

Mejoramiento genético de café (*Coffea arabica* L.) para el Sur de Manabí, Ecuador

Julio Gabriel-Ortega
Jimmy Gutiérrez Baque
Gema Burgos López
Heidi Flores Ramírez
Jessica Morán Mórán



Mejoramiento genético de café (*Coffea arabica* L.) para el Sur de Manabí, Ecuador

Julio Gabriel-Ortega
Jimmy Gutiérrez Baque
Gema Burgos López
Heidi Flores Ramírez
Jessica Morán Mórán

ISBN: 978-9942-53-146-9

Primera edición, 2026

© **Autor**

Julio Gabriel-Ortega

Doctor en Producción Agraria y Aplicaciones Biotecnológicas,
Máster en Genética, Ex docente Universidad Estatal del Sur de Manabí, Fundación para la Promoción e Investigación de Productos Andinos Cochabamba, Bolivia,
j.gabriel@proinpa.org,
<https://orcid.org/0000-0001-9776-9235>

Jimmy Gutiérrez Baque

Maestrante en Agropecuaria, Ingeniero Agropecuario,
Universidad Estatal del Sur de Manabí, Jipijapa, Ecuador,
gutierrez-jimmy1242@unesum.edu.ec,
<https://orcid.org/0009-0002-7336-0747>

Gema Burgos López

Magister en Agropecuaria, Ingeniera Agropecuaria,
Consultora Portoviejo, Ecuador,
burgosgema38@gmail.com,
<https://orcid.org/0000-0002-0025-3679>

Heidi Flores Ramírez

Maestrante en Educación mención en Docencia e Investigación
Superior, Universidad Estatal de Milagro, Ingeniera Agropecuaria,
Manta, Ecuador,
hfarenas419@hotmail.com,
<https://orcid.org/0000-0001-9969-8864>

Jessica Morán Morán

Magister en microbiología, Ingeniera Agropecuaria,
Docente Universidad Estatal del Sur de Manabí, Jipijapa, Ecuador,
jessica.moran@unesum.edu.ec,
<https://orcid.org/0000-0002-6487-1038>

© **Editorial Grupo Compás, 2026**

Guayaquil, Ecuador
www.grupocompas.com
<http://repositorio.grupocompas.com>

Primera edición, 2026

Código UNESCO: 5102.01 Agricultura

Esta obra ha sido sometida a un proceso de evaluación bajo el sistema de arbitraje doble ciego (double-blind peer review), garantizando el anonimato tanto de los autores como de los evaluadores externos. El dictamen favorable certifica que el contenido cumple con los más altos estándares de rigor científico, calidad editorial y originalidad exigidos por la comunidad académica internacional para su indexación y reconocimiento científico.

ISBN: 978-9942-53-146-9

Distribución online
Acceso abierto



Cita

Gabriel-Ortega, J., Gutiérrez, J., Burgos, G., Flores, H., Morán, J. (2026) Mejoramiento genético de café (*Coffea arabica* L.) para el Sur de Manabí, Ecuador. Editorial Grupo Compás

Este libro ha sido debidamente examinado y valorado en la modalidad doble par ciego con fin de garantizar la calidad de la publicación. El copyright estimula la creatividad, defiende la diversidad en el ámbito de las ideas y el conocimiento, promueve la libre expresión y favorece una cultura viva. Quedan rigurosamente prohibidas, bajo las sanciones en las leyes, la producción o almacenamiento total o parcial de la presente publicación, incluyendo el diseño de la portada, así como la transmisión de la misma por cualquiera de sus medios, tanto si es electrónico, como químico, mecánico, óptico, de grabación o bien de fotocopia, sin la autorización de los titulares del copyright.

Prologo

El propósito fundamental de este libro es proporcionar una información básica, aplicada y actualizada sobre la mejora genética convencional y moderna del café, un cultivo que es cultivado en muchos países del mundo.

Acerca de este libro

Se escribió esta obra teniendo en mente a estudiantes con nivel universitario en Agropecuaria, Agronomía, Biología, Forestal, Ambiental; asimismo, a consumidores, agricultores, industriales, etc., que gustan de esta bebida especial, la misma habla acerca de los avances de la mejora genética del cultivo de café en los últimos 10 años en el Ecuador, particularmente de Jipijapa en la zona Sur de Manabí. Por lo que este libro es una sistematización del proyecto "Mejoramiento Genético del Café en sus tres fases, la cual fue auspiciada y financiada por el Programa de Posgrado de Maestría en Agropecuaria y de la carrera Agropecuaria de la Universidad Estatal del Sur de Manabí". Al escribirlo se hizo un esfuerzo en proporcionar toda la información teórica y práctica lograda y actualizada, de experiencias del proceso y de literatura actualizada disponible, para explicar los conceptos y el uso de las herramientas para el mejoramiento genético de este cultivo.

Organización flexible del material

Este libro de consulta fue dividido en cinco capítulos. Estas unidades temáticas cubren aspectos sobre los principios el cultivo de café, las herramientas básicas que se utilizan para emprender un programa de mejora genética, sus logros, dificultades y perspectivas. Se brinda información de los métodos clásicos y modernos más utilizados en la mejora genética del café. Consideró que, si bien esta obra no cubre todas las temáticas del cultivo, es una información básica y valiosa de experiencias vividas al desarrollar nuevos cultivares de café para la zona Sur de Manabí.

Cobertura de los temas

Dada la cantidad de información disponible para un texto puesto al día sobre el cultivo de café, un reto clave fue mantener un nivel adecuado para que los estudiantes universitarios que quieren conocer de la genética de este cultivo, inicien estudios en los campos del saber sobre la genética y el mejoramiento. Se trató de resolver esta limitación estableciendo cómo meta ineludible el no abrumar a los estudiantes con detalles o material complicado que puede ser objeto de otros libros o artículos

disponibles. De este modo, se discuten algunos temas más brevemente que en otros textos, pero en todos los casos se proporciona al menos una noción básica.

Agradeceremos cumplidamente todos los comentarios y sugerencias provenientes de los lectores.

Índice

Contenido

Capítulo I. Situación actual del café	1
Capítulo II. Principales factores que afectan a la caficultura	10
Capítulo III. Caracterización del banco de germoplasma de café	16
Capítulo IV. Mejoramiento genético	31
Capítulo V. Consideraciones finales	73
Referencias	79

Índice de tablas

Tabla 1.1. Producción total por todos los países exportadores en miles de sacos de 60 kg.....	3
Tabla 1.2. Exportaciones de café en Ecuador entre 2010-2017 en miles de sacos de 60 kg.....	6
Tabla 3.1. Accesiones del banco de germoplasma de café arábigo de la UNESUM...	18
Tabla 3.2. Análisis de medias para caracteres morfo-agronómicos.....	20
Tabla 3.3. Altura de los fragmentos de pares de bases de cada marcador microsatélite o SSR en cada accesión de café evaluado.....	22
Tabla 3.4. Análisis de Chi cuadrada para los fragmentos (bp) de QTA-genotyping determinados.....	23
Tabla 3.5. Comparación de medias del Área Bajo la Curva de Progreso relativa de roya (<i>Hemileia vastatrix</i>), mancha de hierro (<i>Cercospora coffeicola</i>) y severidad al ojo de gallo del cafeto (<i>Mycena citricolor</i>).....	25
Tabla 3.6. Análisis de varianza del ABCPLr.....	26
Tabla 3.7. Análisis de medias para el ABCPLr de cada cultivar.....	27
Tabla 3.8. Comportamiento del coeficiente de regresión para el mejor ajuste de la curva de desarrollo de la lesión en el tiempo.....	28
Tabla 3.9. Incidencia, severidad y resistencia a la broca del café en 20 accesiones del banco de germoplasma de la UNESUM.....	29
Tabla 4.1. Progenitores y progenies utilizadas en la investigación.....	35
Tabla 4.2. Número de polinizaciones, el número de semillas obtenidas, almacigadas y plantas obtenidas para campo.....	39
Tabla 4.3. Análisis de varianza para caracteres agro-morfológicos.....	40
Tabla 4.4. Análisis de medias para caracteres morfo-agronómicos de los genotipos evaluados.....	41
Tabla 4.5. ACG de siete progenitores de café para las variables agro-morfológicas....	42
Tabla 4.6. Heterosis y vigor híbrido (heterobeltiosis) de cuatro cruza de café para ADP.....	43
Tabla 4.7. Heredabilidad de la ADP en nueve progenies de café.....	43
Tabla 4.8. Progenitores y progenies utilizadas en la investigación.....	44
Tabla 4.9. Análisis de medias para caracteres agro-morfológicos de genotipos evaluados.....	47
Tabla 4.10. Análisis de Kruskal y Wallis para número de frutos y porcentaje de incidencia de roya.....	50
Tabla 4.11. Análisis de la interacción genotipo x ambiente de la variable grosor de tallo.....	52
Tabla 4.12. Interacción Genotipo x Ambiente del ancho de tallo (ADT).....	52
Tabla 4.13. Análisis de varianza del ABCPLr.....	57
Tabla 4.14. Análisis de medias para el ABCPLr de cada genotipo.....	60

Tabla 4.15. Coeficiente de regresión (R^2) para el mejor ajuste de la curva de desarrollo del TL en el tiempo.....	60
Tabla 4.16. Marcadores microsatélites (SSR) codominantes utilizados para el QTA-genotyping de padres y progenies del programa de mejoramiento de café.....	61
Tabla 4.17. Caracterización molecular de 55 genotipos de café con 22 marcadores moleculares microsatélite (SSR).....	65
Tabla 4.18. Genotipos seleccionados y nominación de sus nombres.....	66

Mejoramiento genético de café (*Coffea arabica* L.) para el Sur de Manabí, Ecuador

Capítulo I.

Situación actual del café

Resumen

En este capítulo se hace una descripción actualizada de la situación del café a nivel mundial, regional, en el Ecuador y a nivel de la zona Sur del Manabí. Se enfatiza en la producción cafetalera histórica y actual, de los diferentes países exportadores de café, de la realidad de la comercialización a nivel de Latinoamérica y en el Ecuador, y de la realidad de las zonas productoras en la zona de Sur Manabí y en Jipijapa.

Palabras clave: café arábico, superficies cultivadas, exportación de café, producción de café, demanda de café.

Abstract

This chapter provides an updated overview of the global, regional, Ecuadorian, and southern Manabí coffee situation. It emphasizes historical and current coffee production in various coffee-exporting countries, the current state of coffee marketing in Latin America and Ecuador, and the situation in coffee-producing areas in southern Manabí and Jipijapa.

Keywords: Arabica coffee, cultivated areas, coffee exports, coffee production, coffee demand.

Producción de café a nivel mundial

El café tiene un valor económico y social importante y está presente en las costumbres de muchos pueblos que diariamente lo consumen. La vida diaria de millones de personas se basa y depende del proceso de conversión del grano, a través de la producción, industrialización, y comercialización (Vera-Velásquez *et al.*, 2024). En las últimas décadas el sector mundial del café creció considerablemente por el aumento del 65% en la demanda, con la crecida del consumo en economías emergentes y en países productores de café, además fue fuente de ingresos para más de 12 millones de fincas de todo el mundo, donde una cuarta parte están manejadas por mujeres empleado directamente en países productores a más de 25 millones de familias (Valverde *et al.*, 2023a, b).

El café después del petróleo es el artículo comercial natural que mueve las mayores cifras de dinero en el mercado mundial (Organización Internacional del Café (OIC), 2023) (Tabla 1.1).

Tabla 1.1.

Producción total por todos los países exportadores en miles de sacos de 60 kg.

País	2018/19	2019/20	2020/21	2021/22	2022/23
Brazil	66500	60500	69900	58100	62600
Vietnam	30400	31300	29000	31580	29750
Colombia	13870	14100	13400	11800	11300
Indonesia	10600	10700	10700	10580	11850
Etiopia	7350	7475	7600	8150	8270
Uganda	4650	5475	6630	6050	6565
India	5325	4967	5567	5920	6250
Honduras	7100	5200	6500	4800	5400
Perú	4390	3925	3369	4200	3625
México	3550	3700	3530	3840	4089

Fuente: Vera-Velásquez *et al.* (2024).

El café se cultiva y procesa en más de 70 países. Siendo Brasil, Vietnam, Colombia, Indonesia y Etiopia los que representan más del 70% de la producción mundial. Las exportaciones de café verde representan el 84% del total.

En las últimas décadas el sector mundial del café creció considerablemente por el aumento del 65% en la demanda, con la crecida del consumo en economías emergentes y en países productores de café, además fue fuente de ingresos para más de 12 millones de fincas de todo el mundo, donde una cuarta parte están manejadas por

mujeres empleado directamente en países productores a más de 25 millones de familias (Valverde *et al.*, 2023a, b).

El café en Latinoamérica

El café en Latinoamérica, es un producto básico que contribuye a las relaciones sociales y la relajación de las personas. Sus niveles de popularidad contribuyen a ser uno de los productos más importantes en el mundo (Vera-Velásquez *et al.*, 2024). Los estudios sobre el café se desarrollan en diferentes especialidades profesionales como: agrícolas, genética, cultural, social, económico y turístico. Una taza de café (frio, caliente y en diversas acepciones) es el producto final que se obtiene luego de un grupo de actividades como son: siembra, actividades culturales, cosecha, poscosecha, clasificación, procesamiento, almacenamiento, transporte, etc. (Enríquez *et al.*, 2020).

El cultivo del café es uno de los más reconocidos a nivel mundial y tienen un alto impacto económico sobre todo en los países en desarrollo (Villalta y Gatica, 2019).

La importancia del café se manifiesta en el ámbito económico (fuente de ingresos y aporte de divisas para el Estado), social (generación de empleo, intervención multiétnica en el proceso) y ecológico (adaptabilidad a distintos agro ecosistemas, preservación de flora y fauna); estas ventajas son generalizables para cualquier país productor de café (Plúa Castro, 2014).

El café, en un consumo moderado, contribuye en la reducción del riesgo de enfermedades como: diabetes mellitus tipo 2, parkinson, cáncer de colon, cirrosis, cálculos biliares, depresión, la tolerancia a la glucosa y la sensibilidad a la insulina, el daño hepático debido a cirrosis y el carcinoma hepatocelular, entre otras tantas (Gómez Chavarín y Morales Gómez, 2020).

El café en el Ecuador

La producción de café es un motor para la economía ecuatoriana porque aporta divisas al Estado, genera ingresos para las familias que lo cultivan y beneficia a todos los participantes de la cadena productiva (comerciantes, transportistas, exportadores, microempresarios, obreros de las industrias cafeteras). Además, si se involucra a las asociaciones de cafetaleros como un importante segmento formaran un amplio tejido social para futuras inversiones (Vera-Velásquez *et al.*, 2024).

El informe de “Rendimientos de café grano seco en el Ecuador 2017” refleja el nivel de productividad de las especies de café Arábigo y Robusta a nivel nacional en el año 2017. Los principales resultados obtenidos indican que durante el periodo de análisis, la especie de café *Coffea arabica* representó el 65% de la producción nacional de café, con un rendimiento de 0,23 t/ha. El café *Coffea canephora* (Robusta) constituyó el 35% del total producido a nivel nacional, con una productividad de 0,49 t/ha (PRO ECUADOR, 2017). Los factores que permitieron a los productores de café arábigo obtener sus resultados son el uso de los cultivares: Caturra (25%), Catucai (19%) y Sarchimor (18%) y la obtención de características productivas adecuadas en la planta de café, como son: 1,32 ejes y 20,5 ramas productivas (Monteros, 2017).

Sin embargo, desde el año de 1990 al 2012 el número de hectáreas de café en el Ecuador disminuyó en un 62,35%, con un decremento medio anual del 3,51%. Esto se debe principalmente a la falta de recursos financieros para la tecnificación, la limitada asistencia técnica, y los bajos precios del café, que fueron fulminantes para los caficultores entre 1999 al 2004 (Vera-Velásquez *et al.*, 2024).

La mayor producción de café en Ecuador proviene de pequeños productores, ya que el 80% de las fincas cafetaleras tiene menos de 5 hectáreas, el 13% posee entre 5 y 10 hectáreas y el 7% posee más de 10 hectáreas (Recalde Monge, 2015), pasando de 80% a 33,48% las fincas cafetaleras con menos de 5 ha y de 13 % a 15,45% las de entre 5 y 10 ha para el 2018.

El cultivo de café está distribuido en 23 de las 24 provincias del país, por lo tanto está relacionado con un amplio tejido social (Ponce-Vaca *et al.*, 2018). *C. arábica* recibe el nombre de café arábigo y es considerado el de mejor calidad, su producción se concentra en las provincias de Manabí (Jipijapa) (Venegas Sánchez, *et al.*, 2018), seguido por Orellana (1683 t), Sucumbios (1527 t) y Loja (1245 t) donde se cultiva *C. canephora* (Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG, 2022).

