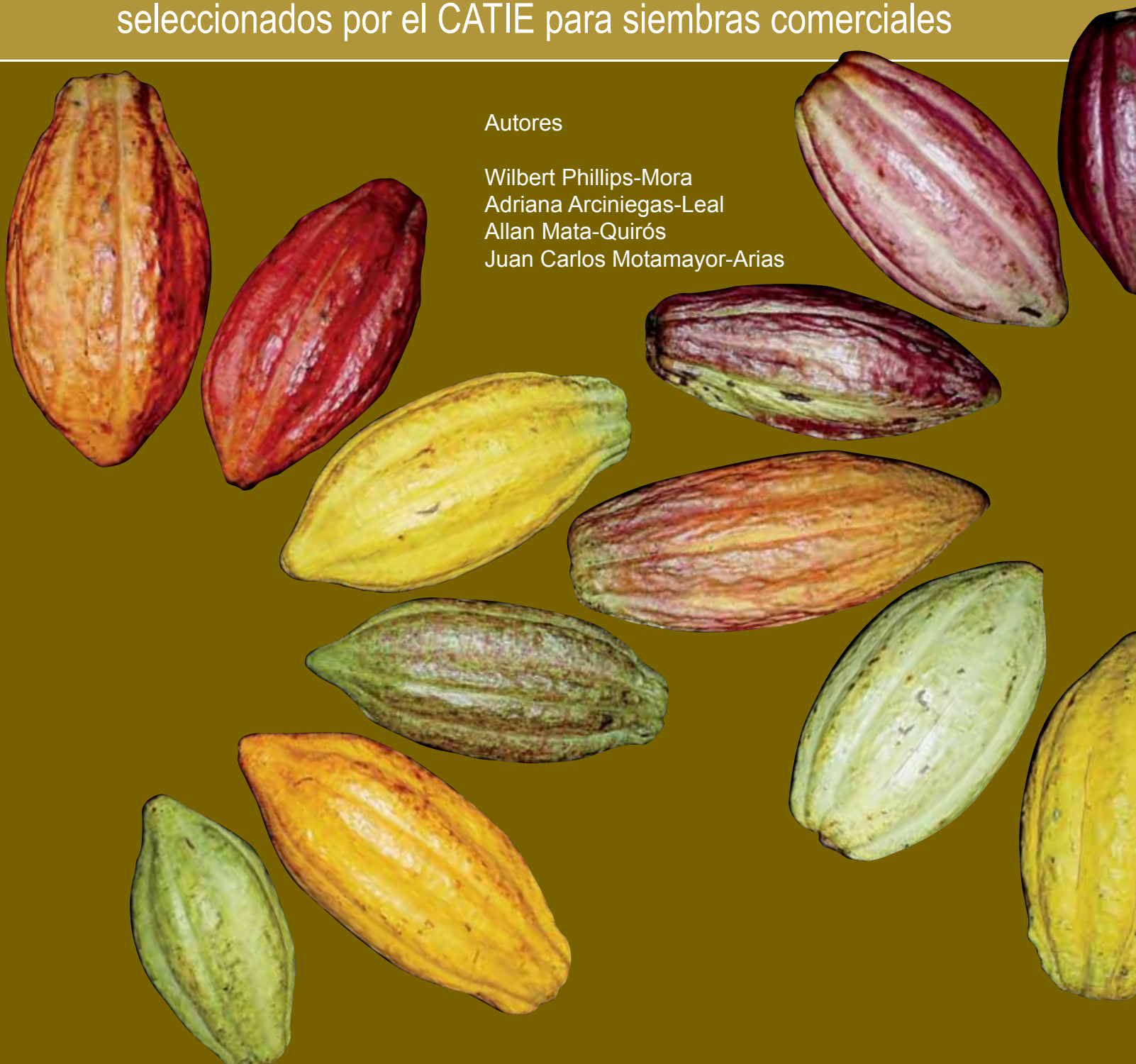


Catálogo de clones de cacao

seleccionados por el CATIE para siembras comerciales

Autores

Wilbert Phillips-Mora
Adriana Arciniegas-Leal
Allan Mata-Quirós
Juan Carlos Motamayor-Arias



Serie técnica.
Manual técnico no.105

Catálogo de clones de cacao

seleccionados por el CATIE para siembras comerciales

Autores

Wilbert Phillips-Mora
Adriana Arciniegas-Leal
Allan Mata-Quirós
Juan Carlos Motamayor-Arias

Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE)
Programa de Mejoramiento Genético de Cacao
Programa Agroambiental Mesoamericano - Proyecto Cacao Centroamérica
Turrialba, Costa Rica, 2012

CATIE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza) es un centro regional dedicado a la investigación y la enseñanza de posgrado en agricultura, manejo, conservación y uso sostenible de los recursos naturales. Sus miembros son el Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA), Belice, Bolivia, Colombia, Costa Rica, El Salvador, Guatemala, Honduras, México, Nicaragua, Panamá, Paraguay, República Dominicana, Venezuela, España y el Estado de Acre en Brasil.

© Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, CATIE, 2012

ISBN 978-9977-57-571-1

633.7414

C357 Catálogo de clones de cacao seleccionados por el CATIE para siembras comerciales / Wilbert Phillips Mora...[et al.]. – 1ª ed. – Turrialba, C.R. : CATIE, 2012.
68 p. : il. – (Serie técnica. Manual técnico / CATIE ; no.105)

ISBN 978-9977-57- 571-1

1. Theobroma cacao – Clones – Catálogos
2. Theobroma cacao – Colecciones de material genético – CATIE
I. Phillips Mora, Wilbert. II. Arciniégas Leal, Adriana. III. Mata Quirós, Allan. IV. Motamayor Arias, Juan Carlos CATIE II. Título III. Serie.

Créditos

Autores: Wilbert Phillips-Mora
Adriana Arciniégas-Leal
Allan Mata-Quirós
Juan Carlos Motamayor-Arias

Revisores Técnicos: Eduardo Somarriba Chávez
Francisco Mesén Sequeira

Coordinación General: Shirley Orozco Estrada

Edición: Shirley Orozco Estrada, Marilyn Villalobos

Diseño gráfico: Rocío Jiménez Salas,
Oficina de Comunicación e Incidencia, CATIE

Fotografías: Programa de Mejoramiento Genético de Cacao del CATIE
Proyecto Cacao Centroamérica-MAP (Foto A página 49)

Ilustración: Familia productora en Figura 2, Luis Enrique Gutiérrez González

Esta es una producción del Proyecto Cacao Centroamérica, una iniciativa del Programa Agroambiental Mesoamericano (MAP por sus siglas en inglés), en alianza con el Programa de Mejoramiento Genético de Cacao, ambos del CATIE.

Contenido

Introducción	4
Frutos de los clones seleccionados por el CATIE	6
Primera parte. Información general	8
Generalidades sobre el mejoramiento genético en cacao	8
Estrategia de mejoramiento del CATIE	10
Etapas desarrolladas en el CATIE	13
Segunda parte. Datos de pasaporte y caracterización morfológica de los clones	21
Datos de pasaporte y otras características generales	21
Descriptores morfológicos	21
Resultados obtenidos	27
CATIE-R1	30
CATIE-R4	32
CATIE-R6	34
CC-137	36
ICS-95 T1	38
PMCT-58	40
Tercera parte. Caracterización molecular	42
Cuarta parte. Evaluación agronómica de los clones	44
Rendimiento	44
Reacción natural a moniliasis y mazorca negra	47
Reacción artificial a moniliasis y mazorca negra	50
Índices de fruto y de semilla	50
Índice de eficiencia del rendimiento	52
Quinta parte. Auto e inter-compatibilidad	54
Procedimiento	54
Auto e inter-compatibilidad de los clones	55
Sexta parte. Calidad industrial y protocolos de beneficiado	57
Análisis individual de los seis clones	58
Análisis de la mezcla de los seis clones	62
Mejoramiento de los protocolos de beneficiado	62
Literatura citada	64
Agradecimientos	67
Glosario de términos usados en el documento	68

Introducción

El auge que experimenta la actividad cacaotera en Latinoamérica está limitado por el grave impacto de las enfermedades y el bajo desempeño de muchas plantaciones debido a razones genéticas y de manejo. El uso de variedades mejoradas en combinación con prácticas agrícolas apropiadas, permitiría incrementar la producción y combatir las enfermedades en forma eficaz, duradera, económica y amigable con el ambiente. Esto adquiere particular interés en Latinoamérica en donde el cacao es frecuentemente sembrado por pequeños agricultores y agricultoras de escasos recursos, a veces ubicados en áreas aisladas o muy sensibles a los cambios ambientales. Las variedades mejoradas podrían incrementar el nivel de vida de estos productores y contribuir, a su vez, con un suministro más estable de cacao para la industria, una situación ganar-ganar para las familias productoras, los fabricantes de chocolates y los ecosistemas (Guiltinan y Maximova 2002).

El Programa de Mejoramiento Genético de Cacao del CATIE (en adelante PMG) ha generado variedades mejoradas usando como base la amplia diversidad genética contenida en su Colección Internacional de Germoplasma (IC3). En los últimos 25 años de investigación, ha identificado clones tolerantes a moniliasis con distinto origen genético y/o geográfico. Estos clones están siendo cruzados progresivamente para obtener variedades con niveles crecientes de resistencia, aprovechando de esta forma el carácter predominantemente aditivo que tiene esta característica en cacao (Cervantes-Martínez *et al.* 2006).

Estos estudios adquieren relevancia mundial por ser la moniliasis una de las amenazas más graves para la cacaocultura moderna. Actualmente la enfermedad está confinada en 13 países de América tropical^{1/} pero podría diseminarse a los mayores centros de producción en África occidental y el sudeste asiático, poniendo en riesgo a la industria chocolatera mundial. Por otra parte, la generación de clones con alta resistencia permitiría producir cacao en ambientes infestados con moniliasis, en donde la única alternativa hasta hace poco, era el abandono o cambio de actividad de las plantaciones como ha sido documentado en diferentes épocas y países de la región (Phillips-Mora y Wilkinson 2007).

A partir de ensayos de campo conducidos durante los últimos 15 años, el PMG seleccionó en 2007 un grupo de 6 clones trinitarios de buena producción y tolerancia a moniliasis (CATIE-R1, CATIE-R4, CATIE-R6, CC-137, ICS-95 T1 y el PMCT-58) para su distribución en Centroamérica. Estos clones son parte de la estrategia genética del Proyecto Cacao Centroamérica (PCC) y de otras iniciativas regionales tendientes a modernizar integralmente las plantaciones, y mejorar los ingresos y las condiciones de vida de las familias productoras.

Dentro del marco de trabajo del PCC, los clones están siendo establecidos en una red de jardines clonales en Panamá, Costa Rica, Nicaragua, Honduras, Guatemala y Belice, lo que permitirá definir su rango de adaptación y la existencia de interacciones genotipo x ambiente. Debido al amplio rango de condiciones climáticas y de suelo que hay en Centroamérica, los clones conservarán su carácter

1/ Belice, Colombia, Costa Rica, Ecuador, El Salvador, Guatemala, Honduras, México, Nicaragua, Perú, Panamá y Venezuela. La presencia de la enfermedad en Bolivia fue corroborada por el primer autor en agosto 2012.

experimental hasta que no se corrobore su adaptación en agro-ambientes específicos.

El objetivo de este catálogo es poner a disposición de los agricultores y agricultoras, personal técnico y científico, empresas chocolateras y otros interesados, la información genética, agronómica, morfo-fisiológica y molecular que el PMG y sus colaboradores han generado para los seis clones seleccionados. En el documento se describe la estrategia de mejoramiento genético desarrollada por el CATIE y se indican las condiciones físicas, ambientales y agronómicas de los ensayos de campo involucrados en el proceso, así como las razones que justificaron la selección de los materiales.

Los datos morfo-fisiológicos permitirán distinguir los seis clones, compararlos con otros materiales de interés y corroborar su identidad. En caso de que se requiera una confirmación más contundente se puede hacer uso de la información molecular que se aporta. Finalmente, se describe en detalle toda la información disponible sobre el comportamiento agronómico de los clones: su potencial productivo, su reacción natural y artificial a moniliasis y mazorca negra, y su calidad industrial.

“Una variedad exitosa es una rara combinación de genes difícil de desarrollar...”

Briggs & Knowles, 1967.



Frutos de los clones seleccionados por el CATIE





CC-137



ICS-95 T1



PMCT-58

Primera parte Información general

Generalidades sobre el mejoramiento genético en cacao

Aunque es comúnmente aceptado que el éxito futuro y la sostenibilidad de la actividad cacaotera dependerá en gran medida de la capacidad de generar nuevas variedades, muy pocos avances se han logrado globalmente en esa dirección (Efron *et al.* 2003a). Así por ejemplo, hasta hace poco, sólo el 30% del cacao producido en el mundo provenía de variedades mejoradas (Paulin y Eskes 1995) y menos del 1% de los mejores clones se había originado en los 20 años precedentes (Lockwood 2003). Esto es sorprendente considerando la amplia diversidad genética del cacao en Latinoamérica, la cual fue colectada en forma intensa en los años 30 y conservada en colecciones que no han sido sistemáticamente aprovechadas.

Una consecuencia inmediata de la estrecha base genética que poseen las variedades comerciales es su gran vulnerabilidad a las enfermedades devastadoras (Figura 1), lo cual fue evidente, por



Figura 1. Principales enfermedades del cacao en América Tropical: A. Mazorca negra (*Phytophthora palmivora*), B. Moniliasis (*Moniliophthora roreri*) y C. Escoba de bruja (*Moniliophthora perniciosa*).

ejemplo, con la aparición de la escoba de bruja (*Moniliophthora perniciosa* Aime & Phillips-Mora) en Brasil en 1978 (Pereira *et al.* 1996) y la moniliasis (*Moniliophthora roreri* Evans *et al.*) en México en el 2005 (Phillips-Mora *et al.* 2006; Phillips-Mora *et al.* 2007b).

El lento progreso en la generación de nuevas variedades puede atribuirse a diferentes razones:

- Al igual que en otros cultivos perennes, el mejoramiento genético en cacao es muy lento, con frecuencia, un solo ciclo de selección dura más de una década y muchas veces es necesario completar dos o más ciclos antes de poder liberar una nueva variedad. Aún para cultivos anuales se ha estimado que el desarrollo de una nueva variedad requiere de 10 a 20 años de trabajo (Briggs y Knowles 1967).
- Los parámetros de evaluación más importantes en cacao se empiezan a medir cuando las plantas alcanzan su madurez y se requieren varios años de datos para poder llegar a conclusiones confiables.
- La mayoría de los caracteres de importancia económica en cacao son multigénicos y con frecuencia poseen una herencia compleja difícil de manipular en forma conjunta, lo que hace indispensable que el mejoramiento sea efectuado en etapas sucesivas que incrementan la duración del proceso.
- Muchos programas de mejoramiento han tenido una duración efímera o intermitente en concordancia con los precios internacionales del grano.
- Otros programas han puesto un énfasis excesivo en la búsqueda de individuos resistentes a las enfermedades, llegando con frecuencia a ser el único objetivo del programa y un fin en sí mismo, con muy poca atención al mejoramiento de la producción (Kennedy *et al.* 1987).
- Los programas de mejoramiento se han basado en unos pocos genotipos de las series Scavina (SCA), Pound, Nanay (NA), Parinari (PA), United Fruit (UF), Iquitos Mixed Calabacillo (IMC) e Imperial College Selection (ICS) seleccionados en los años 1940-1950, desaprovechando la amplia diversidad genética presente en las colecciones de germoplasma (Lopes *et al.* 2011).

Para que un programa de mejoramiento en cacao sea exitoso debe:

- a) Contar con una base genética amplia acorde a los fines que persigue;
- b) Enfocarse en solucionar los principales factores limitantes de la producción tanto actuales como potenciales;
- c) Ser congruente con las necesidades de los agricultores y agricultoras, y sensible a las demandas de los mercados;
- d) Tener una duración y continuidad coherentes con los objetivos que se espera alcanzar.

Estrategia de mejoramiento del CATIE

El CATIE, con el apoyo del *American Cocoa Research Institute* (ACRI) y más adelante la *World Cocoa Foundation* (WCF), inició en 1996 un programa de mejoramiento genético tendiente a identificar fuentes de resistencia a moniliasis y mazorca negra (*Phytophthora palmivora* Butler) y crear variedades resistentes de buena producción. A escala mundial y debido a su gran relevancia, la producción y la resistencia a enfermedades son los caracteres que han recibido la mayor atención de los mejoradores, seguidos por la compatibilidad sexual y la calidad (Lopes *et al.* 2011).

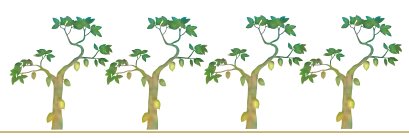
El programa se ha desarrollado ininterrumpidamente por 15 años y ha sido fortalecido en años recientes con proyectos paralelos en asocio con USDA/MARS (2002-) y Bioversity-CFC (2005-2009).

En la Figura 2 se resume la estrategia de mejoramiento genético del CATIE para obtener progenies, clones y árboles superiores. La estrategia sigue cuatro diferentes rutas que parten del germoplasma contenido en la Colección Internacional (Foto 1) y que se describen a continuación:

10



Foto 1. Vista parcial de la Colección Internacional de Germoplasma de Cacao del CATIE ubicada en Turrialba, Costa Rica.



Colección de Germoplasma

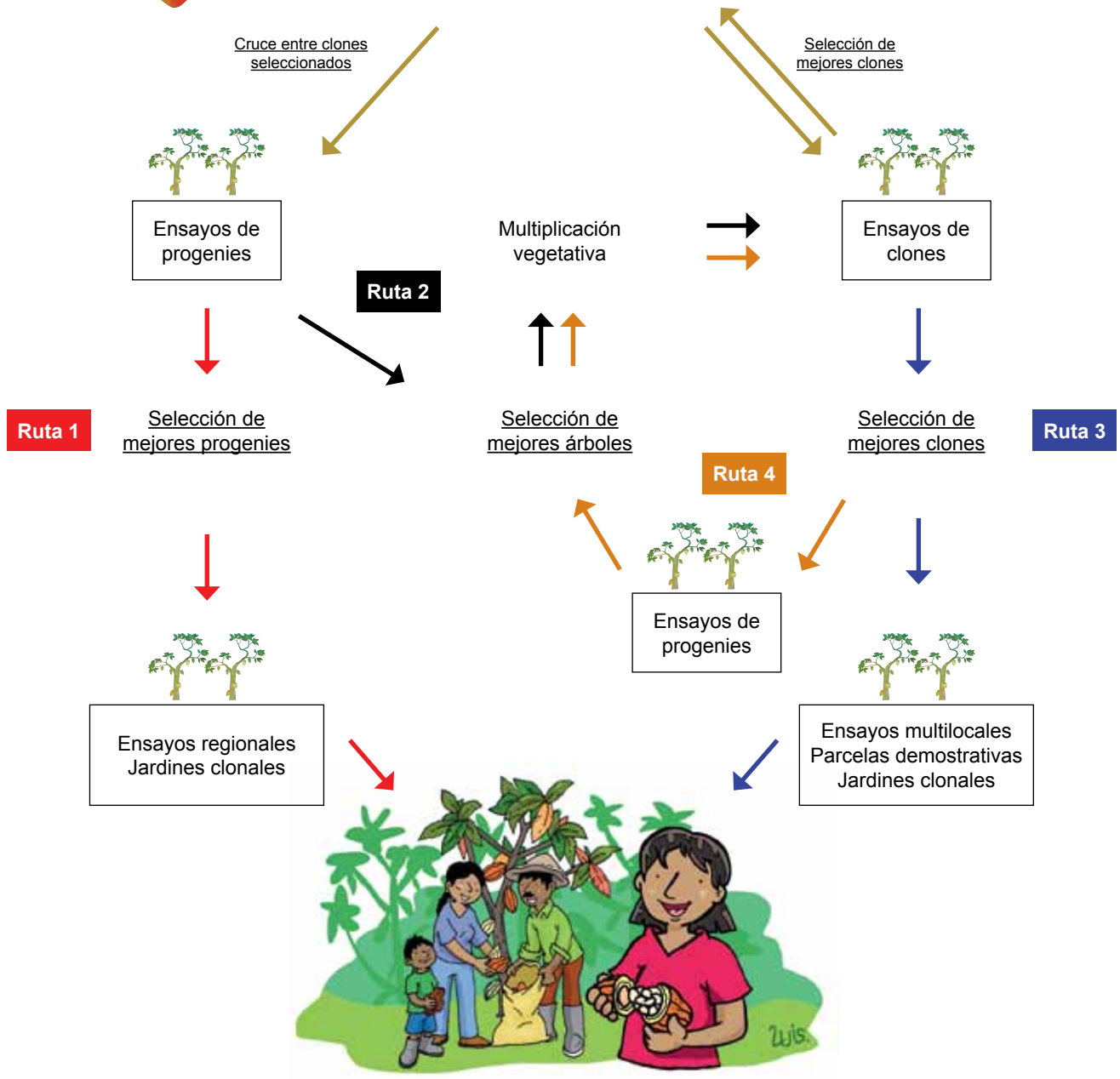


Figura 2. Estrategia de mejoramiento del CATIE y rutas para obtener germoplasma superior.

