



Colección Colombiana de Café: Conservando la diversidad genética para una caficultura sostenible

Juan Carlos Arias Suárez





Colección Colombiana de Café: **Conservando la diversidad genética para una caficultura sostenible**

Juan Carlos Arias Suárez
Investigador Científico I
Mejoramiento Genético





COMITÉ NACIONAL

Ministro de Hacienda y Crédito Público
Ricardo Bonilla González

Ministro de Agricultura y Desarrollo Rural
Jhenifer Mojica Flórez

Ministro de Comercio, Industria y Turismo
Germán Umaña Mendoza

Director del Departamento Nacional de Planeación
Jorge Iván González

Representante del Gobierno en Asuntos Cafeteros
Jimena Velasco Chaves

Representantes Gremiales

Período 1° enero/2023 - 31 diciembre/2026

Jorge Alberto Posada Saldarriaga (Antioquia)

José Alirio Barreto Buitrago (Boyacá)

Eugenio Vélez Uribe (Caldas)

Danilo Reinaldo Vivas Ramos (Cauca)

Juan Camilo Villazón Tafur (Cesar-Guajira)

Javier Bohórquez Bohórquez (Cundinamarca)

Ruber Bustos Ramírez (Huila)

Javier Mauricio Tovar Casas (Magdalena)

Jesús Armando Benavides Portilla (Nariño)

Armando Amaya Álvarez (Norte de Santander)

Carlos Alberto Cardona Cardona (Quindío)

Luis Miguel Ramírez Colorado (Risaralda)

Héctor Santos Galvis (Santander)

Carlos Sánchez Serrano (Tolima)

Camilo Restrepo Osorio (Valle)

Gerente General

Germán Alberto Bahamón Jaramillo

Gerente de Operaciones

Carlos Arturo Azuero Perdomo

Gerente Financiero y Recursos Organizacionales

Juan Camilo Becerra Botero

Gerente Comercial

Esteban Ordoñez Simmonds

Gerente Técnico

Gerardo Montenegro Paz

Director Investigación Científica y Tecnológica

Álvaro León Gaitán Bustamante

COMITÉ EDITORIAL CENICAFÉ

Pablo Benavides M.
Ph.D. Ing. Agrónomo. Entomología, Cenicafé

Carmenza Esther Góngora B.
Ph.D. Microbióloga. Entomología, Cenicafé

José Ricardo Acuña Z.
Ph.D. Biólogo. Fisiología Vegetal, Cenicafé

Diana María Molina V.
Ph.D. Bacterióloga. Mejoramiento Genético
Cenicafé

Luis Fernando Salazar G.
Ph.D. Ing. Agrónomo. Suelos, Cenicafé

Secretaría Técnica Comité Editorial, revisión
de textos y corrección de estilo
Sandra Milena Marín L.
Ing. Agrónoma, Esp. M.Sc.

DISEÑO

Carmenza Bacca R.

DISEÑO Y DIAGRAMACIÓN

Óscar Jaime Loaiza E.

FOTOGRAFÍAS

Archivo Cenicafé

IMPRESIÓN

ISBN 978-958-8490-70-0
ISBN 978-958-8490-69-4 (En línea)
DOI 10.38141/cenbook-0021

Los trabajos suscritos por el personal técnico del Centro Nacional de Investigaciones de Café son parte de las investigaciones realizadas por la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia. Sin embargo, tanto en este caso como en el de personas no pertenecientes a este Centro, las ideas emitidas por los autores son de su exclusiva responsabilidad y no expresan necesariamente las

opiniones de la Entidad.

© FNC - Cenicafé
2023



Catalogación en la publicación – Biblioteca Nacional de Colombia

Arias Suárez, Juan Carlos, autor

La Colección Colombiana de Café : conservando la diversidad genética para una caficultura sostenible / investigador científico, Juan Carlos Arias Suárez. --Manizales [Colombia] : Cenicafé, [2023].

74 páginas (Colección 85 años de Cenicafé)

Incluye glosario -- Incluye referencias bibliográficas.

ISBN: 978-958-8490-70-0

1. Café - Genética - Colombia 2. Café - Variedades - Colombia
3. Café - Mejoramiento selectivo - Colombia 4. Café - Identificación - Colombia

CDD: 633.7323309861 ed. 23

CO-BoBN- a1124683

Esta publicación es el resultado de los proyectos de investigación dirigidos a la conservación de los recursos genéticos del café en Colombia (1947-2017), que fueron concretados en el Proyecto **MEG103011 Conservación de la Colección Colombiana de Café (2018-2023)** bajo el subprograma Conservación, caracterización y evaluación de los recursos genéticos de café.

Fecha de recepción: 19 de septiembre de 2018

Fecha de evaluación: 16 de agosto de 2023

Fecha de aceptación: 10 de octubre de 2023

Colección 85 Años de Cenicafé

Tipología: Libro Resultado de Investigación

Citación sugerida:

Arias, J. C. (2023). *Colección Colombiana de Café: Conservando la diversidad genética para una caficultura sostenible*. Cenicafé. <https://doi.org/10.38141/cenbook-0021>

Contenido

7

Presentación

9

Introducción

12

El género *Coffea* spp.

18

Origen de los recursos genéticos de *C. arabica*

22

Colección Colombiana de Café (CCC)

58

Consideraciones finales

60

Glosario

62

Literatura citada

En el corazón de Colombia existe un tesoro invaluable que ha permanecido reservado bajo el cuidado de los productores de café por más de medio siglo. Allí, el Centro Nacional de Investigaciones de Café – Cenicafé, ha sido el guardián de una riqueza biológica que encierra el presente y el futuro del café, una de las experiencias diarias más preciadas de la humanidad. Este tesoro es la Colección de Germoplasma de Café, una maravilla científica que más allá de su valor histórico y cultural, representa una fuente de innovación para la industria cafetera nacional y mundial. En las profundidades de estas montañas colombianas, en una tierra donde el café es más que una bebida, se encuentra la clave para asegurar el futuro sostenible y la evolución de este regalo de la naturaleza.

Luego de haber llegado al país hace más de dos siglos, el café que conocemos hoy, con sus distintas variedades y ventajas únicas, no es el mismo. Hoy, los caficultores disponen del resultado de años de trabajo de investigación y mejoramiento genético promovidos por ellos mismos, en su deseo de tener a la ciencia y a la tecnología como fuentes de cambio técnico y de ventajas competitivas. De esta manera, a lo largo de su historia, el café colombiano ha sido moldeado por el trabajo de generaciones de agricultores y científicos, buscando perfeccionar sus atributos y diferenciar su grano para obtener un producto de reconocimiento mundial.

Pero ese esfuerzo se ve cada día amenazado por desafíos continuos, que provienen de la misma competencia por la rentabilidad y por el mercado entre productores alrededor del mundo, la presión de los consumidores por calidad y sostenibilidad, las alteraciones climáticas, y las regulaciones del comercio de cada país consumidor. Estas amenazas obligan a recurrir a la diversidad genética de la planta de café, la cual se revela como una joya invaluable, una fuente novedosa de soluciones y una esperanza para el futuro de la caficultura que debe ser aprovechada.

Ante esta necesidad y por iniciativa de los caficultores de Colombia, Cenicafé se ha convertido en un refugio



de biodiversidad cafetera, asumiendo la responsabilidad de preservar y estudiar las variaciones genéticas de los cafés arábicos y de otras especies del género *Coffea*, mediante proyectos de investigación de larga duración que han recopilado y documentado las distintas variaciones de esta planta, convirtiendo a la Colección Colombiana de Café en una biblioteca viva. Cada accesión de la Colección almacena en su información genética siglos de evolución, adaptación y selección natural, representando una historia única de resistencia a las enfermedades, adaptación a diferentes climas y atributos de sabor y aroma que, en manos de expertos, dan lugar a una nueva generación de cafés innovadores y sostenibles.

Este libro es un tributo a la visión y al compromiso de todos aquellos que han contribuido a la creación y el mantenimiento de esta colección excepcional. Es un homenaje a los caficultores que han financiado el bien público de la investigación científica, a científicos de la Disciplina de Mejoramiento Genético, como el doctor Hernando Cortina, que por generaciones han mantenido y explorado los recursos genéticos, y a los amantes del café que han demandado y disfrutado de las tazas de un buen café colombiano. En esta recopilación, el investigador Juan Carlos Arias nos muestra cómo la Colección se fue

nutriendo, desde la creación de Cenicafé en 1938 hasta la firma de la Convención de Diversidad Biológica a comienzos de los años 90's, con especímenes de plantas con rasgos únicos que pueden ser aprovechados para abordar los desafíos modernos que enfrenta la producción y, en general, la industria cafetera. Mediante el estudio de esta Colección, hoy Colombia no solo es un líder en la producción de café de alta calidad, sino que también se ha convertido en un referente de la investigación científica en los campos de la genética y su aplicación a la solución de los problemas del día a día de los caficultores. Conocer y utilizar el recurso biológico de la Colección le permiten al país proyectarse en términos de calidad, sostenibilidad y resiliencia de la producción de café en Colombia y en todo el mundo.

A lo largo de las páginas que siguen, exploraremos en detalle la riqueza de esta colección de germoplasma de café, las historias detrás de sus accesiones más destacadas y las perspectivas emocionantes que ofrecen para la cadena del café. Acompáñenos en un viaje a través de la diversidad, mientras descubrimos este tesoro genético y su impacto en el mundo del consumo de café, con una Colección que, por medio de la ciencia, preserva el pasado y el presente de esta bebida, asegurando su futuro.



Introducción

Los recursos genéticos corresponden por definición a todo el material genético con valor actual o potencial (Organización de las Naciones Unidas [ONU], 1992). Para una especie están conformados por todos los genotipos taxonómicamente cercanos (acervos genéticos), con los cuales puede realizar el intercambio de genes (Harlan & De Wet, 1971). Su diversidad es el resultado del proceso natural de selección y adaptación permanente a las condiciones cambiantes del medio en el cual evolucionaron (Esquinas, 1993), características que los convierten en la materia prima para el mejoramiento genético. A pesar de su importancia, los cambios producidos por el hombre han destruido progresivamente su hábitat natural, reduciendo la diversidad disponible.

Para la conservación de los recursos genéticos, es aceptado que puede realizarse en el hábitat donde se encuentran originalmente (*in situ*) o en un lugar diferente a este (*ex situ*), o por la combinación de ambas alternativas. Entre las dos estrategias existen claras diferencias: la primera involucra la designación, manejo y monitoreo del lugar donde la especie es nativa, mientras la segunda implica labores de recolección, transferencia y almacenamiento (Esquinas, 1993). Desde el punto de vista de diversidad, la conservación *in situ* se caracteriza por mantener intacta la estructura genética de la población, permitiendo al tiempo la continuidad de los procesos evolutivos de la especie, hechos ausentes en la conservación *ex situ*, donde son detenidos (Eriksson et al., 1993). A pesar de la conveniencia de la conservación *in situ*, su adopción presenta limitantes por su costo y problemáticas sociales y políticas de las regiones (Esquinas, 1993). Dadas estas circunstancias, se han hecho grandes avances para la conservación *ex situ* de los recursos genéticos, especialmente en plantas con semilla de naturaleza ortodoxa, dado su fácil manejo en un espacio reducido por un largo período de tiempo (Esquinas, 1993). En el caso de especies multiplicadas vía vegetativa, o que su semilla es de tipo recalcitrante, la conservación *in*



situ en los ecosistemas que albergan sus recursos genéticos es la mejor opción (Gole et al., 2002).

Para *Coffea arabica* L., Etiopía sostiene una posición única en el mundo por ser su centro de origen y diversidad (Labouisse et al., 2008; Vavilov & Dorofeev, 1992), hecho confirmado por los botánicos que exploraron su planicie Suroccidental durante la primera mitad del siglo XX (Carvalho, 1956). Este lugar contiene su acervo genético primario, sin embargo, las 124 especies que integran (variabilidad intraespecífica) su acervo genético secundario se distribuyen principalmente a través de África ecuatorial (Davis et al., 2011) y constituyen una valiosa reserva de genes para su uso en el mejoramiento genético de la especie (Herrera et al., 2011), más aún cuando comparten un genoma base común, que facilita su utilización (Charrier, 1976; Louarn, 1993). No obstante, al igual que muchas especies de importancia económica, los recursos genéticos del café han sido afectados por la deforestación e invasión de sus hábitats (Anthony et al., 2007; Herrera et al., 2011; Labouisse et al., 2008). En el caso específico de Etiopía, para mediados del siglo XX se estimó que cerca del 90% de su bosque nativo había desaparecido, permaneciendo solo pequeños fragmentos aislados (Meyer et al., 1968). En este sentido, Gole et al. (2002) indican un aumento considerable en la pérdida de los bosques en esta región, alcanzando en un período inferior a 30 años el 60%. En general, los fenómenos que amenazan los recursos genéticos del café se observan en toda su área de distribución, donde actualmente al menos 75 especies (60%) están en peligro de extinción, 13 de ellas en peligro crítico (CR), 40 en estado de peligro (EP) y 22 en estado vulnerable (VU) (Davis et al., 2019).

La importancia económica de *C. arabica*, el conocimiento de la estrecha base genética que soportaba la producción mundial y la

pérdida de diversidad (Krug & Carvalho, 1951), alertaron a la comunidad internacional a la realización de prospecciones para la recolección de sus recursos genéticos con fines de conservación y utilización por los programas de mejoramiento genético (Charrier, 1980). De acuerdo con Anthony et al. (2007), los genotipos recolectados permitieron el fortalecimiento de bancos de germoplasma ya existentes en Indonesia (1900 - Instituto de Investigación de Café y Cacao de Indonesia [ICCR]), Brasil (1924 - Instituto Agronómico de Campiñas [IAC]) e India (1925 - Instituto Central de Investigaciones del Café [CCRI]), además del establecimiento en países de África (Camerún, Costa de Marfil, Etiopía, Kenia, Madagascar y Tanzania) y en América (Colombia y Costa Rica).

En café, los bancos de germoplasma son establecidos a partir de semillas recolectadas en las exploraciones o provenientes de colecciones ya existentes, en mayor proporción, siendo así su diversidad determinada por el muestreo inicial, forma de multiplicación, estructura de la población original y sistema reproductivo (Charrier, 1980). Es importante considerar la naturaleza de sus semillas, que permite una reducción significativa de su humedad sin perder viabilidad, igual al tipo ortodoxo; sin embargo, a diferencia de éstas, pierde su capacidad germinativa al ser conservada, igual al tipo recalcitrante (Hong & Ellis, 1995). Este comportamiento hace que sean consideradas de tipo intermedio, y a pesar de los avances significativos en la criopreservación de semillas de *Coffea*, la utilización de colecciones de campo sigue siendo la más utilizada, con las ventajas y desventajas propias de las mismas (Charrier, 1980).

En Colombia, los recursos genéticos de *C. arabica* están bajo el manejo de la Federación Nacional de Cafeteros (FNC)

en la Colección Colombiana de Café (CCC), que sirve de soporte para el Programa de Mejoramiento Genético del Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé (Moreno et al., 2000). En la actualidad, la CCC está conformada por 1.028 accesiones, producto de las exploraciones realizadas en el centro de origen y diversidad de la especie, más las significativas contribuciones de otros centros de investigación. El ingreso de estos recursos genéticos al país ha permitido a Cenicafé el desarrollo de una gran cantidad de experimentos de caracterización y evaluación, con objetivos como producción (Castillo 1975, 1977), características de grano (Castillo, 1978; Castillo & Parra, 1973), resistencia a la roya (Castillo et al., 1976), resistencia a *Hypothenemus hampei* Ferrari (broca del café) (Romero & Cortina, 2004) y tolerancia a factores abióticos (Acuña-Zornosa & Sadeghian-Khalajabadi, 2020; Molina et al., 2016), entre otros. A pesar de los

importantes logros alcanzados en los diversos campos de investigación, la utilización de los recursos genéticos en la obtención de variedades con resistencia a la roya es de los más significativos (Cortina et al., 2013), las cuales ocupan en la actualidad alrededor del 80% del área cafetera del país (FNC, 2018).

El objetivo de la presente publicación es describir la conformación de la Colección Colombiana de Café y las características de los diferentes grupos de genotipos conservados. Además, pretende dar las bases necesarias a Caficultores, Extensionistas e Investigadores, para el conocimiento de los recursos genéticos del género *Coffea* existentes en la Colección, los cuales son la base para el mejoramiento de la especie *C. arabica* cultivada en el país, destacando su importancia para la sostenibilidad de la caficultura colombiana a futuros retos globales.



El género *Coffea* spp.

• Botánica y citogenética

La primera descripción botánica de la planta de café fue realizada en 1592 por Prosperi Alpini en su libro *De plantis Aegypti liber* (libro de las plantas egipcias). Un siglo después A. de Jussieu, quien estudió una sola planta del jardín botánico de Ámsterdam, la denominó bajo el nombre de *Jasminum arabicum* (Charrier & Berthaud, 1985). Posteriormente, de acuerdo con los autores, C. Linnaeus la clasificó como del género *Coffea* con la entonces única especie conocida *C. arabica*. El género pertenece a la familia Rubiaceae, subfamilia Ixoroideae, conformado en la actualidad por 124 especies, agrupadas en dos subgéneros: *Coffea* y *Baracoffea* (Davis et al., 2011). El primero contiene la mayoría de especies, mientras en el segundo se describen solo ocho especies aceptadas (Maurin et al., 2007). De acuerdo con Davis et al. (2006), las especies de *Coffea* se reconocen en términos prácticos por la siguiente combinación de caracteres: árboles o arbustos de madera densa y dura, ramificación plagiotrópica, inflorescencias emparejadas, axilares, cálices generalmente truncados u ondulados, flores hermafroditas; corolas blancas o raramente rosa claro, anteras y estigmas expuestos total o parcialmente (Figura 1). Además, con la adición del género *Psilanthus* dentro de *Coffea* (Davis et al., 2011), la descripción morfológica incluye especies con lóbulos de cáliz acrecientes y estilo corto e incluido (lóbulos del estigma claramente debajo de las anteras, a menudo situados en la base del tubo de la corola).

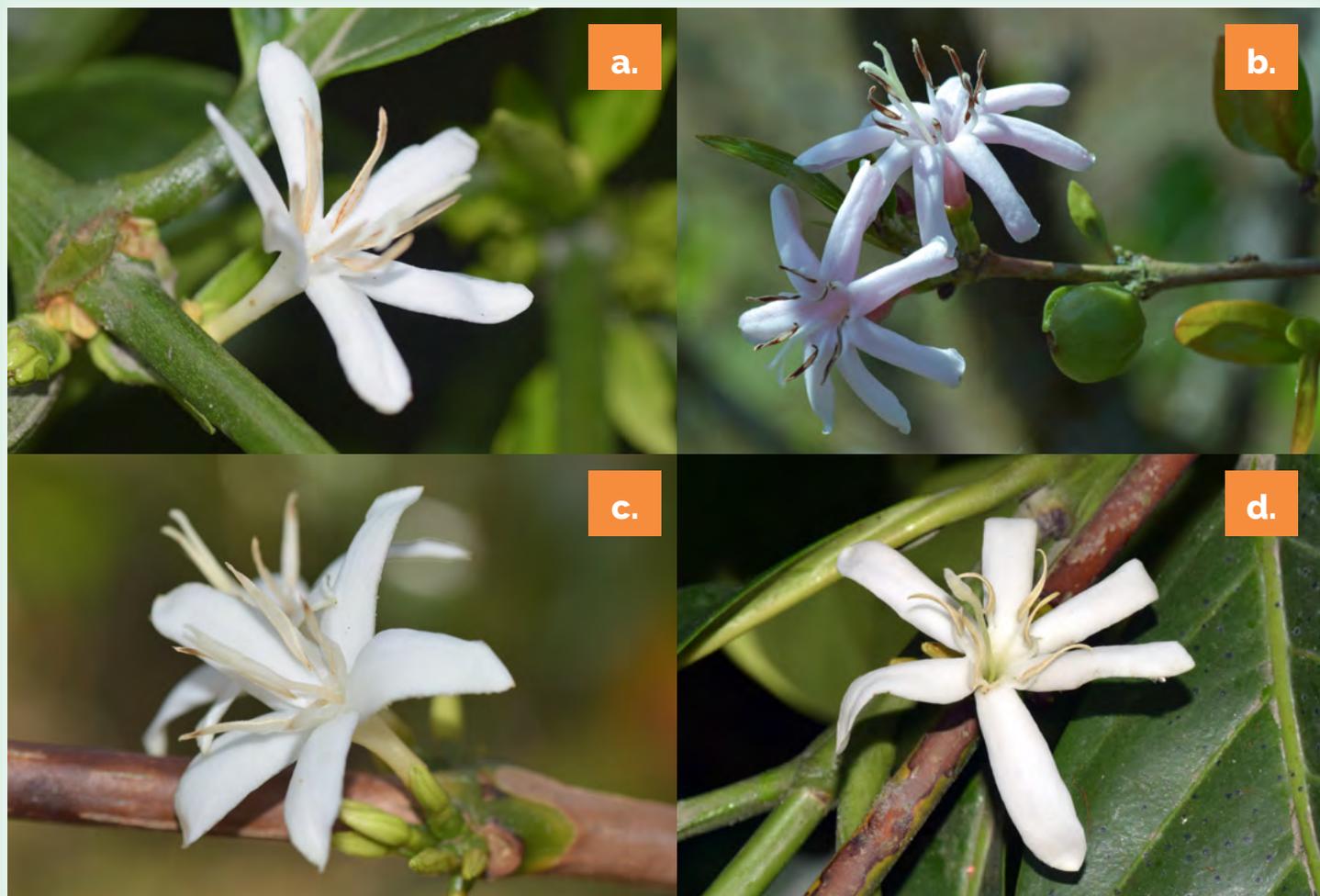


Figura 1. Características florales de cuatro especies del género *Coffea* spp. **a.** *C. canephora*, **b.** *C. racemosa*, **c.** *C. arabica*, **d.** *C. liberica*.

En *Coffea*, los frutos contienen dos semillas, por lo general, cada una con una invaginación profunda en su lado plano. Aunque el fenotipo de los árboles de café es variable, esta última característica define claramente a *Coffea* de los demás géneros de la familia Rubiaceae (Figura 2), siendo esta invaginación conocida como "*coffeanum suture*" (Anthony, 1992).

