

# Mejoramiento genético de cacao en Colombia a través de selección varietal participativa

Nubia Martínez Guerrero; Edith Moreno M.; Oscar M. Gavanzo C., Diannefair Duarte H., Edwin A Gutierrez

Grupo de investigación e innovación en cacao - FEDECACAO

## Resumen

Colombia posee potencial en diversidad genética de cacao, en especial por ser parte del centro de origen de la especie y también por el desarrollo del cultivo a través del tiempo. La Federación Nacional de Cacaoteros – FEDECACAO -, mediante estrategias de mejoramiento participativo como base para la recuperación y salvaguardia de conocimientos, recursos genéticos y patrimonio social, ha generado procesos de conservación de germoplasma y de la diversidad genética en fincas con la búsqueda, recuperación, conservación y evaluación de nuevos genotipos promisorios. Desde los años 90, FEDECACAO inició el proceso de búsqueda, selección y evaluación de árboles sobresalientes en fincas de agricultores en todas las regiones productoras del país. Hasta el año 2016 la Federación ha seleccionado 116 árboles procedentes de 40 municipios, correspondientes a doce departamentos. El esquema establecido fue la evaluación regional de los genotipos seleccionados por ambientes y se obtuvo el registro de la Unidad de Fitomejoramiento en cacao. Se establecieron parcelas y experimentos con diseño experimental BCA, donde se evaluaron genotipos con características especiales; mediante variables relacionadas con componentes del rendimiento, respuesta a *Moniliophthora roreri.*, y perfil sensorial, en diferentes condiciones ambientales, durante 6 años. Los datos obtenidos en la evaluación fueron analizados mediante estadística descriptiva y multivariada. Los resultados obtenidos permitieron concluir que se debe continuar con la selección de genotipos con características especiales. En 2014 se obtuvo el registro comercial para 8 nuevos genotipos de cacao que poseen características de alto rendimiento, mayor tolerancia a monilia y calidad sensorial, en tanto que Fedecacao continua trabajando en la selección de genotipos de interés para el incremento de la productividad e incentivando nuevas selecciones de materiales promisorios con características de cacao fino de sabor y aroma.

## 1. Introducción

La selección de plantas ha sido una herramienta de especial interés para los genetistas como fuente de diversidad genética para usarla en la obtención de nuevos cultivares con características como alto rendimiento, calidad, precocidad, tolerancia a factores ambientales, enfermedades y plagas. El mejoramiento participativo está dirigido a fortalecer los sistemas locales de semillas a través de la introducción de diversidad genética y la participación de los productores en la selección de variedades que correspondan a sus realidades biofísicas y socioeconómicas siendo una actividad en la cual el fitomejorador y el agricultor trabajan de forma colaborativa, compartiendo la responsabilidad de la selección de nuevas variedades

con adaptación específica a las condiciones existentes, en los sistemas de producción de los agricultores (Sthapit, Joshi & Witcombe, 1998).

Como resultado de la reintroducción de variedades locales en fincas de agricultores, se obtiene mayor aceptación debido a que estos materiales están adaptados a las condiciones edafoclimáticas y culturales de las regiones donde han sido seleccionados, por lo que presentan un alto nivel de adaptación a cada condición particular, aumentando la probabilidad de que los materiales liberados sean finalmente adoptados Gepts (2006).

En 1931 Pound estimó que en Trinidad había aproximadamente 50 millones de árboles de cacao con una gran variabilidad genética, producto de la hibridación entre Criollos y Forasteros, con lo cual inició la selección de árboles sobresalientes para obtener una verdadera muestra del total de la población con características deseables. Entre 1933 y 1936 realizó tres periodos de selecciones, logrando coleccionar 100 materiales excelentes, con altos rendimientos y buena calidad. Estos materiales ahora son reconocidos mundialmente como ICS (Imperial College Selection), (Johnson *et al.*, 2004).

