

**PROGRAMA DE EDUCACIÓN PARA EL DESARROLLO Y LA  
CONSERVACIÓN  
ESCUELA DE POSGRADO**

**Caracterización morfológica y agronómica de la colección núcleo  
de café (*Coffea arabica* L.) del CATIE**

Tesis sometida a consideración de la Escuela de Posgrado, Programa de Educación para el Desarrollo y la Conservación del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza como requisito para optar por el grado de:

*Magister Scientiae* en Agricultura Ecológica

Por

Severo Ignacio Cárdenas

Turrialba, Costa Rica, 2007

Esta tesis ha sido aceptada en su presente forma por el Programa de Educación para el Desarrollo y la Conservación y la Escuela de Posgrado del CATIE, y aprobada por el Comité Consejero del estudiante como requisito parcial para optar por el grado de:

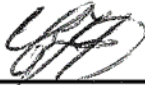
**Magister Scientiae en Agricultura Ecológica**

**FIRMANTES:**



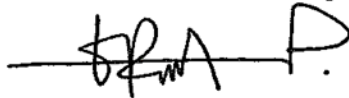
---

Andreas W. Ebert, Ph.D.  
**Consejero Principal**



---

Carlos Astorga D., M.Sc.  
**Miembro del Comité Consejero**



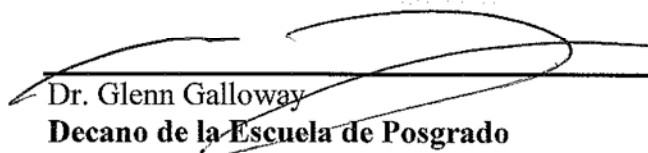
---

Galileo Rivas, Ph.D.  
**Miembro del Comité Consejero**



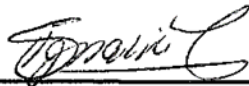
---

Fernando Casanoves, Ph.D.  
**Miembro del Comité Consejero**



---

Dr. Glenn Galloway  
**Decano de la Escuela de Posgrado**



---

Severo Ignacio Cárdenas  
**Candidato**

## **DEDICATORIA**

A Dios, por todo de todo.

Con mucho amor a mis padres Félix y Delfina por todo el apoyo que me dieron en las diferentes etapas de mi formación profesional. Ustedes queridos padres han apostado por la educación como estrategia de lucha contra la pobreza.

A Anel, mi primogénita, y a Rita, mi esposa, por el amor que me brindan, el apoyo incondicional y su compañía durante los dos años en CATIE.

Con un profundo afecto a ustedes hermanas y hermanos por saber comprender y apoyar mis decisiones y pues ustedes fueron sin duda el principal soporte desde lo lejos para la culminación satisfactoria de mis estudios en CATIE.

## **AGRADECIMIENTOS**

A mi profesor consejero, Dr. Andreas Ebert, por su impecable orientación en la ejecución de la investigación tanto en la fase de campo como en la redacción de la tesis, por su admirable don para ser Profesor Consejero y por todo su apoyo, un agradecimiento sin límites!!!.

A los miembros de mi comité consejero, M.Sc. Carlos Astorga, Dr. Fernando Casanoves y Dr. Galileo Rivas por todo el apoyo que me brindaron desde la formulación del anteproyecto hasta las últimas correcciones de la tesis.

Al Programa Internacional de Becas de la Fundación Ford y al equipo del Instituto de Estudios Peruanos, por confiar en mi proyecto para la maestría. Muchas gracias!!!.

Al Profesor Bryan Finegan, por sus valiosas sugerencias y recomendaciones que contribuyeron para mejorar mi redacción y el manejo de literatura. Gracias Profe...!!!.

Al profesor Gustavo López por su ayuda paciente con los últimos análisis estadísticos.

A mis amigos Hannes Karwat y Ute Hagner, por todo su apoyo en las cosechas de las cerezas que fueron muy significativas para el avance de la fase de campo.

Al equipo del personal administrativo de Cabiria, Carlos Cordero y Alexander Salas, por todo el apoyo en los diferentes trabajos de toma de datos tanto en laboratorio como en campo.

Al equipo del beneficio de café de APOT en CATIE, Alfonso Gamboa y Gerardo Marín, por facilitarme su equipo de trillado y su colaboración en la determinación del porcentaje de humedad de los granos oro.

A Fernando Carrera y su esposa Marilu, un agradecimiento por sus consejos y amistades.

A todos mis amigos y compañeros de Perú y del CATIE por compartir gratos momentos durante los dos años.

## **BIOGRAFÍA**

El autor nació en la comunidad de Quío en Huánuco, Perú. Estudió primaria y secundaria en su tierra natal e ingresó a la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional Hermilio Valdizán en 1993 por la modalidad de “exonerado primer puesto” y se graduó con honores como Bachiller en Ciencias Agropecuarias en 1997. En 1998 ganó uno de los cupos del V Concurso Nacional de Proyectos de Investigación auspiciada por la Red de Acción de Alternativas al uso de Agroquímicos (RAAA) para realizar la Tesis con la que optó el título de Ingeniero Agrónomo en 1999; en este mismo año prestó servicios profesionales a la compañía Química Suiza como promotor técnico en el departamento Agro; en el año 2000 fue docente del Instituto Superior Tecnológico Puerto Inca, Huánuco; en 2001 fue Asesor Técnico de la compañía Todo Agrícola y del 2002 hasta el 2005 fue Docente Auxiliar a tiempo completo en la Facultad de Ciencias Agrarias, Escuela Académico Profesional de Agronomía de la Universidad Nacional Hermilio Valdizán. En 2006 se incorporó al Programa de Maestría en Agricultura Ecológica del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE) donde logró el grado de M.Sc. en Agricultura Ecológica en el año 2007.

# CONTENIDO

DEDICATORIA .....	III
AGRADECIMIENTOS .....	IV
BIOGRAFÍA.....	V
CONTENIDO .....	VI
RESUMEN .....	X
SUMMARY.....	XI
ÍNDICE DE CUADROS .....	XII
ÍNDICE DE FIGURAS .....	XIII
LISTA DE UNIDADES, ABREVIATURAS Y SIGLAS.....	XIV
1 INTRODUCCIÓN .....	1
1.1 Antecedentes .....	1
1.2 Justificación .....	2
1.3 Objetivos del estudio .....	5
1.3.1 <i>Objetivo general</i> .....	5
1.3.2 <i>Objetivos específicos</i> .....	5
1.4 Hipótesis del estudio .....	5
1.5 Pregunta de investigación .....	5
2 MARCO CONCEPTUAL.....	6
2.1 Centro de origen y diversificación del café Arabico .....	6
2.2 Genética del café.....	7
2.3 Recursos genéticos del café como fuente de diversidad genética .....	8
2.4 La colección internacional de café del CATIE.....	8
2.5 Diversidad genética del café cultivado y silvestre en la Colección Internacional del CATIE .....	9
2.6 Colección núcleo de café del CATIE .....	11
2.7 Características morfológicas de las principales variedades cultivadas de café .....	13
2.8 La roya del café.....	13
2.9 Ojo de gallo.....	16

2.10	La broca del fruto del café .....	18
2.11	Calidad del café .....	21
2.12	Granulometría del grano oro de café .....	21
3	MATERIALES Y MÉTODOS .....	23
3.1	Ubicación de la Colección Internacional de café del CATIE .....	23
3.2	Características biofísicas del lugar de estudio .....	24
3.3	Material experimental .....	24
3.4	VARIABLES ESTUDIADAS .....	28
3.5	Métodos estadísticos .....	29
3.5.1	<i>Muestreo</i> .....	29
3.6	Caracterización morfológica de la colección núcleo de café del CATIE .....	29
3.6.1	<i>Caracterización de las plantas y ramas</i> .....	29
3.6.1.1	Hábito de planta.....	29
3.6.1.2	Desarrollo vegetativo .....	29
3.6.1.3	Color de la hoja joven .....	30
3.6.2	<i>Caracterización de la hoja</i> .....	30
3.6.2.1	Longitud de la hoja.....	30
3.6.2.2	Ancho de la hoja.....	31
3.6.2.3	Longitud del pecíolo foliar .....	31
3.6.2.4	Forma de la hoja .....	31
3.6.2.5	Forma del ápice de la hoja.....	31
3.6.3	<i>Caracterización de la inflorescencia y de la flor</i> .....	31
3.6.3.1	Posición de la inflorescencia .....	32
3.6.3.2	Longitud del tallo de la inflorescencia .....	32
3.6.3.3	Número de flores por axila.....	32
3.6.3.4	Número de flores por fascículo .....	32
3.6.3.5	Número de fascículos por nudo.....	32
3.6.4	<i>Caracterización del fruto</i> .....	33
3.6.4.1	Largo del fruto.....	33

3.6.4.2	Ancho del fruto.....	33
3.6.4.3	Espesor del fruto.....	33
3.6.4.4	Forma del fruto.....	34
3.6.4.5	Forma del disco del fruto.....	34
3.6.4.6	Color del fruto .....	34
3.6.5	<i>Caracterización de la semilla</i> .....	34
3.6.5.1	Largo de la semilla .....	35
3.6.5.2	Ancho de la semilla.....	35
3.6.5.3	Espesor de la semilla .....	35
3.6.5.4	Color de la semilla.....	35
3.6.5.5	Forma de la semilla .....	35
3.7	Caracterización agronómica de la colección núcleo de café del CATIE.....	36
3.7.1	<i>Caracterización de la arquitectura de la planta</i> .....	36
3.7.1.1	Altura de plantas.....	36
3.7.1.2	Ángulo de inserción de las ramas primarias.....	36
3.7.1.3	Hábito de ramificación .....	36
3.7.2	<i>Evaluación del peso de bayas, peso de granos pergamino y granos oro</i> .....	37
3.7.3	<i>Evaluación de frutos vanos</i> .....	37
3.7.4	<i>Evaluación de semillas tipo caracol</i> .....	38
3.7.5	<i>Evaluación del daño de broca</i> .....	38
3.7.6	<i>Evaluación de la incidencia de roya</i> .....	39
3.7.7	<i>Evaluación de la incidencia de ojo de gallo</i> .....	40
3.7.8	<i>Evaluación granulométrica de grano oro</i> .....	40
3.8	Análisis estadístico .....	43
3.8.1	<i>Caracterización morfológica y agronómica de la colección núcleo de café del CATIE</i> .....	43
3.8.2	<i>Incidencia de roya, ojo de gallo y broca del fruto en las accesiones de la colección núcleo de café del CATIE</i> .....	44



3.8.3	<i>Granulometría de las accesiones de la colección núcleo de café del CATIE ...</i>	46
4	RESULTADOS.....	47
4.1	Caracterización morfológica y agronómica.....	47
4.1.1	<i>Caracterización de la colección núcleo de café del CATIE .....</i>	47
4.1.2	<i>Grupos fenotípicos dentro de las accesiones de la colección núcleo de café del CATIE .....</i>	49
4.1.3	<i>Caracterización de los grupos fenotípicos de la colección núcleo de café del CATIE .....</i>	54
4.2	Incidencia de roya en las accesiones de la colección núcleo de café del CATIE....	57
4.3	Respuesta de las accesiones de la colección núcleo de café del CATIE al ataque de la broca del fruto del café .....	60
4.4	Respuesta de las accesiones de la colección núcleo de café del CATIE a la incidencia de ojo de gallo .....	63
4.5	Granulometría de las accesiones de la colección núcleo de café del CATIE .....	64
5	DISCUSIÓN .....	65
5.1	Caracterización morfológica y agronómica de la colección núcleo de café del CATIE .....	65
5.2	Respuesta de las accesiones de la colección núcleo de café del CATIE al ataque de roya, ojo de gallo y broca.....	68
5.3	Granulometría de las accesiones de la colección núcleo de café del CATIE .....	70
6	CONCLUSIONES .....	72
7	RECOMENDACIONES .....	73
8	BIBLIOGRAFÍA .....	74
	ANEXOS .....	86

## RESUMEN

La colección núcleo de café (*Coffea arabica* L.) del CATIE está ubicada en la finca Cabiria en Turrialba, provincia de Cartago, Costa Rica. Con un total de 1992 accesiones es la tercera colección de café más grande en el mundo. La colección núcleo de café del CATIE está constituida por 73 accesiones, de las cuales el 81% son genotipos silvestres procedentes de Etiopia y el 19% son variedades antiguas cultivadas en Etiopia y Yemen. La constitución de una colección núcleo es importante porque facilita el manejo y uso de las accesiones en programas de mejoramiento genético tradicional o asistido por marcadores moleculares. Sin embargo, la variabilidad genética así como las características de interés agronómico de las accesiones que constituyen dicha colección núcleo no han sido investigadas a fondo. En el presente estudio se realizó una profunda caracterización de toda la colección núcleo a través de descriptores morfológicos y agronómicos para conocer la estructura fenotípica de la colección y la variabilidad de las características de interés agronómico presentes en las accesiones. Los resultados de la caracterización agromorfológica de la colección núcleo de café del CATIE indicaron que existen tres grupos fenotípicos diferentes para los 23 descriptores evaluados. La evaluación de las accesiones por incidencia a enfermedades y plagas, en condiciones de campo, reveló que existen ocho accesiones que presentaron menos de uno por ciento de incidencia de roya, 13 accesiones con ausencia total de síntomas de ojo de gallo y seis accesiones con menores porcentajes de daño por broca (25% a 50%); además, se encontró que existe preferencia de la broca por perforar frutos con discos de tipo no prominente con relación a los frutos con discos prominente y picuda; así mismo, se encontró mayor daño de broca en frutos de color rojo con respecto a los frutos rojo púrpura. Los resultados de la evaluación granulométrica indicaron que existen tres accesiones con granos grandes superiores a 9% y seis accesiones que producen granos comerciales AA (grano oro mayor al tamiz 17/64'') superiores a 76%. Estos resultados evidencian el gran potencial que presenta el germoplasma de la colección núcleo de café del CATIE para ser usado en futuros programas de mejoramiento genético buscando resistencia a roya, ojo de gallo, broca y para mejorar el tamaño de grano del café y de esta manera mejorar la calidad de la bebida.

**Palabras clave:** colección núcleo, descriptores morfológicos y agronómicos, roya anaranjada del cafeto, ojo de gallo, broca, granulometría y calidad del grano, recursos fitogenéticos.

## SUMMARY

CATIE's international coffee (*Coffea arabica* L.) collection is located in the Cabiria farm in Turrialba, province of Cartago, Costa Rica. With a total of 1992 accessions, it is the third largest coffee collection in the world. The coffee core collection of CATIE comprises 73 accessions, out of which 81 percent are wild genotypes of Ethiopian origin and 19 percent represent "landraces", formerly grown in Ethiopia and Yemen. The formation of a coffee core collection is important as this facilitates the adequate management and use of the accessions in traditional breeding schemes or programs assisted by molecular markers. However, the genetic variability, as well as traits of agronomic interest of the accessions constituting CATIE's coffee core collection have not been studied in sufficient detail. The present study consisted in a thorough characterization of the entire core collection using morphological and agronomic descriptors to reveal the phenotypic structure of the collection and the variability of traits of economic interest among the accessions. The results of the agro-morphological characterization of the coffee core collection using 23 descriptors revealed the existence of three different groups of phenotypes. The field evaluation of the accessions for susceptibility to diseases and pests revealed eight accessions which presented an incidence of coffee leaf rust of less than one percent, 13 accessions which did not show any symptoms of American leaf spot and six accessions which presented reduced levels of coffee berry borer incidence (25% to 50%). In addition, the study indicated that there is a preference of the coffee berry borer for berries with non-prominent apical fruit discs in comparison with berries characterized by prominent or contracted fruit discs. Moreover, a higher incidence of the coffee berry borer was found in red-colored cherries compared with purple-red cherries. The grading for bean size indicated that three accessions produced more than nine percent of large grains and that six accessions produced more than 76% of commercial AA grade. The results clearly demonstrate the great potential of germplasm conserved in CATIE's coffee core collection for use in future breeding programs aiming at resistance against coffee leaf rust, American leaf spot and coffee berry borer, as well as improved bean size which may lead to better cup quality.

**Keywords:** core collection, morphological and agronomic descriptors, coffee leaf rust, American leaf spot, coffee berry borer, grading and grain quality, plant genetic resources.

## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Accesiones que constituyen la colección núcleo de café ( <i>C. arabica</i> L.) del CATIE, 2007.....	26
Cuadro 2. Descriptores morfológicos y agronómicos utilizados para la caracterización de la colección núcleo de café ( <i>C. arabica</i> L.) del CATIE, 2007 .....	28
Cuadro 3. Características cuantitativas utilizadas para la caracterización de la colección núcleo de café ( <i>C. arabica</i> L.) del CATIE, 2007.....	44
Cuadro 4. Estadísticos descriptivos para las características cuantitativas utilizadas para la caracterización de 73 accesiones de la colección núcleo de café ( <i>C. arabica</i> L.) del CATIE, 2007.....	48
Cuadro 5. Características cuantitativas que discriminan los grupos fenotípicos de la colección núcleo de café ( <i>C. arabica</i> L.) del CATIE, 2007.....	53
Cuadro 6. Proporción de la varianza explicada para 23 características utilizadas en la caracterización de grupos fenotípicos de la colección núcleo de café ( <i>C. arabica</i> L.) del CATIE, 2007.....	55

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación geográfica de la Colección de Café del CATIE.....	24
Figura 2. Rama plagiotrópica y hoja de café para: (A) Muestreo de las hojas, (B) medición del largo y (C) ancho de la hoja.....	30
Figura 3. Caracterización del fruto: (A) largo, (B) ancho y (C) espesor.....	34
Figura 4. Proceso de beneficio y manejo postcosecha del café oro.....	42
Figura 5. Dendograma de clasificación fenotípica de 73 accesiones de la colección núcleo de café del CATIE (método de Ward, distancia euclídea cuadrado).....	50
Figura 6. Elipses de predicción para los grupos fenotípicos de la colección núcleo de café del CATIE, 2007(95% de confianza).....	51
Figura 6. Área bajo la curva del progreso de la enfermedad para 28 accesiones contrastantes por baja y alta incidencia a <i>H. vastatrix</i> en la colección núcleo de café del CATIE. Letras diferentes indican diferencias significativas con la prueba LSD Fisher ( $\alpha=0.05$ ).....	57
Figura 7. Biplot obtenido mediante análisis de correspondencias múltiples para la asociación entre categorías de porcentaje de incidencia de roya ( <i>H. vastatrix</i> ) y la forma de la hoja de las plantas de la colección núcleo de café del CATIE, 2007.....	59
Figura 8. Promedio de incidencia de roya ( <i>H. vastatrix</i> ) por planta para las accesiones contrastantes para bajas y altas incidencias de la enfermedad según el comportamiento de la precipitación.....	60
Figura 9. Porcentaje de daño de broca ( <i>H. hampei</i> ) en frutos de café para nueve accesiones contrastantes de la colección núcleo de café del CATIE. Letras diferentes indican diferencias significativas con la prueba LSD Fisher ( $\alpha=0.05$ ).....	61
Figura 10. Porcentaje de daño de broca ( <i>H. hampei</i> ) en frutos según la forma del disco del fruto de las plantas de la colección núcleo de café del CATIE. Letras diferentes indican diferencias significativas con la prueba LSD Fisher ( $\alpha=0.05$ ).....	62
Figura 11. Porcentaje de daño de broca ( <i>H. hampei</i> ) en frutos según el color del fruto de las plantas de la colección núcleo de café del CATIE. Letras diferentes indican diferencias significativas con la prueba LSD Fisher ( $\alpha=0.05$ ).....	63

## **LISTA DE UNIDADES, ABREVIATURAS Y SIGLAS**

- ABCPE: Área bajo la curva del progreso de la enfermedad
- ACP: Análisis de componentes principales
- AD: Análisis discriminante
- ADN: Ácido desoxirribonucleico
- AFLP: Polimorfismo en la longitud de los fragmentos amplificados (siglas en inglés)
- ANAVA: Análisis de la varianza univariada
- APOT: Asociación de Productores Orgánicos de Turrialba
- CATIE: Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza
- CCI: Centro de Comercio Internacional
- CICAFE: Centro de Investigaciones en Café
- CIRAD: Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement
- FAO: Organización de las Naciones Unidas para La Agricultura y La Alimentación (siglas em inglés)
- GRDE: Gerencia Regional de Desarrollo Económico, San Martín, Perú
- ICO: Organización Internacional del Café (siglas en inglés)
- IHCAFE: Instituto Hondureño del Café
- IPGRI: Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos (siglas en inglés)
- MANOVA: Análisis de la varianza multivariada
- RAPD: Amplificación aleatoria del ADN polimórfico (siglas en inglés)
- SSR: Secuencias simples repetidas o microsatélites (siglas en inglés)

# 1 INTRODUCCIÓN

## 1.1 Antecedentes

El café (*Coffea* spp.) es cultivado en casi 80 países (Clay 2004) tropicales y subtropicales del mundo (Silva *et al.* 1999, Clay 2004), y constituye uno de los productos primarios más valiosos del comercio mundial (León 2000, ICO 2007). El área ocupada por el cultivo de café en todo el planeta es de 13.2 millones de km<sup>2</sup> (Onzima *et al.* 2002), de los cuales, el 75% es cultivado en pequeñas fincas de unas 10 ha, principalmente manejados por el grupo familiar (Jeffrey 2003). El sector cafetero en su conjunto, incluyendo el cultivo, procesamiento, comercio, distribución y exportación del café (Rutherford 2006, ICO 2007) es una importante fuente generadora de empleo en muchos países tropicales y subtropicales (Donald 2004). En este contexto, Onzima *et al.* (2002), mencionan que alrededor del 5% a 10% de la población mundial está empleada en este sector, otros autores mencionan que más de 25 millones de personas (principalmente pequeños agricultores) están involucradas directamente en la producción del café y 75 millones más son indirectamente dependientes del café para generar sus medios de subsistencia (Clay 2004, Donald 2004). Osorio (2002) y Santos (2003) estiman que más de 125 millones de personas en el mundo son directa o indirectamente dependientes del café para su sustento. Donald (2004) menciona que el cultivo de café por pequeños agricultores es dependiente de mano de obra intensiva que requiere aproximadamente 73 personas/día/ha/año y ocupa mano de obra de familias enteras.

Hoy en día la bebida del café es consumida por más de la tercera parte de la población mundial (Dulloo *et al.* 2001), pero desde la década pasada hay una tendencia de aumento en el consumo de cafés finos de alta calidad (Bertrand *et al.* 1999), una característica correlacionada, entre otras variables, con el genotipo. Sin embargo, los factores que afectan la producción del café en América Latina son las plagas y enfermedades principalmente, y estrés abiótico como la sequía, salinidad de los suelos, entre otros. *Hemileia vastatrix* es el agente causal de la roya amarilla del café, una de las enfermedades más serias en América Latina (Avelino y Savary 2002) y *Mycena citricolor* (*Omphalia flavida*) que provoca la enfermedad conocida como “ojo de gallo” constituye uno de los problemas fitopatológicos más importantes en Costa Rica y en la caficultura regional (Canet e Ibarra 2002, Muller *et al.* 2004). Asimismo, *Hypothenemus hampei*, conocida como la broca del café, es la plaga insectil considerada más devastadora (Vega *et al.* 2002, Rojas 2004) en muchos países productores de

café (Dufour 2002), a menudo es una plaga grave del cultivo de café Robusta y Arábica en altitudes bajas (Crowe 2004), pero afecta a todas las especies del género *Coffea*, siendo el más preferido *C. canephora* (Lan y Wintgents 2004).

El actual y creciente hábito en los consumidores de preferir cafés finos y la necesidad de superar las limitaciones de cultivo del café, han motivado a considerar que las características de calidad, productividad, resistencia a plagas y enfermedades, y la capacidad de una amplia adaptación deben estar presentes en los futuros cultivares (Fischersworing y Robkamp 2001, van Hintum *et al.* 2003), ya que las variedades cultivadas actualmente en Latinoamérica no las presentan (Bertrand *et al.* 1999) debido a que provienen de una base genética muy estrecha (Bertrand y Anthony 1995, Anthony *et al.* 2003) resultado de las introducciones de las dos poblaciones, Typica y Bourbon, en el siglo XVIII y XIX de Holanda, Francia y la Isla Bourbon (hoy Isla de Reunión) respectivamente (Astorga 1999).

## **1.2 Justificación**

Los recursos fitogenéticos constituyen la base de la seguridad alimentaria en el mundo (Jackson 1997). En el caso del café, estos recursos están conformados por 103 especies descritas en el género *Coffea* (72% de los cuales están en peligro de extinción) (Davis *et al.* 2006) y las especies menos conocidas del género *Psilanthus* (Anthony *et al.* 1999). Las poblaciones silvestres de estas especies se encuentran en estado natural en África tropical o conservadas en condiciones *ex situ* en diversos bancos genéticos (Anthony *et al.* 2007). Existen diez colecciones importantes en el mundo, cinco en África (Etiopía, Kenia, Tanzania, Camerún y Costa de Marfil), una en Madagascar, una en Asia (India) y tres en América (Costa Rica, Colombia y Brasil) (Anthony *et al.* 1999). Hoy en día, el material genético conservado *ex situ* constituye la fuente más importante y de fácil acceso para la búsqueda de soluciones a los problemas fitosanitarios y de adaptación del café Arábica. Asimismo, es fuente importante para la generación de variedades de café de alta calidad (van Hintum *et al.* 2003). En Latinoamérica, los programas de mejoramiento genético del café sólo han utilizado una parte infinitesimal del acervo de genes presentes en estos recursos (Anthony *et al.* 1999).

Las poblaciones silvestres presentan mayor variabilidad genética (Anthony *et al.* 2007) y constituyen el mayor potencial para ampliar la base genética del cultivo de café. Sin embargo, la principal limitante es que aún no se conoce toda la variabilidad genética ni las



características de interés agronómico existentes en estas poblaciones, entonces la caracterización utilizando marcadores moleculares, morfológicos, bioquímicos o agronómicos es una opción muy importante y viable para conocer la variabilidad genética y las características de interés agronómico en poblaciones silvestres de café (Anthony *et al.* 2002a, Anthony *et al.* 2002b, Sevilla y Holle 2004). Una caracterización adecuada de las poblaciones naturales y de las colecciones *ex situ*, además de ser un proceso esencial para el manejo de los recursos fitogenéticos, permite conocer las características de interés para el mejoramiento genético (Anthony *et al.* 1999) y proporciona información importante para optimizar su conservación e identificar genotipos valiosos (Astorga 1999). Por lo tanto, después de una evaluación sistemática de una colección (Ray 2002) o de una población silvestre es posible usar al máximo el potencial de la diversidad existente dentro de una colección (Sevilla y Holle 2004) y los genotipos silvestres pueden ser utilizados sostenidamente en programas de mejoramiento genético del café.

Jackson (1997) menciona que una forma de medir el valor del germoplasma conservado es evaluar en términos de las características usadas para mejoramiento genético de la especie cultivada y el impacto económico que tiene la utilización del germoplasma en la producción y productividad del cultivo. Este contexto corrobora la gran utilidad que tienen los descriptores morfológicos y agronómicos para la caracterización y evaluación de recursos genéticos (Demey *et al.* 2003) del café. Ellos permiten estimar la variabilidad existente en una colección, la representatividad de la colección y su relación con la variabilidad de la especie, identificar grupos genéticos, el porcentaje de duplicidad, así como identificar genotipos particulares con resistencia a estrés biótico, abiótico y adaptabilidad a condiciones extremas (Hidalgo 2003, Ligarreto 2003).

En contraste a lo descrito en la presente sección, el valor de la colección de café del CATIE, a pesar de ser una de las más grandes en América por su diversidad genética en variedades cultivadas y genotipos silvestres (Ebert 2005), es poco conocido debido a su caracterización insuficiente. Sin embargo, tiene un enorme potencial para ser usado en el mejoramiento genético del cultivo (Aguilar *et al.* 2004), porque entre los genotipos conservados se encuentran cultivares antiguos como el cultivar Geisha procedente de África, que según Power (2005), actualmente es cultivado con éxito en una finca de Panamá, cuyo producto se vende a precios records en el mercado mundial, como el café más fino y suave; por ejemplo en una subasta en mayo 2005 alcanzó un precio de US \$ 20,10/libra frente a US \$

1,20/libra del café corriente. Este éxito ha llamado la atención de muchos caficultores en América Central y hasta la fecha, el banco de germoplasma del CATIE no puede satisfacer la demanda por este cultivar (Ebert 2007).