El número cromosómico básico en *Coffea* es 11 ($x=11$), siendo todas sus especies diploides ($2n=2x=22$), es decir, sus células presentan

dos juegos de cromosomas homólogos, a excepción de *C. arabica* que es la única tetraploide ($2n=4x=44$), presentando cuatro juegos de cromosomas homólogos (Krug & Carvalho, 1951). En adición, esta especie junto a *C. heterocalix*, *C. anthonyi* y las anteriormente clasificadas como del género *Psilanthus*, se caracterizan por ser de naturaleza autógama (Davis et al., 2006; Davis et al., 2011). Este hecho, las diferencia dentro del género, donde como regla general han sido descritos mecanismos

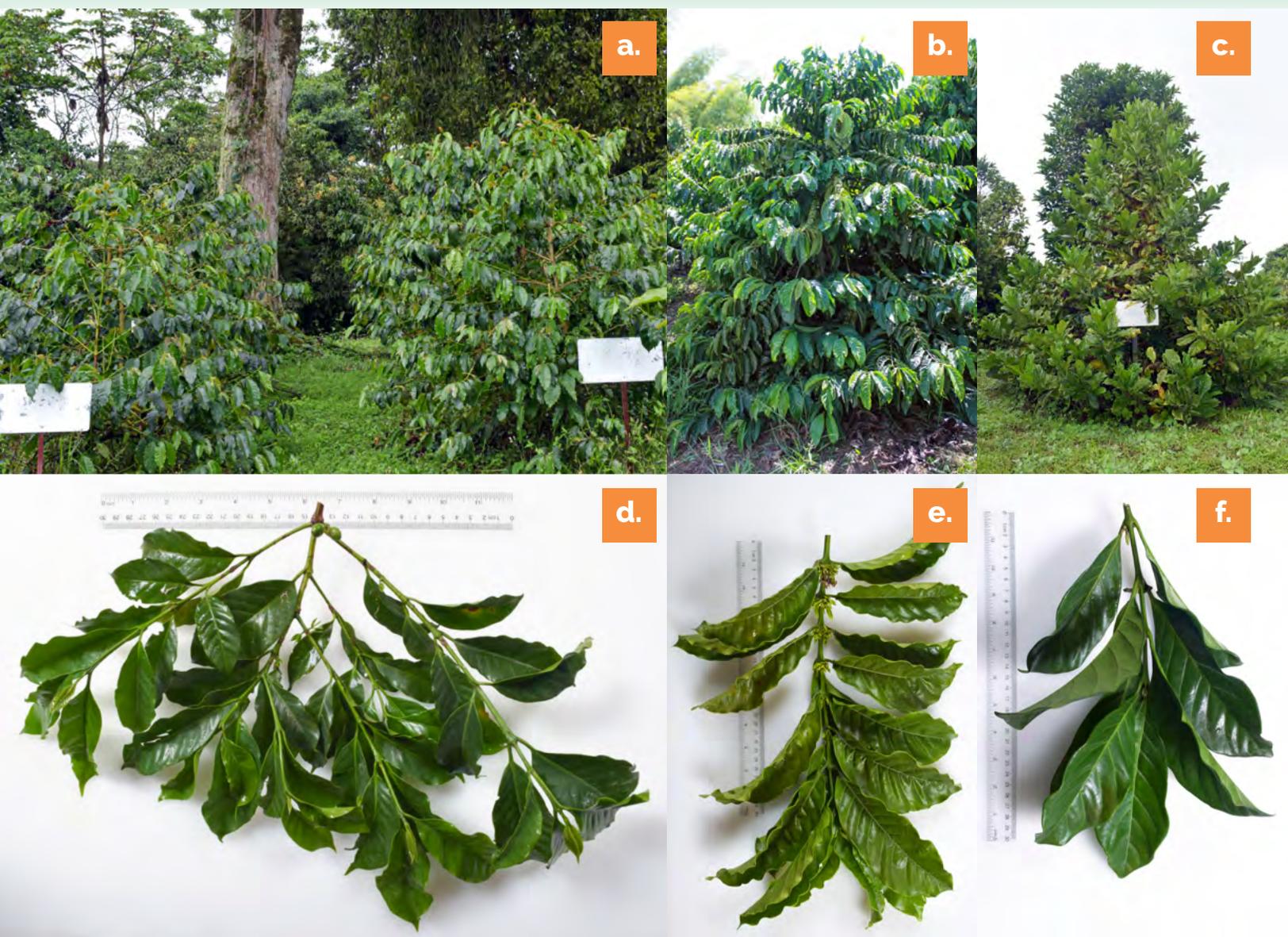


Figura 2. Variabilidad de fenotipos de árboles (**a, b, c**), hojas (**d, e, f**) y frutos (**g, h, i**) en *C. arabica*, *C. canephora* y *C. liberica*, respectivamente.



g.



h.



i.



g.

h.

i.

de autoincompatibilidad, que determina su naturaleza estrictamente alógama o de polinización cruzada (Mendes, 1949).

• Origen y distribución geográfica

El estudio biogeográfico realizado por Leroy (1982) definió a Kenia como centro de origen del género *Coffea*, no obstante, Anthony et al. (2010) con el uso de ADN extranuclear (plastidial) señalan como su centro de origen a la región de África Centro Occidental (Baja Guinea). De acuerdo con estos, la diversidad de las especies analizadas fue mucho más alta en esta zona en comparación a las otras regiones biogeográficas analizadas, por lo que lo señalan como el mayor centro de especiación para *Coffea* subgénero *Coffea*. Posiblemente, esta región jugó un importante rol como refugio para las plantas de café durante el último período seco (hace 18.000 años) y fases secas previas (Anthony et al., 2010).

Las especies del género se distribuyen en África Tropical, Madagascar, Islas Comoras y Mascarenas (Mauricio y Reunión), Sudeste de Asia, Oceanía y Norte de Australia (Anthony et al., 2010; Davis et al., 2011; 2019; Hamon et al., 2017). No obstante, la mayoría se concentran en África (41) y Madagascar (59), donde la mayoría de las especies son 100% endémicas, es decir, que no ocurren de manera natural en otros lugares (Davis et al., 2006) (Figura 3). Adicionalmente, estos autores reconocen tres centros principales de diversidad de especies de *Coffea*: Madagascar (59 especies), especialmente en su bosque húmedo oriental, Camerún (14 especies) y Tanzania (16 especies), principalmente en el área de las montañas de su zona oriental. A pesar de que en África pueden observarse las especies de *Coffea* en diferentes tipos

de bosques, la mayoría se concentra en los húmedos de hoja perenne, mientras en Madagascar la gran diversidad de hábitats existentes en un área reducida, explica la alta diversidad de especies presentes en esta isla.

Los árboles de café son considerados testigos y marcadores valiosos de la historia evolutiva de los bosques africanos y malgache, debido a la superposición de rangos en los que se encuentran y la diversidad de hábitats que ocupan (Anthony, 1992; Davis et al., 2006). Sin embargo, a excepción de *Coffea canephora* Pierre ex A. Froehner, *Coffea liberica* Bull. ex Hiern y *Coffea eugenioides* S. Moore, las especies del género se caracterizan por tener una distribución bastante restringida, en ocasiones de pocos kilómetros cuadrados (Anthony et al., 2010). De acuerdo con Noiro et al. (2016), en Madagascar solo una especie es de amplia distribución, 30 especies tienen un área de distribución similar al de una provincia, y 28 están limitadas a un bosque o montaña. Especies como *Coffea racemosa* Lourd pueden encontrarse en las sabanas boscosas de Mozambique, *Coffea congensis* A. Froehner a orillas del río Congo en el centro de África, *C. arabica* en el bosque húmedo de Etiopía y en Sudán del Sur, aunque en este último está restringido a la meseta de Boma, cercana a la frontera con Etiopía (Davis et al., 2006; Davis et al., 2018; Meyer, 1968; Sylvain, 1955; Thomas, 1942; von Strenge, 1956). Especies con hábitat reofítico o que crecen en los bosques de la rivera de los ríos, como *C. congensis*, tienden a presentar una distribución mayor que sus especies relacionadas, no asociadas a este tipo de hábitats (Davis et al., 2006). En este sentido, es probable que la distribución natural de *C. canephora* y *C. liberica* sea más estrecha, sin embargo, la introducción y renaturalización desvaneció los límites entre poblaciones naturales e introducidas. La característica de adaptación de las especies a diferentes tipos de ambientes puede ser traducida en variaciones significativas tanto a nivel morfológico como de desempeño

agronómico, de interés en el mejoramiento de las especies cultivadas (Anthony, 1992). En este sentido, Davis et al. (2021) resalta el potencial actual de *Coffea stenophylla* G. Don para su uso en el mejoramiento de *C. arabica*, dada su adaptación a zonas secas y buena calidad de su bebida.

La presencia de cafeína es una de las características más reconocida en el género *Coffea*, no obstante, solo está presente en las especies endémicas de África, siendo las nativas de Madagascar libres del alcaloide (Charrier, 1976). Teniendo en cuenta que su

presencia está condicionada por el alelo dominante de un solo gen (Barre et al., 1998) y la rápida y radial forma de especiación de las especies de *Coffea* subgénero *Coffea* (Anthony et al., 2010), Hamon et al. (2017) y Raharimalala et al. (2021) inferen que los granos de café del ancestro del género eran probablemente libres o con bajo contenido de cafeína. Así mismo, la transición a moderada o alta producción del alcaloide ocurrió independientemente en África, especialmente en las especies de la región occidental y central, y en menor medida en Madagascar para *Coffea lancifolia* A. Chev.



Figura 3. Centro de origen y distribución geográfica de las especies del género *Coffea*.

y *Coffea kianjavatensis* J.-F. Leroy. Los altos y consistentes niveles de cafeína en las especies africanas de *Coffea* puede ser el reflejo a una respuesta adaptativa a mayores tasas de depredación por insectos, en un ambiente favorable para estos (Hamon et al., 2017).

• Especies cultivadas

La especie *C. arabica* ha sido cultivada durante varios siglos, y es posible que su forma silvestre durante milenios, primero como alimento y después como bebida (Davis et al., 2018). Antes de su introducción a Yemen, proveniente de Etiopía, probablemente como parte de las invasiones culturales de los conquistadores persas, la especie era ya usada por los nativos de los bosques africanos (Anthony, 1992; Wellman, 1961). De acuerdo con Haarer (1958) su cultivo inició en la colonia árabe de Harar, de donde fue llevado a Yemen y de allí se expandió a otras partes del mundo Islámico, mercado que estuvo bajo su control por cerca de un siglo.

Ante la importancia económica que tomó la especie, se dieron diversos intentos para cultivarla en otras regiones, actividad en la cual solo los holandeses tuvieron éxito, al introducirla a Ceylán (actual Sri Lanka) y Java, donde para finales del siglo XVII ya existían plantaciones comerciales (Wellman, 1961). De acuerdo con el autor, para 1706 después de realizados varios esfuerzos, fue posible el traslado de una planta de *C. arabica* (posiblemente de la variedad Típica), al jardín botánico de Amsterdam (Holanda), y posteriormente se enviaron semillas al jardín botánico en París. En 1718, a partir de estas únicas plantas, ambos países fomentaron el cultivo de la especie en sus colonias en América (Surinam y Martinica, respectivamente). A Colombia, el ingreso del

café ocurrió entre 1780 y 1790, probablemente de semillas provenientes de Cuba, pasando primero por El Salvador (Wellman, 1961). El cultivo se expandió gradualmente durante el siglo XIX desde Norte de Santander, donde fue inicialmente introducido, hacia los departamentos de Santander, Antioquia, Caldas y Cundinamarca (Haarer, 1958). En el caso de Brasil, el cultivo de *C. arabica* inició con semillas provenientes de la Guyana Francesa (Wellman, 1961), registrándose una segunda introducción en 1864 (variedad Borbón), con semillas provenientes del Yemen, vía Islas Reunión (antigua Borbón), llevadas al país de manera accidental (Carvalho et al., 1969; Krug et al., 1939). De igual manera, las variedades establecidas en África (excluyendo Etiopía), regiones del Suroeste asiático e India se derivaron principalmente del mismo árbol fuente de Ámsterdam o del tipo Borbón introducido desde las Islas Reunión (Eskes, 1989a; Krug, 1958).

De esta manera, *C. arabica* predominó como la especie de mayor importancia económica del género *Coffea*, pero la aparición de la roya del cafeto (*Hemileia vastatrix* Berk. & Broome) y los daños ocasionados en plantaciones de la especie después de 1870, en Sri Lanka y Java, despertó el interés por el uso de otras especies del género. Durante el siglo XIX una docena de especies de café africanas fueron cultivadas, entre ellas: *C. stenophylla* (café del río Núñez) en Guinea; *C. congensis* en Gabón; *C. liberica* (café Libérica) en Guinea, Sierra Leona y Liberia; y *C. canephora* (café Robusta) en la República Democrática del Congo (Charrier & Eskes, 1997). De las especies africanas, solo *C. liberica* y *C. canephora*, ambas bien adaptadas a zonas tropicales bajas y resistentes a la roya, fueron comercialmente exitosas y utilizadas para el reemplazo de las áreas dejadas por *C. arabica* (Berthaud & Charrier, 1988). En la actualidad, solo la segunda continúa siendo

ampliamente cultivada y representa cerca del 40% de la producción mundial de café (Organización Internacional del Café [ICO], 2020). Las otras especies del género no han tenido un fuerte interés comercial, sin embargo, algunas son o se han utilizado de manera local o regional (Davis et al., 2019), siendo un ejemplo *C. racemosa*, conocida como café de Inhambane, originaria de Inhambane (Mozambique), donde es consumida en el mercado local (Rodrigues et al., 1976).



Origen de los recursos genéticos de *C. arabica*

Para la especie, el Yemen se consideró en un inicio como su lugar de origen, debido al hecho de que el primer conocimiento de la bebida y de la planta de café fue dada en este lugar (Sylvain, 1955), sin existir razones sólidas para confirmarlo (FAO, 1968). En Etiopía, la exploración botánica comenzó en el siglo XVIII con James Bruce, naturalista escocés, y en el siglo XIX varios botánicos europeos hicieron extensos muestreos de especímenes para herbario, sobre todo en el Norte del país (Meyer, 1965). De acuerdo con el autor, la región de los bosques tropicales del Suroeste de Etiopía solo comenzó a explorarse durante la ocupación italiana entre 1935 y 1941. A partir de este momento se estableció la noción que *C. arabica* era originario de esta región, pero solo después de la segunda guerra mundial se tuvo acceso a material para confirmarlo (Meyer, 1968). Las exploraciones realizadas por profesionales de la FAO presentaron evidencias sólidas que soportaron esta región como centro de origen y diversidad de la especie, donde Yemen fue el primer paso en su expansión por el mundo (Anderson, 1961; Meyer, 1965; 1968; Sylvain, 1955; 1958). A pesar de ser el centro de origen de la especie, las observaciones realizadas en la época concuerdan con la dificultad existente para la diferenciación de verdaderas poblaciones silvestres, las cuales posiblemente se confinaban a pequeñas áreas, donde el bosque primario aún permanecía (Guillaumet & Halle, 1978; Meyer, 1965; Sylvain, 1955; von Streng, 1956). Al respecto, Sylvain (1955) indica que, si se desconoce el origen de la especie, viejas plantaciones abandonadas pueden ser confundidas con poblaciones silvestres, hecho que ocurre a menudo en lugares donde la especie no es nativa. En este sentido, el monte

Marsabit, en el Norte de Kenia, es a menudo nombrado como área donde formas silvestres pueden ser encontradas, no obstante, las disimilitudes con su hábitat natural indican que probablemente estos se originaron de una forma cultivada (Davis et al., 2018).

En Etiopía, el cultivo de café se distingue por su variedad en sistemas de producción y la diversidad genética de las poblaciones (Labouisse & Adolphe, 2012). En relación, Guillaumet & Hallé (1978) durante su prospección a Etiopía, describieron tres diferentes tipos de población, que pasaron de su forma silvestre a cultivadas: **a.** poblaciones naturales conservadas *in situ* mantenidas por locales, **b.** poblaciones mejoradas por introducción de árboles jóvenes de otros lugares, y **c.** parcelas establecidas con plantas derivadas de árboles silvestres. En este sentido, Charrier & Berthaud (1985) indican que era común encontrar árboles de café creciendo libremente dentro del bosque, siendo en su mayoría cosechados por la población local, quienes permanentemente realizaban algún tipo de mantenimiento para facilitar la recolección. De acuerdo con Davis et al. (2018), Labouisse et al. (2008) y Labouisse & Adolphe (2012) los tipos de población y de manejo descritas en esta prospección se conservan en la actualidad, siendo responsables del 95% de la producción de Etiopía (Kufa et al., 2011).

Para la especie, la primera recolección de plantas en su lugar de origen fue probablemente realizada por árabes yemeníes antes del siglo XV (Anthony, 1992). Posteriormente, ante la problemática causada por la roya, se realizaron varias expediciones para la recolección de genotipos cultivados o silvestres, con el objetivo de hallar fuentes de resistencia a la enfermedad (Eskes, 1989a). De acuerdo con el autor, los holandeses fueron aparentemente los primeros en introducir genotipos etíopes a Indonesia antes de 1900, realizando nuevas

exploraciones en 1928 y 1938. Observaciones sobre el material denominado "Abyssinia" producto de la exploración realizada en 1928 por Cramer, morfológicamente diferente al cultivado en Java, mostró menos afectación por la enfermedad cuando fue usado en zonas bajas, donde ésta era una limitante (Cramer, 1957).

Para el hemisferio occidental, a mediados del siglo XX era reconocido que los millones de árboles cultivados constituían una sola progenie, producto de semilla tomada de plantas en los jardines botánicos de Ámsterdam y París (Krug, 1958; Wellman & Cowgill, 1952). Hecho que ante los daños observados por la roya en otras regiones del mundo y su inminente llegada a América suponían un gran riesgo para la caficultura del continente, dada la alta susceptibilidad de las variedades establecidas (Wellman, 1952). Este hecho conllevó a la realización de diferentes exploraciones para la recolección de genotipos silvestres y/o cultivados en diferentes regiones del mundo. De acuerdo con Vega et al. (2007), las recolecciones más representativas se realizaron en Etiopía por la FAO entre 1964 y 1965 (FAO, 1968) y la Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer (ORSTOM) en 1966 (Guillaumet & Halle, 1978), en Kenia por ORSTOM en 1977 (Berthaud et al., 1980) y en Yemen por el International Board for Plant Genetic Resources (IBPGR actualmente Institut de recherche pour le développement - IRD) en 1989 (Eskes, 1989b) (Tabla 1). Adicionalmente, los genotipos reunidos por Wellman & Cowgill (1952), a principios de 1950, son considerados por su número e importancia para el control genético de la roya del cafeto, de gran aporte para los recursos genéticos de la especie (Eskes, 1989a). Posterior a éstas, se realizaron exploraciones al continente africano dirigidas a la recolección de las otras especies del género *Coffea*, motivadas por la rápida destrucción del bosque tropical

en África, Madagascar, las islas Comoras y Mascarenas, resultando en más de 20.000 accesiones, representado cerca de 70 especies (Anthony, 1992).

Los genotipos recolectados en estas exploraciones, aunado a las contribuciones significativas realizadas por diferentes instituciones alrededor del mundo,

constituyen la diversidad genética disponible para el mejoramiento genético de *C. arabica* en Colombia. Como responsable de la CCC, Cenicafé ha realizado actividades de conservación, caracterización, evaluación y documentación de estos recursos genéticos, factores determinantes para su uso en la obtención de variedades mejoradas para la caficultura colombiana.

Tabla 1. Principales recolecciones de germoplasma de *Coffea arabica*, realizadas a partir de 1960.

Año	País	Institución*	Especie	Número de accesiones		Número de árboles
				Recolección	En la CCC**	
1964 - 65	Etiopía	FAO	<i>C. arabica</i>	621	395	2.482
1966	Etiopía	ORSTOM	<i>C. arabica</i>	70	79***	1.066
1977	Kenia	ORSTOM	<i>C. arabica</i> , especies diploides	1.511	Sin acceso	N/A
1989	Yemen	IBGPR	<i>C. arabica</i>	22	19	63

Fuente: Adaptado de Anthony et al. (2007), Charrier (1980a), Vega et al. (2007).

* FAO = Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura; ORSTOM = Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer, actualmente Instituto de Investigación para el Desarrollo – IRD; IBGPR = International Board for Plant Genetic Resources, actualmente Bioversity International.

** Colección Colombiana de Café.

*** Para genotipos de exploración es común encontrar un número mayor de accesiones a las originalmente recolectadas, debido a que se introdujeron en más de una ocasión accesiones similares, o principalmente por subdivisiones realizadas en los programas de mejoramiento genético de origen.



Colección Colombiana de Café (CCC)

En Colombia, el germoplasma del género *Coffea* se conserva en la Colección Colombiana de Café (CCC) de Cenicafé, la cual es el soporte para la Disciplina de Mejoramiento Genético, que la ha utilizado en la solución de problemáticas de la caficultura nacional (Moreno et al., 2000).

En sus inicios, en la CCC se conservaron selecciones dentro de las variedades tradicionalmente sembradas en el país. Las primeras de ellas, obtenidas de los trabajos sobre la variedad Típica realizados por la FNC entre 1932 - 1938, en la Granja Experimental Caldas, con el objetivo de proporcionar semilla a caficultores (Castillo, 1985; 1990). Posteriormente, los ensayos de campo desarrollados sobre la variedad Borbón por la Sección de Agronomía entre 1940 - 1950, y continuados por la Sección de Biometría y Mejoramiento en la década siguiente, permitieron reconocer su amplia superioridad productiva en comparación a la variedad Típica (Castillo, 1990; Castro, 1949; Machado, 1950; Triana, 1955). En este sentido, Castillo (1985) indica que las mejores selecciones en esta variedad nunca alcanzaron la producción de la variedad Borbón, hecho que comprobó su extrema uniformidad genética. Las selecciones obtenidas durante este período sirvieron como punto de referencia en los experimentos de evaluación de los genotipos que ingresarían a la CCC en años posteriores.

Los primeros genotipos introducidos a Colombia con fines de conservación, evaluación y utilización, se realizaron a finales de la década de los 40's, con semillas pertenecientes a ocho genotipos procedentes de Centro América (Figura 4). Posteriormente, la misión científica colombiana enviada a Brasil a inicios de la década de los años 50's, trajo grandes cambios que repercutirían positivamente en la caficultura colombiana (Castillo, 1990). Es así como se da inicio al cultivo y experimentación a plena exposición solar, e ingresan a la CCC mutantes y cruzamientos de las variedades

Típica y Borbón estudiadas en Brasil, tales como las formas de fruto amarillo, la variedad Mundo Novo (cruzamiento natural entre Típica y Borbón), el mutante Cera (proveniente de la variedad Típica), y lo más relevante, la llegada de la variedad Caturra. Este mutante de porte bajo proveniente de Borbón, que se adaptó de manera excepcional a la zona cafetera colombiana, que sumado al establecimiento de cultivos a libre exposición solar y altas densidades, marcaron un cambio definitivo a la caficultura de Colombia, incrementando los rendimientos hasta en un 40% (Castillo, 1985).



Figura 4. Origen de las accesiones conservadas en la Colección Colombiana de Café.

Entre tanto, conscientes de la estrecha base genética que dio origen al cultivo de café en América, su alta susceptibilidad a la roya y la inminente llegada de la enfermedad al continente, en 1952 se realizó la misión mundial de investigación de la roya. De acuerdo con Wellman & Cowgill (1952), su propósito fue observar y estudiar la enfermedad en el campo, contactar la comunidad científica relacionada, recolectar genotipos con resistencia y llevarlos a América, lo cual permitiría asegurar el éxito en el manejo de la enfermedad. En la misión se visitaron más de 20 países y recolectaron cerca de 100 genotipos, los cuales harían posible la ampliación de la base genética del café cultivado en Latinoamérica (Wellman & Cowgill, 1952). De esta misión, entre 1953 y 1954, se recibieron 67 genotipos enviados por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA) vía Maryland, marcando un hito para el Programa de Mejoramiento Genético de Cenicafé, puesto que fueron la base para el inicio de experimentos de evaluación y selección a partir de 1960. Adicionalmente, entre 1950 - 1960 ingresaron a la Colección genotipos procedentes de Brasil (13), Costa Rica (3), El Salvador (2) y Puerto Rico (1).

