

Avances Técnicos

AGOSTO 2024

Cenicafé
Centro Nacional de Investigaciones de Café

566

Flórez - Ramos, C. P. | Cardona - Quiroga, J.

Arias - Suárez, J. C. | López - Monsalve, L. F.

Ramírez - Cardona, C. A. | Molina, D.

Gaitán - Bustamante, Á. L.

Castillo 2.0 Variedad Mejorada: Más Resistencia, Más Resiliencia



Federación Nacional de
Cafeteros de Colombia

La caficultura colombiana se caracteriza por mantener de manera continua un Programa de Mejoramiento Genético que desde 1967, por mandato del Congreso Cafetero, inició los trabajos para obtener una variedad con resistencia a *Hemileia vastatrix* B. & Br (roya del cafeto), la enfermedad más limitante para la producción en el mundo, presente en Brasil desde 1970, y en el país a partir de 1983, en un trabajo de investigación que permitió la liberación de la primera versión de la variedad Colombia en 1982 (Castillo & Moreno, 1988). Desde entonces, la base genética de las variedades ha sido la var. Caturra, genotipo de porte bajo derivado de la var. Borbón, con alta productividad y calidad de taza, con 65% de grano supremo (retenido por encima de malla 17/64) y fácil desprendimiento de los frutos maduros, que obliga a realizar frecuentes pases de recolección, pero susceptible a la roya. Como fuente de resistencia a esta enfermedad se utilizó el híbrido de Timor, de origen diverso, descubierto en la isla de Timor (Sureste Asiático), resultado del cruce natural entre plantas de *Coffea arabica* L. (var. Típica) y plantas de *Coffea canephora* P ex. A. F. (var. Robusta), genéticamente compatible con la especie *C. arabica* (tetraploide y autofértil), alta resistencia a la roya, así como a la enfermedad de las cerezas del cafeto (CBD), y con amplio grado de adaptación a condiciones climáticas diversas.

La importancia económica de variedades resistentes a la roya es evidente, en especial bajo la naturaleza de la oferta ambiental de Colombia, donde las frecuentes precipitaciones a lo largo del año, facilitan la dispersión de la roya, generando epidemias persistentes. Se ha calculado que el control químico en variedades susceptibles a esta enfermedad está por el orden de USD180 por hectárea año en promedio (Duque et al., 2021), que a nivel país puede significar entre USD150 y 200 millones por año, además del impacto ambiental por la aplicación de cerca de un millón de litros de fungicida, con su correspondiente residuo de envases plásticos. Es por esto que la búsqueda de control genético de la enfermedad mediante variedades resistentes sigue siendo una inversión rentable para la sostenibilidad económica y ambiental de la caficultura.

De otro lado, las condiciones cambiantes, tanto por el rompimiento de la resistencia genética por la

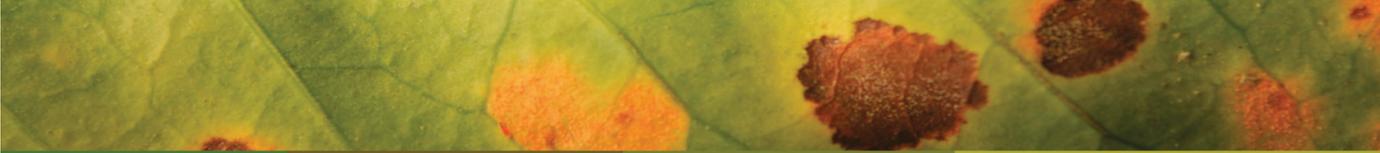
El mejoramiento de café por resistencia a un hongo como la roya se convierte en un desafío, debido a que desarrollar una variedad de café resistente puede tomar alrededor de 20 años de ciclos completos de evaluación y selección, mientras un hongo como la roya en un año completa varios ciclos y puede adaptarse a un nuevo genotipo rápidamente.

mutación del hongo causante de la roya, así como del clima y las demandas de los mercados, exigen que el desarrollo de variedades sea un proceso continuo, con la incorporación de nuevas fuentes de resistencia, mejorando los atributos físicos y organolépticos del grano, fortaleciendo la resiliencia a condiciones climáticas extremas e incrementando la productividad, factores clave para favorecer una caficultura de alta calidad y competitiva. De todos estos elementos, el más limitante es la pérdida de la resistencia ante la ocurrencia de nuevos patotipos de *H. vastatrix*. La dinámica genética de la roya entre los años 1989 y 2023 explica la existencia de más de 50 razas y variantes en todo el mundo (Talhinhas et al., 2017) de las cuales 20 han sido detectadas en Colombia en los últimos 24 años, siendo la raza II la más común, pero con nuevos mutantes apareciendo de manera recurrente, reduciendo la efectividad de la resistencia genética en la planta. Para contrarrestar esta amenaza, la estrategia de diversidad genética utilizada, mediante la conformación de variedades compuestas ha sido fundamental para obtener una resistencia durable en el campo.