La evolución histórica de la producción nacional de café arábigo y robusta, el consumo nacional y la producción exportable de Ecuador en millones de sacos de 60 kg (OIC, 2023). La OIC (2023) establece que la producción, consumo y producción exportable han tenido una tendencia a la baja desde el año 1990. También al menos un 10% de la producción de café ecuatoriano se destina para el consumo interno con una ligera disminución.

Con respecto al comercio exterior, las exportaciones del café han dado ingresos considerables para la economía del país, pero las malas políticas de fomento y los bajos precios influyeron en la disminución paulatina de producción, estancándose en una tasa de crecimiento medio anual del 1,06% entre el año 1992 al 2014. Según datos estadísticos de la Asociación Nacional de Exportadores de café del Ecuador (ANECAFE, 2018), certificados por el MAG y la OIC en el año de 1992 se exportaron 1,45 millones de sacos mientras que para el año del 2017 se exportó 695 144 sacos con un decrecimiento de 22,22% en relación al año 2016 (Tabla 1.2).

Tabla 1.2.

Exportaciones de café en Ecuador entre 2010-2017 en miles de sacos de 60 kg.

AÑO	Arábico		Robusta		Industrializado	
	Sacos	Dólares	Sacos	Dólares	Sacos	Dólares
2010	184 398	3 985 2131	210 903	20 900 801	806 048	111 983 813
2011	199 438	61029323	407 789	57 464 643	939 112	15 142 7867
2012	114 181	24 901 242	359 312	50 558 418	1 097 452	198 440 132
2013	78 587	12 466 720	122 656	15 844 505	1 060 447	189 759 310
2014	63 592	13 307 345	87 468	10 778 071	980 579	154 412 078
2015	58 974	13 455 901	46 728	4 890 176	764 268	126 953 936
2016	64 122	14 823 566	20 247	2 081 223	836 804	129 142 743
2017	52 944	12 448 040	26 932	3 028 878	615 269	101 212 026

Fuente: Vera-Velásquez *et al.* (2024)

El café en la provincia de Manabí

La provincia de Manabí ocupa el primer lugar a nivel nacional en la producción de café, concentrado principalmente en los cantones Paján, Jipijapa, 24 de Mayo y Santa Ana. Sin embargo, los agricultores no contaban con el suficiente apoyo del Gobierno Central, sumado a los problemas suscitados por los fenómenos naturales, el incremento en los precios de los insumos agrícolas, el incremento de la oferta abaratando los precios, fueron factores que con el transcurrir de los años, los agricultores fueron abandonando sus tierras y emigrando a las ciudades en con el objetivo de mejorar la calidad de vida (Ponce-Vaca *et al.*, 2018, Ayón *et al.*, 2023).

La caficultura de la provincia de Manabí prevalece el sistema de manejo tradicional del cultivo (Valverde *et al.*, 2023a, b). El 85% de los cafetales se maneja deficientemente, obteniendo rendimientos muy bajos (5,18 quintales de café oro por hectárea). El otro 15% de la superficie cafetalera se maneja de manera semitecnificada,

que permite rendimientos promedios estimados en 16 quintales de café oro por hectárea (Valverde *et al.*, 2023a, b).

El café en Jipijapa

El café arábico está concentrado especialmente en la localidad de Jipijapa, siendo la de mejor calidad en el país, pero se considera que no se han alcanzado los niveles de desarrollo que muchos esperan de una actividad económica tan importante (Medina Micolta y Luna Merchán, 2013).

El cantón Jipijapa cuenta con un 38,6 % del área sembrada con café (Santistevan Méndez *et al.*, 2014). De acuerdo con el Censo Agropecuario Nacional y al uso del suelo, en Jipijapa existen 8 491 UPA y una superficie agropecuaria de 90 129 hectáreas. En la zona alta, de acuerdo con los datos estadísticos del MAG (2022) el cultivo predominante es el café, cultivado en grandes extensiones como monocultivo (13 297,54 ha del total de 49 116,76 ha). La zona de montaña o lluviosa (alta y media) representa el 27,07% de la superficie agrícola, con una producción de 2600 TM y un rendimiento de 0,20 TM/ha. En la zona baja o seca del cantón predomina el cultivo de maíz (MAG, 2022).

Referencias

- ANECAFE. (2018). Café [Coffee]. <https://n9.cl/iqa4p>
- Ayón, F., Holguín, G., Valverde, A. García, J., & Gabriel, J. Efecto de la fertilización en el crecimiento y el control de enfermedades en el híbrido de café Sarchimoro 4260 (*Coffea arabica* L.). *J. Selva Andina Biosph*, 11(1):22-32. <https://doi.org/10.36610/j.jsab.2023.110100019>
- Enríquez, J. P., Retes-Cálix, R. F., & Vásquez-Reyes, E. F. (2020). Importancia, genética y evolución del café en Honduras y el mundo. *Innovar*, 9(3), 149-155. <https://doi.org/10.5377/innovare.v9i3.10649>
- Gómez Chavarín, M., & Morales Gómez, M. d. R. (2020). Síndrome metabólico y enfermedad de Parkinson [Metabolic syndrome and Parkinson's disease]. *Archivos de Neurociencias*, 25(2), 34-44. <https://n9.cl/cs0e8y>
- MAG (2022). Boletín situational del café [Coffee situational bulletin]. <https://n9.cl/np3mu>
- Medina Micolta, M., & Luna Merchán, R. (2013). Análisis de la cadena del café y estrategia de mejoras para el sector caficultor en la Provincia de Manabí Cantón

Jipijapa Parroquia Pedro Pablo Gómez. [Universidad Politécnica Salesiana Sede Guayaquil, Guayaquil]. <https://n9.cl/r7qo1>

Monteros, A. (2017). Rendimientos de café grano seco en el Ecuador 2017. Quito-Ecuador: Dirección de Análisis y Procesamiento de la Información. Coordinación General del Sistema de Información Nacional. Ministerio de Agricultura y Ganadería.

OIC. (2023). Informe del mercado del café septiembre 2023 [Coffee Market Report. September 2023]. <https://n9.cl/z74qi1>

Plúa Castro, M. M. (2014). Reactivación de la caficultura en los Recintos San Jose, San Pedro y San Pablo de la comuna Sucre-Provincia de Manabí. Tesis de grado, Universidad de Guayaquil, Guayaquil, Ecuador]. <https://n9.cl/yd0ho>

Ponce Vaca, L.A., Orellana Suarez, K.D., Acuña Velásquez, I.R., Alfonso Alemán, J.L., & Fuentes Figueroa, T. (2018). Situación de la caficultura ecuatoriana: perspectivas. *Estudios del Desarrollo Social*, 6(1), 307-325. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=10217183>

PROECUADOR (2017). Nuevo récord en café busca “Taza Dorada 2017”. Quito, Ecuador: PROECUADOR. <http://www.proecuador.gob.ec/nuevo-record-en-cafe-busca-taza-dorada-2017/>

Recalde Monge, D. J. (2015). Denominaciones de origen en productos primarios: caso café. [Tesis Universidad Andina Simón Bolívar, Sede Ecuador]. <https://n9.cl/68nk9>

Santistevan Méndez, M., Julca Otiniano, A., Borjas Ventura, R., & Tuesta Hidalgo, O. (2014). Caracterización de fincas cafetaleras en la localidad de Jipijapa (Manabí, Ecuador). *Ecología Aplicada*, 13(2), 187-192. <https://n9.cl/y2j7h>

Valverde, A., Ayón, F., García, M., Vera, R., Castro, C. Indacochea, B., Parrales, J., & Valverde, D. (2023a). Estrategias para el manejo sostenible del suelo y la producción cafetalera manabita UNESUM 2022. Tomo 1. Mawil, Quito, Ecuador. <https://mawil.us/repositorio/index.php/academico/catalog/book/56>

Valverde, A., Ayón, F., García, M., Vera, R., Castro, C. Indacochea, B., Parrales, J., & Valverde, D. (2023b). Estrategias para el manejo sostenible del suelo y la producción cafetalera manabita UNESUM 2022. Tomo 2. Mawil, Quito, Ecuador. <https://mawil.us/repositorio/index.php/academico/catalog/view/57/112/153>

- Venegas Sánchez, S., Orellana Bueno, D., & Pérez Jara, P. (2018). La realidad ecuatoriana en la producción de café. *Recimundo*, 2(2),72-91. [https://doi.org/10.26820/recimundo/2.\(2\).2018.24-44](https://doi.org/10.26820/recimundo/2.(2).2018.24-44)
- Vera-Velásquez, F.B., Martin-Fernández, R.A., & Esquivel-García, R. (2024). Diagnóstico de la producción cafetalera en el cantón Jipijapa, provincia de Manabí, Ecuador. *Koinonía*, 9(17), 18-38. 2024.<https://doi.org/10.35381/r.k.v8i17.3146>
- Villalta, J., & Gatica, A. (2019). Una mirada en el tiempo: mejoramiento genético de café mediante la aplicación de la biotecnología. *Agronomía Mesoamericana*, 30(2), 577-599. <https://doi.org/10.15517/am.v30i2.34173>

Mejoramiento genético de café (*Coffea arabica* L.) para el Sur de Manabí, Ecuador

Capítulo II.

Principales factores que afectan a la
caficultura

Resumen

En este capítulo del libro, se trata de identificar los principales factores que afectan la producción de café en el Ecuador, identificándose como causas principales, el aumento de las importaciones de café, las políticas comerciales desfavorables, y el descuido del sector por parte del Estado. A pesar del incremento de las exportaciones de café dada la promoción que en la actualidad se realiza, el Ecuador no es competitivo en el sector cafetero de acuerdo con el análisis del Índice de Competitividad Exportadora, el Índice de Dependencia Importadora y el Índice de Ventaja Comparativa Revelada. Se plantean que, a pesar de la baja competitividad del sector cafetero ecuatoriano, si se incentiva y apoya la producción de café el Ecuador tiene mucho potencial. Otras problemáticas identificadas son los cafetales viejos, con edades que van desde los 15 a los 80 años, lo que ocasiona que sean improductivos por lo que hay una necesidad de remover las plantaciones con semillas de nuevos cultivares mejorados y tecnología apropiada para su manejo.

Palabras clave: competitividad, importaciones, exportaciones, nuevos cultivares, tecnología de manejo del cultivo.

Abstract

This chapter of the book aims to identify the main factors affecting coffee production in Ecuador. The primary causes identified are increased coffee imports, unfavorable trade policies, and government neglect of the sector. Despite the increase in coffee exports due to current promotional efforts, Ecuador is not competitive in the coffee sector, according to the analysis of the Export Competitiveness Index, the Import Dependence Index, and the Revealed Comparative Advantage Index. The authors argue that, despite the low competitiveness of the Ecuadorian coffee sector, Ecuador has significant potential if coffee production is incentivized and supported. Other problems identified include old coffee plantations, ranging in age from 15 to 80 years, which are unproductive. Therefore, there is a need to replant these plantations with seeds of new, improved cultivars and appropriate management technology.

Keywords: competitiveness, imports, exports, new cultivars, crop management technology.

Generalidades

Guadalupe *et al.* (2017) identificaron los factores que inciden en la disminución de la producción del café ecuatoriano como son: el aumento de las importaciones de café en el Ecuador, las políticas comerciales desfavorables, y el descuido del sector por parte del Estado. A pesar del aumento de las exportaciones de café dada la promoción que en la actualidad se realiza, el Ecuador no es competitivo en el sector cafetero de acuerdo con el análisis del Índice de Competitividad Exportadora (ICE), el Índice de Dependencia Importadora y el Índice de Ventaja Comparativa Revelada. Del mismo modo, plantean que, a pesar de la baja competitividad del sector cafetero ecuatoriano, si se incentiva y apoya la producción de café el Ecuador tiene mucho potencial.

Vera-Velásquez *et al.* (2024), mencionan que existen dificultades para llegar a consensos entre los actores de la cadena de café por diversos factores, como:

- Falta de cultura gremial, credibilidad, educación y capacitación
- Carencia de recursos para financiar las actividades de desarrollo tecnológico.
- Falta de vías de comunicación.
- Escasez de mano de obra por la emigración de sus habitantes.
- Falta de semilla de cultivares mejorados y el cambio de plantaciones que ya han cumplido su período vegetativo por cultivos de ciclo corto.
- Presencia de plagas y enfermedades.
- La incorrecta cosecha y deficiente beneficio.

Otras de las problemáticas identificadas son los cafetales viejos, con edades que van desde los 15 a los 80 años, lo que ocasiona que sean improductivos (Vera-Velásquez *et al.*, 2024). Existe la necesidad de remover las plantaciones con semillas de nuevos cultivares mejorados y tecnología técnica apropiada (Vera-Velásquez *et al.*, 2024). Los cafetales con menos de 15 años deben ser sometidos a rehabilitación con el propósito de recuperar su capacidad productiva con la debida protección de los cortes, los mejores brotes y una buena recomendación técnica (Vera-Velásquez *et al.*, 2024). El inapropiado manejo agronómico del cultivo causa problemáticas en las plantaciones del café en lo que se refiere a la errada, poca o ninguna implementación de labores culturales (Vera-Velásquez *et al.*, 2024).

Los efectos del cambio climático y la caída de los precios generan vulnerabilidad a los pequeños productores lo que se traduce en un mayor nivel de pobreza (Alfaro, 2010). Otro problema radica en el ciclo de la cadena productiva del café (Figura 1). Este ciclo de comercialización es generalizable en la producción cafetera en todo Ecuador.



Fuente: Vera-Velásquez *et al.* (2024).

Figura 1. Ciclo de comercialización del café.

La cultura productiva actual ha llevado a disminuir la rentabilidad y sostenibilidad de la agricultura, mermando las posibilidades de hacer de esta actividad una posibilidad de desarrollo de la región; la baja productividad es ocasionada por la degradación de los suelos, la deforestación, fenómenos naturales, plagas, la ausencia de sistemas de riego, asistencia técnica y crédito (Vera-Velásquez *et al.*, 2024). En menor medida los precios del mercado del café.

Desde el año 2011 al 2020, el MAG ha venido liderando un programa de Reactivación de la Caficultura a nivel nacional, entregado material genético, insumos, asistencia técnica, kits para prevenir la roya. Este proyecto de reactivación cafetalero es una iniciativa del gobierno impulsada por el MAG para renovar 135 mil hectáreas de las 199 mil registradas a nivel nacional en la mencionada fecha en dos etapas de cinco años cada una (Andrade Valencia y García Macías, 2017). A pesar de los esfuerzos desarrollados principalmente por el gobierno, el sector cafetero no ha logrado recuperarse de la crisis del siglo XX que afectó a la industria nacional.

Para procurar la viabilidad a largo plazo del sector cafetalero este tiene que yacer dentro del contexto del desarrollo económico rural sostenible del país. Varangis *et al.* (2002) identificaron cuatro elementos clave que deben estar presentes en una estrategia para promover la calidad:

- Comprender y evaluar la calidad del café.
- Identificar los principales problemas que afectan la calidad.
- Definir las alternativas para superar estos problemas.
- Determinar las políticas gubernamentales y las inversiones (públicas y privadas) que facilitarán la adopción de dichas alternativas.

Para que sea efectiva, una estrategia de mejoramiento de la calidad deberá ser integral y aplicarse a lo largo de toda la cadena de producción del café, cosecha y poscosecha, además, deberá prestar especial atención a cuatro áreas:

- Identificar y apoyar las zonas geográficas con las condiciones agroecológicas adecuadas para una producción de calidad.
- Garantizar la producción de granos de calidad, diseñando y poniendo en práctica programas amplios para el manejo del grano de café y la prevención de defectos.
- Desarrollar estrategias de comercialización y de valor agregado destinadas a crear asociaciones y vínculos de largo plazo con el mercado, que permitan recibir primas más altas por la buena calidad y penetrar segmentos del mercado de altos ingresos.
- Explorar algunas estrategias publicitarias útiles como el comercio electrónico y las subastas, la taza de la excelencia (*cup of excellence*), campañas para fomentar el consumo interno y sistemas de información de mercados. Las políticas promocionales también deberán concentrarse en los caficultores e intentar divulgar información sobre los beneficios ambientales del café y la utilización de prácticas óptimas.

Para incrementar la participación en el valor del café y aumentar el valor agregado, los productores deben desarrollar simultáneamente vínculos en las cadenas de oferta y estrategias publicitarias que presenten las ventajas comparativas de su café.