- **Ruta 1:** Se establecen ensayos de progenies (familias híbridas) obtenidas mediante el cruzamiento dirigido (polinizaciones artificiales) entre clones que poseen características ideales, siendo las más importantes la buena producción y/o resistencia a enfermedades (moniliasis, mazorca negra y escoba de bruja). A partir de los datos colectados durante 5-7 años, se seleccionan las mejores progenies, las cuales son evaluadas posteriormente en ensayos regionales o directamente en fincas de familias productoras.
- **Ruta 2:** A partir de los ensayos de progenies se seleccionan árboles superiores que reúnen varias características deseables y/o que acumulan genes favorables para alguna característica en particular. Una vez identificados esos árboles se multiplican clonalmente para preservarlos y para incluirlos en ensayos clonales.
- **Ruta 3:** Se establecen ensayos clonales que incluyen los mejores clones pre-seleccionados, árboles superiores clonados y testigos nacionales e internacionales. Una vez que se completan al menos 5 años de datos, se seleccionan los materiales más destacados para su eventual distribución a las familias productoras, pero antes son establecidos en jardines clonales, ensayos multilocales y/o parcelas demostrativas que tienen los siguientes objetivos:
 - **Jardines clonales:** son la fuente de material vegetativo para la reproducción de los clones. Podrían actuar simultáneamente como parcelas demostrativas o ensayos regionales, en cuyo caso se deben establecer bajo un diseño experimental adecuado y asignar de forma aleatoria la posición de los clones en el campo.
 - **Ensayos multilocales o pruebas regionales:** sirven para determinar el comportamiento de los clones en diferentes ambientes y/o tipos de manejo. Se busca seleccionar los clones que tengan el mejor desempeño en un ambiente dado y los que tengan un buen comportamiento en diferentes sitios.
 - **Parcelas demostrativas:** dan información visual y numérica sobre el desempeño de los clones en condiciones locales, de forma que tanto agricultores, agricultoras, y personal técnico puedan tomar decisiones sobre los materiales.
- **Ruta 4:** Se establecen ensayos de progenies a partir del cruzamiento entre parejas de clones preseleccionados con muy buen perfil general y que cumplen con las siguientes condiciones: a) no son consanguíneos de tal forma que se favorece el vigor híbrido o heterosis en sus descendencias, y b) el cruzamiento entre ellos compensa los defectos de uno con las virtudes de otro en características relevantes. La idea es producir árboles superiores que acumulen la mayoría de las características deseables, los cuales representarán una proporción muy pequeña de la población. Una vez identificados, estos árboles son clonados y evaluados en ensayos que buscan corroborar su comportamiento bajo condiciones experimentales apropiadas.

Etapas desarrolladas en el CATIE

Coherente con la estrategia indicada, el PMG ha desarrollado las siguientes actividades: 1. Diseño y aplicación de métodos confiables de inoculación artificial para identificar materiales resistentes a la moniliasis y/o a la mazorca negra; 2. Establecimiento de ensayos de campo basados en esos materiales; 3. Selección de los individuos más sobresalientes a partir de varios años de datos; 4. Caracterización y evaluación de los materiales seleccionados; y 5. Establecimiento de jardines clonales, ensayos multi-locales y parcelas demostrativas. A continuación se describe cada etapa en detalle.

1. Identificación de fuentes de resistencia

El primer paso en un programa de mejoramiento genético orientado a la solución del problema de las enfermedades es identificar individuos resistentes. Para esto es indispensable contar con una amplia diversidad genética y con metodologías confiables para la selección de los materiales. CATIE reúne ambos requisitos:

1. Posee una de las dos únicas colecciones de germoplasma con rango internacional (IC3) la cual a agosto 2012 contiene 1147 clones con diverso origen (Phillips-Mora *et al.* 2007a). Durante los últimos años la colección ha sido enriquecida genéticamente mediante la introducción de clones silvestres provenientes de la Estación de Cuarentena Intermedia de Cacao de la Universidad de Reading en Inglaterra y del CIRAD en Francia, entre otros. Esto ha incrementado las posibilidades de identificar materiales resistentes con distinto origen geográfico.
2. Por otra parte, el CATIE ha desarrollado métodos eficientes de inoculación artificial para evaluar la reacción de los materiales a la moniliasis (Sánchez *et al.* 1987; Phillips y Galindo 1988), y a la mazorca negra (Phillips y Galindo 1989) (Figura 3). No se han realizado investigaciones similares para escoba de bruja debido a que la enfermedad está ausente en Costa Rica, siendo su rango actual de diseminación algunas islas del Caribe, Suramérica y la parte oriental de Panamá hasta su Canal. Como medida compensatoria, dentro del PMG se incluyeron fuentes internacionales de resistencia disponibles en la Colección de Germoplasma, como son los clones SCA-6, SCA-12 y CCN-51.

El proceso para identificar clones tolerantes a moniliasis y mazorca negra comenzó en CATIE a inicios de los años 80. Luego de evaluar casi 800 clones de la Colección Internacional se puede concluir que la resistencia a moniliasis es un carácter poco frecuente ya que sólo el 10% de los materiales ha mostrado una reacción resistente (2%) o moderadamente resistente (8%). Para la mazorca negra la situación ha sido más favorable identificándose casi una tercera parte de los clones con altos niveles de resistencia.



Figura 3. Métodos de inoculación artificial: A) **Mazorca negra:** se inoculan frutos adultos pero no maduros con discos de papel impregnados con una suspensión de 160.000 zoosporas/ml y se mide el diámetro de la lesión 10 días después; B) **Moniliasis:** se inoculan frutos de 2 meses de edad atomizando una suspensión de 120.000 esporas/ml y se evalúa el porcentaje de área interna dañada nueve semanas después.

2. Establecimiento de ensayos de campo

Durante los últimos 15 años, el PMG ha establecido 35 ensayos de campo en un área de 30,3 hectáreas. La mayoría de los ensayos están ubicados en la Finca La Lola, la cual se encuentra en un área cacaotera tradicional que reúne todas las condiciones para la siembra de cacao, pero también para el desarrollo de las enfermedades (Recuadro 1). El resto de los ensayos así como dos de las tres repeticiones de la Colección Internacional de Germoplasma (IC3) están establecidos en el CATIE, Turrialba a 602 msnm, 2.645 mm anuales de precipitación, y 22,5 °C de temperatura promedio.

Actualmente, el PMG tiene en evaluación 17 ensayos clonales, 10 ensayos de progenies y 5 poblaciones segregantes usadas para estudios moleculares en conjunto con USDA y MARS. Los ensayos son evaluados mensualmente y por árbol usando parámetros relacionados con la producción como son la cantidad de frutos sanos y el peso fresco de las semillas, o con la reacción a la moniliasis y la mazorca negra para lo cual se contabiliza la cantidad de frutos enfermos. Otros parámetros usualmente evaluados son la altura de emisión de la horqueta, el ángulo de inclinación de las ramas y el diámetro del tronco.

L6 o “Experimento de 42 clones con resistencia a moniliasis”: Este es uno de los ensayos clonales más importantes del PMG debido a su relativa antigüedad y por ser la fuente de los clones a los que se refiere el presente catálogo. El ensayo se sembró en la Finca La Lola entre los años 1998 y 1999. Consta de 42 clones sembrados en 1,5 hectáreas bajo un diseño de Bloques Completos al Azar con cuatro repeticiones y ocho plantas por repetición para un total de 1.344 plantas sembradas a una distancia de 3 m x 3 m. Los clones en este ensayo fueron seleccionados principalmente porque poseen tolerancia a moniliasis, mazorca negra o escoba de bruja y/o alta producción. Predominan en el ensayo los clones con tolerancia a la moniliasis para los que no se contaba con información sobre su potencial productivo.

La sombra temporal del ensayo está compuesta por banano (*Musa sp.*) a una distancia de 6 m x 6 m, que fue raleado en forma paulatina con el fin de dejar únicamente las plantas de sombra permanente como son árboles de guaba (*Inga edulis*) y de poró (*Erythrina poeppigiana*) distribuidos irregularmente en el área.

A los árboles de cacao se les aplicó podas de formación al inicio del ensayo y podas periódicas de mantenimiento. En forma regular se ha aplicado 600 g de fertilizante granular fórmula 18-5-15-6-0,3-7 divididos en cuatro aplicaciones de 150 g cada 3 meses. En el ensayo no se realiza ningún control de enfermedades salvo la corta de los frutos enfermos al momento de las evaluaciones mensuales, los cuales son dejados sobre el suelo sin aplicarles ningún tratamiento. Se realiza combate manual de malezas cada 2 meses, el cual se complementa con 2 aplicaciones dirigidas de Gramoxone® (1 lt/ha) al año.

3. Selección de individuos sobresalientes

Cuando los ensayos clonales o de progenies acumulan por lo menos 5 años de datos, se realiza una primera selección de los mejores clones, progenies o árboles individuales basada principalmente en su desempeño productivo y reacción a moniliasis. Dicha selección es corroborada conforme se acumula más información, haciendo los ajustes necesarios. Los árboles seleccionados son propagados

FINCA LA LOLA DEL CATIE

La Lola es una finca experimental de cacao que perteneció originalmente a la *United Fruit Company* quien la dio en administración al Instituto Americano de Ciencias Agrícolas de la Organización de Estados Americanos (OEA) en 1947 y la donó al mismo instituto en 1962 (Anónimo 1962). Se ubica en 28 Millas de Bataán, Cantón de Matina, Provincia de Limón, en la costa atlántica de Costa Rica a 10°06' latitud norte y 83°23' longitud oeste y una altitud de 40 msnm. Según las zonas de vida de Holdridge, la zona pertenece al bosque tropical húmedo transición a muy húmedo.

Los suelos de La Lola se formaron a partir de materiales aluviales por la deposición de corrientes de agua. Están conformados principalmente por rocas grandes, piedras, grava y una mezcla de arena con pequeñas cantidades de material sedimentario producto de la erosión. Existe una importante variación de la textura dentro de la finca debido a las diferencias en la distribución de rocas, piedras y gravas tanto horizontal como verticalmente. La mayor parte del suelo de la finca (69%) está ocupada por suelo arcillo-limoso, el 21% por arena gruesa y un 10% por arcillo-arenoso. Por otra parte, la topografía es catalogada como casi plana (Bazán 1963).

El suelo tiene una baja capacidad de infiltración superficial y un pobre drenaje del agua proveniente de la lluvia, los cuales son afectados principalmente por la textura, estructura y la compactación del suelo, lo cual aunado a la aeración deficiente del suelo representa un factor limitante para el crecimiento y la producción del cacao (Bazán 1963).

El clima de la región se puede definir como cálido (24,5 °C de temperatura promedio anual), muy lluvioso (3.560 mm de promedio anual de precipitación), con una marcada disminución de las lluvias en los meses de marzo y setiembre. Posee humedad relativa alta, bastante nubosidad, con pocas horas de brillo solar, radiación solar media y un exceso de agua la mayor parte del año (Jiménez 1986). Los meses más cálidos son mayo y junio, mientras que diciembre y enero son los más fríos, aunque la temperatura media permanece similar durante todo el año, pues la diferencia entre la temperatura promedio del mes más cálido y el más frío es menor a 2 °C, sin embargo las diferencias entre las máximas y mínimas mensuales es cercana a los 10 °C (Jiménez 1986).

La finca se encuentra ubicada en una región donde tradicionalmente se cultivó cacao desde la época de la colonia (Fonseca *et al.* 2001). La aparición de la moniliasis en Costa Rica en 1978 provocó el abandono de las fincas, situación que persiste hasta hoy día. De hecho, en la periferia de la finca existe una gran cantidad de parcelas abandonadas y una presencia permanente y muy intensa de moniliasis tanto dentro como fuera de la finca, lo que la hace un sitio ideal para seleccionar genotipos resistentes.

La producción de cacao en esta región es de carácter bimodal, acumulándose en los meses de abril a mayo y de octubre a enero. De junio a setiembre no se recolectan muchas mazorcas, lo que significa que se forman pocas flores de enero a abril, cinco meses antes del segundo de estos períodos cuando se presenta una época de bajas temperaturas (Hardy 1961).

vegetativamente y establecidos en un ensayo clonal junto con otros clones pre-seleccionados y testigos locales o internacionales como el CCN-51. Por su parte, los clones seleccionados pasan a etapas más avanzadas de mejoramiento como son el establecimiento de jardines clonales, parcelas demostrativas, ensayos multilocales o pruebas en fincas de productores.

Clones superiores seleccionados en L6: El ensayo L6 ha sido sistemáticamente evaluado durante los últimos 11 años. Los datos fueron colectados a partir del segundo año después de la siembra y se continúan registrando a la fecha. Los siguientes parámetros son evaluados en forma mensual y por árbol: número de frutos sanos, % de frutos afectados por moniliasis; % de frutos dañados por mazorca negra y peso fresco de las semillas. La producción en kilogramos de cacao seco por hectárea se estimó con base en el peso fresco de las semillas multiplicado por un factor de 0,38.

En el Cuadro 1 se resumen los datos promedios de producción y reacción a las enfermedades de los clones incluidos en L6 para los siguientes periodos: a) primeros 7 años, b) 11 años disponibles, y c) últimos 5 años.

En el año 2007, se seleccionó a partir del promedio de los primeros siete años de datos el siguiente grupo de 6 clones trinitarios por poseer las mejores producciones y tolerancia a la moniliasis: CATIE-R1, CATIE-R4, CATIE-R6, CC-137, ICS-95 T1 y PMCT-58. Ellos fueron incorporados dentro de la estrategia genética del Proyecto Cacao Centroamérica (PCC) y actualmente son parte de distintas iniciativas regionales para mejorar genéticamente las plantaciones centroamericanas.

El ICS-95 T1^{1/} se incluyó dentro de la lista de clones seleccionados por ser un material internacional de reconocida trayectoria en Latinoamérica, buena producción y tolerancia a moniliasis (Phillips-Mora *et al.* 2005). No se pudo determinar su comportamiento con precisión en L6, porque la mitad de los árboles en el ensayo pertenecen a otro clon según pruebas de ADN realizadas por USDA en 2009. El ICS-95 es considerado como un material prometedor en el Perú (Evans *et al.* 1998) y recomendado para ser sembrado en todas las zonas productoras de Colombia (Rondón 2000). Es tolerante a escoba de bruja en Colombia (Argüello 2000) y a moniliasis en Costa Rica (Phillips-Mora 1996), Colombia (Argüello 1997) y Perú (Evans *et al.* 1998). De hecho, mostró un comportamiento tolerante contra siete cepas de *M. rozeri* que representaban la diversidad genética del hongo en Latinoamérica (Phillips-Mora *et al.* 2005).

El CCN-51 T2^{1/} no fue incluido dentro del grupo seleccionado a pesar de tener un buen rendimiento y cierto grado de tolerancia a moniliasis, debido a su alta susceptibilidad a la mazorca negra y cuestionada calidad.

A pesar de que la selección de los clones se realizó al sétimo año de producción, los resultados que se colectaron posteriormente refuerzan esta decisión. De hecho, se encontró una correlación muy alta (99%) entre la producción promedio acumulada al sétimo año y al onceavo año, lo mismo que con el promedio de los últimos cinco años de datos (94%). Los clones CATIE-R1, CATIE-R4, CATIE-R6 y CC-137 mostraron en todos los casos los primeros lugares en producción. El PMCT-58 fue el único clon que redujo un poco su producción con respecto a los años anteriores.

1/ En el CATIE se denomina Tipo 1 (T1) a los clones que molecularmente coinciden con el clon de referencia. De esta forma se les diferencia de otros clones que poseen el mismo nombre pero su perfil molecular es incorrecto (Tipo 2 o T2). Así por ejemplo, el CCN-51 T2 comparte muchas características con el tipo original, pero su perfil de ADN no coincide totalmente, lo que obliga a identificarlo como Tipo 2.

Los resultados de incidencia de moniliasis fueron también consistentes entre años (promedios de siete primeros años vrs 11 años y promedio de siete primeros años vrs últimos cinco años), obteniéndose coeficientes de correlación de 99 y 97% respectivamente. Los clones CATIE-R1, CATIE-R4 y CATIE-R6 ocuparon de nuevo las mejores posiciones. Sin embargo, se ha observado que en todos los clones del ensayo excepto en CATIE-R6 y CATIE-R3 la moniliasis se ha incrementado en los últimos cinco años.

Dentro del grupo de seis clones, los más destacados son el CATIE-R6 y el CATIE-R4 porque consistentemente registraron los rendimientos más altos y la más baja incidencia de moniliasis durante todos los años de evaluación. Su potencial productivo es notable aún bajo condiciones muy favorables para la moniliasis, las cuales causaron pérdidas del 84 al 86% de los frutos durante los últimos cinco años en clones internacionales como Pound-7 y CATIE-1000 (de reconocido potencial productivo y resistencia a mazorca negra) y en los clones resistentes a escoba de bruja SCA-6 y SCA-12 (Cuadro 1).

El CATIE-R1 registró una buena producción a pesar de tener árboles de porte muy bajo. Esta característica, junto con su condición autocompatible, lo convierte en un buen candidato para ser sembrado en plantaciones de alta densidad. Es importante tener presente, que en el futuro cercano el PMG podrá liberar nuevos materiales a partir de ensayos que están en diferentes fases de estudio, los cuales podrían complementar o reemplazar a alguno de los clones actuales.

Se recomienda sembrar los árboles de los seis clones de forma aleatoria o en hileras alternas para evitar problemas fitosanitarios y de compatibilidad asociados con la uniformidad genética. En el campo, los seis clones se comportan como un POLICLON que se caracteriza por tener un buen comportamiento promedio en términos de producción, tolerancia a enfermedades, compatibilidad y calidad industrial. Esto implica que las ventajas comparativas de algunos clones compensan los defectos de otros.

4. Caracterización y evaluación de los materiales seleccionados

Los materiales más destacados del PMG son caracterizados y evaluados en forma sistemática. La caracterización consiste en determinar la variación existente usando parámetros morfológicos, fenológicos, bioquímicos o moleculares poco influenciados por el ambiente. Por su parte, la evaluación comprende la descripción de la variación en términos de atributos de importancia agronómica, los cuales tienen influencia ambiental (ej. rendimiento, calidad, etc.). El objetivo principal de la caracterización es la identificación de los genotipos, en tanto que el propósito de la evaluación es determinar el valor agronómico de los mismos. Un descriptor es cualquier rasgo o condición que se atribuye al clon o variedad.

Los seis clones seleccionados fueron sometidos a una amplia caracterización y evaluación cuyos resultados serán desarrollados en la segunda parte de este catálogo.

Cuadro 1. Producción e incidencia de enfermedades de 42 clones de cacao del Ensayo L6 de La Lola. Promedios de los primeros 7 años, 11 años y últimos 5 años de datos disponibles.

Clon	Promedio primeros 7 años			Promedio 11 años			Promedio últimos 5 años		
	Producción (kg/ha/año)	% moniliasis	% mazorca negra	Producción (kg/ha/año)	% moniliasis	% mazorca negra	Producción (kg/ha/año)	% moniliasis	% mazorca negra
CATIE-R6	1018	5	0	1485	5	0	2363	4	0
CATIE-R4	977	7	1	1336	9	1	2070	12	1
CC-137	854	24	2	990	32	1	1321	43	0
CCN-51 T2	772	37	5	824	45	4	1034	56	2
CATIE-R1	745	10	8	1066	12	7	1674	15	6
PMCT-58	703	20	5	789	26	4	1036	35	2
ARF-22	667	49	1	756	54	0	1012	62	0
UF-273 T1	655	13	5	933	14	4	1395	16	3
EET-183	645	27	3	760	30	3	1038	33	2
CATIE-R2	640	9	7	839	12	6	1204	18	2
Árbol-81	634	45	1	732	47	1	976	48	0
CATIE-R7	576	11	7	807	14	7	1210	19	6
CATIE-R5	562	7	1	706	9	0	992	13	0
ARF-14	555	38	4	648	42	3	907	46	1
ARF-37	534	42	2	602	49	1	792	59	0
POUND-7	519	69	0	542	75	0	668	86	0
ICS-95 T1	516	21	7	636	26	6	926	32	4
ICS-43	511	22	9	641	28	7	890	39	5
IMC-60	394	30	3	455	39	2	597	51	1
EET-59	389	48	1	426	55	1	610	65	0
CATIE-R3	389	19	3	506	19	2	748	19	1
ARF-6	379	20	5	447	28	4	599	39	3
UF-273 T2	363	31	13	505	35	9	752	43	1
CC-42	349	53	1	384	61	1	505	75	0
PA-169	312	12	1	377	17	0	540	25	0
SGU-84	292	24	5	305	30	4	357	39	2
CATIE-1000	285	69	1	298	76	1	372	85	0
BE-8	252	44	2	302	52	2	458	64	1
CC-240	210	33	6	378	37	4	692	42	0
RB-41	207	73	1	197	78	1	195	88	1

Continuación cuadro 1.

Clon	Promedio primeros 7 años			Promedio 11 años			Promedio últimos 5 años		
	Producción (kg/ha/año)	% moniliasis	% mazorca negra	Producción (kg/ha/año)	% moniliasis	% mazorca negra	Producción (kg/ha/año)	% moniliasis	% mazorca negra
PMCT-82	202	44	1	267	48	1	399	54	0
A5-R2 (T3)	194	51	9	202	59	7	239	72	3
ICS-44	180	68	7	287	73	4	528	80	0
SCA-12	165	73	1	162	78	1	181	86	0
A-174(RETRO)	132	43	2	201	51	2	319	68	1
CC-252	105	33	3	119	42	2	154	59	1
UF-712	101	10	2	155	18	2	274	31	1
SCA-6	89	70	2	94	75	2	117	84	0
P-23	50	48	3	68	54	2	112	64	0
A-173(RETRO)	48	34	0	114	43	0	241	51	0
A-147(RETRO)	47	40	0	102	51	0	198	63	0
GU 133-N	29	12	0	61	14	0	108	18	0

5. Establecimiento de jardines clonales, ensayos multilocales y parcelas demostrativas

En 2008, los seis clones seleccionados empezaron a ser establecidos en Panamá, Costa Rica, Nicaragua, Honduras, Guatemala y Belice como parte de la estrategia de mejoramiento del PCC que consiste en el establecimiento en cada país de 5 hectáreas de jardines clonales y de un ensayo multilocal de una hectárea. Todavía existen áreas que están en proceso de establecimiento.

