

# CARACTERÍSTICAS FENOTÍPICAS DE COMPONENTES DE VARIEDAD CASTILLO® EN DOS AMBIENTES

Gabriel Alvarado-Alvarado\*, Henry Ernesto Ochoa-Fonseca\*\*

---

## RESUMEN

**ALVARADO A., G.; OCHOA F., H. E. Características fenotípicas de componentes de Variedad Castillo® en dos ambientes. Cenicafé 57(2):100-121. 2006.**

En 2005 Cenicafé liberó la variedad Castillo® y sus derivadas de uso regional, conformadas por mezclas de progenies F5 de Caturra X Híbrido de Timor, que poseen resistencia durable a la roya del café, probable tolerancia al CBD y atributos agronómicos y de taza sobresalientes. Las variedades Castillo® regionales ofrecen a los productores mayor productividad en ambientes similares a aquellos donde fueron seleccionadas. En los campos de producción de semilla, las plantas están dispuestas en parcelas de propagación por edad de siembra. En Maracay (Quindío) y El Rosario (Antioquia), en parcelas de 3 y 4 años de edad, en cinco plantas seleccionadas aleatoriamente en las 24 progenies se midieron variables relacionadas con la conformación de la planta, del fruto y las hojas, y con las características de color del cogollo, forma de la copa y tipo de árbol. La discriminación de grupos de fenotipos por cuartiles de la distribución normal para algunas variables permitió agrupar las progenies con mayor similitud fenotípica, sin detrimento de la diversidad genética en la resistencia a la roya del café. Un análisis multivariado identificó las variables con mayor poder de discriminación, información valiosa para trabajos de selección fenotípica, búsqueda de marcadores moleculares, arreglos espaciales en el campo, distancias de siembra, descripción varietal, trazabilidad, y para certificación de semilla, entre otros.

**Palabras clave:** *Coffea arabica*, Variedad Castillo®, caracterización morfológica, compuestos regionales.

---

## ABSTRACT

In 2005, Cenicafé released the Castillo® variety and its derivatives for regional use, made up by mixtures of F5 progenies from Caturra X Timor Hybrid that have long-lasting resistance against the coffee leaf rust, probable CBD tolerance, as well as outstanding agronomic and cup quality attributes. The regional Castillo® varieties offer the producers higher yields in environments similar to those from where they were selected. In seed production fields, plants are arranged in propagation plots by sowing age. In Maracay (Quindío) and El Rosario (Antioquia), variables related to plant, fruit and leaf conformation, together with shoot color, canopy characteristics and tree type were measured in five plants selected randomly from each of the 24 progenies, in 3 and 4 year-old parcels. The discrimination of phenotype groups by quartiles of the normal distribution for some variables, allowed the clustering of progenies with greater phenotypic similarity without causing detriment to the genetic diversity of coffee leaf rust resistance. A multivariate analysis identified the variables with higher discrimination power, a valuable information for phenotypic selection, search of molecular markers, space adjustments in the field, planting distances, variety description, traceability, and for seed certification, among others.

**Keywords:** *Coffea arabica*, Castillo® variety, morphologic characterization, Castillo® regional varieties.

---

\* Investigador Principal. Mejoramiento Genético y Biotecnología. Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé. Chinchiná, Caldas, Colombia.

\*\* Ingeniero Agrónomo, Facultad de Agronomía. Universidad Nacional de Colombia sede Bogotá.

La variedad Colombia es el mejor ejemplo del uso de la diversidad genética en cultivares de *C. arabica* en América Latina, que se caracteriza por su uniformidad genética (16). La estrategia de mejoramiento para su obtención consistió en introducirle a la variedad caturra el factor de resistencia a la roya que posee el Híbrido de Timor, debido a la amplia aceptación de la variedad Caturra por los caficultores y excelente adaptación a las condiciones de suelo y clima de la caficultura colombiana, especialmente de la región central (2, 16, 20). Cabe resaltar que la resistencia durable a la roya se ha mantenido en el país durante 25 años, y las variedades resultantes aún se encuentran cultivadas en cerca de 250.000 hectáreas (1, 2, 20).

Recientemente, la Federación Nacional de Cafeteros liberó la Variedad Castillo® (6) y sus seis derivadas (7, 8, 9, 10, 11, 12), que permiten a los productores beneficiarse de su mayor productividad, por su uso en áreas con condiciones de suelo y clima similares a las de las subestaciones experimentales de Cenicafé, en las cuales fueron seleccionadas.

La Variedad Castillo® fue obtenida bajo la misma estrategia de mejoramiento genético de la variedad Colombia (6, 16, 20). Está conformada por la mezcla de numerosas progenies seleccionadas del cruzamiento entre Caturra X Híbrido de Timor durante cinco generaciones de autofecundación (6), posee resistencia a la roya, probable tolerancia a la enfermedad de las cerezas, y excelentes atributos agronómicos y de calidad en taza (6).

La variedad Caturra, progenitor femenino, es un mutante de la variedad Borbón. La expresión del gen *Ct*, redujo la longitud de los entrenudos, por lo cual sus plantas son de porte bajo con relación a las de Típica y Borbón. Esta variedad es homogénea en

sus otras características morfológicas (17). El porte bajo de sus plantas le permite ser cultivada en altas densidades de siembra, con las cuales se obtienen mayores producciones por unidad de superficie (16, 20). El progenitor masculino donante de la resistencia a roya, es el Híbrido de Timor. Es una población heterogénea en sus características morfológicas, y de porte alto por la expresión del genotipo *ctct* (16, 20).

Los descendientes de este cruzamiento expresan diferentes combinaciones de genotipos de resistencia y variación en las características morfológicas de interés, como: altura de la planta, curvatura, longitud y ángulo de inserción de las ramas, forma, tamaño, color y posición de las hojas, principalmente (16, 20).

Los investigadores en el mejoramiento de plantas actúan en las diferentes generaciones sobre la diversidad resultante de la segregación genética. La selección se realiza en plantas con resistencia a la roya y a otros desórdenes como la enfermedad de las cerezas del café (CBD). Además, por atributos agronómicos sobresalientes, porte bajo de las plantas, estabilidad en sus características, abundante ramificación, follaje y vigor, similitud a Caturra y homogeneidad en mezcla de progenies. Esta homogeneidad se logra mediante la selección de plantas con similitud morfológica de las progenies que la conforman (2, 6, 16, 20).

Entre los años 1970 y 1980 cuando fueron seleccionados los primeros constituyentes de la variedad Colombia, compuesto pionero en resistencia con amplia diversidad genética, la selección fue asistida por la correlación existente entre el vigor vegetativo, la similitud a Caturra, la frecuencia de plantas sobresalientes y la proporción de fenotipos indeseables (6).

Ante la aparición de nuevas razas de *H. vastatrix* compatibles con los materiales derivados de Caturra X Híbrido de Timor

constituyentes de las variedades compuestas con resistencia a la roya, la selección de componentes por mayor productividad con adaptación a diversidad de ambientes y a ambientes específicos, y a la selección por mejores atributos del grano, se han incorporado especialmente a las nuevas variedades progenies cuyo fenotipo introduce alguna heterogeneidad a las mezclas entregadas a los caficultores (1, 2, 3, 4, 5, 6, 20).

En general, son limitados y están dispersos los trabajos tendientes a la caracterización y la descripción de progenies candidatas a conformar variedades compuestas como las variedades Castillo® y Tabi, mediante la medida de atributos morfológicos cuantitativos y cualitativos (2, 5, 13, 14, 16, 18, 19, 20, 22).

La información disponible en la Disciplina de Mejoramiento de Cenicafé consta de registros cuantitativos de altura de la planta, diámetro de copa y número de cruces en diferentes edades, y algunas descripciones cualitativas con su respectiva frecuencia por fenotipo según el criterio de los mejoradores en la revisión de experimentos de evaluación de progenies (5, 16, 20).

La presente investigación tuvo como objetivo aportar a los procesos de conformación de mezclas específicas de progenies, facilitar la identidad y trazabilidad, contribuir a la generación de información cualitativa y cuantitativa sobre las características morfológicas de algunos constituyentes de la variedad Castillo® y sus derivadas y diseñar herramientas para la cosecha y la Fitotecnia del cultivo, entre otros.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Las evaluaciones se realizaron en las subestaciones de experimentación Maracay, ubicada en Quimbaya (Quindío), con latitud

4°36'N, longitud de 75°44'O y altitud de 1.450m, con valores anuales de precipitación de 2.357mm, humedad relativa de 80%, temperatura de 20,7°C y brillo solar de 1.633 horas, localizada en el Ecotopo 210A (Cordillera Central - vertiente Occidental); y en El Rosario, localizada en el Municipio de Venecia (Antioquia), a una latitud de 5°58'N, longitud 75°43'W y una altitud de 1.600m, con precipitación anual de 2.504mm, humedad relativa del 74%, temperatura de 20,1°C y brillo solar de 2.062horas, ubicada en el Ecotopo 203A (Cordillera Central – vertiente Occidental).