También es necesario que el gobierno ecuatoriano cumpla con ciertas exigencias elementales, como: aprovechamiento de la tecnología de última generación, apertura al mercado mundial, estabilidad política, seguridad jurídica, productividad nacional, inversión extranjera, efectividad del Estado, competitividad del sector privado, y el desarrollo de clústeres (Vera-Velásquez *et al.*, 2024).

Es fundamental un cambio de mentalidad de los ecuatorianos y los sectores estratégicos que implica: mejorar la calidad educativa a todo nivel para contar con profesionales que se inserten con más facilidad al ámbito laboral, mayor apoyo de las empresas, incremento de tecnología innovadora y estar atentos a los efectos que provocara este cambio a nivel nacional e internacional (Vera-Velásquez *et al.*, 2024). Con este cambio se persigue el surgimiento de exportaciones industriales, creciente participación de ventas, elevación de las cifras del turismo receptivo, el incremento del valor agregado en todos o en la mayoría de los sectores productivos y el aumento de la balanza comercial (Vera-Velásquez *et al.*, 2024).

Referencias

- Alfaro, J. (2010). Importancia del pequeño productor y la agricultura sostenible para la conservación del ecosistema. [Importance of small producers and sustainable agriculture for the conservation of the ecosystem] CLAC - Red Café. <https://n9.cl/bj38e>
- Andrade Valencia, C. A., & García Macías, C. E. (2017). Impacto del proyecto de reactivación cafetalero en las exportaciones de café en el período 2011-2014. [Tesis de Grado, Universidad de Guayaquil, Guayaquil, Ecuador]. <https://n9.cl/zdreia>
- Guadalupe, C. S., Ruiz, J. E., Moyota, P. B., Bernal, C. M., Mena, M. E., Rosero, L. M., & Gallo, C. G. (2017). Incidencia de la cadena de valor en el desarrollo sustentable del cultivo de café robusta (*Coffea canephora*) estudio de caso: Parroquia San Jacinto del Búa, provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas-Ecuador. *European*
- Varangis, P., Siegel, P., Lewin, B., & Giovannucci, D. (2022). La crisis cafetalera: efectos y estrategias para hacerle frente. Federación nacional de cafetaleros, Región centroamericana. <https://federaciondecafeteros.org/static/files/4.crisiscafetaleraeftos.pdf>
- Vera-Velásquez, F.B., Martín-Fernández, R.A., & Esquivel-García, R. (2024). Diagnóstico de la producción cafetalera en el cantón Jipijapa, provincia de Manabí, Ecuador. *Koinonía*, 9(17), 18-38. 2024. <https://doi.org/10.35381/r.k.v8i17.3146>

Mejoramiento genético de café (*Coffea arabica* L.) para el Sur de Manabí, Ecuador

Capítulo III.

Caracterización del banco de germoplasma de café

Resumen

Uno de los aspectos fundamentales para encarar cualquier programa de mejoramiento genético del café es contar con una diversidad genética amplia a la cual se pueda echar mano, para lograr nuevas combinaciones mediante genética clásica o a través de herramientas biotecnológicas modernas, como la caracterización molecular. Pero además, de contar con un germoplasma diverso, será importante que este material sea profundamente caracterizado genéticamente por sus propiedades morfo-agronómicas, productivas, de resistencia a factores restrictivos tanto bióticos (roya, ojo de gallo del cafeto, mal de hilacha, broca del café, etc.) como abióticos (sequía, precocidad, etc.), y de calidad de taza. Además, de formar y tener talentos humanos capacitados y entidades comprometidas y empoderadas, que coordinen y logren nuevos productos con mejor y mayor valor agregado.

Palabras clave: accesiones, caracterización morfo-agronómica, caracterización molecular, resistencia a roya, resistencia al ojo de gallo, resistencia a la broca.

Abstract

One of the fundamental aspects of any coffee breeding program is having a broad genetic diversity to draw upon, allowing for new combinations through classical genetics or modern biotechnological tools such as molecular characterization. Beyond having diverse germplasm, it is crucial that this material be thoroughly characterized genetically for its morpho-agronomic properties, productivity, resistance to both biotic (coffee rust, coffee leaf spot, thread disease, coffee berry borer, etc.) and abiotic (drought, precocity, etc.) limiting factors, and cup quality. Furthermore, it is essential to develop and maintain a skilled workforce and committed, empowered organizations that can coordinate efforts to produce new products with improved and greater added value.

Keywords: accessions, morpho-agronomic characterization, molecular characterization, coffee rust resistance, coffee leaf spot resistance, coffee berry borer resistance.

Sitio de conservación *in vivo* del banco de germoplasma

La Universidad Estatal del Sur de Manabí (UNESUM) conserva el Banco de Germoplasma de café en la Finca Andil, ubicada en el Cantón Jipijapa, provincia de Manabí, que se encuentra a 80° 34' de longitud oeste y 1° 19' de latitud sur, ubicada en el bosque tropical seco según la clasificación de Holdrige (Castro *et al.*, 2025).

Este material fue importando y transplantado a campo en el año 2015. En la Tabla 3.1., se describe a cada una de las 20 accesiones, detallando su origen, los progenitores que les dieron origen, y sus características sobresalientes.

Tabla 3.1.

Accesiones del banco de germoplasma de café arábigo de la UNESUM.

No.	Accesión	Origen	Progenitores	Características
1	Catimor 8666 (4-3).	Portugal	Timor x Caturra	Tolerante a la roya y alta producción en granos.
2	Catuai rojo UFV	Brasil	Sumatra Bourbón	x Susceptible a roya
3	Gheisha.	Etiopia	<i>C. arabica</i>	Calidad de taza
4	Bourbon amarillo	África	<i>C. arabica</i>	Susceptible a la roya del café. Es de porte alto y es de alta calidad
5	Caturra amarillo T-3386	Brasil	Mutantes del cultivar Bourbón	Alta producción en granos.
6	Catimor CIFC-P2.	Portugal	Caturra x Timor	Resistente a la roya. Alta producción en granos.
7	Catimor CIFC-P1	Portugal	Caturra x Timor	Resistente a la roya. Alta producción en granos.
8	Castillo	Se halla en África	Caturra x de Timor	Alta producción en granos. Resistencia a la roya, y a la enfermedad de las cerezas (<i>Colletotrichum coffeanum var virulans</i>)
9	Arara	Brasil	Catuai x Sarchimor	Resistencia a la roya
10	Pache	Guatemala	mutación del cultivar Típica	Susceptible a roya
11	Acawa	Brasil	Mundo Novo IAC 388-17 x Sarchimor IAC 1668	Resistencia a la sequía y a la roya. Tolerante a los nematodos. Calidad de taza y ciclo tardío.
12	Catimor CIFC-P3	Portugal	Caturra x de Timor	Porte bajo y resistente a la roya. Alto rendimiento y más producción.

13	Catucai Amarillo –2 SL	Brasil	Icatu x Catuai	Resistencia moderada a la roya
14	Catimor UFV-5607		Timor # 832 x Caturra	Resistencia moderada a la roya
15	Caturra rojo- Pichilingue	Brasil	mutación del cultivar Bourbón	Porte bajo y alta productividad. Tolerancia al sol.
16	Catimor 8664 (2-3)	Portugal	Timor x Caturra	Tolerante a la roya y tiene una alta producción en granos. Calidad de taza.
17	Catucai Amarillo	Brasil	Mundo Novo x Caturra	Resistencia moderada a la roya
18	Sarchimor 4260	Portugal	Villa Sarchi CIFC 971/10 x híbrido de Timor CIFC 832/2	Resistente a la roya
19	Tipica	Etiopia	<i>C. arabica</i>	Susceptible a la roya del café.
20	Catucai Rojo 785-15	Brasil	Icatú x Catuai amarillo	Resistencia moderada a la roya

Fuente: Gabriel *et al.* (2023), Castro *et al.* (2024)

Caracterización morfo-agronómica

Las accesiones de café fueron evaluados por sus características morfo-agronómicas (Castro *et al.*, 2024), considerando las variables de altura de planta (ADP), diámetro de copa (DDC), número de ramas/tallos (NDT), longitud de rama intermedia (LDR) y número de nudos/rama intermedia (NDN).

Las características morfológicas cuantitativas número de ramas por tallo, longitud de rama intermedia y número de nudos en rama intermedia presentaron coeficientes de variación (CV) de 26,47, 17,92 y 19,82 respectivamente; mientras que, las agronómicas la altura de la planta (CV = 12,07) y el diámetro de copa (CV = 11,30). Estos valores de los CV indican que los 20 cultivares de café presentaron mayor variabilidad en las características morfológicas, y una menor variabilidad en las características agronómicas (Castro *et al.*, 2024).

El análisis de medias mediante la prueba múltiple de Tukey ($P < 0,05$) determinó que, la mayor ADP fue de 296 cm para el cultivo Catimor CIFC-P2, el mejor DDC fue observado en el cultivar Catimor CIFC-P2. Con 200,25 cm, el mayor NDR correspondió al cultivar Catuai amarillo con 93 ramas, la mayor LDRI se observó en el cultivar Catimor CIFC-P2 con 103 cm, el NDN fue mejor en el cultivar Pache con 24 nudos (Tabla 3.2).

Los cultivares de café con características morfológicas deseables fueron Pache, Caturra rojo–Pichilingue, Acawa, Catimor 8664 (2-3) y Sarchimor 4260 (Castro *et al.*, 2024).

Tabla 3.2.

Análisis de medias para caracteres morfo-agronómicos.

Accesión	ADP	DDC	NDR	LDRI	NDN
Catimor 8666 (4-3).	185,20 cde	146,40 bcde	56,60 ab	77,00 abc	19,60 ab
Catuai rojo UFV	178,80 cde	137,80 cde	89,20 a	67,00 bc	17,20 ab
Gheisha.	244,80 ab	183,60 qb	75,00 ab	90,00 ab	17,80 ab
Bourbon amarillo	192,00 bcd	145,25 bcde	67,25 ab	95,25 ab	19,25 ab
Caturra amarillo T-3386	183,20 cde	144,40 bcde	71,40 ab	72,50 abc	20,60 ab
Catimor CIFC-P2.	296,75 a	200,25 a	77,00 ab	103,50 a	18,75 ab
Catimor CIFC-P1	172,33 cde	121,17 e	52,00 ab	50,33 c	14,33 b
Castillo	184,50 cde	176,50 abc	43,50 b	83,00 ab	18,50 ab
Arara	170,25 cde	130,75 de	77,00 ab	68,25 bc	17,00 ab
Pache	147,20 e	142,60 cde	62,00 ab	72,40 abc	24,80 a
Acawa	196,80 bcde	163,20 abcd	62,20 ab	81,00 abc	22,80 ab
Catimor CIFC-P3	178,33 cde	150,67 bcde	66,00 ab	78,33 abc	22,00 ab
Catucai Amarillo –2 SL	212,80 bcd	155,20 bcde	61,20 ab	77,00 abc	19,80 ab
Catimor UFV-5607	185 cde	137,80 cde	63,25 ab	73,75 abc	21,50 ab
Caturra rojo-Pichilingue	224,20 bc	169,20 abcd	77,60 ab	85,80 ab	23,00 ab
Catimor 8664 (2-3)	190,80 bcde	146,40 bcde	56,60 ab	76,60 bcd	22,40 ab
Catucai Amarillo	185,25 bcde	153,00 bcde	93,25 a	76,25 abc	19,75 ab
Sarchimor 4260	159,60 cd	148,80 bcde	68,00 ab	78,00 abc	22,40 ab
Tipica	223,00 bc	141,80 bcde	85,40 ab	80,60 abc	21,20 ab
Catucai Rojo 785-15	181,00cde	139,00 cde	79,67 ab	70,33 bc	20,00 ab
DSH	12,07	11,30	42,75	32,33	9,25

Caracterización molecular

Con el objetivo de determinar la diversidad genética del café arábigo (*Coffea arabica* L.) aplicando 20 marcadores microsatélite en 20 accesiones el banco de germoplasma de la Universidad Estatal del Sur de Manabí (UNESUM), se colectaron folíolos jóvenes del tercio medio superior de cada planta de las 20 accesiones de café conservados *in vivo* en la Finca Andil, en sobres pequeños con cierre y ubicados en una caja con 500 g de sílica gel para el secado y conservación de las muestras de folíolos, para luego enviarlas al laboratorio de Biología Molecular de la Estación Experimental

Santa Catalina, del Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias y forestales (INIAF). El análisis de QTA – genotyping fue realizado con la tecnología M13 Tailing para 20 marcadores microsatélite (Castro *et al.*, 2025). Los geles fueron analizados de forma visual, determinando el peso de los fragmentos en pares de bases (pb) amplificado para el QTA-genotyping en referencia a un marcador de peso conocido del fragmento. Los pares de bases (pb) de cada marcador para cada una de las accesiones de café (ausencia/presencia), fueron anotados en una hoja de cálculo en Excel para su posterior análisis estadístico. Para cada marcador ensayado se aplicó un test de Chi cuadrada para comparar las medias de niveles de presencia en las accesiones que pertenecen a cada clase de marcador (ausencia/presencia) determinado, respecto de los pb de los alelos reportados por otros investigadores (Castro *et al.*, 2025).

En la Tabla 3.3., se observa los QTA-genotyping para los 20 marcadores moleculares SSR evaluados, determinándose que en este conjunto de 20 marcadores no fueron efectivos para diferenciar entre las accesiones de Pache, Acawa, Catimor CIFC-P3, Catucaí Amarillo – SL, Catimor UFV-5607, Caturra rojo- Pichilingue, Catimor 8664 (2-3), Catucaí Amarillo, Sarchimor 4260, Tipica, Catimor 8666 (4-3), Catucaí Rojo 785-15, Catucaí rojo UFV, Gheisha, Bourbon amarillo, Caturra amarillo T-3386, Catimor CIFC-P2, Catimor CIFC-P1, Castillo y Arara.

Se denotó asimismo que, los microsatélites CaM42, CaM41, CaM38, SSRCa091, CaM17, CaM26, CaM32, CaM55, CaM24, CaM22, CaM33, CaM46, CaM40, SSRCa018, CaM03, CaM18, CaM20, CaM49 (Tabla 4 y Figura 1) mostraron los fragmentos de alelos esperados en todas las accesiones de café evaluados. Sin embargo, dos SSRs como el CaM36 y CaM02 no reaccionaron, con ninguno de las accesiones.

Asimismo, es notorio observar que Caturra amarilla T-3386 no mostró reacción al marcador CaM41. Bourbon Amarillo que no reaccionó a los marcadores SSRCa091, CaM17, CaM26, CaM55 y CaM49. Catucaí rojo UFV no reaccionó a los marcadores CaM32 y CaM55. Pache no reaccionó a los marcadores CaM24 CaM20 y CaM49. Acawa no reaccionó al marcador CaM33. Catucaí Amarillo – SL no reaccionó al marcador CaM49; y, finalmente Catucaí Amarillo no reaccionó al marcador CaM49 (Castro *et al.*, 2025).

Tabla 3.3.

Altura de los fragmentos de pares de bases de cada marcador microsatélite o SSR en cada accesión de café evaluado.

Accesión	CaM42	CaM41	CaM38	SSRCa091	CaM17	CaM26	CaM32	CaM55	CaM24	CaM22	CaM33	CaM46	CaM40	SSRCa018	CaM03	CaM18	CaM20	CaM49	CaM36	CaM02
Pache	193	223	222	104	176	254	207	156	-1	104	240	224	229	119	167	183	-1	-1	-1	-1
Acawa	193	223	222	104	176	254	207	156	199	104	-1	224	229	119	167	183	205	200	-1	-1
Catimor CIFC-P3	193	223	222	104	176	254	207	156	199	104	240	224	229	119	167	183	205	200	-1	-1
Catucái Amarillo – SL	193	223	222	104	176	254	207	156	199	104	240	224	229	119	167	183	205	-1	-1	-1
Catimor UFV-5607	193	223	222	104	176	254	207	156	199	104	240	224	229	119	167	183	205	200	-1	-1
Caturra rojo- Pichilingue	193	223	222	104	176	254	207	156	199	104	240	224	229	119	167	183	205	200	-1	-1
Catimor 8664 (2-3)	193	223	222	104	176	254	207	156	199	104	240	224	229	119	167	183	205	200	-1	-1
Catucái Amarillo	193	223	222	104	176	254	207	156	199	104	240	224	229	119	167	183	205	-1	-1	-1
Sarchimor 4260	193	223	222	104	176	254	207	156	199	104	240	224	229	119	167	183	205	200	-1	-1
Tipica	193	223	222	104	176	254	207	156	199	104	240	224	229	119	167	183	205	200	-1	-1
Catimor 8666 (4-3).	193	223	222	104	176	254	207	156	199	104	240	224	229	119	167	183	205	200	-1	-1
Catucái Rojo 785-15	193	223	222	104	176	254	207	156	199	104	240	224	229	119	167	183	205	200	-1	-1
Catuai rojo UFV	193	223	222	104	176	254	-1	-1	199	104	240	224	229	119	167	183	205	200	-1	-1
Gheisha.	193	223	222	104	176	254	207	156	199	104	240	224	229	119	167	183	205	200	-1	-1
Bourbon amarillo	193	223	222	-1	-1	-1	207	-1	199	104	240	224	229	119	167	183	205	-1	-1	-1
Caturra amarillo T-3386	193	-1	222	104	176	254	207	156	199	104	240	224	229	119	167	183	205	200	-1	-1
Catimor CIFC-P2.	193	223	222	104	176	254	207	156	199	104	240	224	229	119	167	183	205	200	-1	-1
Catimor CIFC-P1	193	223	222	104	176	254	207	156	199	104	240	224	229	119	167	183	205	200	-1	-1
Castillo	193	223	222	104	176	254	207	156	199	104	240	224	229	119	167	183	205	200	-1	-1
Arara	193	223	222	104	176	254	207	156	199	104	240	224	229	119	167	183	205	200	-1	-1

-1: indica que no hubo reacción de polimorfismo

Se realizó un análisis estadístico mediante la prueba el uso de Chi cuadrada (X^2) con el propósito de comprobar si los fragmentos determinados en el análisis de los QTA-genotyping de esta investigación corresponden a los fragmentos esperados y que fueron encontrados por otros investigadores (Tabla 3.4) (Castro *et al.*, 2025).