Los objetivos de los jardines clonales son: proporcionar material vegetativo para la eventual reproducción de los clones, evaluar el comportamiento y adaptación de los materiales en diferentes agro-ambientes, y servir como parcelas demostrativas para los agricultores, agricultoras y otros interesados. Los ensayos multilocales buscan evaluar en diferentes ambientes el comportamiento y adaptación de un grupo de 30 clones preseleccionados que se perfilan como buenos candidatos para ser liberados en el futuro cercano.

Adicionalmente a la estrategia del PCC, los materiales seleccionados están siendo sembrados en plantaciones de pequeños y medianos productores en Panamá, Costa Rica, El Salvador. Como parte de una iniciativa conjunta con Hershey y ECOM, los clones fueron introducidos en México en junio 2012. La información que se obtenga a partir de estas plantaciones, será relevante para determinar el rango de adaptación de los materiales a diferentes agro-ambientes y el efecto de diferentes condiciones de manejo sobre el desempeño de los clones.

Segunda parte

Datos de pasaporte y caracterización morfológica de los clones

Datos de pasaporte y otras características generales

Se incluye información de pasaporte como el país e institución de origen del material y su pedigrí. Adicionalmente se describe el tipo de crecimiento de un árbol típico de cada clon usando como referencia árboles de 4 años de edad pertenecientes al Jardín Clonal Madre ubicado en Turrialba, obtenidos mediante injertación de parche lateral. Además se anota información sobre el diámetro del tronco de un promedio de 18 a 32 árboles injertados/clon de 14 años de edad pertenecientes al ensayo L6 de La Lola y de 44 a 59 árboles de 4 años de edad del Jardín Clonal Madre.

Para facilitar la identificación de los clones y su manipulación, siembra y toma de datos, el PMG le asignó un color distintivo a cada uno de ellos: CATIE-R1 (Verde); CATIE-R4 (Rojo); CATIE-R6 (Amarillo); CC-137 (Blanco); ICS-95 T1 (Negro) y PMTC-58 (Azul). Por su parte, al IMC-67 que es usado en las plantaciones como donador de polen, se le asignó el color anaranjado.

21

Descriptorios morfológicos

Los clones fueron caracterizados morfológicamente usando una lista de 51 descriptorios: 8 de hoja, 22 de flor, 15 de fruto y 6 de semilla. Para los descriptorios de flor y semilla se usó una cantidad mínima de 30 muestras en tanto que para los descriptorios de hojas y frutos la muestra fue superior a 50. En los casos que corresponde se incluyó el error estándar junto al valor del descriptor. A continuación se describen con detalle los descriptorios usados.

Descriptorios de hoja: Se registró: 1) el color de los brotes terminales de 6-7 días de edad bajo luz natural, cuyas coloraciones van de tonalidades verdes hasta diferentes grados de pigmentación roja, rosada y/o café.

Se midieron los siguientes parámetros (Figura 4) a partir de 50 hojas adultas cosechadas de la parte intermedia de los árboles durante las primeras horas de la mañana: 2) forma de la hoja de acuerdo con la escala propuesta por Hartmann *et al.* (1981), 3) forma del ángulo, 4) forma de la base, 5) ancho de la hoja, 6) longitud de la hoja, 7) longitud del peciolo y 8) longitud desde la base hasta el punto más amplio de la hoja (BPA).

Descriptores de flor: En las primeras horas de la mañana se cosecharon al azar 30 flores frescas y abiertas, que presentaban polen con una coloración perlada como indicador de su frescura. Se evaluaron los siguientes parámetros utilizando un vernier electrónico, estereoscopio, cubre y portaobjetos (Figura 5): 1) longitud del pedicelo, 2) ancho del pedicelo, 3) longitud del sépalo, 4) ancho del sépalo, 5) longitud de la lígula, 6) ancho de la lígula, 7) longitud del filamento, 8) ancho del filamento, 9) longitud del estaminoide, 10) ancho del estaminoide, 11) longitud del estilo, 12) ancho del estilo, 13) longitud del ovario, 14) ancho del ovario y 15) cantidad de rudimentos seminales (óvulos) en el ovario. Para el conteo de los rudimentos seminales se usaron 30 flores recién abiertas. Cada ovario fue colocado sobre un portaobjeto y se le adicionó una gota de agua tras lo cual se le hizo un corte longitudinal bajo el estereoscopio con un bisturí. Con ayuda de agujas finas se separó cada rudimento seminal.

Se registró también la intensidad de la antocianina en: 16) pedicelo, 17) sépalo, 18) lígula, 19) filamento, 20) estaminoide, 21) estilo y 22) ovario, utilizando una escala visual con los siguientes valores: 0 = ausente, 3 = suave, 5 = intermedia y 7 = Intensa.

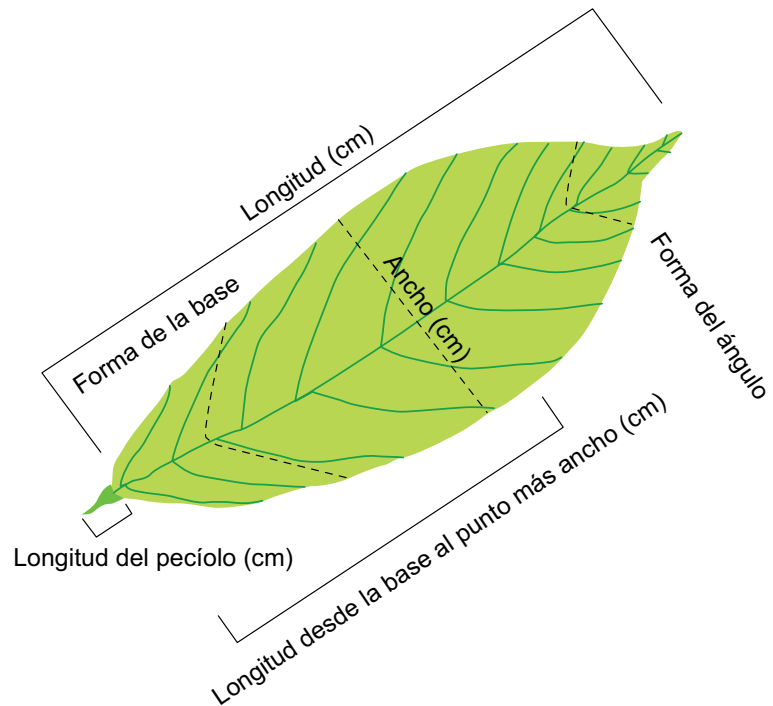


Figura 4. Descriptores morfológicos de hojas de cacao

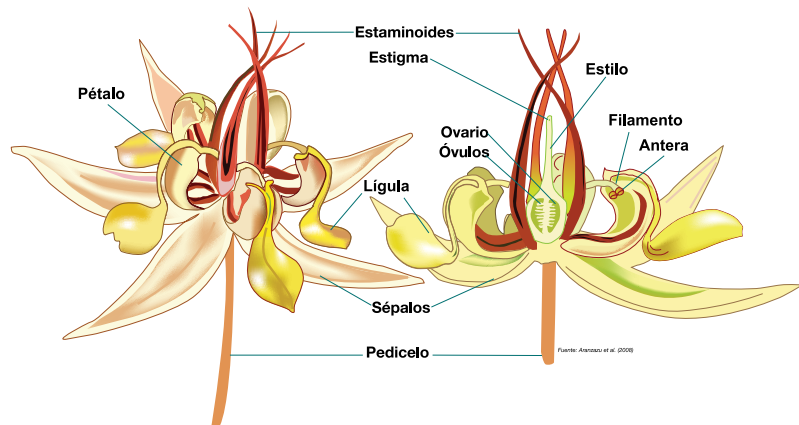


Figura 5. Estructura floral del cacao (Aranzazu *et al.* 2008).

Descriptores de fruto: A partir de un mínimo de 50 frutos provenientes del Ensayo L6, cosechados en diferentes épocas del año durante el periodo 2007-2010 se determinó: 1) color del fruto de dos meses de edad, 2) color del fruto maduro; 3) forma del fruto (Figura 6), 4) forma del ápice (Figura 7), 5) forma de la constricción basal (Figura 8), 6) rugosidad de la cáscara (Figura 9), 7) dureza de la cáscara utilizando una escala con los siguientes valores: 3 = suave, 5 = intermedia y 7 = áspera. De igual forma se registraron los parámetros que se muestran gráficamente en la Figura 10: 8) peso, 9) longitud, 10) diámetro, 11) relación largo/ancho, 12) peso fresco de las semillas por fruto; 13) número de semillas por fruto, 14) espesor del caballete y 15) profundidad del surco.

Descriptores de semilla: A los frutos evaluados en el acápite anterior se les extrajo las semillas. Se les eliminó el mucílago (arilo) frotándolo con aserrín de madera y luego el tegumento tras lo cual se determinaron los siguientes parámetros: 1) Color del cotiledón, 2) forma de la semilla (Figura 11), 3) forma del corte transversal (Figura 11), 4) longitud, 5) diámetro y 6) espesor.

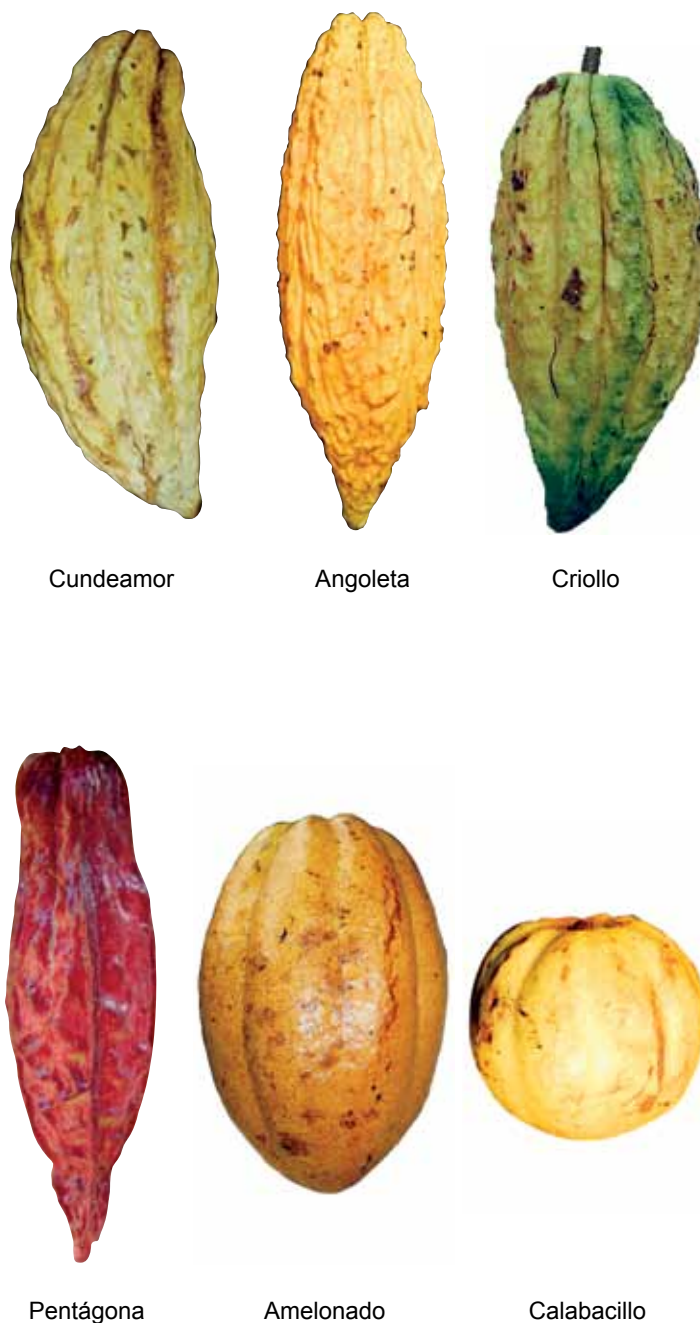


Figura 6. Forma de los frutos de cacao.



Redondeado

Obtuso

Agudo

Mamilado



Atenuado

Dentado

Caudado

Figura 7. Forma de los ápices en frutos de cacao



0 = ausente

3 = suave

5 = intermedia

7 = fuerte

Figura 8. Forma de la constricción basal en frutos de cacao



0 = ausente



3 = suave



5 = intermedia



7 = áspera

Figura 9. Rugosidad de la cáscara en frutos de cacao.



Figura 10. Otros descriptores morfológicos del fruto: A. Longitud del fruto (cm). B. Diámetro del fruto (cm). C. Forma del ápice. D. Constricción basal. E. Peso. F. Número de semillas por fruto. G. Peso fresco de semillas. H. Espesor del caballete (cm). I. Profundidad surco (cm).

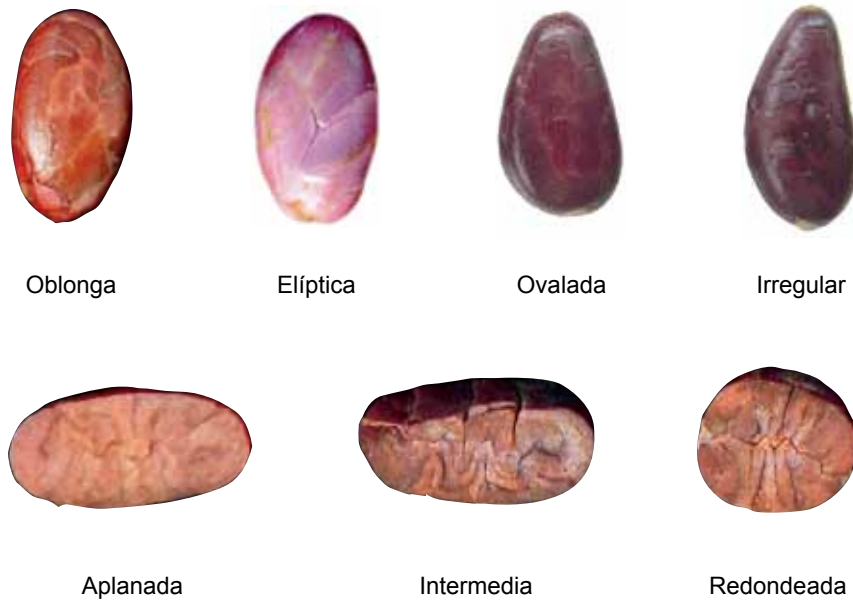


Figura 11. Forma de la semilla (parte superior) y forma del corte transversal (parte inferior).

Resultados obtenidos

Datos de pasaporte: Todos los clones excepto el ICS-95 T1 fueron seleccionados en el CATIE, Costa Rica. Los clones CATIE-R6 y CATIE-R4 son hermanos originados del cruce “UF-273 T1 x PA-169”. El CATIE ha demostrado que esta familia produce descendientes precoces, de buena producción y resistencia a moniliasis. Esto ha sido corroborado por instituciones como la FHIA en Honduras quien ha seleccionado clones con características similares a partir de semilla del mismo cruce suministrada por el CATIE en los años 90.

Los clones difieren mucho en tamaño y vigor de los árboles guardando la siguiente clasificación de acuerdo con observaciones realizadas en el Jardín Madre del CATIE en Turrialba: ICS-95 T1 > CC-137 > PMCT-58 > CATIE-R6 > CATIE-R4 > CATIE-R1.

El diámetro del tronco medido en árboles de 14 años de edad en L6 (Finca La Lola) registró los siguientes resultados: CATIE-R4 (18,6 cm) > CC-137 (16,8 cm) > CATIE-R6 (16,7 cm) > CATIE-R1 (16,0) > ICS-95 T1 (13,3 cm) > PMCT-58 (12,2 cm).

La misma variable medida en árboles de 4 años de edad en el Jardín Madre del CATIE en Turrialba produjo el siguiente resultado: ICS-95 T1 (8,1 cm) > CC-137 (7,7 cm) > PMCT-58 (7,5 cm) > CATIE-R4 (7,6 cm) > CATIE-R1 (6,6 cm) > CATIE-R6 (6,1).

Características morfológicas más distintivas: En el Cuadro 2 se resumen las características morfológicas de los 6 clones. Dentro de las características más distintivas están las relacionadas con el color inmaduro y la forma de los frutos. Existen particularidades que permiten distinguir a un clon de los demás. Por ejemplo, el CC-137 presenta sépalos usualmente fusionados; el PMCT-58 un pedicelo más largo y el ICS-95 T1 los estaminoides con mayor longitud. Por su parte, el tamaño grande de semilla del CC-137 permite distinguirlo del resto de los materiales.

Cuadro 2. Resumen de características morfológicas de 6 clones de cacao seleccionados por el CATIE.

Descriptores Morfológicos		CATIE-R1	CATIE-R4	CATIE-R6	CC-137	ICS-95 T1	PMCT-58	
Hoja	Color brote terminal	Rojo pálido con verde	Rojo pálido con verde	Rojo pálido con verde	Café claro verdoso	Rosado intenso	Rojo con café intenso	
	Forma de la hoja	Elíptica	Elíptica	Elíptica	Elíptica	Elíptica	Elíptica	
	Forma del ángulo	Cuspídeo	Aristado	Aristado	Aristado	Cuspídeo	Aristado	
	Forma de la base	Obtusa	Cuneiforme	Cuneiforme	Cuneiforme	Obtusa	Obtusa	
	Ancho de la hoja (cm)	10.7	11.8	13.0	11.8	13.4	12.5	
	Longitud de la hoja (cm)	31.9	30.4	33.8	32.5	34.4	38	
	Longitud del pecíolo (cm)	2.0	2.1	1.8	2.5	2.7	2.1	
	BPA ^{1/}	11.3	11.9	17.1	11.8	17.6	16.4	
Flor	Pedicelo	Longitud (mm)	20.8	20.4	16.0	21.6	22.1	28.6
		Ancho (mm)	0.8	0.6	0.7	0.7	0.7	0.8
		IA ^{2/}	7	0	3	7	7	7
	Sépalo	Longitud (mm)	8.5	8.4	7.0	8.7	8.2	9.7
		Ancho (mm)	2.6	3.1	3.0	2.9	3.2	2.6
		IA ^{2/}	5	0	0	3	5	5
	Lígula	Longitud (mm)	4.1	6.2	7.1	6.2	5.7	6.2
		Ancho (mm)	3.0	2.6	3.3	2.6	2.9	2.5
		IA ^{2/}	3	0	5	3	3	3
	Filamento	Longitud (mm)	1.5	1.3	1.3	0.9	0.9	1.3
		Ancho (mm)	0.4	0.3	0.4	0.3	0.3	0.4
		IA ^{2/}	0	3	5	0	0	0
	Estaminoide	Longitud (mm)	6.0	6.0	5.8	5.7	8.3	6.7
		Ancho (mm)	0.3	0.3	0.4	0.3	0.3	0.5
		IA ^{2/}	7	7	0	7	7	7
	Estilo	Longitud (mm)	2.2	3.4	1.7	1.3	2.1	1.7
		Ancho (mm)	0.2	0.3	0.3	0.3	0.3	0.4
		IA ^{2/}	0	0	0	0	0	0
	Ovario	Longitud (mm)	1.3	1.4	1.8	1	1	2.7
		Ancho (mm)	0.9	1.1	0.9	1	1.5	1
		IA ^{2/}	3	0	0	0	0	3
Número de rudimentos seminales (óvulos)		41	44	41	30	33	39	

Continuación cuadro 2.

Descriptores Morfológicos		CATIE-R1	CATIE-R4	CATIE-R6	CC-137	ICS-95 T1	PMCT-58	
Fruto	Color	Inmaduro	Púrpura con presencia eventual de verde	Verde pálido con tonalidades muy suaves de rojo	Verde con púrpura	Verde claro y los surcos blancuzcos	Púrpura oscuro	Púrpura con verde claro
		Maduro	Anaranjado con sectores amarillos	Amarillo con anaranjado y eventuales pecas rojas	Amarillo con anaranjado y eventuales pecas rojas	Amarillo	Anaranjado con amarillo	Anaranjado con amarillo
	Forma	Fruto	Angoleta-Cundeamor	Cundeamor	Angoleta-Cundeamor	Amelonada-Angoleta	Criollo	Amelonada
		Ápice	Atenuado	Atenuado	Atenuado	Atenuado	Agudo	Obtuso
		Constricción basal ^{3/}	5	5	3	3	3	3
	Cáscara	Rugosidad ^{4/}	5	5	3	3	5	3
		Dureza ^{5/}	3	3	3	3	5	3
	Otras	Peso (g)	556.7	573.7	566.1	461.6	589.7	441.1
		Longitud (cm)	17.4	18.7	14.3	14.9	19.7	13.8
		Diámetro (cm)	9.2	9.6	9.5	9	8.5	8.8
		Relación L/D (cm)	1.9	1.9	1.8	1.6	2.3	1.6
	Semillas	Peso fresco por fruto (g)	93.4	144.7	127.2	117.3	102	93.1
		Número semillas por fruto	29	35	31	27	33	37
	Caballote	Espesor (cm)	1.7	1.5	1.6	1.4	1.7	1.5
	Surco	Profundidad (cm)	1.3	1.1	1.2	1.1	1.2	1.1
	Semilla	Color cotiledón		Púrpura intenso	Púrpura	Púrpura claro	Púrpura intenso	Púrpura claro
Forma		Oblonga	Ovada	Irregular	Ovada	Irregular	Ovada	
Formal del corte transversal		Intermedia	Redondeada	Redondeada	Aplanada	Intermedia	Aplanada	
Longitud (cm)		2.5	2.5	2.6	2.5	2.1	2.3	
Diámetro (cm)		0.9	1.0	0.9	1.1	0.9	0.8	
Espesor (cm)		1.2	1.3	1.2	0.9	1.1	1.1	

^{1/} BPA: Longitud desde la base al punto más ancho de la hoja

^{2/} IA: Intensidad de la antocianina: 0 = ausente, 3 = suave, 5 = intermedia, 7 = intensa

^{3/} Constricción basal: 0 = ausente, 3 = suave, 5 = intermedia, 7 = fuerte

^{4/} Rugosidad: 0 = ausente, 3 = suave, 5 = intermedia, 7 = áspera

^{5/} Dureza: 3 = suave, 5 = intermedia, 7 = dura

CATIE-R1

País de origen: COSTA RICA

Institución: CATIE

Pedigrí: "UF-273 T1 X CATIE-1000".