En este proceso, la Federación de Cafeteros realiza monitoreos frecuentes en todo el país, tanto en fincas de productores como en Estaciones Experimentales de Cenicafé, para tomar decisiones acertadas en la remoción de progenies y la reconfiguración de variedades. De esta manera, variedades como Colombia y Castillo® han evolucionado a lo largo de los años (Moreno, 2000), y están presentes en la actualidad



Fuentes de resistencia a la roya



<i>Coffea liberica</i>	<i>Coffea canephora</i>	<i>Coffea arabica</i>	<i>Coffea congensis</i> <i>Coffea stenophylla</i> <i>Coffea eugenioides</i> <i>Coffea</i> spp.
SH3, SH?	SH6, SH7, SH8, SH9, SH10, SH?	SH1, SH2, SH4, SH?	
		Híbrido de Timor	
		SH6, SH7, SH8 SH9, SH10, SH?	SH?

Figura 1. Origen de las fuentes de resistencia a roya utilizadas para el desarrollo de variedades en el PMG de Cenicafé. SH: Genes de resistencia; SH?: Genes de resistencia desconocidos.

en más del 87% del área sembrada en Colombia. Es así como el Programa de Mejoramiento Genético ha ido incorporando atributos deseables a las variedades comerciales liberadas por Cenicafé, incluyendo nuevos mecanismos de resistencia a la roya y al CBD, evaluando de manera continua las progenies bajo diferentes condiciones climáticas, conformando un “banco de progenies mejoradas”, que combinan expresiones de resistencia completa e incompleta, caracterizada por progresos lentos de la infección y baja producción de estructuras de propagación (uredosporas), con rápida recuperación del follaje, manteniendo la producción, siempre y cuando se lleven a cabo las prácticas agronómicas recomendadas por la estrategia promovida por la FNC: Más Agronomía, Más Productividad, Más Calidad.

La generación de nuevas progenies combinada con un programa de producción de semilla, permite llevar el cambio técnico a los caficultores de Colombia de la mano del Servicio de Extensión, con la entrega anual de cerca de 100 toneladas de semilla seleccionada y certificada. En 2021, se decidió recomponer la variedad Castillo®, adicionando progenies mejoradas con nuevos genes de resistencia a la roya, provenientes de otros cafés arábigos y de la especie *C. canephora*, que no han sido expuestos a la roya de Colombia, fortaleciendo así la estrategia de diversidad genética, surgiendo de esta manera la variedad Castillo® 2.0.

Categorización de la resistencia genética

La resistencia genética de las plantas frente a una enfermedad puede ser clasificada de acuerdo con varios conceptos: (1) Número de genes relacionados con la resistencia [un gen de resistencia (monogénica) / varios genes de resistencia (poligénica)]; (2) La respuesta fenotípica de la planta (resistencia completa / incompleta); (3) la naturaleza de la resistencia frente al patógeno (específica a una determinada raza / no específica o de amplio espectro).

Origen

Castillo 2.0 está compuesta por 40 progenies avanzadas derivadas de nueve cruzamientos desarrollados desde finales de la década de 1960 hasta principios de los 80's (Figura 2, Tabla 1). Estos cruzamientos involucraron seis progenitores diferentes que apuntan a incrementar la resistencia

a la roya y a la enfermedad de las cerezas del café (CBD, por su sigla en inglés), productividad, adaptación y calidad sensorial de la bebida (Figura 3).

Posteriormente, se continuó con la evaluación de 4 a 5 ciclos para seleccionar las progenies con desempeño agronómico destacado, las cuales fueron llevadas



Figura 2. Línea del tiempo para el desarrollo de la variedad Castillo 2.0.

	Líneas componentes	Factor de rendimiento	Progenitores	Familias	Porte	Color brote	Color fruto	Producción	Resistencia a CBD	Roya del café
Variedad Castillo	35	87	3	17	Medio	70% Bronce		Alta	Resistente	Resistente
Variedad Castillo 2.0	40	87	6	28	Medio	30% Verde		Alta	Resistente	Resistente

✓ 13 líneas cuentan con nuevos mecanismos de resistencia a la roya

✓ Resistencia a un nuevo aislamiento de CBD

Tabla 1. Genealogía de las progenies componentes de Castillo 2.0.