El trabajo se basó en los conceptos y procesos de la Selección Varietal Participativa (SVP) para la selección de genotipos regionales de cacao con características promisoras que luego fueron evaluados para seleccionar los mejores que finalmente fueron entregados a los productores siguiendo las normas establecidas en Colombia, para la liberación de semillas comerciales. Los resultados del trabajo permitieron demostrar que mediante la selección de nuevos genotipos con características especiales en fincas de agricultores es posible obtener nuevos genotipos con características de productividad, respuesta a enfermedades y calidad.

## **2. Metodología**

### **2.1 Selección de árboles promisorios**

Desde los años 90, FEDECACAO inició el proceso de búsqueda, selección y evaluación de árboles sobresalientes en fincas de agricultores en todas las regiones productoras del país como estrategia para el rescate y conservación de la diversidad genética que había sido generada con el uso de la semilla híbrida. Estos proyectos, que se realizaron en todas las regiones productoras del país, permitieron que los agricultores participaran en la escogencia de sus mejores árboles, con lo cual se crearon las pautas de un proceso de selección, mantenimiento y conservación de los recursos genéticos locales de cacao en el país (Aranzazu *et al.*, 2009).

En el año 2005, la Federación lanzó el concurso “Se Busca” (Figura 1), que motivó a los agricultores a seleccionar los mejores árboles dentro de sus plantaciones (Aranzazu *et al.*, 2009), lo que generó conocimiento acerca de la diversidad existente en el país y el potencial para el mejoramiento de la productividad, obteniendo como resultado de la campaña materiales promisorios en todas las regiones productoras.



**Figura 1.** Afiche promocional de la Campaña “Se Busca” de Fedecacao, 2004.

Para la identificación y preselección de árboles promisorios en las fincas de productores se establecieron los siguientes parámetros:

- ✓ Árboles productivos mayores de quince años de edad
- ✓ Árboles dentro de plantaciones, es decir en competencia con otros árboles
- ✓ Árboles con buena distribución de cojines florales en troncos y ramas primarias
- ✓ Árboles con buena arquitectura (buena distribución de ramas en el tronco)
- ✓ Árboles con más de sesenta frutos dos meses antes del pico de la cosecha principal
- ✓ Árboles con índice de mazorca menor de 18
- ✓ Árboles con índice de semilla mayor a 1,5 gr/semilla
- ✓ Árboles tolerantes a enfermedades, especialmente a monilia y escoba de bruja
- ✓ Árboles tolerantes al estrés de sequía y humedad

Durante 24 meses de seguimiento, quincenalmente se registró en cada árbol el número de mazorcas sanas y la incidencia de Monilia (*Moniliophthora roreri* Evans). En cada semestre con una muestra de 20 mazorcas tomadas al azar por cada árbol, se realizaron evaluaciones de índices de grano (IG) y mazorca (IG), peso, longitud y diámetro de las mazorcas, peso húmedo de granos, calibre de la corteza y número de almendras por mazorca.

Para la selección de los mejores árboles se aplicó el índice de selección según el método propuesto por Soria (1966). Para este caso específico, se ajustaron los índices inicialmente propuestos, teniendo en cuenta las condiciones del cacao de Colombia (Tabla 1).

**Tabla 1.** Índices utilizados para selección de árboles promisorios de cacao en Colombia

DESCRIPTOR - VARIABLE	ÍNDICES Y LÍMITES		
	1	2	3
Número de frutas/árbol/año	< 70	70-100	>101
Índice de mazorca	> 21	16 - 20	<15
Índice de grano (gr.)	< 1.3	1.4 – 1.5	> 1.6
Número de almendras/mazorca	< 35	36 - 45	> 46
Porcentaje de frutos con monilia	> 16	5 - 15	<5

Referencia: Aranzazu *et al.*, (2009).

La selección final de los árboles se realizó calificando cada uno, asignando un valor de 1 a 3 a cada característica según la tabla 1. La sumatoria final de las características dio un resultado final, permitiendo organizar los árboles de mayor a menor puntaje obtenido, siendo el mayor puntaje 18. La línea base para el descarte de los árboles en evaluación se ubicó en un valor inferior a 14 puntos.