CATIE-1000 fue seleccionado en los años 70's a partir del cruce Pound-12 x Catongo por su buena producción y tolerancia a mazorca negra.

Apariencia del árbol: Tamaño pequeño de los árboles, con follaje moderado y ramas con crecimiento semi-erecto.

Diámetro tronco: 16,0 cm \pm 0,84 (árboles de 14 años, La Lola); 6,2 \pm 0,20 (árboles de 4 años, Turrialba).

Color distintivo del clon: Verde

HOJAS CATIE-R1

Color brote terminal:	Rojo pálido con verde
Forma de la hoja:	Elíptica
Forma del ángulo:	Cuspídeo
Forma de la base:	Obtuso
Ancho de la hoja (cm):	10,7 \pm 0,18
Longitud de la hoja (cm):	31,9 \pm 0,53
Longitud del peciolo (cm):	2,0 \pm 0,03
BPA ^{1/} :	11,3 \pm 0,22
^{1/} BPA:	Longitud desde la base al punto más ancho de la hoja



FLORES CATIE-R1

Parte Floral	Longitud (mm)	Ancho (mm)	IA ^{1/}
Pedicelo	20,8 \pm 0,49	0,8 \pm 0,49	7
Sépalo	8,5 \pm 0,11	2,6 \pm 0,07	5
Lígula	4,1 \pm 0,04	3,0 \pm 0,06	3
Filamento	1,5 \pm 0,01	0,4 \pm 0,02	0
Estaminoide	6,0 \pm 0,08	0,3 \pm 0,08	7
Estilo	2,2 \pm 0,06	0,2 \pm 0,05	0
Ovario	1,3 \pm 0,03	0,9 \pm 0,01	3
Número de rudimentos seminales (óvulos): 41 \pm 0,17			
^{1/} IA: Intensidad de la antocianina: 0 = ausente, 3 = suave, 5 = intermedia 7 = intensa			

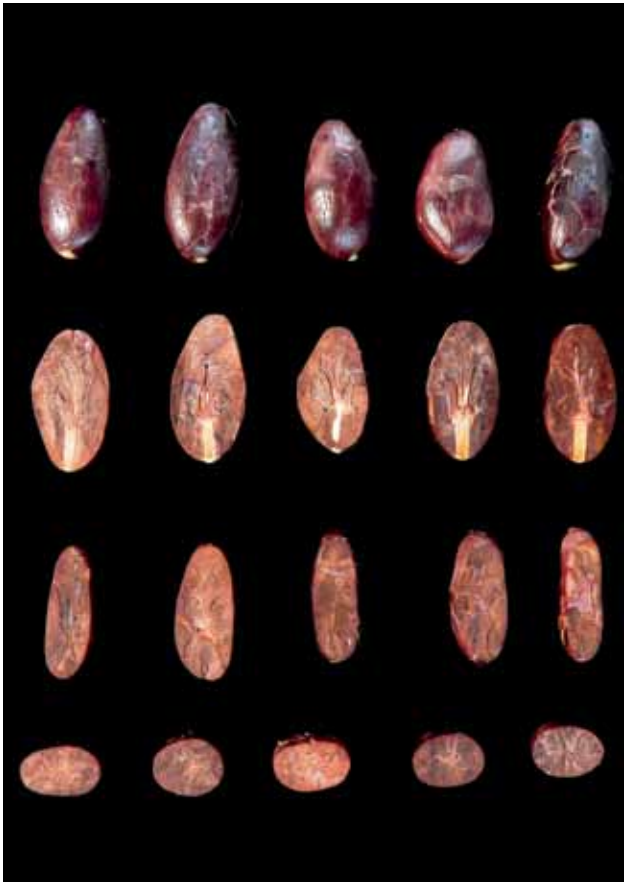


FRUTOS CATIE-R1

Color	Inmaduro:	Púrpura con presencia eventual de verde
	Maduro:	Anaranjado con sectores amarillos
Forma	Fruto:	Angoleta-Cundeamor
	Ápice:	Atenuado
	Constricción basal ^{1/} :	5
Cáscara	Rugosidad ^{2/} :	5
	Dureza ^{3/} :	3
Otras	Peso (g):	556,7 ± 19,8
	Longitud (cm):	17,4 ± 0,27
	Diámetro (cm):	9,2 ± 0,17
	Relación L/D (cm):	1,9 ± 0,03
Semillas	Peso fresco por fruto (g):	93,4 ± 3,82
	Número semillas por fruto:	29 ± 1,08
Caballote	Espesor (cm):	1,7 ± 0,03
Surco	Profundidad (cm):	1,3 ± 0,03
^{1/} Constricción basal: 0 = ausente, 3 = suave, 5 = intermedia, 7 = fuerte. ^{2/} Rugosidad: 0 = ausente, 3 = suave, 5 = intermedia, 7 = áspera. ^{3/} Dureza: 3 = suave, 5 = intermedia, 7 = dura.		

SEMILLAS CATIE-R1

Color cotiledón:	Púrpura intenso
Forma:	Oblonga
Formal del corte transversal:	Intermedia
Longitud (cm):	2,5 ± 0,08
Diámetro (cm):	0,9 ± 0,02
Espesor (cm):	1,2 ± 0,02



CATIE-R4

País de origen: COSTA RICA
Institución: CATIE
Pedigrí: "UF-273 T1 X PA-169"
Apariencia: Árboles de tamaño intermedio, follaje denso y ramas semi-erectas.

Diámetro del tronco: 18,6 cm \pm 0,76
 (árboles de 14 años, La Lola; 7,6 \pm 0,24
 (árboles de 4 años, Turrialba)
Color distintivo del clon: Rojo

HOJAS CATIE-R4

Color brote terminal	Rojo pálido con verde
Forma de la hoja	Elíptica
Forma del ángulo	Aristado
Forma de la base	Cuneiforme
Ancho de la hoja (cm)	11,8 \pm 0,18
Longitud de la hoja (cm)	30,4 \pm 0,47
Longitud del peciolo (cm)	2,1 \pm 0,09
BPA ^{1/}	11,9 \pm 0,28
^{1/} BPA: Longitud desde la base al punto más ancho de la hoja	



FLORES CATIE-R4

Parte floral	Longitud (mm)	Ancho (mm)	IA ^{1/}
Pedicelo	20,4 \pm 0,36	0,6 \pm 0,25	0
Sépalo	8,4 \pm 0,07	3,1 \pm 0,12	0
Lígula	6,2 \pm 0,06	2,6 \pm 0,07	0
Filamento	1,3 \pm 0,08	0,3 \pm 0,06	3
Estaminoide	6,0 \pm 0,07	0,3 \pm 0,06	7
Estilo	3,4 \pm 0,04	0,3 \pm 0,07	0
Ovario	1,4 \pm 0,04	1,1 \pm 0,02	0

Número de rudimentos seminales (óvulos): 44 \pm 0,11

^{1/}IA: Intensidad de la antocianina: 0 = ausente, 3 = suave, 5 = intermedia, 7 = intensa



FRUTOS CATIE-R4

Color	Inmaduro:	Verde pálido con tonalidades muy suaves de rojo
	Maduro:	Amarillo con anaranjado y eventuales pecas rojas
Forma	Fruto:	Cundeamor
	Ápice:	Atenuado
	Constricción basal ^{1/} :	5
Cáscara	Rugosidad ^{2/} :	5
	Dureza ^{3/} :	3
Otras	Peso (g):	573,7 ± 19,8
	Longitud (cm):	18,7 ± 0,25
	Diámetro (cm):	9,6 ± 0,13
	Relación L/D (cm):	1,9 ± 0,02
Semillas	Peso fresco por fruto (g):	144,7 ± 5,70
	Número semillas por fruto:	35 ± 1,30
Caballote	Espesor (cm):	1,5 ± 0,04
Surco	Profundidad (cm):	1,1 ± 0,02

^{1/} Constricción basal: 0 = ausente, 3 = suave, 5 = intermedia, 7 = fuerte.
^{2/} Rugosidad: 0 = ausente, 3 = suave, 5 = intermedia, 7 = áspera.
^{3/} Dureza: 3 = suave, 5 = intermedia, 7 = dura.

SEMILLAS CATIE-R4

Color cotiledón:	Púrpura
Forma:	Ovada
Formal del corte transversal:	Redondeada
Longitud (cm):	2,5 ± 0,08
Diámetro (cm):	1,0 ± 0,01
Espesor (cm):	1,3 ± 0,03



CATIE-R6

País de origen: COSTA RICA
Institución: CATIE
Pedigrí: "UF-273 T1 X PA-169"
Apariencia: Árboles de tamaño intermedio, follaje denso y coposo y ramas erectas.

Diámetro del tronco: 16,7 cm ± 0,61 (árboles de 14 años, La Lola); 6,1 ± 0,37 (árboles de 4 años, Turrialba).
Color distintivo del clon: Amarillo

HOJAS CATIE-R6

Color brote terminal	Rojo pálido con verde
Forma de la hoja	Elíptica
Forma del ángulo	Aristado
Forma de la base	Cuneiforme
Ancho de la hoja (cm)	13,0 ± 0,20
Longitud de la hoja (cm)	33,8 ± 0,48
Longitud del peciolo (cm)	1,8 ± 0,02
BPA ^{1/}	17,1 ± 0,28
^{1/} BPA: Longitud desde la base al punto más ancho de la hoja	



FLORES CATIE-R6

Parte floral	Longitud (mm)	Ancho (mm)	IA ^{1/}
Pedicelo	16,0 ± 0,15	0,7 ± 0,15	3
Sépalo	7,0 ± 0,10	3,0 ± 0,04	0
Lígula	7,1 ± 0,04	3,3 ± 0,04	5
Filamento	1,3 ± 0,03	0,4 ± 0,06	5
Estaminoide	5,8 ± 0,03	0,4 ± 0,03	0
Estilo	1,7 ± 0,03	0,3 ± 0,03	0
Ovario	1,8 ± 0,04	0,9 ± 0,01	0

Número de rudimentos seminales (óvulos): 41 ± 0,12

^{1/}IA: Intensidad de la antocianina: 0 = ausente, 3 = suave, 5 = intermedia, 7 = intensa



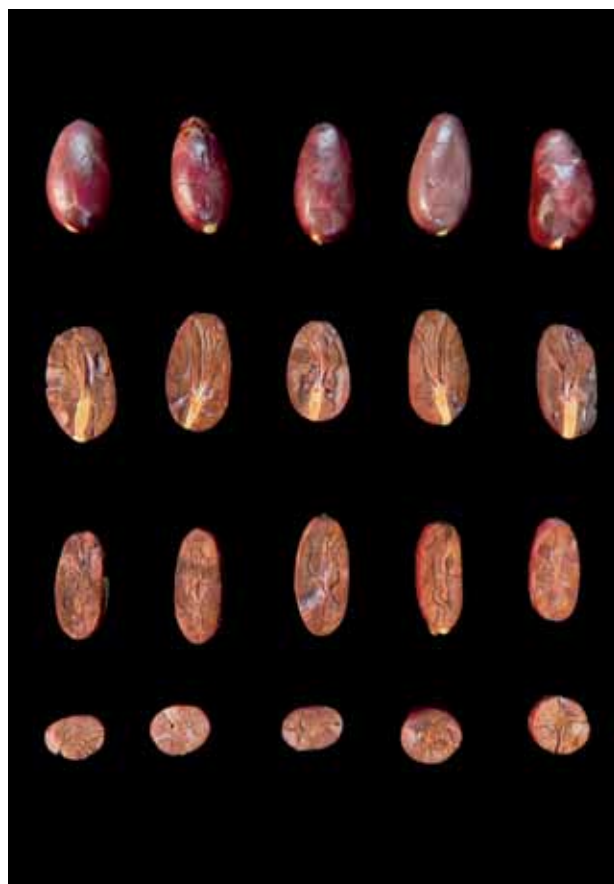
FRUTOS CATIE-R6

Color	Inmaduro:	Verde con púrpura
	Maduro:	Amarillo con anaranjado y eventuales pecas rojas
Forma	Fruto:	Angoleta- Cundeamor
	Ápice:	Atenuado
	Constricción basal ^{1/} :	3
Cáscara	Rugosidad ^{2/} :	3
	Dureza ^{3/} :	3
Otras	Peso (g):	566,1 ± 18,4
	Longitud (cm):	14,3 ± 0,24
	Diámetro (cm):	9,5 ± 0,15
	Relación L/D (cm):	1,8 ± 0,02
Semillas	Peso fresco por fruto (g):	127,2 ± 4,46
	Número semillas por fruto:	31 ± 1,11
Caballote	Espesor (cm):	1,6 ± 0,03
Surco	Profundidad (cm):	1,2 ± 0,02

^{1/} **Constricción basal:** 0 = ausente, 3 = suave, 5 = intermedia, 7 = fuerte.
^{2/} **Rugosidad:** 0 = ausente, 3 = suave, 5 = intermedia, 7 = áspera.
^{3/} **Dureza:** 3 = suave, 5 = intermedia, 7 = dura.

SEMILLAS CATIE-R6

Color cotiledón:	Púrpura claro
Forma:	Irregular
Formal del corte transversal:	Redondeada
Longitud (cm):	2,6 ± 0,07
Diámetro (cm):	0,9 ± 0,01
Espesor (cm):	1,2 ± 0,02



CC-137

País de origen: COSTA RICA
Institución: CATIE
Pedigrí: Polinización abierta del UF-12
Apariencia: Árboles de tamaño grande, frondosos y robustos. Ramas abiertas que tienden más a unirse entre las hileras.

Diámetro tronco: 16,8 cm \pm 0,92 (árboles de 14 años, La Lola); 7,7 \pm 0,30 (árboles de 4 años, Turrialba).

Color distintivo del clon: Blanco

HOJAS CC-137

Color brote terminal	Café claro verdoso
Forma de la hoja	Elíptica
Forma del ángulo	Aristado
Forma de la base	Cuneiforme
Ancho de la hoja (cm)	11,8 \pm 0,17
Longitud de la hoja (cm)	32,5 \pm 0,52
Longitud del peciolo (cm)	2,5 \pm 0,08
BPA ^{1/}	11,8 \pm 0,18
^{1/} BPA: Longitud desde la base al punto más ancho de la hoja	



FLORES CC-137

Parte floral	Longitud (mm)	Ancho (mm)	IA ^{1/}
Pedículo	21,6 \pm 0,34	0,7 \pm 0,40	7
Sépalo	8,7 \pm 0,05	2,9 \pm 0,09	3
Lígula	6,2 \pm 0,04	2,6 \pm 0,08	3
Filamento	0,9 \pm 0,07	0,3 \pm 0,06	0
Estaminoide	5,7 \pm 0,08	0,3 \pm 0,06	7
Estilo	1,3 \pm 0,02	0,3 \pm 0,06	0
Ovario	1,0 \pm 0,01	1,0 \pm 0,01	0
Número de rudimentos seminales (óvulos): 30 \pm 0,15			
^{1/} IA: Intensidad de la antocianina: 0 = ausente, 3 = suave, 5 = intermedia, 7 = intensa			

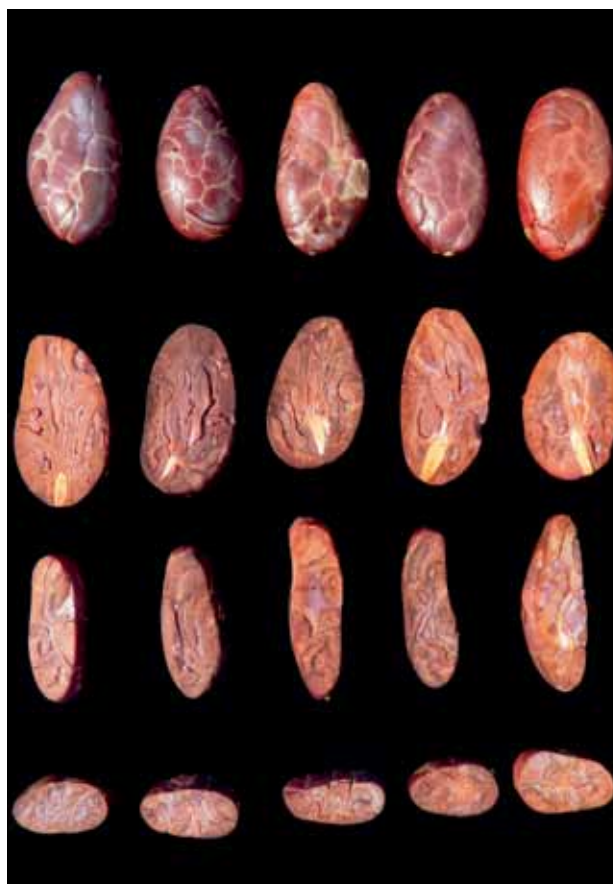


FRUTOS CC-137

Color	Inmaduro:	Verde claro y los surcos blancuzcos
	Maduro:	Amarillo
Forma	Fruto:	Amelonada- Angoleta
	Ápice:	Atenuado
	Constricción basal ^{1/} :	3
Cáscara	Rugosidad ^{2/} :	3
	Dureza ^{3/} :	3
Otras	Peso (g):	461,6 ± 13,8
	Longitud (cm):	14,9 ± 0,18
	Diámetro (cm):	9,0 ± 0,07
	Relación L/D (cm):	1,6 ± 0,01
Semillas	Peso fresco por fruto (g):	117,3 ± 3,87
	Número semillas por fruto:	27 ± 0,78
Caballote	Espesor (cm):	1,4 ± 0,02
Surco	Profundidad (cm):	1,1 ± 0,02
^{1/} Constricción basal: 0 = ausente, 3 = suave, 5 = intermedia, 7 = fuerte. ^{2/} Rugosidad: 0 = ausente, 3 = suave, 5 = intermedia, 7 = áspera. ^{3/} Dureza: 3 = suave, 5 = intermedia, 7 = dura.		

SEMILLAS CC-137

Color cotiledón:	Púrpura intenso
Forma:	Ovada
Formal del corte transversal:	Aplanada
Longitud (cm):	2,5 ± 0,08
Diámetro (cm):	1,1 ± 0,02
Espesor (cm):	0,9 ± 0,02



ICS-95 T1

País de origen: TRINIDAD

Institución: IMPERIAL COLLEGE

Pedigrí: Híbrido desconocido de Trinitario x Criollo

Apariencia: Árboles con el tamaño más grande de los 6 clones, frondosos y robustos.

Ramas abiertas con mucho follaje que cierra rápidamente el espacio entre hileras.

Diámetro del tronco: 13,3 cm \pm 0,43 (árboles de 14 años, La Lola); 8,1 \pm 0,27 (árboles de 4 años, Turrialba)

Color distintivo del clon: Negro

HOJAS ICS-95 T1

Color brote terminal	Rosado intenso
Forma de la hoja	Elíptica
Forma del ángulo	Cuspidado
Forma de la base	Obtuso
Ancho de la hoja (cm)	13,4 \pm 0,20
Longitud de la hoja (cm)	34,4 \pm 0,50
Longitud del peciolo (cm)	2,7 \pm 0,04
BPA ^{1/}	17,6 \pm 0,30
^{1/} BPA: Longitud desde la base al punto más ancho de la hoja	



38



FLORES ICS-95 T1

Parte floral	Longitud (mm)	Ancho (mm)	IA ^{1/}
Pedículo	22,1 \pm 0,67	0,7 \pm 0,71	7
Sépalo	8,2 \pm 0,60	3,2 \pm 0,20	5
Lígula	5,7 \pm 0,08	2,9 \pm 0,20	3
Filamento	0,9 \pm 0,07	0,3 \pm 0,05	0
Estaminoide	8,3 \pm 0,50	0,3 \pm 0,04	7
Estilo	2,1 \pm 0,01	0,3 \pm 0,03	0
Ovario	1,0 \pm 0,02	1,5 \pm 0,40	0
Número de rudimentos seminales (óvulos): 33 \pm 0,34			
^{1/} IA: Intensidad de la antocianina: 0 = ausente, 3 = suave, 5 = intermedia, 7 = intensa			



FRUTOS ICS-95 T1

Color	Inmaduro:	Púrpura oscuro
	Maduro:	Anaranjado con amarillo
Forma	Fruto:	Criollo
	Ápice:	Agudo
	Constricción basal ^{1/} :	3
Cáscara	Rugosidad ^{2/} :	5
	Dureza ^{3/} :	5
Otras	Peso (g):	589,7 ± 18,54
	Longitud (cm):	19,7 ± 0,26
	Diámetro (cm):	8,5 ± 0,10
	Relación L/D (cm):	2,3 ± 0,02
Semillas	Peso fresco por fruto (g):	102,0 ± 2,93
	Número semillas por fruto:	33 ± 0,76
Caballote	Espesor (cm):	1,7 ± 0,03
Surco	Profundidad (cm):	1,2 ± 0,02
^{1/} Constricción basal: 0 = ausente, 3 = suave, 5 = intermedia, 7 = fuerte. ^{2/} Rugosidad: 0 = ausente, 3 = suave, 5 = intermedia, 7 = áspera. ^{3/} Dureza: 3 = suave, 5 = intermedia, 7 = dura.		