Se evaluó la progenie de 24 progenitores de la generación F4 de Caturra X Híbrido de Timor (C x H. T.), constituyentes de la variedad Castillo® de tres y cuatro años de edad de siembra, localizadas en Maracay y El Rosario. El material está sembrado en surcos alternos por progenie con una proporción de 100 a 150 plantas por cada una de éstas, en las parcelas de producción de semilla. El área de cada parcela es de aproximadamente 5.000m<sup>2</sup>. La distancia de siembra es de 1m entre plantas y 1m entre surcos, para una densidad de 10.000 plantas.ha<sup>-1</sup>. La genealogía de los materiales evaluados se relaciona en la Tabla 1.

Se utilizó un diseño de investigación transversal que permite en un tiempo dado describir variables y analizar su incidencia e interrelación.

Para la selección de los ambientes se consideró que las localidades fueran contrastantes en brillo solar y en el nivel de productividad.

Para elegir las parcelas de producción de semilla se establecieron los siguientes requisitos: 1. Densidad de siembra de 10.000 plantas.ha<sup>-1</sup>; 2. Existencia de las mismas progenies y edades de siembra en las dos

**Tabla 1.** Genealogía de progenies constituyentes de la variedad Castillo®.

Cruzamiento	Generación			
	F1	F2	F3	F4 <sub>(i)</sub>
CR <sub>(2)</sub> -L.426 x HT <sub>(4)</sub> 1343-CV	M.2386	PL.1889	B.988	CU.1778
CR-L.426 x HT 1343-CV	M.2386	PL.1902	B.1239	CX.2391
CR-L.426 x HT 1343-CV	M.2391	PL.2030	B.1289	CU.1972
CR-L.426 x HT 1343-CV	M.2392	PL.2092	B.1340	CU.2034
CR-L.426 x HT 1343-CV	M.2387	PL.1979	B.1171	CU.1928
CR-L.426 x HT 1343-CV	M.2386	PL.1859	B.997	CU.1815
CR-L.426 x HT 1343-CV	M.2386	PL.1859	B.991	CU.1798
CR-L.426 x HT 1343-CV	M.2391	PL.2036	B.1030	CU.1871
CR-L.426 x HT 1343-CV	M.2386	PL.1859	B.998	CU.1842
CR-L.426 x HT 1343-CV	M.2391	PL.2036	B.1029	CX.2866
CR-L.426 x HT 1343-CV	M.2392	PL.2094	B.1096	CX.2720
CA <sub>(3)</sub> -L.572 x HT 1343-CV	Tr.958	PL.2221	AW.3089	DH.0004
CR-L.426 x HT 1343-CV	M.2386	PL.1902	B.1233	CU.1951
CR-L.426 x HT 1343-CV	M.2386	PL.1859	B.1315	CU.2021
CR-L.426 x HT 1343-CV	M.2386	PL.1859	B.1361	CX.2074
CR-L.426 x HT 1343-CV	M.2386	PL.1859	B.997	CU.1825
CR-L.426 x HT 1343-CV	M.2386	PL.1859	B.998	CU.1849
CR-L.426 x HT 1343-CV	M.2391	PL.2030	B.1290	CU.1993
CR-L.426 x HT 1343-CV	M.2386	PL.1902	B.1239	CX.2385
CR-L.426 x HT 1343-CV	M.2386	PL.1859	B.997	CU.1812
CR-L.426 x HT 1343-CV	M.2391	PL.2030	B.1290	CU.1991
CR-L.426 x HT 1343-CV	M.2386	PL.1902	B.1233	CU.1970
CR-L.426 x HT 1343-CV	M.2387	PL.1979	B.1171	CU.1911
CR-L.426 x HT 1343-CV	M.2386	PL.1859	B.998	CU.1843

<sup>1/</sup> Progenies del estudio.

<sup>2/</sup> CR: Variedad Caturra rojo.

<sup>3/</sup> CA: Variedad Caturra amarillo.

<sup>4/</sup> H de T: Híbrido de Timor.

localidades; 3. Distribución aleatoria de las progenies en cada parcela de producción de semilla.

### Información registrada:

Por localidad, edad de siembra y progenie se tomaron aleatoriamente cinco plantas, previo descarte de las deterioradas, con mal

desarrollo o fuera del tipo de la progenie, y se les registraron las siguientes variables:

### Variables cualitativas:

- Color del cogollo: Verde claro, verde, verde oscuro, verde bronceado, bronceado y rojizo.
- Tipo de árbol: Con los patrones de segregación

desarrollados en la Disciplina de Mejoramiento Genético y Biotecnología, en derivados de C x H. T. (5) (Figura 1).

▪ **Forma de la copa:** Plana, redondeada o triangular (cónica).

**Variables cuantitativas:**

▪ De arquitectura de la planta.

Se determinó el número de cruces (NC) del árbol, y posteriormente se evaluaron en

<b>Tipo de árbol</b>	
	<p><b>Tipo A.</b> Ramas, que le confiere una apariencia cónica. Ramificación secundaria normal. Hojas similares al tipo Caturra en cuanto a forma y tamaño aunque su posición en las ramas pueda ser pendiente. Las plantas poseen vigor vegetativo, altura similar a variedad Caturra, aunque ocasionalmente puede ser menor que ésta.</p>
	<p><b>Tipo B.</b> Ramas más largas que en el tipo A. Son árboles abiertos, con copa plana o ligeramente redondeada por la mayor longitud de sus ramas. Su ramificación secundaria es normal y ocasionalmente abundante. Hojas del tipo de la variedad Caturra pero de mayor tamaño, y se insertan en posición normal o pendiente. Las plantas poseen buen vigor vegetativo. Es un tipo de árbol intermedio entre Caturra e Híbrido de Timor. La altura de las plantas puede ser ligeramente superior a Caturra.</p>
	<p><b>Tipo C.</b> Corresponde al fenotipo observado en la variedad Caturra.</p>
	<p><b>Tipo D.</b> Son árboles abiertos por la mayor longitud de sus ramas, con ramificación secundaria escasa a normal. Hojas de mayor tamaño que Caturra, con bordes ondulados, nervaduras acentuadas y de forma redondeada. Generalmente se disponen en posición vertical. Las plantas poseen vigor normal y el árbol tiene aspecto diferente a los tipos A, B y C. El porte de las plantas es similar y/o mayor que el de la variedad Caturra.</p>

**Figura 1.** Tipos de árboles característicos de la variedad Castillo® (5).

tres ramas por cada estrato las siguientes variables:

- Área de la hoja (ARH): Se midió el área foliar de todas las hojas de las nueve ramas seleccionadas, con un medidor de área foliar marca Delta – T Devices ®.

- Ángulo de inserción foliar (AH): Se midió en las mismas hojas de la variable anterior, con un transportador adaptado a un soporte (21).

- Ángulo de inserción de ramas (AR): Se registró en la parte media de cada rama con el mismo transportador descrito en la anterior variable.

- Interceptación solar: Se hicieron tres lecturas, una en la parte superior de la planta y dos en la parte inferior, con un "Plant Canopy Analyzer". Con el mismo equipo se determinó el índice de área foliar.

▪ De crecimiento de la planta:

- Número total de cruces (NC): El valor obtenido se dividió en tres, estableciendo los estratos superior, medio e inferior.

- Altura (AL): Medida en centímetros desde la base de la planta hasta el ápice de la misma, con una regla de 3m de longitud.

- Diámetro del árbol (DA): Medido en centímetros, en el sector más amplio de la planta, con una regla de 3m de longitud.

- Número de nudos (NNR), longitud de ramas (LR) y entrenudos (LE): Se registraron en cuatro ramas del estrato medio, seleccionadas dividiendo el número total de cruces por dos y tomando dos ramas de la mitad superior y dos de la inferior.

▪ Relacionadas con los frutos: (Estas variables se expresan en milímetros)

- Longitud de frutos: Se evaluó en 10 frutos maduros y sanos, y se expresa en milímetros.

- Longitud de pedúnculos (LP): Se midió desde la inserción en el tallo hasta el inicio del fruto.

- Ancho de fruto (AF): Se registró en la parte más ancha del diámetro ecuatorial de los frutos.

- Espesor de fruto (EF): Se registró en la parte más angosta del diámetro ecuatorial de los frutos.

- Longitud de frutos (LF): Tomada desde su unión al pedúnculo hasta el botón superior.

- Peso de frutos (PF): Se pesaron veinte frutos sin pedúnculo. Esta variable se registró en gramos.

Las dimensiones del fruto caracterizadas por la longitud (LF), el ancho (AF) y el grueso (EF), que se relacionan con la granulometría, se midieron por el índice conocido como café supremo, y que consiste en la estimación de la proporción de una muestra retenida en un tamiz con orificios circulares de 17/64 de pulgada de diámetro.

En cinco plantas tomadas aleatoriamente de cada una de las 24 progenies evaluadas, se midieron 14 variables cuantitativas, cinco relativas a la conformación de frutos (LP, LF, AF, GF y PF), tres relacionadas con las características del árbol (NC, AL, y DA), cuatro de las características de las ramas (NNR, LR, LE, y AR) y dos variables de las hojas (AH y ARH). Los registros de

interceptación solar e índice de área foliar, no se incluyeron en el análisis, por disponer de un solo dato por progenie.