## 2.2 Caracterización morfológica de árboles

Cada uno de los materiales evaluados fue caracterizado morfológicamente utilizando los descriptores cualitativos y cuantitativos más importantes según lo propuesto por Engels *et al.*, (1980). Se evaluaron un total de 22 variables, según la tabla 2.

**Tabla 2.** Relación de descriptores utilizados para caracterización de materiales de cacao.

Variables Cuantitativas	Estructura	Variables Cualitativas	Estructura
Número de frutos con Monilia (PM)	Fruto	Color del fruto (CFR)	Fruto
Número de frutos por año (FA)	Fruto	Color del brote terminal (CB)	Hojas
Índice de grano (IG)	Fruto	Color de la flor (CFL)	Flor
Índice de mazorca (IM)	Fruto	Forma del ápice del fruto (FAF)	Fruto
Número de granos por mazorca (GM)	Fruto	Forma del fruto (FF)	Fruto
Peso fresco de granos por mazorca (PFG)	Fruto	Rugosidad del fruto (RD)	Fruto
Longitud de la mazorca (LM)	Fruto	Forma del grano (FG)	Fruto
Perímetro de la mazorca (PM)	Fruto	Pubescencia en brote terminal (PU)	Hojas
Peso de mazorca (PM)	Fruto	Follaje, frondosidad (FR)	Hojas
Grosor de la corteza (CC)	Fruto		
Longitud de la hoja (LH)	Hojas		
Ancho de la hoja (AH)	Hojas		

Número de flores por cojín (NFC)	Flor		
13 variables		9 variables	

### 2.3 Evaluación de árboles seleccionados

Luego de seleccionar los mejores árboles, éstos se establecieron en experimentos con diseño BCA, y en parcelas en hileras de quince plantas, registrando datos a diez árboles de cada clon en cada localidad, de acuerdo a lo establecido por Dos Santos *et al.*, (2001) y Barreto (2001), quienes en experimentos llevados a cabo en Brasil determinaron que el tamaño óptimo de parcela se ha establecido de una a seis plantas por genotipo.

Los genotipos se evaluaron en diferentes condiciones ambientales, durante periodos de 6 años, registrando mensualmente el número de frutos sanos y enfermos producidos, así como los demás componentes del rendimiento, también se realizaron caracterizaciones morfológicas, físicas, químicas y sensoriales. Los datos obtenidos fueron analizados mediante estadística descriptiva y multivariada, con programas estadísticos como SAS 9.0, Statgraphics Centurion 15, Stata 12 y Past.

Para la evaluación de nuevos genotipos promisorios la Federación ha contado con diez granjas y veinte unidades técnicas distribuidas en las principales regiones cacaoteras del país, donde se han realizado las pruebas de evaluación agronómica. También se han instalado algunas parcelas en fincas de agricultores con el fin de conocer el comportamiento de estos nuevos materiales con el manejo de los agricultores

Los resultados obtenidos demostraron que algunos de los materiales evaluados presentaban altos rendimientos y características sobresalientes en calidad o resistencia a enfermedades, por lo que se consideró conveniente iniciar el proceso de obtención de certificados comerciales de los genotipos que demostraron los mejores resultados.

Según las normas establecidas por la ley colombiana, en la cual el Instituto Colombiano Agropecuario –ICA- tiene como función ejercer control técnico de la producción y comercialización de insumos agropecuarios y material genético animal y vegetal con el fin de prevenir riesgos que puedan afectar la sanidad e inocuidad de especies vegetales y animales y la producción agropecuaria del país, según el Decreto 1840 del 3 de agosto de 1994 y la Resolución n.º 3168 del 7 de septiembre de 2015, “por medio de la cual se reglamenta y controla la producción, importación y exportación de semillas producto del mejoramiento genético para la comercialización y siembra en el país, así como el registro de las unidades de evaluación agronómica y unidades de investigación en fitomejoramiento y se dictan otras disposiciones.