SEMILLAS ICS-95 T1

Color cotiledón:	Púrpura claro
Forma:	Irregular
Formal del corte transversal:	Intermedia
Longitud (cm):	2,1 ± 0,05
Diámetro (cm):	0,9 ± 0,02
Espesor (cm):	1,1 ± 0,02

PMCT-58

País de origen: COSTA RICA

Institución: CATIE

Pedigrí: Híbrido Trinitario de padres desconocidos

Apariencia: Árboles con tamaño intermedio aunque existe mucha variación entre ellos.

Sus ramas son abiertas.

Diámetro del tronco: 13,2 cm ± 0,51 (árboles de 14 años, La Lola); 7,5 ± 0,23 (árboles de 4 años, Turrialba).

Color distintivo del clon: Azul

HOJAS PMCT-58

Color brote terminal	Rojo con café intenso
Forma de la hoja	Elíptica
Forma del ángulo	Aristado
Forma de la base	Obtuso
Ancho de la hoja (cm)	12,5 ± 0,19
Longitud de la hoja (cm)	38,0 ± 0,72
Longitud del peciolo (cm)	2,1 ± 0,05
BPA ^{1/}	16,4 ± 0,48
^{1/} BPA: Longitud desde la base al punto más ancho de la hoja	



FLORES PMCT-58

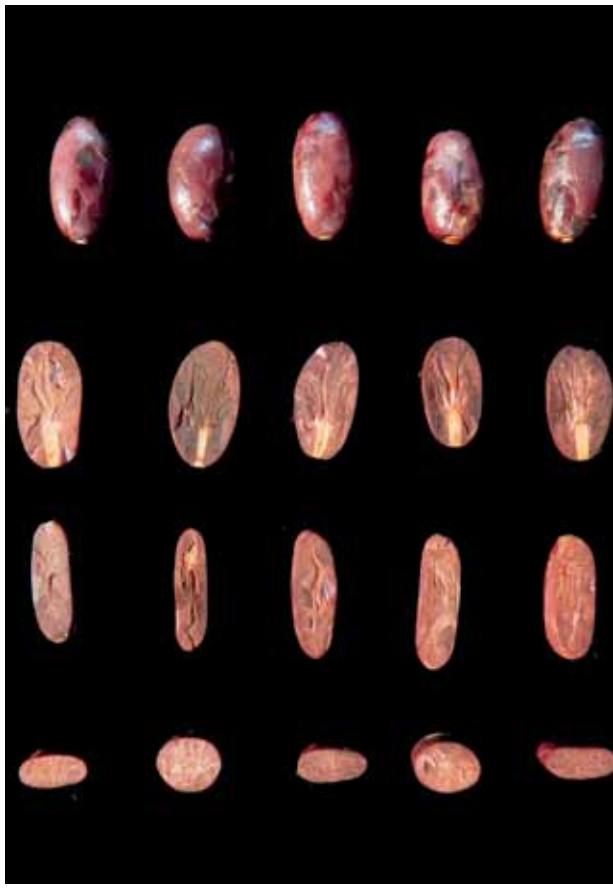
Parte floral	Longitud (mm)	Ancho (mm)	IA ^{1/}
Pedicelo	28,6 ± 0,24	0,8 ± 0,17	7
Sépalo	9,7 ± 0,12	2,6 ± 0,05	5
Lígula	6,2 ± 0,05	2,5 ± 0,05	3
Filamento	1,3 ± 0,08	0,4 ± 0,05	0
Estaminoide	6,7 ± 0,07	0,5 ± 0,05	7
Estilo	1,7 ± 0,03	0,4 ± 0,01	0
Ovario	2,7 ± 0,02	1,0 ± 0,02	3
Número de rudimentos seminales (óvulos): 39 ± 0,12			
^{1/} IA: Intensidad de la antocianina: 0 = ausente, 3 = suave, 5 = intermedia, 7 = intensa			



FRUTOS PMCT-58

Color	Inmaduro:	Púrpura con verde claro
	Maduro:	Anaranjado con amarillo
Forma	Fruto:	Amelonada
	Ápice:	Obtuso
	Constricción basal ^{1/} :	3
Cáscara	Rugosidad ^{2/} :	3
	Dureza ^{3/} :	3
Otras	Peso (g):	441,1 ± 18,50
	Longitud (cm):	13,8 ± 0,24
	Diámetro (cm):	8,8 ± 0,15
	Relación L/D (cm):	1,6 ± 0,02
Semillas	Peso fresco por fruto (g):	93,1 ± 4,48
	Número semillas por fruto:	37 ± 1,32
Caballote	Espesor (cm):	1,5 ± 0,02
Surco	Profundidad (cm):	1,1 ± 0,02

^{1/} **Constricción basal:** 0 = ausente, 3 = suave, 5 = intermedia, 7 = fuerte.
^{2/} **Rugosidad:** 0 = ausente, 3 = suave, 5 = intermedia, 7 = áspera.
^{3/} **Dureza:** 3 = suave, 5 = intermedia, 7 = dura.



SEMILLAS PMCT-58

Color cotiledón:	Púrpura
Forma:	Ovada
Formal del corte transversal:	Aplanada
Longitud (cm):	2,3 ± 0,09
Diámetro (cm):	0,8 ± 0,02
Espesor (cm):	1,1 ± 0,02

Tercera parte

Caracterización molecular

La caracterización molecular de los seis clones fue realizada por USDA-ARS en Miami en 2010. Se utilizaron 18 marcadores microsatélites o SSR desarrollados por el CIRAD (Lanaud *et al.* 1999) y comúnmente utilizados por USDA para analizar poblaciones de cacao debido a su buena capacidad discriminadora.

Para cada microsatélite la metodología permite visualizar los dos alelos, uno aportado por la madre y otro aportado por el padre. La cercanía genética entre dos individuos, sean árboles individuales o clones, es proporcional a la cantidad de alelos similares que tengan. Asimismo, el patrón de alelos que tiene un determinado material es estable y permite identificarlo y diferenciarlo de otros individuos genéticamente distintos. Esto convierte a los microsatélites en una poderosa herramienta para corregir errores de identificación, los cuales son muy frecuentes en cacao. Por ejemplo, los microsatélites han sido usados por USDA para corroborar molecularmente la identidad de todos los árboles del Jardín Clonal Madre del CATIE, de tal forma que se garantice la distribución de material propagativo puro a partir de esos árboles.

En el Cuadro 3 se resumen los resultados obtenidos en la caracterización molecular. Se puede observar que en forma individual la mayoría de los microsatélites puede distinguir entre 4 ó 5 de los seis clones estudiados. Aún los clones CATIE-R4 y CATIE-R6 que presentan una gran similitud genética por ser hermanos, pueden ser diferenciados usando cualquiera de seis microsatélites, entre ellos el mtcCIR009, el mtcCIR015 o el mtcCIR025. Lo mismo sucede con dos clones que son aparentemente afines genéticamente, el CC-137 y el ICS-95 T1, que pueden ser diferenciados usando alguno de los siete microsatélites polimórficos, por ejemplo el mtcCIR024.

Es importante recordar que si bien es cierto las herramientas moleculares son muy poderosas, también son costosas y poco accesibles para muchas personas por lo que deben ser usadas cuando sea imprescindible. La caracterización morfológica es más sencilla, no requiere de grandes costos y permite la identificación/corroboração de algunos genotipos con cierto grado de confianza.

Cuadro 3. Resultados de la caracterización molecular usando microsatélites.

Microsatélites	Alelos	CATIE-R1	CATIE-R4	CATIE-R6	CC-137	ICS-95 T1	PMCT-58
mtcCIR003	1	217	217	217	206	206	228
	2	241	271	271	217	217	271
mtcCIR006	1	228	228	228	228	228	228
	2	234	234	234	228	246	236
mtcCIR009	1	286	283	283	254	254	283
	2	286	286	283	286	286	286
mtcCIR015	1	246	232	232	232	232	250
	2	248	248	240	250	250	254
mtcCIR017	1	271	271	271	271	271	271
	2	281	287	287	271	281	271
mtcCIR018	1	331	335	335	331	331	335
	2	354	344	344	344	344	354
mtcCIR019	1	348	371	371	371	375	371
	2	371	377	377	375	375	377
mtcCIR021	1	142	142	142	153	153	149
	2	153	142	142	153	163	157
mtcCIR024	1	200	184	184	184	196	184
	2	200	200	200	184	196	196
mtcCIR025	1	145	128	128	145	145	130
	2	156	145	138	150	150	138
mtcCIR026	1	200	184	184	184	196	184
	2	200	200	200	184	196	196
mtcCIR029	1	163	161	161	157	157	163
	2	165	161	165	161	161	169
mtcCIR033	1	307	284	272	--	296	307
	2	309	308	308	--	344	344
mtcCIR074	1	257	--	--	261	251	--
	2	261	263	263	263	263	--
mtcCIR102	1	111	107	107	115	105	--
	2	115	117	117	117	117	--
mtcCIR172	1	138	124	138	124	124	124
	2	138	138	--	--	--	--
mtcCIR172	1	203	199	199	187	187	203
	2	211	211	203	211	211	211
mtcCIR244	1	260	260	260	243	243	243
	2	264	270	270	264	264	268

Cuarta parte

Evaluación agronómica de los clones

Rendimiento

El comportamiento productivo de los 42 clones que conforman el ensayo L6, así como las razones que justificaron la selección de los seis clones que se describen en este catálogo ya fueron desarrollados en la primera parte del catálogo (pág. 17). Aquí se detallará el comportamiento productivo de los seis materiales con base en los datos acumulados durante 11 años. Se incluye además los resultados obtenidos para los clones SCA-6 y POUND-7 que actúan como testigos susceptibles a moniliasis.

La Figura 12 muestra la producción anual de los clones durante todo el periodo de evaluación. Puede observarse que los materiales registran importantes fluctuaciones que están afectadas por el comportamiento bianual de la producción, lo cual es típico del cacao en la zona Atlántica de Costa Rica (Bazán 1972).

Como es de esperar, la producción se ha ido incrementando a través de los años, partiendo de valores inferiores a 400 kg/ha al tercer año después de la siembra (primer año de producción) y llegando hasta niveles cercanos a los 3.000 kg/ha para el CATIE-R6 al onceavo año. De hecho, las mayores producciones del ensayo se alcanzaron entre el noveno y onceavo año después de la siembra, lo que coincide posiblemente con la madurez productiva de los árboles.

Los clones CATIE-R6 y CATIE-R4 han registrado las mejores producciones del ensayo superando en varias ocasiones los 2.000 kg/ha (Cuadro 1). El CC-137 tuvo un comportamiento notable en los primeros años, pero decayó en los últimos (Figura 12). Por su parte, el CATIE-R1 ha sido un buen productor e incluso ha repuntado en el último año, en tanto que los clones ICS-95 T1 y PMCT-58 muestran una producción intermedia que ha tendido a bajar con respecto a los testigos susceptibles. El testigo susceptible SCA-6 no ha superado los 200 kg/ha y más bien ha reducido su producción debido a la moniliasis. El POUND-7 mostró una buena producción en los primeros 9 años, pero su potencial productivo ha descendido dramáticamente por acción de la enfermedad, llegando casi a cero en el último año.

El descenso de la producción que muestran en los últimos años los clones CC-137, PMCT-58 e ICS-95 T1 se debe principalmente a un incremento de la moniliasis en el área. Dado que estos son los clones de mayor porte, es probable que dicha reducción esté también relacionada con un deterioro en el rendimiento causado por el entrecruzamiento de sus doseles tal como han sugerido por varios autores (IPGRI 2000; Efron *et al.* 2003b, Lachenaud *et al.* 2005). Para corregir esta situación se debe realizar una poda intensa y un cambio en el régimen de fertilización, de tal forma que se renueve el follaje y se revitalicen los árboles. No se ha procedido de esta forma en el ensayo para no afectar las condiciones experimentales del mismo.

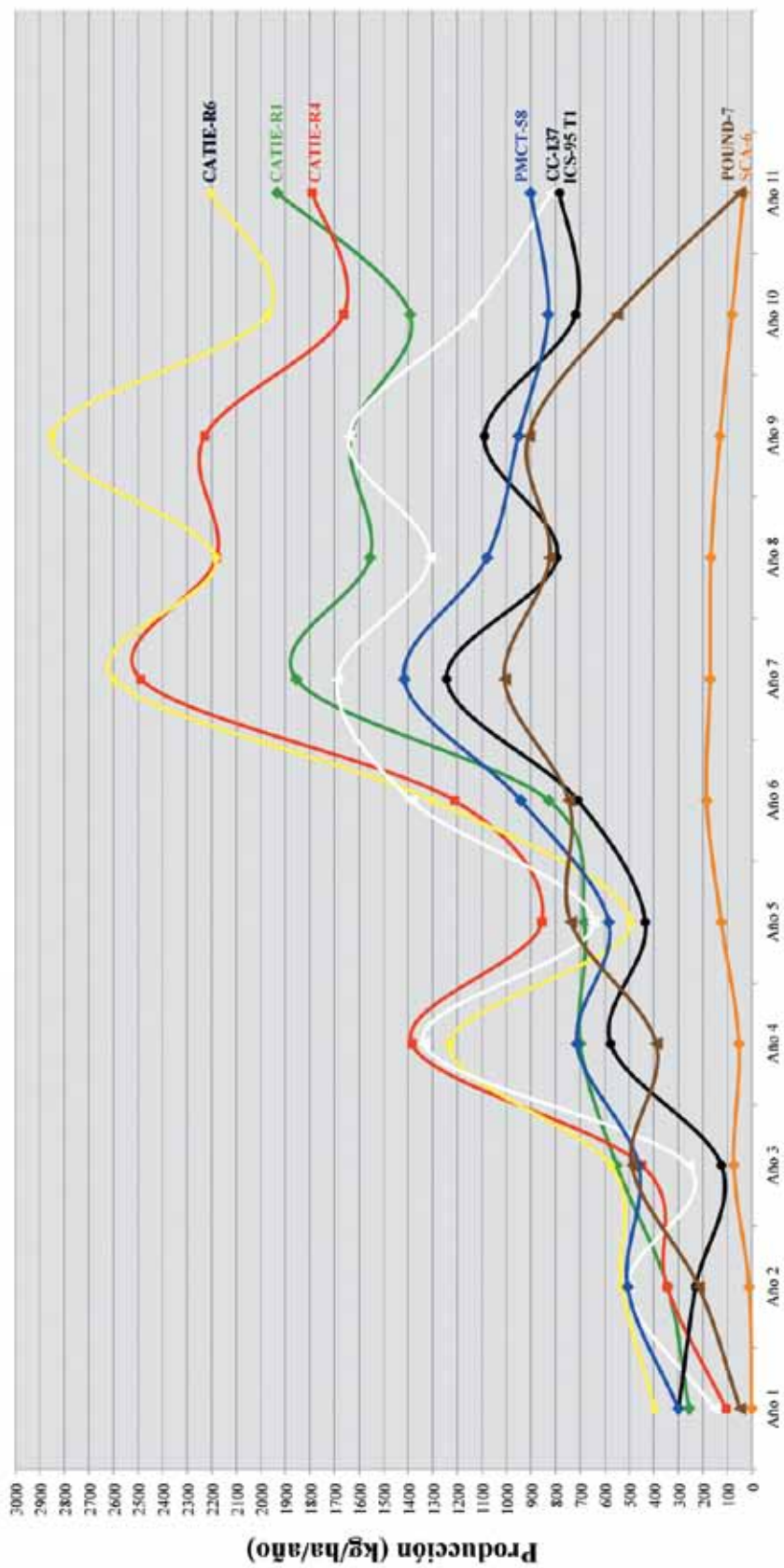


Figura 12. Producción promedio de 11 años de 8 clones de cacao evaluados por el CATIE.

En la Figura 13 se muestra el comportamiento promedio anual de la producción ajustado a un año calendario. Bajo las condiciones de la Finca La Lola y en general de la Costa Atlántica de Costa Rica, la producción de cacao se comporta en forma bimodal con un pico de producción en abril y otro en noviembre, lo cual fue común para todos los clones.

Se puede distinguir claramente tres grupos de clones, aquellos como el CATIE-R4 y CATIE-R6 cuya producción es significativamente mayor en abril, y el CATIE-R1 y en menor grado el PMCT-58 que incrementan su producción al final del año. En el medio están el CC-137 y el ICS-95 T1 que muestran una producción similar en ambos picos. Esta información podría ser de utilidad para planificar las prácticas agrícolas en la finca y para ayudar a predecir la producción en un momento determinado. Sin embargo, se debe recordar que está basada en promedios y en una condición ambiental específica.

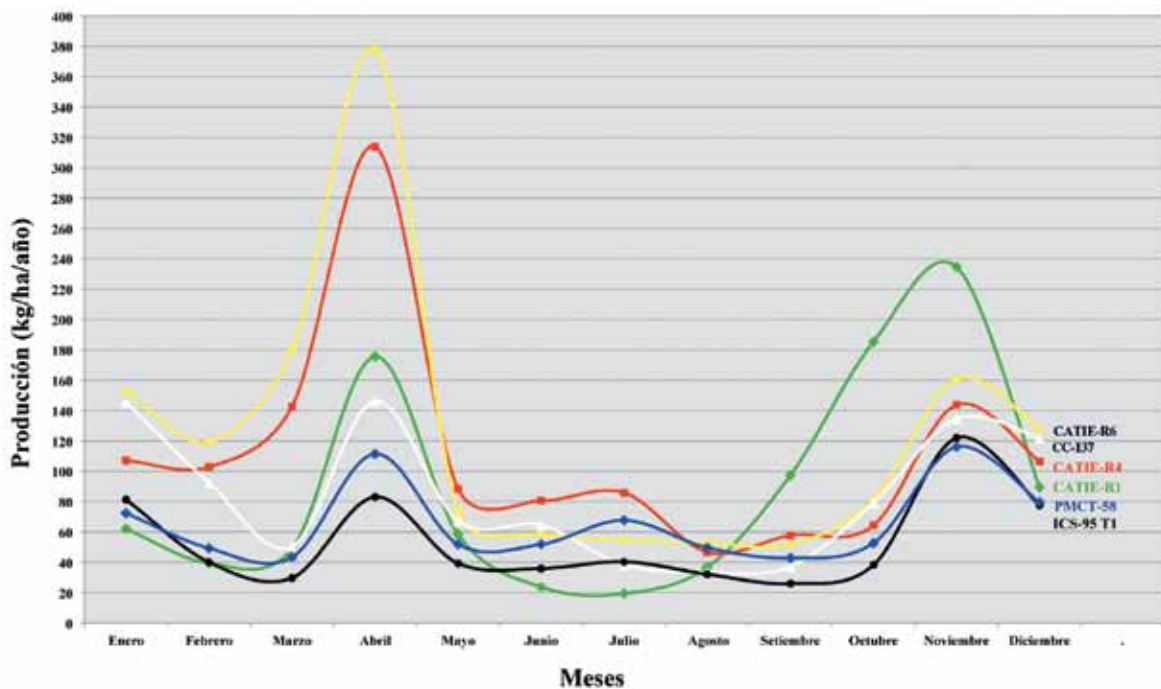


Figura 13. Producción mensual (kg/ha/año) de 6 clones élite de cacao del CATIE (promedio de 11 años de datos).

Reacción natural a moniliasis y mazorca negra

La reacción a enfermedades se basa también en los resultados obtenidos en L6 durante 11 años. Dado que la incidencia natural de mazorca negra fue muy baja en todos los clones (< 7%) (Cuadro 1), en adelante la discusión se centrará sobre la moniliasis, la cual es el factor más limitante para la producción de cacao en toda la región.

La incidencia de esta enfermedad mostró importantes fluctuaciones a través de los años, y está directamente asociada a una mayor producción de frutos. Dichas fluctuaciones fueron más marcadas para los clones susceptibles SCA-6 y POUND-7 y menos intensas para los clones tolerantes (Figura 14). Los materiales pueden clasificarse en dos grupos de acuerdo con su comportamiento a través de los años:

- El primer grupo está constituido por los clones CATIE-R que registraron las menores incidencias durante todos los años de evaluación con valores que no superan el 25% de pérdidas. Destaca el CATIE-R6 con un comportamiento resistente muy estable y promedios de incidencia menores al 10%. Esto demuestra el potencial que tiene la resistencia genética para reducir el impacto de la moniliasis aún en áreas de alta infestación como la finca La Lola. El CATIE-R4 ha tenido también un comportamiento destacado, aunque su resistencia es inferior a la del CATIE-R6, registrando incluso en el último año, un incremento inusual de la incidencia.
- El segundo grupo está formado por los clones CC-137, ICS-95 T1y PMCT-58, los cuales durante varios años han tenido pérdidas inferiores al 30%, pero en los dos últimos han registrado un aumento considerable de la incidencia. Este comportamiento se puede explicar por el hecho de que los materiales han estado sometidos en los últimos años a una presión de la enfermedad muy intensa producto de la coincidencia de los siguientes factores: condiciones ambientales muy propicias; mayor disponibilidad de frutos jóvenes; alta presión de inóculo en la zona; presencia de gran cantidad de clones susceptibles en el área experimental (L6), y ausencia total de control de moniliasis.