#### **Análisis estadístico:**

- Por localidad, progenie y edad, para cada variable de respuesta se estimó el intervalo de confianza para el promedio poblacional, con un coeficiente de confianza del 95%.

- Por localidad y edad, mediante la prueba de Duncan (5%), se compararon las progenies por el promedio de las variables de interés. En los casos donde las progenies fueron similares en algunas o en todas las variables de interés, se construyó el intervalo de confianza para el promedio general.

- Se realizó la prueba de diferencia mínima al 5%, para comparar las localidades en todas y cada una de las progenies en cada edad, para las variables de interés.

- Un análisis de componentes principales por localidad y edad de siembra, permitió seleccionar las variables que explican la mayor contribución a la variación total.

- Se hizo un análisis de agrupamiento para cada sitio y edad, considerando nueve variables de interés agronómico.

solo representó una frecuencia de 0,8% de los 240 árboles medidos en esta edad. La forma de la copa de las plantas fue 68,8% plana, 25,8% redonda y 5,4% triangular. La frecuencia de los tipos de planta, con los criterios de descripción fenotípica adoptados por la Disciplina de Mejoramiento de Cenicafé (5), fue 3,8% A, 24,6% B, 7,0% C y 54,6% D. Este resultado corrobora que luego de la selección por resistencia a la roya y para mejorar las características agronómicas de los componentes de variedades compuestas han ingresado fenotipos diferentes del tipo Caturra (C).

La Tabla 3 muestra la frecuencia de las variables cualitativas registradas en las plantas de cuatro años de siembra en las localidades consideradas. Los resultados son consistentes con lo observado en las siembras de tres años. La ocurrencia del color del cogollo mostró las siguientes proporciones: 42,5% verde claro, 12,5% verde, 2,1% verde oscuro, 23,8% verde bronce, 16,6% bronceado rojizo y 2,5% rojizo. La copa de la planta fue 68,8% plana, 30,8% redondeada y 3,4% triangular. Las frecuencias por tipo de planta fueron: 1,7% A, 28,8% B, 15,0% C y 54,5% D. La mayor proporción observada fue la de los tipos B y D, directamente relacionados con la forma plana de la copa, característica de estas plantas.

## **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **Variables cualitativas**

La Tabla 2 muestra la distribución de frecuencias relativas al color del cogollo, la forma de la copa y el tipo del árbol, observadas en Maracay y El Rosario en plantas de tres años. La distribución de frecuencias del color del cogollo fue: 34,9% verde claro, 11,6% verde, 3,3% verde oscuro, 30,7% verde bronceado y 18,7% bronceado rojizo. El color bronce intenso (rojizo)

Durante los últimos 15 años el tamaño de los frutos y de los granos se ha sometido a una selección intensa (20). La misma ha propiciado que el tamaño se haya incrementado de 52,8% de café supremo en las primeras versiones de la variedad Colombia (16) a 83,2% en la composición actual de la variedad Castillo® (6). El promedio del peso de los frutos ha aumentado de 1,67 a 2,20 gramos/fruto, equivalente a 32% de peso adicional. Las variables asociadas con el tamaño del fruto poseen los más bajos coeficientes de variación y la mayor

**Tabla 2.** Frecuencia de caracteres cualitativos de 24 progenies de tres años de edad de la variedad Castillo® en dos ambientes (Maracay – Quindío y El Rosario - Antioquia).

PROGENIE	Color <sub>1</sub>						Forma de Copa <sub>2</sub>			Tipo de árbol <sub>3</sub>			
	VC	V	VO	VB	BR	RO	R	P	T	A	B	C	D
CU.1778	10			90			20	80					100
CU.1798	60	20		20			10	90			10		90
CU.1812	60	20		10	10		20	80			40		60
CU.1815	80	20		10			10	90			20		80
CU.1825	30	40	30					100			50		50
CU.1842	50			30	20		10	90					100
CU.1843	50	10	10	20	10		10	90			60	10	30
CU.1849	20			20	60		30	70			50		50
CU.1871	30	20		40	10		60	40			10	40	50
CU.1911	40			20	40		40	30	30	30	10		60
CU.1928	60			10	30		20	50	30	30	20		50
CU.1951	30	20		50			10	90					100
CU.1970	40			30	30		20	80			30	10	60
CU.1972	20			20	60		40	40	20	10	20	20	50
CU.1991		10		50	40		50	50				30	70
CU.1993	10	20		20	50		20	70	10	10	10	10	70
CU.2021	60		20	20				100			40		60
CU.2034	30			50	20		20	80			30	20	50
CX.2074	40			60			40	50	10		30	20	50
CX.2385		10		70	10	10	30	70			50		50
CX.2391	80	10			10		40	60			30		70
CX.2720				40	50	10	50	40	10	10	50	10	30
CX.2866	20	20		60			30	60	10		10		90
DH.0004	20	60	20				40	50			20		80

<sup>1</sup> VC = Verde Claro; V = Verde; VO = Verde oscuro; VB = Verde bronce; BR = Bronce rojizo; RO = Rojizo

<sup>2</sup> R = Redonda; P = Plana; T = Triangular

<sup>3</sup> Tipos descritos en la Figura 1.

estabilidad en su expresión entre edades de siembra. Este resultado es de valor para los productores porque indica la estabilidad de este atributo agronómico estrechamente relacionado con la producción.

En otras variedades cultivadas, las medidas de longitud, anchura y grosor del fruto también registran una disminución a medida que se incrementa la edad de las plantas. Así mismo, la interacción con la localidad afecta el tamaño de los frutos y

de los granos. En este estudio se registró que la dimensiones de los frutos en cultivos de cuatro años son mayores en la localidad de El Rosario que en Maracay.

La altura de planta es una de las variables más importantes por su estrecha relación con la producción (16). Influye en la decisión sobre el número de cosechas por ciclo de renovación, al considerar que en los ambientes donde los árboles alcanzan una mayor tasa de crecimiento, el ciclo productivo puede

reducirse en el número de cosechas, para favorecer la recolección y la calidad de la cosecha.

Al analizar los registros en los dos ambientes evaluados, se observó menor altura de la planta en la Subestación El Rosario, en las dos edades de las plantaciones. A los tres años de edad la diferencia fue de 15cm entre valores medios, lo cual se corrobora con el registro del número de cruces. Sin embargo, ésta desaparece en las siembras de mayor edad.

Las variables diámetro del árbol (DA) y longitud de la rama (LR) mostraron la misma tendencia en los dos sitios y las dos edades. Las variables altura (AL) y el número de cruces (NC) aumentaron proporcionalmente con la edad.

El ángulo de la inserción de la rama (AR) afecta la arquitectura de la planta, la distribución de la luz dentro del árbol y por supuesto, la apariencia de las mismas. Los valores medios fluctuaron entre 24 y 29°, resultados similares a los registrados

**Tabla 3.** Frecuencia de caracteres cualitativos de 24 progenies de cuatro años de edad de variedad Castillo en dos ambientes.

PROGENIE	Color <sup>1</sup>						Forma de Copa <sup>2</sup>			Tipo de Árbol <sup>3</sup>			
	VC	V	VO	VB	BR	RO	R	P	T	A	B	C	D
CU.1778	20			60	20		50	40	10		20		80
CU.1798	20	20			40	20	50	50		20		70	10
CU.1812	60	20			20		10	90			50	10	40
CU.1815	60	40					30	60	10		20		80
CU.1825	70	10	10	10			30	70			50		50
CU.1842	10	10		60	10	10	40	60			40	10	50
CU.1843	70			20	10		10	90				20	80
CU.1849	60	30				10	30	40	30	10	40	20	30
CU.1871	50	10		20	20		30	70			40	20	40
CU.1911	70	20			10		5	50			30	50	20
CU.1928	50			10	40		10	90			30	10	60
CU.1951	40	10		50			20	80			10	10	80
CU.1970	30	10	20	40			40	60			10	20	70
CU.1972	50			40	10		50	50			30		70
CU.1991	20	10		20	50		20	80			10		90
CU.1993	50	30			20		20	70	10		40		60
CU.2021	30		20	20	20	10	20	70	10	10	20		70
CU.2034				50	40	10	20	80			20	50	30
CX.2074	50	10		40			60	40			40	20	40
CX.2385	10			50	40		60	40			60	30	10
CX.2391	50	40		10			10	90			30	10	60
CX.2720	60	20		10	10		10	90			70	10	20
CX.2866	70	10		20			10	80	10				100
DH.0004	20			40	40		60	40			30		70

<sup>1</sup> VC = Verde Claro, V = Verde, VO = Verde oscuro, VB = Verde bronce, BR = Bronce rojizo, RO = Rojizo

<sup>2</sup> R = Redonda, P = Plana, T=Triangular

<sup>3</sup> Tipos descritos en la Figura 1.

**Tabla 4.** Intervalo de confianza y coeficiente de variación de 14 variables cuantitativas medidas en 24 progenies de variedad Castillo® en dos edades y en dos localidades.