En la década de los 60's, ingresó cerca del 49% de las accesiones que actualmente conforman la CCC. Inicialmente, se recibieron 40 genotipos procedentes del antiguo Congo Belga (hoy República Democrática del Congo, RDC), pertenecientes a la colección del Instituto Nacional para el Estudio de la Agricultura del Congo Belga (INEAC), en la Estación Experimental de Rwanda, Burundí (Cortina, 1991). En este período, el doctor Hernán Uribe (Gerente Técnico de la FNC) introdujo cinco genotipos provenientes del Centro Internacional de las Royas del Café (CIFC - por sus siglas en portugués) en Oeiras - Portugal, siendo el más representativo el Híbrido de Timor 1343. Su importancia radica en que después de su evaluación, este

híbrido se utilizó para el desarrollo de las variedades con resistencia a la roya liberadas por Cenicafé a partir del 1980 (Alvarado et al., 2005; Castillo & Moreno, 1987; Flórez et al., 2016; Moreno, 2002).

Las primeras recolecciones en el centro de origen y diversidad de *C. arabica* se realizaron a inicios del siglo XIX (Cramer, 1957), intensificándose hacia los años 50, donde de forma individual, diversos investigadores como Archer en 1951, Sylvain entre 1952 - 1954, Lejeune entre 1954 -1956, Krug en 1957, Anderson en 1959, Bechtel entre 1957 y 1960, y Meyer entre 1961 y 1962, realizaron observaciones y recolecciones en este lugar (Charrier & Eskes, 2004; Meyer, 1965; Sylvain, 1955). Aunque el número de genotipos recolectados fue bajo y restringido a determinadas áreas, las observaciones realizadas aportaron conocimiento relacionado a la especie en su ambiente natural. Posteriormente, con el auspicio de la FAO y con la movilización de un equipo científico, entre 1964 y 1965 se realizó una prospección de gran envergadura a Etiopía, para la recolección de los recursos genéticos de la especie (Meyer, 1968). Particularmente, Colombia recibió en 1969, procedentes del banco de germoplasma del Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas (IICA) en Turrialba (Costa Rica), 434 de los genotipos recolectados en esta prospección, siendo establecidos en Chinchiná (Caldas), en la Estación Experimental Naranjal de Cenicafé (Cortina, 1991). De este instituto, posteriormente se recibieron 28 genotipos introducidos allí desde Brasil, Kenia, Guatemala, Etiopía (Bada Buna, Sidamo, Kaffa, Illubabor, Wolkitte), Puerto Rico, El Salvador y Malasia.

Entre 1970 - 1980, se introdujeron a la CCC 216 genotipos provenientes de diferentes centros de investigación: CATIE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza) en Costa Rica (67), IAC en Brasil (18) y CIFC

en Portugal (131). De estos últimos, 27 son originarios del Instituto de Investigaciones Agrícolas de Angola (IIAA).

Provenientes del CIFC, en 1973 se introdujeron los primeros clones diferenciales para la identificación de razas de roya, así como algunos cruzamientos que contenían genes de resistencia contra esta enfermedad. De acuerdo con el IICA (1977), estos últimos fueron obtenidos por el CIFC, con el objetivo de contribuir con la creación de variedades resistentes a la roya, mediante hibridaciones entre genotipos comerciales y genotipos con resistencia al hongo. Además, se buscó enriquecer el germoplasma de los centros de investigación con combinaciones génicas mediante la obtención de híbridos simples, dobles y retrocruzamientos. Algunas de estas accesiones, después de la evaluación y selección realizada por programas de mejoramiento de diferentes países, dieron origen a variedades como "Iapar 59" (Brasil), "Costa Rica 95", "MIDA 96" y "Lempira 98" (Centro América), entre otras (Bertrand et al., 1999).

Así mismo, provenientes del CATIE se introdujeron 44 genotipos de *C. canephora*, de origen diverso y algunos seleccionados por características de producción, adaptabilidad y resistencia a la roya, en programas de mejoramiento de Indonesia y África (Wellman, 1961; Castillo et al., 1976).

En el período comprendido entre 1981 – 1990, se recibieron 151 accesiones, el 80% de ellas pertenecientes a las recolecciones realizadas en 1966 por ORSTOM en las provincias etíopes de Kaffa e Illubabor, y en 1989 por el IBPGR, el Ministerio de Agricultura de la República Democrática y Popular del Yemen (PDRY) y el Centro para la Cooperación Internacional sobre Investigación para el Desarrollo del Instituto para la Investigación del Café y el Cacao (IRCC/CIRAD) en Yemen (Guillaumet & Hallé, 1978; Eskes, 1989b).

En la primera, se recolectaron 70 muestras de diferentes orígenes (silvestres, semi-silvestres, plantaciones familiares, semi-industriales e industriales), de un solo árbol o de grupo de árboles, o adquiridas en el mercado, en altitudes comprendidas entre los 1.200 y 2.050 m. En 1983 fueron enviadas por el Instituto de Investigación en Café, Cacao y otras plantas estimulantes (IFCC), plántulas de 100 genotipos, derivadas del germoplasma etíope recolectado por ORSTOM, así como de otras procedencias. Posteriormente, entraron a la Colección, diez accesiones más de este origen, mantenida desde entonces en Costa de Marfil. Estas últimas accesiones, fueron seleccionadas de acuerdo a los resultados de resistencia a CBD realizados en Kenia.

Para 1989 se introdujeron a la Colección 36 genotipos, 20 de ellos resultado de la colecta realizada en Yemen y 16 procedentes de Costa Rica, de los cuales nueve corresponden a progenies F5 del cruzamiento realizado en el CIFC entre Caturra 19/1 x Híbrido de Timor 832/1 (HW/26). Estas progenies fueron evaluadas y seleccionadas en la Universidad Federal de Viçosa (UFV), Brasil (UFV386) y posteriormente enviados a Turrialba (Costa Rica) donde se identificaron como de la serie T-8600.

Después de 1991, el ingreso de material genético se redujo de manera significativa, representando sólo el 4,4% de la composición actual de la CCC. Dentro de ellos se destacan las accesiones de *C. canephora* enviadas por el CIRAD, provenientes de árboles sobresalientes seleccionados en la Guyana Francesa. Estos genotipos pertenecen, en su mayoría, al grupo genético guineano, que reúne las formas llamadas Conilón provenientes de Costa de Marfil, morfológicamente caracterizado por poseer órganos de menor tamaño en comparación al tipo Robusta (Montagnón et al., 1998).

Es importante resaltar que más del 64% de las accesiones que conforman la CCC se enviaron a través del servicio de cuarentena del USDA, ubicado en Glenn Dale (Maryland). Gracias a éste, fue posible la introducción de germoplasma proveniente de zonas afectadas por enfermedades o plagas no existentes en el país, evitando de esta forma su diseminación.

Actualmente la Colección Colombiana de Café está conformada por 1.028 accesiones, que representan diez de las 124 especies reconocidas del género *Coffea* (Tabla 2). *C. arabica* es la mejor representada, con el 86% del total de las accesiones que constituyen el banco. Para las demás especies, su número es bajo, inclusive con un solo genotipo representante de una especie, hecho que es común en los bancos de germoplasma del género. Actualmente, el acceso a los recursos genéticos está restringido por el derecho soberano que tienen los países sobre sus recursos genéticos, reconocido por el Convenio sobre la Diversidad Biológica

(CDB). Por lo tanto, la diversidad actualmente conservada en la CCC es la única disponible para su utilización en el mejoramiento genético del café en Colombia, hecho en el cual radica la importancia de este banco de germoplasma.

La Tabla 3 muestra la clasificación según Anthony et al. (2007) de los recursos genéticos de *C. arabica* existentes en la CCC. El 56,8% provienen del centro de origen y diversidad de la especie, pertenecientes en especial a las recolecciones realizadas en Etiopía por la FAO y ORSTOM. Este grupo representa la mayor diversidad genética utilizable para la solución de retos actuales y potenciales para su cultivo.

Los grupos dos y tres están representados por genotipos que se obtuvieron durante el inicio del cultivo y trabajos de selección dentro de las primeras variedades (Típica y Borbón). Después de las pérdidas ocasionadas por la roya en Ceilán (actual Sri Lanka) y su rápida expansión a otras zonas como las islas Sumatra, Java, Fiyi, entre otras, una de las

Tabla 2. Especies del género *Coffea* L. y su participación (porcentaje) en la composición de la Colección Colombiana de Café.

Clase	Número de accesiones	Participación (%)
<i>Coffea arabica</i>	880	85,6
<i>Coffea canephora</i>	93	9,0
<i>Coffea liberica</i>	19	1,8
<i>Coffea congensis</i>	6	0,6
<i>Coffea eugenioides</i>	2	0,2
<i>Coffea kapakata</i>	2	0,2
<i>Coffea racemosa</i>	5	0,5
<i>Coffea salvatrix</i>	1	0,1
<i>Coffea stenophylla</i>	1	0,1
<i>Coffea benghalensis</i>	1	0,1
Híbridos Interespecíficos	18	1,8
Total accesiones	1.028	100

prioridades fue la selección de genotipos con resistencia a esta enfermedad (Wellman y Cowgill, 1952). Dentro de estas selecciones, sobresalen aquellas que presentan genes de resistencia a la roya, provenientes de *C. arabica* (S_H2 – Kent), híbridos interespecíficos naturales (S_H3 – *C. liberica* y $S_H6...S_H9$ Híbrido de Timor) o dirigidos (Icatú). Estos genotipos han sido la base para el desarrollo de variedades resistentes a la roya actualmente utilizadas en todas las regiones productoras de café.

Las especies diploides, acervo genético secundario (GP2) de *C. arabica*, constituyen un bajo porcentaje dentro del total de accesiones de la CCC (<13%), siendo *C. canephora* y *C.*

liberica las mejor representadas (86% del total de especies diploides). En ambos casos, las accesiones corresponden a genotipos con algún grado de selección, debido a que en su mayoría se utilizaron como variedades en zonas afectadas por la roya para reemplazar el cultivo de *C. arabica*.

Algunos de los genotipos producto de los trabajos de genética realizados en Brasil, por Krug & Carvalho (1951) a partir de 1933, conforman el quinto grupo de recursos genéticos. La mayoría de ellos no presentan interés comercial, sin embargo, los estudios realizados son importantes para su uso como marcadores fenotípicos en los trabajos de mejoramiento en café. Así mismo, dentro

Tabla 3. Clasificación de los recursos genéticos de *C. arabica* existentes en la Colección Colombiana de Café según Anthony et al. (2007).

Accesiones	Número
1. Silvestre, semisilvestre o cultivado en Centro de Origen y Diversidad	
Recolectado por la FAO en Etiopía	394
Recolectado por ORSTOM en Etiopía	90
Recolectado por IPGRI y CIRAD en Yemen	18
Recolecciones individuales	83
2. Selecciones de <i>C. arabica</i>	
Selecciones de Típica y Borbón	75
Cruzamientos con el Híbrido de Timor	75
Cruzamientos intervarietales	21
Otros	39
3. Líneas introgresadas derivadas de Híbridos Interespecíficos	
Derivadas de <i>C. canephora</i>	13
Derivadas de <i>C. liberica</i>	14
4. Especies Diploides	
<i>Coffea canephora</i>	93
<i>Coffea liberica</i>	19
Otras especies e híbridos	34
5. Mutantes y otros genotipos seleccionados	60

de este grupo se encuentran los clones diferenciales desarrollados por el CIFIC, los cuales contienen genes de resistencia específicos para la identificación de razas de roya. Actualmente, el interés por estos genotipos está dirigido hacia la identificación, mediante el uso de herramientas moleculares, como marcadores para genes de resistencia, que permitan ser utilizados en la selección asistida.

Es importante anotar que las accesiones que ingresaron a la CCC corresponden en su mayoría a duplicados de recolecciones existentes en otros centros de investigación. Esto ha contribuido a la conservación del recurso genético, aunque como lo indican Anthony et al. (2007) la diversidad existente en este tipo de germoplasma es, por lo general, menor que el original. A pesar de este hecho, el potencial existente en la CCC para la solución a problemáticas actuales y potenciales de la caficultura colombiana es considerable, teniendo en cuenta que se ha utilizado solo una fracción de su diversidad. En este sentido, los resultados de las evaluaciones realizadas desde su ingreso y las líneas avanzadas que los involucran han permitido reconocer su potencial para el mejoramiento de características tales como, resistencia a factores bióticos y abióticos, producción y calidad de la bebida.

• **Accesiones originarias de Etiopía y Yemen**

La primera introducción de germoplasma etíope a la Colección Colombiana de Café ocurrió entre 1953 y 1954, con 22 genotipos producto de las recolecciones individuales realizadas en este país. En términos generales, los genotipos procedentes de Etiopía, fueron llamados con el nombre del lugar en que se recolectaron, sin que esto signifique

necesariamente que genéticamente fueran diferentes. Así mismo, no son considerados como verdaderas variedades, debido a la gran variación fenotípica existente entre individuos de un mismo genotipo (Sylvain, 1958), así como la heterocigosis observada para los genes de resistencia a la roya que poseen (Castillo et al., 1976). Este hecho implica, que a pesar de que *C. arabica* es considerada una especie autógama, posiblemente bajo las condiciones de Etiopía la tasa de polinización cruzada podría ser alta (Carvalho, 1959; Carvalho et al., 1962; Castillo, 1976; Meyer, 1965; Monaco, 1968; Reynier et al., 1978). En este sentido, evaluaciones realizadas por Berecha et al. (2014) en Etiopía, indican que para las condiciones de estudio la tasa de polinización cruzada es de 76%, hecho que explica en gran medida la variabilidad observada. Es de anotar que, en este último estudio, así como el realizado por Gómez et al. (2023), es destacado el papel de polinizadores naturales, siendo la riqueza de especies y el número de visitas, significativamente superiores en ambientes naturales o poco intervenidos en comparación a los cultivados (Berecha et al., 2015).

Los primeros genotipos de este origen corresponden a especímenes recolectados en varios distritos, por oficiales al servicio de las Fuerzas Británicas, durante la ocupación de Etiopía y llevados a Kenia entre 1941 y 1943, se destacan los genotipos Dilla y Alghe, Dalle Mixed Green, Geisha, Dilla y Dalle Melville (Jones, 1956) (Figura 5). De acuerdo con el autor, el nombre dado corresponde a la provincia etíope donde se recolectaron, y en ocasiones con una identificación adicional, relacionada al recolector, por ejemplo, Dalle Melville (Provincia de Dalle + recolectada por el Mayor A. R. Melville). Éstas se eligieron por su apariencia, sin un estudio detallado de las mismas, bien sea por que su tipo no estaba representado en Kenia o representaban una forma endémica de una región particular (Sylvain, 1958).



Figura 5. Primeros genotipos de origen etíope en la CCC: **a.** Dilla, **b.** Dalle, **c.** Dilla & Alghe, **d.** Sudan Rume, **e.** Geisha

Además de estos, se destacan diez genotipos recolectados por el Dr. G. P. Sylvain durante su estancia en Etiopía, los cuales representan tipos de café con características propias de esta región (Sylvain, 1955; 1958). Durante este período, el autor planteó una posible clasificación, de acuerdo con las características fenotípicas distinguibles, definiendo así 12 principales tipos de café presentes en esta región (Tabla 4, Figura 6). Anterior a esta, otras clasificaciones habían sido planteadas, basadas principalmente en especímenes de herbario o de acuerdo con el tamaño y la forma de los frutos, no representando de manera correcta las formas de café etíope.

Para Chevalier (1929), la variedad Abyssinica caracterizada por poseer brotes de color

verde y frutos de gran tamaño, similar al tipo S.2 descrito por Sylvain (1955, 1958), era la más predominante en Etiopía. No obstante, Sylvain (1955) y von Streng (1956) consideraron que, de los tipos hallados, los más comunes en los bosques de Etiopía eran aquellos caracterizados por poseer un cáliz más desarrollado en comparación a otras variedades, el cual permanece adherido al fruto hasta su madurez (S.3 Jimma). En el mutante goiaba o guayaba de *C. arabica* también se reconoce esta característica, sin embargo, difiere de los observados en los bosques etíopes por la longitud del cáliz, entre 2,0 a 5,0 mm, mientras en el mutante varía entre 5,0 a 10,0 mm (Carvalho, 1959; Krug et al., 1939; Sylvain, 1955). Esta particularidad, de acuerdo con Sylvain (1955; 1958) puede ser considerada como un enlace de *Coffea*

Tabla 4. Clasificación propuesta por Sylvain (1955) de los principales tipos de café observados en Etiopía.

Tipo	Principal característica fenotípica
S.2 Ennarea	Frutos de gran tamaño, granos largos, brotes de color verde.
S.3 Jimma	Cáliz desarrollado que permanece adherido al fruto hasta su madurez.
S.4 Agaro	Similar a Jimma, pero presenta hojas de mayor tamaño. No posee cáliz desarrollado.
S.6 Cioccie	Similar a Agaro, pero sus frutos son casi redondos.
S.9 Arba Gougou	Forma similar a <i>C. arabica</i> var. <i>purpurascens</i> Cramer. presentando el típico color rojizo en los brotes jóvenes.
S.10 Harar	Importante variedad de la época, buena producción, pero altamente susceptible a la roya. Brotes color bronce, hojas de gran tamaño. Posiblemente introducido del Yemen por los árabes.
S.13 Zeghie	Similar a Ennarea, pero con frutos de menor tamaño. Considerado de pobre calidad en taza.
S.14 Loulo	Contiene posiblemente pericarpio de grosor considerable, por lo tanto, una baja tasa de conversión de café cereza a café pergamino seco. Prevalente en el área de Sidamo.
S.15 Wolkitte	Hojas grandes, brotes color verde. Encontrado en la provincia de Shoa, Sur de la ciudad de Wolkitte, es quizás precursor del tipo Harar.
S.16 Wollamo	Brotes verdes y bronce, frutos casi rectangulares con un extremo aplastado.
S.17 Irgalem	Hábito de crecimiento arbustivo, hojas pequeñas, brote verde. Fue introducido a Kenia con el nombre de Dalle.
Dilla	Brotes de color bronce, hojas grandes, encontrado en Sidamo.

modernos a géneros primitivos cercanos, siendo de interés para estudios de evolución de la especie *C. arabica* (Figura 7).

Los tipos S.4, S.6, S.7 y S.8 son poco comunes, mientras que S.10 fue uno de los de mayor importancia económica, siendo cultivado en Harar, sin embargo, la alta susceptibilidad a la roya fue una limitante para la expansión de su cultivo (Sylvain, 1958). La diversidad fenotípica del germoplasma etiope ha conllevado a la ampliación de la clasificación propuesta (Ameha, 1991). Por ejemplo, dentro del tipo Harrar (S.10) se reconocen las variantes Abadiro, Buna Guracha, Buna Kella y Shimbire, cada una con características distinguibles entre sí (Watkins, 1985). De acuerdo con Davis et al. (2018), aunque es frecuente encontrar estos nombres, especialmente en la literatura científica, su aplicación actual es poca.

Fuera de Etiopía, también se recolectaron poblaciones silvestres de *C. arabica*. Es así, como se resaltan los genotipos recolectados en 1942 por Thomas, durante su expedición al Sudeste de Sudán (meseta de Boma) en las regiones de Barbusk (norte) y Rume (Sur), donde formas silvestres de la especie eran abundantes (Thomas, 1942). De acuerdo con sus observaciones, los arbustos de café encontrados crecían de manera silvestre y se reproducían sin la intervención humana, no obstante, existe la posibilidad de que estos hubieran sido introducidos tiempo atrás desde Etiopía. Dentro de los genotipos allí encontrados sobresalen los recolectados en el bosque de Rume, conocidos como Rume Sudan o Sudan Rume, que de acuerdo con Van der Vossen (1985), representa una de las mejores fuentes de resistencia a la enfermedad de las cerezas del café (*Colletotrichum kahawae*, *Coffee Berry Disease* - CBD).

A pesar de que en los siguientes años ingresaron más genotipos de este origen, la prospección a Etiopía organizada por la FAO

entre 1964-65, marcó un hito para los recursos genéticos de *C. arabica* por tres aspectos fundamentales: equipo científico movilizado, áreas visitadas y número de genotipos recolectados. Los principales objetivos de la misión fueron estudiar botánicamente la especie *C. arabica*, recolectar germoplasma para trabajos de mejoramiento y selección y, recolectar material para la selección de variedades resistentes a la roya (Meyer, 1968). El equipo estuvo liderado por el botánico estadounidense F. G. Meyer, y contó además con D. Greatheat (entomólogo) de Uganda, L. C. Mónaco (genetista) de Brasil y los mejoradores L. M. Fernie representante de Tanzania, Kenia y Uganda, y R. L. Narasimhaswamy de India, quien tuvo un particular interés en la recolección de muestras de enfermedades (Meyer, 1966). De acuerdo con el autor, el gobierno de Etiopía demostró especial interés por esta misión, poniendo a su disposición un completo grupo de especialistas, sin los cuales no hubiera sido posible esta labor. Durante la misión, llevada a cabo entre el 15 de octubre de 1964 y el 15 de enero de 1965, se exploraron siete provincias etíopes: Gojjam, Harar, Begemedir, Shoa, Sidamo, Kaffa e Illubabor (Fernie, 1968) y recolectadas por los miembros del equipo, semillas de 621 genotipos. Esta exploración se convirtió así en la más significativa para los recursos genéticos de *C. arabica*, representando, de acuerdo con Meyer (1968), solo una pequeña fracción del total de área visitada dentro del corto tiempo que duró la misión.