Por otro lado, la mejor forma de optimizar el manejo de un banco de germoplasma es la necesidad de mejorar la accesibilidad de sus colecciones a un amplio grupo de usuarios, fundamentalmente a genetistas y fitomejoradores (Hamon *et al.* 1995). En tal sentido el concepto de colección núcleo propuesto por Frankel (1984), “una colección núcleo es un conjunto limitado de accesiones que, empleando un mínimo de repeticiones, representa la diversidad genética de una especie cultivada y de sus parientes silvestres”, es un enfoque frente a este desafío (Hamon *et al.* 1995). En las colecciones grandes y numerosas, la formación de colecciones núcleo es una estrategia para resolver los desafíos del uso y manejo de recursos fitogenéticos (Frankel 1984). Según Brown y Spillane (1999) las colecciones núcleo son más accesibles para fines como: 1) la recombinación mediante técnicas de la ingeniería genética, cuyo fin es usar genes en una gama más amplia de recursos de un cultivo pero en número de muestras menores, 2) el fitomejoramiento a través de técnicas moleculares, ya que estas técnicas necesitan el acceso a una diversidad más amplia de recursos fitogenéticos pero no en una gran cantidad de accesiones, y 3) conservación de germoplasma a través de técnicas modernas, tales como la criopreservación, cultivo de tejidos y las librerías de ADN, requieren también de un reducido número de muestras.

En la colección de café del CATIE se han hecho esfuerzos para conocer la variabilidad genética existente y hacer más accesible el uso del material conservado para los investigadores, fitomejoradores, agricultores y público, y de hecho hay logros relevantes como la formación de la colección núcleo de café del CATIE. Sin embargo, la conservación del número original de las plantas de las accesiones es un problema en esta colección núcleo, por ejemplo, originalmente el número de plantas que la conformaban fue de 628 (Ebert 2006)<sup>1</sup>, y actualmente, pese a los esfuerzos para su conservación, sólo se encuentra el 57.6% (362 plantas) y el 42.4% se perdió sin que se conozcan sus cualidades. Por otro lado, existe la necesidad de la continuidad de muchos trabajos, uno de ellos fue la caracterización morfológica y agronómica de esta colección núcleo. Esta investigación es un aporte al conocimiento de la variabilidad fenotípica y de las características de interés agronómico existentes en la colección núcleo.

---

<sup>1</sup> Ebert, AW. 2006. Documento de trabajo del GT MURF.

## **1.3 Objetivos del estudio**

### ***1.3.1 Objetivo general***

Determinar la variabilidad genética de las accesiones de la colección núcleo de café del CATIE, a través de una caracterización morfológica y agronómica.

### ***1.3.2 Objetivos específicos***

- Estimar la variabilidad genética de las accesiones de la colección núcleo de café del CATIE, a través de descriptores morfológicos y agronómicos.
- Evaluar la incidencia de roya, ojo de gallo y broca y su relación con las características agromorfológicas de las accesiones de la colección núcleo de café del CATIE.
- Determinar la relación existente entre los parámetros de calidad de grano y las características agromorfológicas en la colección núcleo de café del CATIE.

## **1.4 Hipótesis del estudio**

- “Las accesiones de la colección núcleo de café del CATIE presentan variabilidad genética que puede ser discriminada a través de descriptores morfológicos y agronómicos”.
- “Las accesiones de la colección núcleo de café del CATIE presentan diferencias en su grado de incidencia a la broca, roya y ojo de gallo, las cuales están relacionadas con algunas características agromorfológicas”.
- “Las accesiones de café en estudio presentan diferencias en sus características de calidad de grano, las cuales están relacionadas con algunos atributos agromorfológicas”.

## **1.5 Pregunta de investigación**

El contexto descrito de la caficultura y el estado actual de la colección núcleo de café del CATIE conlleva a plantear el problema con una interrogante: ¿Los descriptores morfológicos y agronómicos permiten conocer la variabilidad fenotípica y las características de interés agronómico de los cafés silvestres conservados en la colección núcleo de café del CATIE?

## 2 MARCO CONCEPTUAL

### 2.1 Centro de origen y diversificación del café Arabico

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). La fecha de inicio de su cultivo se estima que fue a inicios del siglo VIII, luego por varios siglos (hasta el siglo XV) el cultivo se mantuvo como un monopolio de los Árabes en las cercanías del mar Rojo, con una fuerte expansión hacia Yemen (ex Arabia del Sur) en el siglo XIV, y hacia el Oriente Medio durante el siglo XV (Anthony *et al.* 1999).

La primera introducción de café en Europa se dio en 1706, y solo se introdujo una planta desde Java al jardín botánico de Ámsterdam, a partir del cual se originaron la mayoría de variedades cultivadas actualmente en el mundo (Chevalier y Dagron 1928, Carvalho 1946 citados por Anthony *et al.* 1999). Luego de la firma de paz entre Holanda y Francia en 1714, el alcalde de Ámsterdam obsequió una planta al rey Luís XIV, este individuo se adaptó exitosamente en el Jardín de plantas de París y produjo rápidamente semillas (Chevalier y Dagron 1928 citado por Anthony *et al.* 1999). Un año después el sultán de Yemen obsequió algunas plantas a Francia, que luego fueron enviadas a la Isla de Bourbon (hoy Isla de la Reunión) (Lashermes *et al.* 1996).

Las primeras introducciones de café al continente Americano se dieron a inicios del siglo XVIII. 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 Dagron 1928, citado por Anthony *et al.* 1999). Por otro lado, los ingleses introdujeron plantas de café a Jamaica en 1730 y hacia finales del siglo XVIII (Anthony *et al.* 1999) e inicios del siglo XIX el cultivo se extendió por todo América tropical (León 2000).

Según estos reportes está claro que los cafés de Yemen dieron origen a dos tipos de café Arábica: 1) *C. arabica* var. *typica* (*arabica*), 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 fuertemente (Anthony *et al.* 2002a).

## 2.2 Genética del café

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  $x=11$ .

No hay muchas evidencias citogenéticas sobre su origen, sin embargo, dos hipótesis son relevantes (León 2000): i) es un híbrido alotetraploide de dos especies de diferente grupo filogenético (Monge y Guevara 2000), siendo sus posibles parentales los diploides *Coffea eugenioides* y *Coffea congensis* debido a su afinidad fenotípica. Sin embargo, un argumento en contra de esta hipótesis es el hecho que en su hábitat natural no se encuentran estas dos especies ni otras especies de su género, lo cual hace suponer que si fuera un alotetraploide, el cruce interespecífico que la originó debió ocurrir fuera del área actual o que se derivó de especies que ya desaparecieron del área actual de dispersión. ii) es una especie autoploiploide, aunque argumentos que justifican esta hipótesis no son claros aún, no se puede descartar (León 2000). En contraste a la primera hipótesis, con base a un estudio a través de un análisis molecular citogenética, Lashermes *et al.* (2000b) señalan que *C. arabica* es una especie anfiploide resultado de una hibridación natural entre dos especies diploides convergentes, *C. canephora* y *C. eugenioides*. Estos reportes evidencian que el origen genético de *C. arabica* es aún oscuro, sin embargo, la hipótesis de que es una especie anfiploide sería relevante aunque no definitivo, dado que tiene un respaldo de un estudio molecular citogenético.

### **2.3 Recursos genéticos del café como fuente de diversidad genética**

Los recursos fitogenéticos del café Arábico que poseen un genoma común están conformados por 103 especies descritas en el género *Coffea* y las especies menos conocidas del género *Psilanthus* (Anthony *et al.* 1999; Davis *et al.* 2006). 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, Etiopia 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). 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.* 2002b). Pero en América Latina, la estrecha base genética de los cultivares actuales se debe a la historia particular de su disseminación 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 (León 2000). Dado este contexto, los materiales silvestres y semi-silvestres constituyen importantes fuentes de diversidad genética del café, principalmente para América Latina.

### **2.4 La colección internacional de café del CATIE**

La colección de café del CATIE empezó en Turrialba, Costa Rica por los años 50. A partir de 1976 el CATIE, a través de la Unidad de Recursos Genéticos, tomó acciones

concretas para preservar la colección con el apoyo financiero del gobierno Alemán a través de la Sociedad Alemana para la Cooperación Técnica (GTZ). En un inicio, la colección de café estuvo conformada por materiales procedentes de Guatemala, El Salvador, Puerto Rico y variedades locales que mantenía la Hacienda Atirro en Turrialba; luego fueron traídas nuevas accesiones de Brasil, África, India, Portugal y Etiopía a través del Departamento de Agricultura de Estados Unidos (Morera *et al.* 1993). En la actualidad es la colección más grande de *C. arabica* en el continente Americano y el tercero en el mundo (Ebert 2005), está representado por un total de 9056 árboles y 1992 accesiones (Dulloo *et al.* 2001) y es importante por su amplia variabilidad genética representada por 1809 accesiones de *C. arabica* (más del 90%), 88 introducciones de *C. canephora* y 25 introducciones de *C. liberica* (Ebert 2005).

Dentro de la colección se conservan diferentes tipos de material genético como: i) genotipos silvestres y semi-domesticados de café Arábigo, colectados por la FAO y ORSTOM en Etiopía e IPGRI en Yemen, así como especies diploides (880 accesiones con 2682 cafetos); ii) variedades locales (landraces), variedades mejoradas avanzadas y mutantes, derivados del material genético introducido a Latino América en el siglo XVIII, como también líneas puras de variedades introgresadas de *C. canephora*, las mismas que fueron seleccionadas por ser resistentes a la roya anaranjada del café (928 accesiones con 5464 cafetos); iii) híbridos inter e intra-específicos (184 accesiones con 910 cafetos) y iv) material de investigación. Estos materiales fueron colectados en su centro de origen (Etiopía) y domesticación (Yemen) y en los principales países productores de Centro América y América del Sur e incluyen también los materiales generados por los programas de mejoramiento genético. Esta colección, en los últimos 40 años, se ha venido manteniendo en un área de ocho hectáreas bajo sombra de la especie leguminosa *Erythrina poeppigiana* (poró) y en menor proporción de la especie de *Eucalyptus deglupta* (Ebert 2005).

## **2.5 Diversidad genética del café cultivado y silvestre en la Colección Internacional del CATIE**

El límite de la caracterización del café cultivado, por los marcadores, se encuentra a nivel de las variedades Typica y Bourbon debido a la estrecha base genética difundida en el siglo XVIII (Anthony *et al.* 2002b). En este contexto, Astorga (1999) caracterizó las variedades Typica y Bourbon con marcadores RAPD, para lo cual utilizó muestras de seis

variedades Typica y seis variedades Bourbon, sus resultados confirman la separación clara entre las dos bases genéticas; además señala que ambos grupos genéticos presentan una distancia genética muy baja (0.056) y un polimorfismo también bajo. Resultados similares (baja diversidad genética) fueron encontrados en cafés Arábigos cultivados en Tanzania mediante marcadores RAPDs e ISSR (Masumbuko *et al.* 2003, Masumbuko y Bryngelsson 2006).

Anthony *et al.* (2002b) caracterizaron 17 accesiones de *C. arabica*, cuatro cultivares de Yemen y 11 accesiones sub-espontáneas, utilizando 107 marcadores AFLP y seis SSR. Según los marcadores AFLP las diferencias entre las bases de Typica y Bourbon representaron 22% de los marcadores identificados, y estas además se separaron claramente del grupo de las accesiones sub-espontáneas. Las accesiones de Yemen presentaron baja diversidad genética similar a la detectada en las variedades Typica y Bourbon; sin embargo, el polimorfismo encontrado en las accesiones sub-espontáneas fue más alto con relación al nivel de polimorfismo encontrado en las accesiones cultivadas.

En otro estudio con marcadores microsatélites, Anthony *et al.* (2002a) caracterizaron cinco variedades Typica, cinco Bourbon, cinco cafés silvestres de Etiopía, cuatro cafés de *C. canephora*, el Híbrido de Timor, la línea Sarchimor y dos cafés de la variedad Veranero, donde identificaron 92 marcadores polimórficos, de los cuales 17 fueron revelados únicamente en la especie *C. arabica* y 33 en *C. canephora*. La diversidad genética del material estudiado fue baja y la clasificación de las bases genéticas Typica y Bourbon fueron similares a los que encontraron con los marcadores RAPD y AFLP.

Anthony *et al.* (2001) realizaron un estudio en los cafés silvestres y cultivadas de *C. arabica* del banco de germoplasma del CATIE, utilizando marcadores RAPD (29 fragmentos polimórficos de ADN), discriminaron la variabilidad de 88 accesiones colectadas entre los árboles espontáneos y sub-espontáneos en Etiopía, seis variedades cultivadas localmente y dos variedades de Typica y Bourbon.

Según sus resultados, los cafés silvestres se clasifican en cuatro grupos genéticos, denominados “Ethiopian 1, 2, 3 y 4” respectivamente, que se diferenciaron claramente de las variedades cultivadas Typica y Bourbon. Estos cuatro grupos se dividieron a su vez en dos conjuntos geográficos: 1) Ethiopian 1 resultó el grupo más grande con 78 accesiones y dos variedades cultivadas de Etiopía, colectadas en las provincias del oeste y el sudoeste del Gran Valle de la Grieta, y 2) los otros tres grupos fueron más pequeños conformados por las



accesiones colectadas entre el este y sudeste del valle. Así mismo, la mayoría de bandas polimórficas fue detectada en las accesiones clasificadas en el grupo Ethiopian 1, que presentaron 28 de los 29 marcadores idénticos, mientras que las accesiones clasificadas en los grupos 2, 3 y 4 sólo presentaron 13, 12 y 8 marcadores respectivamente (Anthony *et al.* 2001). Estos resultados indican que la diversidad genética del café estaría estructurada en dos grupos complejos, separados por la grieta tectónica que atraviesa del noreste al sudoeste de Etiopía (Anthony *et al.* 2007). Los resultados reportados por Aga *et al.* (2005) coinciden con los resultados del estudio anterior (alto porcentaje de polimorfismo en las poblaciones silvestres) quienes encontraron un total de 25% de fragmentos polimórficos (utilizando ISSR) para 160 individuos representativos de 16 poblaciones naturales de café.

Además, Anthony *et al.* (2001) mencionan que comparando las diferencias entre los cafés silvestres y cultivados encontraron bajas distancias genéticas entre ambos, principalmente con las accesiones silvestres clasificadas en el grupo Ethiopian 1, así mismo, las diferencias entre este grupo y los grupos 2, 3 y 4 de material silvestre también fueron bajas. Según este resultado ellos suponen que los materiales recolectados en el este y sudeste de Etiopía no tuvieron como origen cafés silvestres presentes en el bosque, sino introducciones del oeste y sudoeste de Etiopía.

Anthony *et al.* (2002b), estudiaron la diversidad genética del grupo de los cafés seleccionados: accesiones de Typica y Bourbon, mutantes, híbridos (Typica x Bourbon) y cafés cultivados en Yemen, utilizando marcadores AFLP y SSR; sus resultados corroboran una baja diversidad genética en las accesiones de Typica (51% de todos los marcadores) y Bourbon (55% del total de marcadores), mientras que las accesiones silvestres presentan mayor diversidad genética (90% de todos los marcadores) e igualmente encontraron baja diversidad en los cafetos de Yemen. Por otro lado, Lashermes *et al.* (2000a), caracterizaron 21 accesiones de híbridos derivados del híbrido de Timor, 23 accesiones de *C. arabica* y 8 de *C. canephora*, utilizando la técnica de los marcadores AFLP; según sus resultados los genotipos híbridos difirieron marcadamente de los cafés silvestres y cultivados.

## **2.6 Colección núcleo de café del CATIE**

A partir del concepto de colección núcleo dado por Frankel (1984), se derivan dos definiciones operativas según van Hintum *et al.* (2003): i) la colección núcleo de un banco de

germoplasma es aquella constituida por un número limitado de accesiones que representan el espectro genético y que debe incluir la máxima diversidad genética presente en la colección; ii) una colección núcleo de una especie cultivada consiste en un número limitado de entradas seleccionadas que representan la diversidad genética de toda la especie cultivada y de sus parientes silvestres.

En tal sentido, una colección núcleo se caracteriza por que ofrece un mayor acceso al acervo genético de una colección completa, las entradas que la constituyen tienen una función independiente y sirve como punto de referencia para hacer trabajos de evaluación, de tal manera los estudios hechos sobre esta colección proporcionan una visión general de las características de la colección completa. Teóricamente la colección núcleo no debe ser mayor al 10% de la colección completa, pero en la práctica la mayoría consta de entre el 5% y 20% del tamaño de las colecciones a las cuales representan. En términos generales la formación de una colección núcleo comprende cinco pasos: identificación del material que estaría representado en la colección núcleo, decidir el tamaño que tendrá, división del material en grupos diferenciados genéticamente, decidir el número de entradas por grupo y elección de entradas a incluir en cada grupo (van Hintum *et al.* 2003).

La conformación de la colección núcleo de café del CATIE pasó por varias etapas de evaluación y documentación. Inicialmente definieron una colección núcleo antes de la evaluación genotípica de las accesiones. Más adelante, con base a los resultados sobre la variabilidad genética de la Colección de Café del CATIE, revelados con marcadores moleculares, establecieron tres grupos: 1) accesiones de café del centro de origen, 2) accesiones de Typica y derivadas de Bourbon y 3) accesiones de progenies híbridos interespecíficos; luego evaluaron la variabilidad genética existente en cada grupo dentro de la colección. Con base a los resultados de estas evaluaciones, finalmente la colección núcleo representativa quedó compuesta por 88 accesiones etíopes (109 genotipos). De esta manera, la conformación de la colección núcleo de café del CATIE obedeció a objetivos de evaluación y conservación a largo plazo. Para la conformación de esta colección núcleo adoptaron el modelo jerárquico, usando datos de pasaporte y el conocimiento de la estructura del acervo genético (Anthony *et al.* 2007).

## **2.7 Características morfológicas de las principales variedades cultivadas de café**

Las bases genéticas Typica y Bourbon permiten una diferenciación morfológica de las variedades cultivadas. Los cafetos de la variedad Typica se distinguen por el color bronceado (rojizo) de las hojas que emergen tanto del ápice del eje central como de las ramas laterales, las plantas a libre crecimiento alcanzan hasta cuatro metros de altura, el tallo generalmente consta de un solo eje vertical con ejes verticales secundarios frecuentes que nacen de los nudos, presentan abundante ramas laterales, los frutos maduros se caracterizan por un color rojo vistoso y se desprenden fácilmente de la planta, pero algunos mutantes presentan frutos maduros amarillos. La variedad Bourbon está caracterizada por árboles de porte mediano que llegan sólo hasta tres metros de altura, presentan ramas con entrenudos largos, el color de las hojas que emergen del ápice central y de las ramas laterales son de color verde. Por el color de frutos maduros se distinguen dos tipos de café Bourbon: el de color rojo/vino tinto y el de color amarillo/anaranjado, es más precoz que la variedad Typica y el tamaño de sus granos es más pequeño. En términos generales ambas variedades son consideradas de porte alto con relación a las variedades Pache, San Bernardo o Caturra (Fischersworing y Robkam 2001).

## **2.8 La roya del café**

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, 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, 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). La fuerte defoliación causada por la enfermedad se traduce en disminuciones significativas de la producción (Moreno 2004). 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 en el 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). En este contexto, Bertrand y Anthony (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 que se encuentran en la colección del CATIE; asimismo, mencionan que se han desarrollado variedades Catimores resistentes a roya utilizando como padre donante de resistencia al Híbrido de Timor. 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 la

evaluación del ataque de roya en el cultivo de café puede ser realizada mediante el parámetro de incidencia o severidad, porque existe una correlación alta entre estas dos variables.

Por otro lado, Alvarado (2004) encontró resultados positivos para la resistencia incompleta a roya en híbridos de café. Evaluó la resistencia incompleta a roya en 80 híbridos F5, F6 y F7, derivados del cruzamiento entre Caturra x Híbrido de Timor, utilizando como testigos genotipos con resistencia incompleta (BI.74, FK.105 y FK.139), var. Colombia (resistencia completa) y la var. Caturra (susceptible), las evaluaciones las realizó en condiciones de alta epidemia bajo condiciones de campo midiendo las variables proporción de defoliación e incidencia de la enfermedad, para lo cual marcó ocho pares de ramas en la región productiva donde realizó conteos mensuales del número de nudos, las hojas presentes y las hojas con roya. 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%.

Para realizar evaluaciones de incidencia de roya, es importante tener en cuenta las condiciones microclimáticas presentes en el hospedero. En tal sentido, Aguilar (2000), señala que el estado de tejido y la cantidad de ramas productivas son variables entre los tres tercios de la planta de café, tal como se describen a continuación:

- a) Estrato superior: Estrato compuesto mayormente por tejido vegetativo nuevo
- b) Estrato medio: estrato con mayor concentración de tejido productivo potencial
- c) Estrato inferior: estrato con mayor número de ramas ausentes

Además, la edad de las hojas afecta el desarrollo de las estructuras de infección y la esporulación del hongo durante la infección. En los genotipos susceptibles el número de apresorios del hongo disminuye con la edad de las hojas, mientras que en los genotipos resistentes hay mayor desarrollo de apresorios del patógeno en las hojas jóvenes y viejas (Couthino *et al.* 1994).

## 2.9 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* (Rao 1988, 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,

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 (Fischersworrying y Robkam 2001), los ataques en frutos lechosos también originan caída prematura (Rao 1988) y otras veces hacen que estos pierden calidad o se muestran fuera de tipo (Fischersworrying y Robkam 2001).

Las condiciones ambientales favorables para la presencia de esta enfermedad son la alta humedad (95%), exceso de sombra (Fischersworrying 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 (Fischersworrying y Robkam 2001, GRDE 2006). 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 (Fischersworrying y Robkam 2001, 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 disseminación y reproducción del hongo (Wang y Avelino 1999, Muller *et al.* 2004). 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 (Ayer y Browne 1990, 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, López 2001, Muller *et al.* 2004). 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*, Vargas (2002) 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.

## **2.10 La broca del fruto del café**

La broca del café (*Hypothenemus hampei* (Ferrari 1867)) es un escarabajo originario de África (Fischersworing 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 (Fischersworing 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) (Fischersworing 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 2004b), pérdida de la inocuidad y calidad de la bebida debido a la presencia de ochratoxinas e impurezas (Fuenmayor 1999, Camilo *et al.* 2003), aumento de costos y la disminución del precio de compra de granos brocados (Fuenmayor 1999, Romero y Cortina 2004b). 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).

Todas las variedades de *C. arabica*, cultivadas actualmente, son atacadas por la broca (Romero y Cortina 2004a) 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 2004a). 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 2004b). 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 (2004a) reportan que encontraron, bajo condiciones de campo, algunas introducciones de Etiopía con menos infestación de broca con relación a la variedad Caturra.

Las manifestaciones 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 2004b), así como en condiciones de campo (Álvarez *et al.* 2001, Romero y Cortina 2004b).

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 (Villagran *et al.* 1992) 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 (2004a), en condiciones

controladas, encontraron una mayor infestación de broca en los frutos ubicados a mayor altura de la planta.

## **2.11 Calidad del 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, Vaast *et al.* (2005), 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.

## **2.12 Granulometría del grano oro de café**

Las diferentes variedades de café muestran diferencias en el tamaño y forma del grano de café (Wintgens 2004) pudiendo ser grande, mediano o pequeño (Regalado 2006). Estas diferencias en el tamaño de grano están determinadas por factores genéticos, y ambientales y

agronómicas (Wintgens 2004). La granulometría es, entre otras variables, determinante de la calidad de bebida de café, así como de la calidad de tueste que influye en el cuerpo y la amargura de la bebida (Avelino *et al.* 2002).

Jiménez y Soto (1995) mencionan que el análisis granulométrico y su empleo en sistemas de control de calidad del café es un factor importante porque los mercados internacionales exigentes sólo aceptan granos con menos del uno por ciento de granos defectuosos. El análisis granulométrico también involucra los cálculos de granos con defectuosos, los cuales pueden expresarse tanto en porcentaje o en cantidad (Marín *et al.* 2003).

### 3 MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1 Ubicación de la Colección Internacional de café del CATIE

El estudio fue desarrollado en la colección núcleo de café del CATIE, subconjunto de accesiones representativas de la Colección de Café del CATIE, que se encuentra ubicada en la finca “Cabiria” en un área de 8 ha (Figura 1). La finca está ubicada en el Cantón de Turrialba, provincia de Cartago, Costa Rica, a 602 msnm, 9°38' de latitud norte y 83°38' de longitud oeste (Astorga 1999). La fase de campo inició en enero del 2007 y finalizó en septiembre de este mismo año

El manejo agronómico de la colección de café del CATIE se basa en un paquete tecnológico similar al de un cultivo comercial de café en Costa Rica. A inicios del mes de febrero se realizó una poda de las plantas de las accesiones de café; en las accesiones en estudio se hizo una poda liviana de las plantas, con la finalidad de no perturbar la condiciones microambientales para la propagación natural de *H. vastatrix* principalmente. A finales de febrero se realizó una aplicación artificial temprana de *Beauveria bassiana* para bajar las poblaciones de broca presentes en los frutos remanentes de la producción anterior. En el mes de marzo se realizó la poda, “escumbra”, de la copa de los árboles de sombra. A inicios del mes de mayo se realizó una aplicación de fertilizante nitrogenado a todas las plantas y durante la última semana de este mismo mes se realizó el deshije, eliminación de los “caballitos”. Durante los meses de evaluación de roya, ojo de gallo y broca no se realizaron aplicaciones de fungicidas, insecticidas ni la suplementación de elementos menores, con la finalidad de no disminuir el potencial de las fuentes de inóculo natural de la roya y ojo de gallo, y la proliferación de la broca, para determinar el potencial de resistencia genética de las plantas de las accesiones en estudio al ataque de estas enfermedades y plaga.



*Figura 1. Ubicación geográfica de la Colección de Café del CATIE*

Fuente: CATIE (2007)

### **3.2 Características biofísicas del lugar de estudio**

El clima en Turrialba en general es homogéneo, sin embargo se distinguen dos estaciones marcadas, una cálida entre mayo a noviembre, y otra más fría entre diciembre a abril (Méndez 2001). Cabiria presenta una temperatura media diaria de 22.5° y una precipitación anual de 2645 mm (Astorga 1999).

### **3.3 Material experimental**

La colección núcleo de café del CATIE actualmente está conformada por 73 accesiones (Cuadro 1) representativas de la Colección Internacional de Café, de un total de 74 accesiones conformadas inicialmente; de las 73 accesiones, 70 son procedentes de Etiopía (centro de origen) y tres de Yemen (centro secundario de origen). En el primer grupo 11 son cultivadas en Etiopía y 59 son silvestres, mientras que las procedentes de Yemen todas son cultivadas. Estas accesiones estudiadas se encuentran ubicadas en las secciones C, D y F de la Colección de Café del CATIE. Las accesiones fueron establecidas inicialmente con un número

de árboles que varían de cuatro a 24, haciendo un total de 555 árboles pero actualmente existen sólo 362 plantas establecidas. El conjunto de la población experimental fue las 362 plantas de las cuales 319 fueron consideradas para los fines de la presente investigación, en la planta tres de la accesión T.04865 sólo logró realizar la caracterización morfológica y la evaluación de incidencia de roya y ojo de gallo, pero no las otras evaluaciones agronómicas y granulométricas porque no llegó a producir frutos hasta la quinta cosecha. Las 43 plantas restantes no fueron tomadas en cuenta porque no tuvieron suficiente copa para medir las variables en estudio (muchas son rebrotes y algunas son árboles muy viejos).

