J.A., Casanoves F., Balzarini M.G., Gonzalez L., Tablada M., Robledo C.W. (2008). *InfoStat, versión 2008*, Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.

ECURED. 2016. Fitopatología, mal de hilachas. Cuba. Disponible en https://www.ecured.cu/Mal_de_hilachas.

FECAFEB. 2001. Producción de café en el departamento de La Paz – Caranavi, Bolivia.

Félix M, D; Guaray, F; Beer, J. 2004. Incidencia de la broca (*Hypothenemus hampei*) en plantas de café a pleno sol y bajo sombra de *Eugenia jambos* y *Gliricidia sepium* en San Marcos, Nicaragua. *Agroforestería en las Américas* no. 41-42:56-61.

Fischersworing H, B; Robkamp R, R. 2001. Guía para la caficultura ecológica. 3. ed. Popayán, GTZ. 152 p.

Gómez, R. 2000. Guía para las Caracterizaciones Morfológicas Básicas en Colecciones de Papas Nativas. La Paz, Bolivia. Disponible en <https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwiakLjj8oXSAhXM8CYKHZFeAO0QFgggMAA&url=http%3A%2F%2Fwww.neiker.net%2Fneiker%2FCLIPAPA%2FMaterials%2FINIAP%2520Caracterizacion%2520Morfologica%2520PapasOK.pdf&usg=AFQjCNE1LNUfC7HKCJ4QaSTaF5OBYLSi1Q>

- Fuenmayor M, M. 1999. Evaluación de formulaciones y métodos de almacenamiento de aislamientos de *Beauveria bassiana* promisorios para el control de broca del café. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 90 p.
- GRDE (Gerencia Regional de Desarrollo Económico). 2006. Principales enfermedades del cultivo de café. Tocache, PE. 16 p.
- Hidalgo, R. 2003. Variabilidad genética y caracterización de especies vegetales. *In* Franco, TL; Hidalgo, R. eds. Análisis estadístico de datos de caracterización morfológica de recursos filogenéticos. Cali, CO, IPGRI (Boletín técnico no. 8). p. 2-26.
- Ignacio C, S., (2007). Caracterización morfológica y agronómica de la colección núcleo de café (*Coffea arabica* L.) del CATIE. Trabajo para optar al grado Magister Scientiae en Agricultura ecológica. Turrialba, Costa Rica. 7-10 p.
- IHCAFE (Instituto Hondureño del Café). 1986. La broca del fruto del cafeto. Tegucigalpa, HO. IHCAFE, División Agrícola. 10 p.
- IPGRI (International Plant Genetic Resources Institute). 1996. Descriptores del café (*Coffea spp.* y *Psilanthus spp.*). Roma, IT. 36 p.
- Jiménez, H. 2014. Evaluación de seis especies forestales bajo tres tratamientos pregerminativos en vivero comunal, Sapecho - Alto Beni (tesis de pregrado). Universidad Mayor de San Andrés. La Paz, Bolivia. 64 p.
- León, J. 2000. Botánica de los cultivos tropicales. 3 ed. aum. y rev. San José, CR, IICA. p. 350-364.
- Leroy, T; Ribeyre, F; Bertrand, B; Charmetant, P; Dufour, M; Montagnon, C; Marraccini, P; Pot, D. 2006. Genetics of coffee quality. Brazilian Journal of Plant Physiology 18(1):229-242.
- López A, A. 2001. Caracterización molecular y morfológica de aislamientos del hongo *Mycena citricolor* colectados en diferentes zonas cafetaleras de Costa Rica. Tesis Mag.Sc. Turrialba, CR, CATIE. 68 p.
- Maldonado F. (s/f). Estación experimental de Sapecho, Universidad Mayor de San Andrés. *Cartilla informativa sobre café*. Universidad Mayor de San Andrés