Cruzamiento	# Familias F3	# Progenies	Generación
[Caturra Amarillo x (Caturra Amarillo x <i>C. canephora</i>)] x [Catuaí Amarillo x (Caturra Amarillo x Borbón Africano N.197)]	2	2	F6RC1
[(Caturra Amarillo x HdT1343 CV.2) x (Caturra Rojo x HdT1343 CV.2)] x [Catuaí Amarillo x (Caturra Amarillo x Borbón Africano N.197)]	1	1	F6
(Caturra Amarillo x <i>C. canephora</i> BP-358) x Caturra Rojo	4	5	F6RC1
[Caturra Amarillo x <i>C. canephora</i> (H4138-H4149)] x Caturra Rojo	1	1	F5RC1
[Caturra Amarillo x (Caturra Rojo x <i>C. canephora</i>)] x [Catuaí Amarillo x (Caturra Amarillo x Borbón Africano N.197)]	1	1	F6RC1
Caturra Rojo x [(Caturra Amarillo x <i>C. canephora</i> (H.4104-H.4124) x Caturra Rojo]	1	1	F6RC1
Caturra Rojo x HdT 1343 CV1-CV4	16	26	F5
Caturra Amarillo x HdT 1343 CV1-CV4	1	2	F5
Caturra Amarillo x HdT1343 CV2	1	1	F5

HdT: Híbrido de Timor



Figura 3. Principales características de los progenitores de la variedad Castillo 2.0.

a diferentes estaciones experimentales de Cenicafé para evaluar el nivel de adaptación a la geografía cafetera colombiana. Finalmente, en 2022 se dio inicio al establecimiento de lotes de multiplicación de semilla de Castillo 2.0, entregando la variedad a los caficultores de Colombia en 2024 (Figura 2).

Resistencia roya

En Colombia hasta la fecha, la única fuente de resistencia a la roya de las variedades comerciales provenía del Híbrido de Timor 1343 CV2. La variedad Castillo 2.0 incorpora por primera vez, progenies con resistencia de diversas fuentes de *C. canephora* y de otros arábigos (N.197). De esta forma, se incrementa la diversidad de mecanismos de resistencia y se prolonga la durabilidad en el campo.

Resistencia a la enfermedad de las cerezas del café (CBD)

Colletotrichum kahawae J. M. Waller & P. D. Bridge, es el hongo que causa el CBD. Esta enfermedad está restringida al continente africano, donde puede ocasionar pérdidas en la producción mayores al 80% si no se controla. Las variedades comerciales

desarrolladas por Cenicafé poseen diferentes grados de resistencia a siete aislamientos de CBD, en los cuales está representado no sólo la diversidad genética del hongo, sino también

los diferentes niveles de agresividad del mismo. Una ventaja de la variedad Castillo 2.0, es que se incorpora alta resistencia a un aislamiento proveniente de Angola (Ang 29), el cual está reportado como altamente agresivo (Figura 4) (Pires et al., 2016). De esta manera, se contribuye a mantener protegida la caficultura colombiana frente a la eventual llegada de esta enfermedad al país.

Características

Producción.

Bajo condiciones experimentales, la variedad Castillo 2.0 presenta una producción promedio comparable con la obtenida por las variedades comerciales Castillo® y Cenicafé 1, lo que equivale a una producción promedio de 1.100 @ ha⁻¹ de cps en un ciclo de cuatro años.

Porte del árbol.

La variedad Castillo 2.0 es de porte intermedio tipo Castillo® General, árboles compactos con brotes apicales predominantemente bronce (70%).