Cuadro 1. Accesiones que constituyen la colección núcleo de café (*C. arabica* L.) del CATIE, 2007

No. Accesoión	Nombre de la variedad	Origen	País	Lugar de procedencia	No. plantas originales	No. plantas vivas	Sección	Bloque
T.02710	Cioiccie S-6	Cultivado Localmente en Etiopía	Ethiopia	Jimma	8	6	D	1B
T.02711	Ennarea S-2	Cultivado Localmente en Etiopía	Ethiopia	Ennarea, Jimma	8	6	D	1B
T.02722	Geisha	Cultivado Localmente en Etiopía	Ethiopia	Ennarea, Jimma	8	7	D	1B
T.02724	Rume Sudan	Cultivado Localmente en Etiopía	Ethiopia	Ennarea, Jimma	8	7	D	1B
T.02727	Dalle	Cultivado Localmente en Etiopía	Ethiopia	Ennarea, Jimma	8	5	D	1B
T.02742	Dilla Alghe	Cultivado Localmente en Etiopía	Ethiopia	Ennarea, Jimma	8	6	D	2A
T.02748	Tafari Kela S-8	Cultivado Localmente en Etiopía	Ethiopia	Provincia de Sidamo	8	6	D	2A
T.02754	Anfilo	Cultivado Localmente en Etiopía	Ethiopia	Provincia de Amphilo	8	6	D	2A
T.02915	Zeghie S-13	Cultivado Localmente en Etiopía	Ethiopia	Lago Tana, Provincia de Zeghie	8	6	D	2A
T.03097	Irgalem S-17	Cultivado Localmente en Etiopía	Ethiopia	Provincia de Sidamo	8	5	D	2A
T.04007	Loulo	Cultivado Localmente en Etiopía	Ethiopia	Provincia de Sidamo	8	5	D	5B
T.04472	E-007	Silvestre recolección FAO	Ethiopia	Combulchia, Provincia de Harar	8	4	C	1A
T.04476	E-022	Silvestre recolección FAO	Ethiopia	Soddu, Provincia de Sidamo	8	0	C	1A
T.04495	E-047	Silvestre recolección FAO	Ethiopia	Sedecha al norte de Jimma, Provincia de Kaffa Jimma	4	4	C	1A
T.04497	E-067	Silvestre recolección FAO	Ethiopia	Sedecha al norte de Jimma, Provincia de Kaffa Jimma	4	4	C	1A
T.04501	E-037	Silvestre recolección FAO	Ethiopia	Wondo Genet, Provincia de Shoa	8	4	C	1A
T.04505	E-054	Silvestre recolección FAO	Ethiopia	Bada Buna, Provincia de Kaffa Jimma	8	7	C	1A
T.04579	E-156	Silvestre recolección FAO	Ethiopia	Ghera, Provincia de Illubador	4	4	C	1B
T.04619	E-118	Silvestre recolección FAO	Ethiopia	Korcha, Provincia de Illubabor	8	7	C	2A
T.04621	E-123B	Silvestre recolección FAO	Ethiopia	Beru, Provincia de Kaffa Jimma	8	7	C	2A
T.04661	E-140	Silvestre recolección FAO	Ethiopia	Entre Ghera y Afallo, Provincia de Kaffa Jimma	8	6	C	2A
T.04662	E-141	Silvestre recolección FAO	Ethiopia	Entre Ghera y Afallo, Provincia de Kaffa Jimma	4	4	C	2A
T.04664	E-143	Silvestre recolección FAO	Ethiopia	Entre Ghera y Afallo, Provincia de Kaffa Jimma	8	4	C	2A
T.04665	E-144	Silvestre recolección FAO	Ethiopia	Entre Ghera y Afallo, Provincia de Kaffa Jimma	8	4	C	2A
T.04666	E-145	Silvestre recolección FAO	Ethiopia	Entre Ghera y Afallo, Provincia de Kaffa Jimma	4	4	C	2A
T.04758	E-237	Silvestre recolección FAO	Ethiopia	Entre Iragalem y Bira, Provincia de Kaffa Jimma	8	7	C	3A
T.04759	E-238	Silvestre recolección FAO	Ethiopia	Aleta Wondo Colla, Provincia de Sidamo	24	3	C	3A
T.04819	E-419	Silvestre recolección FAO	Ethiopia	Bonga, Provincia de Kaffa Jimma	4	3	C	3B
T.04824	E-424	Silvestre recolección FAO	Ethiopia	8 km al suroeste de Teppi, Provincia de Illubabor	4	3	C	3B
T.04837	E-437	Silvestre recolección FAO	Ethiopia	8 km al este de Teppi, Provincia de Illubabor	4	4	C	3B
T.04857	E-457	Silvestre recolección FAO	Ethiopia	10 km al sureste de Teppi, Provincia de Illubabor	8	4	C	3B
T.04863	E-463	Silvestre recolección FAO	Ethiopia	7 km al sureste de Teppi, Provincia de Illubabor	8	8	C	3B
T.04864	E-464	Silvestre recolección FAO	Ethiopia	7 km al sureste de Teppi, Provincia de Illubabor	4	1	C	3B
T.04865	E-465	Silvestre recolección FAO	Ethiopia	7 km al sureste de Teppi, Provincia de Illubabor	8	8	C	3B
T.04893	E-525	Silvestre recolección FAO	Ethiopia	Jimma, Provincia de Kaffa Jimma	8	2	C	4A
T.04900	E-531	Silvestre recolección FAO	Ethiopia	Entre Bonga y Wush Wush, Provincia de Kaffa Jimma	4	4	C	4A
T.04938	E-570	Silvestre recolección FAO	Ethiopia	Zeghie, Provincia de Gojjam	4	4	C	4A
T.04942	E-574	Silvestre recolección FAO	Ethiopia	Zeghie, Provincia de Gojjam	8	7	C	4B



No. Accesoión	Nombre de la variedad	Origen	País	Lugar de procedencia	No. plantas originales	No. plantas vivas	Sección	Bloque
T.04945	E-579 (Mokka)	Silvestre recolección FAO	Ethiopia	Faghena, Provincia de Eritrea	8	6	C	4B
T.04952	E-020	Silvestre recolección FAO	Ethiopia	Dilla, Provincia de Sidamo	8	7	C	4B
T.04958	E-576	Silvestre recolección FAO	Ethiopia	Bahar Dar, Provincia de Gojjam	8	6	C	4B
T.04960	E-577	Silvestre recolección FAO	Ethiopia	Bahar Dar, Provincia de Gojjam	12	8	C	4B
T.16689	ET-01	Silvestre recolección ORSTOM	Ethiopia	Institut de Recherches du Cafe et du Cacao, Paris	8	7	F	4A
T.16690	ET-02	Silvestre recolección ORSTOM	Ethiopia	Institut de Recherches du Cafe et du Cacao, Paris	8	6	F	4A
T.16691	ET-03	Silvestre recolección ORSTOM	Ethiopia	Institut de Recherches du Cafe et du Cacao, Paris	8	8	F	4A
T.16692	ET-04	Silvestre recolección ORSTOM	Ethiopia	Institut de Recherches du Cafe et du Cacao, Paris	8	5	F	4A
T.16694	ET-08	Silvestre recolección ORSTOM	Ethiopia	Institut de Recherches du Cafe et du Cacao, Paris	8	6	F	4A
T.16695	ET-06	Silvestre recolección ORSTOM	Ethiopia	Institut de Recherches du Cafe et du Cacao, Paris	8	5	F	4A
T.16697	ET-09	Silvestre recolección ORSTOM	Ethiopia	Institut de Recherches du Cafe et du Cacao, Paris	8	7	F	4A
T.16700	ET-11C	Silvestre recolección ORSTOM	Ethiopia	Institut de Recherches du Cafe et du Cacao, Paris	8	4	F	4A
T.16702	ET-13	Silvestre recolección ORSTOM	Ethiopia	Institut de Recherches du Cafe et du Cacao, Paris	8	3	F	4A
T.16704	ET-15	Silvestre recolección ORSTOM	Ethiopia	Institut de Recherches du Cafe et du Cacao, Paris	8	5	F	4A
T.16705	ET-16	Silvestre recolección ORSTOM	Ethiopia	Institut de Recherches du Cafe et du Cacao, Paris	8	3	F	4A
T.16706	ET-17	Silvestre recolección ORSTOM	Ethiopia	Institut de Recherches du Cafe et du Cacao, Paris	8	7	F	4A
T.16707	ET-18	Silvestre recolección ORSTOM	Ethiopia	Institut de Recherches du Cafe et du Cacao, Paris	8	5	F	4A
T.16709	ET-20	Silvestre recolección ORSTOM	Ethiopia	Institut de Recherches du Cafe et du Cacao, Paris	8	7	F	4B
T.16712	ET-25	Silvestre recolección ORSTOM	Ethiopia	Institut de Recherches du Cafe et du Cacao, Paris	8	4	F	4B
T.16713	ET-26	Silvestre recolección ORSTOM	Ethiopia	Institut de Recherches du Cafe et du Cacao, Paris	8	4	F	4B
T.16714	ET-27	Silvestre recolección ORSTOM	Ethiopia	Institut de Recherches du Cafe et du Cacao, Paris	8	4	F	4B
T.16723	ET-36	Silvestre recolección ORSTOM	Ethiopia	Institut de Recherches du Cafe et du Cacao, Paris	8	6	F	4B
T.16724	ET-40	Silvestre recolección ORSTOM	Ethiopia	Institut de Recherches du Cafe et du Cacao, Paris	8	5	F	4B
T.16726	ET-42	Silvestre recolección ORSTOM	Ethiopia	Institut de Recherches du Cafe et du Cacao, Paris	8	2	F	4B
T.16729	ET-47	Silvestre recolección ORSTOM	Ethiopia	Institut de Recherches du Cafe et du Cacao, Paris	8	3	F	4B
T.16733	ET-52	Silvestre recolección ORSTOM	Ethiopia	Institut de Recherches du Cafe et du Cacao, Paris	8	2	F	103-09
T.16737	ET-57	Silvestre recolección ORSTOM	Ethiopia	Institut de Recherches du Cafe et du Cacao, Paris	8	5	F	5A
T.16739	ET-59	Silvestre recolección ORSTOM	Ethiopia	Institut de Recherches du Cafe et du Cacao, Paris	8	6	F	5A
T.17177	ET-06	Silvestre recolección ORSTOM	Ethiopia	Institut de Recherches du Cafe et du Cacao, Nkolbisson	4	4	F	6A
T.17205	ET-32B	Silvestre recolección ORSTOM	Ethiopia	Institut de Recherches du Cafe et du Cacao, Nkolbisson	12	8	F	6B-5A
T.17207	ET-35B	Silvestre recolección ORSTOM	Ethiopia	Institut de Recherches du Cafe et du Cacao, Nkolbisson	12	9	F	6B-5A
T.17223	ET-38	Silvestre recolección ORSTOM	Ethiopia	Institut de Recherches du Cafe et du Cacao, Nkolbisson	4	2	F	6B
T.17232	ET-46	Silvestre recolección ORSTOM	Ethiopia	Institut de Recherches du Cafe et du Cacao, Nkolbisson	4	3	F	6B
T.21233	PDRY-04	Cultivado localmente en Yemen	Yemen	CIRAD, Montpellier	5	1	F	7A
T.21239	PDRY-14	Cultivado localmente en Yemen	Yemen	CIRAD, Montpellier	5	2	F	7A
T.21240	PDRY-15	Cultivado localmente en Yemen	Yemen	CIRAD, Montpellier	5	1	F	7A
Total plantas					555	362		

### 3.4 Variables estudiadas

La caracterización de la colección núcleo de café del CATIE se realizó a través de 36 descriptores: 24 descriptores morfológicos (13 cuantitativos y 11 cualitativos) y 18 agronómicos (17 cuantitativos y un cualitativo) (Cuadro 2). 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 de las cinco primeras cosechas, previamente eliminados los frutos vanos. En los granos pergamino tampoco fueron consideradas las semillas brocadas y en los granos oro se descartaron los granos defectuosos, tales como, granos negros, decolorados, malformados, aplastados, mordidos, fermentados y manchados.

*Cuadro 2. Descriptores morfológicos y agronómicos utilizados para la caracterización de la colección núcleo de café (C. arabica L.) del CATIE, 2007*

Descriptores	Cuantitativos	Cualitativos
<b>Morfológicos</b>	Longitud de la hoja (LH en mm)	Hábito de planta (HP)
	Ancho de la hoja (AH en mm)	Desarrollo vegetativo de la planta (DVP)
	Longitud del peciolo foliar (LPF en mm)	Color de la hoja joven (CHJ)
	Relación LH/AH	Forma de la hoja (FH)
	Número de flores por axila (NFA)	Forma del ápice de la hoja (FAH)
	Número de flores por fascículo (NFF)	Posición de la inflorescencia (PI)
	Número de fascículos por nudo (NFN)	Forma del fruto (FF)
	Longitud del tallo de la inflorescencia (LTI en mm)	Forma del disco del fruto (FDF)
	Longitud del fruto (LF en mm)	Color del fruto (CF)
	Ancho del fruto (AF en mm)	Color de la semilla (CS)
	Espesor del fruto (EF en mm)	Forma de la semilla (FS)
	Longitud de la semilla (LS en mm)	
	Ancho de la semilla (AS en mm)	
	Espesor de la semilla (ES en mm)	
<b>Agronómicos</b>	Altura de planta (AP en cm)	Hábito de ramificación (HR)
	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 (PGO 11% H)	
	Rendimiento de grano oro (GO en %)	
	Tamaño de grano oro mayor al tamiz 20/64" (GO>20 en %)	
	Tamaño de grano oro mayor al tamiz 17/64" (GO>17 en %)	
Tamaño de grano oro mayor al tamiz 16/64" (GO>16 en %)		
Tamaño de grano oro mayor al tamiz 15/64" (GO>15 en %)		
Tamaño de grano oro menor al tamiz 15/64" (GO<15 en %)		

## **3.5 Métodos estadísticos**

### **3.5.1 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 roya que fue un muestreo sistemático debido a las particularidades patológicas del hongo (*H. vastatrix*) 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, 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 las variables. Los detalles para cada una de las características medidas/evaluadas se describen en la sección 3.6.

## **3.6 Caracterización morfológica de la colección núcleo de café del CATIE**

### **3.6.1 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.

#### **3.6.1.1 Hábito de planta**

Se contó el número de troncos por planta y se midió en el tallo dominante la altura del tronco y del tallo, ambos en centímetros. 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).

#### **3.6.1.2 Desarrollo vegetativo**

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

### 3.6.1.3 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.

### 3.6.2 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 (Figura 2) (IPGRI 1996).

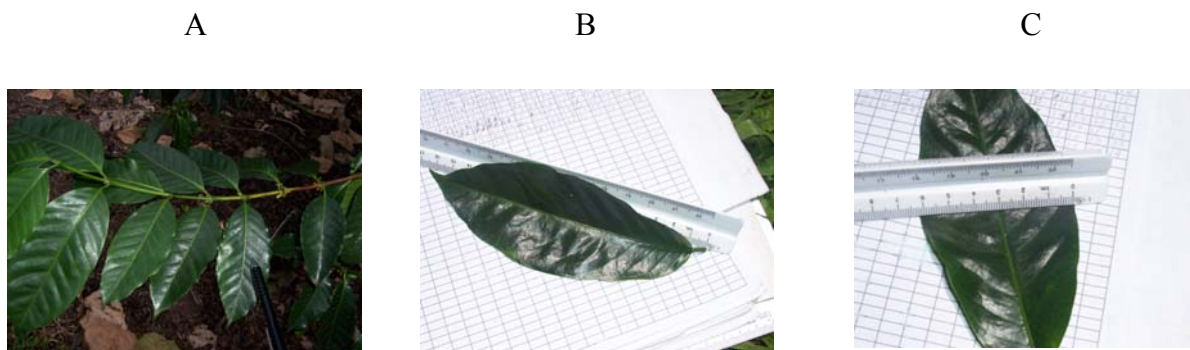


Figura 2. Rama plagiotrópica y hoja de café para: (A) Muestreo de las hojas, (B) medición del largo y (C) ancho de la hoja

#### 3.6.2.1 Longitud de la hoja

Para la medición de la longitud de la hoja se utilizó un escalímetro (escala 1:100) 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.

### **3.6.2.2 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.

### **3.6.2.3 Longitud del pecíolo foliar**

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

### **3.6.2.4 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.

### **3.6.2.5 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.

## ***3.6.3 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 tres descriptores cuantitativos discretos: número de flores por axila, número de flores por fascículo y número de fascículos 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 antesis (Camayo *et al.* 2003). Considerando estas etapas, la caracterización de la flor se realizó durante la etapa de crecimiento y desarrollo de las flores.

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.

- ✓ El género *Coffea* es caracterizado por un estilo largo, tubo de la corola medio y con anteras sobresalientes del tubo de la corola.
- ✓ El género *Psilanthus* es caracterizado por un estilo corto, tubo de la corola larga y con anteras encajonadas en el tubo de la corola.

#### **3.6.3.1 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.

#### **3.6.3.2 Longitud del tallo de la inflorescencia**

Para describir esta variable se muestrearon cinco inflorescencias en cinco diferentes nudos que presentaban la mayoría de flores abiertas. Se midió la longitud del tallo de la inflorescencia en milímetros desde la base hasta la inserción de la primera flor, el descriptor por planta se expresó como el promedio de las cinco observaciones.

#### **3.6.3.3 Número de flores por axila**

Para medir esta variable se seleccionaron al azar 10 nudos en diferentes ramas, en cada nudo se contó el número de flores por fascículo en ambas axilas del nudo, luego se estimó el promedio de flores por cada axila y finalmente el valor del descriptor por planta quedó expresado como el promedio del número de flores de ambas axilas.

#### **3.6.3.4 Número de flores por fascículo**

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

#### **3.6.3.5 Número de fascículos por nudo**

Para la medición de esta variable se contó el número de fascículos para ambos lados de los 10 nudos seleccionadas para los dos descriptores anteriores, luego se estimó el promedio

de fascículos para cada nudo y finalmente el valor del descriptor por planta quedó establecido como el promedio del número de fascículos de los 10 nudos.

### ***3.6.4 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 paquímetro 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.

#### **3.6.4.1 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.

#### **3.6.4.2 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.

#### **3.6.4.3 Espesor del fruto**

Se midió en milímetros a lo largo del tabique que separa a las dos semillas (León 2000). El valor del descriptor por planta fue la media de las tres mediciones. Los detalles de la caracterización cuantitativa del fruto se presentan en la Figura 3.

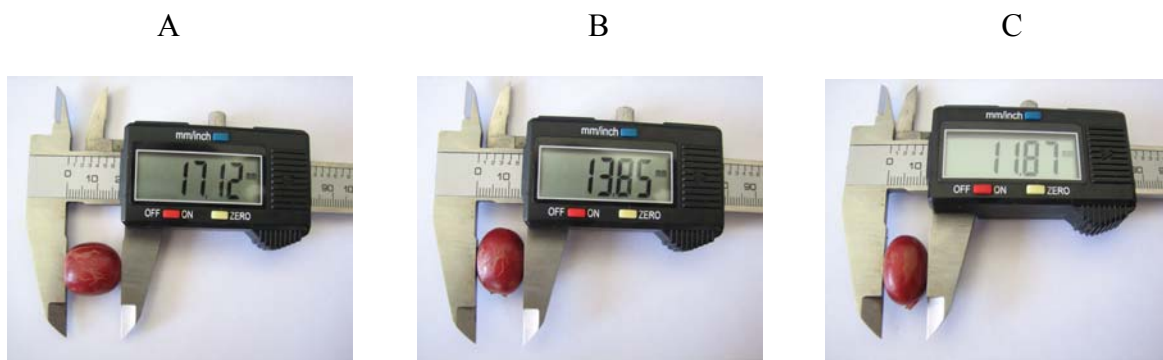


Figura 3. Caracterización del fruto: (A) largo, (B) ancho y (C) espesor

#### 3.6.4.4 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).

#### 3.6.4.5 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.

#### 3.6.4.6 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 (IPGRI 1996). El color del fruto por planta se determinó en función a la moda del total de los frutos evaluados.

### 3.6.5 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 cinco primeras cosechas por planta.

Los descriptores cuantitativos fueron medidos utilizando la misma regla graduada en milímetros que se utilizó para medir los frutos, mientras que para los descriptores cualitativos se utilizaron muestras de imágenes para comparación.

#### **3.6.5.1 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.

#### **3.6.5.2 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.

#### **3.6.5.3 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.

#### **3.6.5.4 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.

#### **3.6.5.5 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.

## **3.7 Caracterización agronómica de la colección núcleo de café del CATIE**

### ***3.7.1 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).

#### **3.7.1.1 Altura de plantas**

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

#### **3.7.1.2 Ángulo de inserción de las ramas primarias**

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.

#### **3.7.1.3 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.

### **3.7.2 Evaluación del peso de bayas, peso de granos pergamino y granos oro**

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 del 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, Alvarado 2004) utilizando una balanza de precisión. Para la recolección de frutos en campo se utilizó bolsas plásticas debidamente etiquetadas con el número de accesión planta. El valor de la variable respuesta se estableció como el peso total de frutos en cereza por árbol de las cinco primeras cosechas 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 accesión. Antes del pesado se clasificaron los granos pergamino sanos y los brocados, el peso se determinó sobre el total de granos sanos, para las cinco primeras cosechas, entre los 15 – 20 días después del beneficio (30% – 40% de contenido de humedad).

La evaluación del peso de granos oro (PGO) por accesión se realizó sobre el total de los granos de las cinco primeras cosechas. Se seleccionaron aleatoriamente muestras de 100 granos por cada accesión al 11% de contenido de humedad, repetidos cuatro veces, luego el peso de granos oro se pesó en gramos utilizando una balanza electrónica y finalmente el valor del peso de granos oro por accesión se determinó como el promedio de las cuatro observaciones.

Con las variables PFC por accesión, 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 accesión calculadas mediante la Fórmula 1 (Fischersworrning y Robkam 2001):

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

### **3.7.3 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, Wintgents 2004, 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.

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

#### **3.7.4 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 (11% de contenido de humedad) por planta, excepto para las plantas que no llegaron a producir al menos 100 semillas sanas en las cuatro cosechas; en este caso se utilizó el 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).

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

#### **3.7.5 Evaluación del daño de broca**

Se evaluó el porcentaje de daño de la población de adultos y de la población de larvas de la broca del fruto del café, en cada uno de los árboles de las accesiones de la colección núcleo. Para tal fin la evaluación de broca se realizó en tres cosechas: segunda cosecha (entre la tercera y cuarta semana del mes de mayo), tercera (entre la segunda y tercera semana de junio) y cuarta cosecha (entre la última semana de junio y la primera semana del mes de

junio). 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 (caso de las plantas de la colección núcleo), 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), excepto en las plantas que no llegaron a producir al menos 100 frutos por cosecha se utilizó el 100% de los frutos por cosecha. 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.

### **3.7.6 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 bandolas 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) después de la inoculación en genotipos susceptibles (Rodrigues y Eskes 2004). En el eje primario de las bandolas marcadas (Silva-Acuña *et al.* 1999) se contó y registró el número total de hojas y el número de hojas con lesiones en esporulación, cualesquiera 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, Castillo y Alvarado 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.

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

### **3.7.7 Evaluación de la incidencia de ojo de gallo**

La evaluación de la incidencia a *M. citricolor* se realizó entre los meses de agosto y septiembre, 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.

### **3.7.8 Evaluación granulométrica de grano oro**

La clasificación del tamaño de grano (granulometría) por accesión se realizó al 11% de contenido de humedad en grano oro. Se utilizaron cuatro tamices con aberturas circulares, con diámetros de 20/64'' (7.94 mm), 17/64'' (6.75 mm), 16/64'' (6.35 mm) y 15/64'' (5.96 mm) y una banda de granos inferiores a 15/64''. Se siguió el protocolo de CCI (1992), quienes clasificaron los granos según su tamaño en cinco categorías: > 20/64'', >17/64'', >16/64'', >15/64'' y <15/64'' y los valores obtenidos por cada categoría se expresaron en porcentajes de granos oro por accesión.

Antes de la clasificación granulométrica se escogieron y descartaron todos los granos con defectos, en este caso fueron todos los granos que presentaron al menos uno de los siguientes defectos: negros, decolorados, malformados, aplastados, mordidos, fermentados y manchados.

El beneficio del café verde se realizó mediante el método de procesamiento húmedo que inició con el despulpado de las cerezas normales en las siguientes horas después de cada cosecha, evitando la fermentación mortal, luego los granos despulpados fueron fermentados bajo sombra por un tiempo de 18 a 24 horas (Clarke 1987) utilizando bolsas transparentes de polietileno y una vez degradado el mucílago se procedió al lavado de los granos a chorro de agua, finalmente se secó a sol directo. El tiempo de secado duró hasta bajar el contenido de humedad a 35% a 45% por 12 a 15 días dependiendo de las condiciones atmosféricas (Wintgens y Zamarrita 2004). Luego los granos en pergamino se juntaron en bolsas de papel y fueron trasladados a la cámara de secado del banco de semillas del CATIE donde fueron secadas a temperatura promedio de 27° C hasta que los granos alcanzaran un contenido de humedad promedio de 11%, el cual fue medido con un equipo detector de humedad en granos oro modelo 400B (Moisture Tester) de la Asociación de Productores Orgánicos de Turrialba (APOT). El trabajo concluyó con el trillado de los granos en forma manual y/o con trilladora mecánica de APOT, los granos oro obtenidos fueron utilizados para la evaluación la granulométrica. Los detalles del proceso de beneficio y manejo postcosecha se muestra en la Figura 4.



Figura 4. Proceso de beneficio y manejo postcosecha del café oro



### **3.8 Análisis estadístico**

#### ***3.8.1 Caracterización morfológica y agronómica de la colección núcleo de café del CATIE***

Los datos obtenidos de la caracterización morfológica y agronómica fueron analizadas utilizando el programa InfoStat/Profesional Versión 2007p (InfoStat 2007). Se realizó un análisis exploratorio a través de los estadísticos descriptivos (media, desviación estándar, error estándar, coeficiente de variación, valor mínimo y máximo) para tener una visión general sobre la variabilidad de las características cuantitativas a nivel de la colección núcleo en estudio. Luego, se realizó un análisis de correlación entre todas las variables cuantitativas con la finalidad de detectar variables altamente correlacionadas ya sea en forma positiva o negativa.

Para agrupar las 73 accesiones de la colección núcleo de café del CATIE en grupos fenotípicos de máxima similitud con respecto a las variables estudiadas (InfoStat 2004) se realizó un análisis multivariado mediante el análisis de conglomerado jerárquico utilizando el algoritmo de Ward y la distancia Euclídea al cuadrado. Se utilizaron las medias de las variables cuantitativas estandarizadas. A partir de los grupos fenotípicos identificados mediante el análisis de conglomerados, se prosiguió con un análisis de varianza multivariada (MANOVA) y una prueba de Hotelling con un  $\alpha = 0.05$  para contrastar la hipótesis nula ( $H_0$ =los vectores medios de los grupos fenotípicos son iguales). La agrupación de los grupos fenotípicos fue corroborada mediante la técnica de elipses de predicción (al 95% de confianza) del análisis discriminante utilizando como variables de clasificación a los grupos fenotípicos identificados. Para todos estos análisis se exceptuaron las medias de las variables correlacionadas significativamente.

La identificación de las características discriminatorias más importantes en la colección núcleo se realizó a través del método de análisis discriminante (AD) lineal. La caracterización de cada uno de los grupos fenotípicos identificados se realizó a través del método de análisis de componentes principales (ACP) cuantificando la proporción de varianza explicada por cada variable original sobre los componentes principales. Este análisis se realizó con la finalidad de identificar las características de mayor y de menor variación dentro de cada grupo fenotípico (Hidalgo 2003). El número de componentes principales para cada caso fue determinado con base a los componentes cuyos autovalores sean mayor o igual a uno, luego para cada

componente se calcularon los valores propios por cada componente, los autovectores y la correlación entre los valores originales de las variables con los componentes.

La determinación de la importancia de las características se realizó mediante la suma al cuadrado de la correlación de los componentes principales con las variables originales (Rojas 2003), porque esta correlación toma en cuenta las diferencias en las varianzas de las variables originales y por lo tanto elimina el sesgo de interpretaciones causadas por diferentes escalas de medición y además los componentes no están correlacionados entre sí (Rojas 2003, InfoStat 2004). Luego las características de mayor y menor importancia en cada grupo fenotípico se determinaron con base a la proporción de la varianza explicada por cada característica para cada grupo fenotípico.

Para facilitar los análisis se consideraron tres grupos de características: morfológicas, agronómicas y granulométricas. Para lo cual se reagruparon las características agronómicas presentadas en el cuadro anterior (Cuadro 3).

*Cuadro 3. Características cuantitativas utilizadas para la caracterización de la colección núcleo de café (C. arabica L.) del CATIE, 2007*

Características morfológicas	Características agronómicas	Características granulométricas
Ancho de la hoja (AH en mm)	Altura de planta (AP en cm)	Peso de 100 granos oro al 11% de contenido de humedad (PGO 11% H en g)
Relación LH/AH*	Ángulo de inserción de las ramas primarias (AIRP)	Porcentaje de grano oro mayor al tamiz 20 (GO>20 en %)
Longitud del peciolo foliar (LPF en mm)	Frutos vanos (FV en %)	Porcentaje de grano oro mayor al tamiz 17 (GO>17 en %)
Número de flores por axila (NFA)	Semillas tipo caracol (SC en %)	Porcentaje de grano oro mayor al tamiz 16 (GO>16 en %)
Número de fascículos por nudo (NFN)	Daño de broca en número de semillas (DBS en %)	
Longitud del tallo de la inflorescencia (LTI en mm)	Incidencia de roya (IR en %)	
Largo del fruto (LF en mm)	Incidencia de ojo de gallo (IOG en %)	
Espesor del fruto (EF en mm)	Rendimiento de grano oro (GO en %)*	
Largo de la semilla (LS en mm)		
Ancho de la semilla (AS en mm)		
Espesor de la semilla (ES en mm)		

\* Variables derivadas.