- Mamani R. 2013. Evaluación de dos variedades de café (*Coffea arabica* L.) bajo tres formas de producción en vivero en la estación Experimental de Sapecho. (Tesis de pregrado). Universidad Mayor de San Andrés. La Paz, Bolivia. 4p.
- MDRyT (Ministerio de Desarrollo Rural y Tierras). 2016. Café en Bolivia. La Paz, Bolivia. Instituto de Cámara de Comercio – ICC. Disponible en www.ico.org/documents/cy2012-13/presentations/icc-bolivia.pdf
- Montagnon, C; Leroy, T, Bertrand, B; Charmetant, P; Dufour, M. 2002. Résultats récents pour l'amélioration génétique du café. In CIRAD (Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement) ed. Recherche et caféiculture. Montpellier Cedex, FR. p. 84-94.
- Montoya R, EC. 1997. Estudio de muestreo estadístico para estimar la infestación causada por la broca de café. *Cenicafé* 48(3):156-172.
- Moreno R, G. 2004. Obtención de variedades de café con resistencia durable a enfermedades, usando la diversidad genética como estrategia de mejoramiento. *Rev. Acad. Colomb. Cienc.* 28(107):187-200.
- Moya A., compendio de resultados de unidades de evaluación, validación y difusión de tecnologías con cultivo de café en el ANMI – A (2007 – 2012). Santa Cruz, Bolivia.
- Muller, RA; Berry, D; Avelino, J; Bieysse, D. 2004. Coffee diseases. In Wintgens, JN. ed. *Coffee: growing, processing, sustainable production: a guidebook for growers, processors, traders, and researchers.* Corseaux, CH, Wiley-VCH. p. 491-545.
- Ochoa Millán, H; Campos A, O; Vidal S, B; Decazy, B. 1989. Determinación de pérdidas en la cosecha por broca del fruto del cafeto (*Hypothenemus hampei*) Ferr. En función de diferentes porcentajes de infestación. In Memoria técnica de las investigaciones en café 1986/89. Guatemala, ANACAFE. p. 119-122.
- Plá, L. E. 1996. Análisis Multivariado: Método de componentes principales. Secretaria de Organización de Estados Americanos (OEA). Washington, D. C. 94 p.
- Poncet, V; Hamon, P; Minier, J; Carasco, C; Hamon, S; Noirot, M. 2004. SSR cross- amplification and variation within coffee trees (*Coffea spp.*). *Genome* 47(6):1071- 1081.

- Regalado O, A. 2006. ¿Qué es la calidad en el café? Chapingo, ME. Universidad Autónoma Chapingo. 309 p.
- Rojas, W. 2003. Caracterización morfológica de germoplasma estudio de casos: análisis de la variabilidad genética en quinua. *In* Franco, TL; Hidalgo, R. eds. Análisis estadístico de datos de caracterización morfológica de recursos fitogenéticos. Cali, CO, IPGRI. 89 p. (Boletín Técnico no. 8). p. 27-39.
- Romero, JV; Cortina G, HC. 2004a. Evaluación de germoplasma de café por antixenosis a *Hypothenemus hampei* (Ferrari) en condiciones controladas. *Cenicafé* 55(4):341-346.
- Romero, JV; Cortina G, HC. 2004b. Fecundidad y ciclo de vida de *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae) en introducciones silvestres de café. *Cenicafé* 55(3):221- 231.
- Salazar Y, M; Biriticá C, P; Cadena G, G. 2002. Implicaciones de los estudios sobre biodiversidad de los Uredinales (Royas) en la región cafetera colombiana. *Cenicafé* 53(3):219-238.
- Samayoa J, JO. 1999. Desarrollo de enfermedades en café bajo manejo orgánico y convencional, en Paraíso, Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 68 p.
- Silva, MC do; Várzea, V; Guerra G, L; Gil A, H; Fernandez, D; Petitot, AS; Bertrand, B; Lashermes, F; Nicole, M. 2006. Coffee resistance to the main diseases: leaf rust and coffee berry disease. *Braz. Journal Plant Physiol.* 18(1):119.147.
- Silva-Acuña, R; Maffia, LA; Zambolim, L; Berger, RD. 1999. Incidente-severity relationship in the pathosystem *Coffea arabica-Hemileia vastatrix*. *Plant Disease* 18(2):186-188.
- Tovar V., Nelson. 2016. Conferencia. II Jornadas de innovación Tecnológica en café; Comercio Internacional de Café. Sapecho, Bolivia.
- UFV. s/f. Cultivar de café resistente a roya. Paraiso MGH 419 – 1. Folleto. Minas Gerais, Brasil
- Umaña R, G; Vargas V, L; González, M; Vargas, E. 1990. Epidemiología del ojo de gallo (*Mycena citricolor*) en dos zonas cafetaleras de Costa Rica. *In* Taller Regional sobre Roya, Ojo de Gallo y otras Enfermedades del Cafeto (San José, CR, 1990). Resúmenes de las investigaciones. San José, CR, IICA, PROMECAFEIDRC.