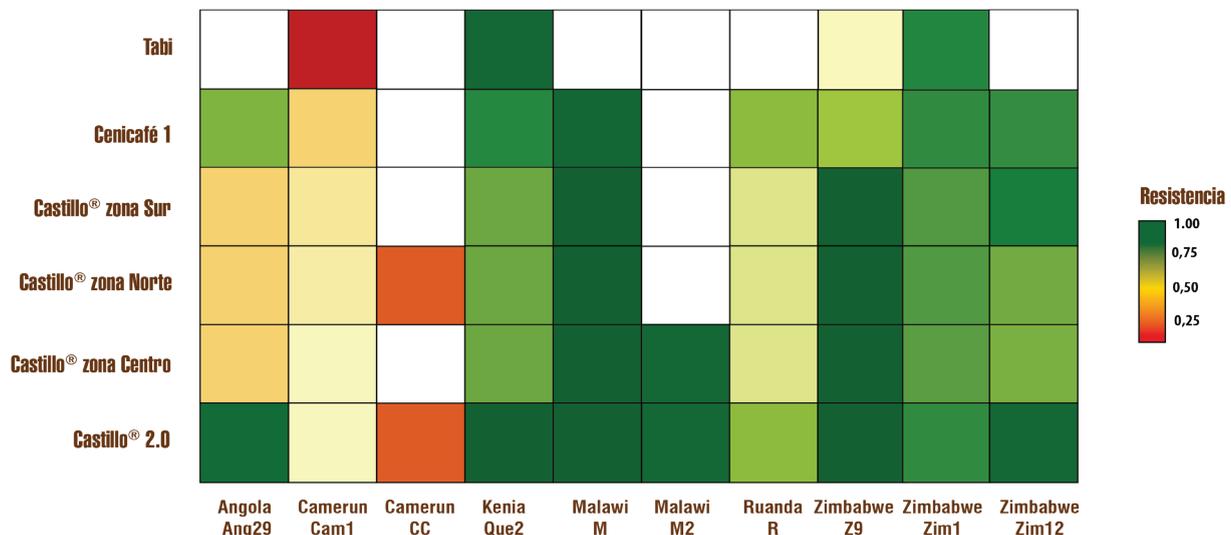


Figura 4. Clasificación de resistencia de las variedades comerciales de café desarrolladas por Cenicafé a diferentes aislamientos de *C. kahawae*: Alta, verde oscuro ($\geq 0,8$); Moderada: verde claro ($\geq 0,5 - < 0,8$); Baja: amarillo ($< 0,5 - \geq 0,2$); Muy Baja: naranja ($< 0,2 - > 0$); Susceptible: rojo ($= 0$); en blanco no se analizó.

Manejo agronómico.

Castillo 2.0 requiere un manejo agronómico adecuado en todas sus etapas, para asegurar una producción sostenible durante al menos 20 años. Las etapas iniciales de germinador y almácigo deben planificarse según las épocas de siembra recomendadas. La densidad de siembra recomendada oscila entre 7.000 - 9.000 plantas por hectárea en sistemas de libre exposición solar, y entre 5.000 - 7.000 en sistemas agroforestales. En terrenos con alta pendiente, la disposición de las plantas debe ayudar a conservar el suelo, mientras que en terrenos planos se usan arreglos espaciales en cuadro o rectángulo. La fertilización se recomienda con base en el análisis de suelos y para los manejos de arvenses y plagas deben seguir las estrategias de monitoreo y evaluación recomendadas por Cenicafé.

Calidad física del grano.

Castillo 2.0 conserva las características de grano apreciadas por los caficultores dada su relación directa con un mayor valor comercial del producto, presentando un promedio de café supremo del 77%, un factor de rendimiento menor a 88 y un porcentaje de defectos (caracol y vano) dentro de los rangos de aceptación comercial (<10%).

Calidad sensorial de la bebida.

En pruebas sensoriales, Castillo 2.0 obtuvo un puntaje de 84,5 en la escala SCA (Sigla en inglés, Asociación de Cafés Especiales), lo cual lo clasifica como muy bueno-especial. Los atributos sensoriales mostraron una fragancia/aroma muy pronunciada, acidez media-alta; cuerpo medio; destacándose notas a miel, caramelo, chocolate, nuez y malta.

La resistencia incompleta está influenciada por diferentes factores, relacionados no sólo con el estado fenológico del cultivo, sino también con el manejo agronómico del mismo (Figura 5). Cuando se presenta algún desequilibrio en la planta y se dan condiciones ambientales que favorezcan el desarrollo del hongo, la resistencia incompleta pierde competencia.



Figura 5. Factores que favorecen la resistencia a la roya en Castillo 2.0.

Conclusiones

En la variedad mejorada Castillo 2.0 se refuerza la estrategia de diversidad y se incrementa la durabilidad de la resistencia en el campo al incorporar fuentes contra la roya provenientes de *C. canephora* y otros arábigos por primera

vez en Colombia. Al mismo tiempo, se adiciona resistencia contra uno de los aislamientos más agresivos de *C. kahawae* reportados hasta la fecha. Adicionalmente, Castillo 2.0 posee alta producción, excelentes características físicas del grano, adaptación a las diferentes regiones cafeteras de Colombia y atributos sensoriales destacados.