Tabla 3.4.

Análisis de Chi cuadrada para los fragmentos (bp) de QTA-genotyping determinados.

Microsatélite	oi	ei	oi-ei	(oi-ei) ²	(oi-ei) ² /ei
CaM42	193	190	3,00	9,00	0,05ns
CaM41	223	183	40,00	1600,00	8,74**
CaM38	222	228	-6,00	36,00	0,16ns
SSRCa091	104	110	-6,00	36,00	0,33ns
CaM17	176	193	-17,00	289,00	1,50ns
CaM26	254	203	51,00	2601,00	12,81**
CaM32	207	191	16,00	256,00	1,34ns
CaM55	159	183	-24,74	704,11	3,84*
CaM24	199	193	6,00	36,00	0,19ns
CaM22	104	222	-118,00	13924,00	62,72
CaM33	240	240	0,00	0,00	0,00ns
CaM46	224	222	2,00	4,00	0,02ns
CaM40	229	238	-9,00	81,00	0,34ns
SSRCa018	119	115	4,00	16,00	0,14ns
CaM03	167	173	-6,00	36,00	0,21ns
CaM18	183	181	2,00	4,00	0,02ns
CaM20	205	178	27,00	729,00	4,10*
CaM49	201	197	4,50	121,50	0,65ns

Fuente: Castro et al., (2025)

El análisis de X^2 (Tabla 3.4.) mostró que en general todos los fragmentos (bp) determinados no fueron significativos, lo que indicaría que estos fragmentos son los que se esperaban; sin embargo, los marcadores CaM41 y CaM26 fueron altamente significativos ($P<0,01$) y los marcadores CaM55 y CaM20 fueron significativos ($P<0,05$). Esto estaría sugiriendo que estos marcadores tuvieron diferente expresión a lo esperado (Castro *et al.*, 2025).

Los resultados mostraron los marcadores SSR utilizados tienen una baja o limitada detección de la diversidad genética, y que se pudo observar limitaciones en los niveles de heterocigosis y homocigosis en los locus específicos por la incapacidad de estos SSR para distinguir alelos de cromosomas homólogos, así como la probabilidad de hallar alelos nulos en poliploides. Se determinó que el marcador Cam22 fue monomórfico.

Caracterización de resistencia genética a enfermedades

Se evaluó la resistencia genética de a enfermedades foliares de 20 accesiones de café (*Coffe arabica* L.) en el banco de germoplasma de la UNESUM (Gabriel *et al.*, 2023). Las enfermedades foliares fueron evaluadas con una escala de 0 a 4 (0 = 0% y 4 = mayor a 80% de severidad) y se realizó el análisis del Área Bajo la Curva de Progreso de Roya relativa (ABCPRr) y las curvas de ajuste para las enfermedades, utilizando modelos lineales y cuadráticos.

La comparación de media mediante la prueba múltiple de Duncan ($P \leq 0,05$) (Tabla 3.5) mostraron que para la roya del café (*Hemileia vastatrix*) las accesiones Castillo, Catimor 5607, Catuai 25L, Catimor, 886-23 Catimor Sachimor, 4260, Catimor P1 y Catimor P3, fueron resistentes con ABCPRr = 0%. En cambio Gheisha, Arara y Acawa mostraron resistencia moderada a la roya (Gabriel *et al.*, 2023).

En referencia a la enfermedad mancha de hierro (*Cercospora coffeicola*), se observó que Sarchimor 4260 fue la más susceptible (ABCPM_{Hr} = 20,96%) y la accesión Gheisha fue la más resistente (ABCPM_{Hr} = 3,86%), y Burbon Amarillo, Castillo y Arara, mostraron resistencia moderada (Tabla 7). Respecto a las curvas de ajuste, se observó que la roya y la mancha de hierro se ajustaron a una curva cuadrática, lo que indicaría que son enfermedades policíclicas (Gabriel *et al.*, 2023).

Respecto a la enfermedad ojo de gallo (*Mycena citricolor*), hubo una severidad en hojas de 1,00% para Sarchimor 4260, mostrando ser la más resistentes a esta enfermedad (Castro *et al.*, 2024). En cambio Bourbon amarillo y Caturra Amarillo T-3386 10.31 % fueron las más susceptibles con valores de 2,29% de severidad (Tabla 3.5).

Tabla 3.5.

Comparación de medias del Área Bajo la Curva de Progreso relativa de roya (Hemileia vastatrix), mancha de hierro (Cercospora coffeicola) y severidad al ojo de gallo del cafeto (Mycena citricolor).

Cultivares	ABCPRr Roya	ABCPMHR Mancha de hierro	Severidad ojo de gallo (%)
Pache	19,84 b	16,32 ab	1,54 ef
Bourbon Amarillo	17,52 ab	7,20 ab	2,29 h
Caturra Amarillo T-3386	16,62 ab	11,62 ab	2,29 h
Caturra Rojo-Pichilingue	16,04 ab	16,62 ab	2,17 abc
Catucai Amarillo-2 SL	14,40 ab	15,44 ab	1,42 fg
Tipica	13,86 ab	17,38 ab	1,65 def
Catucai rojo UFV	12,36 ab	14,18 ab	1,66 def
Catucai rojo 785-15	9,10 ab	9,58 ab	1,91 cd
Gheisha	6,72 ab	3,86 a	1,52 ef
Acawa	3,36 ab	16,02 ab	1,85 cde
Arara	2,38 ab	4,94 ab	1,15 gh
Catimor CIFC-P2	0,00 a	11,68 ab	1,53 ef
Castillo	0,00 a	6,40 ab	1,48 fg
Catimor UFV-5607	0,00 a	16,26 ab	1,49 f
Catuai amarillo	0,00 a	14,16 ab	1,42 fg
Catimor 8864 (2-3)	0,00 a	16,50 ab	1,94 bcd
Catimor 8666 (4-3)	0,00 a	13,86 ab	1,73 def
Sachimor 4260	0,00 a	20,96 b	1,00 a
Catimor CIFC-P1	0,00 a	14,56 ab	1,40 fg
Catimor CIFC-P3	0,00 a	13,80 ab	1,57 ef

ABCPRr: Área Bajo la Curva de Progreso de Roya relativa, ABCPMHR: Área Bajo la Curva de Progreso de Mancha de Hierro relativa.

Resistencia al ojo de gallo del cafeto (*Mycena citricolor*)

Recientemente Gabriel *et al.* (2026a), estudiaron los cultivares del banco de germoplasma con el objetivo de evaluar el uso del ácido oxálico para determinar las accesiones resistentes al ojo de gallo del cafeto [*Mycena citricolor* (Berk. & M.A. Curtis) Sacc.], fue implementado un experimento en un diseño experimental de bloques completamente aleatorios (DBCA) con 20 tratamientos (cultivares) y cuatro repeticiones en el laboratorio de Biotecnología de la UNESUM. Se ubicaron 10 genotipos/bandeja con 1 foliolo suelto/genotipo, totalizando 8 bandejas. Se inoculó cada foliolo con tres gotas a cada lado de la nervadura a una concentración de 2,25 g/150 mL de ácido oxálico. Se evaluó el tamaño de lesión (TL) con un vernier en milímetros a partir del tercer día, y se

continuó con la lectura diaria, durante seis días. Con los datos de TL se determinó el área bajo la curva de progreso de la lesión relativa (ABCPLr), como una medida relativa en el tiempo. Se realizó el análisis de varianza y la comparación de medias mediante la prueba múltiple de Tukey ($P<0,05$), una vez cumplidas los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas. Asimismo, se determinó la mejor curva de ajuste mediante el coeficiente de regresión (R^2).

Se observó en el análisis de varianza para el ABCPLr, que no hubo diferencias significativas ($P<0,05$) para los cultivares evaluados y el coeficiente de variación (CV) fue de 19,23%, apropiado para este tipo de investigación (Tabla 3.6).

Tabla 3.6.

Análisis de varianza del ABCPLr.

F.V.	gl	SC	CM	F	p-valor
Modelo	22	182,49	8,3	3,84	<0,0001
Cultivar	3	15,67	5,22	2,42	0,0756
Error	19	166,82	8,78		
Total	56	120,86			
CV (%)	19,23				

En la Tabla 3.7, se observa el análisis de medias con la prueba múltiple de Duncan ($P<0,05$) para los tratamientos, determinándose diferencias significativas para la variable ABCPLr, donde el mejor tratamiento fue para el cultivar Catimor 8666 (4-3) con ABCPLr de 5,01%. Los cultivares Catucaí rojo UFV, Sarchimor 4260, Tipica, Catimor CIFC-P1, Caturra amarillo, Acawa, Catucaí-2 SL, Caturra rojo-Pichilinge, Catimor 5607, Catimor 866-23, Catuaí 785-15 y Catimor fueron susceptible con ABCPLr entre 7,46% a 9,94%.

Se denotaron diferentes niveles de resistencia al ácido oxálico (sintetizado por el hongo del ojo de gallo del café (*Mycena citricolor*). Los cultivares tolerantes a la infección causada por ácido oxálico fueron los cultivares Catimor CIFC-P2, Pache, Castillo, Arara, Catucaí amarillo, Gheisha y Bourbon Amarillo con porcentajes de ABCPLr de 5,60% a 6,86% respectivamente (Tabla 3.7).

Tabla 3.7.*Análisis de medias para el ABCPLr de cada cultivar.*

Cultivar	ABCPLr(%)
Catimor 8666 (4-3)	5,01 a
Catimor CIFC-P2	5,60 ab
Pache	5,96 abc
Castillo	6,08 abc
Arara	6,60 abcd
Catuaí amarillo	6,72 abcd
Gheisha	6,82 abcd
Bourbon Amarillo	6,86 abcd
Catucái rojo UFV	7,46 bcde
Sarchimor 4260	7,62 bcde
Tipica	7,64 cde
Catimor CIFC-P1	7,76 de
Caturra amarillo	7,87 e
Acawa	8,23 e
Catuaí – 2 SL	8,70 e
Caturra rojo-Pichilingue	9,37 e
Catimor 5607	9,55 e
Catimor 866-23	9,70 e
Catuaí 785-15	9,81 e
Catimor	9,94 e

Medias con las mismas letras no son significativos ($P < 0,05$)**Análisis de regresión**

La Tabla 3.8, muestra que los cultivares Acawa ($R^2 = 0,98$), Catimor ($R^2 = 0,97$), Catimor 5607 ($R^2 = 0,94$), Catimor 8664 (2-3), Catuaí 785-15 ($R^2 = 0,95$), Catuaí 2-SL ($R^2 = 0,99$), Caturra rojo ($R^2 = 0,98$), Sarchimoro 4260 ($R^2 = 0,98$), Tipica, Arara ($R^2 = 0,99$), Bourbon Amarillo ($R^2 = 0,99$), Castillo ($R^2 = 0,98$), Catimor 8666 (4-3) ($R^2 = 0,96$), Catimor CIFC-P1 ($R^2 = 0,96$), Catucái rojo UFV ($R^2 = 0,96$), Caturra amarillo ($R^2 = 0,97$) y Gheisha ($R^2 = 0,97$), tuvieron una curva de ajuste de regresión logarítmica. En cambio, los cultivares Catimor CIFC-P2 ($R^2 = 0,82$), Catucái amarillo ($R^2 = 0,89$) y Pache ($R^2 = 0,67$) mostraron un mejor ajuste a una curva lineal.

Tabla 3.8.

Comportamiento del coeficiente de regresión para el mejor ajuste de la curva del TL en el tiempo.

Cultivar	Coeficiente R² de una curva lineal	Coeficiente R² de una curva logarítmica
Acawa	0,92	0,98
Arara	0,92	0,99
Bourbon Amarillo	0,90	0,99
Castillo	0,87	0,98
Catimor	0,92	0,97
Catimor 5607	0,94	0,94
Catimor 866-(2-3)	0,90	0,99
Catimor 8666 (4-3)	0,81	0,96
Catimor CIFC-P1	0,85	0,96
Catimor CIFC-P2	0,82	0,72
Catuaí 785-15	0,79	0,95
Catuaí – 2 SL	0,90	0,99
Catuaí amarillo	0,89	0,82
Catuaí rojo UFV	0,83	0,96
Caturra amarillo	0,86	0,97
Caturra rojo-Pichilingue	0,64	0,98
Gheisha	0,87	0,97
Pache	0,67	0,59
Sarchimor 4260	0,88	0,98
Tipica	0,72	0,90

Resistencia genética a la broca del café (*Hypothenemus hampei* Ferrari)

Se estudió la resistencia genética a la broca del café (*Hypothenemus hampei* Ferrari) en el Banco de Germoplasma de la Universidad Estatal del Sur de Manabí (Gabriel y Fienco, 2026b). Fueron colectados cinco frutos al azar de 20 plantas de cada acción, totalizando 100 muestras. Cada fruto colectado fue ubicado en fundas pequeñas zipper hasta el momento de su evaluación. Se evaluó el porcentaje de incidencia, severidad y resistencia en cada accesión. Para el análisis estadístico, se aplicó la distribución de Poisson.

Los resultados mostraron (Tabla 3.9) que el cultivares Catimor 8666 (4-3), fue altamente resistente con 2% de incidencia y 0,31% de severidad, Catuaí rojo UFV, Geisha, Bourbon amarillo, Catimor CIFC-P2, Castillo, Arara, Catimor CIFC-P3, Caturra rojo-Pichilingue y Catuaí rojo 785-15 fueron parcialmente resistente con 19 a 31% de incidencia y 3,04 a 4,96% de severidad, el cultivar Catimor CIFC-P1 fue resistente con 11% de incidencia y 1,76% de severidad. Los cultivares susceptibles tuvieron incidencias

entre 32 a 54% y 5,12 a 8,65% de severidad. Esto denotó que en el germoplasma conservado existe una amplia diversidad de respuestas a la susceptibilidad del ataque de la broca del café (Tabla 8) (Gabriel y Fienco, 2026).

Tabla 3.9.

Incidencia, severidad y resistencia a la broca del café en 20 accesiones del banco de germoplasma de la UNESUM.