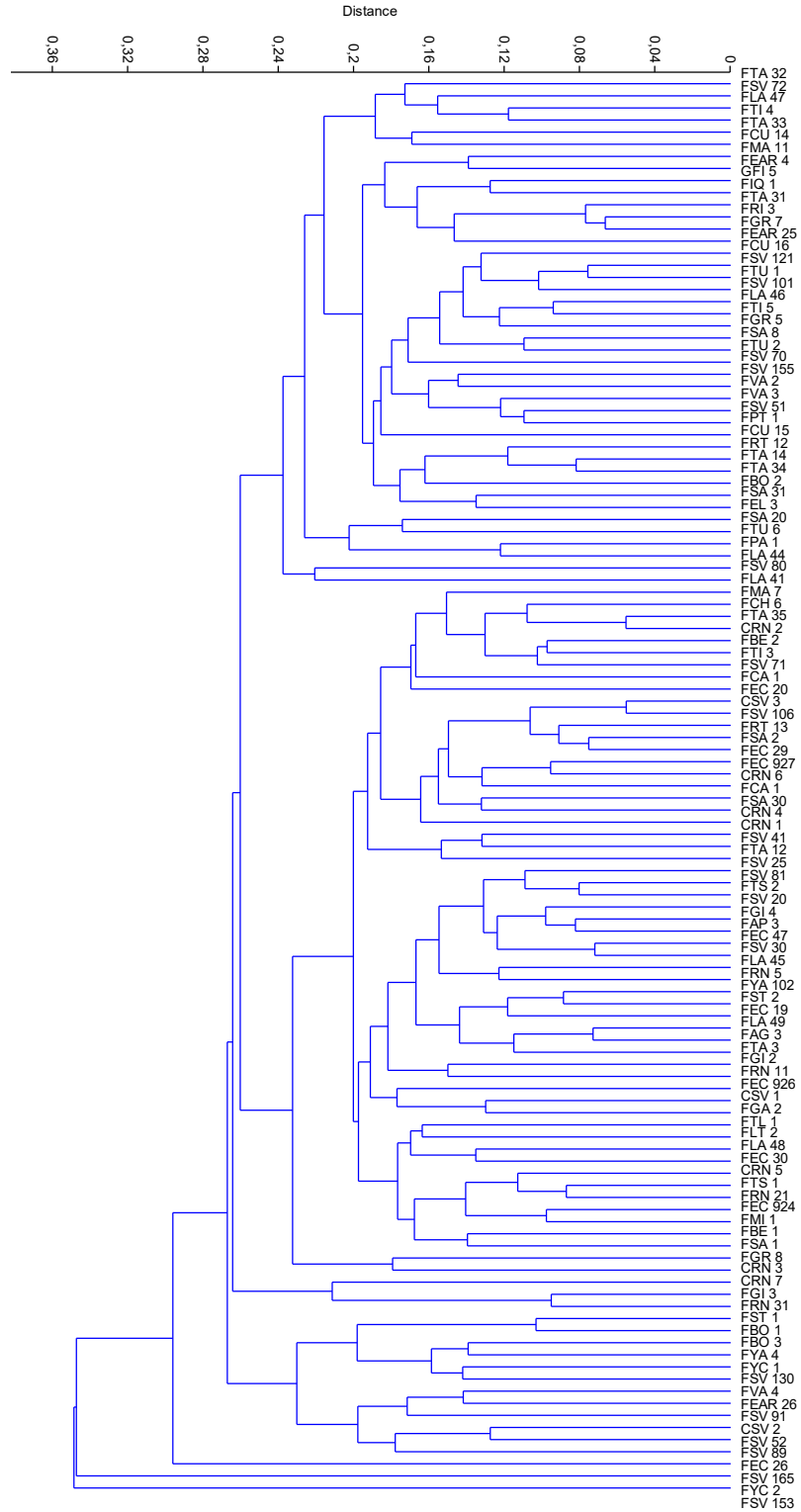
En el país no se habían realizado procesos para obtención de registros comerciales para cacao, como se han realizado para otras especies cultivadas tales como cereales o papa. En el año 2012 la Federación inició el proceso para la obtención del registro comercial de los genotipos: FTA 2, FEAR 5, FSA 12, FSA 13, FSV 41, FLE 2, FLE 3 y FEC 2.