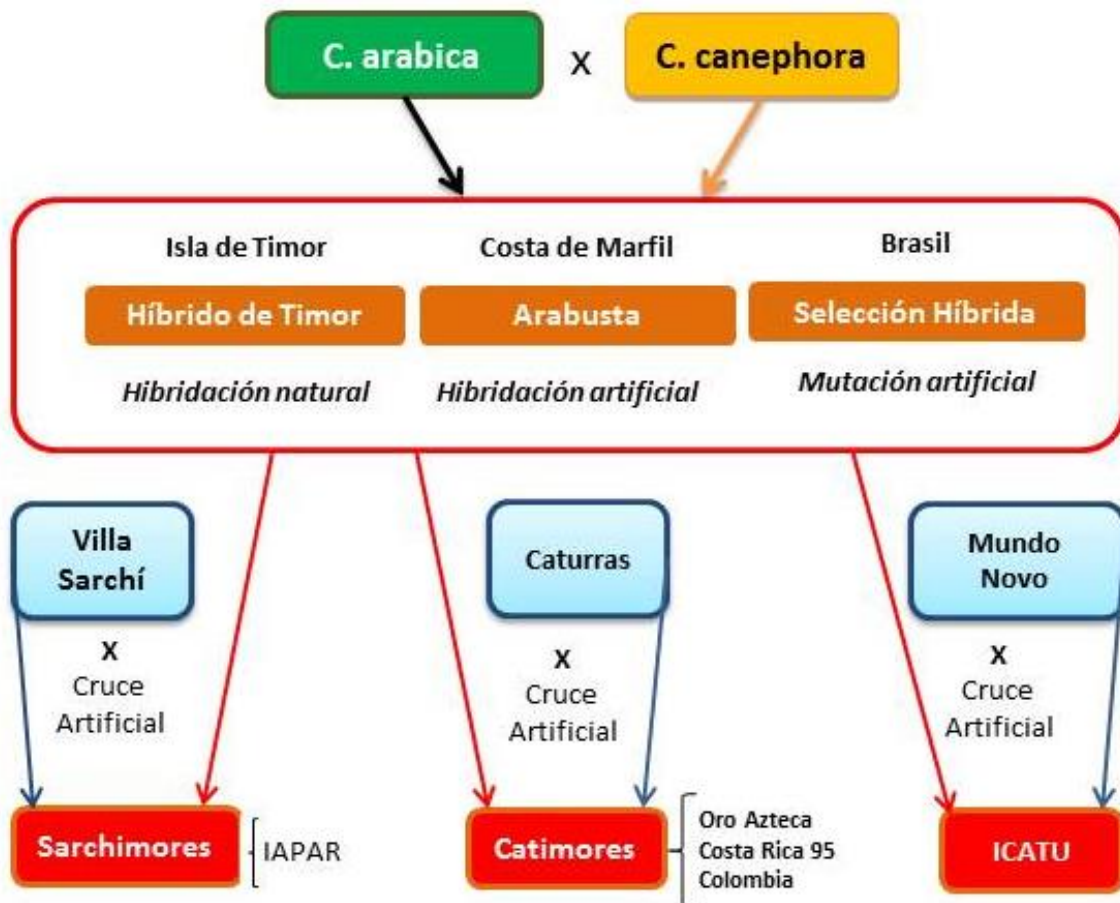
Vargas C, L. 2002. Determinación de la enzima trehalasa en el hongo *Mycena citricolor*. Boletín PROMECAFE no. 94. p. 14-17.

Vargas, VE. 1996. Opciones del uso de fungicidas en el combate de ojo de gallo en café. *In* Congreso Nacional de Fitopatología (3, 1996, Costa Rica). Memoria. Costa Rica, UNED. v, 2.

YARA. 2016. Resumen nutricional del café. Barranquilla, Colombia. Disponible en <http://www.yara.com.co/crop-nutrition/crops/cafe/informacion-esencial/resumen-nutricional/>.

ANEXOS

Anexo 1. Origen de los cultivares de café resistentes a la roya, utilizados en la Estación Experimental de Sapecho – E.E.S.



Anexo 2. Ficha para la caracterización morfológica de diez cultivares de café en la Estación Experimental de Sapecho – E.E.S.