Variable	Maracay						El Rosario					
	3 años			4 años			3 años			4 años		
	LimI/1	X/2	LimS/3	LimI	X	LimS	LimI	X	LimS	LimI	X	LimS
LP	4,4	4,4	4,4	4,6	4,7	4,8				4,5	4,6	4,7
LF	16,7	16,8	16,9	16,5	16,6	16,8				16,4	16,5	16,7
AF	15,9	15,9	16,0	15,7	15,7	15,7				15,2	15,2	15,3
GF	13,9	13,9	13,9	13,7	13,7	13,7				13,9	13,9	13,9
PF	45,9	46,3	46,7	44,0	44,2	44,4				42,7	43,1	43,5
AL	195,4	196,8	198,2	210,0	218,3	220,0	179,0	180,3	181,7	214,6	217,2	219,7
DA	152,4	153,8	155,3	158,7	157,2	158,9	150,3	151,7	153,1	149,3	150,8	152,3
NC	45,2	45,6	45,9	54,0	54,4	54,5	42,5	42,8	43,2	53,5	53,9	54,4
NNR	19,9	20,1	20,2	22,1	22,3	22,5	20,7	20,9	21,0	22,8	23,0	23,2
LR	67,6	68,0	68,5	66,4	66,5	66,8	66,0	66,5	66,9	67,9	68,4	68,9
LE	3,3	3,3	3,3	2,8	2,8	2,9	3,2	3,2	3,2	3,1	3,1	3,1
AR	26,9	27,5	28,0	26,2	26,4	26,6	28,9	29,4	29,9	24,7	25,2	25,6
AH	34,3	34,5	34,7	35,8	35,9	36,0	34,3	34,5	34,7	33,0	33,2	33,4
ARH	34,2	34,4	34,5	33,2	33,2	33,3	33,1	33,2	33,3	29,7	29,9	30,0

LP = Longitud del pedúnculo, LF = Longitud del fruto, AF = Ancho del fruto, GF = Grosor del fruto, PF = Peso del fruto, AL = Altura, DA = Diámetro, NC = Número cruces, NNR = Número nudos rama, LR = Longitud rama, LE = Longitud entrenudos,

AR = Ángulo inserción rama, AH = Ángulo inserción hoja, ARH = Área de la hoja

/1 = Límite inferior /2 = Media aritmética /3 = Límite superior

por Castillo *et al.* (15). La variabilidad de estas medidas, genera mayores valores de los coeficientes de variación, explicables por los cambios en la inclinación de las ramas en los diferentes estratos y edades de las plantas (15). En las plantas de mayor edad, se observa un mayor ángulo de inserción en las partes terminales de las ramas productivas (AR), observación similar a la realizada por Arcila (14) y Castillo *et al.* (15).

El ángulo de inserción de la hoja (AH) también afecta la arquitectura de planta y la interceptación de la luz. Los valores medios fluctuaron entre 33 y 34° por lo que se clasifican como plantas planófilas (15). Los coeficientes de variación estuvieron afectados por los permanentes cambios en la orientación de las hojas de acuerdo al estrato, resultado también obtenido en otros trabajos similares reportados en la literatura (15).

El tamaño de las hojas (ARH) disminuyó con el aumento de edad de las plantas (14), con valores medios de 32cm<sup>2</sup>.

Entre progenies de la misma edad y localidad se hallaron diferencias significativas en 14 de las 15 variables cuantitativas mediante la prueba de Duncan (5%). Únicamente la variable longitud de frutos en plantas de cuatro años en El Rosario no mostró diferencias significativas entre progenies.

Las variables relacionadas con las características de los frutos fueron las menos afectadas en su respuesta en los dos ambientes y edades de siembra. Éstas tuvieron los coeficientes de variación más bajos. Dos factores explican este comportamiento; primero, la selección previa realizada para incrementar el peso de los frutos y el tamaño de los granos y segundo, el menor

impacto ambiental en la expresión de este importante atributo.

Variabes cuantitativas como el ángulo de inserción de ramas y hojas, y cualitativas como el tipo de árbol y la conformación de la copa, que no han sido sometidas a selección previa por su escasa importancia agronómica, generan alguna variación. La selección de progenies con tipo de árbol

diferente al característico de la variedad Caturra (Tipo C), ha incrementado la variación por este rasgo.

### Comportamiento de progenies de la misma edad entre localidades

En las Tablas 5 y 6 se observan los resultados de la comparación de valores medios de progenies entre localidades para las variables

**Tabla 5.** Prueba de diferencia mínima al 5%, entre localidades para cada progenie en cafetos de tres años.

Genotipo	NC	AL	DA	LR	NNR	LE	AR	AH	ARH	Total
CU.1778	0	1	0	0	0	0	0	1	1	3
CU.1798	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
CU.1812	1	1	0	1	0	0	0	0	1	4
CU.1815	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CU.1825	1	0	1	0	0	0	0	1	1	4
CU.1842	0	0	0	0	0	0	0	1	1	2
CU.1843	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
CU.1849	1	1	0	0	0	0	1	1	1	5
CU.1871	0	0	0	1	1	0	1	1	0	4
CU.1911	1	1	1	1	1	1	0	0	0	3
CU.1928	0	0	0	0	1	1	0	0	0	2
CU.1951	0	0	0	1	0	1	0	1	0	3
CU.1970	0	0	0	0	1	0	0	1	1	3
CU.1972	0	1	0	1	0	1	0	0	1	4
CU.1991	1	1	0	0	0	1	0	1	1	5
CU.1993	0	0	0	1	1	1	0	1	1	5
CU.2021	0	1	0	1	0	1	1	0	0	4
CU.2034	1	0	0	0	0	0	0	1	0	2
CX.2074	0	1	0	0	0	0	0	0	1	2
CX.2385	0	0	0	0	0	1	0	1	1	3
CX.2391	0	1	0	0	1	1	0	1	1	5
CX.2720	0	0	0	0	0	1	0	1	1	3
CX.2866	0	0	0	0	1	0	0	1	0	2
DH.0004	0	0	0	1	0	1	0	1	1	4
TOTAL	6	9	2	8	7	11	3	15	16	

AL = Altura, DA= Diámetro, NC= Número cruces, NNR= Número nudos rama, LR = Longitud rama, LE = Longitud entrenudos, AR = Ángulo inserción rama, AH = Ángulo inserción hoja, ARH = Área de la hoja.  
0 = No existen diferencias significativas; 1 = Existen diferencias significativas.

**Tabla 6.** Prueba de diferencia mínima al 5%, entre localidades para cada progenie en cafetos de cuatro años.

Genotipo	LP	LF	AF	GF	PF	NC	AL	DA	LR	NNR	LE	AR	AH	ARH	TOTAL
CU.1778	1	0	1	0	0	1	1	1	0	1	1	0	1	1	9
CU.1798	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	4
CU.1812	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	6
CU.1815	1	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0	1	1	0	6
CU.1825	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	1	5
CU.1842	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	3
CU.1843	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1	1	4
CU.1849	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	4
CU.1871	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	1	1	5
CU.1911	1	0	0	0	0	0	1	1	0	1	1	1	0	1	7
CU.1928	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	5
CU.1951	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0	1	1	5
CU.1970	1	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	6
CU.1972	1	0	0	1	0	1	0	1	1	0	1	0	1	1	8
CU.1991	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	5
CU.1993	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	3
CU.2021	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	2
CU.2034	1	0	1	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	1	6
CX.2074	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	6
CX.2385	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	4
CX.2391	0	0	1	1	0	1	1	0	1	0	0	0	1	1	7
CX.2720	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	1	0	1	1	7
CX.2866	0	0	0	1	0	0	0	1	1	0	1	0	0	0	4
DH.0004	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	1	1	7
TOTAL	11	1	9	7	0	5	6	7	13	11	16	4	18	20	

LP= Longitud pedúnculo, LF= Longitud fruto, AF= Ancho fruto, GF= Grueso fruto, PF= Peso fruto, AL= Altura, DA= Diámetro, NC= Número cruces, NNR= Número nudos rama, LR= Longitud rama, LE= Longitud entrenudos, AR= Ángulo inserción rama, AH= Ángulo inserción hoja, ARH= Área de la hoja.  
 0= No existen diferencias significativas; 1= Existen diferencias significativas.

cuantitativas registradas en plantas de tres y cuatro años de siembra.

En la elaboración de la Tabla 5 se excluyeron las variables relativas a la conformación de los frutos, debido a que en la época del muestreo en las siembras de la localidad de El Rosario no se disponía del número de frutos suficiente.

En las Tablas 5 y 6, la calificación 1 significa ocurrencia de diferencias significativas

con la prueba de diferencia mínima al 5%, para la variable considerada al compararla entre localidades, y la calificación de 0 indica que no se detectaron diferencias.

Las progenies más estables presentan el menor número de eventos con detección de diferencias significativas entre localidades para las variables de respuesta. Las progenies CU.1798, CU.1778, CU.1812, CU.1815, CU.1825, CU.1871, CU.1951, CU.1970, CU.1972, CU.2021, CX.2385, CU.2720,

DH.0004, CU.1842, CU.1843, CU.1928, CU.2034, CX.2866 y CX.2074, con cuatro o menos eventos de significancia estadística, son las que mejor satisfacen el requisito. Es un grupo de similitud fenotípica para la mayoría de las variables consideradas, con comportamiento análogo en ambientes contrastantes (Tabla 5).