Accesión	No. brocas	No. frutos afectados de 100	% incidencia	% severidad	Escala de resistencia
Catimor 8666 (4-3).	16	2	2	0,32	Altamente resistente
Catuai rojo UFV	42	19	19	3,04	Parcialmente resistente
Gheisha	67	31	31	4,96	Parcialmente resistente
Bourbon amarillo	88	30	30	4,80	Parcialmente resistente
Caturra amarillo T-3386	174	40	40	6,40	Susceptible
Catimor CIFC-P2.	56	21	21	3,36	Parcialmente resistente
Catimor CIFC-P1	49	11	11	1,76	Resistente
Castillo	85	26	26	4,16	Parcialmente resistente
Arara	113	26	26	4,16	Parcialmente resistente
Pache	148	40	40	6,40	Susceptible
Acawa	67	54	54	8,64	Susceptible
Catimor CIFC-P3	33	24	24	3,84	Parcialmente resistente
Catucai Amarillo – 2 SL	60	50	50	8,00	Susceptible
Catimor UFV-5607	40	32	32	5,12	Susceptible
Caturra rojo- Pichilingue	35	28	28	4,48	Parcialmente resistente
Catimor 8664 (2-3)	48	40	40	6,40	Susceptible
Catucai Amarillo	42	38	38	6,08	Susceptible
Sarchimor 4260	41	34	34	5,44	Susceptible
Típica	38	35	35	5,60	Susceptible
Catucai Rojo 785-15	32	26	26	4,16	Parcialmente resistente

Referencias

- Castro, C., González, M., García, J., Morán, J., & Gabriel, J. (2025). Diversidad genética del café arábigo (*Coffea arabica* L.) aplicando 20 marcadores microsatélite en el banco de germoplasma de la UNESUM, Ecuador. *Centrosur Agraria*, 1(25), 30–53. <https://doi.org/10.37959/revista.v1i25.287>
- Gabriel, J., Parrales, T., Castro, C. A., Narváez, W. V., & Fuentes, T. (2023). Evaluación de la resistencia genética a enfermedades foliares en 20 accesiones de café arábigo (*Coffea arabica* L.) del banco de germoplasma de la Universidad Estatal del Sur de

Manabí. *Agrosilvicultura Y Medioambiente*, 1(1), 26–40.
<https://doi.org/10.47230/agrosilvicultura.medioambiente.v1.n1.2023.26-40>

Gabriel, J., Marcillo, K., Holguin, B., Burgos, G., Morán, J. (2026a). Uso del ácido oxálico para seleccionar cultivares resistentes al ojo de gallo del cafeto [*Mycena citricolor* (Berk. & M.A.Curtis) Sacc.] en el banco de germoplasma de café. *UNESUM Ciencia*, 1(1) (en revisión).

Gabriel, J. & Fienco N. (2026b). Analysis of the genetic resistance to the coffee berry borer (*Hypothenemus hampei* Ferrari) in the germplasm bank of the Universidad Estatal del Sur de Manabí, Ecuador. *Revista Agronomía costarricense*, 1(49) (en revisión).

Mejoramiento genético de café (*Coffea arabica* L.) para el Sur de Manabí, Ecuador

Capítulo IV.

Mejoramiento genético

Resumen

En este capítulo se hace una descripción de los diversos trabajos de investigación para lograr nuevos cultivares mejorados de café para la zona Sur de Manabí, cuando en el Ecuador el café se introdujo a principios del siglo XIX, con los primeros cultivos documentados alrededor de 1830. En los muchos años que lleva este cultivo en 23 de las 24 provincias del Ecuador, no hay antecedentes de haberse generado nuevos cultivares. Los programas de mejoramiento genético públicos y privados, dedicaron su esfuerzo y economía a introducir germoplasma nativo y mejorado de muchas partes del mundo, como Etiopía, Brasil, Costa Rica, Colombia, etc. Por lo que, estos programas se dedicaron a introducir y evaluar germoplasma para lograr genotipos adaptados a las diversas condiciones agroecológicas productivas del país, con relativo éxito. Hay poca información de programas de mejoramiento genético convencional que hayan logrado nuevos cultivares para las zonas productoras de café. Por lo mencionado, en este capítulo se hace una descripción de las investigaciones realizadas por la Universidad Estatal del Sur de Manabí en los últimos cinco años, para lograr nuevos cultivares mejorados, con la esperanza que estos materiales sean adaptados y adoptados por los agricultores cafetaleros en el mediano plazo, particularmente para la zona Sur de Manabí. Al momento, fueron seleccionados 10 nuevos genotipos con potencial de ser futuros cultivares, pero que aún requieren dos a tres años de evaluación en campo por su rendimiento, calidad de taza y otros factores restrictivos.

Palabras clave: nuevos cultivares potenciales, factores restrictivos, genotipos adaptados, condiciones agroecológicas, valor agregado.

Abstract

This chapter describes the various research efforts undertaken to develop new and improved coffee cultivars for the southern region of Manabí. Coffee was introduced to Ecuador in the early 19th century, with the first documented cultivations dating back to around 1830. In the many years since coffee cultivation began in 23 of Ecuador's 24 provinces, there is no record of new cultivars being developed. Public and private breeding programs dedicated their efforts and resources to introducing native and improved germplasm from many parts of the world, such as Ethiopia, Brazil, Costa Rica, and Colombia. These programs focused on introducing and evaluating germplasm to achieve genotypes adapted to the country's diverse agroecological production conditions, with relative success. There is little information available on conventional breeding programs that have resulted in new cultivars for coffee-producing areas. Therefore, this chapter describes the research conducted by the Southern State University of Manabí over the past five years to develop new, improved cultivars. The hope is that these materials will be adapted and adopted by coffee farmers in the medium term, particularly in the southern region of Manabí.

Currently, 10 new genotypes with the potential to become future cultivars have been selected, but they still require two to three years of field evaluation due to their yield, cup quality, and other limiting factors.

Keywords: potential new cultivars, limiting factors, adapted genotypes, agroecological conditions, added value.

Etapa 1: 2021 - 2023

Características genéticas del cultivo

El café arábigo (*Coffea arabica* L.) es una especie un alotetraploide autofértil (autogama) que pertenece al género *Coffea* en la familia Rubiaceae (Krug, 1951, Raina *et al.*, 1998, Lashermes *et al.*, 1999, Manrique & Thimann, 2002, Geleta *et al.*, 2012, Melese & Kolech, 2021). De las 103 especies del género, el café arábigo es la única especie tetraploide autogama ($2n = 4x = 44$), siendo las especies restantes diploides con $2n = 2x = 22$ cromosomas (Davis *et al.*, 2006). El café arábigo se originó a partir de una hibridación relativamente reciente entre *Coffea canephora* (café robusta) y *C. eugenioides* o sus ecotipos en las mesetas de Etiopía central (Lashermes *et al.*, 2008, 1999, Tesfaye *et al.*, 2007). El café se cultiva principalmente en regiones tropicales y subtropicales y es un cultivo comercial importante en más de 60 países de América del Sur y Central, Asia y África con una superficie de más de 11 millones de ha (Waller *et al.*, 2007).

Varios estudios han demostrado que la diversidad genética del café arábigo es baja en comparación con la del café robusta (Lashermes *et al.*, 2011, Anthony *et al.*, 2001, Anthony *et al.*, 2002, Baruah *et al.*, 2003, Moncada & McCouch, 2004, Silvestrini *et al.*, 2007, Aggarwal *et al.*, 2007, Cubry *et al.*, 2008) debido a su estrecha base genética asociada con la autogamia, la historia evolutiva y la domesticación. Esta estrecha base genética se ha reflejado en diferentes formas que incluyen la falta de genotipos resistentes a varias plagas y enfermedades (Bertrand *et al.*, 2000, 2001, Villain *et al.*, 2010). La base genética del café arábigo en el contenido estadounidense es incluso más estrecha, ya que representa solo un pequeño subconjunto de las variaciones genéticas presentes dentro del acervo genético del café arábigo (Anthony *et al.*, 2002, Bertrand *et al.*, 2000) y son más propensos a varias plagas y enfermedades (Bertrand *et al.*, 2000, Gichuru *et al.*, 2008, Tschardtke *et al.*, 2011). Por lo tanto, la mejora de su resistencia a las plagas y enfermedades se está convirtiendo en una prioridad crucial para la producción económica y sostenible del café. Esto se está logrando mediante el cruce del café arábigo con otras especies de café, particularmente el café robusta (Lashermes *et al.*, 2011, Bertrand *et al.*, 2001, Gichuru *et al.*, 2008, Noir *et al.*, 2003, Alpizar *et al.*, 2007) y mediante la selección de genotipos de interés del acervo genético del café arábigo (Leroy *et al.*, 2006, Albuquerque *et al.*, 2010).

Ubicación

La investigación fue realizada en el campo y vivero de la Finca Andil de la Universidad Estatal del Sur de Manabí, a 2½ km del Cantón Jipijapa, Manabí, ubicado a 1° 18' 0,0" de latitud Sur y 80° 34' 43,50" longitud oeste, a una altitud aproximada de 280 msnm; con temperaturas media entre los 18 a 23,7°C. La precipitación promedio anual es de 500 a 1000 mm y la HR en época lluviosa es de 82 a 84% y en la época seca es de 76,2% a 80%, concentrándose la mayor cantidad de lluvia en el mes de febrero, mientras que el mes más seco es en el mes de agosto (PDOT, 2019).

Método de mejoramiento

En la campaña 2021 se realizaron cruzamientos intraespecíficos entre accesiones del Banco de germoplasma de café conservados *in vivo* en la Finca Andil de la Universidad Estatal del Sur de Manabí.

Los tratamientos fueron 10 accesiones (padres) y 9 progenies de café, obtenidos mediante cruzamiento en diseño genético dialélico II de Griffín (Martínez-Garza, 1988), que considera las autofecundaciones e hijos. Los factores de estudio fueron la aptitud combinatoria general (ACG), la aptitud combinatoria específica (ACE), la heterosis y el vigor híbrido (heterobeltiosis). Se evaluaron en total 791 plantas de p x q cruzamientos y p parentales de café (Tabla 4.1).

Tabla 4.1.

Progenitores y progenies utilizadas en la investigación.

HIBRIDO	MADRE	PADRE	Total
021-100	Catimor CIFC-P1	Bourbon amarillo	70
021-101	Catimor CIFC-P1	Caturra rojo	43
021-102	Catuaí amarillo	Acawa	17
021-104	Bourbon amarillo	Acawa	33
021-105	Bourbon amarillo	Tipica	25
021-106	Acawa	Tipica	14
021-107	Arara	Catucái 785-15	24
021-108	Arara	Gheisha	27
021-109	Arara	Catucái – 2 SL	30
Acawa			83
Arara			54
Burbon amarillo			83
Catimor CIFC-P1			84
Catuaí amarillo			28
Catucái-2 SL			28

Catucai 785-15	30
Caturra rojo-pichilingue	38
Gheisha	26
Típica	54
Total Padres	508
Total Progenies	283
Total	791

Fuente: Parrales y Gabriel (2023), Ortiz y Gabriel (2024)

Diseño Experimental

El experimento fue implementado en un diseño Completamente Aleatorio (DCA) con 19 tratamientos (Gabriel *et al.*, 2022).

Se evaluó la altura de planta (ADP) en cm, el diámetro de tallo (DDT) en mm, el número de pares de hoja (PDH), el largo de hoja (LDH) en cm, el ancho de hoja (cm) (ADH) en cm y el área Foliar (AF) en (cm²). El AF se calculó con la siguiente formula: $AF = \pi * \text{largo de hoja} * \text{ancho de hoja}$.

Análisis estadístico

Sobre la base del modelo definido y previo análisis de normalidad y homogeneidad de varianza para cada caso, se realizará el ANOVA para datos balanceados, para probar hipótesis de los efectos fijos, así como las comparaciones de medias de los tratamientos mediante la prueba de Tukey ($P < 0,05$) (Gabriel *et al.*, 2022). El ANOVA de los datos también servirá para estimar los componentes de varianza para los efectos aleatorios. Los análisis indicados fueron realizados utilizando el software INFOSTAT (InfoStat, 2020) y para determinar la ACG, la ACG y los componentes genéticos se utilizó el Proc MIXED de SAS (SAS University, 2020).

Modelo estadístico genético

Para el análisis genético se evaluó el material mejorado tomando en cuenta a los progenitores de cada familia como factores. Para el cálculo de la ACG, los factores serán de interés particular (fijos); para el cálculo de heredabilidades serán de interés poblacional (aleatorios); las cruas se realizaron bajo el diseño genético de dialélico II de Griffin (Martínez – Garza, 1988).

Manejo específico de la investigación

En la Finca Andil se cuenta con una parcela donde están establecida una parcela in vivo con 20 cultivares e híbridos de café. Fueron seleccionadas entre 3 a 5 ramas de 10

accesiones progenitoras seleccionadas por su resistencia a roya (Gabriel *et al.*, 2023), resistencia a la broca (Gabriel y Fienco, 2026a), rendimiento y calidad de taza. Las flores de estas ramas fueron emasculadas un día antes de su polinización y cubiertas con fundas de papel madera para evitar se polinicen con otras accesiones no deseables. Luego se colectaron las flores del progenitor macho y se dejaron secar en bandejas en semi-sombra, para al día siguiente polinizar las flores emasculadas. Las nuevas cruza fueron cubiertas con el mismo papel madera hasta que haya prendimiento y formación de frutos, luego del cual se sacó las fundas y los cruzamientos fueron identificados mediante un código, iniciado con la palabra UNESUM , el año de cruza y la familia (que de 100 hasta el 109).

Posteriormente a los cuatro a cinco meses se inició la cosecha en estado de cereza o madurez completa. Se despulpo cada familia con mucho cuidado para no mezclarlas previa fermentación de tres días, luego del cual se lavó para eliminar el mucilago de la semilla. Las semillas fueron puestas en bañadores para seleccionar las semillas con embrión y las que no tenían se eliminaron, posteriormente las semillas seleccionadas fueron secadas bajo semisombra y almacenadas en fundas de papel madera hasta su almacigado en vivero.

Luego se construyeron semilleros para almacigar la semilla obtenida, para la construcción del semillero se utilizaron materiales de la finca como caña guadua, madera, clavos, hojas de cadí, entre otros. Se construyeron un total de tres semilleros de 1 x 5 x 0,20 m.

Una vez que estuvo preparado el semillero, se procedió a humedecer y desinfectar con Captan, la cual se usó en dosis de 30 gramos por cada 5 litros de agua, logrando así evitar problemas de mal de semillero o damping off.

Posterior a la desinfección del semillero, se realizó la respectiva siembra de las semillas, misma que previamente fueron seleccionadas, descartando caracoles, triángulos u otros defectos, y se ubicaron las semillas entre líneas de 5 centímetros, cuidando de no mezclar los tratamientos.

El riego del semillero se ejecutó mediante las necesidades que presento el cultivo, en la cual se empleó una regadora manual, además se cubrió con plástico negro a los tratamientos con el fin de propiciarles una temperatura adecuada en la etapa de germinación.

Las malezas se controlaron de manera manual evitando causar daño a las plantas en el momento de la ejecución de este manejo.

Cuando las plantas estuvieron en estado de chapola se trasplantaron a bolsas negras de polietileno de 6 x 8 pulgadas. El sustrato de las fundas se preparó mezclando abono orgánico (humus) con tierra negra y arena de río, bien descompuesto y mezclados en las proporciones de 60% de tierra negra, 25% de abono orgánico (humus) y 15% de arena de río.

El trasplante se realizó sobre sustrato humedecido hasta cerca de su nivel de saturación. Se hizo un hoyo en la parte central de la funda de 8 a 10 cm de profundidad, empleando un palo. Inmediatamente después, la plantita se colocó cuidadosamente en el hoyo, con la raíz en posición correcta, y se enterró hasta el nivel del cuello, presionando suavemente en las partes laterales.

Una vez trasplantadas las plantas a las fundas, se desinfectó con un fungicida de amplio espectro. Se descartó todas las plantitas con raíces deformes (bifurcadas o pata de gallina), torcidas, sin pelos absorbentes o enfermas. Solo se trasplantó las plantas vigorosas y con sistema radicular bien formado.

Los riegos fueron hechos periódicamente, según las necesidades hídricas de las plantas, evitando el déficit y los excesos de agua. Se hizo deshierbes manuales.

Cuando comenzó el proceso de germinación se procedió a la toma de datos. Los resultados se tabularon. Para determinar la variable altura de planta, largo de hoja y ancho de hoja se evaluaron con la ayuda de un flexómetro en cm, para el diámetro de tallo se utilizó un calibrador digital, y un calibrador digital en mm y se contó número de pares de hojas. Después de culminar la toma de datos de las variables evaluadas en la investigación, se procedió a tabular, seguidamente a realizar el análisis estadístico utilizando el software Infostat y el SAS University y obtener los correspondientes resultados.

Resultados

La Tabla 4.2., muestra el número de polinizaciones realizadas, el número de semillas obtenidas, almacenadas y las plantas obtenidas para campo. Se logró realizar en total 1894 cruzamientos, para obtener 1722 semillas, luego fueron seleccionadas 1477 semillas viables y en almácigo fueron seleccionadas 791 plantas para su transplante definitivo a campo (Parrales y Gabriel, 2023, Ortiz y Gabriel, 2024).

Tabla 4.2.

Número de polinizaciones, el número de semillas obtenidas, almacenadas y plantas obtenidas para campo.