DESARROLLO VEGETATIVO DE LA PLANTA – DVP

Planta	B1	B2	B3
Planta 1			
Planta 2			
Planta 3			
Planta 4			
Planta 5			
MODA			

(1) Monopódica; (2) Simpódica

COLOR DE LA HOJA JOVEN

Planta	B1	B2	B3
Planta 1			
Planta 2			
Planta 3			
Planta 4			
Planta 5			
MODA			

(1) Verduzca; (2) Verde;
(3) Amarronada;
(4) Marrón rojiza; (5) Bronce

Anexo 3. Ficha para la caracterización de la hoja de diez cultivares de café en la Estación Experimental de Sapecho – E.E.S.

**LONGITUD DE LA HOJA
(LH en mm)**

HOJA	B1	B2	B3
Hoja 1			
Hoja 2			
Hoja 3			
Hoja 4			
Hoja 5			
\bar{X}			

**ANCHO DE LA HOJA
(AH en mm)**

HOJA	B1	B2	B3
Hoja 1			
Hoja 2			
Hoja 3			
Hoja 4			
Hoja 5			
\bar{X}			

RELACIÓN (LH/AH)

HOJA	LH	AH	L/A
Hoja 1			
Hoja 2			
Hoja 3			
Hoja 4			
Hoja 5			
\bar{X}			

**LONGITUD DEL PECIOLLO
FOLIAR (LPF en mm)**

HOJA	B1	B2	B3
Hoja 1			
Hoja 2			
Hoja 3			
Hoja 4			
Hoja 5			
\bar{X}			

FORMA DE LA HOJA

HOJA	B1	B2	B3
Hoja 1			
Hoja 2			
Hoja 3			
Hoja 4			
Hoja 5			
MODA			

FORMA DEL ÁPICE DE LA HOJA

HOJA	B1	B2	B3
Hoja 1			
Hoja 2			
Hoja 3			
Hoja 4			
Hoja 5			
MODA			

1. Obovada; 2. Ovada; 3. Elíptica; 4. Lanceolada

(1) Redonda; (2) Obtusa; (3) Aguda; (4) Puntiguda; (5) Apiculada; (6) Espatulada

Anexo 4. Ficha para la caracterización de la inflorescencia y de la flor de diez cultivares de café en la Estación Experimental de Sapecho – E.E.S.

POSICIÓN DE LA INFLORESCENCIA

RAMA	B1	B2	B3
Rama 1			
Rama 2			
Rama 3			
Rama 4			
Rama 5			
MODA			

**LONGITUD DEL TALLO DE LA
INFLORESCENCIA (mm)**

INFLORESCENCIA	B1	B2	B3
Infloresc. 1			
Infloresc. 2			
Infloresc. 3			
Infloresc. 4			
Infloresc. 5			
\bar{X}			

NÚMERO DE FLORES POR NUDO

NUDO	B1	B2	B3
Nudo 1			
Nudo 2			
Nudo 3			
Nudo 4			
Nudo 5			
Nudo 6			
Nudo 7			
Nudo 8			
Nudo 9			
Nudo 10			
\bar{X}			

Anexo 5. Ficha para la caracterización del fruto de diez cultivares de café en la Estación Experimental de Sapecho – E.E.S.

FRUTO	B1	B2	B3
Fruto 1			
Fruto 2			
Fruto 3			
Fruto 4			
Fruto 5			
\bar{X}			

FRUTO	B1	B2	B3
Fruto 1			
Fruto 2			
Fruto 3			
Fruto 4			
Fruto 5			
\bar{X}			

FRUTO	B1	B2	B3
Fruto 1			
Fruto 2			
Fruto 3			
Fruto 4			
Fruto 5			
\bar{X}			

FRUTO	B1	B2	B3
Fruto 1			
Fruto 2			
Fruto 3			
Fruto 4			
Fruto 5			
MODA			

1.Redondeada, 2. Obovada, 3. Oval, 3.Elíptica, 4 Oblonga

FRUTO	B1	B2	B3
Fruto 1			
Fruto 2			
Fruto 3			
Fruto 4			
Fruto 5			
MODA			

1.Disco no marcado; 2. Disco marcado pero no prominente; 3. Disco prominente; 4. Disco forma picuda

FRUTO	B1	B2	B3
Fruto 1			
Fruto 2			
Fruto 3			
Fruto 4			
Fruto 5			
MODA			

1.Amarilla; 2. Amarillo naranja; 3. Naranja; 4. Naranja rojiza; 5. Rojo; 6. Rojo purpura; 7. Purpura; 8. Purpura violeta; 9. Violeta; 10. Negro

Anexo 6. Ficha para la caracterización de la semilla de diez cultivares de café en la Estación Experimental de Sapecho – E.E.S.