Semillas del material recolectado fue llevada a estaciones experimentales con fines de investigación así: 81 genotipos en el Instituto Central de Investigaciones de Café - India (Balehonur, Estado de Mysore), 196 en la Estación de Investigaciones de Café - Tanzania (Lyamungu, Moshi), y 488 en la Estación de Introducción de Plantas - USA (Glenn Dale, Maryland). Es importante anotar, que algunas de las muestras recolectadas por L. M. Fernie (por ejemplo, E.117, E.234, E.238 a

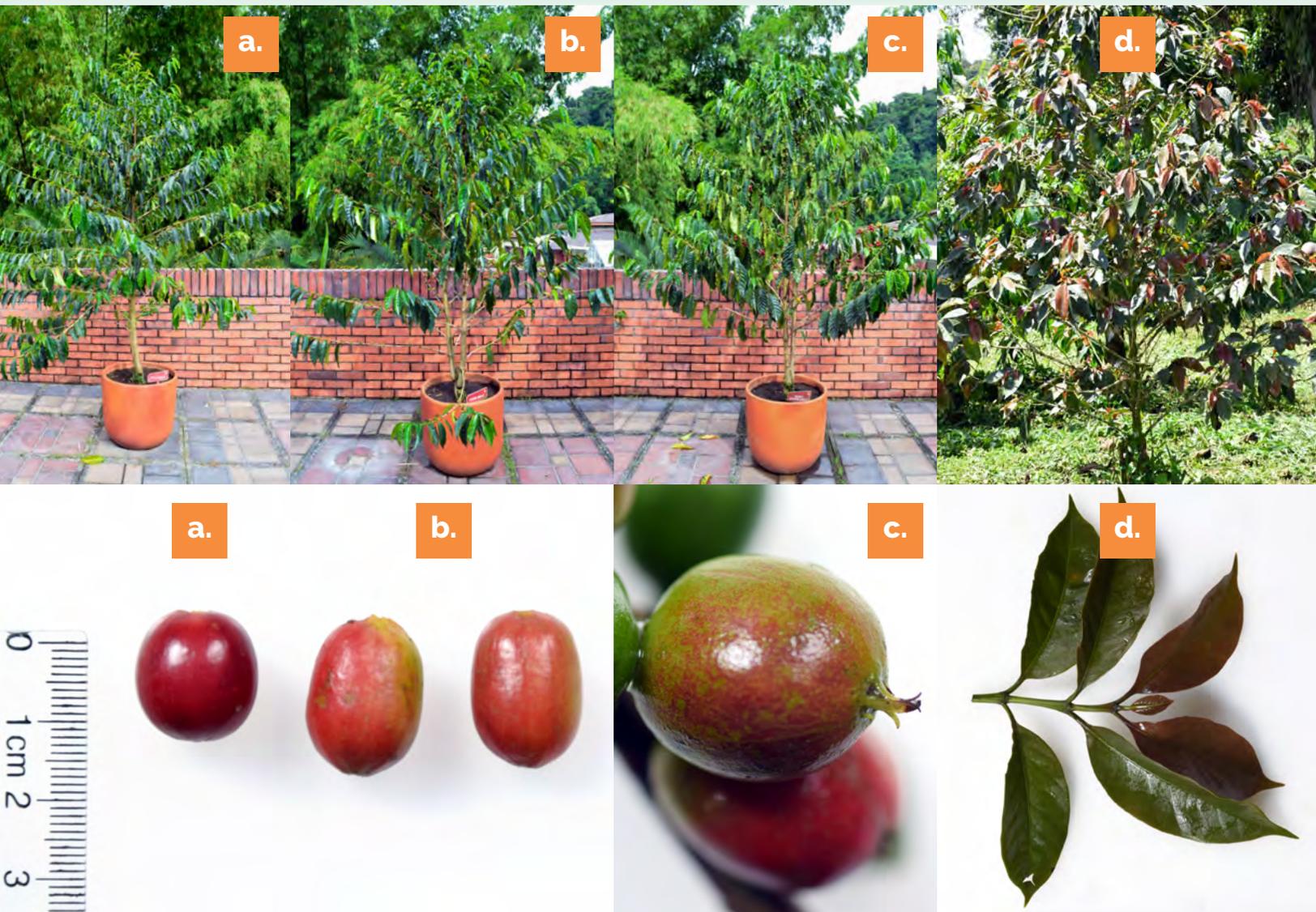


Figura 6. Tipos de café descritos por Sylvain (1954; 1958) existentes en la Colección Colombiana de Café comparados con la variedad Típica. **a.** Var. Típica, **b.** Ennarea, **c.** Jimma., **d.** Arba, **e.** Irgalem. **f.** Cioccie **g.** Wollamo. **h.** Maragogipe.

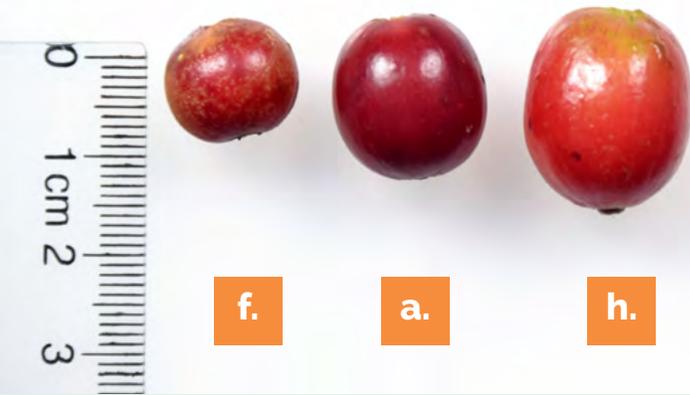




Figura 7. Cáliz desarrollado en frutos de accesiones de origen etíope (a., b. y c.) y el mutante goiaba o guayaba de *C. arabica* (d., e. y f.).

E.243) y R. L. Narasimhaswamy (por ejemplo, E.583 a E.623), no fueron compartidas y solo fueron llevadas a las estaciones de sus países de origen, Tanzania e India, respectivamente. Por lo general, las muestras se recolectaron sin la consideración de rasgos particulares, no obstante, las realizadas por ambos investigadores estuvieron dirigidas a la identificación de plantas con características de interés comercial (FAO, 1968).

Las semillas fueron llevadas a Glenn Dale por F. G. Meyer, con el propósito de realizar germinación, cuarentena y posterior distribución a instituciones de investigación cooperantes (Meyer, 1966; 1968). Para 1965, cerca de 11.000 plántulas, representantes de 488 se distribuyeron y establecieron en Jimma – Etiopía (433 accesiones), Tingo María – Perú (455 accesiones) y Turrialba – Costa Rica (485 accesiones).

Desde el momento de su recolección, el germoplasma se destacó por su gran diversidad morfológica (Figura 8): hábito de crecimiento (indeterminado, proliferación de tallos, ramas extendidas, erectas o caídas), color del brote (verde, marrón, marrón oscuro y bronce), hojas (desde grandes hasta muy pequeñas, de tipo angustifolia, base estrecha o amplia, erecta o caída, verde oscuro o claro, margen ondulado o liso), longitud de entrenudos, tamaño y forma de frutos, y diferencias en el grado de resistencia a la roya, bajo condiciones de campo. Posteriores caracterizaciones reconocieron su variación para características como contenido de cafeína (Castillo & Parra, 1973; Silvarolla et al., 2000), resistencia a CBD (Van der Vossen & Walyaro, 2009) y broca del café (Romero & Cortina, 2004), entre otros.

Después de la exploración realizada por la FAO, los botánicos J. L. Guillaumet y F. Hallé realizaron en 1966, para ORSTOM, una misión para la recolección de genotipos en las provincias etíopes de Kaffa e Illubabor

(Guillaumet & Halle, 1978). Su propósito fue hallar genotipos mejor adaptados a zonas de baja altitud, después de observar el desplazamiento del cultivo en éstas, consecuencia de la roya (*H. vastatrix*). Durante los 36 días de duración de la misión, se recolectaron semillas de 70 genotipos de diferentes orígenes (silvestres, semi-silvestres, plantaciones familiares, semi-industriales e industriales) y distribuidos en estaciones experimentales de Etiopía, Costa de Marfil, Camerún y Madagascar. La caracterización y evaluación realizada en estos países demostró una amplia variabilidad inter e intraaccesional en estos genotipos. A pesar que *C. arabica* es considerada una especie autógama, los resultados obtenidos revelaron la existencia de una heterocigosis considerable, reflejada en la variabilidad observada (Charrier, 1978). Este hecho provocó que algunas de las accesiones recolectadas inicialmente fueran subdivididas (por ejemplo, la accesión ET.37, fue subdividida en nueve accesiones), por lo que en los bancos de germoplasma donde fue duplicado este material, caso de la CCC, se encuentre un número mayor de accesiones a los inicialmente recolectados.

Entre las últimas recolecciones de importancia para los recursos genéticos de *C. arabica*, con representación en la CCC, fue la realizada por A. B. Eskes y A. W. O Mukred en 1989, en el Yemen (Eskes, 1989), centro secundario de dispersión de la especie (Meyer, 1965). Su objetivo fue identificar y describir la variabilidad disponible y preservar germoplasma en colecciones dentro y fuera del país, dada la reducción del cultivo en esta región por factores climáticos y de competencia con otros cultivos (Eskes 1989b). En esta exploración se identificaron seis tipos de café, incluyendo dos con crecimiento compacto, denominadas como Ludia y Hewle, nombre de los valles donde se recolectaron. De igual manera, los tipos más reconocidos por los caficultores



Figura 8. Diversidad fenotípica del germoplasma de origen etíope recolectado por la FAO: **a.** Frutos con estrías, **b.** Frutos de color amarillo, **c.** Frutos con manchas longitudinales, **d.** Forma de hojas, **e.** Ramificación secundaria. **f.** Tamaño y forma del fruto.

de la zona fueron Essaii, Odaynii, Katii y Tessawi, caracterizados en general por un hábito de crecimiento de un solo tallo, diferente a los de procedencia etíope, que normalmente presentan tendencia hacia múltiples tallos (Charrier & Eskes, 2004). En total, se recolectaron 22 accesiones, 15 de ellas representan los seis tipos de café observados, mientras siete muestras se tomaron de viejas plantaciones o variantes locales (Eskes, 1989b). La diversidad genética encontrada en estos genotipos es baja, la mayoría de ellas, exceptuando las tipo Tessawi, altamente relacionadas con las variedades Típica y Borbón (Silvestrini et al., 2007). En contraste a ello, Montagnon et al. (2021) identificó genotipos actualmente cultivados en Yemen, que difieren genéticamente tanto de las variedades tradicionales como de algunos genotipos de origen etíope analizados. Es de tener en cuenta que, en su evaluación, no se incluyeron los genotipos recolectados por Eskes y Mukred en esta región.

Considerar el germoplasma de procedencia etíope como verdaderas "poblaciones silvestres" es a menudo cuestionado por diversos autores, debido a la dificultad existente para determinar si tienen algún grado de domesticación (Sylvain, 1955; 1958; Thomas, 1942; von Streng, 1956). Sin embargo, hay consenso en que los genotipos de este origen concentran la mayor variabilidad para *C. arabica* (Ameha, 1991; Anderson, 1961; Charrier, 1978; Charrier & Eskes, 2004; Sylvain, 1958; von Streng, 1956). Esta variabilidad ha sido demostrada en su fenotipo (Orozco & Marín, 1972; Montagnon & Bouharmont, 1996), genotipo (Anthony et al., 2001; Lashermes et al., 1996; López- Gartner et al., 2009; Moncada & McCouch, 2004; Orozco- Castillo et al., 1994) y comportamiento agronómico (Carvalho, 1959; Carvalho et al., 1962; Castillo, 1975; Castillo et al., 1996; Monaco, 1968; Silvarolla et al., 2004).

El interés de los genotipos de este origen ha sido resaltado desde las primeras recolecciones realizadas, como el caso de Geisha o S.6 Cioccie, las cuales fueron una opción de uso por su resistencia a la roya (Meyer, 1966). En este sentido, genotipos como Kaffa, Ennarea, Gimma, Dalle y Dilla introducidas a Kenia, Kivu y Tanzania, entre 1930 y 1955, destacados por su buen comportamiento productivo, o la variedad Tafari Kela, seleccionada en India por su tolerancia a la roya (Charrier & Eskes, 2004). La Tabla 5 resume las características de interés agronómico que han sido identificadas en accesiones de origen etíope, demostrando su potencial para la solución a problemáticas actuales y potenciales de *C. arabica*.

• Selecciones de *C. arabica*

Los trabajos de selección de plantas individuales dentro de las variedades tradicionales iniciaron en diversas estaciones experimentales en países productores entre 1930 y 1940 (Castillo, 1976). Para Colombia, en 1943 Cenicafe inició la evaluación de 2.700 árboles madre de la variedad Típica, así mismo se realizaron recolecciones a nivel nacional para investigar su variación, sin obtener resultados sobresalientes. En general, los programas de selección dentro de las variedades cultivadas de *C. arabica* daban prueba de la alta uniformidad, consecuencia de la estrecha base genética que dio origen al cultivo (Castillo, 1976).

Producto de los trabajos realizados en diferentes centros de investigación, principalmente en Kenia (Laboratorios Agrícolas Scott, actuales Laboratorios Nacionales Agrícolas - NARL, Kabete), Tanzania (Estación Experimental de Café de Lyamungu) y el Congo Belga (Estación Experimental Rwanda, Burundi), se introdujeron entre 1953 - 1970 a la CCC

Tabla 5. Características de importancia económica identificadas en germoplasma de procedencia etíope.

Característica	Observación	País	Referencia
Resistencia a <i>H. hampei</i>	Reducción de la oviposición entre 30% y 40%	Colombia	Romero & Cortina (2004)
Resistencia a CBD	Rume Sudan	Kenia	Van der Vossen y Walyaro (1980)
	Genotipos recolectados por la FAO	Kenia	Van der Vossen & Walyaro (2009)
Resistencia a <i>H. vastatrix</i>	Evaluaciones realizadas en CIFC	Portugal	Bettencourt & Noronha-Wagner (1971)
Resistencia a nematodos	<i>Meloidogyne incognita</i>	Guatemala	Anzuetto et al. (2001)
	<i>Meloidogyne arabicida</i>		Bertrand et al. (2002)
	<i>Meloidogyne paranaensis</i>	Guatemala	Boisseau et al. (2009); Fatobene et al. (2017)
		Brasil	Holderbaum et al. (2020)
Resistencia a <i>G. xyloarioides</i>	Variedades locales	Etiopía	Yigletu (2020)
	Colección de ORSTOM	Etiopía	van der Graaff & Pieters (1978)
Tolerancia a acidez del suelo	Suelos andisoles e inceptisoles, en etapas tempranas de desarrollo	Colombia	Acuña-Zornosa & Sadeghian-Khalajabadi (2020)
Resistencia a sequía	Evaluado en etapas tempranas de desarrollo	Colombia	Molina et al. (2016)
Calidad	Bajo contenido de cafeína	Colombia	Castillo & Parra, (1973)
	Libre de cafeína	Brasil	Silvarolla et al. (2004)

un número considerable de genotipos, producto de selecciones dentro de las variedades Típica, Borbón y Kent. Particularmente, esta última provino de la selección de un solo árbol con resistencia a roya, identificado en 1911 por L. P. Kent, en el estado de Mysore, India (Rodrigues et al., 1976; Tanganika Coffee Board, 1959). La resistencia a la roya observada en esta variedad, fue una de las utilizadas por Mayne (1932), para demostrar la especialización fisiológica de la roya, posteriormente el CIFC designó como el gen de resistencia S_H2 al factor presente en esta (Rodrigues et al., 1976).

Las selecciones con los prefijos N, I, KP, H, F y X se realizaron en Lyamungu (Tanzania), donde las dos primeras (N e I) corresponden a selecciones de árboles individuales de la variedad Borbón en segunda generación (S_2), mientras las demás provienen de la variedad Kent (Tanganika Coffee Board, 1959). Las selecciones de la serie N, a pesar de provenir de la variedad Borbón, no poseen el color del brote característico de esta variedad, algunas sobresalen por ser altamente productivas, con un contenido de café supremo superior al 60% (N.39, N.100) y alta calidad en taza (N.5, N.30, N.39), pero susceptibles a la roya (Castillo, 1978; Fernie, 1970).

Por su resistencia a la roya, la variedad Kent se expandió a gran escala en diferentes países, entre 1918 y 1920, sustituyendo los cultivares susceptibles. A pesar que para 1932 fue fuertemente atacada por la enfermedad, jugó un importante papel en el mejoramiento de *C. arabica*. (Rodrigues et al., 1976). De acuerdo con Fernie (1970), para las condiciones de Tanzania, las selecciones de Kent presentaron en general mayor vigor y rendimiento que la variedad Borbón, pero calidad en taza ligeramente inferior. No obstante, en Colombia, Castillo (1978) indica que estos genotipos presentan una menor producción que Borbón, porcentaje de granos caracoles mayor que en las variedades comerciales, pero de especial interés por su resistencia a la roya.

Ensayos de uniformidad en la variedad Kent realizados en Tanzania, dieron origen a la serie KP, resaltando KP.532 por su buen rendimiento, reconocido en varias regiones del mundo (Fernie, 1970) y la presencia del gen S_H2 característico de Kent, junto al gen S_H1 de resistencia a roya (Rodrigues et al., 1976). Los genotipos pertenecientes a la serie H son originarios de una prueba de campo de 255 árboles de la variedad Kent establecidos en 1925, de los cuales solo unos pocos fueron seleccionados y evaluados en prueba de progenie, sobresaliendo H.1, H.61 y H.66 por producción y resistencia a roya (Fernie, 1963)

Las selecciones S.L. (Scott Laboratories) de Kenia, realizadas entre 1935 y 1939 por los Laboratorios Agrícolas Scott, se obtuvieron a partir de la progenie de 42 árboles provenientes de varios orígenes (Misión Francesa, Selección Kenia, Kenia resistente a sequía, Tanganica resistente a sequía, entre otros) evaluados por producción, calidad y resistencia a factores bióticos y abióticos. De acuerdo con Jones (1956), solo algunos presentaron interés comercial, entre ellas las variedades S.L. 28 y S.L. 34, que representan actualmente el 70% del

área cultivada en Kenia, y son reconocidas por una alta calidad en taza, susceptibilidad a la roya y al CBD (Kamau et al., 2015). A Colombia llegaron en 1953 siete selecciones de esta serie (S.L. 1, 9, 10, 14, 28, 30 y 34) obtenidas en 1952 por Misión Mundial de Investigación de la Roya. Las selecciones S.L. 1, 30 y 34 provienen de plantaciones originadas de semillas provenientes de las Islas Reunión, llevadas a Kenia por la Misión Francesa; las plantas de este origen fueron heterogéneas, con árboles de diferentes tipos, no obstante, predominaban aquellos con brotes jóvenes de color verde tipo Borbón (Jones, 1956). Entre tanto, S.L. 14 y 28 fueron seleccionadas de genotipos reportados como resistentes a la sequía. El primero fue seleccionado del tipo Kenia resistente a sequía (D.R. II), mientras que el segundo proviene del tipo Tanganica resistente a sequía, ambos susceptibles a roya y a la enfermedad de las cerezas del café (Jones, 1956).

Las accesiones provenientes del Antiguo Congo Belga, evaluadas por Stoffels (1936), comprenden un importante grupo, considerados de gran interés en la época cuando el objetivo era la obtención de variedades de alto rendimiento. Las designadas como Mibirizi, se introdujeron a principios de 1900 por alemanes en la Misión Católica de Mibirizi, Rwanda, de donde se multiplicó a otras misiones (Snoeck & Petit, 1964). Las selecciones Local Bronze se seleccionaron en Kenia, al igual que Jackson, Blue Mountain Kenia y Guatemala, siendo las primeras consideradas como bastante homogéneas, donde Local Bronze 8 probablemente sea portadora de una mutación que condiciona porte bajo (Castillo, 1977, 1978; Snoeck & Petit, 1964).

Provenientes de países productores de café en América, se introdujeron a Colombia 35 selecciones originadas a partir de las variedades Típica y Borbón. A partir de

la variedad Típica, se conservan en la Colección las selecciones Pluma Hidalgo y Blue Mountain, cultivadas en México y Hawái, respectivamente, los mutantes de porte bajo San Bernardo (o Pache), originario de Guatemala, Villalobos y San Ramón de Costa Rica; y de porte alto como Pretoria de Guatemala, Maragogipe de Brasil y Columnaris de Puerto Rico (Krug, 1958; Orozco, 1986). A la variedad Borbón pertenecen las selecciones Pacas provenientes de El Salvador y Villa Sarchí de Costa Rica, las cuales son semejantes a la variedad Caturra de Brasil (Krug, 1958). De los cruzamientos naturales o dirigidos entre estas, se encuentra la variedad Mundo Novo (Típica x Borbón), Catuai y Garnica (Mundo Novo x Caturra) y Medio Cuerpo, que por sus características posiblemente corresponde a segregantes del cruzamiento entre San Ramón x Típica y Borbón (Castillo 1977; Orozco, 1986).

En Colombia, los trabajos de evaluación realizados en las variedades locales e introducidas, permitieron la obtención de selecciones de alto interés agronómico. Para la variedad Típica, se conservan en la CCC los genotipos Típica rojo, mezcla de semilla recolectada en cafetales colombianos; y Siluán, producto de una selección realizada en la finca Playa Rica (Chinchiná, Caldas) en octubre de 1968. Ambas se caracterizaron por su vigor y excelente calidad, tanto física de grano como de taza (Cenicafé, 1985).

De las variedades introducidas, la selección Amarillo Chinchiná, obtenida de las semillas de la variedad Borbón provenientes de Brasil, fue de la más representativa por su característica de alta producción, siendo hasta un 20% mayor que la variedad Típica (Cenicafé, 1985). A pesar de provenir de Borbón, su tamaño de grano es superior al de esta, con brotes jóvenes de color bronce, frutos de color amarillo al madurar y posee un fenotipo con características intermedias entre Típica y Borbón (Orozco, 1986).

Resultado de los trabajos relacionados con la llaga macana (*Ceratocystis* spp.) efectuados por la Sección de Fitopatología entre 1949 – 1952, J. J. Castaño descubrió una línea dentro de variedad Borbón donde el desarrollo de la enfermedad era interrumpido (Fernández, 1964). En las evaluaciones realizadas de las generaciones S_0 y S_1 de este genotipo, la reacción de resistencia se caracteriza por formación de tejidos suberizados que rodean la lesión bloqueando su avance (Fernández, 1964; Castillo, 1965). La cuantificación del tejido suberizado como medida de resistencia no es factible, por lo tanto, la utilización como medida indirecta de la proporción del ancho de las lesiones a la circunferencia del árbol es útil para la selección (Castillo, 1965, Castillo & Quiceno, 1970). Estos hallazgos abrieron las posibilidades de estudiar la naturaleza de la resistencia (Zuluaga et al., 1972) y su utilización en los trabajos de mejoramiento para incorporarla en variedades comerciales de uso en la caficultura colombiana (Castillo & Castro, 1999; Castillo & Quiceno, 1970).

Ampliar la base genética del café cultivado era el principal interés de las variedades introducidas (Castillo, 1977), sin embargo, las evaluaciones realizadas indicaron que su potencial productivo no se aleja mucho del obtenido para la época en las selecciones Amarillo Chinchiná y/o Borbón resistente a llaga macana, y por lo tanto, su valor radica principalmente en factores de resistencia a enfermedades (Castillo, 1975; Castillo et al., 1976; Castillo, 1977; 1978). Teniendo en cuenta este aspecto, en Cenicafé a partir de las accesiones F.840, F.502 y X.321 (provenientes de variedad Kent) se seleccionaron tres variedades de porte alto, fenotipo intermedio entre Borbón y Típica, y resistencia a roya denominadas Chinchiná 21, 22 y 23 (Orozco, 1986); estas presentan producción relativa cercana al 90% de la variedad Borbón, baja proporción de defectos de grano (una de las mayores limitantes de

las variedades introducidas) y portadoras del gen de resistencia a roya S_H2 en forma homocigota, propio de las selecciones de este origen. En 1972, Cenicafé contaba con pequeñas parcelas de producción de semilla de tres variedades, no obstante, la amplia aceptación de la variedad Caturra y el prometedor y rápido avance en la obtención de la variedad Colombia, condicionaron el uso comercial de estas variedades.