### 3. Resultados

En la figura 2 se presenta el análisis de conglomerados que se realizó con los 117 árboles seleccionados hasta 2011. El dendograma obtenido mediante la distancia de Gower y el algoritmo UPGMA con los datos de las 22 variables tanto cualitativas como cuantitativas utilizadas en la evaluación de los materiales, muestra que los materiales FSV 153, FEYC 2 y FSV 165 se ubicaron en forma separada de los demás grupos.

Los demás materiales se organizaron en tres grupos, lo que puede indicar el movimiento de los materiales entre las regiones de cultivo. Es necesario aclarar que los árboles estudiados provienen de materiales descendientes cacao común e híbridos que fueron establecidos en plantaciones comerciales en los años 60 a 80 y polinizaciones abiertas de estos híbridos, lo que explica la variabilidad encontrada.

Con la selección inicial de árboles con características promisorias se encontraron algunos que superaron los cien frutos por árbol al año, como el caso del material FSV 25, con 204, y el FGI 4, con 200. Asimismo, se seleccionaron árboles con índices de grano superior a 1,5, entre los que se destacaron FSV 41 y FSV 153. En cuanto al índice de mazorca sobresalen materiales como FSV 41, FSV 25, FTA 2 y el material FEC 2, que ha demostrado resistencia a monilia (Perea *et al.*, 2013). También se seleccionaron materiales que presentaron almendras de color blanco, rosado o violeta, típicas de cacao tipo Criollo y Trinitario. Según los resultados, los materiales seleccionados presentaron valores promedio de índice de grano, índice de mazorca, número de frutos por árbol superiores a los reportados en otros trabajos de selección similares en otros países como en Ecuador, Costa Rica y México (Amores *et al.*, 2009; Cueto-Moreno *et al.*, 2007; Phillips-Mora *et al.*, 2012).



**Figura 2.** Relación morfológica de 117 materiales de cacao de datos combinados de 13 variables cuantitativas y 9 cualitativas.

Hasta el año 2016 la Federación ha seleccionado 116 árboles procedentes de 40 municipios, correspondientes a doce departamentos de todas las regiones cacaoteras del país, según la tabla 3.

**Tabla 3.** Relación de árboles seleccionados por Fedecacao 2004 – 2016.

Municipio	No.	Identificación
San Vicente de Chucurí	31	FSV 25, FSV 30, FSV 52, FSV 61, FSV 72, FSV 80, FSV 81, FSV 85, FSV 86, FSV 88, FSV 89, FSV 106, FSV 130, FSV 153, FSV 155, FSV 94, FSV 1, FSV 170, FSV 171, FSV 172, FSV 173, FSV 174, FSV 175, FSV 176, FSV 179, FSV 180, FSV 181, FSV 182, FSV 183, FSV 184, FSV 185.
Saravena-Tame	6	FSA 11, FSA 20, FSA 30, FTA 32, FTA 33, FTA 38
Medellín	10	FMAC 11, FMAC 12, FMAC 14, FYA 104, FTA 15, FMAC 20, FVD 1, FVE 1, FYA 1, FYA 2
Chaparral	6	FCH 6, FRT 12, FMT 1, FSAT 10, FSAT 11, FRT 15
Landázuri	11	FBO 1, FBO 3, FBO 5, FLA 45, FLA 59, FLA 60, FLA 61, FLA 62, FLA 63, FBZ 1, FBO 7
Rionegro	3	FRN 5, FRN 32, FLE 4
Valledupar	3	FVA 3, FVA 6, FVA 8
Neiva	7	FRI 4, FPA 1, FTL 2, FIQ 101, FIQ 102, FIQ 103, FRI 101
Araucuita	2	FEAR 4, FEAR 26,
El Carmen	9	FEC 7, FEC 44, FEC 937, FEC 938, FEC 51, FEC 52, FEC 53, FEC 55, FEC 56
Apartado	9	FCH 8, FCH 5, FCH 10, FAP 66, FAP 67 FCHI 26, FCHI 27, FTUR 2, FTUR 3
Garzón	4	FGI 4, FTS 2, FTS 4, FGI 7
Granada	2	FPR 1, FVH 1
Tumaco	2	FTU 6, FTU 17
Pereira	1	FMA 7,
Yacopí	6	FYC 2, FQIP 1, FCP 1, FYC 3, FYC 4, FYC 6
Boyacá	3	FBV 3, FCO 1, FMU 1
Cúcuta	1	FCU 16
<b>TOTAL</b>	<b>116</b>	