### ***3.8.2 Incidencia de roya, ojo de gallo y broca del fruto en las accesiones de la colección núcleo de café del CATIE***

Con los datos de incidencia de roya obtenidos de las cinco evaluaciones, se realizó un ANDEVA para un modelo anidado con los factores accesión y plantas dentro de accesión:

*Modelo lineal 1:*  $Y_{ij} = \mu + A_i + P(A)_{j(i)} + \varepsilon_{ijk}$

Donde:  $Y_{ij}$  = incidencia de roya en la i-ésima accesión y j-ésima planta dentro de accesión

$\mu$  = efecto de la media general

$A_i$  = efecto de la i-ésima accesión

$P(A)_{j(i)}$  = efecto de la j-ésima planta dentro de la accesión

$\varepsilon_{ij}$  = efecto del error aleatorio dentro de la i-ésima accesión y j-ésima planta dentro de las accesiones

Para la comparación de medias a nivel de accesiones y de plantas dentro de accesiones se realizó la prueba LSD Fisher ( $\alpha = 0.05$ ). Además, con la finalidad de determinar la evolución de la enfermedad en las diferentes accesiones, se determinaron los valores del área bajo la curva del progreso de la enfermedad (ABCPE), luego con estos valores se construyó un gráfico de barras para las accesiones que resultaron contrastantes, accesiones con menores y mayores incidencias de roya, según la prueba LSD Fisher. Por otro lado, mediante el método del árbol de regresión se verificó si alguna forma de las hojas está asociada a un determinado rango de incidencia de la roya, considerando como variable regresora las formas de la hoja y el porcentaje de incidencia de roya como variable dependiente; luego se realizó un análisis de correspondencia simple entre las categorías del porcentaje de incidencia de roya y la forma de la hoja.

Del mismo modo, con los datos de las dos evaluaciones sobre incidencia de ojo de gallo, se realizó un ANDEVA utilizando el mismo modelo propuesto para el caso de roya y la comparación de medias también se realizó mediante la prueba LSD Fisher ( $\alpha = 0.05$ ). Previo a este análisis se calculó el promedio de incidencia de la enfermedad por accesión, las accesiones que resultaron con cero por ciento de incidencia no fueron consideradas para el ANDEVA con la finalidad de minimizar las unidades de error estándar con respecto a la media general y de esta manera evitar una sobreestimación del coeficiente de variación para la variable respuesta.

Para el análisis de daño de broca en frutos se consideraron todas las plantas en las que se registraron los datos para las tres evaluaciones, luego se realizó un ANDEVA adoptando el mismo modelo utilizado para el caso de las enfermedades, la comparación de medias entre

accesiones y de las plantas dentro de las accesiones se realizó mediante la prueba LSD Fisher ( $\alpha = 0.05$ ).

Para determinar las diferencias del porcentaje de daño de broca en frutos con respecto al color del fruto se realizaron un ANDEVA para un modelo anidado con los factores color del fruto y accesión dentro de color de fruto:

*Modelo lineal 2:*  $Y_{ij} = \mu + C_i + A(C)_{j(i)} + \varepsilon_{ijk}$

Donde:  $Y_{ij}$  = porcentaje de daño de broca en frutos en el i-color de fruto y j-ésima accesión

$\mu$  = efecto de la media general

$C_i$  = efecto del i-ésimo color de fruto

$A(C)_{j(i)}$  = efecto de la j-ésima accesión dentro del color de fruto

$\varepsilon_{ij}$  = efecto del error aleatorio dentro del la i-ésimo color del fruto y j-ésima accesión dentro del color del fruto

Bajo el mismo modelo se determinó las diferencias del porcentaje de daño de broca en frutos con respecto a la forma del disco del fruto. La comparación de las medias para ambos casos se realizaron mediante la prueba LSD Fisher ( $\alpha = 0.05$ ).

### ***3.8.3 Granulometría de las accesiones de la colección núcleo de café del CATIE***

Con los datos obtenidos de la evaluación granulométrica se realizó un ANDEVA considerando como variable respuesta a cada una de las cinco categorías de tamaño de grano. El modelo lineal para cada categoría fue el siguiente:

*Modelo lineal 3:*  $Y_{ij} = \mu + A_i + \varepsilon_{ij}$

Donde:  $Y_{ij}$  = variable observada (categorías del tamaño de de grano oro en porcentajes)

$\mu$  = efecto de la media general

$A_i$  = efecto de le i-ésima accesión

$\varepsilon_{ij}$  = efecto del error aleatorio dentro de la i-ésima accesión y j-ésimo tamaño de grano

La comparación de medias de las accesiones se realizó mediante la prueba LSD Fisher ( $\alpha = 0.05$ ).

## 4 RESULTADOS

### 4.1 Caracterización morfológica y agronómica

#### 4.1.1 *Caracterización de la colección núcleo de café del CATIE*

Las características cualitativas presentaron variabilidad fenotípica entre las plantas de la colección núcleo de CATIE. Para el color de la hoja joven se encontraron dos estados (verde y amarronada), para la forma de la hoja se encontraron cuatro estados (ovada, obovada, oblonga y elíptica), para la forma del disco del fruto tres estados (no marcada, prominente y picuda) y para el color del fruto se encontraron tres estados (rojo anaranjado, rojo, rojo púrpura).

Las características morfológicas cuantitativas presentaron coeficientes de variación (CV) menores de 15%, mientras que las agronómicas, excepto la altura de la planta (CV = 10.37) y el ángulo de inserción de las ramas primarias (CV = 11.36) presentaron CV mayores a 25%. Las características granulométricas, a excepción del peso de 100 granos oro al 11% de contenido de humedad (CV = 9.75%) presentaron CV entre 28% a 194% (Cuadro 4). Dos características agronómicas, el porcentaje de incidencia de roya y porcentaje de incidencia de ojo de gallo, y una característica granulométrica (porcentaje de grano oro mayor al tamiz 20/64'') presentaron los CV más altos. Estos valores de los CV indican que las accesiones de la colección núcleo de café del CATIE presentan poca variabilidad en las características morfológicas, pero una mayor variabilidad en las características agronómicas.

Asimismo, cuatro características, altura de planta, porcentaje de daño de broca en semillas, porcentaje de grano oro mayores al tamiz 17/64'' y porcentaje de incidencia de roya, presentaron mayor dispersión de los valores observados con respecto a sus medias muestrales. Para la altura de planta el valor mínimo promedio fue de 2.02 m y un máximo de 3.27 m; el daño de broca en semillas tuvo un mínimo promedio de 11.14% y un máximo de 69.96%; el valor mínimo promedio para el porcentaje de grano oro mayores al tamiz 17/64'' fue de 0% y un máximo de 90%; para incidencia de roya el mínimo promedio fue de 0.11% y un máximo de 47.97%. Además, la incidencia de ojo de gallo tuvo un mínimo promedio de 0% y un máximo de 56%; para la variable semillas tipo caracol el valor mínimo promedio fue de 5.03% y el máximo de 30.69%, para frutos vanos el mínimo promedio fue de 3.81% y el máximo de 42.65%. Estos valores indican que las accesiones de la colección núcleo de café del CATIE se

comportan diferentes frente al ataque de la roya, el ojo de gallo y la broca del fruto, del mismo modo la cantidad de frutos vanos y de semillas tipo caracol varían notablemente entre las accesiones.

Por otro lado, cuatro descriptores morfológicos cualitativos (hábito de planta, desarrollo vegetativo de la planta, posición de la inflorescencia y color de la semilla) presentaron un solo estado para todas las plantas dentro de las accesiones por lo que no fueron considerados para los análisis.

*Cuadro 4. Estadísticos descriptivos para las características cuantitativas utilizadas para la caracterización de 73 accesiones de la colección núcleo de café (C. arabica L.) del CATIE, 2007*

Características cuantitativas	Estadísticos						
	Media	Var	D.E.	E.E.	CV	Mín.	Máx.
Altura de la planta (cm)	265.31	757.51	27.52	3.22	10.37	201.71	327.00
Ángulo de inserción de las ramas primarias	61.47	48.78	6.98	0.82	11.36	52.53	86.40
Longitud de la hoja (mm)	154.51	82.47	9.08	1.06	5.88	137.97	173.72
Ancho de la hoja (mm)	56.93	20.27	4.50	0.53	7.91	45.00	69.80
Relación LH/AH	2.73	0.02	0.15	0.02	5.47	2.40	3.20
Longitud del pecíolo foliar (mm)	11.74	0.74	0.86	0.10	7.31	9.40	14.15
Número de flores por axila	6.05	0.74	0.86	0.10	14.21	3.75	8.49
Número de flores por fascículo	3.03	0.07	0.27	0.03	8.89	2.31	3.77
Número de fascículos por nudo	3.99	0.12	0.35	0.04	8.65	3.30	5.10
Longitud del tallo de la inflorescencia (mm)	4.09	0.19	0.44	0.05	10.73	3.00	6.10
Largo del fruto (mm)	16.99	0.51	0.71	0.08	4.20	14.60	18.58
Ancho del fruto (mm)	15.29	0.27	0.52	0.06	3.38	13.24	16.56
Espesor del fruto (mm)	13.40	0.21	0.46	0.05	3.41	11.89	14.53
Largo de la semilla (mm)	12.65	0.37	0.61	0.07	4.82	11.15	15.03
Ancho de la semilla (mm)	8.10	0.09	0.31	0.04	3.76	7.34	9.08
Espesor de la semilla (mm)	4.86	0.02	0.15	0.02	3.06	4.31	5.17
Frutos vanos (%)	18.93	68.82	8.30	0.97	43.83	3.81	42.65
Semilla tipo caracol (%)	16.32	29.00	5.38	0.63	33.00	5.03	30.69
Daño de broca en número de frutos (%)	70.08	169.34	13.01	1.52	18.57	25.34	94.47
Daño de broca en número de semillas (%)	37.17	140.94	11.87	1.39	31.94	11.14	69.96
Incidencia de roya (%)	9.40	82.17	9.07	1.06	96.47	0.11	47.97
Incidencia de ojo de gallo (%)	3.76	71.53	8.46	0.99	225.11	0.00	56.00
Rendimiento de grano pergamino (%)	7.77	10.74	3.28	0.38	42.20	2.61	19.06
Rendimiento de grano oro (%)	5.49	4.99	2.23	0.26	40.67	1.77	11.99
Peso de 100 granos oro al 11% de humedad (g)	15.72	2.35	1.53	0.18	9.75	12.10	19.85
Tamaño de grano oro mayor al tamiz 20/64'' (%)	1.33	6.62	2.57	0.30	194.02	0.00	14.25
Tamaño de grano oro mayor al tamiz 17/64'' (%)	48.82	302.89	17.40	2.04	35.65	0.00	90.00
Tamaño de grano oro mayor al tamiz 16/64'' (%)	28.70	64.26	8.02	0.94	27.93	6.00	43.25
Tamaño de grano oro mayor al tamiz 15/64'' (%)	15.12	79.28	8.90	1.04	58.89	0.00	45.00
Tamaño de grano oro menor al tamiz 15/64'' (%)	6.04	37.43	6.12	0.72	101.34	0.00	30.00

#### ***4.1.2 Grupos fenotípicos dentro de las accesiones de la colección núcleo de café del CATIE***

Siete pares de características cuantitativas presentaron una correlación significativa (Anexo 1), por lo tanto se eligió sólo una de estas características para el análisis de clasificación. Asimismo, otros descriptores como forma del ápice de la hoja, forma del fruto y de la semilla tampoco fueron considerados porque no representan relevancia desde el punto de vista agronómico; mientras que, la característica peso de fruto por planta no fue considerado porque sólo se tuvo datos exactos de las cinco primeras cosechas que no representaban el potencial *per se* de producción de frutos de las plantas dentro de cada accesión y además es muy influenciada por las condiciones ambientales, el estado de las plantas y de manejo del cultivo (Cannell 1987, Wintgens 2004). Por ejemplo, Angrand *et al.* (2004) mencionan que la caída de cerezas es mayor en sistemas a pleno sol que en los sistemas agroforestales con árboles de *Eucaliptus deglupta* y *Terminalia ivorensis*.

Según el análisis de conglomerados de las 73 accesiones de la colección núcleo de café del CATIE, con base a 23 características cuantitativas (10 características morfológicas, siete agronómicas, cuatro granulométricas y dos variables derivadas) se encontraron tres grupos fenotípicos diferentes agrupadas con un valor de correlación cofenética de 0.414 (Figura 5).

De la clasificación según el color de la hoja resultaron 35 accesiones con el color de brote amarronado y 38 con brotes color verde. De las accesiones que se presentaron brotes amarronado, seis son cultivados en Etiopia, tres son cultivadas en Yemen y el resto son silvestres; mientras dentro de las accesiones que tuvieron brotes verde, cinco son cultivadas en Etiopía y 33 son accesiones silvestres (Anexo 2).

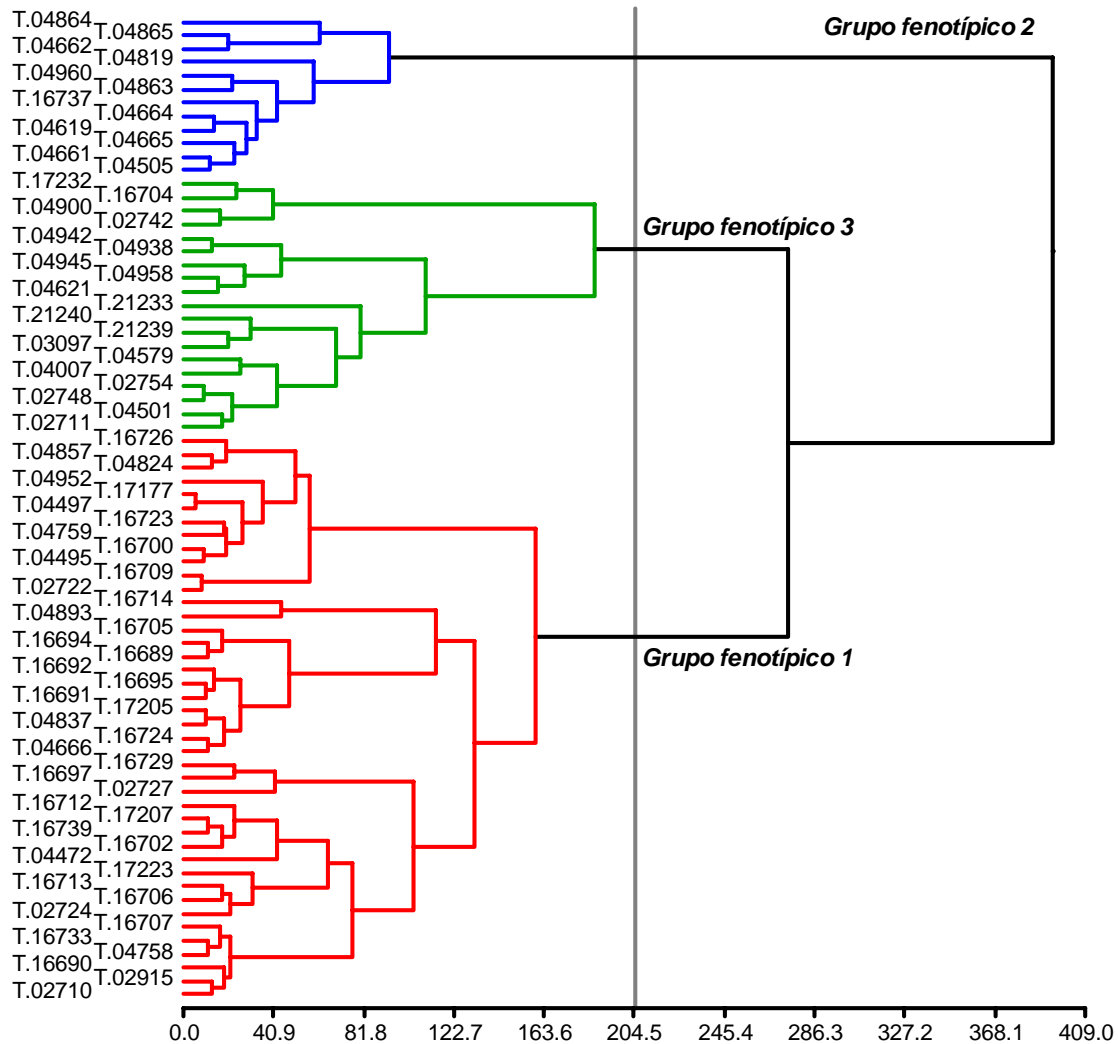


Figura 5. Dendrograma de clasificación fenotípica de 73 accesiones de la colección núcleo de café del CATIE (método de Ward, distancia euclídea cuadrado)

Según el MANOVA con los estadísticos de Wilks, Pillai, Lawley, Hotley y Roy ( $p < 0.0001$ ) y la prueba de Hotelling los tres grupos fenotípicos resultaron diferentes estadísticamente. Así mismo, el AD lineal con las elipses de predicción ( $\alpha = 0.05$ ) (Figura 6) con dos ejes canónicos explicaron el 76.22% de la variabilidad para las características observadas. Estos resultados son coherentes para la clasificación de los grupos fenotípicos dentro de la colección núcleo con base a las 23 características cuantitativas. Según la prueba de Shapiro-Wilks (modificado) las características cuantitativas tuvieron una distribución normal, excepto el ángulo de inserción de las ramas primarias, incidencia de roya, incidencia de ojo de gallo, porcentaje de grano oro mayor al tamiz 20/64'' y porcentaje de grano oro menor al tamiz 15/64''.



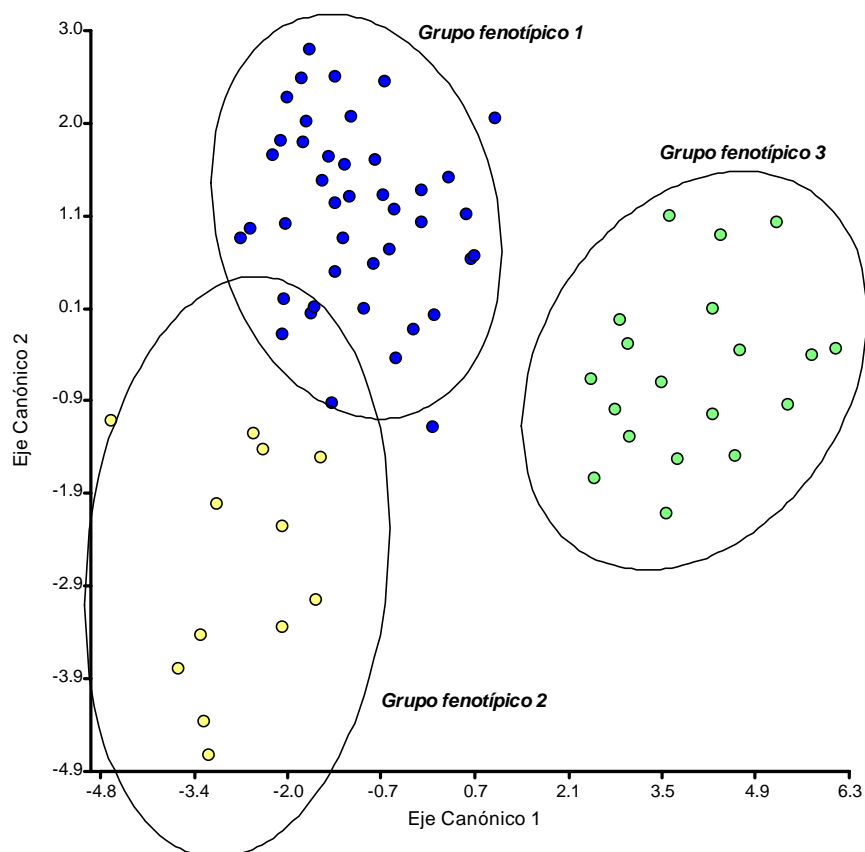


Figura 6. Elipses de predicción para los grupos fenotípicos de la colección núcleo de café del CATIE, 2007(95% de confianza)

El grupo uno resultó el más numeroso que agrupó a 42 accesiones, de las cuales cinco accesiones son cultivadas localmente en Etiopía (T.02710, T.02722, T.02724, T.02727 y T.02915), las cuatro primeras proceden de la provincia de Jimma y la última de la provincia de Zeghie; cinco accesiones silvestres procedentes de la provincia de Jimma (T.04495, T.04497, T.0466, T.04758 y T.04893); una accesión silvestre (T.04472) procedente de la provincia de Harar, tres silvestres proceden de la provincia de Illubabor (T.04824, T.04837 y T.04857); dos silvestres de la provincia de Sidamo (T.04759 y T.04952); cuatro accesiones silvestres proceden del *Institut de Recherches du Café et du Cacao*, Nkolbisson (T.17177, T.17205, T.17207 y T.17223) y 22 accesiones silvestres procedentes del *Institut de Recherches du Café et du Cacao*, Paris (T.16689, T.16690, T.16691, T.16692, T.16694, T.16695, T.16697, T.16700, T.16702, T.16705, T.16706, T.16707, T.16709, T.16712, T.16713, T.16714, T.16723, T.16724, T.16726, T.16729, T.16733 y T.16739).

En el grupo dos se agruparon 12 accesiones silvestres, de las cuales seis son procedentes de la provincia de Jimma (T.04505, T.04661, T.04662, T.04664, T.04665 y T.04819), cuatro son procedentes de la provincia de Illubabor (T.04619, T.04863, T.04864 y T.04865), una de la provincia de Gojjam (T.04960) y una del *Institut de Recherches du Cafe et du Cacao*, Paris (T.16737).

El grupo tres agrupó 19 accesiones, de las cuales seis son cultivadas localmente en Etiopia, dos en la provincia de Jimma (T.02711 y T.02742), tres en la provincia Sidamo (T.02748, T.03097 y T.04007) y una en la provincia de Anphilo (T.02754); tres son cultivadas localmente en Yemen (T.21233, T.21239 y T.21240) y las otras 10 accesiones son silvestres, dos procedentes de la provincia de Jimma (T.04621 y T.04900), tres son procedentes de la provincia de Gojjam (T.04938, T.04942 y T.04958), una de la provincia de Shoa (T.04501), una de la provincia de Illubabor (T.04579), una de la provincia de Eritrea (T.04945), una del *Institut de Recherches du Cafe et du Cacao*, Paris (T.16704) y una del *Institut de Recherches du Cafe et du Cacao*, Nkolbisson (T.17232).

Según el AD, la primera función discriminante que permite separar los grupos fenotípicos 1 de los grupos fenotípicos 2 y 3 es:

$$\text{Ecuación 1: } F = -35.44 + 0.01AP + 0.07AIRP - 0.04AH - 1.95LH/AH - 0.21LPF - 0.69NFA + 0.09NFN - 0.25LTI + 0.63LF + 0.38EF - 0.84LS + 4.55AS - 0.90ES + 0.01FV + 0.05SC + 0.04DBS + 0.17IR - 0.05IOG + 0.11GO + 0.15PGO + 0.23GO > 20 - 0.02GO > 17 + 0.01GO > 16$$

Según el porcentaje del autovalor asociado, esta primera función explicó el 76.22% de la variabilidad observada para las 23 características cuantitativas evaluadas, entonces hubo la necesidad de examinar la segunda función discriminante que explicó el 23.78% de la variabilidad observada; esta función es:

$$\text{Ecuación 2: } F = -32.86 + 0.01AP - 0.03AIRP + 0.06AH - 2.29LH/AH + 0.58LPF + 0.70NFA - 1.05NFN - 0.48LTI + 0.05LF + 0.05EF + 1.06LS - 0.58AS + 3.84ES - 0.02FV + 0.07SC + 0.03DBS - 0.02IR + 0.04IOG + 0.02GO - 0.34PGO - 0.22GO > 20 + 0.06GO > 17 + 0.01GO > 16$$

Los valores de la primera función discriminante con datos estandarizados (Cuadro 5), muestran que en la colección núcleo de café del CATIE la característica morfológica más discriminante es el ancho de la semilla y la característica agronómica más discriminante es el porcentaje de incidencia de roya. En forma secundaria discriminan tres características morfológicas: número de flores por axila, largo del fruto y largo de la semilla; una característica agronómica (porcentaje de daño de broca en semillas) y una granulométrica (porcentaje de grano oro mayor al tamiz 20/64''). En la segunda función discriminante,

discriminó más la característica granulométrica, porcentaje de granos oro mayor al tamiz 17/64”. En forma secundaria discriminaron las características: largo y espesor de la semilla, longitud del peciolo foliar, número de flores por axila, porcentaje de daño de broca, peso de 100 granos oro al 11% de contenido de humedad y el porcentaje de grano oro mayores al tamiz 20/64”.

*Cuadro 5. Características cuantitativas que discriminan los grupos fenotípicos de la colección núcleo de café (C. arabica L.) del CATIE, 2007*

Características cuantitativas	Eje discriminante 1	Eje discriminante 2
Altura de la planta (cm)	0.15	0.37
Ángulo de inserción de las ramas primarias	0.45	-0.16
Ancho de la hoja (mm)	-0.14	0.22
Relación longitud de la hoja/ancho de la hoja	-0.27	-0.32
Longitud del peciolo foliar (mm)	-0.16	0.43
Número de flores por axila	-0.58	0.58
Número de fascículos por nudo	0.03	-0.37
Longitud del tallo de la inflorescencia (mm)	-0.10	-0.20
Largo del fruto (mm)	0.41	0.03
Espesor del fruto (mm)	0.15	0.02
Largo de la semilla (mm)	-0.46	0.59
Ancho de la semilla (mm)	1.03	-0.13
Espesor de la semilla (mm)	-0.12	0.50
Frutos vanos (%)	0.10	-0.16
Semillas tipo caracol (%)	0.26	0.35
Daño de broca en número de semillas (%)	0.43	0.40
Incidencia de roya por planta (%)	1.20	-0.15
Incidencia de ojo de gallo por planta (%)	-0.38	0.32
Rendimiento de grano oro (%)	0.25	0.05
Peso de 100 granos oro al 11% de contenido de humedad (g)	0.19	-0.44
Tamaño de grano oro mayor al tamiz 20/64” (%)	0.55	-0.53
Tamaño de grano oro mayor al tamiz 17/64” (%)	-0.26	0.80
Tamaño de grano oro mayor al tamiz 16/64” (%)	0.06	0.10

La tasa de error aparente o tasa de mala clasificación resultó cero, lo cual significa que todas las accesiones están bien clasificadas con base a las 23 características cuantitativas. El centroide para el grupo fenotípico 1, en la primera función discriminante, fue de -1.02, para el grupo fenotípico 2 fue de -2.81 y para el grupo fenotípico 3 fue de 4.04. La prueba Bartlett para la hipótesis homogeneidad de matrices de covariancias resultó no significativo

( $p > 0.9999$ ), el cual sugiere que se cumple el supuesto de homogeneidad de covarianzas y por lo tanto la función discriminante lineal es suficiente para discriminar las características de mayor peso dentro de la colección de café del CATIE.

#### ***4.1.3 Caracterización de los grupos fenotípicos de la colección núcleo de café del CATIE***

En el Cuadro 6 se presentan las características más importantes y menos importantes dentro de cada uno de los grupos fenotípicos. Según la proporción de la varianza acumulada de los ocho componentes principales que explicaron el 77% de la variabilidad total observada para el grupo fenotípico 1, las características morfológicas más importantes resultaron: el número de flores por axila, número de fascículos por nudo y largo de la semilla; seguidos en importancia por el ancho de la hoja, ancho de la semilla y la relación LH/AH. Entre las características agronómicas que resultaron más importantes pero con menores porcentajes de variancia explicada respecto a las anteriores, fueron el porcentaje de daño de broca y el porcentaje de frutos vanos; mientras que las características granulométricas mostraron importancia secundaria en este grupo. Las características de menor importancia dentro de este grupo fenotípico, fueron las agronómicas, porcentaje de incidencia de ojo de gallo y porcentaje de incidencia de roya, rendimiento de grano oro, grosor de la semilla y las semillas tipo caracol, y la característica morfológica longitud del pecíolo foliar.