• Líneas introgresadas derivadas de híbridos interespecíficos

Los genotipos pertenecientes a este grupo, obtenidos de manera artificial o natural, han sido la principal fuente para el desarrollo de las variedades resistentes a la roya actualmente cultivadas. Las epidemias por el ataque de roya sobre las plantaciones de *C. arabica* en Ceilán (actual Sri Lanka) y Java, en la segunda mitad del siglo XIX, y posteriormente en otras regiones, propició la siembra de otras especies de *Coffea* con resistencia. Este hecho llevó a la aparición de híbridos interespecíficos naturales entre cultivares locales de *C. arabica* y las especies diploides introducidas (Charrier y Eskes, 2004).

En India, los primeros trabajos de hibridación entre *C. arabica* y *C. liberica* se remontan hacia 1850, en el estado de Chendrapore, donde el caficultor Hamilton obtuvo de manera exitosa híbridos entre estas dos especies, posteriormente conocidos como "Híbridos Hamilton" (Srinivasan & Narasimhaswamy, 1975), los cuales se extendieron a otros estados, y poco a poco fueron seleccionados por los agricultores por resistencia a la roya. En 1926, cuando

se estableció el CCRI, en Balehonnur (Mysore), inició la recolección de genotipos en India, contando para 1932 con 257 progenies, pertenecientes a selecciones de las variedades Old Chik, Coorg y Kent, y algunos genotipos provenientes de los "híbridos Hamilton". Después de su evaluación, se seleccionaron 80 plantas madre, que años más tarde dieron origen a S.288 y S.795, variedades de porte alto, resistentes a la roya y cultivadas en India, la primera con alto porcentaje de defectos de grano (Narasimhaswamy, 1960). La variedad S.795 fue ampliamente cultivada después de su lanzamiento en 1945, no obstante, bajo condiciones de campo se reportó como susceptible para 1960 (Rodrigues & Eskes, 2004). En la CCC, ambas variedades se encuentran como clones diferenciales de resistencia a la roya (S.288/23; S.795), identificados en el CIFC en Portugal por poseer los factores S_H3 y S_H2 , solos o en combinación.

Además de estas variedades, entre 1949 y 1950, el CCRI realizó la selección dentro de los 80 árboles madres, de las 36 mejores, que posteriormente denominaron como serie B.A. (B.A. = Balehonnur Arabica), con el propósito de diferenciarlas de las selecciones originales (Indian Coffee Board, 1953). Estas se caracterizan por poseer el factor de resistencia S_H3 , el cual proviene de *C. liberica*, en algunos casos vinculado al S_H2 , por cruzamiento con la variedad Kent, los cuales son de interés en mejoramiento genético por resistencia a roya. En la CCC se encuentran conservados 11 de los genotipos de esta serie, en su mayoría obtenidos durante la Misión Mundial de Investigación de la Roya en 1952 (Wellman & Cowgill, 1952). En las progenies de los genotipos de este origen es frecuente hallar plantas con apariencia anormal y altos porcentajes de defectos de granos (vanos, caracol), por lo que requieren selección intensa para ser utilizadas de forma comercial (Castillo, 1977, 1978).

La búsqueda de genotipos con resistencia a la roya incluyó la evaluación de híbridos espontáneos fértiles entre *C. arabica* y *C. liberica*, entre ellos el Híbrido de Kawisari y C-387, ambos introducidos a la CCC desde 1965 (Figura 9a y 9b). El primero de ellos fue el resultado del cruzamiento de *C. liberica* x *C. arabica*, encontrado en Indonesia hacia 1900, el cual junto al híbrido Kalima (*C. arabica* x *C. liberica*) descubierto en India en el estado del mismo nombre, fueron de interés por su resistencia a la roya (Eskes, 1989a). No obstante, las progenies obtenidas de ellos fueron de poca utilidad, lo que limitó su uso. En el caso de C-387, encontrado en Brasil en 1935, fue el resultado del cruzamiento natural entre *C. arabica* var. Borbón x *C. liberica* var. Dewevrei (Krug et al., 1950). En las plantas de esta introducción se observa gran variación entre árboles y la influencia de *C. liberica*, en especial en la forma de sus hojas y frutos, conservando la resistencia a la roya (Orozco, 1986).

Para los híbridos derivados del cruzamiento entre *C. arabica* y *C. canephora*, los representantes más antiguos reportados se remontan a los producidos de manera natural o artificial en Java (Rodrigues et al., 1976). El más notable de los genotipos derivados de este cruzamiento es el Híbrido de Timor (HdT), utilizado a nivel mundial en los programas de mejoramiento genético por su resistencia a la roya (Figura 9c). Su valor radica en que han sido identificados varios genes de resistencia a la roya (S_H5 a S_H9) (Rodrigues et al., 1976), resistencia a CBD (Van der Vossen & Walyaro, 1980) y produce descendencia fértil y vigorosa al ser cruzada con otras variedades. El HdT ha permitido la obtención de diferentes variedades resistentes a la roya a nivel mundial, y a Cenicafé liberar variedades ampliamente aceptadas y adaptadas a la caficultura colombiana (Alvarado et al., 2005; Castillo & Moreno, 1987; Flórez et al., 2016; Moreno, 2002).

Este híbrido es originario de la Isla de Timor, de semillas tomadas de un único árbol dentro de una plantación de la variedad Típica establecida entre 1917 y 1918, a una altitud de 800 m (Bettencourt, 1973; Goncalves et al., 1977). En este híbrido era notable su vigor, hojas similares a *C. canephora* variedad Robusta, ramificación secundaria similar a *C. arabica* y alta resistencia a la roya, observada después de fuertes ataques por la enfermedad en la zona (Goncalves et al., 1977). La Misión de Estudios Agronómicos de Ultramar en Timor identificó plantas de *C. arabica* y *C. canephora* en poblaciones de la isla, y observó que las características de la planta "original" y sus descendientes reunían características de ambas especies, por lo que los argumentos reunidos sustentan que el HdT fue el resultado de un cruzamiento natural entre estas dos especies y, que probablemente, un gameto no reducido de *C. canephora* se combinó con uno normal de *C. arabica* (Bettencourt, 1973). No obstante, la evaluación del genotipo HdT CIFC 4106, considerado como el primer HdT que dio origen a todos los demás genotipos con esta denominación, mostró triploidia cromosómica (Clarindo et al., 2013). Por lo tanto, las semillas tomadas de este único árbol "original" se obtuvieron posiblemente por autofecundación o retrocruzamiento hacia *C. arabica*, dando origen a las primeras plantas del HdT, y luego, a las primeras plantaciones de este genotipo en la Isla (Clarindo et al., 2013; Goncalves et al., 1977).

El CIFC recibió, evaluó y distribuyó el HdT a los centros de investigación en diferentes países, entre ellos Colombia, un papel de gran importancia que promovió su utilización en los programas de mejoramiento genético. De acuerdo con Rodrigues et al. (2004), el primer material del HdT recibido por el CIFC, fue enviado en 1957 en forma de semilla, cosechada por la Sociedad Agrícola Patria y Trabajo (SAPT) y remitida a través de la Junta de Exportación de Café. La caracterización y evaluación realizada por el CIFC confirmó

su resistencia a la roya y posteriormente se seleccionaron los genotipos denominados CIFC 832/1 y 832/2, que al ser usados como progenitores en cruzamientos con variedades comerciales transmitían esta característica (Rodríguez et al., 2004). El uso de estos dos genotipos en cruzamientos con la variedad Caturra (HW/26) o con Villa Sarchí (H.361) permitieron la obtención de variedades en Centroamérica (Catisic, Promecafé 1 y 2, Costa Rica 95, Mida 96, IHCAFE 90) y Sur América (Iapar 59, Obatá, Tupí) (Rodríguez et al., 2004). En 1960, el CIFC recibió un nuevo grupo de semillas (5,0 kg) del HdT, al cual se denominó CIFC 1343 (Rodríguez et al., 2004). Probablemente, a este grupo de semillas pertenecen las introducidas a Colombia en 1961, por el Gerente Técnico de la FNC, que fueron el pilar para el desarrollo de las variedades Colombia, Tabi, Castillo® y sus regionales y Cenicafé 1. Para 1966, el CIFC recibió remitidos por la Brigada de Estudios Agronómicos de Timor, nuevos lotes de semillas, entre ellas la accesión CIFC 2252 de la plantación de la Brigada en Apidó, CIFC 2255 de la plantación de la Mata Nova de la SAPT y las accesiones CIFC 2256 y CIFC 2257 de la plantación de Ramera del Valle de Gleno (Rodríguez et al., 2004).

A partir de 1961, se introdujeron a la CCC procedentes del CIFC, cuatro de las recolecciones del HdT (Moreno, 1989), y otros genotipos provenientes de Kenia y Angola (Tabla 6). La primera de ellas fue el HdT 1343, de la cual se establecieron doce plántulas, cuya evaluación mostró una producción relativa a la variedad Borbón del 86%, tamaño de grano comercialmente aceptable y sin defectos marcados en el tipo de grano, a excepción de la proporción de granos caracol (entre 10% y 20%), la cual era mayor al aceptado comercialmente (Castillo et al., 1976).

La evaluación de las características agronómicas de las descendencias obtenidas de las principales accesiones del HdT, demostró que el 1343 es el de mayor variabilidad, y posee los genotipos de mayor potencial agronómico (Moreno, 1989). Sin embargo, los híbridos F1 con variedades de *C. arabica* presentan altas proporciones de granos vanos y caracol, probablemente consecuencia de incompatibilidades genéticas (Castillo, 1978). El HdT 2252 fue considerado el menos variable y de menor interés, mientras que los HdT 832/1 y 832/2 presentaron características intermedias (Moreno, 1989).

Tabla 6. Orígenes y características de las accesiones del Híbrido de Timor existentes en la Colección Colombiana de Café.

Genotipo	Año de introducción	Procedencia	Material vegetal introducido	Número de plantas establecidas
Híbrido de Timor 1343	1961	CIFC	Semilla	12
Híbrido de Timor	1970	Kenia	Semilla	10
Híbrido de Timor 1343/269*	1973/78	CIFC	Esquejes	10
Híbrido de Timor 832/1	1973	Angola	Semillas	20
Híbrido de Timor 832/2*	1973	CIFC	Esquejes	10
Híbrido de Timor 2252	1975	CIFC	Plántulas	27

* Diferenciales de los grupos R y A de resistencia a *H. vastatrix* respectivamente.

Además del HdT, en la CCC se hallan genotipos tetraploides, provenientes del cruzamiento entre *C. arabica* y *C. canephora*, obtenidos de forma dirigida a partir de 1947, cuando Mendes (1947) utilizando semillas de *C. canephora* tratadas con colchicina, produjo una forma tetraploide. En 1950, esta planta se cruzó con una planta dihaploide de la variedad Borbón, y las plantas F1 obtenidas fueron cruzadas y retrocruzadas a Mundo Novo, dando origen al genotipo conocido como Icatú (Fazuoli et al., 1983). Estos genotipos, a pesar de la alta resistencia a la roya y vigor de las progenies, el alto contenido de defectos de grano, presencia de plantas anormales (aneuploides) y marcada desuniformidad, limitaron su uso (Figura 9d). No obstante, en Brasil, a partir del cruzamiento natural de Icatú con la variedad Catuaí, y la selección efectuada a partir de 1988, permitió la obtención del grupo de variedades Catucaí (Fazuoli et al., 2007).

• Especies Diploides

Las especies diploides constituyen para *C. arabica* la mayor reserva de genes que pueden ser utilizadas en su mejoramiento. Dentro de este acervo genético se han identificado especies particularmente resistentes a sequía (*C. racemosa*, *C. stenophylla*), inundación (*C. congensis*), nematodos y llagas radiculares (*C. canephora*), entre otras características (Berthaud, 1987; Castro et al., 2010; Davis et al., 2021). Sin embargo, a pesar de que las barreras existentes para la hibridación no son fuertes (Louarn, 1993), las diferencias en ploidía entre *C. arabica* (tetraploide) y las demás especies del género (diploide), se convierten en la mayor dificultad para su uso.

Los daños ocasionados por la roya sobre *C. arabica* y su desplazamiento a zonas de mayor altitud incentivaron el interés por otras especies del género, no obstante, las exploraciones para su recolección solo iniciaron hasta 1980 (Anthony et al., 2007). En estas, a pesar del gran número de

accesiones recolectadas (>20.000), fueron introducidas principalmente a dos bancos de germoplasma: Madagascar, para las especies nativas de este lugar, y Costa de Marfil, para las especies del continente africano (Anthony et al., 2007). Por lo anterior, en los demás bancos de germoplasma, las especies silvestres se hallan en bajo número y pocos genotipos, siendo las especies diploides *C. canephora* y *C. liberica* las mejor representadas.

Coffea canephora Pierre ex A. Froehner

La utilización comercial de esta especie es reciente, entre finales del siglo XIX y principios del siglo XX, si se compara con *C. arabica* en la cual su uso se remonta al siglo XVIII (Montagnon et al., 2012). *C. canephora*, dentro del género, es una de las de mayor área de distribución natural y genéticamente diversa, donde fenotípicamente se reconocen dos grandes grupos genéticos: guineano y congolés, los cuales se distribuyen al Occidente y Centro de África, respectivamente (Berthaud, 1986). La amplia diversidad genética de la especie ha sido reconocida por diversos estudios y ha conllevado a la reclasificación de los grupos genéticos existentes (Cubry, 2008; Gomez et al., 2009; Merot- L'anthoëne et al., 2019). En la actualidad, Merot- L'anthoëne et al. (2019) reunieron la diversidad de *C. canephora* en ocho grupos genéticos, los cuales geográficamente se distribuyen así: **A (o SG1)**. Congo y Camerún; **B**. África Centro Oriental; **C**. África Centro Occidental, Camerún y Nororiente de Congo; **E (o SG2)**. Congo y Sur de Camerún; O. Uganda; **R**. Sur de la RDC; **G**. Angola; y **D**. Costa de Marfil y Guinea. Desde el punto de vista fenotípico, las poblaciones de los grupos **D** y **A** se caracterizan por ser principalmente árboles con órganos pequeños (Figura 10), con tolerancia a la sequía, mientras que los grupos **E** y **C** comprenden árboles con órganos de mayor tamaño (Figura 10) y mayor susceptibilidad a la sequía (Cubry, 2008; Montagnon et al., 1998a).

Los primeros registros históricos indican que el uso comercial de la especie inició en el Congo en 1870, usando semillas tomadas de plantas silvestres, localizadas a orillas del río Lomani (Ferrao et al., 2019). Hacia finales del siglo XIX, los franceses cultivaron la especie alrededor de la costa Atlántica de África, desde Gabón hasta el Congo y, particularmente, a orillas del río Kouillou. Para 1900, semillas de *C. canephora* provenientes del Congo se enviaron a Bruselas, donde adquirió el nombre de café robusta y posteriormente introducidas a Java, principal centro de selección para la especie, entre 1900 y 1930 (Ferrao et al., 2019; Montagnon et al., 2000), especialmente sobre el tipo robusta (Montagnon et al., 1998b).

De acuerdo con Montagnon et al. (2012), los programas de mejoramiento en la especie se trasladaron a otras regiones, especialmente de África. Entre 1930 y 1950, en África el INEAC realizó trabajos de selección, utilizando los genotipos obtenidos en Java y poblaciones silvestres locales, obteniendo logros importantes en el rendimiento (Montagnon et al., 1998b). Posteriormente, el IFCC lanzó en sus centros de investigación en Madagascar, en la República Centroafricana (RCA) y en Costa de Marfil, programas de selección en *C. canephora*, adoptando un mismo esquema de selección (Braudeau et al., 1963). De acuerdo con estos, el programa comprendió dos aspectos: la selección dirigida a la identificar clones élite y la búsqueda de híbridos entre clones para su distribución por semilla. En Madagascar, se usaron genotipos introducidos de los trabajos de mejoramiento genético realizados en Java, de "La Colección", la cual se desconocía su origen y antigüedad, así como de la serie de híbridos Tonnier, resultado de la hibridación entre *C. canephora* x *C. congensis* o su recíproco, entre otros (Braudeau et al., 1963). En la RCA, el programa se ejecutó en el Centro de Investigaciones Agropecuarias de Boukoko, el cual había iniciado desde 1943 trabajos de selección en la especie, para Costa

de Marfil, se utilizaron genotipos provenientes de varias zonas ecológicas de la región, los cuales pertenecían principalmente a Robustas introducidos de diferentes orígenes y genotipos de origen local (Braudeau et al., 1963). De acuerdo con Montagnon et al. (1998), programas de mejoramiento de Camerún, Uganda, Guinea, Angola y Tanzania se beneficiaron de los genotipos obtenidos en los diferentes programas de mejoramiento, para obtener variedades para su uso local, no obstante, en la actualidad solo en Costa de Marfil es llevado a cabo un programa de mejoramiento genético.

Para la especie, los períodos de selección realizados equivalen a uno o dos ciclos, esto indica que la mayoría de las variedades actualmente utilizadas son similares a los árboles silvestres, por lo tanto, existe un amplio margen para el fitomejoramiento, como lo demuestran los resultados observados en Costa de Marfil (Montagnon et al., 1998). Adicional a este hecho, las evaluaciones realizadas por Cubry (2008) confirman que las variedades actualmente cultivadas de la especie están representadas por dos grupos genéticos: SG1 (A), dentro del cual se encuentra el tipo Conilón (nombre derivado de la palabra Kouillou, donde las letras K y U se sustituyen por C y N, respectivamente) usado en Brasil, y SG2 (E) que comprende los Robustas (Montagnon et al., 2002). Por lo tanto, la estrecha base genética que ha dado origen al material actualmente cultivado, y la amplia diversidad existente, brinda una gran oportunidad para la obtención de nuevos genotipos.

En la Colección Colombiana de Café, las accesiones existentes de *C. canephora* fueron proporcionadas por dos Centros de Investigación: IICA (Turrialba, Costa Rica) y La Estación de Combi – CIRAD (Guyana Francesa). Su introducción se realizó después de 1970, la información acerca



Figura 9. Características morfológicas de los híbridos interespecíficos naturales (árbol, hojas, flores y frutos): **a.** Kawisari, **b.** C-387 (*C. arabica* x *C. liberica*), **c.** Híbrido de Timor (*C. arabica* x *C. canephora*) (b), y dirigidos: **d.** Icatú (*C. arabica* x *C. canephora*).

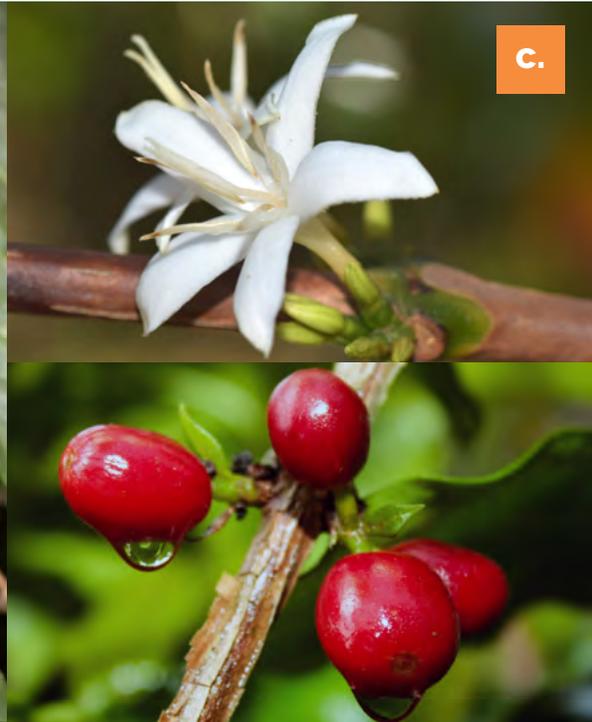
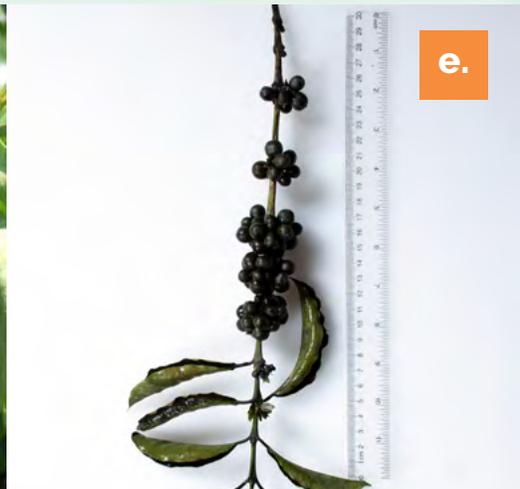




Figura 10. Diversidad morfológica en **a.** Flores, **b.** Árboles, **c.** Forma y **d.** Tamaño de hojas y **e.** Frutos de accesiones de *C. canephora* conservados en la CCC.



de su origen geográfico, diversidad y estructura genética es escasa, parámetros de gran importancia para la definición de estrategias de conservación y uso en el mejoramiento genético.

Las accesiones provenientes del IICA, son producto principalmente de los trabajos de selección realizados en Indonesia sobre la forma Robusta, elegida por su resistencia a la roya, vigor y alta productividad, siendo los más reconocidos las series BP (Besoeckisch Procfstation), L y SA (Sumber Asin). Adicionalmente, se encuentran representadas las variedades Quillou, Ugandae, Erecta y Gamé, seleccionadas en Uganda, Gabón y Guinea (Charrier & Eskes, 2004; Montagnon et al., 1998b). Según su procedencia, representan probablemente los grupos genéticos SG1 (A) y SG2 (E), los más ampliamente usados en los diferentes programas de mejoramiento genético de esta especie.

Los genotipos pertenecientes a la colección del CIRAD, de acuerdo a sus características morfológicas corresponden en su mayoría al grupo guineano, originarios de Guinea y Costa de Marfil. Este grupo difiere de las formas originarias de África Central en las características morfológicas (órganos de mayor tamaño), mayor ramificación secundaria, alto contenido de cafeína (> 2,7), resistencia a sequía y mayor susceptibilidad a la roya (Montagnon et al., 1998a; Montagnon et al., 2012). Este grupo genético no se ha empleado de manera comercial, no obstante, está siendo utilizado en el desarrollo de variedades híbridas de alto rendimiento por cruzamiento con los demás grupos de la especie.

En Colombia, las evaluaciones agronómicas realizadas sobre las accesiones de *C. canephora* provenientes de Costa Rica, permitieron la identificación de una serie de genotipos con excelentes características agronómicas y resistencia a la roya. Estos

se emplearon para la estructuración de un proyecto de mejoramiento de *C. arabica* por hibridación interespecífica (Orozco, 1976). En la actualidad, son evaluados genotipos en diferentes generaciones, las más avanzadas, con buenos atributos agronómicos, están siendo probadas regionalmente, como paso previo a su uso comercial.