Cruza	Madre	Padre	No. de flores polinizadas	No. de semillas obtenidas	No. de semillas almacenadas	No. de plantas obtenidas
021-100	Catimor CIFC-P1	Bourbon amarillo	132	120	102	70
021-101	Catimor CIFC-P1	Caturra roja	138	125	106	43
021-102	Catuai amarillo	Acawa	154	140	119	17
021-104	Bourbon amarillo	Acawa	132	120	102	33
021-105	Bourbon amarillo	Tipica	116	105	89	25
021-106	Acawa	Tipica	132	120	102	14
021-107	Arara	Catucai 785-15	110	100	85	24
021-108	Arara	Gheisha	127	115	98	27
021-109	Arara	Catucai – 2 SL	116	105	89	30
	Acawa		121	110	95	83
	Arara		79	71	62	54
	Bourbon amarillo		121	110	95	83
	Catimor CIFC-P1		122	111	97	84
	Catuai amarillo		41	37	32	28
	Catucai 2- SL		41	37	32	28
	Catucai 785-15		44	40	35	30
	Caturra rojo-Pichilingue		55	50	44	38
	Gheisha		38	34	30	26
	Típica		79	71	62	54
Total Padres			739	672	584	508
Total Progenies			1155	1050	893	283
Total			1894	1722	1477	791

Análisis de varianza

Previo al análisis de varianza, se determinó la normalidad y homogeneidad de los datos. Los datos de las variables evaluadas cumplen la condición de normalidad mediante prueba de Shapiro – Wilk (altamente significativo al $P < 0,01$) y homogeneidad de varianzas según la prueba de Levin (significativo al $P < 0,05$). Las asimetrías son menores o mayores a cero y las kurtosis son menores o mayores a 3. En base a los análisis donde

se cumplen los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas se decidió continuar con los análisis de varianza,

En la Tabla 4.3, se observa que hubo diferencias altamente significativas ($P < 0,01$) para Genotipos, en las variables ADP, DDT, NPH, LDH, ADH y AF. Los CV estuvieron entre 15 a 39%.

Tabla 4.3.

Análisis de varianza para caracteres agro-morfológicos.

FV	gl	Cuadrados medios					
		ADP	DDT	NPH	LDH	ADH	AF
Genotipo	8	155,36**	1,58**	22,30**	76,80**	19,31**	85,14**
Error	29	3,90	0,09	1,10	1,82	0,45	2,03
Total	47						
CV		28,35	14,24	28,74	37,13	28,35	28,00

*: Significativo al $P < 0,05$, **: Altamente significativo al $P < 0,01$, ns: No significativo.
ADP: Altura de planta, DDT: Diámetro de tallo, NPH: número de pares de hojas, LDH: Longitud de hoja, ADH: Ancho de hoja y AF: área foliar.

En la Tabla 4.4, la comparación de medias mediante la prueba múltiple de Tukey ($P < 0,05$), fue notorio el comportamiento diferenciado de los parentales y las progenies evaluadas; así el progenitor Típica fue sobresaliente y significativo ($P < 0,05$) para ADP, DDT, LDH, ADH y AF. En cambio, la progenie 021-104 fue sobresaliente significativamente para NPH.

Tabla 4.4.

Análisis de medias para caracteres morfo-agronómicos de los genotipos evaluados.

Genotipo	ADP	DDT	NPH	LDH	ADH	AF
Típica	9,00a	21,00a	3,98 bcd	6,39 ab	3,43ab	74,16a
021-105	8,71a	1,96cde	5,07 a	6,81 a	3,48a	74,04a
Catucai 785-15	8,55ab	2,26ab	3,87 cde	4,43cde	2,73de	40,63bcd
021-101	8,35ab	1,84ef	3,00 ef	2,55g	1,66gh	13,29fg
021-100	8,34ab	1,85ef	3,00 ef	2,55g	1,66gh	13,32fg
Catimor CIFC-P1	8,16ab	1,86ef	3,00 ef	2,58g	1,65gh	50,27b
021-104	8,15ab	2,06bcde	5,42 a	5,61 abc	2,79cd	12,60fg
Caturra rojo-Pichilingue	7,98ab	1,78f	3,00 ef	2,48g	1,62hg	43,54bc
Acawa	7,86ab	2,25ab	4,52 abc	5,18bcd	2,20def	43,54bc
Bourbon amarillo	7,66ab	1,88ef	3,92 bcde	4,00def	2,12efg	29,62cdefg
021-107	7,55ab	1,91de	3,30 def	2,82fg	1,79fgh	16,78efg
021-106	6,89bc	2,36a	3,43 def	3,38efg	2,62de	28,08cdefg
Arara	5,17cd	2,08bcde	3,24 def	2,86fg	2,78d	25,18cdefg
Catuai amarillo	5,11cd	2,21abc	4,86 ab	3,05fg	1,69fgh	16,83efg
021-102	4,08de	2,17bcde	3,62 cdef	2,35g	1,48h	10,87g
021-108	3,25e	2,05bcde	3,39 def	2,72g	3,98a	33,95bcde
Gheisha	3,16e	2,24ab	2,77 f	2,49g	2,72de	21,50efg
021-109	3,11e	2,16 abcd	2,67 f	2,51g	2,83bcd	22,41defg
Catucai-2 SL	2,99e	2,31ab	3,54 def	2,90fg	3,41abc	31,12cdefg
DSH	1,81	0,27	0,95	1,23	0,62	18,88

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($P < 0,05$). AP: Altura de planta, DDT: Diámetro de tallo, NPH: número de pares de hojas, LDH: Longitud de hoja, ADH: Ancho de hoja y AF: área foliar. **021-100:** Catimor CIFC-P1 x Bourbon amarillo, **021-101:** Catimor CIFC-P1 x Caturra roja, **021-102:** Catuai amarillo x Acawa, **021-104:** Bourbon amarillo x Acawa, **021-105:** Bourbon amarillo x Típica, **021-106:** Acawa x Típica, **021-107:** Catucai 785-15 x Arara, **021-108:** Arara x Gheisha, **021-109:** Arara x Catucai 25L.

Aptitud Combinatoria General (ACG)

Se calculó la ACG para ADP, DDT, NPH y AF. Los resultados obtenidos en la Tabla 4.5, expresan la existencia de diferencias altamente significativas ($P<0,01$) entre las ACG de todos los progenitores, indicando esto que se obtuvo una gran diversidad de progenies que mostraron una amplia diversidad en las variables evaluadas, de las cuales algunos de los cruzamientos denotaron una mejor ACE.

Tabla 4.5.

ACG de siete progenitores de café para las variables agro-morfológicas.

Progenitor	Aptitud Combinatoria General (ACG)			
	ADP	DDT	NPH	AF
Catimor CIFC-P1	8.34**	1.84**	3.00**	13.30**
Catuai amarillo	4.08**	2.17**	3.61**	10.86**
Acawa	6.89**	2.36**	3.42**	28.08**
Bourbon Amarillo	8.42**	2.01**	5.24**	58.53**
Catucai 785-15	7.55**	1.91**	3.30**	16.78**
Arara	3.25**	2.07**	3.39**	33.95**
Catucai-2 SL	3.11**	2.16**	2.67**	22.41**

** : Altamente significativo ($P<0,01$). ADP: Altura de planta, DDT: Diámetro de tallo, NPH: número de pares de hojas, LDH: Longitud de hoja, ADH: Ancho de hoja y AF: área foliar.

Heterosis y vigor híbrido (heterobeltiosis)

La Tabla 4.6, muestra los promedios de ADP, donde se puede observar que en cuatro cruzamientos hubo manifestación de heterosis y vigor híbrido, así los padres de la cruce Catimor CIFC x Bourbon amarillo, mostraron un promedio de 6,06 cm de ADP, en cambio las progenies tuvieron 6,39 de ADP. Asimismo, se observa en las cruces Bourbon amarillo x Típica que tuvieron un promedio de ADP de 8,71 cm y los padres tuvieron un promedio de 7,15 cm, Acawa x Típica tuvieron un promedio de ADP de 6,89 y los padres tuvieron 5,61 cm de ADP.

Tabla 4.6.

Heterosis y vigor híbrido (heterobeltiosis) de cuatro cruzas de café para ADP.

Código	Cruzamientos	Padres	Progenies
021-100	Catimor CIFC x Bourbon amarillo	6,06	6,39
021-101	Catimor CIFC x Caturra rojo	5,60	5,57
021-105	Bourbon amarillo x Típica	7,15	8,71
021-106	Acawa x Típica	5,61	6,89

Heredabilidad

Se determinó la heredabilidad en sentido estricto (h^2) de ADP, como un carácter cuantitativo (Tabla 4.7), determinándose valores de heredabilidad en sentido estrecho bajos ($h^2 = 0,5\%$ a 22%). Con excepción 021-102, que mostró una heredabilidad en sentido estrecho moderado ($h^2 = 36\%$).

Tabla 4.7.

Heredabilidad de la ADP en nueve progenies de café.

Carácter	Familias								
	021-100	021-101	021-102	021-104	021-105	021-106	021-107	021-108	021-109
AP	0,14	0,22	0,36	0,03	0,10	0,04	0,005	0,20	0,05
Porcentaje	14	22	36	3	10	4	0,5	20	5

021-100: Catimor CIFC x Bourbon amarillo, **021-101:** Catimor CIFC x Caturra roja, **021-102:** Catuai amarillo x Acawa, **021-104:** Bourbon amarillo x Acawa, **021-105:** Bourbon amarillo x Típica, **021-106:** Acawa x Típica, **021-107:** Catuai 785-15 x Arara, **021-108:** Arara x Gheisha, **021-109:** Arara x Catuai-2 SL.

Etapa 2: 2024-2025

En esta etapa se realizó la selección clonal de los mejores genotipos. Para esto se evaluaron 9 progenitores y 67 progenies (Tabla 4.8) (Gutiérrez y Gabriel, 2025).

Tabla 4.8.

Progenitores y progenies utilizadas en la investigación.

Genotipos	Madre	Padre
021-100-1	Catimor CIFC-P1	Bourbon amarillo
021-100-2		
021-100-3		
021-100-4		
021-100-5		
021-100-6		
021-101-1	Catimor CIFC-P1	Caturra rojo
021-101-2		
021-101-3		
021-101-4		
021-101-5		
021-101-6		
021-101-7		
021-101-8		
021-101-9		
021-101-10		
021-102-1	Catuaí amarillo	Acawa
021-102-2		
021-102-3		
021-102-4		
021-102-5		
021-102-6		
021-104-1	Bourbon amarillo	Acawa
021-104-2		
021-104-3		
021-104-4		
021-104-5		
021-105-1	Bourbon amarillo	Tipica
021-105-2		
021-105-3		
021-105-4		
021-105-5		
021-105-6		
021-105-7		
021-105-8		
021-106-1	Acawa	Tipica
021-106-2		
021-106-3		
021-106-4		
021-106-5		

021-106-6		
021-106-7		
021-106-8		
021-106-9		
021-107-1	Arara	Catucai 785-15
021-107-2		
021-107-3		
021-107-4		
021-108-1	Arara	Gheisha
021-108-2		
021-108-3		
021-108-4		
021-108-5		
021-108-6		
021-108-7		
021-109-1	Arara	Catucai-2 SL
021-109-2		
021-109-3		
021-109-4		
021-109-5		
021-109-6		
021-109-7		
021-109-8		
021-109-9		
021-109-10		
021-109-11		
021-109-12		
Acawa		
Arara		
Bourbon amarillo		
Catimor CIFC-P1		
Catucai-2 SL		
Catucai amarillo		
Caturra rojo-Pichilingue		
Geisha		
Típica		

El experimento fue implementado en un diseño de bloques incompletos desbalanceado con una repetición con 67 tratamientos y 9 testigos (Gabriel *et al.*, 2022).

Se realizó el análisis de normalidad mediante el estadístico de Shapiro-Wilks ($P < 0,05$), para las variables cuantitativas, y el análisis de homogeneidad de varianza, mediante la prueba de Levene ($P < 0,05$) (Gabriel *et al.*, 2022)

Para determinar el ANOVA de las variables morfo-agronómicas se realizó un análisis para un diseño de bloques incompletos desbalanceado con una repetición. El ANOVA se determinó para la interacción de los genotipos x años

Prueba de comparación de medias

Sobre la base del modelo definido y previo análisis de normalidad y homogeneidad de varianza para cada caso, se realizó el ANOVA para datos balanceados, para probar hipótesis de los efectos fijos, así como las comparaciones de medias de los tratamientos mediante la prueba de Tukey ($P < 0,05$). El ANOVA de los datos también sirvió para estimar los componentes de varianza para los efectos aleatorios. Los análisis indicados fueron realizados utilizando el software Infostat (2020).

Las variables que no se ajustaron a la normalidad y homogeneidad de varianzas como el número de frutos por planta (NDF) y el porcentaje de incidencia de roya (Pinc) y el porcentaje de severidad (Psev), se analizaron mediante estadística no paramétrica de Kruskal y Wallis (Gabriel *et al.*, 2022)

Variables evaluadas

Altura de planta (ADP), grosor del tallo (ADT), distancia de entrenudos (DEEN), número de entrenudos (NDN), número de pares de hoja (NPDH), Área Foliar (cm^2) (AF), que fue estimada utilizando la aplicación de easy leaf Área del Play Store (Ming & Bloom, 2014), número de frutos por planta (NDF), Porcentaje de incidencia de la roya por planta (Pinc), que se evaluó en cada planta afectada por la roya, determinando el porcentaje de hojas afectadas respecto del total de hojas y multiplicado por 100. Así mismo se evaluó la interacción genotipo x ambiente para GDT en los tres años de evaluación de los genotipos.

Manejo específico de la investigación

La parcela experimental se encuentra establecida en la Finca Andil de la Universidad Estatal del Sur de Manabí en una parcela en diseño experimental de bloques incompletos desbalanceado con una repetición. Las plantas fueron fertilizadas con un fertilizante completo (30-30-30) aplicando al suelo en una cantidad de 25 g/planta. El deshierbe fue manual y se hicieron los vasos de cada planta manualmente. Se aplicó un biol al follaje durante dos oportunidades, para fortalecer las plantas.

La toma de datos se realizó en cada planta de cada uno de los genotipos. Estos datos fueron sistematizados en Excel. La base de datos de tres años fue analizada mediante el software infostat (2020).

Resultados

Análisis de normalidad y homogeneidad de varianzas

Los datos tuvieron distribución normal con la prueba de Shapiro – Wilk ($P < 0,05$), observándose que no hubo diferencias significativa y los valores de la asimetría estuvieron cercanos a cero, y los valores de kurtosis fueron menos a 3. El análisis de homogeneidad de varianzas con la prueba de Levene ($P < 0,05$), no fue significativo, y los datos mostraron homogeneidad de varianzas. Sin embargo, las variables número de frutos (NDF), y porcentaje de incidencia de la roya por planta (Pinc) no fueron normales y tampoco se logró ajustar a la normalidad transformado a raíz cuadrada ($\sqrt{x + 0,5}$). Por lo que estas variables se analizaron con estadística no paramétrica de Kruskal-Wallis, apropiado para este tipo de variables que no cumplen los supuestos normalidad y homogeneidad de varianzas.

Análisis de los caracteres morfo-agronómicos

No hubo diferencias significativas ($P < 0,05$) para los genotipos en las variables morfo-agronómicas GDT, DEEN, NDPD y AF. La ADP mostró significancia ($P < 0,05$) entre genotipos. Los coeficientes de variación (CV) estuvieron entre el 25% a 34% (Gutiérrez y Gabriel, 2025).

En la Tabla 4.9, la comparación de medias mediante la prueba múltiple de Tukey ($P < 0,05$), no mostró diferencias significativas entre los genotipos y parentales evaluados.

Tabla 4.9.

Análisis de medias para caracteres agro-morfológicos de genotipos evaluados.