En el grupo fenotípico 2, los primeros siete componentes principales explicaron el 91% de la variabilidad observada. Las características morfológicas más importantes para este grupo fueron la relación LH/AH, longitud del tallo de la inflorescencia, espesor del fruto, largo de la semilla, ancho de la hoja, largo del fruto, espesor de la semilla y número de flores por axila; entre las características agronómicas destacaron el ángulo de inserción de las ramas primarias, porcentaje de frutos vanos, porcentaje de daño de broca, altura de la planta y rendimiento de grano oro, seguidos en importancia por el porcentaje de incidencia de roya; entre las granulométricas fueron el peso de 100 granos oro al 11% de contenido de humedad, el porcentaje de grano oro mayor al tamiz 20/64” y el porcentaje de grano oro mayor al tamiz 16/64”, seguidos del porcentaje de grano oro mayores al tamiz 17/64”. Por el contrario, las características menos importantes fueron el porcentaje de incidencia de ojo de gallo y el porcentaje de semillas tipo caracol.

En el grupo fenotípico 3, los primeros siete componentes principales explicaron el 85% de la variabilidad observada. Las características morfológicas más importantes fueron la longitud del tallo de la inflorescencia, el número de fascículos por nudo y el ancho de la semilla, las características agronómicas tuvieron importancia secundaria. Entre las características granulométricas destacaron el peso de 100 granos oro al 11% de contenido de humedad y el porcentaje de grano oro mayor al tamiz 17/64". Las características menos importantes fueron la altura de la planta, porcentaje de frutos vanos y semillas tipo caracol.

*Cuadro 6. Proporción de la varianza explicada para 23 características utilizadas en la caracterización de grupos fenotípicos de la colección núcleo de café (C. arabica L.) del CATIE, 2007*

Características cuantitativas	Proporción de la varianza acumulada		
	Grupo fenotípico 1 (8 primeros componentes)	Grupo fenotípico 2 (7 primeros componentes)	Grupo fenotípico 3 (7 primeros componentes)
Altura de la planta (cm)	0.78	0.93	0.69
Ángulo de inserción de las ramas primarias	0.79	0.99	0.87
Ancho de la hoja (mm)	0.89	0.93	0.90
Relación longitud de la hoja/ancho de la hoja	0.82	0.99	0.79
Longitud del peciolo foliar (mm)	0.69	0.83	0.79
Número de flores por axila	0.93	0.91	0.89
Número de fascículos por nudo	0.90	0.87	0.96
Longitud del tallo de la inflorescencia (mm)	0.79	0.98	0.97
Largo del fruto (mm)	0.76	0.93	0.89
Espesor del fruto (mm)	0.79	0.96	0.88
Largo de la semilla (mm)	0.91	0.97	0.88
Ancho de semilla (mm)	0.88	0.80	0.94
Espesor de la semilla (mm)	0.63	0.92	0.83
Frutos vanos (%)	0.84	0.96	0.69
Semillas tipo caracol (%)	0.69	0.78	0.72
Daño de broca en número de semillas (%)	0.88	0.94	0.85
Incidencia de roya por planta (%)	0.54	0.88	0.81
Incidencia de ojo de gallo por planta (%)	0.49	0.66	0.77
Rendimiento de grano oro (%)	0.63	0.93	0.84
Peso de 100 granos oro al 11% de contenido de humedad (g)	0.83	0.94	0.93
Tamaño de grano oro mayor al tamiz 20/64" (%)	0.71	0.94	0.88
Tamaño de grano oro mayor al tamiz 17/64" (%)	0.83	0.88	0.93
Tamaño de grano oro mayor al tamiz 16/64" (%)	0.76	0.93	0.91

En el Anexo 3 se presentan los valores mínimos y máximos para las características correspondientes a cada grupo fenotípico. Las comparaciones para las características, incidencia de roya, porcentaje de daño de broca en semillas, incidencia de ojo de gallo y las características granulométricas se presentan con mayor detalle en las secciones 4.2, 4.3, 4.4 y 4.5 del presente capítulo.

En las accesiones que se agruparon en el grupo fenotípico 1, las características más importantes presentaron el siguiente comportamiento: el número de flores por axila y el número de fascículos por nudo presentaron valores similares a los del grupo 2; el largo de la semilla resultó intermedio entre los grupos 2 y 3; así mismo, para las variables menos importantes se observaron el siguiente comportamiento: incidencias intermedias de roya y ojo de gallo en comparación de los grupos fenotípicos 2 y 3.

En las accesiones que se agruparon en el grupo fenotípico 2, las características más discriminantes presentaron las siguientes tendencias: el ancho de la hoja fue menor al de los grupos 1 y 3 e inversamente la relación LH/AH resultó mayor, longitud y espesor de frutos menores, semillas menores en longitud y grosor, la altura de planta y el ángulo de inserción de las ramas primarias fue intermedia en comparación a los promedios de los grupos fenotípicos 1 y 3, mayor porcentaje de frutos vanos, daño de broca en frutos intermedio, menor rendimiento de grano oro, menor peso de 100 granos oro al 11% de contenido de humedad, menores porcentajes de grano oro grande ( $>20/64''$ ), mayor porcentaje de grano oro mayor al tamiz  $16/64''$ , menor porcentaje de incidencia de roya y menor porcentaje de tamaño de grano oro mayor al tamiz  $17/64''$ ; mientras que, la característica de menor importancia, incidencia de ojo de gallo, presentó el nivel más bajo.

En el grupo fenotípico 3, las características más importantes presentaron el siguiente comportamiento: menor número de fascículos por nudo con respecto a los grupos 1 y 2, semillas más anchas, peso de 100 granos oro al 11% de contenido de humedad intermedio y mayor porcentaje de granos oro mayores al tamiz  $17/64''$ ; mientras que, para las características menos importantes fueron: plantas más altas y porcentajes de frutos vanos intermedio en comparación con los promedios de los grupos fenotípicos 1 y 2.

## 4.2 Incidencia de roya en las accesiones de la colección núcleo de café del CATIE

Según los resultados del ANAVA existen diferencias significativas de las accesiones de la colección núcleo de café del CATIE para la incidencia de roya, tanto entre accesiones ( $p < 0.0001$ ) como dentro de las accesiones ( $p < 0.0001$ ). Sin embargo, el cuadrado medio para accesiones es mayor al de plantas dentro de accesiones (Anexo 4), lo cual indica que es suficiente comparar las medias del porcentaje de incidencia de roya a nivel de accesiones. La prueba LSD Fisher ( $\alpha = 0.05$ ) separa claramente a las accesiones que presentaron menores incidencias de roya ( $< 2.0\%$ ) y a las que presentaron altas incidencias ( $> 15\%$ ) (Anexo 5). Con base a este resultado se seleccionó 14 accesiones con menores incidencias y que son diferentes significativamente al resto de las accesiones (T.04819, T.04857, T.04864, T.04863, T.16737, T.04865, T.04495, T.17177, T.04497, T.04960, T.16713, T.04666, T.04662, T.02915) y 14 accesiones con mayores incidencias también significativamente diferentes al resto (T.04893, T.04579, T.02727, T.21239, T.16733, T.04621, T.04472, T.02711, T.21233, T.04501, T.04945, T.04958, T.04938 y T.04942). Con estas 28 accesiones contrastantes se graficó el área bajo la curva del progreso de la enfermedad (Figura 6).

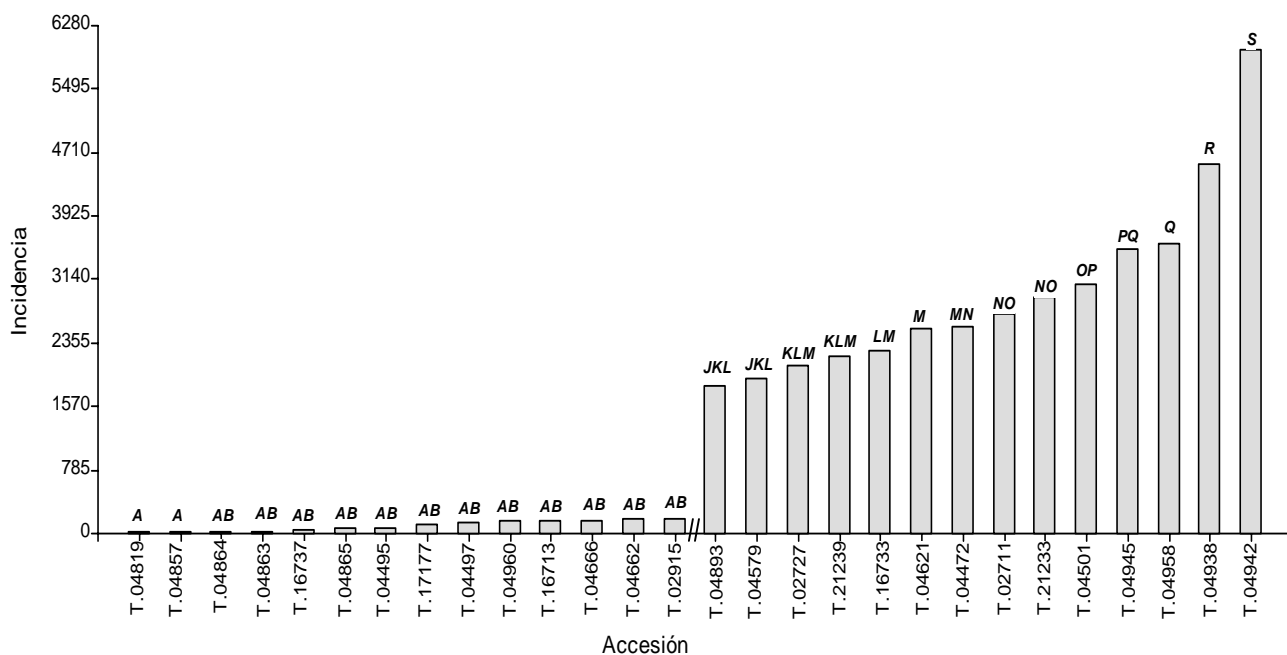


Figura 6. Área bajo la curva del progreso de la enfermedad para 28 accesiones contrastantes por baja y alta incidencia a *H. vastatrix* en la colección núcleo de café del CATIE. Letras diferentes indican diferencias significativas con la prueba LSD Fisher ( $\alpha=0.05$ )

Dentro del grupo de las accesiones con menores incidencias sólo se encontró un genotipo cultivado en Etiopia (T.02915) y el resto fueron accesiones silvestres. Mientras que en el grupo de las accesiones con mayores incidencias se encontraron cuatro accesiones cultivadas, dos en Etiopia (T.02727 y T.02711) y dos en Yemen (T.21233 y T.21239) y los 10 restantes fueron accesiones silvestres.

Por otro lado, la técnica de árboles de regresión (Anexo 6) permitió encontrar tres categorías para la variable porcentaje de incidencia de roya a partir de la forma de hoja de las plantas. La primera bifurcación se dio para 7.16% de incidencia, por lo que se tomaron los niveles menores a este límite para asignar como la categoría bajo nivel de incidencia de roya; la segunda bifurcación se dio en 24.06% de incidencia, por lo que se tomaron el rango de 7% - 24% de incidencia de roya para la categoría alta y el rango >24% para la categoría incidencia de roya muy alta. En el análisis de tablas de contingencia, el estadístico Chi cuadrado máximo verosímil resultó significativo ( $p < 0.0428$ ) para la asociación entre las categorías del porcentaje de incidencia de roya y las formas de las hojas de las plantas; sin embargo, el coeficiente de contingencia de Pearson, que es una medida de esta asociación, es bajo (0.19). Estos resultados indican que hay una asociación entre las categorías de incidencia de roya y la forma de las hojas, pero esta asociación además estaría influenciada por otras variables, como las ambientales que condicionan el desarrollo del patógeno y el manejo agronómico que influyen en la capacidad de respuesta de las plantas al ataque de la enfermedad. Así mismo, es importante señalar dos asociaciones que se pueden distinguir en la Figura 7: 1) incidencia baja de roya con hojas de forma elíptica e 2) incidencia alta de roya con hojas de forma lanceolada.



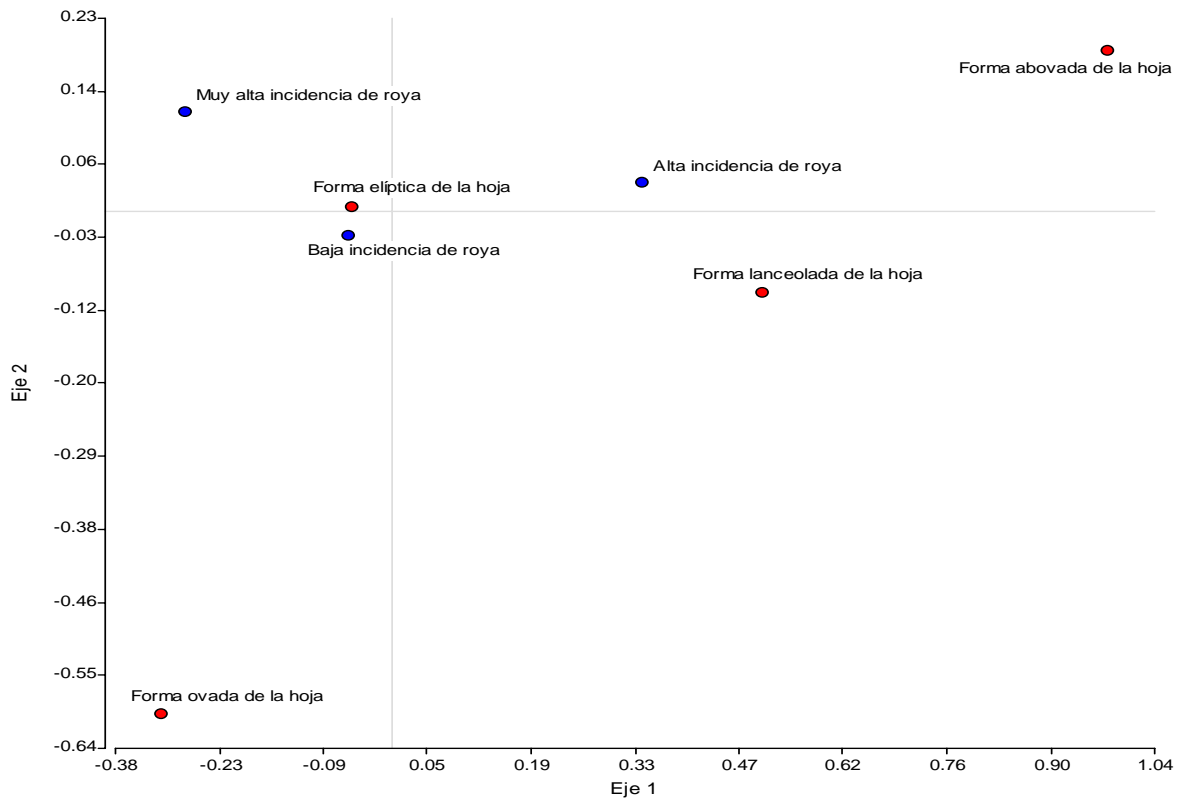
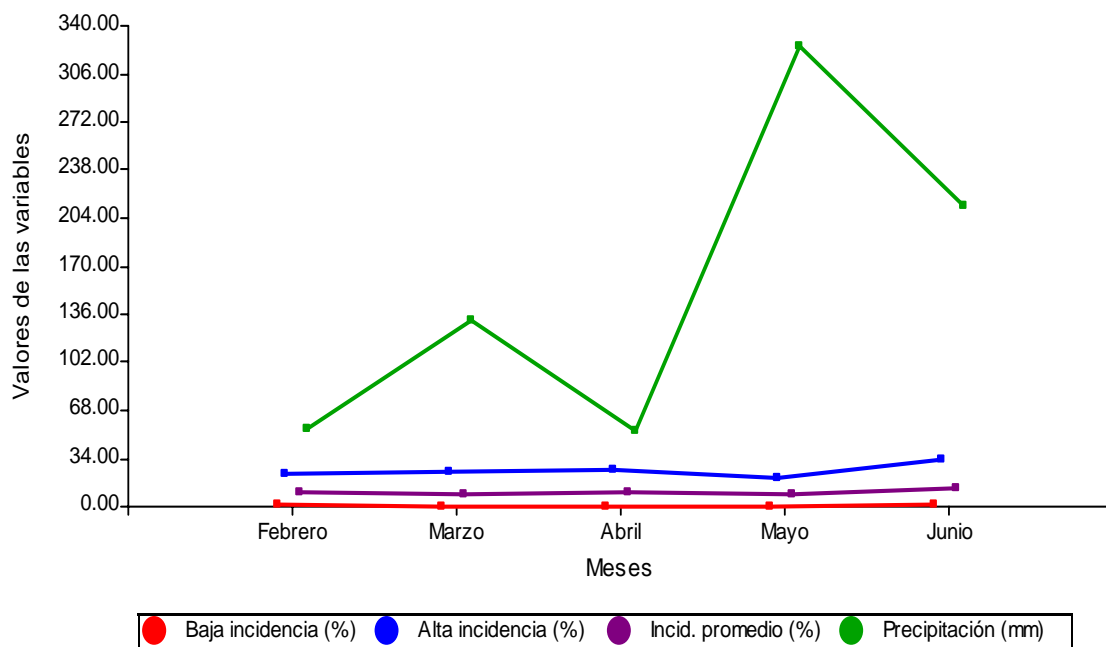


Figura 7. Biplot obtenido mediante análisis de correspondencias múltiples para la asociación entre categorías de porcentaje de incidencia de roya (*H. vastatrix*) y la forma de la hoja de las plantas de la colección núcleo de café del CATIE, 2007

Los promedios de las variables climatológicas, como temperatura y humedad relativa se mostraron homogéneos durante los cinco meses de evaluación de la incidencia de roya, mientras que la precipitación mensual tuvo su valor más alto en el mes de mayo (Anexo 7). En la Figura 8 se presenta la incidencia promedio de roya por planta para las accesiones que presentaron bajas incidencias de la enfermedad y para las que presentaron incidencias altas. En ambos casos la incidencia de la roya se mantuvo casi constante durante los cinco meses de evaluación, alta incidencia en el primer grupo y baja incidencia en el segundo, con un incremento ligero en el último mes de junio en el caso de las accesiones que presentaron incidencias altas. Este incremento puede ser un efecto del incremento de la precipitación que se presentó en el mes de mayo.

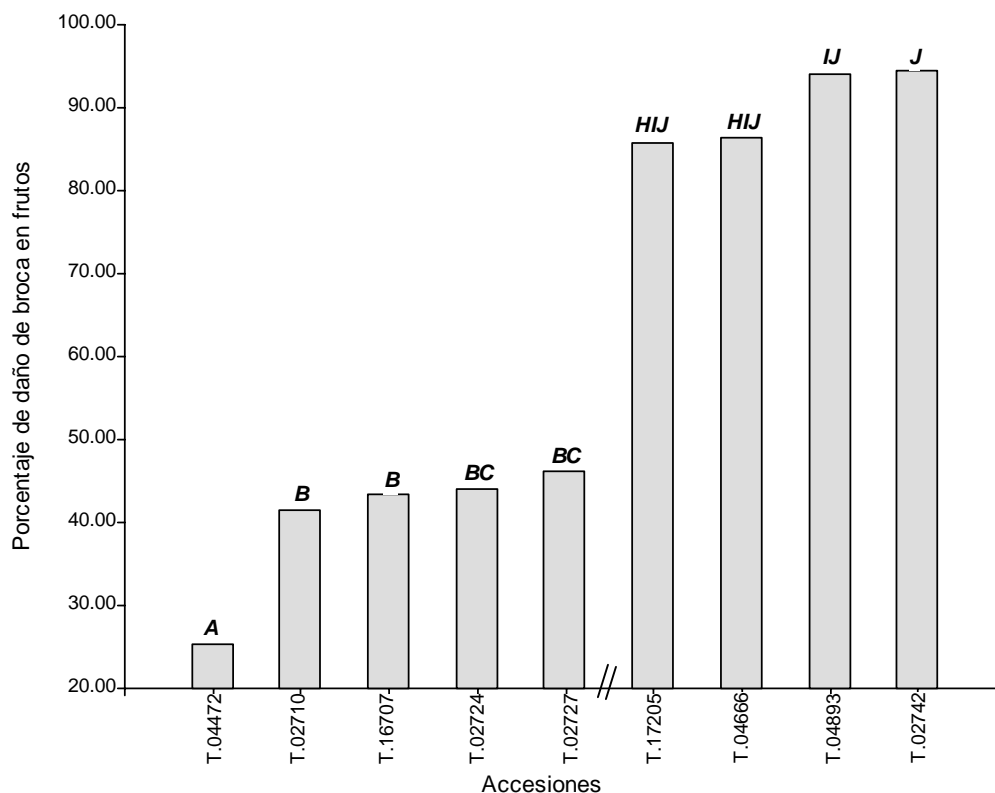


*Figura 8. Promedio de incidencia de roya (H. vastatrix) por planta para las accesiones contrastantes para bajas y altas incidencias de la enfermedad según el comportamiento de la precipitación*

### **4.3 Respuesta de las accesiones de la colección núcleo de café del CATIE al ataque de la broca del fruto del café**

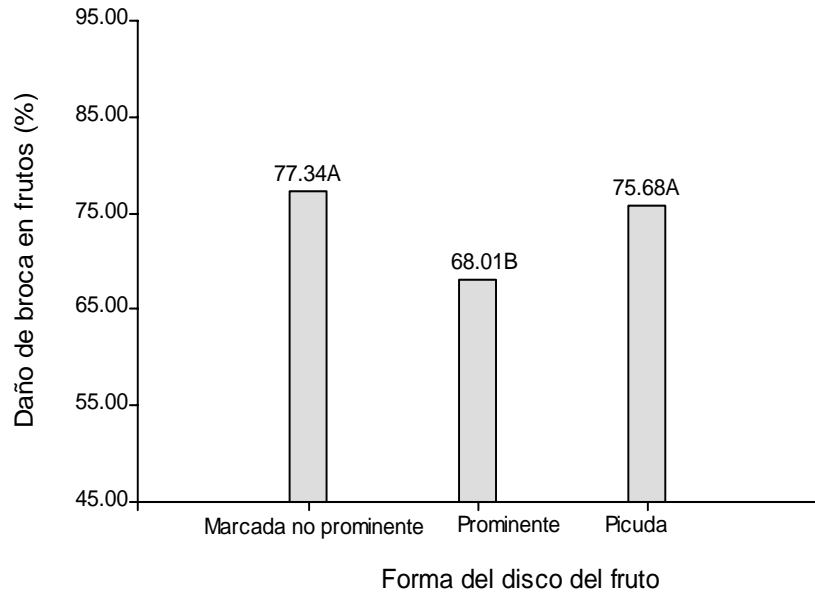
El ANAVA para el porcentaje de daño de broca en frutos de café mostró diferencias entre accesiones ( $p < 0.0001$ ) y para las plantas dentro de las accesiones ( $p < 0.0001$ ). No obstante, similar al caso de la roya, el cuadrado medio en la fuente de variación accesiones es mayor al de planta dentro de accesiones (Anexo 8), lo cual indica que la variación de las medias observadas para esta variable es mayor entre accesiones con relación al de las plantas dentro de las accesiones. Según la prueba de comparación de medias LSD Fisher, seis accesiones resultaron con menores porcentajes de daño (25% a 50%) en los frutos de café (T.04472, T.02710, T.16707, T.02724, T.02727 y T.02915), de las cuales la primera se encuentra ubicada adyacente a la carretera de acceso a la finca lo cual puede haber influido en el bajo porcentaje de daño de los frutos por la broca debido a las constantes perturbaciones para el establecimiento del insecto; en contraste cuatro accesiones (T.17205, T.04666, T.04893 y T.02742) resultaron con porcentajes más altos (>85%) (Anexo 9). En la Figura 9 se presentan las diferencias del porcentaje de daño de broca en frutos para estas nueve accesiones

contrastantes. Dentro de las accesiones con menores porcentajes de daño por broca, cuatro son cultivadas en Etiopía y dos silvestres, mientras que entre las accesiones con mayores porcentajes de daño por broca, tres son silvestres y una cultivada.



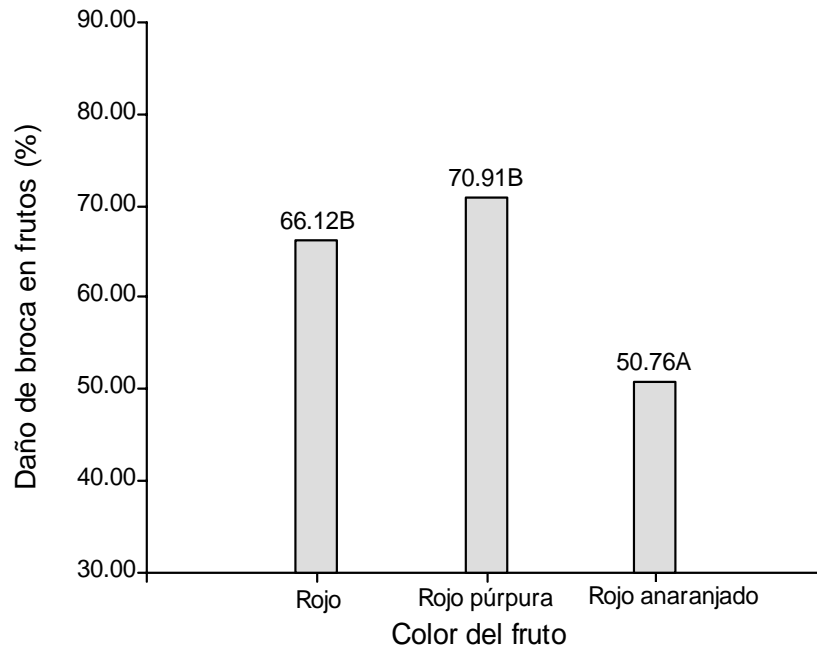
*Figura 9. Porcentaje de daño de broca (H. hampei) en frutos de café para nueve accesiones contrastantes de la colección núcleo de café del CATIE. Letras diferentes indican diferencias significativas con la prueba LSD Fisher ( $\alpha=0.05$ )*

Existen diferencias para el porcentaje de daño de broca según la forma del disco del fruto del café ( $p=0.0354$ ) (Figura 10). Los resultados indican que la broca perfora más fácilmente los frutos que poseen discos del tipo marcada, seguida del tipo picuda y el daño es menor en los frutos con disco de tipo prominente (Anexo 10). Además, en cinco de las seis accesiones que presentaron porcentajes bajos de daño de broca la moda por accesión para la forma del disco del fruto resultó prominente (Anexo 12).



*Figura 10. Porcentaje de daño de broca (H. hampei) en frutos según la forma del disco del fruto de las plantas de la colección núcleo de café del CATIE. Letras diferentes indican diferencias significativas con la prueba LSD Fisher ( $\alpha=0.05$ )*

Así mismo, en la Figura 11 se observa las diferencias para el porcentaje de daño de broca según el color de fruto ( $p=0.0475$ ). Se encontró que los frutos color rojo anaranjado tuvieron menores niveles de perforación por la broca con relación a los frutos con colores rojo y rojo púrpura, sin embargo, sólo se encontró dos plantas de la accesión T.04505 con frutos color rojo anaranjado (Anexo 11). Por otro lado, aritméticamente los frutos color rojo presentaron menores porcentajes de daño por broca con relación a los frutos de color rojo púrpura. Estos resultados indican que la broca tiene menos preferencia por los frutos rojo anaranjado y que la diferencia por perforar frutos rojo y rojo púrpura en infestaciones altas, como las que se tuvo en la mayoría de las accesiones en estudio, no es significativa. Además, para cuatro de las seis accesiones que presentaron porcentajes menores de daño de broca la moda para la característica color del fruto resultó rojo (Anexo 12).



*Figura 11. Porcentaje de daño de broca (H. hampei) en frutos según el color del fruto de las plantas de la colección núcleo de café del CATIE. Letras diferentes indican diferencias significativas con la prueba LSD Fisher ( $\alpha=0.05$ )*

#### **4.4 Respuesta de las accesiones de la colección núcleo de café del CATIE a la incidencia de ojo de gallo**

Se encontraron 13 accesiones que no presentaron síntomas de ojo de gallo durante las dos observaciones realizadas (agosto y setiembre) (Anexo 13). El análisis de varianza, para las 60 accesiones que presentaron alguna incidencia de ojo de gallo, reveló diferencia estadística entre accesiones ( $p<0.0001$ ) y para las plantas dentro de accesiones ( $p<0.0001$ ) (Anexo 14). Estos resultados son preliminares debido a las condiciones climatológicas no propicias del lugar de estudio para el desarrollo del hongo. Dieciséis accesiones mostraron los niveles más bajos (<0.8%) de incidencia de la enfermedad y estadísticamente diferentes al resto del grupo, estas fueron: T.16739, T.16704, T.04662, T.16723, T.02710, T.16689, T.04505, T.04952, T.04863, T.16692, T.17207, T.04472, T.17205, T.04960, T.16737 y T.04837, y cuatro accesiones: T16726, T.16697, T.16729 y T.02727 presentaron los niveles de incidencias más altos (15.80% - 56.01%) (Anexo 15).