***Coffea liberica* Bull. ex Hiern.**

El cultivo de esta especie en sus inicios no presentó alto interés, sin embargo, tuvo un auge importante entre 1920 – 1950 por su resistencia a la roya (Cramer, 1957). Posteriormente, las dificultades relacionadas con su beneficio, baja calidad de la bebida y, en especial, la marcada susceptibilidad a la traqueomicosis (*Gibberella xylarioides*), limitaron su cultivo (Berthaud & Charrier, 1988). Actualmente, la especie solo es utilizada en ciertas áreas de África y Sureste de Asia (Charrier & Eskes, 2004), por lo que se reconoce como la tercera especie del género más cultivada, a pesar de que su participación en el mercado mundial representa un mínimo porcentaje del total.

Es una especie altamente diversa, por lo cual desde principios del siglo XX se reconocieron varias formas botánicas (N'Diaye et al., 2005). Sin embargo, estudios botánicos posteriores, realizados por Lebrun (1941) y confirmados por Bridson & Verdcourt (1988), se reconoció una sola especie con dos variedades botánicas: *C. liberica* variedad *liberica* y *C. liberica* variedad *dewevrei*. No obstante, la amplia diversidad existente entre ambas poblaciones y la existencia de posibles barreras de compatibilidad, podría hacer que fueran consideradas algo más que dos variedades botánicas (N'Diaye et al., 2005).

Coffea liberica es de importancia para el mejoramiento genético de las especies cultivadas *C. arabica* y *C. canephora*. Para la primera, es de interés por características como resistencia a la roya, tolerancia a

nematodos, adaptación a bajas temperaturas y resistencia a la broca del café (*H. hampei*) (Romero & Cortina, 2004; Anthony et al., 2007). Para *C. canephora*, por su alta relación genética (N'Diaye et al., 2005) proporciona la posibilidad de mejorar características relacionadas a la calidad del grano y su bebida (Charrier & Eskes, 2004).

En la Colección Colombiana de Café, la especie está poco representada (19 accesiones, 1,8% del total), las cuales ingresaron entre 1969 y 1974 provenientes de la Colección del IICA en Costa Rica. Estas accesiones son originarias de Sri Lanka, Filipinas y Madagascar (Hurtado & Herrera, 2013). De acuerdo con la información de pasaporte y la revisión taxonómica descrita por Davis et al. (2006), las accesiones de la especie existentes en la CCC, denominadas como Libérica y Abeokutae corresponden a var. *liberica*, mientras Excelsa, Neoarnoldiana y Aruwimensis a var. *dewevrei*.

La evaluación morfológica de 18 accesiones de la especie, realizada por Hurtado & Herrera (2013), mostraron una alta variabilidad en

cuanto a caracteres como tamaño y color de los frutos, dimensión de las hojas y número de fascículos por nudo (Figura 11). No obstante, a nivel genético, la diversidad entre accesiones es baja, sumado a un posible flujo génico entre ellas, antes o durante su permanencia en la colección.

Otras especies del género en la Colección

Como se ha mencionado, las especies diploides del género *Coffea* solo se consideran bien representadas en las Colecciones de Costa de Marfil y Madagascar. En el caso de los demás Bancos de Germoplasma, incluyendo la CCC, solo existen unos pocos individuos, representantes de un número aún más bajo de especies (Figuras 12 a la 18).

La Tabla 7 muestra las especies existentes en la Colección Colombiana de Café, con una breve descripción de sus características y potencial para uso en el mejoramiento genético de *C. arabica*.



Figura 11. Diversidad morfológica en **a.** flores, **b.** ramas, **c.** hojas, **d.** forma y **e.** tamaño de frutos y **f.** arboles en accesiones de *C. liberica* conservadas en la CCC.



Tabla 7. Especies diploides del género *Coffea* existentes en la Colección Colombiana de Café diferentes a *C. canephora* y *C. liberica*, número de accesiones, zona de distribución natural, hábitat y observaciones principales.

Especie	Accesiones	Zona de Distribución	Hábitat	Observaciones
<i>C. eugenioides</i>	2	Trópico Centro Occidental de África (Burundi, Rwanda, R. D. C.), Noreste (Sudán), trópico Oriental (Kenia, Tanzania, Uganda)	Bosque húmedo perenne, incluyendo bosques de galería o bosques perennes, estacionalmente secos y algunas veces en bosque de sabanas y matorrales. Altitud 1.000 – 2.000 m.	Presenta una estrecha relación evolutiva con la especie <i>C. arabica</i> , producto de la hibridación natural entre un ecotipo de esta especie con uno de <i>C. canephora</i> .
<i>C. racemosa</i>	5	África tropical meridional, (Mozambique, Zimbabue), océano Índico Occidental (Canal de Mozambique)	Bosque mixto de caducifolios y de hoja perenne, en zonas estacionalmente secas, con bosque de hoja perenne, principalmente bosque litoral (incluyendo bosque en dunas de arena estabilizadas), a veces en matorrales, a menudo en asociación con <i>Brachystegia microphylla</i> . Altitud 0 – 600 m.	También conocida como café de Inhambane por ser nativa de Inhambane (Mozambique). Las cinco accesiones de esta especie existentes en la CCC se introdujeron desde el CIFC como clones diferenciales, consideradas como susceptibles universales. Fuente potencial para el manejo genético de la arañita roja (<i>Oligonychus ilicis</i>).
<i>C. kapakata</i>	2	Oeste de Angola	Bosque húmedo de hoja perenne. Altitud 600 m.	Esta especie fue en catalogada en un principio como representante del género <i>Psilanthopsis</i> , debido principalmente a que difiere de otras especies de <i>Coffea</i> en la morfología de sus lóbulos de cáliz y la presencia de estrias en sus frutos. Se ha observado una menor infestación por <i>H. hampei</i> en accesiones de esta especie.

Especie	Accesiones	Zona de Distribución	Hábitat	Observaciones
<i>C. salvatrix</i>	1	Este de África Tropical (Suroeste de Tanzania), Sur de África Tropical (Malawi, Mozambique y Zimbabue)	Bosque húmedo de hoja perenne, o estacionalmente seco, con mezcla de bosque caducifolio y de hoja perenne. Altitud 850 – 1.650 m.	
<i>C. congensis</i>	6	África Centro-Occidental (Camerún, República Centroafricana, Congo, R.D.C, Gabón)	Bosque húmedo de hoja perenne, bien sea en área reofítica (especialmente bancos de arena) o en bosque ripario estacional/ temporalmente inundado.	Algunas de las accesiones presentes de esta especie, posiblemente correspondan a híbridos naturales con <i>C. canephora</i> . Especie fenotípicamente similar a <i>C. arabica</i> . Dentro de poblaciones naturales ha sido observada una variabilidad considerable.
<i>C. stenophylla</i>	1	Occidente de África Tropical (Guinea, Costa de Marfil Sierra Leona)	Bosque húmedo de hoja perenne, generalmente restringida a áreas secas, tales como pendientes y crestas expuestas. Altitud 2.000 m.	A menudo confundida con una mutación de <i>C. arabica</i> de hojas delgadas (angustifolia). Presenta fruto de color violeta a negro, con disco un poco acreciente. De reciente interés por su calidad en taza y adaptación a zonas secas.
<i>C. benghalensis</i>	1	India, Nepal, Bután e India Occidental.	Sin información	Una sola planta representante del género <i>Psilanthus</i> , actualmente reconocido dentro del género <i>Coffea</i> .

Fuente: Berthaud (1986); Davis et al. (2006); Davis et al. (2011); Davis et al. (2021); Eskes (1989); Rodrigues et al. (1976).



Figura 12. Fenotipos de especies diploides del género *Coffea* diferentes a *C. canephora* y *C. liberica* existentes en la Colección Colombiana de Café. **a.** Características fenotípicas de *C. benghalensis*,



Figura 13. Fenotipos de especies diploides del género *Coffea* diferentes a *C. canephora* y *C. liberica* existentes en la Colección Colombiana de Café. **b.** Características fenotípicas de *C. congensis*.

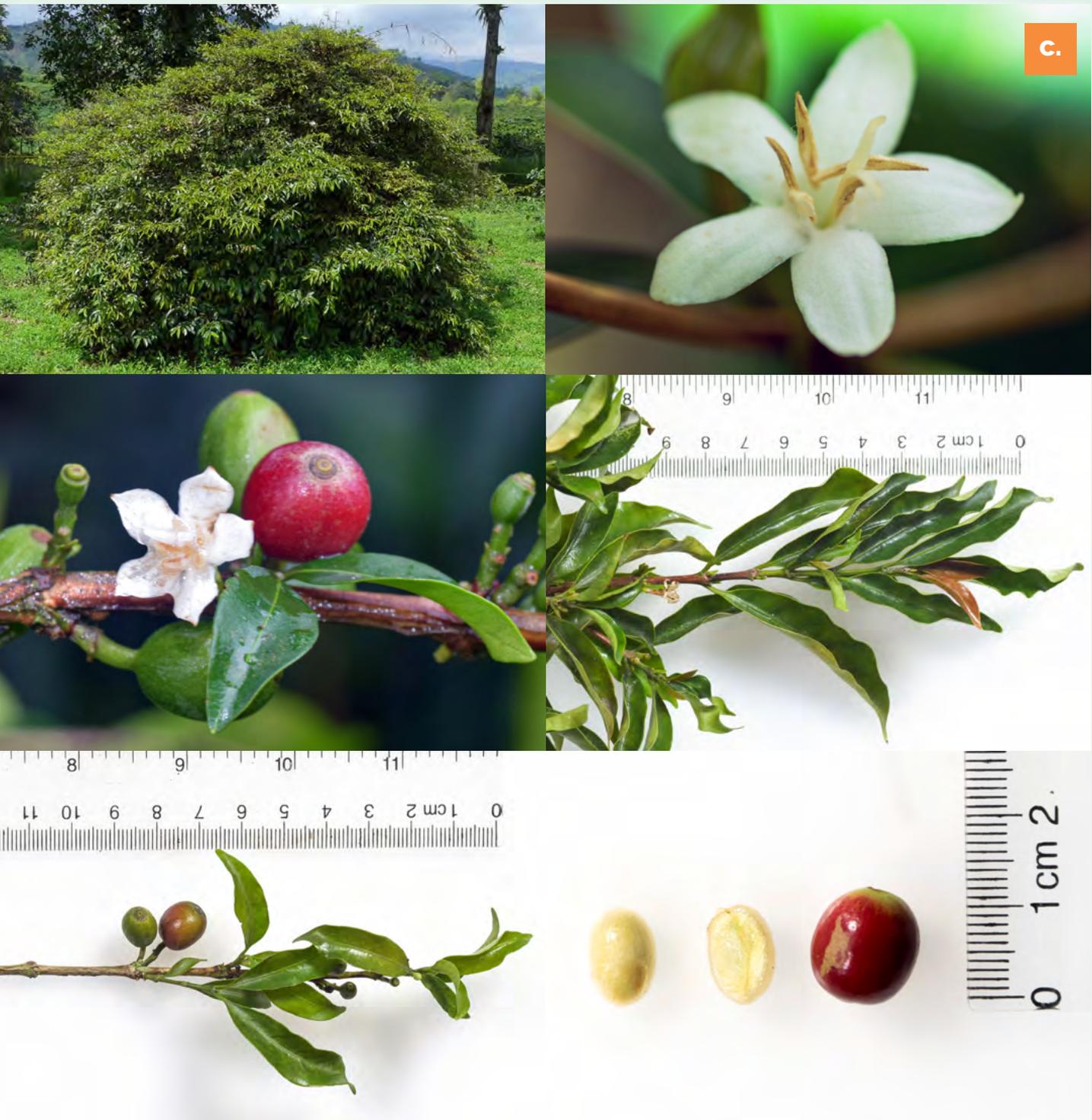


Figura 14. Fenotipos de especies diploides del género *Coffea* diferentes a *C. canephora* y *C. liberica* existentes en la Colección Colombiana de Café. **c.** Características fenotípicas de *C. eugenioides*.

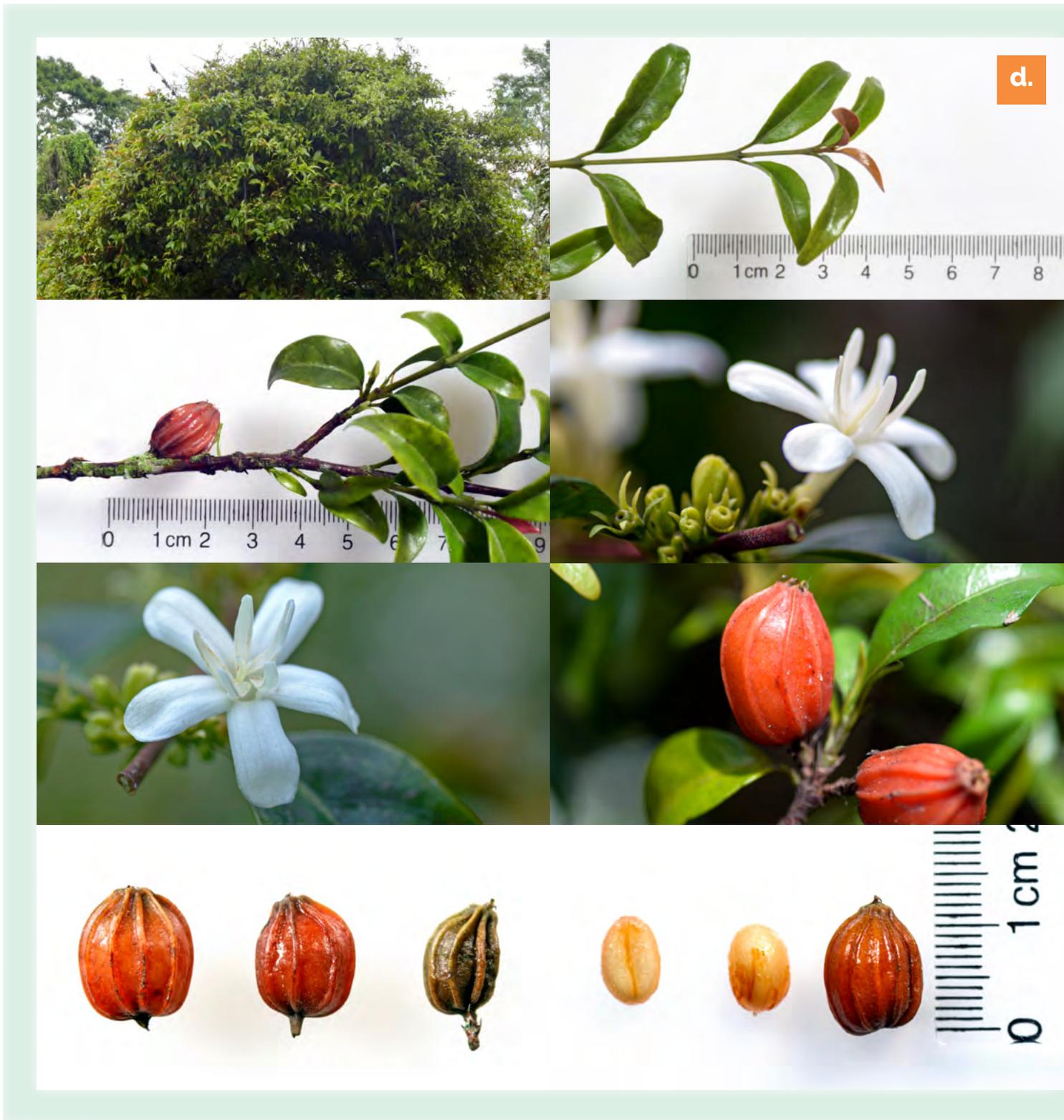


Figura 15. Fenotipos de especies diploides del género *Coffea* diferentes a *C. canephora* y *C. liberica* existentes en la Colección Colombiana de Café. **d.** Características fenotípicas de *C. kapakata*.



Figura 16. Fenotipos de especies diploides del género *Coffea* diferentes a *C. canephora* y *C. liberica* existentes en la Colección Colombiana de Café. **e.** Diversidad morfológica de *C. racemosa*.

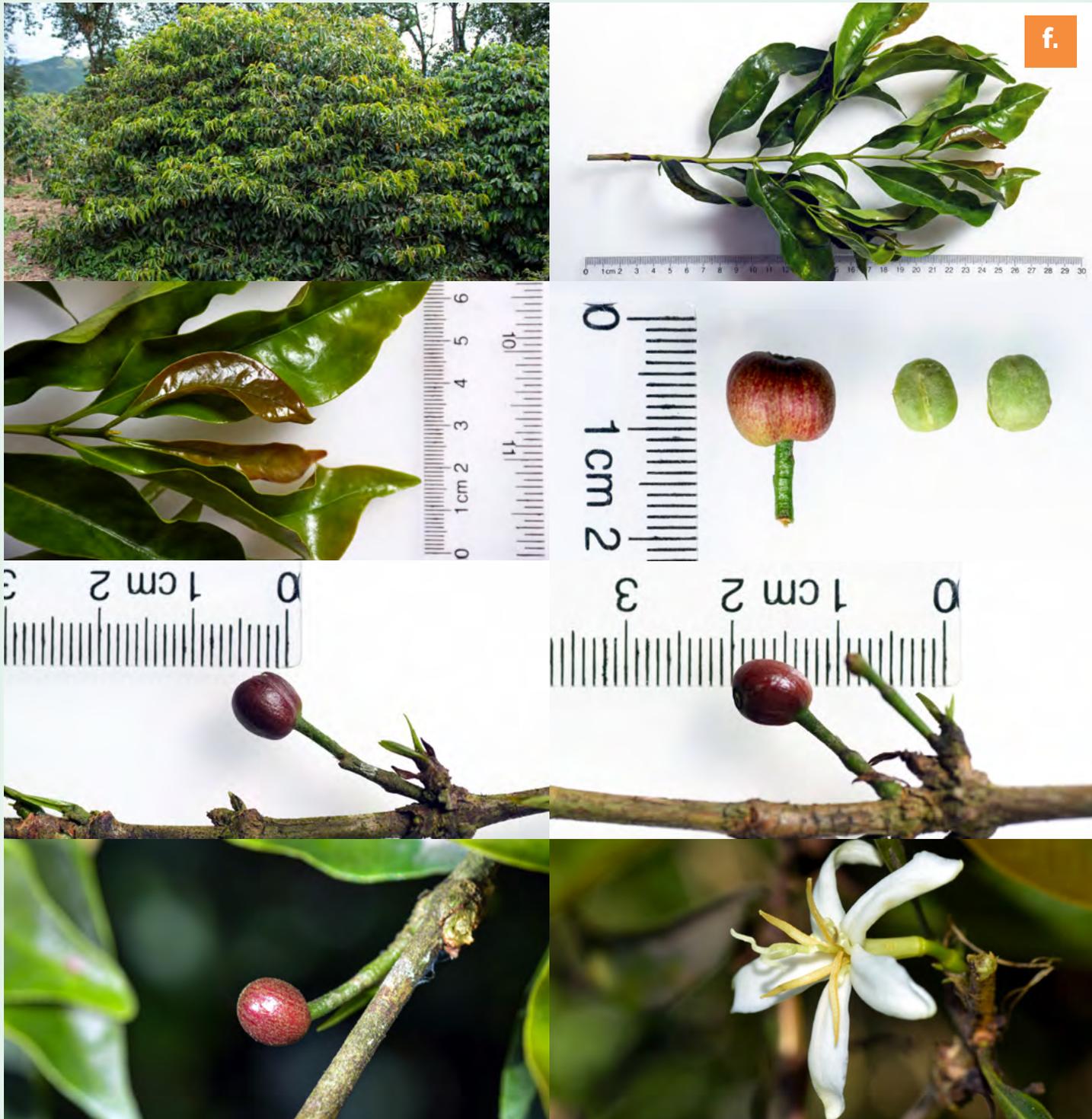


Figura 17. Fenotipos de especies diploides del género *Coffea* diferentes a *C. canephora* y *C. liberica* existentes en la Colección Colombiana de Café. **f.** Características fenotípicas de *C. salvatrix*.



Figura 18. Fenotipos de especies diploides del género *Coffea* diferentes a *C. canephora* y *C. liberica* existentes en la Colección Colombiana de Café. **g.** Características fenotípicas de *C. stenophylla*.



Consideraciones finales

La existencia en Colombia de un Banco de Germoplasma del género *Coffea* que contiene la diversidad genética disponible para el país, representa una oportunidad única para la caficultura. Su conservación es de gran importancia, debido a que es la fuente principal a usar en la búsqueda de soluciones a problemáticas actuales y potenciales del cultivo. Este hecho convierte a la Colección Colombiana de Café en uno de los activos más importantes para la FNC.

No obstante, más allá de su preservación, el uso de los recursos genéticos es en sí, el principal objetivo de la CCC, sin ello, los genotipos conservados permanecerían solo como simples "reliquias". El manejo dado a la CCC por la FNC ha demostrado un ejemplo claro del adecuado uso de los recursos genéticos, teniendo claro desde un inicio que el aprovechamiento de la diversidad es clave para una caficultura sustentable y resiliente.

Los retos actuales y futuros a los cuales se enfrenta la caficultura son cada vez más complejos y, por lo tanto, requieren de esfuerzos de mayor magnitud por parte del Centro para brindar una solución efectiva. A pesar de que la evaluación de germoplasma es una actividad permanente, que se realiza a medida que surgen nuevos objetivos, la información reunida, producto de más de medio siglo, ha permitido definir su potencial para diversas características de interés, como la resistencia a factores bióticos y abióticos, producción y calidad en taza. No obstante, su utilización está sujeta a largos y dispendiosos

procesos de evaluación y selección, por lo que el desarrollo de herramientas que permitan agilizar este proceso son necesarias.

En este sentido, desde hace varios años Cenicafé, con el rápido avance en las tecnologías basadas en el ADN y su valor para el fitomejoramiento, ha trabajado en su desarrollo e implementación. En la actualidad, su uso ha permitido la evaluación eficiente de los recursos genéticos, y se espera ligarlos a las características de interés agronómico observadas, de manera que facilite su transferencia a variedades comerciales.



Glosario

Accesión. Muestra distinta, singularmente identificable que se mantiene conservada.

ADN. Ácido desoxirribonucleico, molécula que contiene las instrucciones biológicas de un individuo.

Banco de germoplasma. Lugar destinado para la conservación de la diversidad genética a largo plazo, con disponibilidad para su uso.

Diploide. Individuo en el cual el núcleo de sus células presenta dos juegos de cromosomas homólogos

Diversidad genética. Variación hereditaria dentro y entre poblaciones de una especie o entre especies.

Gen. Unidad física básica de la herencia.

Genotipo. Conjunto de información genética de un individuo.

Germoplasma. Conjunto de genes que son transmitidos a los descendientes a través de la reproducción.

Fenotipo. Rasgos observables de un individuo; estos están determinados por su genotipo, o la interacción de este con el ambiente.

Fitomejoramiento. Para una especie cultivada, conjunto de métodos o técnicas dirigidas a la obtención de individuos con características deseables

Hábitat reofítico. Especies confinadas al lecho de ríos o arroyos de flujo rápido, y sujetas a frecuentes inundaciones.