Genotipos	ADP	ADT	DEEN	NDN	NDPH	AF
021-107-1	25,00	8,50	4,31	6,00	2,33	38,92
021-100-1	26,00	5,35	1,63	4,00	1,00	25,08
021-107-4	26,00	7,44	5,40	5,00	1,00	26,30
021-101-5	26,00	5,35	1,63	4,00	2,14	53,66
021-107-2	32,00	12,40	4,81	8,00	1,33	36,08
021-104-2	38,00	5,44	3,83	6,00	2,67	52,83
021-100-3	38,00	5,44	3,83	6,00	1,00	19,75
021-101-7	38,00	5,44	3,83	8,00	2,00	60,46
021-108-2	39,00	7,73	6,25	4,00	2,00	60,46
021-109-8	39,00	7,73	6,25	4,00	1,33	36,08

021-106-1	39,00	7,73	6,25	4,00	1,25	54,71
021-107-3	42,00	11,53	5,57	7,00	4,00	57,91
Catucaí amarillo	42,33	7,09	4,41	5,33	2,31	53,87
021-109-6	43,00	8,21	3,60	10,00	2,42	55,71
021-102-2	45,00	8,50	4,31	8,00	1,80	49,99
021-105-6	45,00	8,50	4,31	8,00	3,14	47,19
021-101-6	46,00	7,63	5,80	5,00	1,00	19,75
021-100-2	46,00	7,63	5,80	5,00	2,14	53,66
021-104-1	46,00	7,63	5,80	5,00	1,80	49,99
021-100-5	50,00	6,19	5,90	5,00	1,25	54,71
021-104-4	50,00	6,19	5,90	5,00	2,42	55,71
021-109-4	50,00	7,44	5,40	5,00	2,67	52,83
021-102-5	50,00	7,44	5,40	5,00	2,42	55,71
021-105-1	50,00	6,19	5,90	5,00	2,67	52,83
021-109-11	52,00	12,40	5,00	6,00	2,14	53,66
021-108-4	52,00	13,13	5,00	6,00	1,80	49,99
021-106-4	52,00	13,13	5,00	6,00	1,83	53,08
021-108-1	55,00	8,54	5,00	5,00	1,00	19,75
021-109-7	55,00	8,54	7,32	5,00	2,00	59,94
Típica	57,42	8,50	4,75	7,00	1,91	48,30
021-106-3	58,00	4,80	6,25	4,00	2,67	52,83
021-109-10	58,00	12,15	9,06	8,00	1,00	25,08
Bourbon amarillo	58,33	10,61	4,90	7,11	1,70	43,89
Catimor CIFC-P1	58,50	9,45	6,52	5,17	2,18	48,49
021-106-2	62,00	11,42	6,60	5,00	1,80	49,99
021-108-3	62,00	11,42	6,60	5,00	1,25	54,71
021-109-9	62,00	11,42	6,60	5,00	1,00	49,99
021-106-9	62,00	4,80	5,29	7,00	3,14	25,08
021-101-3	62,00	12,15	5,29	7,00	1,25	47,19
021-102-6	63,00	11,72	5,00	8,00	1,80	49,99
021-109-5	63,00	11,72	7,32	7,00	1,83	53,08
021-105-3	64,50	12,40	4,81	8,00	2,42	55,71
021-102-3	64,50	12,40	4,81	8,00	2,67	52,83
021-101-10	64,50	12,40	4,81	8,00	2,67	52,83
021-105-7	64,50	12,40	4,81	8,00	1,00	25,08
Catucaí-2 SL	64,50	9,96	6,44	6,00	2,31	53,87
021-109-1	64,50	11,30	4,81	8,00	1,33	60,46
021-105-4	66,00	11,53	5,57	7,00	2,00	59,94
02-102-4	66,00	11,53	5,57	7,00	1,83	53,08
021-105-8	66,00	11,53	5,57	7,00	3,14	53,66
021-109-2	66,00	11,53	5,57	7,00	1,25	54,71
Acawa	69,67	10,34	6,47	8,67	1,70	49,17
021-105-5	70,00	13,18	7,00	8,00	2,14	36,08
021-109-12	70,00	13,18	7,00	8,00	1,00	19,75
021-106-5	70,00	13,18	7,00	8,00	2,42	55,71
021-108-5	70,00	13,18	7,00	8,00	2,67	52,83
Caturra rojo	73,00	9,82	6,93	5,67	2,00	32,83
02-102-1	79,00	11,30	8,60	7,00	1,38	54,71

021-100-6	79,00	11,30	8,60	5,00	1,80	49,99
021-101-9	79,00	11,30	8,60	5,00	1,80	49,99
021-108-7	79,00	11,30	8,60	5,00	2,42	55,71
021-105-2	79,00	11,30	8,60	5,00	1,83	53,08
021-104-5	79,00	11,30	8,60	5,00	2,00	59,94
021-106-6	84,00	12,97	6,75	5,00	2,00	59,94
021-108-6	84,00	12,97	6,75	10,00	1,83	53,08
Arara	85,11	4,09	7,54	8,56	2,00	50,18
Geisha	90,00	11,97	6,29	8,00	1,00	25,08
021-104-3	90,00	11,97	6,29	7,00	1,83	53,08
021-101-8	90,00	11,97	6,29	5,00	1,25	54,71
021-100-4	90,00	11,97	6,29	7,00	2,00	60,46
021-101-2	90,00	2,27	7,78	9,00	1,33	36,08
021-106-8	90,00	2,27	7,78	9,00	3,14	47,19
021-106-7	96,00	2,49	9,06	8,00	1,33	36,08
021-109-3	96,00	2,49	9,06	8,00	1,80	47,19
021-101-1	96,00	2,49	9,06	8,00	2,00	59,94
021-101-4	97,00	5,61	6,40	10,00	1,00	25,08
DSH	96,91	17,97	9,22	14,14	3,72	82,32
	ns	ns	ns	ns	ns	ns

ns: no significativo. ADP: altura de planta (cm), GDT: grosor de tallo (mm), DEEN: distancia de entrenudos (cm), NDN: número de entrenudos, NPDH: número de pares de hojas, AF: área foliar (cm²), **021-100**: Catimor CIFC x Bourbon amarillo, **021-101**: Catimor CIFC x Caturra rojo, **021-102**: Catuai amarillo x Acawa, **021-104**: Bourbon amarillo x Acawa, **021-105**: Bourbon amarillo x Típica, **021-106**: Acawa x Típica, **021-107**: Catuai 785-15 x Arara, **021-108**: Arara x Gheisha, **021-109**: Arara x Catuai-2 SL.

Se determinó mediante la prueba de Kruskal y Wallis (Tabla 4.10) que las variables morfo-agronómicas como NDF y Pinc, mostraron diferencias significativas ($P < 0,05$) entre los genotipos evaluados, denotando una alta cantidad de frutos en los genotipos 021-101-10 (Catimor CIFC-P1x Caturra roja), 021-100-1, 021-100-2 y 021-100-3 (Catimor CIFC-P1 x Bourbon amarillo).

Los genotipos más afectados por la roya fueron el 021-108-3 (Arara x Gheisha), 021-102-2 (Catuai amarillo x Acawa) y 021-100-2 (Catimor CIFC x Bourbon amarillo).

Se observó que hubo diferentes niveles de resistencia entre los genotipos evaluados, desde los que mostraron inmunidad (0% incidencia) hasta alta incidencia (50% de incidencia). Fue notorio, que entre los genotipos de la misma familia hubo diferencias de la incidencia de roya.

Tabla 4.10.*Análisis de Kruskal y Wallis para número de frutos y porcentaje de incidencia de roya.*

NDF				Pinc			
Genotipo	Median a	H	p - valor	Genotipo	Mediana	H	p - valor
021-100-1	231,00	69,26	0,03	021-108-3	50,00	32,18	0,05
021-101-10	196,00			02-102-2	39,00		
021-100-3	162,00			021-100-2	36,00		
021-100-2	115,00			021-101-5	15,00		
021-109-10	61,00			021-101-6	13,00		
021-109-6	45,00			021-100-3	12,00		
021-108-2	45,00			021-105-2	10,00		
021-106-6	44,00			021-100-5	8,30		
021-108-1	40,00			021-101-1	7,40		
Catimor CIFC-P1	39,50			021-100-1	6,70		
021-104-3	35,00			021-107-2	5,80		
021-109-11	32,00			Catimor CIFC-P1	5,00		
021-108-3	30,00			02-102-3	0,00		
021-101-6	29,00			02-102-4	0,00		
021-109-7	20,00			02-102-5	0,00		
021-104-5	19,00			02-102-6	0,00		
021-108-4	14,00			021-100-4	0,00		
Catucái amarillo	13,00			021-100-6	0,00		
021-104-2	13,00			021-101-10	0,00		
021-101-2	12,00			021-101-2	0,00		
Geisha	11,25			021-101-3	0,00		
021-101-1	11,00			021-101-4	0,00		
021-109-12	10,00			021-101-7	0,00		
021-104-4	10,00			021-101-8	0,00		
021-106-5	8,00			021-101-9	0,00		
021-104-1	8,00			021-104-1	0,00		
021-106-4	7,00			021-104-2	0,00		
021-106-3	6,00			021-104-3	0,00		
021-109-2	5,00			021-104-4	0,00		
021-109-3	4,00			021-104-5	0,00		
021-101-7	2,00			021-105-1	0,00		
021-101-3	1,00			021-105-3	0,00		
Típica	0,00			021-105-4	0,00		
Caturra rojo	0,00			021-105-5	0,00		
Catucái-2 SL	0,00			021-105-6	0,00		
Bourbon amarillo	0,00			021-105-7	0,00		
Arara	0,00			021-105-8	0,00		
Acawa	0,00			021-106-1	0,00		
021-109-9	0,00			021-106-2	0,00		
021-109-8	0,00			021-106-3	0,00		
021-109-5	0,00			021-106-4	0,00		

021-109-4	0,00	021-106-5	0,00
021-109-1	0,00	021-106-6	0,00
021-108-7	0,00	021-106-7	0,00
021-108-6	0,00	021-106-8	0,00
021-108-5	0,00	021-106-9	0,00
021-107-4	0,00	021-107-1	0,00
021-107-3	0,00	021-107-3	0,00
021-107-2	0,00	021-107-4	0,00
021-107-1	0,00	021-108-1	0,00
021-106-9	0,00	021-108-2	0,00
021-106-8	0,00	021-108-4	0,00
021-106-7	0,00	021-108-5	0,00
021-106-2	0,00	021-108-6	0,00
021-106-1	0,00	021-108-7	0,00
021-105-8	0,00	021-109-1	0,00
021-105-7	0,00	021-109-10	0,00
021-105-6	0,00	021-109-11	0,00
021-105-5	0,00	021-109-12	0,00
021-105-4	0,00	021-109-2	0,00
021-105-3	0,00	021-109-3	0,00
021-105-2	0,00	021-109-4	0,00
021-105-1	0,00	021-109-5	0,00
021-101-9	0,00	021-109-6	0,00
021-101-8	0,00	021-109-7	0,00
021-101-5	0,00	021-109-8	0,00
021-101-4	0,00	021-109-9	0,00
021-100-6	0,00	02-102-1	0,00
021-100-5	0,00	Acawa	0,00
021-100-4	0,00	Arara	0,00
02-102-6	0,00	Bourbon amarillo	0,00
02-102-5	0,00	Catucaí 25L	0,00
02-102-4	0,00	Catucaí amarillo	0,00
02-102-3	0,00	Caturra roja	0,00
02-102-2	0,00	Gheisha	0,00
02-102-1	0,00	Típica	0,00

021-100: Catimor CIFC-P1 x Bourbon amarillo, **021-101:** Catimor CIFC-P1 x Caturra roja, **021-102:** Catucai amarillo x Acawa, **021-104:** Bourbon amarillo x Acawa, **021-105:** Bourbon amarillo x Típica, **021-106:** Acawa x Típica, **021-107:** Catucai 785-15 x Arara, **021-108:** Arara x Gheisha, **021-109:** Arara x Catucai-2 SL, NDF: Número de frutos, Pinc: Porcentaje de incidencia de roya por planta

En un reciente estudio realizado en los genotipos descritos (Tabla 4.10) en el Departamento de Biotecnología de la Estación Experimental de Santa Catalina en Quito, Ecuador (Morillo, 2026), donde se aplicó tres primers (iniciadores) de tipo microsatélite (SSR) asociados con la resistencia a roya como Sat160, Sat244, Sat281 (Mahé *et al.*, 2008, Nagaño *et al.*, 2022) y dos primers de tipo SCAR, como BA-48-21O-f y BA-124-

12K-f (Mahé *et al.*, 2008, Nagaño *et al.*, 2022).). Se determinó que hubo polimorfismo, denotando la asociación con los genes de resistencia a la roya.

Análisis de la interacción Genotipo x Ambiente

La Tabla 4.11, muestra el análisis de varianza para genotipo, años e interacción genotipo x años. La interacción genotipo x ambiente fue altamente significativa ($P < 0,0001$), siendo el efecto simple más importante que los efectos principales (genotipo y ambiente).

Tabla 4.11.

Análisis de la interacción genotipo x ambiente de la variable grosor de tallo.

F.V.	gl	SC	CM	F	p-valor
Genotipo	76	2315,64	30,47	28,97	<0,0001**
Ambiente	2	4970,73	2485,37	2363,49	<0,0001**
Genotipo*Ambiente (año)	120	789,06	6,58	6,25	<0,0001**
Error	535	562,59	1,05		
Total	733	8638,03			
CV	27,17				

** : altamente significativo ($P < 0,05$).

El análisis de las medias mediante la prueba múltiple de Tukey ($P < 0,05$), mostró diferencias significativas entre las progenies para grosor de tallo (GDT), denotándose que algunos genotipos interaccionaron mayormente en el segundo y tercer año (Tabla 4.12).

Tabla 4.12.

Interacción Genotipo x Ambiente del ancho de tallo (ADT).

Genotipo	año	Medias
021-109-12	2	13,18 a
021-106-5	2	13,18 a
021-109-12	3	13,18 a
021-105-5	3	13,18 a
021-106-5	3	13,18 a
021-108-5	3	13,18 a
021-109-11	2	13,13 a
021-106-4	2	13,13 a
021-109-11	3	13,13 a
021-106-4	3	13,13 a
021-108-4	3	13,13 a
021-106-6	2	12,97 a
021-106-6	3	12,97 a
021-108-6	3	12,97 a
021-109-1	2	12,40 a

021-101-10	2	12,40 a
021-101-10	3	12,40 a
021-109-1	3	12,40 a
021-107-2	3	12,40 a
021-105-7	3	12,40 a
021-102-3	3	12,40 a
021-105-3	3	12,40 a
021-106-3	2	12,15 a
021-106-3	3	12,15 a
021-109-10	2	12,15 a
021-109-10	3	12,15 a
021-100-4	2	11,97 a
021-101-8	2	11,97 a
021-100-4	3	11,97 a
021-101-8	3	11,97 a
021-104-3	3	11,97 a
Bourbon Amarillo	2	11,88 a
021-109-5	2	11,72 a
021-109-5	3	11,72 a
021-102-6	3	11,72 a
021-109-2	2	11,53 a
021-105-4	3	11,53 a
021-105-8	3	11,53 a
021-109-2	3	11,53 a
021-107-3	3	11,53 a
021-102-4	3	11,53 a
021-106-2	2	11,42 a
021-109-9	2	11,42 a
021-106-2	3	11,42 a
021-109-9	3	11,42 a
021-108-3	3	11,42 a
021-100-6	2	11,30 a
021-101-9	2	11,30 a
021-101-9	3	11,30 a
021-100-6	3	11,30 a
021-105-2	3	11,30 a
021-104-5	3	11,30 a
021-108-7	3	11,30 a
021-102-1	3	11,30 a
Acawa	2	10,73 a
Bourbon Amarillo	3	10,61 a
Acawa	3	10,34 a
Catucai-2 SL	2	9,96 a
Catucai-2 SL	3	9,96 a
Caturra rojo	2	9,82 a
Caturra rojo	3	9,82 a
Geisha	3	9,82 a
Catimor CIFC-P1	2	9,45 a

Catimor CIFC-P1	3	9,45	a
021-109-7	2	8,54	a
021-109-7	3	8,54	a
021-108-1	3	8,54	a
021-102-2	3	8,50	a
021-105-6	3	8,50	a
021-107-1	3	8,50	a
Típica	3	8,50	a
021-109-6	2	8,21	a
021-109-6	3	8,21	a
021-109-8	2	7,73	a
021-106-1	2	7,73	a
021-109-8	3	7,73	a
021-106-1	3	7,73	a
021-108-2	3	7,73	a
021-100-2	2	7,63	a
021-101-6	2	7,63	a
021-104-1	3	7,63	a
021-100-2	3	7,63	a
021-101-6	3	7,63	a
021-109-4	2	7,44	a
021-109-4	3	7,44	a
021-102-5	3	7,44	a
021-107-4	3	7,44	a
Catuai amarillo	3	7,09	b
Típica	2	6,20	b
021-100-5	2	6,19	b
021-104-4	3	6,19	b
021-100-5	3	6,19	b
021-105-1	3	6,19	b
Arara	2	5,91	b
021-101-4	2	5,61	b
021-101-4	3	5,61	b
021-101-7	2	5,44	b
021-100-3	2	5,44	b
021-104-2	3	5,44	b
021-100-3	3	5,44	b
021-101-7	3	5,44	b
021-101-5	2	5,35	b
021-100-1	2	5,35	b
021-101-5	3	5,35	b
021-100-1	3	5,35	b
021-101-3	2	4,80	b
021-106-9	2	4,80	b
021-101-3	3	4,80	b
021-106-9	3	4,80	b
Arara	3	4,09	b
021-109-3	1	2,82	b