Entre las accesiones que no presentaron ataque de ojo de gallo, dos (T.21239 y T.21240) son procedentes de los campos de cultivo de Yemen y 11 son silvestres de Etiopia. Entre las accesiones que presentaron bajos niveles de incidencia se encuentran una accesión cultivada en Etiopia (T.02710) y el resto son silvestres; mientras que entre las accesiones que presentaron altas incidencias de ojo de gallo, tres son silvestres y una cultivada en Etiopia (T.02727).

#### **4.5 Granulometría de las accesiones de la colección núcleo de café del CATIE**

Los ANAVAs resultaron altamente significativos ( $p > 0.0001$ ) para las cinco categorías de granulometría dentro de las accesiones de la colección núcleo de café del CATIE (Anexo 16). La prueba LSD Fisher ( $\alpha = 0.05$ ) encontró diferencias entre accesiones para los promedios de porcentaje de grano en cada una de las categorías (Anexo 17). Seis accesiones (T.17232, T.16704, T.02742, T.04900, T.16694 y T.16707) resultaron con mayores porcentajes de grano oro grande (mayor al tamiz 20/64''), el porcentaje de granos grandes en estas accesiones fue de 5% a 14.25% en promedio; también se encontraron seis accesiones (T.21239, T.16704, T.21233, T.03097, T.04900 y T.16694) con tamaño de grano comercial, mayores al tamiz 17/64'', los porcentajes en estas accesiones fueron de 70% a 90%; mientras que para el tamaño de grano medio (16/64'') se encontraron cuatro accesiones (T.04664, T.02711, T.04759 y T.04662) con porcentajes alrededor de 40%.

Entre las accesiones que tuvieron granos grandes destacan los silvestres y sólo una cultivada en Etiopia, en la categoría de las accesiones que tuvieron mayores porcentajes de grano comercial se encuentran tres accesiones cultivadas, de las cuales dos son procedentes de Yemen (T.21239 y T.21233) y una fue procedente de Etiopia (T.03097). Entre las accesiones que tuvieron mayores porcentajes de granos medianos se encuentra sólo una cultivada en Etiopia (T.02711) y los otros tres fueron silvestres.

## 5 DISCUSIÓN

### 5.1 Caracterización morfológica y agronómica de la colección núcleo de café del CATIE

Los resultados han mostrado que existen atributos que presentan baja variabilidad dentro de la población de plantas de la colección núcleo de café del CATIE, como, las características morfológicas; en contraste existen otras características que presentan mayor variabilidad dentro de la población estudiada. Así mismo, hay características que se encuentran correlacionadas ya sea en forma positiva o negativa. A escala general, la menor variabilidad encontrada para las características morfológicas con respecto a las agronómicas pueden ser explicadas desde el punto de vista: 1) evolutivo (Anthony *et al.* 2002b), ya que todas las accesiones de la colección núcleo de café del CATIE pertenecen a la especie *C. arabica*, 2) la forma de reproducción por autopolinización (Anthony *et al.* 2002b) y 3) los procesos de especiación, la cual hizo que las características morfológicas sean más estables dentro de los individuos de la misma especie.

La variabilidad encontrada para las características cualitativas color de la hoja joven, forma de la hoja, forma del disco del fruto y color del fruto indican que estas características son polimórficas, las cuales serían las expresiones de los niveles de polimorfismo encontrados por Anthony *et al.* (2001) en las accesiones de *C. arabica* procedentes de Etiopia a través de marcadores moleculares RAPDs, y en poblaciones silvestres encontrados por Aga *et al.* (2005), quienes reportaron un 25% de polimorfismo mediante marcadores ISSR.

Desde el punto de vista genético, el color de la hoja joven (brote) es una característica estable en las bases genéticas de Typica y Bourbon (Astorga 1999). En la colección núcleo de café del CATIE existe casi la misma proporción de accesiones con el color de brote amarronado (48%) y accesiones que presentan color de brote verde (52%).

La separación de los tres grupos fenotípicos es consistente tanto con los métodos exploratorios (análisis de conglomerados) y métodos probabilísticos (análisis de discriminante y el MANOVA). El grupo fenotípico 1 resultó el más numeroso, el cual está representado por accesiones que provienen de las provincias de Jimma, Illubabor y Sidamo, en el grupo fenotípico 2 predominan las accesiones procedentes de las provincias de Jimma e Illubabor, y en el grupo fenotípico 3 predominan las accesiones procedentes de las provincias de Jimma, Gojjam y Sidamo.

Entre las características más discriminantes para la separación de los tres grupos fenotípicos, según las dos funciones discriminantes, fueron las variables ancho de la semilla, porcentaje de incidencia de roya y porcentaje de grano oro mayor al tamiz 17/64''; seguidos por cinco características morfológicas (número de flores por axila, largo del fruto, largo de la semilla, grosor de la semilla y longitud del pecíolo foliar), una agronómica (porcentaje de daño de broca en semillas) y dos granulométricas (peso de 100 granos oro al 11% de contenido de humedad y porcentaje de grano oro mayores al tamiz 20/64''). Desde el punto de vista del uso de estos recursos es necesario conocer las accesiones según la importancia de las características que presentan, entonces la agrupación en grupos fenotípicos similares permitió identificar accesiones que sobresalen en las diferentes características, principalmente en las características de interés agronómico, de tal manera pueden ser seleccionadas en futuros trabajos de mejoramiento genético.

Los resultados sobre la proporción de la variabilidad observada y explicada por los componentes principales en cada grupo fenotípico permitieron conocer la estructura fenotípica de los grupos fenotípicos identificados. En el grupo fenotípico 1 se observó sólo tres características morfológicas importantes. El grupo fenotípico 2 presentó mayor variabilidad para 16 características de las 23 analizadas; de los cuales siete fueron de interés agronómico, pero la mayoría de ellos presentan comportamientos desfavorables, tales como, mayor porcentaje de frutos vanos en comparación a los grupos 1 y 3; el rendimiento de grano oro, peso de 100 granos oro al 11% de contenido de humedad, porcentajes de grano oro mayores al tamiz 20/64'' son menores con relación a los grupos 1 y 3; y sólo tres atributos presentaron comportamientos promisorios para futuros trabajos de fitomejoramiento: altura de la planta, ángulo de inserción de las ramas primarias y porcentaje daño de broca en semillas, que fueron intermedias con relación a los grupos fenotípicos 1 y 3; así mismo, se observó menor porcentaje de incidencia de roya y mayores porcentajes grano oro mayor al tamiz 17/64''. En el grupo fenotípico 3 se observaron cinco características importantes, de las cuales dos son de interés agronómico, peso de 100 granos oro al 11% de contenido de humedad intermedio y mayores porcentajes de grano oro mayor al tamiz 17/64'' con respecto a los grupos 1 y 2.

Según Jiménez y Soto (1995) los tamaños de grano oro más comerciales son los mayores al tamiz 17/64'' y 18/64''. Las accesiones que presentan proporciones más altas de grano oro mayor al tamiz 17/64 se clasificaron en los grupos fenotípicos 2 y 3; asimismo, en el grupo 2 se encuentran las accesiones que presentan menores incidencias de roya. Por otro



lado, las variables semillas tipo caracol e incidencia de ojo de gallo resultaron sin importancia en los tres grupos fenotípicos, estos comportamientos de las características indican que no dependen tanto del genotipo, sino de otros factores externos como ambientales y manejo del cultivo (Rojas 2003).

El patrón de variabilidad fenotípica encontrado, con relación al origen geográfico es aparentemente contradictorio, porque existe coincidencia para alta variabilidad (grupo fenotípico 2) y menor variabilidad (grupo fenotípico 1). Esto discrepa con los resultados encontrados por Anthony *et al.* (2007) mediante marcadores moleculares, quienes señalan que la mayor variabilidad genética de los cafés silvestres, con respecto a su lugar de origen, se encuentran al sur oeste (Provincias de Gojjam, Illubabor y Shoa) del Valle de la Gran Grieta y las accesiones menos diversos son los procedentes de la parte sur este (Provincias de Harerge y Sidamo) de la grieta.

Esta diferencia puede ser explicada por la limitación que presentan los características morfológicas utilizadas para el estudio (23 descriptores) para estimar la variabilidad genética con respecto a los marcadores moleculares que presentan mayor capacidad para identificar loci heterocigotos y polimórficos ya que pueden marcar pares de bases más representativos de la variabilidad para el material en estudio; en contraste una limitante de los marcadores moleculares con relación a los morfológicos, es que no proporcionan información sobre el fenotípico que codifica cada locus o loci identificados. Otro factor que pudo haber influido en los resultados encontrados con los descriptores morfológicos puede deberse a una subrepresentación de las accesiones procedentes de cada uno de los lugares, ya que no se conocen exactamente el lugar de procedencia de un número considerable de accesiones de la colección estudiada, porque solamente se tiene el registrada como lugar de procedencia a los centros de investigación, por ejemplo, 24 accesiones son procedentes del *Institut de Recherches du Cafe et du Cacao*, Paris, cinco del *Institut de Recherches du Cafe et du Cacao*, Nkolbisson y tres del CIRAD.

Pese a que los descriptores morfológicos y agronómicos, aparentemente son redundantes para explicar la variabilidad de las accesiones de la colección núcleo en estudio según su origen geográfico, proveen eficiente información para discriminar variabilidad fenotípica según grupos que comparten características comunes. En otras especies, tales como, cacao (Bekele *et al.* 2006), frijol (Gonçalves *et al.* 2007), quinua (Bhargava *et al.* 2007) y

yuca (Demey *et al.* 2003), los descriptores morfológicos y agronómicos también resultaron discriminantes.

## **5.2 Respuesta de las accesiones de la colección núcleo de café del CATIE al ataque de roya, ojo de gallo y broca**

De las 14 accesiones que mostraron bajas incidencias de roya, ocho accesiones presentaron promedios menores a 1%, de las cuales cinco se agruparon en el grupo fenotípico 2 y tres en el grupo fenotípico 1, resultado coherente con lo que se observó en la caracterización de los grupos fenotípicos; y las otras seis presentaron incidencias >1% y <2%, de las cuales cuatro se agruparon en el grupo fenotípico 1 y dos en el grupo 2. Los promedios de incidencia para estas 14 accesiones fueron menores a los que mostraron la variedad Caturra en sistemas orgánicos (19.28%) y convencional (18.21%) bajo las condiciones de Paraíso, provincia de Cartago (Samayoa y Sánchez 2000). Por lo tanto, en la colección núcleo de café del CATIE se encuentran accesiones valiosas que presentaron bajas incidencias de *H. vastatrix* bajo condiciones ambientales de Cabiria, que se caracteriza por precipitaciones anuales altas. Estas accesiones presentan un potencial de resistencia genética a roya, dado que Moreno (2004) señala que en los genotipos resistentes la enfermedad inicia su desarrollo con más de cuatro meses de retraso, mientras que en los genotipos susceptibles el progreso de la enfermedad es rápido y coincide con el desarrollo de los frutos y con la emisión de nuevas ramas.

Gouveia *et al.* (2005) señalan que la diversidad genética de *H. vastatrix* es relativamente baja, por lo que estas 14 accesiones que presentan un potencial de resistencia a la enfermedad pueden ser usadas para futuros trabajos de búsqueda de resistencia a roya, ya que el manejo de roya mediante resistencia genética es la forma más apropiada y rentable para manejar esta enfermedad en el cultivo del café (Silva *et al.* 2006), aunque la respuesta de bajas incidencias de roya observadas en las accesiones puede variar bajo condiciones ambientales diferentes a los que predominan en el lugar del presente estudio.

La asociación entre el porcentaje de incidencia de roya y la forma de hoja es baja, pero la asociación entre la forma elíptica de la hoja con bajas incidencias de roya es notoria. Esta asociación puede ser explicada desde un punto de vista de la capacidad fotosintética, el cual está relacionada a su vez con el área foliar (Cannell 1987) por lo que la forma de hoja puede influir indirectamente en el desarrollo del patógeno. En este contexto el resultado encontrado

encamina a una interrogante para futuras investigaciones: ¿qué relación hay entre la forma de la hoja de los cafetos con el ataque de roya?

Para la variable daño de broca, todas las accesiones estudiadas presentaron daños por *H. hampei*, este resultado coincide con lo que señalan Montagnon *et al.* (2002), en el género *Coffea* aún no se ha encontrado resistencia genética. Sin embargo, se encontró una variación a nivel de accesiones con respecto a la magnitud del daño causado por la plaga, resultando seis accesiones (cinco del grupo fenotípico 1 y una del grupo 3) con menores porcentajes de daño con relación a las otras cuatro accesiones que presentaron altos porcentajes de daño, que superan los niveles (80% de pérdida) reportados por IHCAFE (1986). Así mismo, se observó que de las seis accesiones que presentan menores daños de broca cuatro son cultivadas y dos silvestres; este resultado hace suponer que los agricultores en Etiopía ya encaminaban por seleccionar cultivares que responden mejor al ataque de esta plaga. Dado que en el grupo 1 la variable daño de broca discriminó de manera secundaria, estas seis accesiones constituyen material promisorio para realizar pruebas repetidas al ataque de broca bajo condiciones controladas.

Los resultados de asociación del daño de broca con el atributo color del fruto es preliminar debido a que requieren de ensayos más rigurosos para poder juzgar tal asociación, sin embargo, indica que hay menor infestación por la broca en frutos de color rojo anaranjado en comparación con los frutos de color rojo púrpura, en tal sentido Álvarez *et al.* (2002) ya habían señalado que una de las características que determina antixenosis a *H. hampei* en café es el color de los frutos. En el caso de la asociación del porcentaje de daño de broca con la forma del disco del fruto, los resultados han mostrado diferencias significativas, resultando con menores daños los frutos que presentan formas de disco prominente; aunque no se encontraron reportes sobre esta asociación, una hipótesis es que los frutos con disco tipo prominente presentan una pequeña hendidura en el disco, el cual puede confundir al adulto de la broca al momento de la perforación como un fruto perforado por otro insecto, puesto que la broca generalmente inicia la perforación por el disco del fruto (IHCAFE 1986). La asociación del daño de la broca con la forma picuda del disco hace suponer que esta forma de disco puede funcionar como órgano de pseudodefensa contra la broca, ya que los discos picudos, al ser muy prominente pueden dificultar la posada de los insectos en el momento de iniciar la perforación.

Los resultados sobre la respuesta de las accesiones de la colección núcleo de café del CATIE a la incidencia del ojo de gallo son preliminares debido a que las condiciones ambientales predominantes del lugar de estudio no son favorables para el desarrollo del patógeno, puesto que este hongo requiere condiciones adecuadas para su desarrollo, como, altitudes sobre los 1 200 msnm, excesiva o ausencia de sombra (Muller *et al.* 2004). Condiciones de sombra excesiva, en un sistema de cultivo de café, generalmente favorece el desarrollo del patógeno mientras que la ausencia de sombra afecta la fisiología de la planta que se vuelve más susceptible al patógeno. Sin embargo, es importante resaltar que existen 13 accesiones que no presentaron síntomas de ojo de gallo durante los meses de agosto y setiembre, considerados meses de mayor humedad, y 16 accesiones que presentaron incidencias menores a 0.8%. Las accesiones que no presentaron infecciones por el hongo y las que presentaron menos de 0.8% de incidencia, constituyen material genético interesante para futuros trabajos de búsqueda de genotipos resistentes a ojo de gallo, puesto que, 0.8% de incidencia es menor al que encontraron Samayoa y Sánchez (2000) en la variedad Caturra (mayores a 10% de incidencia) en condiciones de Paraíso, provincia de Cartago.

### **5.3 Granulometría de las accesiones de la colección núcleo de café del CATIE**

Los resultados representan la variabilidad del tamaño de grano oro sin la inclusión de granos defectuosos, caracoles, granos tipo elefante ni granos tipo triángulo. Según los resultados encontrados, para la categoría de grano comercial, 12 accesiones produjeron granos comerciales en proporción similar a la variedad Caturra, para la cual Barboza y Amaya (1996) encontraron una proporción de 50% a 55% de granos de la categoría comercial (17/64'') para las dos primeras cosechas en frutos maduros. Otro grupo mayor, conformado por 25 accesiones, produjo granos comerciales de 55% a 70%; y un grupo de seis accesiones sobresale con porcentajes incluso más altos de grano oro comercial (mayores a 70%). Además, seis accesiones produjeron granos grandes (>20/64'') entre 5% a 14%, de las cuales tres accesiones llegaron (T.17232, T.16704 y T.02742) a producir granos grandes superiores a 9%. Estos resultados encontrados corroboran la importancia de las accesiones presentes en la colección núcleo de café del CATIE para trabajos de mejoramiento genético por tamaño de grano; por otro lado, sugieren que los agricultores ya seleccionaban desde hace muchos años genotipos que producen mayores tamaños de grano oro, principalmente en el caso de Yemen.

Según Regalado (2006) el mayor tamaño de los granos está relacionado a una mayor calidad de taza de la bebida. Por lo tanto, las accesiones que produjeron mayores porcentajes de granos grandes y las que produjeron mayores proporciones de grano comercial constituyen material genético importante para futuros trabajos de mejoramiento genético por tamaño de grano, ya que Van der Vossen (1987) menciona que la heredabilidad para la característica tamaño de grano AA (retenidos por el tamiz 18/64'') en *C. arabica* es alta ( $h^2 = 0.70$ ).

Es importante subrayar que los mayores porcentajes de granos grandes y granos comerciales significan menores porcentajes de granos pequeños en las accesiones (características altamente correlacionadas en forma negativa). Así mismo, mayores porcentajes de grano comercial significan mayor peso de los granos oro (características correlacionadas positivamente). Con respecto al peso de 100 granos oro con un contenido de humedad de 12%, Barboza y Amaya (1996), reportan un peso promedio de 13.7 g para las tres primeras cosechas en la variedad Caturra; comparando con los pesos de 100 granos al 11% de contenido de humedad de las accesiones de la colección en estudio, se aprecia que la mayoría de las accesiones superan a dicho valor (Anexo 18), aunque las condiciones ambientales y de manejo para ambos estudios son totalmente diferentes, es un punto de referencia importante.

No se encontró ninguna accesión que presenta las cinco características de interés agronómico (baja incidencia de roya, cero o baja incidencia de ojo de gallo, nivel bajo de daño de broca, mayor proporción de grano grande y mayor proporción de grano comercial). Sin embargo, es importante resaltar que algunas accesiones presentaron dos o hasta tres características de interés agronómico. La accesión T.02915 presentó baja incidencia de roya y bajo nivel de daño de broca, la accesión T.04666 presentó baja incidencia de roya y cero para ojo de gallo, cuatro accesiones (T.04662, T.04863, T.04960 y T.16737) presentaron bajas incidencias de roya y ojo de gallo, dos accesiones (T.02710 y T.04472) presentaron bajos niveles de daño de broca y bajas incidencias de ojo de gallo, la accesión T.16707 presentó menor nivel de daño de broca y produjo mayor proporción de grano grande ( $>20/64''$ ), la accesión T.16704 presentó baja incidencia de ojo de gallo y produjo proporciones mayores de grano grande y grano tamaño comercial ( $>17/64''$ ), la accesión T.21239 no presentó incidencia de ojo de gallo y produjo mayor proporción de grano comercial, además, dos accesiones (T.04900 y T.16694) produjeron mayores proporciones de grano grande y grano comercial.

## 6 CONCLUSIONES

En la colección núcleo de café del CATIE, entre las características cuantitativas hay mayor variabilidad para las agronómicas y granulométricas con relación a las morfológicas; en las características cualitativas se observó la expresión de polimorfismo.

Las 73 accesiones estudiadas se clasificaron en tres grupos fenotípicos diferentes para 23 características cuantitativas, resultando más discriminantes las características morfológicas y de los tres grupos presentó mayor variabilidad el grupo fenotípico 2.

Catorce accesiones (siete clasificadas en el grupo fenotípico 1 y otras siete en el grupo 2) presentaron bajas incidencias de roya durante los meses de febrero a julio, trece accesiones no presentaron síntomas de ojo de gallo durante los meses de agosto y setiembre, y 16 accesiones presentaron incidencias de ojo de gallo menores a 0.8%.

Seis accesiones (cinco clasificadas en el grupo fenotípico 1 y uno en el grupo 3) presentaron menores porcentajes de daño de broca, además, entre estas seis accesiones cuatro son cultivadas en Etiopía.

Los bajos niveles de daño de broca están asociados a la forma del disco prominente y al color rojo anaranjado de los frutos, y de manera secundaria a la forma picuda del disco y al color rojo de los frutos.

Seis accesiones (cinco clasificadas en el grupo fenotípico 3 y uno en el grupo 1) produjeron mayores proporciones de grano comercial (mayor al tamiz 17/64'') y tres accesiones (clasificadas en el grupo 3) produjeron granos grandes (mayor al tamiz 20/64'') superiores a 9%.

Las accesiones que presentaron menores incidencias de roya, cero o baja incidencia de ojo de gallo y menores porcentajes de daño por broca, así mismo, las accesiones con mayor proporción de grano grande y comercial son muy importantes para futuros trabajos de mejoramiento genético. Sin embargo, no se encontró ninguna accesión que presenta todas estas características de interés agronómico en forma combinada.

## **7 RECOMENDACIONES**

En futuros trabajos de caracterización y selección, no hay necesidad de evaluar las características hábito de planta, desarrollo vegetativo de la planta, posición de la inflorescencia y color de la semilla porque no presentan variabilidad dentro de la colección estudiada. Así mismo, en estos trabajos se debe evaluar sólo una de las características correlacionadas.

Las características de interés agronómico, como, menor incidencia de roya, tamaño comercial y grande de granos se encuentran en grupos fenotípicos diferentes. Por lo tanto, es viable formar variedades compuestas o realizar mejoramiento genético asistido por marcadores moleculares.

Para verificar la resistencia genética a roya de las 14 accesiones que presentaron bajas incidencias, se requieren realizar pruebas en diferentes condiciones ambientales y/o inoculaciones artificiales con razas más virulentas del patógeno.

Para las 13 accesiones que no presentaron síntomas de ojo de gallo y para las 16 accesiones que presentaron incidencias menores a 0.8% es necesario realizar pruebas en condiciones propicias para el desarrollo de la enfermedad.

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

## 8 BIBLIOGRAFÍA

- Aga, E; Bekele, E; Bryngelsson, T. 2005. Inter-simple sequence repeat (ISSR) variation in forest coffee trees (*Coffea arabica* L.). *Genetica* 124(2-3):213-221.
- 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, EM; Vásquez, N; Ortiz, JL; Astorga, C. 2004. Recursos disponibles de la biotecnología para la conservación de germoplasma de cultivos de interés regional: café, bananos y plátanos. *In* Congreso Latinoamericano de Biotecnología Vegetal. REDBIO/FAO. 33 p.
- Aguilar V, GJ. 1995. Variedad Costa Rica 95. San José, CR, ICAFE. 33 p.
- Alvarado A, G. 2004. Comportamiento de progenies de variedad Colombia en presencia de razas compatibles de roya del cafeto. *Cenicafé* 55(1):69-92.
- Alvarado A, G; Castillo Z, J. 1997. Progreso de la roya del cafeto sobre genotipos resistentes y susceptibles a *Hemileia vastatrix*. *Cenicafé* 47(1):42-52.
- 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.
- 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.
- 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.
- \_\_\_\_\_. 2002. Método para evaluar antixenosis a *Hypothenemus hampei* en café, bajo condiciones controladas. *Cenicafé* 53(1):49-59.
- Álvarez M, EL; Acuña Z, JR; Gaitán B, A; Montaña L; JS; de Peña, M. 2002. Búsqueda de secuencias homólogas a genes de resistencia a insectos en el genoma de *Coffea arabica* L., c.v. Colombia. *Cenicafé* 53(4):273-280.
- Angrand, JC. 2002. Floración, desarrollo vegetativo y fotosíntesis de *Coffea arabica* en diferentes sistemas de cultivos en Pérez Zeledón y Heredia, Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 56 p.



- Angrand, J; Vaast, P; Beer, J; Benjamin, T. 2004. Comportamiento vegetativo y productivo de *Coffea arabica* a pleno sol y en tres sistemas agroforestales en condiciones subóptimas en Costa Rica. *Agroforestería en las Américas* no. 41-42:77-82.
- 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.
- \_\_\_\_\_, F; Bertrand, B; Quiros, O; Wilches, A; Lashermes, P; Berthaud, J; Charrier, A. 2001. Genetic diversity of wild coffee (*Coffea arabica* L.) using molecular markers. *Euphytica* 118(1):53-65.
- \_\_\_\_\_, F; Astorga, C; Topart, P; Bertrand, B; Lashermes, P. 2002a. La caracterización de las variedades de café (*Coffea arabica*) por los marcadores moleculares: ¿mito o realidad?. *Boletín PROMECAFE* no. 93. p. 9-13.
- \_\_\_\_\_, F; Combes, MC; Astorga, C; Bertrand, B; Graziosi, G; Lashermes, P. 2002b. The origin of cultivated *Coffea arabica* L. varieties revealed by AFLP and SSR markers. *Theoretical and Applied Genetics* 104 (5):894-900.
- \_\_\_\_\_, F; Astorga, 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; Bertrand, B; Astorga, C; Lashermes, P. 2007. Characterization and assessment of *Coffea arabica* L. genetic resources conserved in the field genebank. *In*. Engelmann, F; Dulloo, E; Astorga, C; Dussert, S; Anthony, F eds. *Complementary strategies for ex-situ conservation of Coffee (Coffea arabica L.) genetic resources . A case study on CATIE, Costa Rica, Tropical reviews in Agricultural Biodiversity*. Roma, IT, Biodiversity International,. p. 35-46.
- Astorga D, CG. 1999. Caracterización de variedades cultivadas de café (*Coffea arabica* L.) conservadas en el banco de germoplasma del CATIE. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 112 p.
- 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 caficultura en Centroamérica*. San José, CR, IICA. p. 193-241.
- \_\_\_\_\_, 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.
- \_\_\_\_\_, J; Perriot, JJ; Guyot, B; Pineda, C; Decazy, F; Cilas, C. 2002. Vers une identification de cafés-terroir au Honduras. *In* CIRAD (Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement) ed. Recherche et caféiculture. Montpellier Cedex, FR. p. 6-16.
- \_\_\_\_\_, 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.
- Ayer, WA; Browne, LM. 1990. Investigaciones químicas de metabolitos tóxicos de *Mycena citricolor*, el agente causal del ojo de gallo del cafeto. *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, PROMECAFE/IDRC.
- Barboza H, CA; Amaya L, FL. 1996. Análisis de la calidad del grano y de la bebida del café Var. Caturra en función de la maduración y tiempo de fermentación. *Agronomía Tropical* 46(3):289-311.
- Bhargava, A; Shukla, S; Rajan, S; Ohri, D. 2007. Genetic diversity for morphological and quality traits in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) germoplasm. *Genetic Resources and Crop Evolution* 54(1):167-173.
- Bekele, FL; Bekele, I; Butler, DR; Bidaisee, GG. 2006. Patterns of morphological variation in a sample of cacao (*Theobroma cacao* L.) germplasm from International Cocoa Genebank, Trinidad. *Genetic Resources and Crop Evolution* 53 (5):933-948.
- Baker, PS; Barrera, JF; Rivas, A. 1992. Life-history studies of the coffee berry borer (*Hypothenemus hampei*, Scolitidae) on coffee trees in southern Mexico. *The Journal of Applied Ecology* 29 (3):656-662.
- 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.
- \_\_\_\_\_, B; Aguilar, G; Santacreo, R; Anzueto, F. 1999. El mejoramiento genético en América Central. *In* Bertrand, B; Rapidel, B. eds. Desafíos de la caficultura en Centroamérica. San José, CR, IICA. p. 407-456.