Híbrido interespecífico. Producto del cruzamiento entre individuos de diferente especie.

Híbrido intraespecífico. Producto del cruzamiento entre individuos de la misma especie.

Introgresión. Conjunto de procesos por el cual el material genético (genes o cromosomas) es transferido de una especie a otra.

Mutación. Cambio en la secuencia de ADN.

Recurso genético. Todo material de naturaleza biológica que contiene información genética de valor actual o potencial.

Semisilvestre. Término dado a aquellas plantas que se desconoce su origen, y posiblemente sean consecuencia de la intervención humana.

Silvestre. Que crece y se desarrolla sin la intervención humana.

Tetraploide. Individuo en el cual el núcleo de sus células presenta cuatro juegos de cromosomas homólogos.

Variedad. En términos botánicos, es la subdivisión de la especie. También utilizado para definir a un conjunto de individuos de una especie cultivada que se obtiene de un proceso de selección artificial, donde sus caracteres genéticos son estables.



Literatura citada

- Acuña-Zornosa, R. & Sadeghian-Khalajabadi, S. (2020). Identification of acid-tolerant coffee genotypes in a coffee germplasm collection in Colombia. *Coffee Science*, 15, e151727. <https://doi.org/10.25186/v15i.1727>
- Alvarado, G., Posada, H. E., & Cortina, H. A. (2005). Castillo: Nueva variedad de café con resistencia a la roya. *Avances Técnicos Cenicafe*, 337, 1–8. <http://hdl.handle.net/10778/401>
- Ameha, M. (1991). Significance of Ethiopian coffee genetic resources to coffee improvement. En J. M. M. Engels, J. G. Hawkes, & M. Worede (Eds.), *Plant Genetic Resources of Ethiopia* (1a ed., pp. 354–359). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511551543.030>
- Anderson, E. (1961). The analysis of variation in cultivated plants with special reference to introgression. *Euphytica*, 10(1), 79–86. <https://doi.org/10.1007/BF00037207>
- Anthony, F., Diniz, L. E. C., Combes, M.-C., & Lashermes, P. (2010). Adaptive radiation in *Coffea* subgenus *Coffea* L. (Rubiaceae) in Africa and Madagascar. *Plant Systematics and Evolution*, 285(1–2), 51–64. <https://doi.org/10.1007/s00606-009-0255-8>
- Anthony, F., Dussert, S., & Dullo, E. (2007). Coffee genetic resources. In F. Engelmann, M. E. Dulloo, C. Astorga, S. Dussert, & F. Anthony (Eds.), *Conserving coffee genetic resources* (pp. 12–22). Bioversity international.
- Anthony, F., Bertrand, B., Quiros, O., Wilches, A., Lashermes, P., Berthaud, J., & Charrier, A. (2001). Genetic diversity of wild coffee (*Coffea arabica* L.) using molecular markers. *Euphytica*, 118(1), 53–65. <https://doi.org/10.1023/A:1004013815166>
- Anthony, F. (1992). *Ressources génétiques des caféiers: Collecte, gestion d'un conservatoire et évaluation de*

la diversité génétique [Thèse de doctorat]. Institut Français de Recherche Scientifique Pour Le Développement en Cooperation.

- Anzueto, F., Bertrand, B., Sarah, J. L., Eskes, A. B., & Decazy, B. (2001). Resistance to *Meloidogyne incognita* in Ethiopian *Coffea arabica* accessions. *Euphytica*, 118(1), 1–8. <https://doi.org/10.1023/A:1003712232325>
- Barre, P., Akaffou, S., Louarn, J., Charrier, A., Hamon, S., & Noirot, M. (1998). Inheritance of caffeine and heteroside contents in an interspecific cross between a cultivated coffee species *Coffea liberica* var *dewevrei* and a wild species caffeine-free *C. pseudozanguebariae*. *Theoretical and Applied Genetics*, 96(2), 306–311. <https://doi.org/10.1007/s001220050741>
- Braudeau, J., Cambrony, H. R., Capot, J., Dublin, P., Etasse, C., & Foury, C. (1963). *Les principes de la sélection des caféiers canéphoroïdes et libério-excelsoïdes: Leur application aux travaux des Centres de Recherches de l'Institut Français du Café et du Cacao en Côte d'Ivoire, à Madagascar et en République centrafricaine -Bulletin IFCC 5*. Institut Français du Café et du Cacao.
- Berecha, G., Aerts, R., Vandepitte, K., Van Glabeke, S., Muys, B., Roldán-Ruiz, I., & Honnay, O. (2014). Effects of forest management on mating patterns, pollen flow and intergenerational transfer of genetic diversity in wild Arabica coffee (*Coffea arabica* L.) from Afromontane rainforests: Mating Patterns in Wild Arabica Coffee. *Biological Journal of the Linnean Society*, 112(1), 76–88. <https://doi.org/10.1111/bj.12274>
- Berecha, G., Aerts, R., Muys, B., & Honnay, O. (2015). Fragmentation and Management of Ethiopian Moist Evergreen Forest Drive Compositional Shifts of Insect Communities Visiting Wild Arabica Coffee Flowers. *Environmental Management*, 55(2), 373–382. <https://doi.org/10.1007/s00267-014-0393-9>
- Berthaud, J. (1987). Los cafetos diploides: una nueva fuente de germoplasma para el mejoramiento de *Coffea arabica*. *Cultivos Tropicales*, 5, 3–18.
- Berthaud, J. (1986). *Les ressources génétiques pour l'amélioration des caféiers africains diploïdes: Évaluation de la richesse génétique des populations sylvestres et de ses mécanismes organisateurs: conséquences pour l'application*. Editions de l'ORSTOM.
- Berthaud, J., & Charrier, A. (1988). Genetic resources of coffee. In R. J. Clarke & R. Macrae (Eds.), *Coffee: Agronomy* (Vol. 4, pp. 1–42). Elsevier.
- Berthaud, J., Guillaumet, J. L., Le Pierres, D., & Lourd, M. (1980). Les cafeires sauvages du Kenia: prospection et mise en culture, *Café Cacao Thé*, 24(2), 101–112.
- Bertrand, B., Aguilar, G., Santacreo, R., & Anzueto, F. (1999). El mejoramiento genético en América Central. En B. Bertrand & B. Rapidel (Eds.), *Desafíos de la caficultura en centroamérica* (pp. 407–456). IICA.
- Bertrand, B., Ramirez, G., Topart, P., & Anthony, F. (2002). Resistance of cultivated coffee (*Coffea arabica* and *C. canephora*) trees to corky-root caused by *Meloidogyne arabicida* and *Fusarium oxysporum*, under controlled and field conditions. *Crop Protection*, 21(9), 713–719. [https://doi.org/10.1016/S0261-2194\(02\)00028-5](https://doi.org/10.1016/S0261-2194(02)00028-5)
- Bettencourt, A. J. (1973). *Circular IAC N° 23. Considerações gerais sobre o "Híbrido de Timor"*. Instituto Agronomico.
- Bettencourt, A. J. & Noronha-Wagner, M. (1971). Genetic factors conditioning resistance of *Coffea arabica* to *Hemileia vastatrix* Berk. & Br. *Agronomia Lusitana*, 31(4), 285–292.
- Boisseau, M., Aribi, J., Sousa, F. R. de, Carneiro, R. M. D. G., & Anthony, F. (2009). Resistance to *Meloidogyne paranaensis* in wild *Coffea arabica*. *Tropical Plant Pathology*, 34(1).

- 38–41. <https://doi.org/10.1590/S1982-56762009000100006>
- Bridson, D., & Verdcourt, B. (1988). *Coffea*. En R. M. Polhill (Ed.), *Flora of Tropical East Africa. Rubiaceae* (pp. 703–723). CRC Press.
- Carvalho, A. (1959). Genética de *Coffea* XXIV – Mutantes de *Coffea arabica* procedentes da Etiópia. *Bragantia* 18(25), 353–371. <http://dx.doi.org/10.1590/S0006-87051959000100025>
- Carvalho, A. (1956). O café selvagem da Abissínia. *Boletim da Superintendencia dos Servicos do Café*, 31(351), 13–15.
- Carvalho, A., Monaco, L. C., & Scaranari, H. J. (1962). Melhoramento do cafeeiro. XXIV – Variação na produtividade de cafeeiros importados, com referência especial ao material da Etiópia e do Sudão. *Bragantia*, 21(13), 215–239. <http://dx.doi.org/10.1590/S0006-87051962000100013>
- Carvalho, A., Ferwerda, F. P., Frahm-Leliveld, J. A., Medina, D. M., Mendes, A. J., & Monaco, L. C. (1969). Coffee: *Coffea arabica* L. and *Coffea canephora* Pierre ex Froehner. In F. P. Ferwerda & F. Wit (Eds.), *Outlines of perennial crop breeding in the tropics* (pp. 189–241). Landbouwhogeschool Wageningen.
- Castillo, J. (1977). Producción, variabilidad y distribución de la cosecha en introducciones de café. *Revista Cenicafé*, 28(3), 82–107. <http://hdl.handle.net/10778/4311>
- Castillo, J. (1978). Características de grano de introducciones de café. *Revista Cenicafé*, 29(1), 3–17. <http://hdl.handle.net/10778/4310>
- Castillo, J. (1985). Información sobre el cultivo del café y su mejoramiento. Cenicafé.
- Castillo, J. (1990). Mejoramiento Genético del café en Colombia. En Federación Nacional de Cafeteros & Centro Nacional de Investigaciones de Café (Eds.), *50 años de Cenicafé 1938-1988, Conferencias conmemorativas* (pp. 46–53). Cenicafé. <http://hdl.handle.net/10778/713>
- Castillo Z., J. (1976). El mejoramiento del café. Manizales: Cenicafé.
- Castillo, J. (1975). Producción y características de grano de germoplasma de café introducido a Colombia. *Revista Cenicafé*, 26(1), 3–26. <http://hdl.handle.net/10778/4194>
- Castillo, J. (1965). Algunas características morfológicas de una selección resistente a la lлага macana. *Revista Cenicafé*, 16(1), 31–41. <http://hdl.handle.net/10778/4312>
- Castillo, J., Moreno, G., & López, S. (1976). Uso de la resistencia genética a *Hemileia vastatrix* Berk y Br. existente en germoplasma de café en Colombia. *Revista Cenicafé*, 27(1), 3–25. <http://hdl.handle.net/10778/994>
- Castillo, J., & Castro, B. L. (1999). *Resistencia a Ceratocystis fimbriata* Ell Halst. Hunt. en progenies F-3 del cruzamiento entre Café Borbón resistente a macana por Caturra. (p. 15). Cenicafé.
- Castillo, J., & Moreno, G. (1988). *La Variedad Colombia: Selección de un cultivar compuesto resistente a la roya del cafeto*. Cenicafé. <https://doi.org/10.38141/cenbook-0023>
- Castillo, J., & Parra, J. (1973). Exploración en el contenido de cafeína, grasas y sólidos solubles en 113 introducciones de café. *Revista Cenicafé*, 24(1), 3–29. <http://hdl.handle.net/10778/743>
- Castillo, J., & Quiceno, G. (1970). Comparación de líneas de *Coffea arabica* L. por su resistencia a *Ceratocystis fimbriata* (Ell. Halst.) Hunt. *Revista Cenicafé*, 21(3), 95–104.
- Castro, M. F. (1949). Resultados obtenidos en el análisis estadístico de los rendimientos de

- cafetos para la selección de los mejores árboles. *Revista Cenicafé*, 1(1), 20–22.
- Castro, B. L., Cortina, H. A., & Sánchez, P. M. (2010). Evaluación de injertos de café sobre patrones resistentes a *Ceratocystis fimbriata* Ell. Halts. Hunt. *Revista Cenicafé*, 61(1), 46–54. <http://hdl.handle.net/10778/45>
- Cenci, A., Combes, M.-C., & Lashermes, P. (2012). Genome evolution in diploid and tetraploid *Coffea* species as revealed by comparative analysis of orthologous genome segments. *Plant Molecular Biology*, 78(1–2), 135–145. <https://doi.org/10.1007/s11103-011-9852-3>
- Centro Nacional de Investigaciones de Café. (1985). *40 años de investigación en Cenicafé: Volumen 3 Mejoramiento del cafeto*. Cenicafé. <http://hdl.handle.net/10778/695>
- Charrier, A. (1976). La structure génétique des caféiers spontanés de la région malgache (*Mascarocoffea*) leurs relations avec les caféiers africains (*Eucoffea*). *Café Cacao Thé*, 20(4), 245–250.
- Charrier, A. (1978). Synthèse de neuf années d'observation et d'expérimentation sur les *Coffea arabica* collectés en Ethiopie par une mission ORSTOM. En A. Charrier (Ed.), *Etude de la structure et de la variabilité génétique des caféiers: Résultats des études et des expérimentations réalisées au Cameroun, en Cote d'Ivoire et à Madagascar sur l'espèce Coffea arabica L. collectée en Ethiopie par une mission ORSTOM en 1966-Bulletin IFCC 14* (pp. 4–10). IFCC.
- Charrier, A. (1980). La conservation des ressources génétiques du genre *Coffea*. *Café Cacao Thé*, 24(4), 249–256.
- Charrier, A., & Berthaud, J. (1985). Botanical Classification of Coffee. En M. N. Clifford & K. C. Willson (Eds.), *Coffee* (pp. 13–47). Springer US. https://doi.org/10.1007/978-1-4615-6657-1_2
- Charrier, A., & Eskes, A. (1997). Les caféiers. En A. Charrier, M. Jacquot, S. Hamon, & D. Nicolas (Eds.), *L'amélioration des plantes tropicales* (pp. 171–196). CIRAD ; ORSTOM.
- Charrier, A., & Eskes, A. B. (2004). Botany and Genetics of Coffee. En J. N. Wintgens (Ed.), *Coffee: Growing, Processing, Sustainable Production* (pp. 25–56). Wiley-VCH Verlag GmbH. <https://doi.org/10.1002/9783527619627.ch2>
- Chevalier, A. (1929). *Les caféiers du globe* (Vol. 5). Paul Lechevalier.
- Clarindo, W. R., Carvalho, C. R., Caixeta, E. T., & Koehler, A. D. (2013). Following the track of "Híbrido de Timor" origin by cytogenetic and flow cytometry approaches. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 60(8), 2253–2259. <https://doi.org/10.1007/s10722-013-9990-3>
- Cortina, H. A. (1991). *Proyecto conservación y evaluación de germoplasma* (Informe de Disciplina Mejoramiento Genético ##). Cenicafé.
- Cortina, H. A., Acuña-Zornosa, J. R., Moncada, M.P., Herrera, J. C., & Molina, D. M. (2013). Variedades de café: Desarrollo de variedades. En Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, *Manual del cafetero colombiano: Investigación y tecnología para la sostenibilidad de la caficultura* (Vol. 1, pp. 169–202). Cenicafé. https://doi.org/10.38141/cenbook-0022_09
- Cramer, J. S. (1957). *A review of literature of coffee research in Indonesia*. (F. Wellman, Ed.). IICA. <https://repositorio.iica.int/handle/11324/14860>
- Cubry, P. (2008). *Structuration de la diversité génétique et analyse des patrons de déséquilibre de liaison de l'espèce Coffea canephora Pierre ex. Froehner* [Tesis de Doctorado, l'université Montpellier III]. <http://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00365078>

- Davis, A. P., Govaerts, R., Bridson, D. M., & Stoffelen, P. (2006). An annotated taxonomic conspectus of the genus *Coffea* (Rubiaceae). *Botanical Journal of the Linnean Society*, 152(4), 465–512. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8339.2006.00584.x>
- Davis, A. P., Tosh, J., Ruch, N., & Fay, M. F. (2011). Growing coffee: *Psilanthus* (Rubiaceae) subsumed on the basis of molecular and morphological data; implications for the size, morphology, distribution and evolutionary history of *Coffea*. *Botanical Journal of the Linnean Society*, 167(4), 357–377. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8339.2011.01177.x>
- Davis, A. P., Wilkinson, T., Kebebew, Z., Baena, S., Woldemariam, T., & Moat, J. (2018). *Coffee atlas of Ethiopia*. Kew Publishing.
- Davis, A. P., Chadburn, H., Moat, J., O'Sullivan, R., Hargreaves, S., & Lughadha, E. (2019). High extinction risk for wild coffee species and implications for coffee sector sustainability. *Science Advances*, 5(1), eaav3473. <https://doi.org/10.1126/sciadv.aav3473>
- Davis, A. P., Mieulet, D., Moat, J., Sarmu, D., & Haggard, J. (2021). Arabica-like flavour in a heat-tolerant wild coffee species. *Nature Plants*, 7(4), 413–418. <https://doi.org/10.1038/s41477-021-00891-4>
- Engelmann, F., & Dulloo, E. (2007). Introduction. En F. Engelmann, M. E. Dulloo, C. Astorga, S. Dussert, & F. Anthony (Eds.), *Conserving coffee genetic resources: Complementary strategies for ex situ conservation of coffee (Coffea arabica L.) genetic resources a case study in Catie, Costa Rica* (pp. 1–11). Bioversity international.
- Eriksson, G., Namkoong, G., & Roberds, J. H. (1993). Dynamic gene conservation for uncertain futures. *Forest Ecology and Management*, 62(1–4), 15–37. [https://doi.org/10.1016/0378-1127\(93\)90039-P](https://doi.org/10.1016/0378-1127(93)90039-P)
- Esquinas, J. T. (1993). La diversidad genética como material básico para el desarrollo agrícola. En J. I. Cubero & M. T. Moreno (Eds.), *La agricultura del siglo XXI* (pp. 79–101). Ediciones Mundi-Prensa.
- Eskes, A. B. (1989). Resistance. En A. C. Kushalappa & A. B. Eskes (Eds.), *Coffee rust: Epidemiology, resistance, and management* (pp. 171–291). CRC Press.
- Eskes, A. B. (1989b). Identification, description and collection of coffee types in P.D.R. Yemen. Technical report (from IRCC/CIRAD to IBPGR) of the IBPGR/PDR Yemen Ministry of Agriculture/IRCC-CIRAD mission to Yemen PDR, 15 April–7 May 1989. IBPGR (now Bioversity International) + anexos. Internal report.
- Eskes, A. B. (1989). *Identification, description and collection of coffee types in P.D.R. Yemen. Technical report (from IRCC/CIRAD to IBPGR) of the IBPGR/PDR Yemen Ministry of Agriculture/IRCC-CIRAD mission to Yemen PDR, 15 April–7 May 1989* [Internal Report]. IBPGR.
- Fatobene, B. J., Andrade, V. T., Aloise, G. S., Silvarolla, M. B., Gonçalves, W., & Guerreiro Filho, O. (2017). Wild *Coffea arabica* resistant to *Meloidogyne paranaensis* and genetic parameters for resistance. *Euphytica*, 213(8), 196. <https://doi.org/10.1007/s10681-017-1986-1>
- Fazuoli, L. C., Carvalho, A., Costa, W. M. da, Nery, C., Laun, C. R. P., & Santiago, M. (1983). Avaliação de progênies e seleção no cafeeiro Icatu. *Bragantia*, 42(1), 179–189. <https://doi.org/10.1590/S0006-87051983000100016>
- Fazuoli, L. C., Carvalho, C. H., Filho, O., Pereira, A., Almeida, S. R., Matiello, J. B., Bartholo, G. F., Sera, T., Moura, W., Mendes, A. N. G., Fonseca, A. F. A., Ferrão, M. A. G., Ferrão, R. G., Nacif, A. de P., & Silvarolla, M. B. (2007). Cultivares de café arábica (*Coffea arabica* L.). En C. H. Carvalho, *Cultivares*

- de café (pp. 125–198). EMBRAPA. http://www.sapc.embrapa.br/arquivos/consorcio/publicacoes_tecnicas/Livro_Cultivares.pdf
- Federación Nacional de Cafeteros de Colombia. (2018). *SIC@ - Sistema de Información Cafetera de Colombia* [Plataforma]. <https://sica.cafedecolombia.com/sica/faces/index.jsp>
- Fernández, O. (1964). Patogenicidad del *Ceratocystis fimbriata* (Ell. Halst) Hunt. y posible resistencia en *Coffea arabica* var *Bourbon*. *Revista Cenicafé* 15(1), 3–17.
- Fernie, L. M. (1963). *The selection of arabica coffee at Lyamungu, 3. The "H" series*. (Research Report 1962, pp. 22–26). Coffee Research Station.
- Fernie, L. M. (1968). FAO coffee survey in Ethiopia. En F. G. Meyer, L. M. Fernie, R. L. Narasimhaswamy, L. C. Monaco, & D. J. Greathead (Eds.), *FAO Coffee Mission to Ethiopia 1964-1965* (pp. 6–31). FAO.
- Fernie, L. M. (1970). The improvement of arabica coffee in East Africa. En C. L. A. Leakey (Ed.), *Crop improvement in East Africa* (pp. 231–249). Commonwealth Agricultural Bureaux.
- Ferrão, M. A., Ferrão, R., Fonseca, A. F., Filho, A. C., & Volpi, P. S. (2019). Origin, geographical dispersion, taxonomy and genetic diversity of *Coffea canephora*. En R. Ferrão, A. F. Fonseca, M. A. Ferrão, & L. H. De Muner (Eds.), *Conilon Coffee: The Coffea Canephora produced in Brazil* (3a ed., pp. 85–109). Incaper. <http://biblioteca.incaper.es.gov.br/digital/handle/123456789/3540>
- Flórez, C. P., Maldonado, C. E., Cortina, H. A., Moncada, M. P., Montoya, E. C., Ibarra, L. N., Unigarro, C. A., Rendón-Sáenz, J., & Duque-Orrego, H. (2016). Cenicafé 1: Nueva variedad de porte bajo, altamente productiva, resistente a la roya y al CBD, con mayor calidad física del grano. *Avances Técnicos Cenicafé*, 469, 1–8. <http://hdl.handle.net/10778/4178>
- Gole, T. W., Denich, M., Teketay, D., & Vlek, P. L. G. (2002). Human impacts on the *Coffea arabica* gene pool in Ethiopia and the need for its in situ conservation. En J. Engels, V. Ramanatha Rao, A. H. D. Brown, & M. T. Jackson (Eds.), *Managing plant genetic diversity* (pp. 237–247). CABI Pub. <http://www.cabi.org/cabebooks/ebook/20023003557>
- Gomez, C., Dussert, S., Hamon, P., Hamon, S., de Kochko, A., & Poncet, V. (2009). Current genetic differentiation of *Coffea canephora* Pierre ex A. Froehn in the Guineo-Congolian African zone: Cumulative impact of ancient climatic changes and recent human activities. *BMC Evolutionary Biology*, 9(1), 167. <https://doi.org/10.1186/1471-2148-9-167>
- Gómez, J. H., Benavides, P., Maldonado, J. D., Jaramillo, J., Acevedo, F. E., & Gil, Z. N. (2023). Flower-visiting insects ensure coffee yield and quality. *Agriculture*, 13(7), 1392. <http://dx.doi.org/10.3390/agriculture13071392>
- Gonçalves, M., Rodrigues, M. L., Mexia, N., & Daehnhardt, E. (1977, November 28– December 3). Amelioration de la cafeiculture a Timor face a l' Hemileia vastatrix B. & Br. *Proceedings of 8th International Scientific Colloquium on Coffee*. Abidjan, Ivory Coast. <https://www.asic-cafe.org/conference/8th-international-scientific-colloquium-coffee>
- Guillaumet, J. L., & Halle, F. (1978). Échantillonnage du matériel *Coffea arabica* récolté en Éthiopie. En A. Charrier (Ed.), *Etude de la structure et de la variabilité génétique des caféiers: Résultats des études et des expérimentations réalisées au Cameroun, en Cote d'Ivoire et à Madagascar sur l'espèce Coffea arabica L. collectée en Ethiopie par une mission ORSTOM en 1966- Bulletin IFCC* 14 (pp. 13–18). IFCC.