Progenies con cuatro o más eventos de significancia estadística, CU.1849, CU.1911, CU.1991, CU.1993 y CX.2391, se consideran con heterogeneidad aceptable entre ellas, y no representan obstáculo para la conformación de variedades compuestas (Tabla 5).

Las progenies con mayor homogeneidad y estabilidad entre localidades, en plantas de cuatro años fueron: CU.1798, CU.1842, CU.1843, CU.1849, CU.1993, CU.2021 y CX.2385, con menos de cuatro eventos de diferencia significativa entre ambientes para las variables analizadas.

Un segundo grupo con seis o más eventos de diferencias estadísticas entre localidades, lo conformaron las progenies: CU.1778, CU.1911, CU.1972, CX.2391, CX.2720 y DH.0004 (Tabla 6).

Las progenies CU.1798, CU.1842 y CU.1843 son las de mayor estabilidad fenotípica en ambas edades y localidades. En contraste, las progenies CU.1911 y CX.2391 son las más inestables fenotípicamente del conjunto de las 24 analizadas.

Las variables con menor poder discriminante, fueron: AL, NC, DA, AR, LF, PF y GF; mientras que las variables LP, AF, LR, NNR, LE, AH y ARH, fueron las más discriminantes, y son las más indicadas como criterio para selección de genotipos promisorios.

Las variables relativas a la conformación del fruto fueron las menos variables y las menos afectadas por el ambiente en su

expresión. Este comportamiento garantiza estabilidad en la respuesta de ese componente en ofertas ambientales diferentes.

Las variables sobre las cuales tuvo mayor influencia el ambiente fueron: LP, LR, LE, AH y ARH. Cerca de diez progenies mostraron diferencias significativas en su respuesta entre ambientes.

### **Agrupación**

En estudios de caracterización fenotípica es frecuente medir la respuesta de variables que no necesariamente se les confiere la misma importancia como atributo agronómico, ni el mismo peso en el proceso de la selección, como es el caso del ángulo de inserción foliar y el ángulo de inserción de las ramas (AH, AR). En contraste, existen otras que son muy importantes en la selección porque se relacionan por ejemplo, con la productividad, como las variables relativas al fruto. Sobre las mismas en generaciones previas se ejerce selección estricta en consideración con las necesidades de los caficultores que reclaman materiales de mayor tamaño de los granos. Por esta razón, a las generaciones avanzadas idealmente solo acceden progenies que poseen granos grandes. Debido a la homogeneidad de los materiales evaluados por este atributo no se tuvieron en cuenta estas variables para el análisis multivariado.

Además del criterio expuesto del tamaño de frutos y granos, y en la experiencia del fitomejorador, se escogieron para el análisis las variables: área de la hoja (ARH), número de nudos (NNR), longitud de los entrenudos (LE), altura de la planta (AL), diámetro del árbol (DA), número total de cruces (NC), ángulo de inserción foliar (AH), ángulo de inserción de las ramas (AR) y longitud de las ramas (LR). Con ellas se realizó un análisis de componentes principales para cada edad de siembra y cada localidad.

En las dos localidades y edades de siembra se seleccionaron los tres factores que explicaran la mayoría de la variación existente. En todos los casos se consideró el valor propio y el porcentaje de varianza calculado. Los resultados se utilizaron para la agrupación y se definieron conjuntos de progenies teniendo como línea de corte 0,1 que explica el 90% de la variación.

La agrupación de genotipos por localidad fue la siguiente:

En Maracay en siembras de tres años de edad, el análisis de componentes principales indicó que las variables de mayor peso en la variabilidad total fueron las variables relacionadas con la amplitud del árbol: número de nudos (NNR), diámetro (DA) y longitud de ramas (LR). El segundo componente explicó el 26,5% de la variación, y antepone las variables longitud de entrenudos (LE) y número de cruces (NC). Esta respuesta sugiere que para esta edad y localidad puede ocurrir: mayor longitud de entrenudos con un menor número de cruces, o mayor número de cruces con menor longitud de los entrenudos.

El tercer factor contribuye con 12,4% de la variación, y se relaciona con la altura de la planta (AL) y la longitud de entrenudos (LE), que contrastan con el ángulo de inserción de las ramas (AR). Por tanto, estas variables son las que mejor clasifican los materiales.

El análisis descriptivo de agrupamiento permitió separar cuatro conjuntos de genotipos (Figura 2). El primero: CU.1778, CX.2385, CU.1842, CU.1843, CU.1871, CX.2074, CU.1825, CX.2391, CU.1849 y DH.0004, que representa el 43,5% de los evaluados, con valores medios para variables relativas a la longitud del árbol: altura, diámetro, y longitud de ramas (AL, DA, LR), y

valores bajos para las variables relativas a la forma: ángulo de inserción foliar, ángulo de inserción de ramas y área de la hoja (AH, AR, ARH).

El segundo conjunto de genotipos estuvo caracterizado por la presencia de árboles más bajos y angostos, y lo conformaron las progenies: CU.1928 y CU.2034, que representan el 8,7% de la población estudiada.

El tercer grupo lo constituyeron los materiales CU.1798, CU.1815, CU.1993, CU.2021, CU.1812, CU.1972, CU.1991 y CX.2866, los cuales representan el 34,8% del total evaluado. Son los genotipos de mayor altura y diámetro de los árboles (AL, DA).

En el cuarto agrupamiento estuvieron las progenies: CU.1951, CU.1970 y CX.2720, que son el 13,0% de la población original de las 24 progenies estudiadas. Se caracterizan por poseer los mayores valores de la amplitud del árbol (DA, LR).

En la localidad Maracay en los cafetos de cuatro años, los tres primeros factores contribuyeron en el 79,4% de la variación total. El primer componente explicó 42% de la variación, y se relaciona con las variables de la amplitud del árbol (DA y LR). Comportamiento análogo se observó en los árboles de tres años. El segundo factor contribuyó en 24,8% de la variación, antepuso las variables longitud de entrenudos y número de cruces (LE, NC), lo que confirmó lo observado en Maracay en cafetos de 3 años. El tercer componente aportó 11,6% de la variación total, y las variables que mejor lo caracterizan son la altura del árbol y el ángulo de inserción de rama (AL, AR). Esto sugiere que a mayor altura de la planta habrá un menor ángulo de inserción de ramas y viceversa.

Para las plantaciones de cuatro años se establecieron tres conjuntos, como se muestra en la Figura 3: el primero, conformado por las progenies: CU.1778, CU.1842, CU.1871, CX.2866, CX2391, CX.2720, CU.1951, CU.1970 y CU.1991, y el cual involucra al 37,5% del total. Registró los valores más altos para todas las variables (NNR, LE, AL, DA, NC, AH, AR, LR) a excepción del área de la hoja (ARH).

Las progenies CU.1798, CU.2034, CX.2074, CU.1825, CU.1849, CX. 2385 y CU.1972 conformaron el segundo conjunto, que representa el 29,2% de la población estudiada. Este grupo de cafetos posee valores medios en siete (NNR, AL, DA, NC, AH, AR, LR) de las nueve variables consideradas. La longitud de entrenudos (LE) y el área de la hoja (ARH) mostraron los valores más bajos.

El tercer grupo lo conformaron las progenies: CU.1812, CU.1815, CU.1911, DH.004, CU.1843, CU.1993, CU.1928 y CU.2021, y constituyó el 33,3% de la población. Se obtuvieron valores bajos para las variables relativas a la longitud de árbol: AL, DA, LR, NC, NNR, y los más altos en cuanto a la forma: ángulo de inserción foliar (AH) y área de la hoja (ARH); además tuvo valores medios para la longitud de entrenudos (LE).

En El Rosario en cafetos de tres años de siembra, los tres factores que mejor explicaron la variación, contribuyeron en un 81,9%, y permitieron conformar cuatro conjuntos de genotipos por sus características: el primer conjunto explicó el 37,7%, y estuvo asociado a las variables de amplitud de los árboles: diámetro (DA), longitud de las ramas (LR) y longitud de entrenudos (LE). El segundo