Familias caficultoras

Castillo 2.0 es una variedad con más fuentes de resistencia a la roya y al CBD, con alta producción, excelentes atributos sensoriales que la clasifican como café muy bueno-especial según la SCA. Con esta variedad las familias caficultoras seguirán contando con **variedades Resistentes, Resilientes y Sostenibles.**

Literatura citada

- Castillo, J., & Moreno, G. (1988). La Variedad Colombia: Selección de un cultivar compuesto resistente a la roya del cafeto. Cenicafe. <https://doi.org/10.38141/cenbook-0023>
- Duque-Orrego, H., Salazar, H. M., Rojas-Sepúlveda, L. A., & Gaitán, Á. (2021). Análisis económico de tecnologías para la producción de café en Colombia. Cenicafe. <https://doi.org/10.38141/cenbook-0016>
- Kahn, L. H. (2019). Quantitative framework for coffee leaf rust (*hemileia vastatrix*), production and futures. *International Journal of Agricultural Extension*, 7(1), 77–87. <https://doi.org/10.33687/ijae.007.01.2744>
- Koutouleas, A., Collinge, D. B., & Boa, E. (2024). The coffee leaf rust pandemic: An ever present danger to coffee production. *Plant Pathology*, 73(3), 522–534. <https://doi.org/10.1111/ppa.13846>
- Keith, L. M., Sugiyama, L. S., Brill, E., Adams, B. L., Fukada, M., Hoffman, K. M., Ocenar, J., Kawabata, A., Kong, A. T., McKemy, J. M., Olmedo-Velarde, A., & Melzer, M. J. (2022). First Report of Coffee Leaf Rust Caused by *Hemileia vastatrix* on Coffee (*Coffea arabica*) in Hawaii. *Plant Disease*, 106(2), 761. <https://doi.org/10.1094/PDIS-05-21-1072-PDN>
- Moreno Ruiz, G., & Alvarado Alvarado, G. (2000). La Variedad Colombia; veinte años de adopción y comportamiento frente a nuevas razas de la roya del cafeto. Boletín Técnico Cenicafe, 22, 1–32. <https://doi.org/10.38141/10781/022>
- Talhinhas, P., Batista, D., Diniz, I., Vieira, A., Silva, D. N., Loureiro, A., Tavares, S., Pereira, A. P., Azinheira, H. G., Guerra-Guimarães, L., Várzea, V., & Silva, M. D. C. (2017). The coffee leaf rust pathogen *Hemileia vastatrix*: One and a half centuries around the tropics. *Molecular Plant Pathology*, 18(8), 1039–1051. <https://doi.org/10.1111/mpp.12512>
- Pires, A. S., Azinheira, H. G., Cabral, A., Tavares, S., Tavares, D., Castro, M., Várzea, V., Silva, M. C., Abranches, R., Loureiro, J., & Talhinhas, P. (2016). Cytogenomic characterization of *Colletotrichum kahawae*, the causal agent of coffee berry disease, reveals diversity in minichromosome profiles and genome size expansion. *Plant Pathology*, 65(6), 968–977. <https://doi.org/10.1111/ppa.12479>

Autores

Claudia Patricia Flórez Ramos 
Investigador Científico III
<https://orcid.org/0000-0003-2859-3496>

Julio Quiroga Cardona 
Investigador Científico I
<https://orcid.org/0000-0002-2418-2318>

Juan Carlos Arias 
Investigador Científico I
<https://orcid.org/0000-0002-5004-2423>

Luisa Fernanda López-Monsalve 
Asistente de Investigación
<https://orcid.org/0000-0002-9534-0053>

Carlos Augusto Ramírez Cardona 
Asistente de Investigación
<https://orcid.org/0000-0003-4119-2806>

Diana María Molina Vinasco 
Investigador Científico I
<https://orcid.org/0000-0001-6941-5405>

Álvaro León Gaitán Bustamante 
Director Cenicafe
<https://orcid.org/0000-0001-5093-0677>

Centro Nacional de Investigaciones de Café. Cenicafe
DOI (Digital Object Identifier)
<https://doi.org/10.38141/10779/0566>



Edición

Sandra Milena Marín López

Fotografías

Archivo Cenicafe

Diagramación

Carmenza Bacca Ramírez

Imprenta

Gerencia Técnica Fondo Nacional del Café

Cenicafe
Centro Nacional de Investigaciones de Café



ISSN-0120-0178
ISSN-2145-3691 (En línea)

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.

Manizales, Caldas, Colombia
Tel. (606) 8500707
www.cenicafe.org



Licencia Creative Commons CC de Atribución - sin derivar - no comercial por la que este material puede ser distribuido, copiado y exhibido por terceros solo si se muestra en los créditos. No se puede realizar obras derivadas y no se puede obtener ningún beneficio comercial.