El establecimiento de plantaciones comerciales con una mezcla proporcional de los seis clones (policlon) sembrados al azar o en hileras alternas produce un efecto compensatorio entre clones tolerantes y susceptibles, logrando que se reduzca la diseminación de las enfermedades y el desarrollo de las epidemias. Este comportamiento está siendo corroborado en los jardines clonales establecidos por el PCC en Centroamérica (Foto 2), en los cuales la incidencia de moniliasis y mazorca negra es muy baja a pesar de que la producción ha ido en aumento. Se debe tener presente que la resistencia genética debe ser parte de un paquete de combate integrado de enfermedades que promueva un ambiente favorable para la planta y desfavorable para los patógenos, así como la eliminación periódica y adecuada disposición de los frutos enfermos.

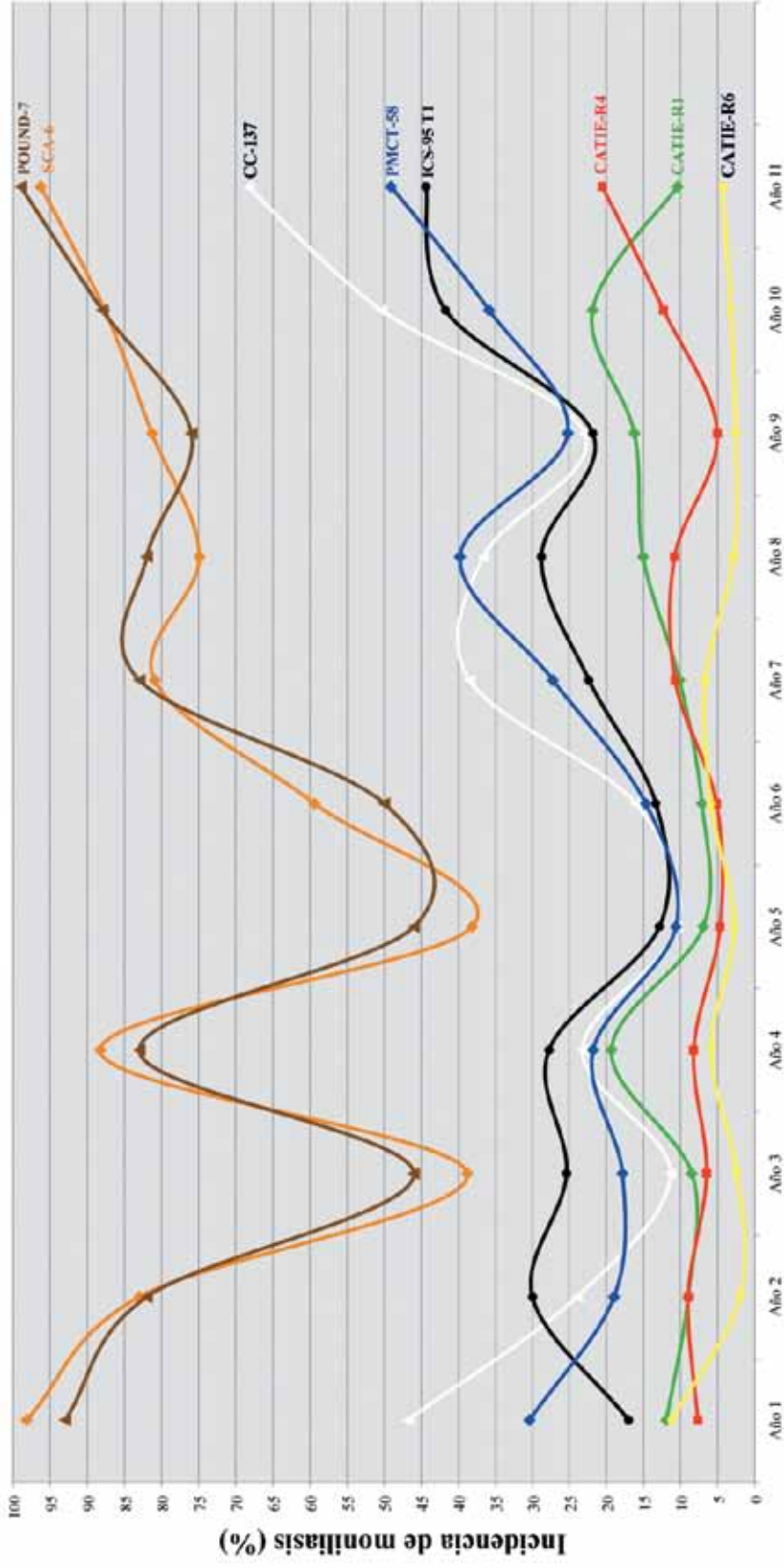


Figura 14. Incidencia promedio de 11 años de moniliasis en 8 clones de cacao evaluados por el CATIE.



Foto 2. A. Vista parcial del Jardín Clonal de la FHIA (Honduras) establecido en el 2008. **B.** Árbol de CATIE-R6 en producción en el Jardín Clonal de APPTA (Talamanca, Costa Rica) establecido en el 2008. **C.** Jardín Clonal Madre del CATIE (Turrialba, Costa Rica) establecido en el 2007 mostrando las diferencias de tamaño de planta y vigor entre los clones CC-137 y CATIE-R1.

Reacción artificial a moniliasis y mazorca negra

La reacción artificial a moniliasis fue determinada usando el método de Sánchez *et al.* (1987) modificado por Phillips y Galindo (1988) (Figura 3). Las inoculaciones se realizaron en los árboles de L6 ubicados en la Finca La Lola en 2011. Se identificaron dos clones resistentes (CATIE-R4, CATIE-R6), un clon moderadamente resistente (CATIE-R1) y tres clones moderadamente susceptibles (CC-137, ICS-95 T1 y PMCT-58). Aunque en las inoculaciones artificiales se ha ejercido una gran presión de selección aplicando altas concentraciones de inóculo ($1,2 \times 10^5$ esporas/ml) y cámara húmeda para favorecer la infección, los resultados obtenidos por ese método artificial son similares a los observados en forma natural (Cuadro 1).

La reacción artificial a mazorca negra se determinó utilizando el método de discos de papel diseñado por Phillips y Galindo (1989) (Figura 3). Los clones CATIE-R6, CC-137 e ICS-95 T1 mostraron una reacción moderadamente resistente, en tanto que el CATIE-R1 y CATIE-R4 fueron susceptibles. El PMCT-58 resultó altamente susceptible.

Para los clones ICS-95 T1, PMCT-58 y CATIE-R4, los resultados de las inoculaciones difieren del comportamiento obtenido en el campo, que se caracterizó por muy bajos niveles de mazorca negra que no permitieron establecer diferencias entre los clones (Cuadro 1). Las altas incidencias obtenidas para esos clones en las inoculaciones artificiales se pueden deber al uso de un aislamiento más agresivo y de concentraciones muy altas de inóculo ($1,6 \times 10^5$ esporas/ml).

Índices de fruto y de semilla

El índice de fruto es el número de frutos necesarios para obtener un kilogramo de cacao fermentado y seco (IPGRI 2000). Está influenciado por factores genéticos, ambientales, la edad de la planta, la posición de los frutos en el árbol y las condiciones de suelo y fertilidad (Soria 1966). Por esta razón, para su determinación es importante usar un mínimo de 20 frutos (IPGRI 2000).

El índice de semilla es el peso promedio en gramos de 100 semillas fermentadas y secas tomadas al azar (IPGRI 2000).

Para la determinación de ambos índices se usaron frutos de la finca La Lola cosechados en diferentes épocas del año en el periodo 2007-2010. Las semillas de esos frutos fueron procesadas usando el siguiente protocolo que se resume en la Figura 15.

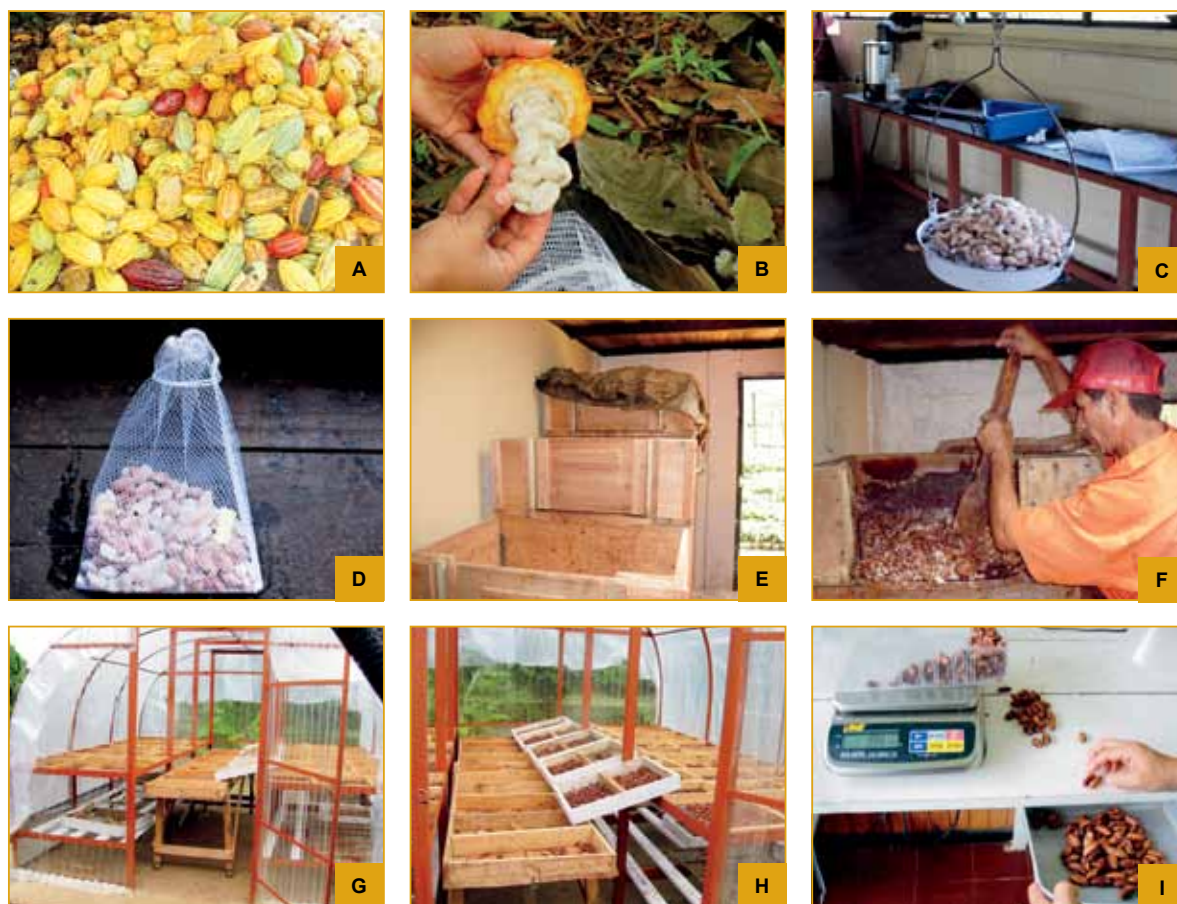


Figura 15. Etapas en el proceso de beneficiado: A. Cosecha e identificación del material. B. Desgrane. C. Peso de las muestras. D. Manejo y rotulación de la muestra. E. Fermentación en cajón tipo escalera. F. Remoción de la masa. G. Secado artificial. H. Secado de muestras en zarandas de madera. I. Almacenamiento y rotulación para envío.

1. Se extrajeron las semillas de los frutos que presentaban una adecuada madurez fisiológica y que estaban libres de daños. No se incluyeron placentas ni materiales extraños como pedazos de cáscara.
2. Cada muestra individual conformada por semillas de un solo clon con un peso no superior a 1 kg fue colocada en una bolsa de malla plástica de 80 cm de largo x 80 cm de ancho con perforaciones de 0,5 mm. Se rotuló cada muestra.
3. Las mallas plásticas fueron colocadas en el primer cajón de un fermentador tipo escalera compuesto por 5 cajones de 100 x 70 x 70 cm de largo, ancho y alto respectivamente. Las bolsas se colocaron alternando de 5 a 8 bolsas con masa de fermentación ordinaria. Finalmente se cubrió el cajón con hojas de plátano y sacos de yute para mantener la temperatura estable dentro del fermentador.
4. La fermentación duró 5 días realizando la primera remoción de la masa (cambio al cajón inferior) a las 48 horas y las siguientes remociones cada día hasta que finalizó el proceso. Durante los cinco días se midió la temperatura a las 6:00 y 14:00 horas con el fin de monitorear y garantizar el éxito de la fermentación.

5. El secado de las muestras se inició inmediatamente después de concluida la fase de fermentación. Las muestras fueron secadas al sol de acuerdo con el procedimiento recomendado por Ed Seguine de MARS: 3 horas de exposición el primer día (10 am - 1 pm); 4 horas el segundo (9 am - 1 pm), 6 horas el tercero (9 am - 3 pm) o alternativamente en un secador solar con láminas de polietileno transparente, tras lo cual las semillas se dejaron a libre exposición solar hasta alcanzar un 7% de humedad verificada por medio de un medidor de humedad. Luego de cada periodo de exposición al sol, las semillas fueron apiladas y guardadas bajo techo.
6. Las semillas se pesaron y empacaron en bolsas plásticas que son conservadas en una cámara a 5 °C hasta su uso.
7. Se determinó entonces el peso promedio de 100 semillas (índice de semilla). El índice de mazorca se calculó con base en la cantidad de frutos que ingresaron al proceso y el peso seco de todas las semillas obtenidas.

Nota: El procedimiento descrito se utiliza también para la preparación de las muestras para los análisis de calidad.

El índice de semilla de los seis clones superó en todos los casos el mínimo requerido por la industria que es 1 g. Los valores más bajos (1,2 g) correspondieron al ICS-95 T1 y PMCT-58, y el más alto (1,7 g) al CC-137. Los clones CATIE-R registraron valores intermedios (1,3 - 1,5 g).

El índice de fruto fue muy favorable para el CATIE-R4 con un valor de 18. Fue muy alto para el CATIE-R1 (29) e intermedio para los clones CATIE-R6, CC-137, ICS-95 T1 y PMCT-58 que tuvieron valores entre 22 y 24 frutos.

Índice de eficiencia del rendimiento

El índice de eficiencia del rendimiento es una relación que se calcula entre la producción y el vigor del árbol (Eskes 1999). Como medida del vigor se usa el diámetro del tronco, el cual tiene una correlación positiva y altamente significativa con el vigor del árbol y con la producción de las plantas de cacao (Gledining 1960; Mariano 1966; Peralta 1978; Moses y Enríquez 1979).

El objeto es identificar dentro de poblaciones específicas, los árboles o clones que muestren los más altos índices de eficiencia, lo que indica que son genotipos de alta producción con un desarrollo de planta moderado. Dichos materiales permitirían establecer plantaciones más eficientes y productivas y hacer uso de mayores densidades de siembra. Además, las plantas de porte bajo facilitan el manejo fitosanitario y las prácticas de regulación de sombra del cacao y de los árboles asociados. También, se reduce el entrecruzamiento de los doseles, que como se mencionó es una de las causas del deterioro del rendimiento en las plantaciones adultas de cacao (IPGRI 2000; Efron *et al.* 2003b, Lachenaud *et al.* 2005).

El índice de eficiencia se calculó para los seis clones dividiendo el promedio de producción de 11 años de datos entre el diámetro al cuadrado del tronco (cm) medido a los 30 cm de altura 14 años después de sembrado el ensayo.

El índice de eficiencia tuvo el siguiente comportamiento: CATIE-R6 (5,3) > PMCT-58 (4,4) > CATIE-R1 (4,0) > CATIE-R4 (3,8) = ICS-95 T1 (3,8) > CC-137 (3,7). Esto indica que el CATIE-R6 es el clon que posee la mejor relación entre el porte y la producción, seguido por el PMCT-58. El CC-137 tuvo el índice más bajo.

Todas las variables agronómicas descritas con anterioridad son resumidas en el Cuadro 4.

Cuadro 4. Evaluación agronómica de 6 clones de cacao seleccionados por el CATIE.

Clon	Incidencia natural de enfermedades (%)				Reacción artificial		Producción (kg/ha/año)		Índices			
	Moniliasis		Mazorca negra		Moniliasis ^{1/}	Mazorca negra ^{2/}	Promedio de 11 años	Promedio de últimos 5 años	Mazorca	Semilla	Eficiencia	
	Promedio de 11 años	Promedio de últimos 5 años	Promedio de 11 años	Promedio de últimos 5 años								
Clones seleccionados	CATIE-R1	12	15	7	6	MR	S	1066	1674	29	1,3	4,05
	CATIE-R4	9	12	1	1	R	S	1336	2070	18	1,5	3,81
	CATIE-R6	5	4	0	0	R	MR	1485	2363	24	1,4	5,34
	CC-137	32	43	1	0	MS	MR	990	1321	24	1,7	3,71
	ICS-95 T1	26	32	6	4	MS	MR	636	926	22	1,2	3,79
	PMCT-58	26	35	4	2	MS	AS	789	1036	27	1,2	4,35
Testigos	CCN-51	45	56	4	2	MS	S	824	1034	18	2,14	4,45
	POUND-7	75	86	0	0	MS	R	542	668	25	1,23	2,21
	SCA-6	75	84	2	0	MS	AR	94	117	47	0,58	0,90
	UF-273 T1	14	16	4	3	R	AS	933	1395	31	1,32	5,00

^{1/} Inoculaciones artificiales de *M. royeri* por métodos de Sánchez *et al.* (1987) y Phillips y Galindo (1988).

^{2/} Inoculaciones artificiales de *P. palmivora* por el método de discos de Phillips y Galindo (1989). AS: Altamente Susceptible, S: Susceptible, MS: moderadamente Susceptible, MR: Moderadamente Resistente, R: Resistente, AR: Altamente Resistente.

Quinta parte

Auto e inter-compatibilidad

La autocompatibilidad es la capacidad que tiene una planta o un grupo de plantas genéticamente idénticas (clon) de fecundar sus propias flores y lograr la producción de frutos. Concordantemente dichas plantas pueden clasificarse en autocompatibles, o en caso contrario, autoincompatibles. Por su parte, la inter-compatibilidad se refiere a la capacidad que tiene una planta o clon de fecundar las flores de otra planta o clon genéticamente distinto, lo que conlleva a clasificarlos en intercompatibles o no intercompatibles.

En condiciones experimentales, se considera que una planta o clon es autocompatible o intercompatible cuando las polinizaciones artificiales producen un prendimiento (fecundación y formación de frutos) superior o igual al 30% de todas las flores polinizadas (Terreros *et al.* 1983; Royaert *et al.* 2011).

La compatibilidad es una característica deseable porque facilita los cruzamientos y el cuajamiento de frutos y hace posible la siembra de clones individuales en áreas uniformes. Por el contrario, la incompatibilidad ha sido asociada a una menor producción (Hardy 1961; Aranzazu *et al.* 2008).

Muchos clones útiles en mejoramiento genético son auto-incompatibles, incluyendo algunos de los más resistentes a enfermedades, lo que ha provocado que algunos programas hayan puesto un esfuerzo considerable tratando de revertir esta situación (Lopes *et al.* 2011). Sin embargo, dado que los materiales auto-incompatibles usualmente tienen la capacidad de cruzarse con otros (Wood y Lass, 1985), la situación en las plantaciones comerciales puede corregirse fácilmente usando diseños de siembra apropiados que propicien el intercambio de polen entre clones inter-compatibles.

Procedimiento

La auto-compatibilidad y la inter-compatibilidad de los seis clones fue determinada siguiendo el protocolo estándar descrito por Martins *et al.* (1998) y Eskes *et al.* (2000), el cual se resume a continuación y se ilustra en la Figura 16. Adicionalmente, se incluyó en el estudio al clon IMC-67 como testigo, el cual es muy utilizado en las plantaciones clonales como donante universal de polen por su aparente capacidad de fecundar fácilmente a otros materiales.

Se seleccionan los botones florales el día anterior en horas de la tarde y se cubren con un tubo de vidrio transparente sujetado al árbol con un anillo de plastilina y una liga. El extremo distal del tubo se cubre previamente con malla fina para evitar el ingreso de insectos, agua, etc.

Las polinizaciones se realizan entre las 6:00 y 11:00 horas evitando hacerlas en días fríos o lluviosos. La polinización se hace frotando las anteras de la flor padre previamente descubiertas, sobre el estigma de la flor madre a la cual se le ha eliminado dos estaminoides. El proceso se repite con las otras anteras hasta observar que los granos de polen queden adheridos al estigma.