SEMILLA	B1	B2	B3
semilla 1			
semilla 2			
semilla 3			
semilla 4			
semilla 5			
\bar{X}			

SEMILLA	B1	B2	B3
semilla 1			
semilla 2			
semilla 3			
semilla 4			
semilla 5			
\bar{X}			

SEMILLA	B1	B2	B3
semilla 1			
semilla 2			
semilla 3			
semilla 4			
semilla 5			
\bar{X}			

SEMILLA	B1	B2	B3
semilla 1			
semilla 2			
semilla 3			
semilla 4			
semilla 5			
MODA			

(1) Amarilla; (2) Marrón – Purpura

SEMILLA	B1	B2	B3
semilla 1			
semilla 2			
semilla 3			
semilla 4			
semilla 5			
MODA			

(1) Redonda; (2) Obobada; (3) Oval; (4) Elíptica; (5) Oblonga

Anexo 10. Matriz Básica de Datos de la caracterización agromorfológica de diez cultivares de café

VARIEDAD	ALTURA	PESO DE FRUTO/PL	% SC	% SDB	LONG. DE LA HOJA	ANCHO DE LA HOJA	RELACION L/A HOJA	LONG. PECIOLO FOLIAR	LARGO DE SEMILLA	ANCHO DE SEMILLA	ESPESOR DE SEMILLA
CASTILLO	2,04	3152,67	27,33	9,67	14,44	7,27	1,98	1,12	13,10	9,90	4,52
CATUAI ROJO	1,96	2367,89	15,00	3,67	14,31	6,30	2,27	1,30	11,74	8,19	4,10
CEPAC 1	2,36	3507,11	16,00	5,33	15,41	6,49	2,37	1,50	12,14	8,53	3,64
CEPAC 2	1,96	3078,44	14,67	7,33	15,97	7,00	2,28	1,50	11,44	8,25	3,63
CEPAC 3	1,65	3535,89	18,33	5,33	14,69	6,33	2,32	1,47	12,45	8,54	3,82
CEPAC 4	1,97	4496,33	23,33	7,33	14,60	6,45	2,26	1,48	11,73	8,78	3,81
ICATU PRECOZ	3,17	2624,56	15,67	3,33	13,39	5,89	2,27	1,35	12,10	8,45	4,12
PARAISO	2,03	3768,00	15,00	3,67	14,15	6,34	2,32	1,16	11,97	8,43	4,21
TESTIGO - CR	2,10	2191,56	17,33	7,33	14,48	6,47	2,24	1,19	12,00	8,22	4,12
TUPI	2,02	3435,78	23,33	5,67	13,57	6,38	2,14	1,37	11,71	7,73	3,56

Anexo 11. Fotografías de diez cultivares de café caracterizado morfológicamente y agronómicamente en la Estación Experimental de Sapecho



Anexo 12. Proceso de beneficio y manejo postcosecha de café de los cultivares caracterizados en la E.E.S. – UMSA



Anexo 13. Caracterización de la flor, fruto y hoja



Cuantificación de número de flores por nudo



El color de fruto presentó dos estados, amarillo y rojo



Medición de la longitud de la hoja

Anexo 14. Tres estados de la hoja joven caracterizados en los cultivares de café en la Estación Experimental de Sapecho – E.E.S.



Color verde de la hoja joven



Color verduzca de la hoja joven



Color marrón rojiza de la hoja joven

Anexo 15. Evaluación de la broca, roya y ojo de gallo en las plantas de café



Frutos verdes dañados con broca



Incidencia de la roya en el cafeto en fase inicial



Indecencia de ojo de gallo

Anexo 16. Dificultades en el desarrollo fisiológicos en cultivares de café caracterizados en el trabajo de investigación



Paloteo del cultivar Icatu Precoz



Desarrollo de chupones basales



Encorvamiento de plantas en cultivar Castillo

Anexo 17. Personal encargado del área de café en la Estación Experimental de Sapecho – UMSA, gestión 2016 a cargo del Ing. Casto Maldonado.