Mediante la evaluación en experimentos y parcelas se observó que los clones FEC 2, FEAR 5, FLE 2, FLE 3, FSA 12, FSA 13, FSV 41 y FTA 2 presentaron características sobresalientes relacionadas con los componentes del rendimiento, así como también en la respuesta a enfermedades y la calidad integral, por lo que se inició el proceso para la obtención del registro comercial. En la tabla 4 se presentan los valores promedio de las variables evaluadas en diferentes localidades para los 8 genotipos.



**Tabla 4.** Componentes del rendimiento y reacción a Monilia, en clones introducidos y regionales en Colombia. Promedio de 10 años y 19 localidades

Material	kg/ha/año	Frutos/árbol/año	I. Grano	I. Mazorca	Reacción a Monilia
<b>FLE 3</b>	1.843	20	1,5	17	M.R
<b>FSA 13</b>	1.824	33	1,5	19	M.S
<b>FEAR 5</b>	1.689	28	1,4	18	M.S
<b>FLE 2</b>	1.612	20	1,7	13	M.R
<b>FSA 12</b>	1.575	29	1,3	21	M.R
<b>FSV 41</b>	1.496	15	2,0	12	s
<b>CCN 51</b>	1.441	26	1,6	15	M.R
<b>FTA 2</b>	1.389	22	1,6	15	M.S
<b>FEC 2</b>	1.370	16	1,3	18	R
<b>TSH 565</b>	1.212	27	1,4	18	S

Según los resultados obtenidos en la evaluación de materiales, donde se utilizaron como testigos TSH 565 y CCN 51 referenciados como materiales de alto rendimiento, se puede decir que para todas las variables evaluadas en este estudio, los materiales seleccionados por Fedecacao a partir del año 2000, en la mayoría de los casos superaron o se comportaron de igual forma que los materiales usados como testigo.

Con la Resolución 5547 de diciembre de 2013, la Federación obtuvo el registro de la Unidad de Investigación en Fitomejoramiento para Cacao, quedando obligada a cumplir con las disposiciones de la Resolución 970 de 2010 y demás normas que regulen la investigación en fitomejoramiento. Con el registro de la Unidad de Investigación en Fitomejoramiento, Fedecacao ha continuado trabajando en la selección de genotipos de interés para el incremento de la productividad en el país, obteniendo, a finales de 2014, los registros comerciales de ocho clones de cacao para las regiones de la montaña santandereana y el piedemonte llanero. Para la obtención del registro comercial fue necesario evaluar por seis años los clones promisorios mediante experimentos establecidos en arreglos con diseño experimental que permitieran validar estadísticamente los componentes del rendimiento y resistencia a enfermedades, así como componentes de la calidad del grano. Finalmente, el 2 de diciembre de 2014, el ICA otorgó el registro comercial a ocho materiales según las resoluciones que se presentan en la tabla 5.

**Tabla 5.** Resoluciones de los ocho nuevos clones liberados por Fedecacao en 2014

Nombre comercial	Nombre común	Resolución ICA
FEAR 5	Fedecacao Arauquita 5	4179
FEC 2	Fedecacao El Carmen 2	4180
FLE 2	Fedecacao Lebrija 2	4181
FLE 3	Fedecacao Lebrija 3	4182
FSA 12	Fedecacao Saravena 12	4183
FSA 13	Fedecacao Saravena 13	4184
FSV 41	Fedecacao San Vicente 41	4185
FTA 2	Fedecacao Tame 2	4186