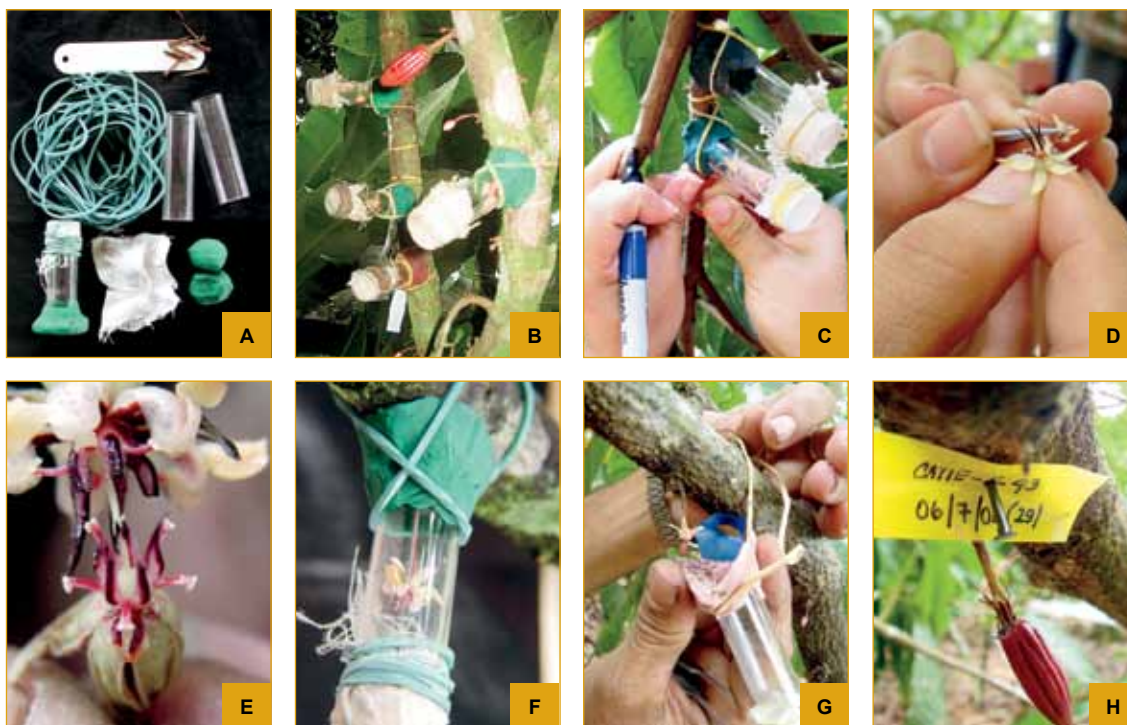


Figura 16. Procedimiento para determinar la auto-compatibilidad y la inter-compatibilidad de los clones:
 A. Materiales utilizados. B. Colocación del tubo de vidrio para aislar la flor. C. Apertura del botón floral.
 D. Preparación de la flor padre. E. Polinización. F. Flor recién polinizada protegida con el tubo de vidrio.
 G. Fruto prendido. H. Desarrollo del fruto.

Luego de la polinización, las flores son cubiertas de nuevo con los tubos y rotuladas individualmente. Quince días después se determina el porcentaje de flores prendidas.

Las polinizaciones artificiales se llevaron a cabo de setiembre a noviembre del 2008. Para cada combinación (auto-polinizaciones o inter-polinizaciones) se polinizaron manualmente 30 flores divididas en tres repeticiones. Como se mencionó anteriormente, los clones fueron calificados como auto o inter-compatibles cuando el porcentaje de polinizaciones exitosas fue $\geq 30\%$ (Royaert *et al.* 2011).

Auto e inter-compatibilidad de los clones

Siguiendo la metodología señalada se corroboró la auto-compatibilidad de los clones CATIE-R1, CC-137 e ICS-95 T1, así como la auto-incompatibilidad de los clones CATIE-R4, CATIE-R6, PMCT-58 e IMC-67 (Cuadro 5).

Cuadro 5. Matriz de auto e intercompatibilidad sexual de siete clones seleccionados.

Madre Padre	CATIE-R1	CATIE-R4	CATIE-R6	ICS-95 T1	PMCT-58	CC-137	IMC-67
CATIE-R1	+ ^{1/}	++	++	++	++	--	++
CATIE-R4	++	-	++	++	++	--	++
CATIE-R6	++	++	-	++	++	++	++
ICS-95 T1	++	++	++	+	++	--	--
PMCT-58	++	++	++	++	-	--	--
CC-137	++	++	++	--	++	+	--
IMC-67	++	++	++	--	--	--	-

^{1/} (+) = Auto-compatibile; (-) = Auto-incompatibile; (++) = Inter-compatibile (≥ 30%); (--) = Inter-incompatibile (< 30%).

Se encontraron altos niveles de inter-compatibilidad entre los clones evaluados (Cuadro 5), lo que permite asumir que en el campo no se presentarán problemas de fecundación en el tanto los materiales se siembren en mezclas aleatorias o hileras alternas. Incluso, se ha observado que tres hileras seguidas de un solo clon funcionan bien. Tal es el caso del Jardín clonal de APPTA en Talamanca, Costa Rica, en donde todos los clones muestran una buena producción de frutos a pesar de su corta edad (3 años) y están ubicados en hileras triples.

Los clones que mostraron la mejor inter-compatibilidad fueron el CATIE-R1, CATIE-R4 y CATIE-R6. Estos clones pueden ser polinizados exitosamente por cualquiera de los clones restantes. Ellos también tienen un buen nivel de inter-compatibilidad cuando actúan como padres excepto cuando son cruzados con el PMCT-58, CC-137 e IMC-67.

El ICS-95 T1 es inter-compatibile con todos los clones excepto con el CC-137 e IMC-67, ya sea actuando como madre o como padre. Por su parte, el PMCT-58 sólo es inter-compatibile con el ICS-95 T1 cuando actúa como madre o como padre y con los clones CATIE-R cuando actúa como padre.

Los clones que tienen el más bajo nivel de inter-compatibilidad son el IMC-67 y el CC-137. Cuando ellos actúan como madre, no pueden ser polinizados exitosamente por el resto, aunque sí pueden fertilizar las flores de los clones CATIE-R. Para el CC-137 esto no es un inconveniente porque al ser auto-compatibile no depende de polen externo para producir frutos.

El IMC-67 mostró niveles muy bajos de inter-compatibilidad como madre y como padre lo que contradice la creencia generalizada de que este clon actúa como donador universal de polen en las plantaciones. Concordantemente, Cadavid-Vélez (2006) informó que el IMC-67 presenta incompatibilidad con los clones ICS-39, ICS-60, ICS-95 y SC-6 cuando actúa como madre.

Sexta parte

Calidad industrial y protocolos de beneficiado

Existe una creciente demanda mundial por cacao de buena calidad, sobre todo asociados a sellos u orígenes geográficos o genéticos distintivos. La siembra de variedades superiores de buena calidad junto con prácticas adecuadas de beneficiado, redundaría en beneficios para toda la cadena productiva, como son mayores ganancias para las familias productoras y una provisión más estable de cacao finos para los mercados especializados. Esto le daría una mayor sostenibilidad a las plantaciones de cacao en Latinoamérica, cuya existencia ha sido seriamente amenazada por las periódicas caídas de los precios internacionales del grano.

La selección por calidad ha adquirido una importancia creciente en los programas de mejoramiento en los últimos 10 años en concordancia con las nuevas demandas de los mercados. Por ejemplo, en Ecuador se ha puesto mucho énfasis en el desarrollo de variedades con sabor Arriba asociadas al Cacao Nacional y en Brasil se trabaja con variedades de alta calidad para explorar el mercado de cacao finos europeos (Lopes *et al.* 2011).

En el año 2005, el CATIE inició las evaluaciones de calidad de sus líneas avanzadas de mejoramiento en colaboración con compañías e instituciones de Europa y Estados Unidos tales como: Guittard, Mars, Chocolate Bernrain, Felchlin, Flor de Santos, Theo chocolat, Universidad de Hamburgo, Chocolates Halba, etc., quienes han evaluado muestras preparadas por el PMG siguiendo el procedimiento de fermentación y secado descrito en la cuarta parte de este documento (índice de fruto y semilla) (Foto 3).

La mayoría de las compañías han evaluado la calidad de los clones por separado, aunque otras han puesto más interés en la mezcla de los mismos bajo la premisa de que la mayoría de los agricultores y agricultoras comercializarán su producto en mezcla. Por otra parte, las compañías aplican diferentes estándares de evaluación que van desde los pre-concebidos (el cacao ideal es el que se asemeja al que la compañía actualmente procesa), hasta los innovadores, que buscan identificar tipos nuevos de cacao para ampliar la oferta de chocolates diferenciados.

Los parámetros de evaluación más comunes han sido la calidad organoléptica de los materiales usando paneles locales de catación, el pH y el contenido de grasa de las semillas. En la Universidad de Hamburgo se han realizado evaluaciones más sofisticadas analizando el contenido de azúcares reducidos, cafeína, teobromina, aminoácidos libres y polifenoles entre otros (Jens 2011; Hegmann 2012). A continuación se presenta una síntesis de los resultados.



Foto 3. Ed Seguine (MARS) es un experto mundial en calidad de cacao y un importante colaborador del Programa de Mejoramiento Genético del CATIE.

Análisis individual de los seis clones

Tanto Jens (2011) como la compañía Guittard, señalan que todos los clones en forma individual poseen un alto potencial de calidad. Concordante con esto, los clones CATIE-R4 y CATIE-R6 fueron seleccionados dentro de los mejores cacaos en la versión 2009 del *Salon du Chocolat* de París (Recuadro 2), tal como se indica más adelante. Es un hecho sin embargo, que existen diferencias importantes entre los clones, que van desde la reconocida calidad del PMCT-58 hasta la moderada calidad del CC-137, percepción que es compartida por compañías como Felchlin, Theo Chocolate y Chocolat Bernrain.

“Cacao de Excelencia” en el *Salon du Chocolat* de París

El “Cacao de Excelencia” (*Cocoa of Excellence*) es una iniciativa liderada por Bioversity International que promueve la diversidad del cacao como fuente de oportunidades comerciales para familias productoras y para los industriales. Los objetivos de la iniciativa son: incrementar el conocimiento en toda la cadena de suministro de las oportunidades existentes para la diferenciación de los mercados; dar un reconocimiento mundial a los *terroirs*^{1/}, a los productores y productoras destacados y a los cacaos de alta calidad; exponer a los fabricantes de chocolate y a los consumidores especializados al espectro de sabores existentes; fomentar los vínculos entre los productores y productoras de cacao de calidad y los fabricantes especializados de chocolates; y estimular la capacidad de los países productores para buscar, evaluar y producir cacaos especiales (<http://www.cocoaofexcellence.org>).

Cada año, los países interesados envían al concurso muestras en grano que representan los orígenes genéticos y geográficos de su región. Sólo las mejores muestras son convertidas a chocolate para ser sometidas al escrutinio de un panel de expertos en el concurso *International Cocoa Awards* que se realiza anualmente en el marco del *Salon du Chocolat* de París. El jurado selecciona los chocolates que destacan por poseer notas características, por ejemplo a cacao, dulce, floral, frutal, nueces, madera o especias.

^{1/} *Terroir* (terruño) es un vocablo francés que denota las características especiales que la geografía, la geología y el clima de un determinado lugar otorga a una determinada variedad. Se refiere a un área geográfica bien delimitada y homogénea que le imprime alguna particularidad llamativa a algún(os) producto agrícola.

Con base en los análisis realizados, la calidad de los clones podría clasificarse descendientemente así: PMCT-58 > CATIE-R6 > CATIE-R1 > CATIE-R4 > ICS-95 T1 > CC-137, sin embargo, esta clasificación podría variar de acuerdo con los criterios de selección que aplique cada compañía.

La Universidad de Washington, por solicitud de la empresa Theo Chocolate, realizó en 2009 un análisis químico de los perfiles volátiles de los seis clones usando micro-extracción y cromatografía de gas (*tandem gas chromatography/time of flight mass spectroscopy*). Encontró que el perfil del PMCT-58 es muy complejo en comparación con el CC-137 en términos de concentración y presencia de compuestos volátiles, lo que ayuda a explicar las diferencias de calidad entre ellos.

Basados en los análisis realizados por Jens (2011) en la Universidad de Hamburgo, se puede concluir que la buena calidad del PMCT-58 parece originarse en el efecto combinado de diferentes características, entre estas: un alto contenido de grasa, una relación cafeína/teobromina intermedia, un contenido de aminoácidos libres particularmente alto a pesar de estar asociado a un contenido relativamente bajo de azúcares reducidos (Cuadro 6). Por el contrario, la moderada calidad del CC-137 se debe posiblemente a la combinación de factores como: un bajo contenido de grasa, un bajo contenido de aminoácidos libres y de azúcares reducidos y un alto contenido de teobromina, cafeína y polifenoles.

Compañías como Guittard y Chocolat Bernrain consideran que el CATIE-R6 tiene un buen potencial de calidad, seguido por el CATIE-R4. De hecho, en la versión 2009 del *Salon du Chocolat* de París, el jurado seleccionó estas dos variedades dentro de los mejores chocolates en concurso. Así, el CATIE-R4 fue clasificado dentro de las 10 mejores variedades en las notas de cacao, dulce, floral y frutal y el CATIE-R6 en las notas de nueces y madera.

Cuadro 6. Características físico-químicas de semillas de cinco clones del Programa de Mejoramiento Genético del CATIE (Jens 2011).

Parámetros	CATIE-R1	CATIE-R4	CATIE-R6	CC-137	PMCT-58
Peso promedio del grano fermentado y seco (g)	1,25	1,30	1,35	2,00	1,15
Grasa (%)	52,3	56,2	55,7	50,6	59,1
Cafeína (mg/g P.S.L.G.) ^{1/}	6,31	4,22	3,77	8,64	5,74
Teobromina (mg/g P.S.L.G.)	18,98	22,90	19,30	30,67	23,64
Relación teobromina/cafeína ^{2/}	3,01	5,43	5,12	3,55	4,12
Aminoácidos libres (mg/g P.S.L.G.) ^{3/}	16,85	14,43	14,18	9,60	23,77
Azúcares reducidos (mg/g P.S.L.G.) ^{4/}	2,059	1,787	2,046	1,492	0,836
Polifenoles totales (mg/g P.S.L.G.) ^{5/}	55,19	52,13	52,45	64,17	62,83
Epicatequin (mg/g P.S.L.G.) ^{6/}	4,63	2,22	3,20	7,35	3,07
Catequin (mg/g P.S.L.G.) ^{6/}	0,16	n. d.	n. d.	0,32	n. d.

^{1/} **Contenido de cafeína:** Un alto contenido (más de 3 mg/g P.S.L.G.) está asociado con una calidad superior de cacao. P.S.L.G. = peso seco libre de grasa.

^{2/} **Relación Cafeína/teobromina:** Indicador usado para diferenciar entre el cacao común y el cacao de calidad premier. Si el coeficiente es menor de 8 y está asociado a un contenido de cafeína mayor de 3 mg/g P.S.L.G. se asume que el cacao es de alta calidad.

^{3/} **Contenido de aminoácidos libres:** Un alto contenido es indicativo de un buen potencial de aroma.

^{4/} **Azúcares reducidos:** En adición a los aminoácidos libres, los azúcares libres también son necesarios para desarrollar los sabores especiales del cacao durante el tostado. Los aminoácidos reaccionan con los azúcares libres para formar compuestos aromáticos complejos que caracterizan el sabor de cacao con alto potencial de aroma.

^{5/} **Polifenoles totales:** Los polifenoles tienen influencia sobre el aroma, el color y la actividad antioxidante del cacao (Elwers *et al.* 2009). De hecho, los productos de la reacción de las sustancias fenólicas están entre los componentes más importantes del sabor del cacao (Rohan y Connell 1964). La actividad antioxidante ha sido asociada con beneficios para la salud por sus propiedades anticancerígenas, antiinflamatorias, antitrombóticas; vasodilatadoras, etc. (Hii *et al.* 2009). A mayor cantidad de polifenoles mayor actividad antioxidante. Así por ejemplo, se han reportado cacaos forasteros con más de 84 mg/g y cacaos criollos con un mínimo de 40 mg/g (Hii *et al.* 2009). Por otra parte, las altas concentraciones de polifenoles son la causa del amargor y la astringencia en el cacao lo que pueden afectar también el aroma. Esto hace indeseables las altas concentraciones de polifenoles en los chocolates finos (Elwers *et al.* 2009). El color café que toman las semillas de cacao sin procesar se debe a la reacción entre los compuestos fenólicos y las proteínas o aminoácidos.

^{6/} **Epicatequina y catequina:** Clapperton *et al.* (1994) correlacionó la calidad de sabor de distintas muestras de cacao con su contenido de epicatequina.

El CATIE-R1 es el clon que ha registrado las mayores discrepancias entre compañías, que van desde las que lo consideran como un cacao excelente (Theo Chocolate) hasta las que lo califican como un cacao con un potencial limitado (Chocolat Bernrain). Pareciera que para este clon en particular, es muy importante ajustar los protocolos de beneficiado y tostado que maximicen su calidad.

Guittard llegó a la siguiente apreciación de los clones:

CATIE-R1: Acidez suave inicial que definitivamente es de carácter frutal. Muy agradable. Gusto moderado a cacao en el medio con algún amargor. Astringencia presente pero moderada. Termina con nota frutal a cacao muy agradable junto con un amargor suave.

CATIE-R4: Acidez inicial que es un cruce entre acidez frutal y mineral similar a la del cacao de Papúa-Nueva Guinea. En el medio cambia a una nota muy aromática y floral-maderosa similar a cedro fragante. El sabor a chocolate es moderado, con una ligera astringencia pero más amargor. Tiene un tipo de sabor a almendra muy interesante.

CATIE-R6: Acidez moderada hasta acidez mineral con notas de acidez frutal. En el medio tiene algunas notas de madera oscura con moderada astringencia. Más tarde, tiene una nota a fruto seco. Tiene un sabor a buen chocolate del medio hacia el final.

CC-137: Acidez moderada hasta una mezcla de acidez frutal (cítrica) y mineral. El sabor a cacao es relativamente bajo. Tiene poco amargor y moderada astringencia. Tiene algunas notas oscuras genéricas. Este no es un grano particularmente distintivo. Podría ser usado como chocolate muy suave con leche.

PMCT-58: Acidez moderada temprana que propicia unas notas a fruto seco, a cuero y pasas secas. Sabor limpio. Tiene poca astringencia y moderado amargor. Algo de sabor a chocolate pero es suave. Tiene un perfil de sabor muy interesante.

Luego de analizar muestras de los clones CATIE-R1, CATIE-R4; CATIE-R6, CC-137 y PMCT-58, Jens (2011) concluye que todos ellos tienen un alto contenido de grasa, un nivel óptimo de pH, un contenido adecuado de metilxantinas (cafeína y teobromina) y una excelente relación entre estas dos sustancias (Cuadro 6). Algunos de los clones poseen también un alto potencial de aroma debido a su buen nivel y proporción de azúcares reducidos y aminoácidos libres.

El contenido de polifenoles varió entre 5,2 y 6,4% lo que se considera como adecuadamente bajo (Jens 2011). Con relación a los precursores del aroma, la cantidad de azúcares reducidos en los clones CATIE-R son altos y están asociados a su vez a un buen contenido de aminoácidos libres. Esto permite predecir un buen potencial de aroma. En el PMCT-58 el contenido de azúcares reducidos es muy bajo, por lo que no se puede expresar todo el potencial de aroma asociado con su alto contenido de aminoácidos. Lo mismo sucede con el CC-137 pero en sentido inverso.

La alta concentración de teobromina del CC-137 podría ser de utilidad futura debido a los usos terapéuticos que posee esta sustancia como vasodilatador, diurético y estimulante cardiaco. La teobromina además posee un efecto antitusivo superior a la codeína, y es útil en el tratamiento del asma relajando los músculos de la respiración. La teobromina ha sido identificada también como uno de los componentes responsables del efecto afrodisíaco del chocolate.

Análisis de la mezcla de los seis clones

Ponderando todos los estudios realizados a la fecha, se puede concluir que la mezcla de los seis clones seleccionados por el CATIE (policlon) tiene un buen potencial de calidad que ha sido reconocido incluso en la versión 2010 del *Salon du Chocolat* de París, en donde dicha mezcla fue clasificada dentro de los 50 chocolates más destacados del concurso. Concordante con esto, el análisis realizado por Chocolates Halba de Suiza en 2011, concluye que “la mezcla de seis clones es de buena calidad, no altamente fino pero muy buena dentro de los materiales trinitarios”.

Hegmann (2012) por su parte, encontró que la mezcla de los seis clones del CATIE posee un alto contenido de azúcares reductores y de aminoácidos libres que están íntimamente relacionados con la buena calidad del producto final. Al comparar sus resultados con muestras de todo el mundo incluidas en el *German Cocoa and Chocolate Foundation* (2010), concluye que dicha mezcla tiene características químicas que lo ubican dentro del grupo de cacaos finos.

62

Mejoramiento de los protocolos de beneficiado

Es sabido que el perfil de aroma y el potencial de calidad de una variedad de cacao son definidos principalmente por su genotipo (Thompson *et al.* 2001), sin embargo, el beneficiado del grano tiene también un rol decisivo sobre la calidad al propiciar la formación de los precursores del aroma en las semillas. Por esta razón, el CATIE ha realizado estudios en conjunto con otras instituciones y empresas para determinar las condiciones de beneficiado que maximizan la calidad de los clones.

En 2008, el CATIE y la compañía MARS estudiaron la cantidad de días de fermentación necesarios para obtener una buena calidad de cacao en los clones CATIE-R1, CATIE-R4, CATIE-R6, CC-137 y PMCT-58. Bajo las condiciones de Turrialba (602 msnm), todos los clones alcanzaron la mejor fermentación a los 5 días, en contraposición de 3, 4 y 6 días. De acuerdo con la información suministrada por la compañía, a los cinco días se obtuvo un cacao de excelente sabor y notas intensas de frutos secos y madera.