- Haarer, A. E. (1958). *Modern coffee production* (3rd ed.). Leonard Hill.
- Hamon, P., Grover, C. E., Davis, A. P., Rakotomalala, J.-J., Raharimalala, N. E., Albert, V. A., Sreenath, H. L., Stoffelen, P., Mitchell, S. E., Couturon, E., Hamon, S., de Kochko, A., Crouzillat, D., Rigoreau, M., Sumirat, U., Akaffou, S., & Guyot, R. (2017). Genotyping-by-sequencing provides the first well-resolved phylogeny for coffee (*Coffea*) and insights into the evolution of caffeine content in its species. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, *109*, 351–361. <https://doi.org/10.1016/j.ympev.2017.02.009>
- Harlan, J. R. & De Wet, M. J. (1971). Toward a rational classification of cultivated plants. *Taxon*, *20*(4), 509–517. <https://doi.org/10.2307/1218252>
- Herrera, J. C., Cortina, H. A., Anthony, F., Prakash, N., Lashermes, P., Gaitán, A., Cristancho, M. A., Acuña, J. R., & Lima, D. R. (2006). Coffee *coffea* spp. En R. J. Singh (Ed.), *Genetic Resources, Chromosome Engineering, and Crop Improvement: Vegetable Crops* (1a ed., Vol. 3, pp. 589–640). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781420009569>
- Hong, T. D., & Ellis, R. H. (1995). Interspecific variation in seed storage behaviour within two genera - *Coffea* and *Citrus*. *Seed Science and Technology*, *23*(1), 165–181.
- Holderbaum, M. M., Ito, D. S., Santiago, D. C., Shigueoka, L. H., Fernandes, L. E. & Sera, G. H. (2020). Arabica coffee accessions originated from Ethiopia with resistance to nematode *Meloidogyne paranaensis*. *Australian Journal of Crop Science*, *14*(8), 1209–1213. <https://doi.org/10.21475/ajcs.20.14.08.p1763>
- Hurtado, I., & Herrera, J. C. (2013). Estudio de la diversidad morfológica y molecular del germoplasma de *Coffea liberica* Bull ex Hiern en Colombia. *Revista Cenicafé*, *64*(2), 31–47. <http://hdl.handle.net/10778/529>
- Indian Coffee Board. (1953). *The sixth annual report of the research department of the Indian Coffee Board (1952 – 53)* (Núm. 6; Bulletin Research Department, pp. 7–27).
- Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas. (1977). *Reunión sobre la Roya del Cafeto y el Mejoramiento de la Caficultura en los Países de la Zona Norte*. IICA. <https://repositorio.iica.int/handle/11324/10765>
- Jones, P. A. (1956). Notes on the varieties of *Coffea arabica* in Kenia. *Kenia Coffee*, *21*(251), 305–309.
- Kamau, A. P. K. (2015). *Characterization of coffee genotypes derived from crossing Rume Sudan and SL 28 coffee varieties against coffee berry disease (CBD) causal pathogen (Colletotrichum kahawae)* [Tesis de Maestría, Jomo Kenyatta University of Agriculture and Technology]. <http://hdl.handle.net/123456789/1723>
- Krug, C. A. (1958). The supply of better planting material: 1. Arabicas. *Coffee and Tea Industries and the Flavor Field*, *81*(11), 52–57.
- Krug, C. A., Mendes, J. E. T., Carvalho, A., & Mendes, A. J. T. (1950). Uma nova forma de *Coffea*. *Bragantia*, *10*(1), 11–25. <https://doi.org/10.1590/S0006-87051950000100002>
- Krug, C. A., & Carvalho, A. (1951). The Genetics of *Coffea*. *Advances in Genetics*, *4*(1), 127–158. [https://doi.org/10.1016/S0065-2660\(08\)60233-3](https://doi.org/10.1016/S0065-2660(08)60233-3)
- Krug, C. A., Mendes, J. E. T., & Carvalho, A. (1939). *Taxonomia de Coffea arabica L.: Descrição das variedades e formas encontradas no Estado de São Paulo: Boletim Técnico 62*. Instituto Agrônomo de Campinas.
- Kufa, T., Ayano, A., Yilma, A., Kumela, T., & Tefera, W. (2011). The contribution of coffee research for coffee seed development in Ethiopia. *E3 Journal of Agricultural Research and*

- Development*. 1(1), 9–16. <https://e3journals.org/abstracts.php?artID=42&jid=2>
- Labouisse, J. P., Bellachew, B., Kotecha, S., & Bertrand, B. (2008). Current status of coffee (*Coffea arabica* L.) genetic resources in Ethiopia: Implications for conservation. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 55(7), 1079–1093. <https://doi.org/10.1007/s10722-008-9361-7>
- Labouisse, J. P., & Adolphe, C. (2012). Preservation and management of the genetic resources of Arabica coffee (*Coffea arabica* L.): A challenge for Ethiopia. *Cahiers Agricultures*, 21(2–3), 98–105. <https://doi.org/10.1684/agr.2012.0554>
- Lashermes, P., Combes, M. C., Robert, J., Trouslot, P., D'Hont, A., Anthony, F., & Charrier, A. (1999). Molecular characterisation and origin of the *Coffea arabica* L. genome. *Molecular and General Genetics MGG*, 261(2), 259–266. <https://doi.org/10.1007/s004380050965>
- Lashermes, P., Trouslot, P., Anthony, F., Combes, M. C., & Charrier, A. (1996). Genetic diversity for RAPD markers between cultivated and wild accessions of *Coffea arabica*. *Euphytica*, 87(1), 59–64. <https://doi.org/10.1007/BF00022965>
- Lebrun, J. (1941). *Recherches morphologiques et systématiques sur les caféiers du Congo* (Núm.11; pp.1–186). Publications de L'institut National pour l'Étude Agronomique du Congo Belge.
- Leroy, J. F. (1982, October 11-14). L'origine kenyane du genre *Coffea* L. et la radiation des especes a Madagascar. *Proceedings of 10th International Scientific Colloquium on Coffee*. Salvador (Bahia), Brazil. <https://www.asic-cafe.org/conference/10th-international-scientific-colloquium-coffee>
- López-Gartner, G., Cortina, H., McCouch, S. R., & Moncada, M. P. (2009). Analysis of genetic structure in a sample of coffee (*Coffea arabica* L.) using fluorescent SSR markers. *Tree Genetics & Genomes*, 5(3), 435–446. <https://doi.org/10.1007/s11295-008-0197-2>
- Louarn, J. (1993, June 06-11). Structure génétique des caféiers africains diploïdes basée sur la fertilité des hybrides interspécifiques. *Proceedings of 15th International Scientific Colloquium on Coffee*. Montpellier, France. <https://www.asic-cafe.org/conference/15th-international-scientific-colloquium-coffee/structure-genetique-des-cafeiers>
- Machado, A. (1950). La selección individual o genealógica en el "*Coffea arabica* L." var. Typica o Nacional. *Revista Cenicafé*, 1(7), 27–32.
- Maurin, O., Davis, A. P., Chester, M., Mvungi, E. F., Jaufeerally-Fakim, Y., & Fay, M. F. (2007). Towards a Phylogeny for *Coffea* (Rubiaceae): Identifying Well-supported Lineages Based on Nuclear and Plastid DNA Sequences. *Annals of Botany*, 100(7), 1565–1583. <https://doi.org/10.1093/aob/mcm257>
- Mayne, W. W. (1932). Physiological Specialisation of *Hemileia vastatrix* B. and Br. *Nature*, 129(3257), 510–510. <https://doi.org/10.1038/129510a0>
- MerotL'anthoene, V., Tournebize, R., Darracq, O., Rattina, V., Lepelley, M., Bellanger, L., TranchantDubreuil, C., Coulée, M., Pégard, M., Metairon, S., Fournier, C., Stoffelen, P., Janssens, S. B., Kiwuka, C., Musoli, P., Sumirat, U., Legnaté, H., Kambale, J., Ferreira da Costa Neto, J., ... Poncet, V. (2019). Development and evaluation of a genomewide Coffee 8.5K SNP array and its application for highdensity genetic mapping and for investigating the origin of *Coffea arabica* L. *Plant Biotechnology Journal*, 17(7), 1418–1430. <https://doi.org/10.1111/pbi.13066>
- Meyer, F. G. (1965). Notes on wild coffee arabica from southwestern ethiopia, with some

- historical considerations. *Economic Botany*, 19(2), 136–151. <https://doi.org/10.1007/BF02862825>
- Meyer, F. G. (1966). Resumen sobre la expedición de FAO a Etiopía para estudios en café 1964-65. *Café*, 7(1), 11–14. <http://bco.catie.ac.cr:8087/portal-revistas/index.php/CAFE/issue/view/issue/192/214>
- Meyer, F. G. (1968). Further observations on the history and botany of the Arabica Coffee Plant, *Coffea arabica* L. in Ethiopia. En F. G. Meyer, L. M. Fernie, R. L. Narasimhaswamy, L. C. Monaco, & D. J. Greathead (Eds.), *FAO Coffee Mission to Ethiopia 1964-1965* (pp. 1–5). FAO.
- Meyer, F. G., Fernie, L. M., Narasimhaswamy, R. L., Monaco, L. C., & Greathead, D. J. (1968). *FAO Coffee Mission to Ethiopia 1964-1965*. FAO.
- Monaco, L. C. (1968). Considerations on the genetic variability of *Coffea Arabica* populations in Ethiopia. En F. G. Meyer, L. M. Fernie, R. L. Narasimhaswamy, L. C. Monaco, & D. J. Greathead (Eds.), *FAO Coffee Mission to Ethiopia 1964-1965* (pp. 49–69). FAO.
- Moncada, P. & MacCouch, S. (2004). Simple sequence repeat diversity in diploid and tetraploid *Coffea* species. *Genome*, 47(3), 501–509. <https://doi.org/10.1139/g03-129>
- Montagnon, C. & Bouharmont, P. (1996). Multivariate analysis of phenotypic diversity of *Coffea arabica*. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 43, 221–227. <https://doi.org/10.1007/BF00123274>
- Montagnon, C., Mahyoub, A., Solano, W., & Sheibani, F. (2021). Unveiling a unique genetic diversity of cultivated *Coffea arabica* L. in its main domestication center: Yemen. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 68(6), 2411–2422. <https://doi.org/10.1007/s10722-021-01139-y>
- Montagnon, C., Leroy, T., & Yapó, A. (1991, July 14–19). Étude complémentaire de la diversité génotypique et phénotypique des caféiers de l'espèce *Coffea canephora* en collection en Côte d'Ivoire. *Proceedings of 14th International Scientific Colloquium on Coffee*. San Francisco, Estados Unidos. <https://www.asic-cafe.org/conference/14th-international-scientific-colloquium-coffee>
- Montagnon, C., Leroy, T., & Eskes, A. B. (1998a). Amélioration variétale de *Coffea canephora* I. Critères et méthodes de selection. *Plantations, recherche, développement*, 5(1), 18–28.
- Montagnon, C., Leroy, T., & Eskes, A. B. (1998b). Amélioration variétale de *Coffea canephora* II. Les programmes de selection et leurs résultats. *Plantations, recherche, développement*. 5(2), 89–98.
- Montagnon, C., Cubry, P., & Leroy, T. (2012). Amélioration génétique du caféier *Coffea canephora* Pierre: connaissances acquises, stratégies et perspectives. *Cahiers Agricultures*, 21(2–3), 143–153. <https://doi.org/10.1684/agr.2012.0556>
- Molina, D. M., Ramírez, V. H. & Cortina, H. A. (2016). Comportamiento de accesiones de *Coffea arabica* sometidas a déficit de humedad del suelo. *Revista Cenicafé*, 67(1), 41–54. <http://hdl.handle.net/10778/677>
- Moreno, L. G. (1989). *Etude du polymorphisme de l'hybride de Timor en vue de l'amélioration du Caféier Arabica: Variabilité enzymatique et agromique dans les populations d'origine; résistance incomplète à Hemileia vastatrix dans les croisements avec Coffea arabica*. [Tesis de Doctorado, Ecole National Supérieure Agronomique de Montpellier]. https://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/pleins_textes_7/TDM_7/27312.pdf
- Moreno, G., Cortina, H. A., Alvarado, G., & Gaitán, A. L. (2000, agosto 29-30). Amélioration de la caféiculture a Timor face a l' Hemileia vastatrix B. & Br. *Taller de Mejoramiento Sostenible del café Árabe por los Recursos*

Genéticos, Asistido por Marcadores Moleculares, con Énfasis en la Resistencia a Nematodos. Turrialba, Costa Rica.

- Moreno, G. (2002) Nueva variedad de café de porte alto resistente a la roya del cafeto. *Revista Cenicafé*, 53(2), 132-143. <http://hdl.handle.net/10778/1021>
- Narasimhaswamy, R. L. (1960). Arabica selection S.795 -its origin and performance - a study. *Indian Coffee*, 24(5), 197-204.
- Narasimhaswamy, R. L. (1965). *Coffea arabica* L. Collections from Ethiopia. *Indian Coffee*, 29(5), 14 - 30.
- N'Diaye, A., Poncet, V., Louarn, J., Hamon, S., & Noirot, M. (2005). Genetic differentiation between *Coffea liberica* var. *Liberica* and *C. liberica* var. *Dewevrei* and comparison with *C. canephora*. *Plant Systematics and Evolution*, 253(1-4), 95-104. <https://doi.org/10.1007/s00606-005-0300-1>
- Noirot, M., Charrier, A., Stoffelen, P., & Anthony, F. (2016). Reproductive isolation, gene flow and speciation in the former *Coffea* subgenus: A review. *Trees*, 30(3), 597-608. <https://doi.org/10.1007/s00468-015-1335-8>
- Organización de las Naciones Unidas. (1992). *Convenio sobre diversidad biológica*. <https://www.cbd.int/doc/legal/cbd-es.pdf>
- Organización Internacional del Café. (2021). *Estadísticas del comercio*. https://www.ico.org/ES/trade_statistics.asp?section=Estad%EDstica
- Orozco-Castillo, C., Chalmers, K. J., Waugh, R., & Powell, W. (1994). Detection of genetic diversity and selective gene introgression in coffee using RAPD markers. *Theoretical and Applied Genetics*, 87(8), 934-940. <https://doi.org/10.1007/BF00225787>
- Orozco, F. J. (1976). Utilización del híbrido triploide de *Coffea arabica* por *C. canephora* en cruzamientos interespecíficos. *Revista Cenicafé*, 27(4), 143-157.
- Orozco, F. J. (1986). Descripción de especies y variedades de café. *Boletín Técnico Cenicafé*, 11, 1-29. <https://doi.org/10.38141/10781/043>
- Orozco, F. J., & Marín, H. (1972). Caracterización de selecciones de café etíope por medio de medidas biométricas. *Revista Cenicafé*, 23(2), 29-60.
- Raharimalala, N., Rombauts, S., McCarthy, A., Garavito, A., Orozco-Arias, S., Bellanger, L., Morales-Correa, A. Y., Froger, S., Michaux, S., Berry, V., Metairon, S., Fournier, C., Lepelley, M., Mueller, L., Couturon, E., Hamon, P., Rakotomalala, J.-J., Descombes, P., Guyot, R., & Cruzillat, D. (2021). The absence of the caffeine synthase gene is involved in the naturally decaffeinated status of *Coffea humblotiana*, a wild species from Comoro archipelago. *Scientific Reports*, 11(1), 8119. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-87419-0>
- Reynier, F., Pernes, J., & Chaume, R. (1978). Diversité observée sur issues de pollinisation libre au tonkouï. En A. Charrier (Ed.), *Etude de la structure et de la variabilité génétique des caféiers: Résultats des études et des expérimentations réalisées au Cameroun, en Côte d'Ivoire et à Madagascar sur l'espèce Coffea arabica L. collectée en Ethiopie par une mission ORSTOM en 1966- Bulletin IFCC* 14 (pp. 69-74). IFCC.
- Rodrigues, C. J., Bettencourt, A. J., & Rijo, L. (1976). Razas del patógeno y resistencia a la roya del cafeto. *Publicación Miscelánea N° 134*.
- Rodrigues, C. J., Bettencourt, A. J., & Rijo, L. (1975). Races of the Pathogen and Resistance to Coffee Rust. *Annual Review of Phytopathology*, 13(1), 49-70. <https://doi.org/10.1146/annurev.py.13.090175.000405>
- Rodrigues, C. J., Goncalves, M. M., & Várzea, M. P. (2004). Importância do Híbrido de Timor para o território e para o melhoramento da

- cafeicultura mundial. *Revista de Ciências Agrárias*, 27(2), 203–216.
- Rodrigues, C. J., & Eskes, A. B. (2004). Resistance to Coffee Leaf Rust and Coffee Berry Disease. En J. N. Wintgens (Ed.), *Coffee: Growing, Processing, Sustainable Production* (pp. 551–564). Wiley-VCH Verlag GmbH. <https://doi.org/10.1002/9783527619627.ch20>
- Romero, J. V., & Cortina, H. (2004). Fecundidad y ciclo de vida de *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae) en introducciones silvestres de café. *Revista Cenicafé*, 55(3), 221–231. <http://hdl.handle.net/10778/250>
- Romero, J. V., Bustamante, L. J., Cortina, H. A., & Moncada, M. P. (2012). Evaluación por resistencia a *Hypothenemus hampei* (Ferrari), en poblaciones derivadas de cruces entre Caturra e introducciones etiopes. *Revista Cenicafé*, 63(2), 31–49. <http://hdl.handle.net/10778/534>
- Silvarolla, M. B., Mazzafera, P., & Lima, M. A. (2000). Caffeine content of Ethiopian *Coffea arabica* beans. *Genetics and Molecular Biology*, 23(1), 213–215. <https://doi.org/10.1590/S1415-4757200000100036>
- Silvarolla, M. B., Mazzafera, P., & Fazuoli, L. C. (2004). A naturally decaffeinated arabica coffee. *Nature*, 429(6994), 826–826. <https://doi.org/10.1038/429826a>
- Silvestrini, M., Junqueira, M. G., Favarin, A. C., Guerreiro-Filho, O., Maluf, M. P., Silvarolla, M. B., & Colombo, C. A. (2007). Genetic diversity and structure of Ethiopian, Yemen and Brazilian *Coffea arabica* L. accessions using microsatellites markers. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 54(6), 1367–1379. <https://doi.org/10.1007/s10722-006-9122-4>
- Snoeck, J., & Petit, R. (1964). Étude comparative des productions de diverses lignées de *Coffea arabica*. *Bulletin d'Information de L'Institut National pour L'Étude Agronomique du Congo (INÉAC)*, 13(1–6), 145–171.
- Srinivasan, K. H., & Naransinhaswamy, R. L. (1975). A review of coffee breeding work done at the Government Coffee Experiment Station, Balehonnur. *Indian Coffee*, 39(10 – 11), 311–321.
- Stoffels, E. (1936). *La sélection du caféier Arabica a la station de Mulungú (premières communications)* (Núm. 11; Série Scientific). INEAC.
- Sylvain, P. G. (1955). Some observations on *Coffea arabica* L., in Ethiopia. *Turrialba*, 5(1), 37–53.
- Sylvain, P. G. (1958). Ethiopian coffee—Its significance to world coffee problems. *Economic Botany*, 12(2), 111–139. <https://doi.org/10.1007/BF02862767>
- Tanganika Coffee Board. (1959). *A handbook on arabica coffee in Tanganika*.
- Thomas, A. S. (1942). The wild Arabica coffee on the Boma plateau, Anglo-Egyptian Sudan. *Empire Journal of Experimental Agriculture*, 10(40), 207–212.
- Triana, J. V. (1955). Anotaciones sobre el café Bourbon en Colombia. *Revista Cenicafé*, 6(62), 58–67. <http://hdl.handle.net/10778/988>
- van der Graaff, N. A., & Pieters, R. (1978). Resistance levels in *Coffea arabica* to *Gibberella xylarioides* and distribution pattern of the disease. *Netherlands Journal of Plant Pathology*, 84(4), 117–120. <https://doi.org/10.1007/BF01976299>
- van der Vossen, H. A. (1985). Coffee Selection and Breeding. En M. N. Clifford & K. C. Willson (Eds.), *Coffee* (pp. 48–96). Springer US. https://doi.org/10.1007/978-1-4615-6657-1_3
- van der Vossen, H. A. M., & Walyaro, D. J. (2009). Additional evidence for oligogenic

- inheritance of durable host resistance to coffee berry disease (*Colletotrichum kahawae*) in arabica coffee (*Coffea arabica* L.). *Euphytica*, 165(1), 105–111. <https://doi.org/10.1007/s10681-008-9769-3>
- van der Vossen, H. A. M., & Walyaro, D. J. (1980). Breeding for resistance to coffee berry disease in *Coffea arabica* L. II. Inheritance of the resistance. *Euphytica*, 29(3), 777–791. <https://doi.org/10.1007/BF00023225>
- Vavilov N. I. & Dorofeev V. F. (1992). *Origin and geography of cultivated plants* (English). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1002/9780470380130.ch9>
- von Streng, H. (1956). Wild coffee in Kaffa province of Ethiopia. *Tropical Agriculture*, 33(4), 297–301.
- Watkins, R. (1985). *Coffee Coffea arabica L. genetic resources and breeding* (Consultant Report). Wye College, University of London.
- Wellman, F. L. (1952). Peligro de introducción de la Hemileia del café a las Américas. *Turrialba*, 2(2), 47 – 50.
- Wellman, F. L., & Cowgill, W. H. (1953). *Report of the 1952 coffee rust survey mission to Europe Africa Asia and Hawaii*. U.S. Department of Agriculture.
- Wellman, F. L. (1961). *Coffee: botany, cultivation, and utilization*. Leonard Hill.
- Yigletu, A. G. (2020). Evaluation of promising coffee wilt disease (*Gibberella xylarioides*) resistant arabica coffee (*Coffea arabica* L.) genotypes in Ethiopia. *International Journal of Plant Breeding and Crop Science*, 7(3), 885–893.
- Zuluaga, J., Valencia, G., & González, J. (1971). Contribución al estudio de la naturaleza de la resistencia del café a *Ceratocystis fimbriata* (Ell. Halst.) Hunt. *Revista Cenicafé*, 22(2), 43–68. <http://hdl.handle.net/10778/742>



www.cenicafe.org

ISBN: 978-958-8490-70-0



9 789588 490700