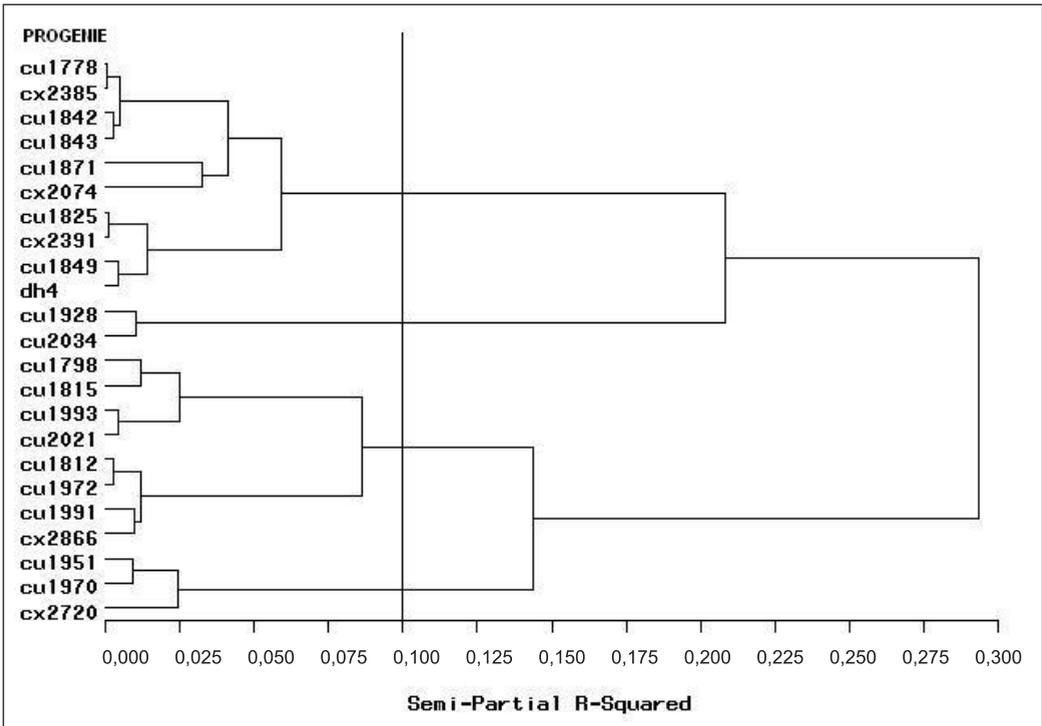
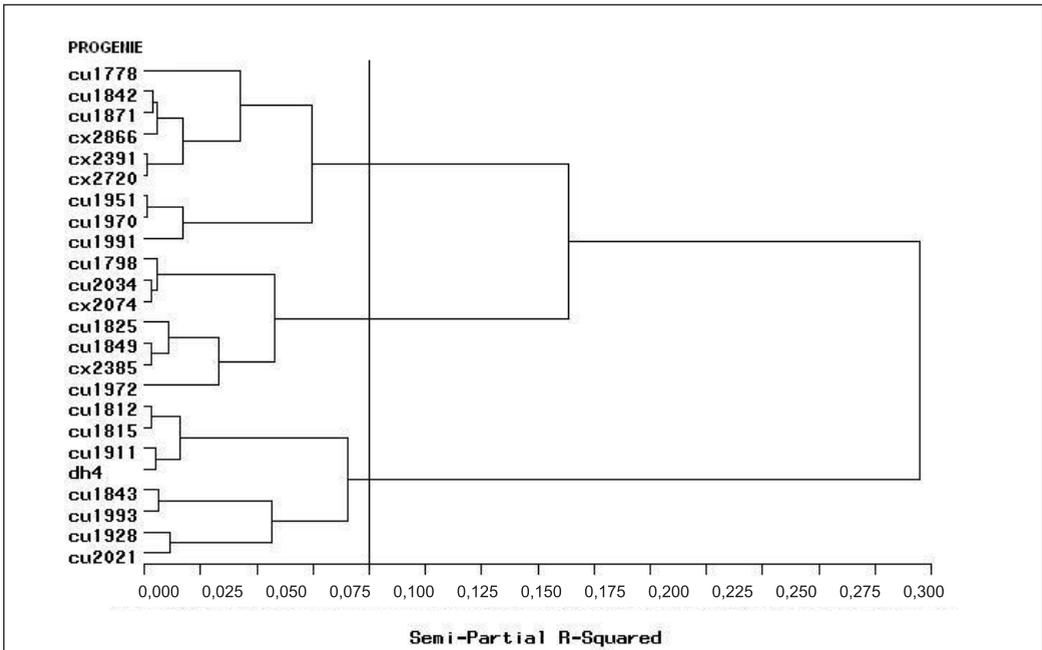


Figura 2. Agrupamiento de progenies de variedad Castillo®. Subestación Maracay, en cafetales de tres años.



**Figura 3.** Agrupamiento de progenies de variedad Castillo® en la Subestación Maracay, en plantas de cuatro años.

contribuyó en 30,3% y relacionó las variables número de nudos (NNR) y número de cruces (NC) que a su vez contrastan con el área de la hoja (ARH). Aumentos en el número de cruces y/o de nudos por rama afectan el área de las hojas reduciéndola o viceversa. El tercer componente estuvo relacionado con el ángulo de inserción de rama (AR).

Para esta localidad y edad de los cafetos se definieron cuatro conjuntos, como se muestra en la Figura 4.

El primero estuvo constituido por las progenies CU.1778, CU.1812, CU.1843, CU.1951, CU.1970, CU.1798, CX.2866, CU.1815, CU.1825, CU.1842, CU.1991, CU.1993 y DH.0004, y representó el 50,0% del total, con valores medios en todas las variables evaluadas. El segundo, representado por la progenie CU.2034, es un árbol bajo y angosto de hojas pequeñas, con valores altos de los ángulos de inserción de hojas y ramas. El tercero con las CU.1849, CU.1911,

CU.2021, CU.1928, CX.2385, CX.2391 y CX.2074, se caracteriza por los mayores valores de altura del árbol y de número de cruces. Representa 29,2% del total de las progenies. Es similar al conjunto dos, excepto porque tiene valores medios para los ángulos de inserción de hoja y ramas (ARH, AR).

Las progenies CU.1871, CU.1972 y CX.2720 conformaron el cuarto agrupamiento con un 12,5% del total. Se caracterizan por tener los valores más altos en las variables relacionadas con la altitud y la amplitud del árbol (AL, DA, NC, LR, LE, NNR), poseen hojas pequeñas (ARH) y bajos ángulos de inserción de hojas (AH).

En la localidad de El Rosario en siembras de tres años de edad, los tres primeros factores explicaron el 74,8% de la variación. El primer componente contribuyó en un 39,7% de la variación. Las variables que mejor lo caracterizan se relacionan con la amplitud del

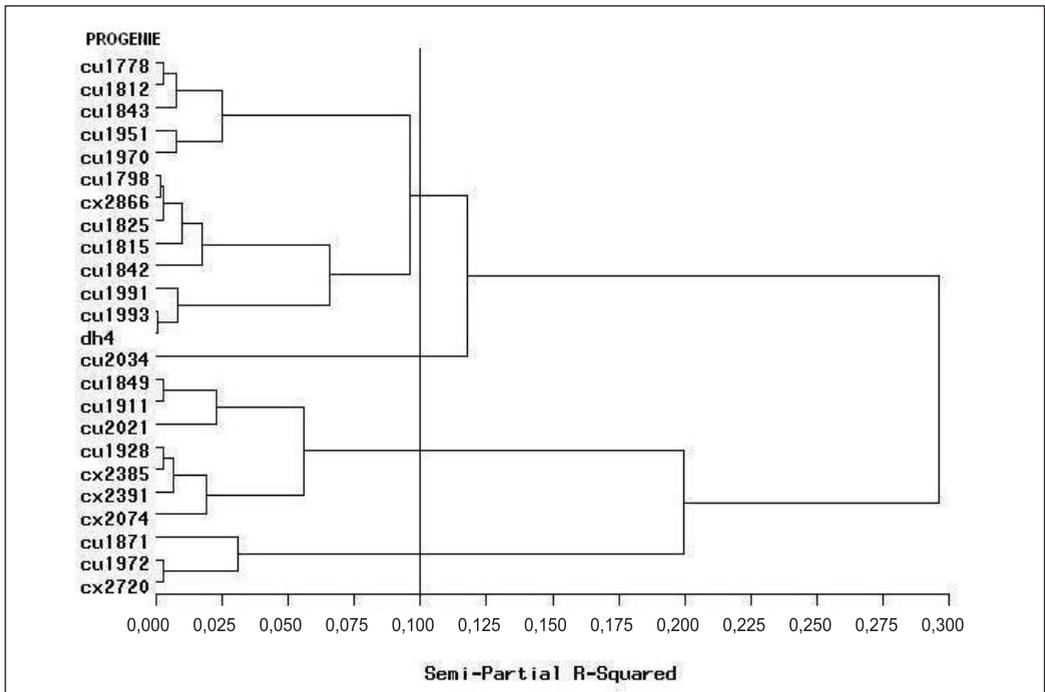


Figura 4. Agrupamiento de progenies de variedad Castillo®, en la Subestación El Rosario, en cafetos de tres años.

árbol (DA, LR). En esta localidad y edad, se suma la variable de altura del árbol (AL), convirtiendo este componente en el de mayor peso. Las variables involucradas se relacionan con las dimensiones del árbol. El segundo antepone, como ocurrió en El Rosario a los tres años, a las variables número de nudos (NNR) y de cruces (NC) con longitud de los entrenudos (LE). Este segundo grupo contribuyó en 22,4% de la variación.

El tercer componente explicó el 12,7% de la variación, y se caracteriza porque las variables que definen la forma del árbol contrastan con la variable ángulo de inserción de hoja (AH).

En la Figura 5 se muestran los tres conjuntos de genotipos establecidos.