- Brown, AHD; Spillane, C. 1999. Implementing core collections - principles, procedures, progress, problems and promise. *In* Johnson, RC; Hodgkin, T. eds. Core collections for today and tomorrow. Roma, IT, IPGRI. p. 1-9.
- Camayo V, CG; Cháves 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.
- Cannell, MGR. 1987. Physiology of the coffee crop. *In* Clifford, MN; Willson, KC. eds. Coffee: botany, biochemistry and production of beans and beverage. London, RU, Croom helm. p. 108-134.
- 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.
- CATIE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza). 2007. Jardín Botánico: localización (en línea). Turrialba, CR. Consultado 12 jul. 2007. Disponible en [http://www.catie.ac.cr/BancoConocimiento/C/colecciones\\_jardin\\_botanico\\_localizacion/colecciones\\_jardin\\_botanico\\_localizacion.asp?CodIdioma=ESP&NombreSubMenu=Localización&Sigla=JaBota&NomMagazin=Jardín%20Botánico&CodMagazin=8&CodSeccion=15&IntMenu=3&MagSigla=](http://www.catie.ac.cr/BancoConocimiento/C/colecciones_jardin_botanico_localizacion/colecciones_jardin_botanico_localizacion.asp?CodIdioma=ESP&NombreSubMenu=Localización&Sigla=JaBota&NomMagazin=Jardín%20Botánico&CodMagazin=8&CodSeccion=15&IntMenu=3&MagSigla=)
- CCI (Centro de Comercio Internacional). 1992. Café: guía del exportador. Suiza, CCI. 402 p.
- Charrier, A; Berthaud, J. 1987. Botanical classification of coffee. *In* Clifford, MN; Willson, KC. eds. Coffee: botany, biochemistry and production of beans and beverage. London, RU, Croom helm. p. 13-47.

- 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.
- Clarke, RJ. 1987. Green coffee processing. *In* Clifford, MN; Willson, KC. eds. Coffee: botany, biochemistry and production of beans and beverage. London, RU, Croom helm. p. 230-250.
- Clay, J. 2004. Coffee. *In* World Agriculture and the Environment. Washington, DC: Island Press. p. 69-91.
- Corley H, C. 1999. Testing and utilization of a core collection for the US germoplasm collection of peanut. *In* Johnson, RC; Hodgkin, T. eds. Core collections for today and tomorrow. Roma, IT, IPGRI. p. 68-73.
- Couthino, TA; Rijkenberg, FHJ; van ASCH, MAJ. 1994. The effect of leaf age on infection of *Coffea* genotypes by *Hemileia vastatrix*. *Plant Pathology* 43(1):97-103.
- 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.
- Davis, AP; Govaerts, R; Bridson, DM; Stoffelen, P. 2006. An annotated taxonomic conspectus of the genus *Coffea* (Rubiaceae). *Botanical Journal of the Linnean Society* 152(4):465-512.
- Demey, JR; Zambrano, AY; Fuenmayor, F; Segovia, V. 2003. Relación entre caracterizaciones molecular y morfológica en una colección de yuca. *Interciencia* 28(12):684-689.
- Donald, PF. 2004. Biodiversity impacts of some agricultural commodity production systems. *Conservation Biology* 18(1):17-38.
- Dufour, B. 2002. Importance of trapping for integrated management (IPM) of the coffee berry borer, *Hypothenemus hampei* Ferr. *In* CIRAD (Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement) ed. Recherche et caféiculture. Montpellier Cedex, FR. p. 108-117.
- Dulloo, DE; Charrier, A; Dussert, S; Anthony, F; Tesfaye, S; Rakotomalala, JJ; Agwanda, C; Legnate, S. 2001. Conservation of coffee genetic resources: constraints and opportunities. Presented *In* International Scientific Colloquium on Coffee (19, 2001, Trieste, IT). ASIC. 10 p.

- Ebert, AW. 2005. CATIE: Coffee Germplasm Center for the Western Hemisphere. *In* Specialty Coffee Association of America (SCAA) Annual Conference & Exhibition (17<sup>th</sup> SCAA, 15 a 18 Abril de 2005, Washington). Washington, USA. 10 p., publicado en la página Web de SCAA.
- \_\_\_\_\_, AW. 2007. Flujos de germoplasma facilitado por CATIE dentro y fuera de Latinoamérica. Recursos Naturales y Ambiente (en prensa).
- Fischersworing H, B; Robkamp R, R. 2001. Guía para la caficultura ecológica. 3. ed. Popayán, GTZ. 152 p.
- Frankel, OH. 1984. Genetic perspectives of germplasm conservation. *In* Arebr, WK; Llimensee, K; Peacock; WJ; Starlinger, P. eds. Genetic manipulation: Impact on Man and Society. Cambridge, UK, Cambridge University. p. 161-170.
- Félix M, D; Guaray, F; Beer, J. 2004. Incidencia de la borca (*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.
- 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.
- Gonçalves C, AC; Gonçalves-Vidigal, MC; Vidigal F, PS; Kvitschal, MV; Gonela, A; Scapim, CA. 2007. Genetic divergence of the common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) group Carioca using morpho-agronomic traits by multivariate analysis. Hereditas 144 (1):1-9.
- Gouveia, MMC; Ribeiro, A; Várzea, VMP; Rodrigues, CJ Jr. Genetic diversity in *Hemileia vastratix* based on RAPD markers. Mycology 97(2):396-404.
- GRDE (Gerencia Regional de Desarrollo Económico). 2006. Principales enfermedades del cultivo de café. Tocache, PE. 16 p.
- Hamon, S; Dussert, S; Noirot, M; Anthony, F; Hodgkin, T. 1995. Core collections-accomplishments and challenges. Plant Breeding Abstracts 65(8):1125-1133.
- 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.
- ICO (International Coffee Organization). 2007. The history of coffee (en línea). London, GB. Consultado 2 jun. 2007. Disponible en [http://www.ico.org/coffee\\_story.asp](http://www.ico.org/coffee_story.asp).

- IHCAFE (Instituto Hondureño del Café). 1986. La broca del fruto del cafeto. Tegucigalpa, HO. IHCAFE, División Agrícola. 10 p.
- InfoStat (2004). *InfoStat, versión 2004. Manual del usuario*. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba. Editorial Las Brujas, Argentina. 314 p.
- \_\_\_\_\_ (2007). *InfoStat, versión 2007*. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba. , Argentina.
- IPGRI (International Plant Genetic Resources Institute). 1996. Descriptores del café (*Coffea* spp. y *Psilanthus* spp.). Roma, IT. 36 p.
- Jackson, MT. 1997. Conservation of rice genetic resources: the role of the International Rice Genebank at IRRI. *Plant Molecular Biology* 35(1-2):61-76.
- Jeffrey, P. 2003. Depressed coffee prices yield suffering in poor countries. *National Catholic Reporter* 39:12-14.
- Jiménez, R; Soto, C. 1995. Secuencia de operaciones en la preparación de café oro y su influencia en el desempeño de los clasificadores electrónicos. *Agronomía Costarricense* 19(1):7-13.
- Johnson, RC; Johnston, WJ; Nelson, MC; Simon, CJ; Golob, CT. 1999. Core utilization and development-an exmapli with *Poa pratensis* L. In Johnson, RC; Hodgkin, T. eds. Core collections for today and tomorrow. Roma, IT, IPGRI. p. 49-60.
- Lan, CC; Wintgens, JN. 2004. Major pests of coffee in the Asia-Pacific region. In Wintgens, JN. ed. *Coffee: growing, processing, sustainable production: a guidebook for growers, processors, traders, and researchers*. Corseauux, CH, Wiley-VCH. p. 459-490.
- Lashermes, P; Trouslot, P; Anthony, F; Combes, MC; Charrier, A. 1996. Genetic diversity for RAPD markers between cultivated and wild accessions of *Coffea arabica*. *Euphytica* 87(1):59-64.
- \_\_\_\_\_, P; Andrzejewski, S; Bertrand, B; Combes, MC; Dussert, S; Graziosi, G; Trouslot, P; Anthony, F. 2000a. Molecular analysis of introgressive breeding in coffee (*Coffea arabica* L.). *Theoretical and Applied Genetics* 100(1):139-146.
- \_\_\_\_\_, P; Paczek, V; Trouslot, P; Combes, MC; Couturon, E; Charrier, A. 2000b. Single-locus inheritance in the allotetraploid *Coffea arabica* L. and intespecific hybrid *C. arabica* x *C. canephora*. *The Journal of Heridity* 91(1):81-85.
- Leon, 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.
- Ligarreto, G. 2003. Caracterización de germoplasma. *In* Franco, TL; Hidalgo, R. eds. Análisis estadístico de datos de caracterización morfológica de recursos filogenéticos. Cali, CO, IPGRI (Boletín técnico no. 8). p. 77-79.
- 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.
- Masumbuko, LI; Bryngelsson, T; Mneney, EE; Salomon, B. 2003. Genetic diversity in Tanzaniam Arabica coffee using random amplified polymorphic DNA (RAPD) markers. *Hereditas* 139:56-63.
- \_\_\_\_\_, LI; Bryngelsson, T. 2006. Inter Simple Sequence Repeat (ISSR) analysis of diploid coffee species and cultivated *Coffea arabica* L. from Tanzania. *Genetic Resources and Crop Evolution* 53(2):357-366.
- Méndez, E. 2001. Análisis espacial del tipo de uso de la tierra en la cuenca del río Turrialba, Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR. CATIE. 73 p.
- Monge, MA; Guevara, R. 2000. Agriculture in alliance with nature: CATIE's recent advances and conservation of plant genetic resources. Turrialba, CR, CATIE. 128 p. (Serie Técnica. Informe Técnico; CATIE; no. 315).
- Montagnon, C; Leroy, T, Bertrand, B; Charmetant, P; Dufour, M. 2002. Résultats récents pour l'amélioration génétique du cafeir. *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 del café. *Cenicafé* 48(3):156-172.
- Moreno R, G. 2002. Nueva variedad de café de porte alto resistente a la roya del cafeto. *Cenicafé* 53(2):132-143.
- \_\_\_\_\_, 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.

- Morera, JA; Umaña, C; Mora, E; Hidalgo, G. 1993. Banco de germoplasma de café del CATIE. Turrialba, CR, CATIE. Mimeografiado.
- 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.
- Onzima, JR; Coulibaly, N; Montagnon, C. 2002. The role of the African Coffee Research Network in developing sustainable coffee production and quality. *In* CIRAD (Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement) ed. Recherche et caféiculture. Montpellier Cedex, FR. p. 75-83.
- 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.
- Power, M. 2005. Geishas – café con nombre de mujer. Panorama de las Américas, Revista de Copa Airlines, Octubre 2005:36-54.
- Prakash, NS; Marques, DV; Varzea, VMP; Silva, MC; Combes, MC; Lashermes, P. 2004. Introgression molecular analysis of a leaf rust resistance gene from *Coffea liberica* into *C. arabica* L. *Theoretical and Applied Genetics* 109(6):1311-1317.
- Rao, DV. 1988. Suppression of the symptoms of american leaf spot of Coffee with Calcium Hydroxide. *Plant Disease* 72(8):688-690.
- Ray, PK. 2002. Breeding tropical and subtropical fruits. New Delhi, IN, Springer-Verlag. p. 1-15.
- Regalado O, A. 2006. ¿Qué es la calidad en el café?. Chapingo, ME. Universidad Autónoma Chapingo. 309 p.
- Rodrigues, J; Eskes, AB. 2004. Resistance to coffee leaf rust and coffee berry disease. *In* Wintgens, JN. ed. Coffee: growing, processing, sustainable production: a guidebook for growers, processors, traders, and researchers. Corseaux, CH, Wiley-VCH. p. 551-564.



- Rodriguez M, K; Moreno R, G. 2002. Supervivencia relativa de las razas II y XXII de *Hemileia vastatrix*. *Cenicafé* 53(3):252-265.
- 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.
- Rojas, J. 2004. Green coffee storage. *In* Wintgens, JN. ed. Coffee: growing, processing, sustainable production: a guidebook for growers, processors, traders, and researchers. Corseaux, CH, Wiley-VCH. p. 733-750.
- 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.
- \_\_\_\_\_. 2004b. Fecundidad y ciclo de vida de *Hypothenemus hampei* (Coleptera: Curculionidae: Scolytinae) en introducciones silvestres de café. *Cenicafé* 55(3):221-231.
- Rutherford, MA. 2006. Current knowledge fo coffee wild disease, a major constraint to coffee production in África. *Phytopathology* 96(6):663-666.
- 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.
- \_\_\_\_\_. J, JO; Sánchez G, V. 2000. Enfermedades foliares en café orgánico y convencional. *Manejo Integrado de Plagas* no. 58:9-19.
- 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.
- Sevilla P, R; Holle O, M. 2004. Recursos genéticos vegetales. Eds. Luis Leon Asociados. Lima, PE, Torre Azul. p. 283-310.
- 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.
- Silva, MC, Nicole, M; Rijo, L; Geiger, JP; Rodrigues, CJ Jr. 1999. Cytochemical aspects of the plant-rust fungus interface during the compatible interaction *Coffea arabica* (cv. Caturra)-*Hemileia vastatrix* (Race III). *International Journal of Plant Sciences* 60(1):79-91

- 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.
- 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.
- Vaast, P; Bertand, B; Perriot, JJ; Guyot, B; Génard, M. 2006. Fruit thinning and shade improve bean characteristics and beverage quality of coffee (*Coffea arabica* L.) under optimal conditions. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 86(2):197-204.
- Van der Vossen, HAM. 1987. Coffee selection and breeding. *In Clifford, MN; Willson, KC.* eds. *Coffee: botany, biochemistry and production of beans and beverage.* London, RU, Croom helm. p. 48-96.
- van Hintum, ThJL; Brown, AHD; Spillane, C; Hodgkin, T. 2000. Core collections of plant genetic resources. Roma, IT, International Plant Genetic Resources Institute. 48 p. (Technical Bulletin no. 3).
- \_\_\_\_\_, ThJL; Brown, AHD; Spillane, C; Hodgkin, T. 2003. Colecciones núcleo de recursos fitogenéticos. Roma, IT, IPGRI. 44 p. (Boletín Técnico no. 3).
- 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.
- Vargas C, L. 2002. Determinación de la enzima trehalasa en el hongo *Mycena citricolor*. *Boletín PROMECAFE* no. 94. p. 14-17.
- Vega, FE; Franqui, RA; Benavides, P. 2002. The presence of the coffee berry borer, *Hypothenemus hampei*, in Puerto Rico: fact or fiction (en línea). *Journal of Insect Science* 2.13. Consultado 22 jun.2007. Disponible en <http://www.insectscience.org/2.13>.
- Villagran G, W; Carrillo, E; Decazy, B. 1992. Evaluación de la resistencia genética de varias especies y cultivares de *Coffea* spp. a la broca del fruto (*Hypothenemus hampei* Ferr. 1867) en condiciones de laboratorio. *In memoria técnica de investigaciones en café* 90-91. Guatemala, ANACAFE. P. 50-55.

- Van der Vossen, HAM. 1987. Coffee selection and breeding. *In* Clifford, MN; Willson, KC. eds. Coffee: botany, biochemistry and production of beans and beverage. London, RU, Croom helm. p. 48-96.
- Wang, A; Avelino, J. 1999. El ojo de gallo del cafeto (*Mycena citricolor*). *In* Bertrand, B; Rapidel, B. eds. Desafíos de la caficultura en Centroamérica. San José, CR, IICA. p. 243-260.
- Wilches M, AV. 1995. Uso de los marcadores moleculares RAPDs para evaluar la diversidad genética de los recursos genéticos de café *Coffea arabica* L. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 56 p.
- Wintgens, JN. 2004. The coffee plant. *In* Coffee: growing, processing, sustainable production: a guidebook for growers, processors, traders, and researchers. Corseaux, CH, Wiley-VCH. p. 3-24.
- \_\_\_\_\_, JN; Zamarripa, C. 2004. Coffee propagation. *In* Wintgens, JN. ed. Coffee: growing, processing, sustainable production: a guidebook for growers, processors, traders, and researchers. Corseaux, CH, Wiley-VCH. p. 87-136.

## **ANEXOS**

*Anexo 1. Correlaciones altas (positiva o negativamente) y significativas entre variables cuantitativas observadas en la colección núcleo de café del CATIE, 2007*

Características cuantitativas	Longitud de la hoja (mm)	Número flores por axila (NFA)	Ancho del fruto (mm)	Daño de broca en número de frutos (DBF)	Rendimiento de grano oro (GO)	Tamaño de grano oro mayor al tamiz 17/64" (GO>17)
Ancho de la hoja (mm)	0.74 (p=0.000) 0.55					
Número de flores por fascículo (NFF)		0.80 (p=0.000) 0.65				
Espesor del fruto (EF)			0.87 (p=0.000) 0.76			
Daño de broca en número de semillas (DBS)				0.81 (p=0.000) 0.65		
Rendimiento de grano pergamino (GP)					0.92 (p=0.000) 0.84	
Tamaño de grano oro mayor al tamiz 15/64" (GO>15)						(p=0.000) -0.95 0.89
Tamaño de grano oro menor al tamiz 15/64" (GO<15)						(p=0.000) -0.82 0.68

*Anexo 2. Clasificación de las accesiones de la colección núcleo de café del CATIE en las bases genéticas Typica y Bourbon según el color de la hoja joven, 2007*

Accesión	Color de la hoja joven	Accesión	Color de la hoja joven
T.02710	Amarronada	T.04945	Verde
T.02711	Verde	T.04952	Amarronada
T.02722	Verde	T.04958	Amarronada
T.02724	Verde	T.04960	Verde
T.02727	Amarronada	T.16689	Amarronada
T.02742	Amarronada	T.16690	Amarronada
T.02748	Amarronada	T.16691	Amarronada
T.02754	Amarronada	T.16692	Amarronada
T.02915	Verde	T.16694	Amarronada
T.03097	Amarronada	T.16695	Amarronada
T.04007	Verde	T.16697	Amarronada
T.04472	Amarronada	T.16700	Verde
T.04495	Verde	T.16702	Amarronada
T.04497	Verde	T.16704	Verde
T.04501	Amarronada	T.16705	Amarronada
T.04505	Amarronada	T.16706	Amarronada
T.04579	Amarronada	T.16707	Amarronada
T.04619	Amarronada	T.16709	Amarronada
T.04621	Amarronada	T.16712	Verde
T.04661	Verde	T.16713	Amarronada
T.04662	Verde	T.16714	Verde
T.04664	Verde	T.16723	Amarronada
T.04665	Verde	T.16724	Verde
T.04666	Verde	T.16726	Verde
T.04758	Verde	T.16729	Amarronada
T.04759	Amarronada	T.16733	Verde
T.04819	Verde	T.16737	Verde
T.04824	Verde	T.16739	Verde
T.04837	Verde	T.17177	Verde
T.04857	Verde	T.17205	Verde
T.04863	Verde	T.17207	Verde
T.04864	Verde	T.17223	Amarronada
T.04865	Verde	T.17232	Verde
T.04893	Amarronada	T.21233	Amarronada
T.04900	Verde	T.21239	Amarronada
T.04938	Verde	T.21240	Amarronada
T.04942	Verde		

Anexo 3. Valores mínimos y máximos para las 23 variables cuantitativas en cada grupo fenotípico de la colección núcleo de café del CATIE, 2007

Características cuantitativas	Grupo fenotípico 1	Grupo fenotípico 2	Grupo fenotípico 3	Grupo fenotípico 1		Grupo fenotípico 2		Grupo fenotípico 3	
	Media	Media	Media	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.
Altura de la planta (cm)	267.97	244.29 +	273.68 -	201.71	315.40	203.83	295.57	224.83	327.00
Ángulo de inserción de las ramas primarias	58.02	61.74 +	66.34	53.80	71.12	52.53	74.00	54.35	86.40
Ancho de la hoja (mm)	158.46	148.13 +	152.48	145.55	173.72	139.00	164.58	137.97	173.44
Relación longitud de la hoja/ancho de la hoja	2.69	2.81 +	2.72	2.40	2.94	2.47	3.20	2.55	2.97
Longitud del peciolo foliar (mm)	12.12	11.21	11.49	10.60	14.15	9.40	12.55	10.15	12.80
Número de flores por axila	3.13 +	3.13	2.82	2.75	3.62	2.73	3.77	2.31	3.27
Número de fascículos por nudo	4.00 +	4.01	3.96 +	3.35	4.70	3.69	4.64	3.30	5.10
Longitud del tallo de la inflorescencia (mm)	4.19	4.02 +	3.98 +	3.57	5.00	3.00	4.83	3.28	6.10
Largo del fruto (mm)	17.11	16.30 +	17.23	16.15	18.43	14.60	17.89	16.16	18.58
Espesor del fruto (mm)	15.43	14.80 +	15.38	14.55	16.39	13.24	15.45	14.63	16.56
Largo de la semilla (mm)	12.68 +	12.10 +	12.93	11.68	13.66	11.15	12.95	11.22	15.03
Ancho de la semilla (mm)	8.08	7.80	8.31 +	7.64	8.54	7.34	8.16	7.85	9.08
Espesor de la semilla (mm)	4.86	4.72 +	4.94	4.69	5.07	4.31	5.06	4.56	5.17
Frutos vanos (%)	15.16 +	23.60	21.70 -	3.81	36.72	6.99	42.65	9.34	36.96
Semillas tipo caracol (%)	18.58	15.57	13.46	11.48	30.69	5.03	23.14	6.94	22.82
Daño de broca en número de semillas (%)	34.98 +	37.26 +	40.30	13.77	54.06	23.94	52.18	11.14	69.96
Incidencia de roya por planta (%)	6.97	3.27 +	16.52	0.69	17.46	0.11	10.34	0.21	47.97
Incidencia de ojo de gallo por planta (%)	6.61 -	1.07 -	1.17	0.00	56.00	0.00	5.39	0.00	3.84
Rendimiento de grano oro (%)	5.55 -	5.25 +	5.55	1.77	9.57	2.49	10.21	2.30	11.99
Peso de 100 granos oro al 11% de contenido de humedad (g)	16.19	13.83 +	16.16 +	14.33	18.53	12.10	16.87	13.53	19.85
Tamaño de grano oro mayor al tamiz 20/64'' (%)	1.10	0.11 +	2.37	0.00	6.25	0.00	0.50	0.00	14.25
Tamaño de grano oro mayor al tamiz 17/64'' (%)	52.80	24.01 +	57.47 +	24.00	70.25	0.00	49.00	27.25	90.00
Tamaño de grano oro mayor al tamiz 16/64'' (%)	29.76	33.97 +	24.08	17.25	39.50	24.00	43.25	6.00	41.50

**El signo (+) indica variables más importantes dentro de un grupo fenotípico y el signo (-) indica variable a las variables menos importantes dentro de un grupos fenotípicos, según el análisis de componentes principales.**

*Anexo 4. Análisis de varianza para el porcentaje de incidencia de roya (H. vastatrix) entre y dentro de las accesiones de la colección núcleo de café del CATIE, 2007*

Fuentes de variación	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	186385.39	317	587.97	14.4	<0.0001
Accesión	147098.35	72	2043.03	50.04	<0.0001
Accesión>Plantas	39287.05	245	160.36	3.93	<0.0001
Error	51932.94	1272	40.83		
Total	238318.33	1589			

CV = 65.15



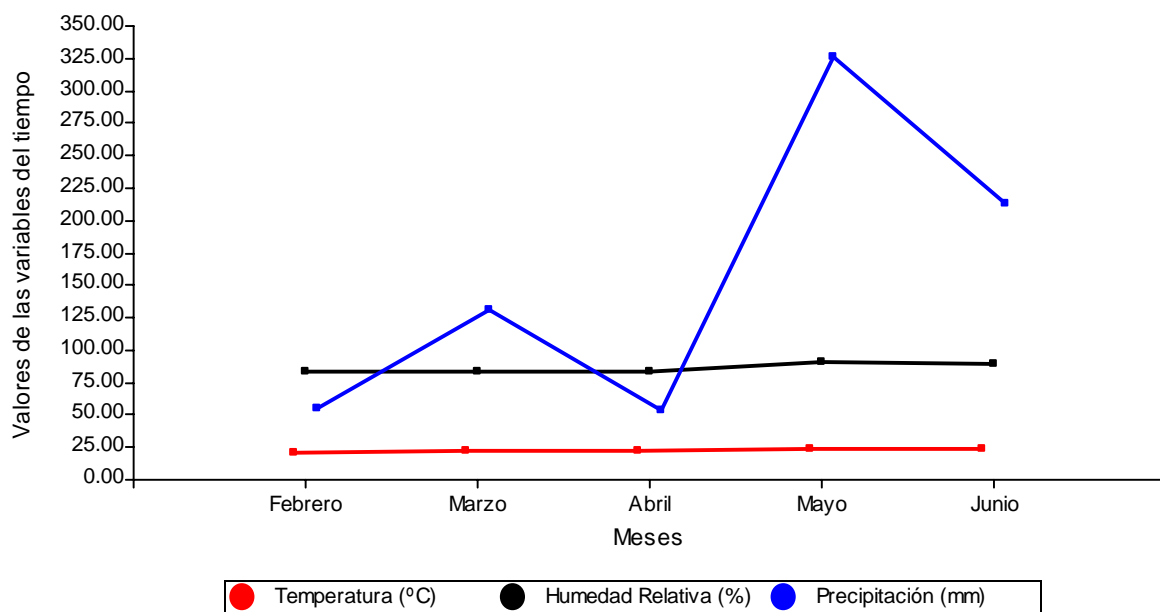
Anexo 5. Prueba de LSD Fisher ( $\alpha=0.05$ ) para la comparación de medias del porcentaje de incidencia de roya (*H. vastatrix*) en las accesiones de la colección núcleo de café del CATIE, 2007

Accesión	n	Medias		Accesión	n	Medias	
T.04819	15	0.11	A	T.17232	15	7.31	CDEFG
T.04857	20	0.21	A	T.16723	20	7.69	EFG
T.04864	5	0.3	AB	T.16724	25	8.28	EFGH
T.04863	40	0.32	AB	T.04505	30	8.43	EFGH
T.04865	35	0.47	AB	T.16739	25	9.4	EFGHI
T.16737	20	0.47	AB	T.17223	10	9.48	EFGHI
T.04495	20	0.69	AB	T.16692	25	9.73	FGHI
T.17177	20	0.75	AB	T.16694	20	9.76	FGHI
T.04666	15	1.14	AB	T.02710	30	10.09	FGHI
T.16713	15	1.31	AB	T.04952	35	10.34	FGHI
T.04960	30	1.35	AB	T.16690	15	10.83	FGHIJ
T.04662	15	1.41	AB	T.16691	20	11.51	GHIJ
T.04497	20	1.5	AB	T.16705	15	11.74	GHIJ
T.02915	30	1.9	AB	T.16702	15	12.3	HIJ
T.16726	10	2.27	ABC	T.02748	30	12.35	IJ
T.04664	15	2.27	ABC	T.16706	20	12.58	IJ
T.16689	35	2.33	ABC	T.02754	30	12.8	IJ
T.16700	20	2.51	ABC	T.03097	20	12.87	IJK
T.02722	20	2.55	ABC	T.04893	10	13.56	IJKL
T.16712	20	2.63	ABC	T.16709	35	13.99	JKL
T.04665	20	2.7	ABC	T.16697	30	14.1	JKL
T.04837	20	3.09	ABC	T.02742	30	14.51	JKL
T.17205	30	3.14	ABC	T.04007	25	16.17	JKLM
T.02724	35	3.2	ABC	T.21239	5	16.45	JKLM
T.16704	25	3.2	ABC	T.16733	5	16.56	JKLM
T.04759	15	4.12	ABCD	T.04579	20	16.7	KLM
T.04824	15	4.39	ABCDE	T.02727	25	17.46	LM
T.04900	20	4.43	ABCDE	T.04621	30	20.27	M
T.21240	5	4.75	ABCDEF	T.04472	20	20.42	MN
T.16714	5	4.77	ABCDEF	T.21233	5	21.38	MNO
T.04758	30	4.86	BCDEF	T.02711	30	23.65	NO
T.16729	15	5.03	BCDEF	T.04501	20	24.68	OP
T.16707	25	6.15	BCDEF	T.04945	30	28.22	PQ
T.16695	25	6.44	BCDEF	T.04958	30	29.1	Q
T.04619	30	6.62	CDEF	T.04938	15	36.25	R
T.17207	25	6.83	CDEF	T.04942	35	47.98	S
T.04661	30	6.84	CDEF				

Letras diferentes indican diferencias significativas entre las medias ( $\alpha = 0.05$ )



Anexo 7. Comportamiento de las principales variables climatológicas de febrero a junio según la Estación Meteorológica del CATIE, 2007