En el mismo estudio, los clones CATIE-R mostraron perfiles similares de sabor y un tamaño de semilla muy parecido que permite procesarlos juntos. Aunque el PMCT-58 posee semillas más pequeñas, podría mezclarse con los anteriores. Por el contrario, el CC-137 debería ser procesado

en forma separada porque tiene características organolépticas diferentes y un tamaño de semilla significativamente mayor que los demás. Concordante con esto, Jens (2011) recomienda que en la medida de lo posible, cada clon sea fermentado en forma separada, o que al menos se separe al CC-137 del resto pues requiere una fermentación más prolongada por tener semillas más grandes. De acuerdo con los resultados de Guittard, es probable que el CC-137 requiera también de un tostado menos intenso que el resto de clones, pero durante un tiempo más prolongado.

Hegmann (2012) estudió diferentes estrategias de fermentación y secado para maximizar la calidad de la mezcla de seis clones en dos sitios contrastantes: Finca La Lola a 40 msnm y el CATIE en Turrialba a 602 msnm. Con base en los resultados de los análisis químicos (concentración de ácidos orgánicos, aminoácidos libres, azúcares reductores y polifenoles) y de la prueba de corte, encontró que la mejor calidad del grano en ambas localidades se obtiene cuando la mezcla es fermentada en cajones de madera durante 5 días, realizando la primera remoción de las almendras a los dos días y remociones diarias en los días siguientes. El mejor secado se obtuvo exponiendo las muestras gradualmente al sol: 3 horas el primer día, 4 horas el segundo y 6 horas en los siguientes días hasta alcanzar un 7% de humedad. Luego de cada periodo de exposición, las semillas fueron apiladas y guardadas bajo techo.

En comparación con los cajones de madera, las bandejas Rohan produjeron (particularmente en La Lola) una mayor proporción de granos violeta que son indicadores de una fermentación insuficiente (German Cocoa and Chocolate Foundation 2010), fueron más sensibles a las condiciones ambientales y facilitaron el desarrollo de microorganismos indeseables (Hegmann 2012). Por su parte, el secado directo al sol fue mejor que el uso de un secador solar con láminas de polietileno transparente debido a que en éste se incrementa excesivamente la temperatura, propiciando un secado muy rápido y superficial de los granos. Esto causa que el interior de los mismos permanezca húmedo, lo que evita que se formen algunos compuestos asociados al aroma y sabor. También se facilita la colonización de microorganismos que deterioran la calidad del grano.

Se recomienda estudiar las condiciones ideales de fermentación, secado y manejo post-cosecha del grano en cada área de producción de tal forma que se maximice localmente el potencial de calidad de los materiales. Esto debe complementarse con estudios a escala industrial para optimizar las condiciones de tostado.

Literatura citada

- Anónimo. 1962. The La Lola Story: how United States private enterprise aids Latin American agriculture. (en línea). Consultado: 15 nov 2011. Disponible en: http://books.google.co.cr/books?id=WdkOAOAIAAJ&pg=PP6&dq=united+fruit+company+COCOA+costa+rica&hl=es&ei=pWrRTpblMKnV0QHfxd0x&sa=X&oi=book_result&ct=result&resnum=1&ved=0CDAQ6AEwAA#v=onepage&q=united%20fruit%20company%20COCOA%20costa%20rica&f=false.
- Aranzazu, F; Martínez, N; Rincón-Guarín, DA. 2008. Autocompatibilidad e intercompatibilidad sexual de materiales de cacao. Modelos para el empleo de los materiales de cacao más usados en Colombia utilizando los mejores porcentajes de intercompatibilidad. Unión Temporal Cacao de Colombia. Bucaramanga, Colombia. 24 p.
- Argüello, O. 1997. Evaluación de materiales de cacao por resistencia a *Moniliophthora roreri* en Santander. Tercer Seminario Técnico de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria. CORPOICA. Bucaramanga, Colombia. p. 23-28.
- Argüello, O. 2000. Variabilidad morfoagronómica de 59 árboles élite de cacao (*Theobroma cacao*) en Santander. In Mejía LA; Argüello, CO. eds. Tecnología para el mejoramiento del sistema de producción de cacao. CORPOICA. Bucaramanga, Colombia. p. 50-54.
- Bazán, R. 1972. Patrón de variabilidad de la producción de cacao en la zona Atlántica de Costa Rica. Tesis M. Sc. Turrialba, Costa Rica. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas. 84 p.
- Bazán, R. 1963. Soil survey of La Lola cacao farm. Tesis Mag. Agr. Turrialba, Costa Rica. Inter-American Institute of Agriculture Sciences of the O.A.S. 127 p.
- Briggs, FN; Knowles, PF. 1967. Introduction to plant breeding. Reinhold, USA. 426 p.
- Cadavid-Vélez, S. 2006. Características de compatibilidad sexual de algunos clones de cacao y su aplicación en siembras comerciales. Compañía Nacional de Chocolates, Colombia. 28 p.
- Cervantes-Martínez, C; Brown, JS; Schnell, RJ; Phillips-Mora, W; Takrama, JF; Motamayor, JC. 2006. Combining ability for disease resistance, yield, and horticultural traits of cacao (*Theobroma cacao*) clones. Journal of the American Society for Horticultural Science 131(2):231-241.
- Clapperton, JF; Lockwood, G; Yow, STK; Lim, DHK. 1994. Effects of planting materials on flavour. Cocoa Growers' Bulletin 48:47-57.
- Efron, Y; Epaina, P; Marfu, J. 2003a. Breeding strategies to improve cocoa production in Papua New Guinea. In: Bekele, F; End, MJ; Eskes, AB. eds. Proceedings of the International Workshop on Cocoa Breeding for Improved Production Systems. INGENIC. Accra, Ghana. p. 12-32.
- Efron, Y; Epaina, P; Tade, E; Marfu, J. 2003b. The relationship between vigour, yield and yield efficiency of cocoa clones planted at different densities. In: Bekele, F; End, MJ; Eskes, AB. eds. Proceedings of the International Workshop on Cocoa Breeding for Improved Production Systems. INGENIC. Accra, Ghana. p. 92-102.
- Elwers, S; Zambrano, A; Rohsius, C; Lieberei, R. 2009. Differences between the content of phenolic compounds in Criollo, Forastero and Trinitario cocoa seed (*Theobroma cacao*). European Food Research Technology. 229:937-948.
- Eskes, AB; Engels, JMM; Lass, RA. 2000. Working procedures for cocoa germplasm evaluation and selection. IPGRI. Roma, Italia. 176 p.
- Eskes, AB. 1999. Evaluation of vigour, yield and pod and bean traits. Working procedures and Recording Sheets for the CFC/ICCO/IPGRI Project. Montpellier, France.
- Evans, HC; Krauss, U; Rios-Ruiz, R; Zecevich-Acosta, T; Arévalo-Gardini, E. 1998. Cocoa in Peru. Cocoa Growers' Bulletin. 51:7-22.

- Fonseca, E; Alvarenga, P; Solórzano, JC. 2001. Costa Rica en el siglo XVIII. San José, Costa Rica. Editorial de la Universidad de Costa Rica. 463 p.
- German Cocoa and Chocolate Foundation. 2010. Cocoa Atlas. 2010 Edition. Hamburg, Germany. 1 DVD.
- Glendining, DR. 1960. The relationship between growth and yield in cocoa varieties. *Euphytica* 9:351-355.
- Guiltinan, M; Maximova, S. 2002. The Penn State Program in the molecular biology of Cacao.
- Hardy, F. 1961. Manual de cacao. IICA. Turrialba, Costa Rica. 439 p.
- Hartmann, HT; Flocker, WJ; Kofranek, AM. 1981. Plant science grown development and utilization of cultivated plants. Prentice-Hall. New Jersey, USA. p 33.
- Hegmann, E. 2012. The impact of different post-harvest management strategies on the quality potential of raw cocoa in Costa Rica. Tesis Mag. Sc. University of Goettingen and University of Kassel, Germany. 126 p.
- Hii, CL; Law, CL; Suzannah, S; Misnawi Cloke, M. 2009. Polyphenols in cocoa (*Theobroma cacao*). *Asian Journal of Food and agro-industry*. 2(04):702-722.
- IPGRI (International Plant Genetic Resources Institute, FR). 2000. Working procedures for cocoa germplasm evaluation and selection. In Eskes, AB; Engels, JMM; Lass, RA. eds. Proceedings of the CFC/ICCO/IPGRI project Workshop 1998. Montpellier, Francia. 176 p.
- Jens, I. 2011. Die Bedrohung des Kakaoanbaus durch Pilzpathogene in Mittel- und Südamerika – Qualitätsanalysen an Rohkakao von teilresistenten Klonen (Amenaza a la cacaocultura causada por hongos patógenos en Centro y Suramérica: análisis de calidad de granos de clones parcialmente resistentes). Tesis Bach. Agr. Hamburgo, Alemania. Universidad de Ciencias Aplicadas Hamburgo. 62 p.
- Jiménez, FO. 1986. Caracterización climática de la Finca “La Lola”. CATIE, Turrialba, Costa Rica. 21 p.
- Kennedy, AJ; Lockwood, G; Mossu, G; Simmonds, NW; Tan, GY. 1987. Cocoa breeding: past, present and future. *Cocoa Growers’ Bulletin* 38:5-22.
- Lanaud, C; Risterucci, AM; Pieretti, I; Falque, M; Bouet, A; Lagoda, PJL. 1999. Isolation and characterization of microsatellites in *Theobroma cacao*. *Molecular Ecology*. 8:2141-2152.
- Lachenaud, P; Sounigo, D; Clément, D. 2005. The compatibility yield efficiency relationship. *INGENIC NEWSLETTER* 10:13-16.
- Lockwood, R. 2003. Who Needs Clothing? *INGENIC Newsletter* 8:2-4.
- Lopes, UV; Monteiro, WR; Pires, JL; Clement, D; Yamada, MM; Gramacho, KP. 2011. Cacao breeding in Bahia, Brazil - strategies and results. *Crop Breeding and Applied Biotechnology* S1:73-81.
- Mariano, AE. 1966. Relaciones entre algunas medidas de vigor y producción en cacao. Tesis Mag.Sc. Turrialba, Costa Rica. IICA. 23 p.
- Moses, DD; Enríquez, GA. 1979. Calibrating varieties for yield of cocoa, as well as the relationships of several cacao features with the environment. In: Proc.7th. Cocoa Res. Conf. 1979. Douala, Camerún. p. 51-55.
- Paulin, O; Eskes, AB. 1995. Le cacaoyer: strategies de selection. *Plantations Recherche Développement* 2:5-I S.
- Peralta, JR. 1978. Resultados del primer año de evaluación de los efectos del raleo sobre cuatro híbridos de cacao (*Theobroma cacao*) de nueve años de edad. Tesis M.Sc. Turrialba, Costa Rica. IICA. 47 p.
- Pereira, JL; Almeida, LCC de; Santos, SM. 1996. Witches’ broom disease of cocoa in Bahia: attempts at eradication and containment. *Crop Protection* 15(8):743-752.
- Phillips-Mora, W; Galindo, JJ. 1988. Evaluación de la resistencia de cultivares de cacao (*Theobroma cacao*) a *Moniliophthora roreri* Cif. Par. In Proc.10th. Cocoa Res. Conf. 1987. San Domingo, República Dominicana. p. 685-689.
- Phillips-Mora, W; Galindo, JJ. 1989. Método de inoculación y evaluación de la resistencia a *Phytophthora palmivora* en frutos de cacao (*Theobroma cacao*). *Turrialba* 39(4):488-496.
- Phillips-Mora, W. 1996. Studies at CATIE on moniliasis resistance (*Moniliophthora roreri* Cif.&Par.) Evans *et al.*). In: International Workshop on the Contribution of Disease Resistance to Cocoa Variety Improvement, INGENIC.1999. Bahía, Brazil. p. 111-117.

- Phillips-Mora, W; Castillo, J; Krauss, U; Rodríguez, E; Wilkinson, MJ. 2005. Evaluation of cacao (*Theobroma cacao*) clones against seven Colombian isolates of *Moniliophthora roreri* from four pathogen genetic groups. *Plant Pathology* 54(3):483-490.
- Phillips-Mora, W; Coutiño, A; Ortiz, CF; López, AP; Hernández, J; Aime, MC. 2006. First report of *Moniliophthora roreri* causing frosty pod rot (= moniliasis disease) of cacao in Mexico. *Plant Pathology* 55:584.
- Phillips-Mora, W; Mora, A; Johnson, E; Astorga, C. 2007a. Recent efforts to improve the genetic and physical conditions of the International Cacao Collection at CATIE. *In Proc.15th. Cocoa Res. Conf. 2006. San José, Costa Rica.* p. 611-623.
- Phillips-Mora, W; Ortiz, CF; Aime, MC. 2007b. Fifty years of frosty pod rot in Central America: Chronology of its spread and impact from Panama to Mexico. *In: Proc.15th. Cocoa Res. Conf. 2006. San José, Costa Rica.* p. 1039-1047.
- Phillips-Mora, W; Wilkinson, MJ. 2007. Frosty pod, a disease of limited geographic distribution but unlimited potential for damage. *Phytopathology* 97(12):1644-1647.
- Rohan, TA; Connell, M. 1964. The precursors of chocolate aroma: a study of the flavonoids and phenolic acids. *Journal of Food Science* 29:460-463.
- Rondón, JG. 2000. Mejoramiento genético del cacao. *In: Mejía, LA; Argüello, CO. eds. Tecnología para el mejoramiento del sistema de producción de cacao. CORPOICA. Bucaramanga, Colombia.* p. 37-49.
- Royaert, S; Phillips-Mora, W; Arciniegas-Leal, A; Cariaga, K; Brown, JS; Kuhn, DN; Schnell, RJ; Motamayor, JC. 2011. Identification of marker-trait associations for self-compatibility in a segregating mapping population of *Theobroma cacao*. *Tree Genetics & Genome* DOI 10.1007/s11295-011-0403-5.
- Sánchez, J; Brenes, O; Phillips, W; Enriquez, G. 1987. Methodology for inoculating pods with the fungus *Moniliophthora (Monilia) roreri*. *In Proc.10th. Cocoa Res. Conf. 1987. San Domingo, República Dominicana.* p. 467-471.
- Soria, J. 1966. Obtención de clones de cacao por el método de índices de selección. *Turrialba (IICA).* 16(2):119-124.
- Terreros, J; Chavarro, G; Ocampo, F. 1983. Determinación de los genotipos de incompatibilidad o compatibilidad en varios cultivares de cacao (*Theobroma cacao*). *El Cacaotero Colombiano.* 24:27-37.
- Thompson, S; Miller, K; Lopez, A. 2001. *Cocoa and Coffee. Food Microbiology: Fundamentals and Frontiers*, 2nd edition. Edited by Doyle, M.P. *et al.* ASM Press. Washington. pp 721-730.
- Wood, GAR; Lass, RA. 1985. *Cocoa.* 4th Edition. Cornwall, U.K. 620 p.

Agradecimientos

Un profundo agradecimiento a los obreros de campo del CATIE en La Lola y Turrialba que han hecho posible el establecimiento, conducción y evaluación de los ensayos de campo que son la base de este catálogo. Ellos son: Jose Antonio Alfaro, Olman Alfaro, Santiago Alpizar, Edgar Alvarado, Jose Roy Araya, Álvaro Brenes, Miguel Campos, Jose Antonio Castro, Dianey Chavarría, Allan Herrera, Jose Eduardo Jiménez, Alejandro Madrigal, Carlos Molina, Andrés Navarro, Carlos Penat, Javier Quirós, Marvin Saborío, Santiago Suárez y Octavio Torres.

A José Castillo y Aldo Sánchez quienes administraron las bases de datos de los ensayos y fortalecieron con su esfuerzo el trabajo del Programa de Mejoramiento.

Al World Cocoa Foundation y sus funcionarios Bill Guyton, Robert Peck y Virginia Sopyla quienes han apoyado desde su creación al actual Programa de Mejoramiento Genético del CATIE.

A Ray Schnell, Stefan Royaert y Osman Gutiérrez del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos y de la Compañía MARS por su apoyo incondicional al Programa de Mejoramiento y por la realización de la caracterización molecular de los clones seleccionados.

A Ed Seguire de MARS por su gran ayuda y espíritu de servicio que han hecho posible el análisis de la calidad de gran cantidad de genotipos de cacao del CATIE.

Al Francisco Mesén y Eduardo Somarriba por la corrección técnica y sus valiosos comentarios para mejorar el presente documento.

A Carlos Astorga, Rolando Cerda, Mario Cervantes, Rebeca Madriz, Shirley Orozco y Marilyn Villalobos del PCC, quienes de varias formas han apoyado al Programa de Mejoramiento de Cacao y estimularon la producción del presente catálogo.

A Silke Elwers, experta en cacao de Forest Finance y a Elsa Hegmann por su valioso apoyo en la evaluación de la calidad de los clones seleccionados.

A todas las compañías e instituciones que han compartido con nosotros sus análisis de calidad.

A todas las familias productoras de cacao, quienes han motivado nuestro trabajo.

Los autores

Glosario de términos usados en el documento

Aditividad o acción génica aditiva: Forma de acción génica en la que ninguno de los dos alelos es dominante y, por lo tanto, ambos contribuyen en igual medida a la producción de caracteres cualitativos.

Alelo: cada una de las formas alternativas que puede tener un gen que codifica para una característica específica.

Clon o variedad clonal: plantas genéticamente idénticas obtenidas por reproducción asexual (injertación, estacas, ramillas, acodos o cultivo *in vitro*). La clonación es la vía para fijar, preservar y reproducir las características deseables que posee un individuo en particular. Las diferencias entre plantas de un mismo clon se deben a razones ambientales y de manejo y no a razones genéticas.

Compatibilidad sexual: capacidad de un clon de aceptar o recibir polen de otro para la formación de frutos.

Fenotipo: Expresión física del genotipo. Existen dos categorías: fenotipos cualitativos, los cuales se describen, y fenotipos cuantitativos, los cuales se miden. Los términos “fenotipo” y “carácter” son sinónimos.

Material de propagación: cualquier parte de la planta de tipo sexual (semillas, granos de polen, etc.) o asexual (estacas, yemas, tejidos vegetales, etc.) que pueda ser utilizado para la multiplicación de una variedad vegetal o clon.

Mejoramiento genético: conjunto de técnicas y procedimientos que van desde la simple selección de plantas hasta la ingeniería genética (no se usa en cacao) que buscan en última instancia desarrollar nuevas variedades vegetales con características deseables.

Obtentor de la variedad: Persona física o jurídica que mediante un proceso de mejoramiento genético obtiene y desarrolla una variedad vegetal.

Pedigrí: relaciones genealógicas de los seres vivos para determinar la forma en que las características genéticas se heredan o se manifiestan.

Población segregante: población de individuos obtenida por el cruzamiento entre dos padres pre-seleccionados. Se busca crear una descendencia con una gran variación fenotípica para obtener características de interés, con el fin de ser usados en estudios moleculares llamados QTL (*Quantitative Trait Loci*).

Policlón: Es un grupo de clones que, sembrados juntos, ponderan sus ventajas y desventajas produciendo plantaciones con un buen desempeño productivo, tolerancia a las principales enfermedades, calidad industrial, etc.

Variedad mejorada o superior: Conjunto de plantas similares genéticamente obtenidas mediante la aplicación de alguna técnica de mejoramiento genético y que poseen características estructurales y de comportamiento estables, homogéneas y distintivas. Dichas variedades generalmente están asociadas con un aumento del rendimiento o de productividad, resistencia a agentes bióticos y abióticos, calidad o adaptación a condiciones adversas, etc. En cacao, debido a que las poblaciones obtenidas de semillas presentan mucha variabilidad, el concepto de variedad se ajusta mejor a los clones (variedades clonales).

Vigor híbrido o heterosis: Es el mayor porte, productividad, resistencia, etc, que tienen las plantas híbridas con respecto a los padres que le dieron origen.



CATIE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza) es un centro regional dedicado a la investigación y la enseñanza de posgrado en agricultura, manejo, conservación y uso sostenible de los recursos naturales. Sus miembros son el Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA), Belice, Bolivia, Colombia, Costa Rica, El Salvador, Guatemala, Honduras, México, Nicaragua, Panamá, Paraguay, República Dominicana, Venezuela, España y el Estado de Acre en Brasil.

En el Proyecto Cacao Centroamérica (PCC) del CATIE, trabajamos en incrementar la productividad, diversidad y valor financiero y ambiental de los cacaotales de al menos 6.000 familias centroamericanas.

Creamos alianzas con otros socios de la región para mejorar, junto con las familias productoras, el funcionamiento social, la competitividad empresarial de las organizaciones y las condiciones de vida de sus asociados.

Promovemos el aumento de los conocimientos y el desarrollo de destrezas de las familias y de los estudiantes de escuelas, colegios técnicos y facultades de agronomía para producir cacao en forma sostenible.

Facilitamos la igualdad de oportunidades y responsabilidades económicas, sociales y culturales para hombres y mujeres en todas las esferas de acción del proyecto.



Programa Agroambiental
Mesoamericano

Shirley Orozco Estrada
Comunicadora PCC
CATIE, Costa Rica
Tel: (506) 2558-2466
Correo electrónico: sorozco@catie.ac.cr

ISBN: 978-9977-57-571-1



9 789977 575711