Estos nuevos clones hacen parte de los proyectos de nuevas siembras y modernización del cacao de Colombia y poseen características de alto rendimiento, mejor nivel de respuesta de defensa a monilia y calidad sensorial, como resultado del proceso de mejoramiento genético realizado, en donde las técnicas de selección varietal participativa y el aprovechamiento de la diversidad genética de la especie han sido la base. También pueden ser usados como parentales en procesos de mejoramiento genético y cruzamientos para la obtención de nuevas progenies que apoyarán el incremento de la productividad y calidad del cacao, con el objetivo de abastecer el mercado nacional y generar excedentes exportables.

#### **4. Conclusiones**

Mediante Selección Varietal Participativa se encontraron individuos con características agronómicas deseables que incluyeron materiales con índices de grano y mazorca favorables, con alta tolerancia en campo a Monilia (*Moniliophthora roreri* Evans) entre otras características, demostrando que las variables de preselección fueron eficientes en dirección de selección por componentes de rendimiento.

Los resultados obtenidos permitieron concluir que se debe continuar con la selección de genotipos con características especiales. En 2014 se obtuvo el registro comercial para 8 nuevos genotipos de cacao que poseen características de alto rendimiento, mayor tolerancia a monilia y calidad sensorial, en tanto que Fedecacao continua trabajando en la selección de genotipos de interés para el incremento de la productividad e incentivando nuevas selecciones de materiales promisorios con características de cacao fino de sabor y aroma.

#### **5. Bibliografía**

Aranzazu, F., Martínez, N., Rincón, D., & Palencia, G. (2009). Materiales de cacao en Colombia, su compatibilidad sexual y modelos de siembra. Unión Temporal Cacao de Colombia Uno. Fedecacao-Corpoica. Bucaramanga: Industrias Gráficas

Barreto, A., 2001. Melhoramento clonal. Em: Melhoramento genético do cacauero. Pereira, A. B., & Dias, L. A. S. Melhoramento clonal. Melhoramento genético do cacauero. Viçosa: Funape, 439- 492

Cueto-Moreno, J., Aguirre-Medina, J. F., Zamarripa-Colmenero, A., Juan, L. I. D., & Olivera-De los Santos, A. (2007). El mejoramiento del cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.) en México. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Campo Experimental “Rosario Izapa”, Tuxtla Chico. Chiapas, México

dos Santos, L., & Vilela, M. (2001). Experimentação no melhoramento. Pereira, A. B., & Dias, L. A. S. Melhoramento clonal. Melhoramento genético do cacauero. Viçosa: Funape, 439-492.

Engels, J. M. (1981). Genetic resource of cacao [*Theobroma cacao*]: a catalogue of the CATIE collection. Technical Series. Technical Bulletin

Gepts, P. (2006). Plant genetic resources conservation and utilization. *Crop Science*, 46(5), 2278-2292.

Johnson, E.; Bekele, F y Schnell, R. 2004. Field Guide to the ICS Clones of Trinidad. Tropical Agricultural Research and Higher Education Center. Manual técnico No. 54. CATIE. Turrialba, Costa Rica. 31 p.

Perea, A., Martínez, N., Aranzazu, F., Cadena, T. (2013). Características de calidad del cacao de Colombia. Catálogo de 26 cultivares. Universidad Industrial de Santander – Fedecacao. Bucaramanga, Colombia. ISBN978-958-8819-09-9. 107 p.

Phillips-Mora W, Arciniegas A, Mata A, Motamayor J. (2012). Catálogo de clones de cacao seleccionados por el CATIE para siembras comerciales. Programa de Mejoramiento Genético. CATIE. Turrialba, Costa Rica.

Soria, B. J. (1966). Obtención de clones de clones cacao por método de índices de selección. *Revista Turrialba*, 6 (2), 119 – 124

Sthapit, B. R; Joshi, K. D. y Witcombe. J. R. (1998). Farmer participatory cultivar improvement: A case of high altitude rice from Nepal. *Experimental Agriculture*, 1998, vol 32. P. 479-496