Anexo 8. Análisis de varianza para el porcentaje de daño de broca (*H. hampei*) en frutos entre y dentro de las accesiones de la colección núcleo de café del CATIE, 2007

Fuentes de variación	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	198527.1	246	807.02	3.87	<0.0001
Accesión	132613.34	70	1894.48	9.08	<0.0001
Accesión>Plantas	65913.76	176	374.51	1.8	<0.0001
Error	103059.34	494	208.62		
Total	301586.44	740			

CV = 20.47

Anexo 9. Prueba de LSD Fisher ( $\alpha=0.05$ ) para la comparación de medias del porcentaje de daño de broca (*H. hampei*) en frutos de café de las plantas de las accesiones de la colección núcleo de café del CATIE, 2007

Accesión	n	Medias	Accesión	n	Medias
T.04472	12	25.34 A	T.04579	6	74.62 FGHI
T.02710	15	41.39 B	T.04497	9	74.67 FGHI
T.16707	15	43.41 B	T.04495	6	74.96 FGHI
T.02724	6	43.96 BC	T.16724	12	75.23 FGHI
T.02727	12	46.1 BC	T.04665	12	75.33 FGHI
T.02915	18	50.97 BC	T.16700	12	75.35 FGHI
T.02711	18	52.97 BCD	T.04900	9	75.53 FGHI
T.16706	12	54.99 BCDE	T.16697	15	75.79 FGHI
T.04501	9	55.12 BCDE	T.04819	3	76.62 FGHIJ
T.21240	3	56.46 BCDEF	T.04007	15	76.68 FGHIJ
T.04505	15	58.95 CDEF	T.04758	15	76.69 FGHIJ
T.04945	9	58.97 CDEF	T.16702	9	77.82 FGHIJ
T.16737	12	59.35 CDEF	T.04621	12	78.12 FGHIJ
T.16690	9	61.22 CDEF	T.16694	12	78.55 FGHIJ
T.21239	3	63.24 CDEFG	T.04662	3	78.81 FGHIJ
T.04664	9	63.48 DEFG	T.04960	15	79.6 GHIJ
T.16709	18	64.78 DEFG	T.16695	12	79.71 GHIJ
T.16704	12	65.48 DEFG	T.16733	3	80.33 GHIJ
T.04938	9	65.53 DEFG	T.04837	3	80.44 GHIJ
T.16713	9	65.9 DEFG	T.04661	15	80.87 GHIJ
T.03097	6	66.88 DEFG	T.16729	9	81.35 GHIJ
T.17207	15	67.16 DEFG	T.16712	9	81.69 GHIJ
T.16739	15	67.24 DEFG	T.17232	9	82.22 GHIJ
T.02754	6	67.89 DEFG	T.04958	18	82.34 GHIJ
T.04952	12	68.94 DEFG	T.04759	9	82.62 GHIJ
T.16692	15	70.28 DEFG	T.04824	6	83.55 GHIJ
T.17223	3	70.52 DEFGH	T.16691	9	84.54 GHIJ
T.16726	6	71.22 EFGH	T.04857	9	85.14 GHIJ
T.16689	21	71.75 EFGH	T.02748	15	85.38 GHIJ
T.04865	3	71.82 EFGHI	T.04863	21	85.58 GHIJ
T.04942	21	72.75 FGHI	T.16714	3	85.61 GHIJ
T.16705	9	73.75 FGHI	T.17205	15	85.68 HIJ
T.17177	12	74.23 FGHI	T.04666	9	86.48 HIJ
T.21233	3	74.32 FGHI	T.04893	3	94.03 IJ
T.04619	6	74.45 FGHI	T.02742	15	94.48 J
T.16723	6	74.54 FGHI			

Letras diferentes indican diferencias significativas entre las medias ( $\alpha = 0.05$ )

*Cuadro 10. ANAVA y prueba de LSD Fisher para la asociación entre las variables porcentaje de daño de broca (H. hampei) y forma del disco del fruto en las plantas de la colección núcleo de café del CATIE, 2007*

ANAVA

Fuentes de variación	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	47249.78	98	482.14	3.77	<0.0001
Forma del disco del fruto	874.04601	2	437.023	3.42	0.0354
Accesión>FDF	43124.69	96	449.22	3.51	<0.0001
Error	18924.95	148	127.87		
Total	66174.73	246			

CV= 16.03

PRUEBA LSD FISHER

Forma del disco del fruto	Medias	n
Prominente	68.013	178 A
Picuda	75.68	10 B
Marcada no prominente	77.336	59 B

*Cuadro 11. ANAVA y prueba de LSD Fisher para la asociación entre las variables porcentaje de daño de broca (H. hampei) y el color del fruto en las plantas de la colección núcleo de café del CATIE, 2007*

ANAVA

Fuentes de variación	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	46153.83	89	518.58	4.07	<0.0001
Color del fruto	792.61	2	396.31	3.11	0.0475
Accesión>color del fruto	45361.22	87	521.39	4.09	<0.0001
Error	20020.89	157	127.52		
Total	66174.73	246			

CV=16.01

PRUEBA LSD FISHER

Color del fruto	Medias	n
Rojo anaranjado	50.76	2 A
Rojo	70.01	61 B
Rojo púrpura	71.87	184 B

*Cuadro 12. Porcentaje de daño de broca (H. hampei) y modas por accesión de dos características cualitativas para las seis accesiones que presentaron menores porcentajes de daño en la colección núcleo de café del CATIE, 2007*

Accesión	Promedio de daño en frutos (%)	Forma del disco del fruto (moda)	Color del fruto (moda)
T.04472	25.34	Prominente	Rojo
T.02710	41.39	Prominente	Rojo
T.16707	43.41	Prominente	Rojo púrpura
T.02724	43.96	No prominente	Rojo
T.02727	46.10	Prominente	Rojo
T.02915	50.97	Prominente	Rojo púrpura

*Anexo 13. Promedio por accesión de dos evaluaciones de la incidencia de ojo de gallo (M. citricolor) en la colección núcleo de café del CATIE, 2007*

Accesión	Medias	Accesión	Medias
T.21240	0.00	T.04857	1.25
T.04666	0.00	T.16691	1.29
T.04665	0.00	T.04865	1.35
T.04664	0.00	T.04819	1.43
T.04619	0.00	T.16733	1.57
T.04824	0.00	T.16724	1.62
T.04958	0.00	T.16690	1.73
T.04945	0.00	T.02724	1.77
T.04942	0.00	T.04495	1.77
T.04938	0.00	T.04621	1.84
T.04007	0.00	T.02722	1.85
T.21239	0.00	T.04497	1.99
T.04579	0.00	T.04900	2.05
T.16739	0.17	T.04759	2.26
T.16704	0.19	T.16700	2.29
T.04662	0.28	T.04501	2.41
T.16723	0.33	T.16712	2.47
T.02710	0.41	T.16707	2.51
T.16689	0.44	T.16713	3.22
T.04505	0.53	T.17177	3.34
T.04952	0.57	T.16714	3.39
T.04863	0.62	T.17232	3.4
T.16692	0.67	T.02742	3.82
T.17207	0.69	T.02748	3.84
T.04472	0.7	T.16702	4.07
T.17205	0.71	T.16705	5.14
T.04960	0.73	T.04661	5.39
T.16737	0.76	T.17223	7.4
T.04837	0.77	T.04758	8.92
T.21233	0.95	T.16694	12.68
T.02754	0.95	T.02915	13
T.16695	1.01	T.16706	14.16
T.02711	1.03	T.16726	15.8
T.04893	1.07	T.16697	24.07
T.04864	1.09	T.16729	36.43
T.03097	1.11	T.02727	56.01
T.16709	1.12		

Anexo 14. Análisis de varianza para el porcentaje de incidencia de ojo de gallo (*M. citricolor*) entre y dentro de las accesiones de la colección núcleo de café del CATIE, 2007

Fuentes de variación	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	65694.26	264	248.84	7.03	<0.0001
Accesión	44730.14	59	758.14	21.43	<0.0001
Accesión>Plantas	20964.11	205	102.26	2.89	<0.0001
Error	9377.06	265	35.39		
Total	75071.32	529			

CV= 133.63

Anexo 15. Prueba LSD Fisher ( $\alpha=0.05$ ) para la comparación de medias del porcentaje de incidencia de ojo de gallo (*M. citricolor*) en las plantas infectadas de la colección núcleo de café del CATIE, 2007

Accesión	n	Medias	Accesión	n	Medias
T.16739	10	0.17 A	T.16690	6	1.72 ABC
T.16704	10	0.19 A	T.02724	14	1.77 ABC
T.04662	6	0.28 AB	T.04495	8	1.77 ABC
T.16723	8	0.33 AB	T.04621	12	1.84 ABC
T.02710	12	0.41 AB	T.02722	8	1.85 ABC
T.16689	14	0.43 AB	T.04497	8	1.99 ABC
T.04505	12	0.53 AB	T.04900	8	2.05 ABC
T.04952	14	0.56 AB	T.04759	6	2.26 ABC
T.04863	16	0.62 AB	T.16700	8	2.28 ABC
T.16692	10	0.66 AB	T.04501	8	2.4 ABC
T.17207	10	0.69 AB	T.16712	8	2.47 ABC
T.04472	8	0.69 AB	T.16707	10	2.5 ABC
T.17205	12	0.7 AB	T.16713	6	3.22 ABC
T.04960	12	0.73 AB	T.17177	8	3.33 ABC
T.16737	8	0.76 AB	T.16714	2	3.39 ABC
T.04837	8	0.77 AB	T.17232	6	3.39 ABC
T.21233	2	0.95 ABC	T.02742	12	3.82 ABC
T.02754	12	0.95 ABC	T.02748	12	3.84 ABC
T.16695	10	1 ABC	T.16702	6	4.07 ABC
T.02711	12	1.03 ABC	T.16705	6	5.14 ABC
T.04893	4	1.07 ABC	T.04661	12	5.39 BC
T.04864	2	1.08 ABC	T.17223	4	7.4 BCD
T.03097	8	1.1 ABC	T.04758	12	8.92 CD
T.16709	14	1.11 ABC	T.16694	8	12.67 DE
T.04857	8	1.24 ABC	T.02915	12	13 DE
T.16691	8	1.28 ABC	T.16706	8	14.16 DE
T.04865	12	1.35 ABC	T.16726	4	15.8 E
T.04819	6	1.43 ABC	T.16697	12	24.07 F
T.16733	2	1.56 ABC	T.16729	6	36.43 G
T.16724	10	1.62 ABC	T.02727	10	56.01 H



Anexo 16. ANAVA para las cinco categorías de granulometría de la colección núcleo de café del CATIE, 2007

Grano oro mayor al tamiz 20/64''

Fuentes de variación	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	1905.97	72	26.47	16.39	<0.0001
Accesión	1905.97	72	26.47	16.39	<0.0001
Error	353.73	219	1.62		
Total	2259.7	291			

CV = 95.86

Grano oro mayor al tamiz 17/64''

Fuentes de variación	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	87232.2	72	1211.56	25.68	<0.0001
Accesión	87232.2	72	1211.56	25.68	<0.0001
Error	10330.3	219	47.17		
Total	97562.5	291			

CV = 14.07

Grano oro mayor al tamiz 16/64''

Fuentes de variación	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	18506.5	72	257.03	5.44	<0.0001
Accesión	18506.5	72	257.03	5.44	<0.0001
Error	10345.4	219	47.24		
Total	28851.9	291			

CV = 23.95

Grano oro mayor al tamiz 15/64''

Fuentes de variación	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	22834	72	317.14	9.47	<0.0001
Accesión	22834	72	317.14	9.47	<0.0001
Error	7333.75	219	33.49		
Total	30167.8	291			

CV = 38.27

Grano oro menor al tamiz 15/64''

Fuentes de variación	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	10781.3	72	149.74	11.45	<0.0001
Accesión	10781.3	72	149.74	11.45	<0.0001
Error	2862.87	219	13.07		
Total	13644.1	291			

CV = 59.89

Anexo 17. Prueba LSD Fisher ( $\alpha=0.05$ ) para la comparación de medias para las cinco categorías de granulometría entre accesiones de la colección núcleo de café del CATIE, 2007

Grano oro > al tamiz 20/64"			Grano oro > al tamiz 17/64"			Grano oro > al tamiz 16/64"			Grano oro > al tamiz 15/64"			Grano oro < al tamiz 15/64"		
Accesión	Medias		Accesión	Medias		Accesión	Medias		Accesión	Medias		Accesión	Medias	
T.17232	14.25	A	T.21239	90.00	A	T.04664	43.25	A	T.04864	45.00	A	T.04864	30.00	A
T.16704	10.00	B	T.16704	83.00	AB	T.02711	41.50	AB	T.04619	38.25	AB	T.04952	28.75	A
T.02742	9.50	B	T.21233	76.00	BC	T.04759	41.00	ABC	T.04952	37.75	AB	T.04819	19.32	B
T.04900	7.25	C	T.03097	74.50	BC	T.04662	40.75	ABC	T.04665	34.50	BC	T.04863	19.00	B
T.16694	6.25	CD	T.04900	72.75	CD	T.04819	39.77	ABCD	T.04505	29.25	CD	T.04960	18.00	B
T.16707	5.00	DE	T.16694	70.25	CDE	T.16713	39.50	ABCDE	T.04621	29.00	CD	T.04619	15.50	BC
T.03097	4.50	DEF	T.16690	69.75	CDEF	T.16737	39.50	ABCDE	T.04863	28.00	CDE	T.04621	15.50	BC
T.16689	3.50	EFG	T.21240	69.00	CDEFG	T.02724	39.00	ABCDEF	T.04759	28.00	CDE	T.04505	14.50	BCD
T.16702	3.50	EFG	T.16729	68.00	CDEFGH	T.04665	37.50	ABCDEF	T.17223	27.00	CDE	T.17223	12.00	CDE
T.02915	3.00	FGH	T.17232	67.00	CDEFGHI	T.16709	37.50	ABCDEF	T.16737	25.75	DEF	T.04665	11.75	CDE
T.16729	2.75	FGHI	T.04893	64.50	DEFGHIJ	T.16706	37.25	ABCDEF	T.04661	25.25	DEF	T.16723	11.75	CDE
T.04938	2.25	GHIJ	T.16689	63.75	DEFGHIJK	T.17223	37.00	ABCDEF	T.17205	25.00	DEF	T.04501	11.00	CDEF
T.04579	2.00	GHIJK	T.02742	63.50	DEFGHIJK	T.16700	37.00	ABCDEF	T.04960	24.75	DEF	T.04497	10.50	CDEF
T.17177	2.00	GHIJK	T.16714	62.50	EFGHIJK	T.04661	36.75	ABCDEF	T.04501	24.00	DEF	T.17205	9.50	DEF
T.16714	1.79	GHIJK	T.16705	62.50	EFGHIJK	T.04824	36.67	ABCDEF	T.04819	20.46	EFG	T.04007	9.25	EFG
T.16739	1.75	GHIJKL	T.16702	62.25	EFGHIJK	T.04495	36.00	ABCDEF	T.04662	20.25	EFG	T.02754	9.00	EFG
T.16692	1.50	HIJKL	T.17207	62.00	EFGHIJKL	T.02915	35.50	ABCDEF	T.04664	20.25	EFG	T.16737	9.00	EFG
T.21240	1.00	IJKL	T.16739	60.25	FGHIJKLM	T.16712	34.75	ABCDEF	T.16723	20.00	EFG	T.02748	7.75	EFG
T.21239	1.00	IJKL	T.16692	60.25	FGHIJKLM	T.04945	34.00	ABCDEF	T.04857	20.00	EFG	T.04857	7.50	EFG
T.04666	1.00	IJKL	T.04938	60.00	GHIJKLMN	T.16724	33.75	ABCDEF	T.04007	18.25	FG	T.04837	7.50	EFG
T.17205	1.00	IJKL	T.04472	59.00	HIJKLMNO	T.04619	33.25	BCDEF	T.02724	17.00	GHI	T.04661	7.50	EFG
T.04472	1.00	IJKL	T.16691	57.50	IJKLMNOP	T.04857	33.00	BCDEF	T.02748	16.75	HIJ	T.02722	6.67	FGH
T.02710	1.00	IJKL	T.16733	57.25	JKLMNOP	T.04837	32.50	BCDEF	T.16706	16.75	HIJ	T.04865	6.50	FGH
T.16705	1.00	IJKL	T.02727	56.50	JKLMNOP	T.16723	32.50	BCDEF	T.04824	16.67	IJK	T.16726	6.25	FGH
T.16697	1.00	IJKL	T.04579	56.25	JKLMNOP	T.16691	32.50	BCDEF	T.04837	16.25	IJK	T.02724	6.25	FGH
T.04758	0.75	JKL	T.16697	56.25	JKLMNOP	T.04007	32.00	BCDEF	T.16726	16.25	IJK	T.04495	6.00	FGH
T.02711	0.75	JKL	T.04758	56.00	JKLMNOP	T.04505	31.75	CDEF	T.04958	16.00	IJK	T.04942	5.75	GHI
T.02724	0.75	JKL	T.17177	56.00	JKLMNOP	T.16697	31.75	CDEF	T.16695	15.75	JKLM	T.04759	5.75	GHI
T.04960	0.50	JKL	T.04666	56.00	JKLMNOP	T.02727	31.50	CDEF	T.16700	15.25	JKLM	T.04958	5.50	GHI
T.16733	0.50	JKL	T.16709	55.00	JKLMNOPQ	T.04758	31.00	DEF	T.04945	15.25	JKLM	T.16695	5.50	GHI
T.04942	0.50	JKL	T.16707	55.00	JKLMNOPQ	T.02710	30.75	DEF	T.04865	15.00	JKLM	T.04664	5.25	HIJ
T.04661	0.50	JKL	T.04958	54.25	KLMNOPQR	T.04666	30.00	EFG	T.02711	14.00	JKLM	T.16702	4.75	HIJ

Anexo 16. Continuación

Grano oro > al tamiz 20/64"			Grano oro > al tamiz 17/64"			Grano oro > al tamiz 16/64"			Grano oro > al tamiz 15/64"			Grano oro < al tamiz 15/64"		
Accesión	Medias		Accesión	Medias		Accesión	Medias		Accesión	Medias		Accesión	Medias	
T.04621	0.50	JKL	T.16712	52.50	LMNOPQRS	T.02722	30.00	EFGHIJKLMNOPQ	T.02754	14.00	JKLMNOPQRST	T.16700	4.50	HIJKLMNOPQR
T.04497	0.50	JKL	T.02722	51.67	NOPQRS	T.04942	29.75	FGHIJKLMNOPQ	T.04942	13.25	JKLMNOPQRSTU	T.16713	4.50	HIJKLMNOPQR
T.02727	0.50	JKL	T.04942	50.75	NOPQRST	T.04865	29.50	FGHIJKLMNOPQR	T.02710	13.25	JKLMNOPQRSTU	T.02710	4.50	HIJKLMNOPQR
T.04958	0.25	KL	T.16695	50.75	NOPQRST	T.02754	29.00	GHIJKLMNOPQR	T.04497	13.00	JKLMNOPQRSTUV	T.16705	4.00	IJKLMNOPQR
T.04662	0.25	KL	T.02915	50.75	NOPQRST	T.17177	28.75	GHIJKLMNOPQR	T.16724	12.25	KLMNOPQRSTUV	T.16706	4.00	IJKLMNOPQR
T.04665	0.25	KL	T.04497	50.50	NOPQRST	T.04579	28.50	GHIJKLMNOPQR	T.04495	12.00	LMNOPQRSTUVW	T.02742	4.00	IJKLMNOPQR
T.16700	0.25	KL	T.02710	50.50	NOPQRST	T.04938	28.25	GHIJKLMNOPQRS	T.16733	12.00	LMNOPQRSTUVW	T.21240	4.00	IJKLMNOPQR
T.16723	0.25	KL	T.16726	50.00	OPQRSTU	T.04863	28.00	GHIJKLMNOPQRS	T.16739	11.75	MNOPQRSTUVWX	T.16724	3.75	JLKNOPQR
T.16724	0.25	KL	T.16724	50.00	OPQRSTU	T.16695	28.00	GHIJKLMNOPQRS	T.02722	11.67	MNOPQRSTUVWX	T.04472	3.75	JLKNOPQR
T.16712	0.25	KL	T.04865	49.00	PQRSTUV	T.04621	27.75	HIJKLMNOPQRS	T.04758	11.25	MNOPQRSTUVWX	T.16714	3.57	JLKNOPQR
T.16709	0.25	KL	T.04945	48.75	PQRSTUV	T.16707	27.75	HIJKLMNOPQRS	T.04666	10.75	MNOPQRSTUVWX	T.04579	3.50	JLKNOPQR
T.02748	0.25	KL	T.02748	48.50	PQRSTUV	T.16733	27.75	HIJKLMNOPQRS	T.16712	10.75	MNOPQRSTUVWX	T.04662	3.50	JLKNOPQR
T.04863	0.00	L	T.02754	48.00	PQRSTUV	T.16726	27.50	IJKLMNOPQRS	T.16702	10.75	MNOPQRSTUVWX	T.17207	3.25	JLKNOPQR
T.04819	0.00	L	T.04495	46.00	QRSTUVWXYZ	T.04501	27.00	JLKNOPQRS	T.16714	10.72	MNOPQRSTUVWX	T.17177	3.00	JLKNOPQR
T.04865	0.00	L	T.16713	45.75	QRSTUVWXYZ	T.04893	27.00	JLKNOPQRS	T.16707	10.50	MNOPQRSTUVWX	T.02711	3.00	JLKNOPQR
T.04864	0.00	L	T.04824	45.00	RSTUVWX	T.02748	26.75	JLKNOPQRST	T.16713	10.25	MNOPQRSTUVWX	T.16733	2.50	KLMNOPQR
T.04505	0.00	L	T.04837	43.75	STUVWXY	T.16692	26.75	JLKNOPQRST	T.17177	10.25	MNOPQRSTUVWX	T.16692	2.50	KLMNOPQR
T.17207	0.00	L	T.16700	43.00	STUVWXY	T.04472	26.50	JLKNOPQRSTU	T.02742	10.25	MNOPQRSTUVWX	T.16690	2.50	KLMNOPQR
T.17223	0.00	L	T.16706	42.00	UVWXY	T.04497	25.50	KLMNOPQRSTU	T.16697	9.75	NOPQRSTUVWX	T.02727	2.50	KLMNOPQR
T.21233	0.00	L	T.02711	40.75	UVWXYZ	T.04960	25.50	KLMNOPQRSTU	T.04579	9.75	NOPQRSTUVWX	T.02915	2.50	KLMNOPQR
T.16726	0.00	L	T.04007	40.50	UVWXYZ	T.04864	25.00	LMNOPQRSTU	T.17207	9.75	NOPQRSTUVWX	T.04666	2.25	LMNOPQR
T.04501	0.00	L	T.17205	40.00	VWXYZ	T.17207	25.00	LMNOPQRSTU	T.04472	9.75	NOPQRSTUVWX	T.16739	2.00	LMNOPQR
T.16737	0.00	L	T.04857	39.50	VWXYZa	T.17205	24.50	LMNOPQRSTU	T.16705	9.00	NOPQRSTUVWXY	T.04945	2.00	LMNOPQR
T.04824	0.00	L	T.04501	38.00	XYZa	T.16689	24.25	MNOPQRSTU	T.02727	9.00	NOPQRSTUVWXY	T.16712	1.75	LMNOPQR
T.04952	0.00	L	T.02724	37.00	XYZa	T.16739	24.25	MNOPQRSTU	T.16692	9.00	NOPQRSTUVWXY	T.16707	1.75	LMNOPQR
T.04759	0.00	L	T.16723	35.50	XYZab	T.04952	24.00	NOPQRSTU	T.21240	9.00	NOPQRSTUVWXY	T.16691	1.75	LMNOPQR
T.04893	0.00	L	T.04662	35.25	YZabc	T.04958	24.00	NOPQRSTU	T.04938	8.50	OPQRSTUVWXY	T.04824	1.67	LMNOPQR
T.16706	0.00	L	T.04960	31.25	Zabcd	T.16705	23.50	OPQRSTUV	T.16691	8.25	OPQRSTUVWXY	T.17232	1.50	MNOPQR
T.04619	0.00	L	T.04664	31.25	Abcd	T.16729	21.75	PQRSTUVW	T.02915	8.25	OPQRSTUVWXY	T.16694	1.25	NOPQR
T.04007	0.00	L	T.04661	30.00	Abcde	T.16714	21.43	PQRSTUVW	T.04893	8.00	PQRSTUVWXYZ	T.16697	1.25	NOPQR
T.04857	0.00	L	T.04621	27.25	Bcde	T.16690	20.75	QRSTUVW	T.16689	7.75	QRSTUVWXYZ	T.04938	1.00	OPQR
T.04837	0.00	L	T.16737	25.75	Cde	T.21233	20.00	RSTUVW	T.03097	7.50	RSTUVWXYZ	T.03097	1.00	OPQR

Anexo 16. Continuación

Grano oro > al tamiz 20/64"			Grano oro > al tamiz 17/64"			Grano oro > al tamiz 16/64"			Grano oro > al tamiz 15/64"			Grano oro < al tamiz 15/64"		
Accesión	Medias		Accesión	Medias		Accesión	Medias		Accesión	Medias		Accesión	Medias	
T.04945	0.00	L	T.04759	25.25	def	T.16702	18.75	STUVW	T.16709	7.25	RSTUVWXYZ	T.04758	1.00	OPQR
T.16695	0.00	L	T.04863	25.00	def	T.16694	17.25	TUVWX	T.16690	7.00	STUVWXYZ	T.16689	0.75	PQR
T.04664	0.00	L	T.04505	24.50	def	T.21240	17.00	UVWX	T.16729	6.75	TUVWXYZ	T.16729	0.75	PQR
T.16713	0.00	L	T.17223	24.00	def	T.04900	14.00	VWXY	T.04900	5.50	UVWXYZ	T.04900	0.50	QR
T.16691	0.00	L	T.04819	20.46	efg	T.17232	13.50	WXY	T.16694	5.00	VWXYZ	T.04893	0.50	QR
T.16690	0.00	L	T.04665	16.00	fgh	T.02742	12.75	WXY	T.21233	4.00	WXYZ	T.21233	0.00	R
T.04495	0.00	L	T.04619	13.00	gh	T.03097	12.50	WXY	T.17232	3.75	XYZ	T.21239	0.00	R
T.02722	0.00	L	T.04952	9.50	hi	T.21239	9.00	WXY	T.16704	1.00	YZ	T.16709	0.00	R
T.02754	0.00	L	T.04864	0.00	i	T.16704	6.00	Y	T.21239	0.00	Z	T.16704	0.00	R

Letras distintas indican diferencias significativas( $p \leq 0.05$ )

*Anexo 18. Promedio de cuatro observaciones para peso de 100 granos oro al 11% de contenido de humedad de las accesiones de la colección núcleo de café del CATIE, 2007*

Accesión	Peso de 100 granos oro	Accesión	Peso de 100 granos oro
T.02710	14.73	T.04945	15.47
T.02711	14.93	T.04952	12.30
T.02722	16.60	T.04958	13.53
T.02724	15.58	T.04960	14.57
T.02727	16.30	T.16689	17.50
T.02742	17.63	T.16690	16.48
T.02748	16.13	T.16691	15.60
T.02754	16.85	T.16692	15.88
T.02915	14.33	T.16694	17.03
T.03097	18.10	T.16695	14.73
T.04007	15.45	T.16697	17.78
T.04472	16.83	T.16700	15.50
T.04495	15.70	T.16702	18.53
T.04497	16.15	T.16704	17.58
T.04501	16.65	T.16705	17.37
T.04505	13.23	T.16706	16.08
T.04579	15.47	T.16707	16.58
T.04619	13.70	T.16709	16.08
T.04621	14.03	T.16712	16.88
T.04661	14.63	T.16713	16.80
T.04662	15.33	T.16714	18.25
T.04664	13.80	T.16723	14.47
T.04665	13.50	T.16724	16.08
T.04666	16.10	T.16726	16.20
T.04758	16.08	T.16729	16.93
T.04759	15.03	T.16733	16.18
T.04819	12.50	T.16737	13.50
T.04824	17.10	T.16739	15.50
T.04837	15.70	T.17177	15.68
T.04857	14.70	T.17205	15.57
T.04863	12.10	T.17207	18.05
T.04864	12.50	T.17223	15.75
T.04865	16.87	T.17232	16.33
T.04893	19.85	T.21233	15.55
T.04900	16.13	T.21239	16.50
T.04938	14.73	T.21240	16.15
T.04942	13.88		