El primer agrupamiento estuvo conformado por las progenies CU.1778, CX.2391, CU.2021,

CU.2034, CU.1842, CU.1928, CX.2074 y CU.1911. Representa el 33,3% del total y posee los valores medios más bajos para las variables analizadas. Las progenies: CU.1798, CU.1849, CX.2385, CU.1970, CU.1993, CX.2720, CU.1812, CU.1843, CX.2866, CU.1815, CU.1825 y CU.1991, representan el segundo grupo con el 50,0% de las progenies estudiadas y con valores medios en las variables analizadas. El tercer grupo: CU.1871, CU.1972, DH.0004 y CU.1951, representa el 16,7% del total. Mostró los mayores valores medios en las nueve variables consideradas.

La obtención de la variedad Castillo® (6) contribuyó al logro de varios objetivos para la caficultura de Colombia: 1. Combinó en un cultivar de alta producción y otros atributos sobresalientes procedentes de la variedad Caturra, con la resistencia a la roya proveniente del Híbrido de Timor; 2. Incorporó

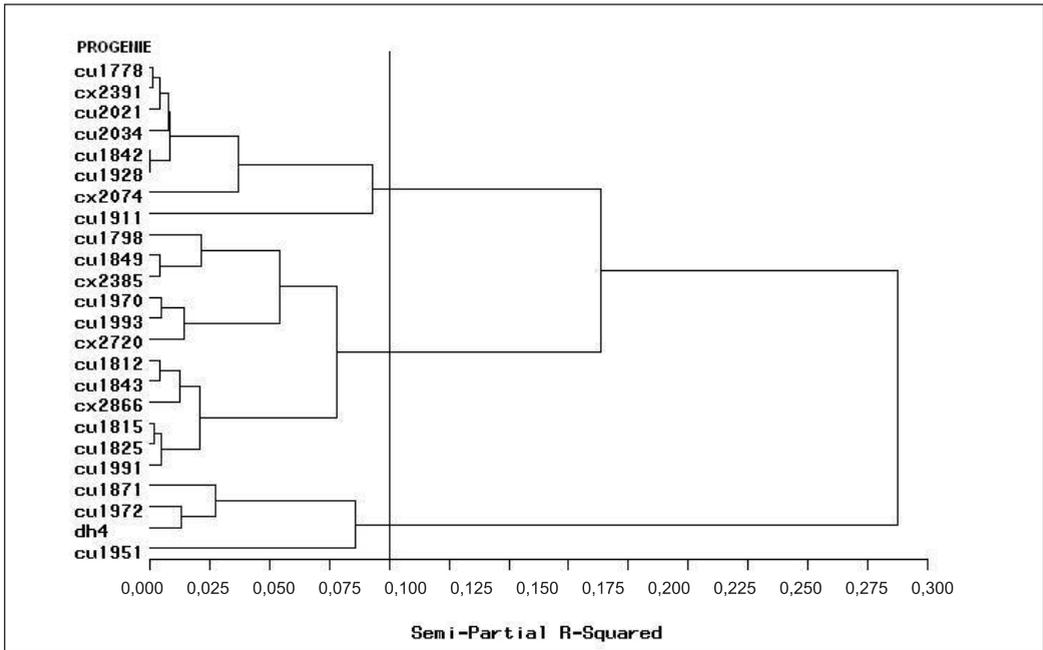


Figura 5. Agrupamiento de progenies de la variedad Castillo®. En la Subestación El Rosario, en cafetos de cuatro años.

la amplia variación genética que se traduce en la protección estable y duradera contra la roya y otras enfermedades potenciales como la enfermedad de las cerezas del café (CBD), no obstante, también introdujo diversidad en las características fenológicas de las plantas sobre las cuales actúa la selección; 3. La selección de progenies para este tipo de variedades compuestas, además de representar adecuadamente la necesaria diversidad genética frente a la roya del café y a la enfermedad de las cerezas, debe brindar a los productores variedades con aceptable similitud fenotípica de las plantas de las progenies que la conforman; 4. Permitió la liberación de variedades compuestas para su utilización regional, que ofrecen a los caficultores mayor productividad en ambientes representativos de las Estaciones Experimentales en las cuales fueron seleccionadas.

Las variables de mayor peso para la caracterización fueron las cuantitativas, y

las variables cualitativas fueron tomadas como complementarias. La agrupación de las variables cuantitativas y la importancia relativa de cada grupo, obedeció a las siguientes consideraciones:

**Relativas a la conformación de la planta:**

La variedad Castillo® heredó de la variedad Caturra el porte reducido; este atributo ha sido objeto de la mayor atención en la selección pues es determinante para la densidad de siembra y la productividad. En materiales homocigotos por el gen *Ct*, existe variación en la altura que no puede ser atribuida a efectos ambientales, y que es de gran interés por la relación positiva con la producción. Se postula que es de naturaleza poligénica (1, 6, 16, 20).

Durante la selección de componentes para las variedades Colombia y Castillo®, se ha ejercido una débil presión selectiva al excluir solamente las progenies extremas por altura,

cuando ésta ha estado asociada con otros caracteres que introducen heterogeneidad en las mezclas de progenies (2, 6, 16, 20). La altura guarda una relación directa con el número de cruces o pares de ramas. La producción futura dependerá de la magnitud del nuevo crecimiento vegetativo (14).

La selección por productividad ha incrementado la altura de los materiales que las conforman (2, 20). Sin embargo, la incorporación de alguna variación en altura carece de importancia debido a que el cultivo intensivo para estabilizar la producción de las fincas requiere de la renovación de las plantaciones mediante la práctica del zoqueo, labor que en la zona central debe ejecutarse después de la cuarta cosecha (2, 20). Adicionalmente, el manejo sanitario de las plantaciones para reducir las poblaciones de broca del café requiere de la renovación oportuna de los lotes.

El diámetro de las plantas (DA) depende de la longitud de ramas (LR) y del ángulo de inserción de las mismas (AR). Es una característica de importancia para la selección de las distancias de siembra a las cuales debe sembrarse la variedad. Existe una relación directa entre la altura (AL) y el diámetro (DA), debido a que la selección de plantas con mayor altura, favorece el incremento de la longitud de las ramas (LR) y el número de nudos productivos por rama (NNR); sin embargo, la mayor longitud no constituye un obstáculo insalvable para sembrarlas a altas densidades, ya que la floración y posterior fructificación avanzan de la parte más interna de las primeras ramas a los sectores de nuevo crecimiento.

Cada nueva cosecha asciende espacialmente en la planta a los sectores de nuevo crecimiento y aquellos sectores que fueron productivos en anteriores recolecciones se tornan improductivos. Esta situación es la

que ocurre en las primeras ramas productivas, que son las más antiguas (14). No obstante, la selección de progenies con longitud de ramas intermedias, favorece el manejo de las plantaciones y de las poblaciones de broca, y mejora la apariencia fenotípica de los lotes.

El ángulo de inserción de ramas (AR) quizá introduce mayor heterogeneidad en las mezclas de progenies, ya que no se ha sometido a la selección previa, excepto por la exclusión de plantas con apariencia erecta o semierecta en la elección de las progenies. Se sabe que las ramas con la edad asumen una disposición en un plano horizontal (planófilas), tomando la apariencia de plantas abiertas. Este comportamiento ha limitado la posibilidad de uso del gen erecta (**Er**) en el desarrollo de variedades de café para lograr mayores densidades de siembra, como ha ocurrido exitosamente en otros cultivos como el arroz y otros cereales.

De las variables relativas a la conformación de la planta, la altura posee la mayor importancia en programas de mejoramiento genético vía diversidad, pues es determinante de la densidad y la productividad (2, 16, 20). Otras variables pueden afectar la uniformidad y la estética de las plantaciones pero su influencia en la productividad es mínima.

La utilización de estas variables para selección de progenitores para mezclas de progenies, como estrategia de mejoramiento para alcanzar resistencia durable a *H. vastatrix* y a otras enfermedades y plagas, permitirá la incorporación de materiales con variación fenotípica aceptable, con el fin de obtener mezclas más armoniosas, de buen fenotipo y relativamente homogéneas.

**Relativas a la conformación del fruto:** Tiene especial interés el peso (PF) que se asocia directamente con la productividad, y las dimensiones del fruto caracterizadas por

la longitud (LF), la anchura (AF) y el grosor (EF). En general los cafés de grano grande tienen mayor aceptación por los productores y compradores y reciben un mejor precio en los mercados internacionales (2, 16).

Las características del fruto, debido a la rigurosa selección previa para incrementar el tamaño del grano ha reducido su variación, de tal manera que pequeñas diferencias en anchura, longitud, grosor y peso carecen de importancia al conformar variedades compuestas.

**Relativas a la conformación foliar:** Estas variables no se consideran de importancia e impacto en la selección de materiales para conformar variedades compuestas. Estas variables no se han sometido a selección previa y expresan variación dentro y entre progenies, lo que se refleja en los altos valores de los coeficientes de variación. No se asocian en su respuesta con la producción o con otras características agronómicas de interés. Sin embargo, su importancia radica en que son descriptores útiles para la caracterización y diferenciación de constituyentes de variedades compuestas, por tanto, reducir la variación por estas características sin afectar variables de importancia agronómica y sin detrimento de la diversidad para estabilizar las poblaciones de roya podrá contribuir a la conformación de mezclas de progenies más homogéneas y de mejor fenotipo en sus plantas.

La selección de los ambientes se fundamentó en que se favorecía la mayor expresión de las características fenológicas de los genotipos y en que contrastaran en su respuesta a algunas variables climáticas como brillo solar, por su relación directa con la productividad. Las diferencias en promedio durante más de veinte años de observaciones son de 430 horas más en El Rosario que en Maracay, equivalentes a 21% más de sol efectivo en

el año. Este factor climático es determinante de la productividad de los genotipos y en su expresión fenotípica. Adicionalmente, la textura arenosa prevalente en los suelos de Maracay desfavorece la retención de humedad lo que afecta el potencial productivo, y las características de los frutos y de las semillas.

Como era de esperarse, las variables ambientales, tuvieron poco efecto en la variación de las características de estudio en El Rosario, donde los fenotipos se favorecen por las excelentes condiciones del clima para el cultivo. Allí se observó homogeneidad en los materiales bajo estudio. En contraste, la variación fenotípica fue mayor en Maracay por lo cual se considera un ambiente más adecuado para realizar la caracterización y la selección fenotípica por las variables consideradas.

### **Conformación de conjuntos de progenies por similitud**

Los resultados de los análisis estadísticos sugieren algunos agrupamientos de progenies por similitud, considerando las observaciones en Maracay por ser más favorable para la expresión de variación fenotípica y posterior selección.

Las agrupaciones de progenies de mayor interés para la conformación de mezclas mostraron patrones definidos, así: un primer grupo caracterizado por expresar valores medios para las variables incluidas en el análisis, que evidencian el efecto de la selección. Un segundo grupo con buenas características de los frutos y menores valores de anchura y altura. El tercer grupo relacionado con árboles altos y angostos. Y, otros dos grupos diferenciados que no poseen características particulares relevantes respecto a los demás.

Dentro de cada grupo, las plantas de algunas progenies que lo conforman cambian con la edad. Al parecer, las curvas de crecimiento mostraron pequeñas variaciones entre progenies. Así, unas con un crecimiento retardado pueden pertenecer a los tres años al conjunto de los más bajos, y a los cuatro estar en el grupo de aquellos de altura media.

La discriminación de conjuntos de genotipos para las variables de respuesta escogidas de acuerdo con la experiencia del Programa de Mejoramiento que se adelanta en Cenicafé, permite identificar conjuntos de progenies con mayor similitud fenotípica sin sacrificar la diversidad necesaria para el control de la roya del cafeto y de otras enfermedades y plagas.

En conclusión, pueden conformarse grupos específicos de genotipos para determinado ambiente aprovechando la variación existente. Existe variabilidad en los atributos considerados para la caracterización morfológica de las progenies constituyentes de la variedad Castillo® evaluados. Su comportamiento mostró algunos cambios entre localidades y edad de siembra. El peso de fruto de las progenies que conforman la variedad Castillo®, resultado del mejoramiento continuado, ha incrementado el promedio general a 2,2g por grano, lo que la destaca como una de las variedades de café arábico con mayor peso y tamaño de sus semillas.

## LITERATURA CITADA

1. ALVARADO A., G. Comportamiento de progenies de variedad Colombia en presencia de razas compatibles de roya del cafeto. *Cenicafé* 55(1): 69-92. 2004.
2. ALVARADO A., G. Colombia, cultivar compuesto de café con resistencia durable a la roya—Atributos actuales. *Fitotecnia Colombiana* 4(1): 18-27.2004.
3. ALVARADO A., G. Evolution of *Hemileia vastatrix* virulence in Colombia. In: ZAMBOLIN, L.; ZAMBOLIN, E.M.; VÁRZEA, V.M.P. (Eds.). *Durable resistance to coffee leaf rust*. Vicosa, Universidade Federal de Vicosa, 2005. p. 99 – 115.
4. ALVARADO A., G.; MORENO R., L.G. Cambio en la virulencia de *Hemileia vastatrix* en progenies de Caturra X Híbrido de Timor. *Cenicafé* 56(2):110-126. 2005.
5. ALVARADO A., G.; MORENO R., L. G.; CORTINA G., H. A. Caracteres agronómicos y resistencia incompleta a *Hemileia vastatrix* Berk y Br., de progenies de Caturra por Híbrido de Timor. *Cenicafé* 53(1):7-24. 2002.
6. ALVARADO A., G.; POSADA S., H.E.; CORTINA G., H.A. Castillo: Nueva variedad de café con resistencia a la roya. *Avances Técnicos Cenicafé* No. 337: 1-8. 2005.
7. ALVARADO A., G.; POSADA S., H.E.; CORTINA G., H.A., DUQUE O., H.; BALDIÓN R., J.V.; GUZMÁN M., O. La Variedad Castillo Naranjal para regiones cafeteras de Caldas, Quindío, Risaralda y Valle. *Avances Técnicos Cenicafé* No. 338: 1-8. 2005.
8. ALVARADO A., G. ; POSADA S., H.E.; CORTINA G., H.A., DUQUE O., H.; BALDIÓN R., J.V.; GUZMÁN M., O. La Variedad Castillo Paraguaicito para regiones cafeteras de Quindío y Valle del Cauca. *Avances Técnicos Cenicafé* No. 339: 1-8. 2005.
9. ALVARADO A., G.; POSADA S., H.E.; CORTINA G., H.A., DUQUE O., H.; BALDIÓN R., J.V.; GUZMÁN M., O. La Variedad Castillo El Rosario para regiones cafeteras de Antioquia, Risaralda y Caldas. *Avances Técnicos Cenicafé* No. 340: 1-8. 2005.
10. ALVARADO A., G.; POSADA S., H.E.; CORTINA G., H.A., DUQUE O., H.; BALDIÓN R., J.V.; GUZMÁN M., O. La Variedad Castillo Pueblo Bello para regiones cafeteras de Magdalena, Cesar, La Guajira y Norte de Santander. *Avances Técnicos Cenicafé* No. 341: 1-8. 2005.
11. ALVARADO A., G.; POSADA S., H.E.; CORTINA G., H.A., DUQUE O., H.; BALDIÓN R., J.V.; GUZMÁN M., O. La Variedad Castillo Santa Bárbara para regiones cafeteras de Cundinamarca y Boyacá. *Avances Técnicos Cenicafé* No. 342: 1-8. 2005.

12. ALVARADO A., G.; POSADA S., H.E.; CORTINA G., H.A, DUQUE O., H.; BALDIÓN R., J.V.; GUZMÁN M., O. La Variedad Castillo La Trinidad para regiones cafeteras del Tolima. Avances Técnicos Cenicafé No. 343: 1-8. 2005.
13. ARCILAP., J. Aplicación de la "Escala BBCH ampliada" para la descripción de las fases fenológicas del desarrollo de la planta de café (*Coffea* spp.). Boletín Técnico Cenicafé No. 23:1-32. 2001.
14. ARCILA P., J. Productividad potencial del café en Colombia. In: CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIONES DE CAFÉ – Cenicafé. CHINCHINÁ. COLOMBIA. 50 años de Cenicafé. 1938 - 1988. Conferencias conmemorativas. Chinchiná, Cenicafé. 1992. p. 105-119.
15. CASTILLO R., E.; ARCILA P., J.; JARAMILLO R., A.; SANABRIA R., J. Estructura del dosel e interceptación de la radiación solar en *Coffea arabica* L. Var. Colombia. Cenicafé 47(1): 5-15. 1996.
16. CASTILLO Z., L. J.; MORENO R., L. G. La Variedad Colombia: Selección de un cultivar compuesto resistente a la roya del café. Manizales, Cenicafé, 1987. 169 p.
17. KRUG, C. A.; MENDES, J. E. T.; CARVALHO., A. Taxonomía de *Coffea arabica* L. II. *Coffea arabica* L. Var. Caturra e sua forma Xanthocarpa. Bragantia 9 (9-12): 157-163. 1949.
18. LÓPEZ, C.; CABRERA O., M.; SÁNCHEZ E., C.; GONZÁLEZ F., C.; GONZÁLEZ V., M.E. Clasificación de líneas de *Coffea arabica* según su morfología y producción en el Tercer Frente. Café y Cacao 1(1): 50-55. 1998.
19. MARÍN N., H.; OROZCO C., F.J. Caracterización de selecciones de café etíopes por medio de medidas biométricas. Manizales, Universidad de Caldas, 1968. 89 p (Tesis Ingeniero Agrónomo).
20. MORENO R., G. ; ALVARADO A., G. La Variedad Colombia: Veinte años de adopción y comportamiento frente a nuevas razas de la roya del café. Boletín Técnico Cenicafé No. 22:1-32. 2000.
21. NORMAN, J.M.; CAMPBELL, G.S. Canopy structure. In: PEARCYR, W.; EHLINGER, J. R.; MODNEY, H. A.; RUNDEL, P.W. (Eds.). Plant physiological ecology field methods and instrumentation. London, Chapman and Hall, 1989. p. 301-325.
22. SALAZAR A., J. N. Análisis de factores morfológicos relacionados con la producción en cinco variedades de café de porte bajo. Bogotá, Universidad Nacional de Colombia, 1988. 98 p. (Tesis: Magister Science).