021-106-5	1	2,68 b
021-104-4	1	2,67 b
021-106-4	1	2,62 b
021-106-2	1	2,61 b
021-106-1	1	2,60 b
021-108-4	1	2,57 b
021-108-1	1	2,52 b
021-106-7	2	2,49 b
021-109-3	2	2,49 b
021-101-1	2	2,49 b
021-109-3	3	2,49 b
021-106-7	3	2,49 b
021-101-1	3	2,49 b
021-109-8	1	2,44 b
021-109-2	1	2,43 b
021-102-2	1	2,42 b
Tipica	1	2,41 b
021-105-5	1	2,41 b
021-108-3	1	2,41 b
021-106-9	1	2,41 b
021-105-4	1	2,38 b
021-102-3	1	2,34 b
021-106-8	1	2,33 b
Catucal-2 SL	1	2,31 b
021-106-6	1	2,30 b
021-102-6	1	2,30 b
021-108-2	1	2,29 b
021-101-2	2	2,27 b
021-106-8	2	2,27 b
021-101-2	3	2,27 b
021-106-8	3	2,27 b
Catucal 785-15	1	2,26 b
Acawa	1	2,25 b
Geisha	1	2,24 b
021-109-10	1	2,24 b
021-109-5	1	2,23 b
Catucal amarillo	1	2,21 b
021-104-5	1	2,20 b
021-109-12	1	2,20 b
021-106-7	1	2,20 b
Arara	1	2,08 b
021-104-3	1	2,06 b
021-102-1	1	2,05 b
021-109-6	1	2,05 b
021-102-5	1	2,03 b
021-104-1	1	2,01 b
021-108-5	1	2,01 b
021-106-3	1	2,00 b

021-107-3	1	2,00 b
021-105-6	1	2,00 b
021-107-1	1	2,00 b
021-107-2	1	2,00 b
021-105-8	1	1,95 b
021-109-11	1	1,94 b
021-102-4	1	1,94 b
021-105-3	1	1,94 b
021-109-7	1	1,94 b
021-104-2	1	1,91 b
021-101-9	1	1,90 b
021-100-4	1	1,90 b
021-100-6	1	1,90 b
021-100-5	1	1,90 b
021-101-6	1	1,90 b
021-101-10	1	1,90 b
021-100-3	1	1,90 b
021-101-5	1	1,90 b
021-101-3	1	1,90 b
021-107-4	1	1,90 b
021-101-4	1	1,90 b
Bourbon Amarillo	1	1,88 b
021-109-4	1	1,86 b
021-105-1	1	1,86 b
Catimor CIFC-P1	1	1,86 b
021-108-6	1	1,84 b
021-108-7	1	1,82 b
021-101-8	1	1,80 b
021-100-2	1	1,80 b
021-101-7	1	1,80 b
021-100-1	1	1,80 b
021-101-2	1	1,80 b
021-101-1	1	1,80 b
Caturra rojo	1	1,78 b
021-109-9	1	1,74 b
021-105-7	1	1,73 b
021-109-1	1	1,55 b
021-105-2	1	1,23 c

Medias con las mismas letras no son significativas (P<0,05)

Resistencia al ojo de gallo del cafeto (*Mycena citricolor*)

Gabriel *et al.* (2026c), recientemente evaluaron el uso del ácido oxálico para obtener genotipos resistentes al ojo de gallo del cafeto [*Mycena citricolor* (Berk. & M.A.Curtis) Sacc.]; para esto, fue implementado un experimento en un diseño experimental completamente aleatorio (DCA) desbalanceado con 55 tratamientos (genotipos) en el laboratorio de Biotecnología de la UNESUM. Se ubicaron 10

genotipos/bandeja con dos foliolos sueltos/genotipo, totalizando 11 bandejas. Se inoculo cada foliolo con tres gotas a cada lado de la nervadura a una concentración de 2,25 g/150 mL de ácido oxálico. Se evaluó el tamaño de lesión (TL) con un vernier en milímetros a partir del tercer día, y se continuó con la lectura diaria, durante seis días. Con los datos de TL se determinó el área bajo la curva de progreso de la lesión relativa (ABCPLr), como una medida relativa en el tiempo. Se realizó el ANOVA y la comparación de medias mediante la prueba múltiple de Tukey ($P<0,05$), una vez cumplidas los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas. Asimismo, se determinó la mejor curva de ajuste mediante el coeficiente de regresión (R^2).

Se observó en el ANOVA para el ABCPLr, que hubo diferencias significativas ($P<0,05$) para las progenies y parentales evaluados y el coeficiente de variación (CV) fue de 22,12%, apropiado para este tipo de investigación (Tabla 4.13).

Tabla 4.13.

Análisis de varianza del ABCPLr.

F.V.	Gl	SC	CM	F	p-valor
Modelo	53	3505,17	66,14	13,78	<0,0001
Genotipo	53	3505,17	66,14	13,78	<0,0001
Error	606	2909,15	4,8		
Total	659	6414,32			
CV (%)	22,12				

En la Tabla 4.14, se observa el análisis de medias con la prueba múltiple de Tukey ($P<0,05$) para los tratamientos, determinándose diferencias significativas para la variable ABCPLr, donde el mejor tratamiento fue el genotipo 021-101-4 con ABCPLr de 4,64%. El genotipo 021-106-4 fue el más susceptible con ABCPLr de 14,36%

Se denotaron diferentes niveles de resistencia al ácido oxálico (sintetizado por el hongo del ojo de gallo del cafeto (*Mycena citricolor*). Los genotipos tolerantes a la infección causada por ácido oxálico fueron los genotipos 021-101-3, 021-104-2, 021-100-6, Catimor CIFIC-P1, 021-101-5, 021-100-5, 021-101-2, Bourbon amarillo, 021-101-1, 021-101-6, 021-100-2, 021-109-7 y 021-104-1 con porcentajes de ABCPLr de 4,77% a 8,35% respectivamente (Tabla 3). Los genotipos restantes fueron susceptibles, variando el ABCPLr desde 8,56% a 14,33%.

Tabla 4.14.*Análisis de medias para el ABCPLr de cada genotipo.*

Genotipo	ABCPLr(%)
021-101-4	4,64 a
021-101-3	4,77 b
021-104-2	6,10 b
021-100-6	6,50 b
Catimor CIFC-P1	6,94 b
021-101-5	7,04 b
021-100-5	7,07 b
021-101-2	7,51 b
Bourbon amarillo	7,54 b
021-101-1	7,67 b
021-101-6	7,77 b
021-100-2	8,21 b
021-109-7	8,25 b
021-104-1	8,35 b
Catucai-2 SL	8,56 c
021-100-3	8,74 c
Acawa	8,87 c
021-108-4	8,88 c
021-104-3	9,11 c
021-109-3	9,18 c
021-100-4	9,37 c
021-109-5	9,39 c
021-109-4	9,57 c
021-100-1	9,62 c
021-109-6	9,90 d
Caturra rojo	9,92 d
021-107-2	10,13 d
021-109-2	10,56 e
Arara	10,96 f
021-105-5	10,99 f
021-106-5	11,10 f
021-105-3	11,10 f
021-108-2	11,12 f
021-109-1	11,28 g
021-106-7	11,31 g
021-105-4	11,47 h
021-106-9	11,59 i
021-106-3	11,59 i
021-105-6	11,61 i
021-105-1	11,65 i
021-108-3	11,74 i
021-108-1	11,79 i
021-106-1	11,82 i
Catucai 785-15	11,89 i
021-107-1	12,11 j
021-106-8	12,46 k
021-105-2	12,89 j
021-108-5	12,95 j
021-106-6	13,02 j
021-106-2	13,24 m
Gheisha	13,32 n

021-105-7	13,44 o
Típica	13,90 p
021-106-4	14,33 q
DSH	3,70

Medias con las mismas letras no son significativos ($P < 0,05$)

Análisis de regresión

En la Tabla 4.15, se observa un comportamiento de la curva de regresión diferenciado en las hojas por efecto del ácido oxálico en los genotipos evaluados.

En la familia 021-100 se determinó que la progenie tuvo un ajuste logarítmico con un coeficiente de regresión $R^2 = 0,84$. El progenitor hembra Catimor CIFC-P1 tuvo un coeficiente de $R^2 = 0,84$ y el progenitor macho Bourbon amarillo tuvo un coeficiente $R^2 = 0,80$, tuvieron un mejor ajuste a una curva logarítmica.

En la familia 021-101 se determinó que la progenie tuvo un ajuste logarítmico con un coeficiente de regresión de $R^2 = 0,84$. El progenitor hembra Catimor CIFC-P1 tuvo un $R^2 = 0,84$ y el progenitor macho Caturra rojo tuvo un $R^2 = 0,80$, denotando un mejor ajuste a una curva logarítmica.

En la familia 021-104 se determinó que la progenie tuvo un ajuste logarítmico con un coeficiente de regresión de $R^2 = 0,84$. El progenitor hembra Bourbon amarillo ($R^2 = 0,89$) y el progenitor macho Acawa ($R^2 = 0,50$), también tuvo un mejor ajuste a una curva logarítmica.

En la familia 021-105 se determinó que la progenie tuvo un ajuste logarítmico con un coeficiente de regresión de $R^2 = 0,80$. El progenitor hembra Bourbon amarillo ($R^2 = 0,74$) y el progenitor macho Típica ($R^2 = 0,80$), también tuvo un mejor ajuste a una curva logarítmica.

En la familia 021-106 se determinó que la progenie tuvo un ajuste logarítmico con un coeficiente de regresión de $R^2 = 0,80$. El progenitor hembra Arara ($R^2 = 0,85$) y el progenitor macho Catucaí 785-15 ($R^2 = 0,70$), también tuvo un mejor ajuste a una curva logarítmica.

En la familia 021-107 se determinó que la progenie tuvo un ajuste logarítmico con un coeficiente de regresión de $R^2 = 0,71$.

En la familia 021-108 se determinó que la progenie tuvo un ajuste logarítmico con un coeficiente de regresión de $R^2 = 0,59$. El progenitor hembra Arara ($R^2 = 0,77$) y el

progenitor macho Gheisha ($R^2 = 0,77$), también tuvo un mejor ajuste a una curva logarítmica.

En la familia 021-109 se determinó que la progenie tuvo un ajuste logarítmico con un coeficiente de regresión de $R^2 = 0,59$. El progenitor hembra Arara ($R^2 = 0,86$) y el progenitor macho Catucaí-2L SL ($R^2 = 0,77$), también tuvo un mejor ajuste a una curva logarítmica.

Tabla 4.15.

Coeficiente de regresión (R^2) para el mejor ajuste de la curva de desarrollo del TL en el tiempo.

Cultivar	Coeficiente R^2 de una curva lineal	Coeficiente R^2 de una curva logarítmica
Catimor CIFC-P1	0,63	0,84
Bourbon amarillo	0,58	0,80
021-100	0,53	0,84
Catimor CIFC-P1	0,63	0,98
Caturra rojo	0,69	0,88
021-101	0,87	0,96
Bourbon amarillo	0,63	0,89
Acawa	0,48	0,50
021-104	0,70	0,84
Bourbon amarillo	0,51	0,74
Típica	0,57	0,80
021-105	0,48	0,80
Arara	0,63	0,85
Catucaí 785-15	0,46	0,70
021-106	0,57	0,76
021-107	0,48	0,71
Arara	0,56	0,59
Gheisha	0,37	0,77
021-108	0,32	0,59
Arara	0,57	0,86
Catucaí-2 SL	0,57	0,72
021-109	0,57	0,77

Caracterización molecular de padres y progenies

Se realizó el genotipado de caracteres alélicos cuantitativos (QTA), con la tecnología M13 Tailing de progenitores y progenies de café con 22 marcadores microsatélites (SSR) en el laboratorio de Biología Molecular (Dr. C. Eduardo Morillo) de la Estación Experimental Santa Catalina, del Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP). Los marcadores moleculares utilizados se describen en la Tabla 4.16.

Tabla 4.16.

Marcadores microsatélites (SSR) codominantes utilizados para el QTA-genotyping de padres y progenies del programa de mejoramiento de café.

Nombre	Cebador directo	Cebador reverso	Repetición	Ta (°C)	Amplicón (bp)	Referencia
SSRCa023	G GTAGG CG AAG GA CAG AT AA	T GG GGCA GA GT GA AG AT AA G	(AA TG)3	56	259	Missio <i>et al.</i> (2010, 2011)
SSRCa019	G GGT T AG ATAG AGC AA GA AT GA	CT GT GA AGG TGTGG AGT TTT	(GA)1 1	55	329	Missio <i>et al.</i> (2010, 2011)
SSRCa003	AT G AT TCG TA GG T GGA GTGG	CT AAG CCGC AAA TG A CAG A	(GT) 12	57	196	Missio <i>et al.</i> (2010, 2011)
SSRCa020	G GTAGG CG AAG GA CAG AT AA	T GG GGCA GA GT GA AG AT AA G	(AG A)G(AG A) 3/ (TG) 4/(AT T) 6	57	264	Missio <i>et al.</i> (2010, 2011)
SSRCa016	AG CAG AT T CCATCCTT AT CCT	CCACT A AT CCATT CCAT TCC	(GA A) 3/ (GG AA AG) 3	56	172	Missio <i>et al.</i> (2010, 2011)
SSRCa026	G AAT CTGG TG GG CTTT GA	AA GG AG AG GGG A AGA AA AT G	(T) 16N 12 (T C)7 /(CA C)4	57	289	Missio <i>et al.</i> (2010, 2011)
SSRCa052	G ATGG AAA CCCAG A AAG TTG	T AG AAG GG CTT TGA CTG GA C	(TT G)7	57	129	Missio <i>et al.</i> (2010, 2011)
SSRCa062	A AGT T AT TA GG GCA AG AG TG GA	AA GCT CCA AGA CCA AAG ATG	(CAA)2 G(AG AA) 2 (AG)4N8 (G A) 4	57	275	Missio <i>et al.</i> (2010, 2011)
SSRCa068	AT G TT GT TGG AGG CAT T TT C	AG GA GCA GT TG T TG TT T TCC	(AG G) 7 / (GA A)4	57	236	Missio <i>et al.</i> (2010, 2011)
SSRCa082	GCTTGTTTCCATCGCTAAA	GCTTGTTTCCATCGCTAAA	(CT)17 CG(CT)6	56	178	Missio <i>et al.</i> (2010, 2011)
CaM17	GGATTGACAAGGTTGGCAGAGC	TGCCGAAGAAGAGGGAGATAGTGATG	(CCT)5-87 bp-(CTG)6	57	193	Hendre <i>et al.</i> (2008)
CaM26	CGAGCTAGAATGGATGACTTGGTTGG	GTTGCTCGCACCCGCTTCC	(TGGAAG)5	55	203	Hendre <i>et al.</i> (2008)
CaM32	GGGTCAAGGATCCGTGTAAGAAAGA	CCCTCACCAGTTCCCGATGTCAG	(CT)8	55	191	Hendre <i>et al.</i> (2008)
CaM55	ATGGGGGGTGTGCGTCTATGTGA	CGCAATTCGCTGTCACCTCCG	(GA)4(G)4 (A)27	50	183	Hendre <i>et al.</i> (2008)
CaM22	CCCCTCCTCTCTACTAGATGGTGGT	AACCACCCACGCCACCAATTAAT	(AT)9 (AC)12	55	222	Hendre <i>et al.</i> (2008)
CaM24	GGATTGACAAGGTTGGCAGAGC	TGCCGAAGAAGAGGGAGATAGTGATG	(CCT)5-87 bp-(CTG)6	57	193	Missio <i>et al.</i> (2010, 2011)
SSRCa079	A AGT G GAG G AGT TTTGT G GA	CCA AGTGG ATAG GT G TG AG AG	(CCCT) 2N5 (G AAA A) 3	57	287	Missio <i>et al.</i> (2010, 2011)
SSRCa087	T CACT CT CGCAG A CACACT A C	GCA GA GA TG AT CAC AAG TCC	(TC) 2	56	143	Missio <i>et al.</i> (2010, 2011)
SSRCa088	T ACCT CT CCTCT CT TCCT	AT TTCTATGG ACCG GC AAC	(TTT TCT) 3	57	180	Missio <i>et al.</i> (2010, 2011)
SSRCa092	AT A GCCT GA GCCG TA ACCA	GG GTAA TT AT G ACG AG GG ACA	(CCA)7CT(T CCACC) 5	58	180	Missio <i>et al.</i> (2010, 2011)
CaM42	TGGGTCAAGGATCCGTGTAAGAAAGA	CCCTCACCAGTTCCCGATGTCAG	(CT)8	55	190	Missio <i>et al.</i> (2010, 2011)
CaM16	AAGGCAGCTGAAGCGGGACAAA	TGGGGAGAGCTGCAGTTGGAGG	(TC)11	50	199	Missio <i>et al.</i> (2010, 2011)

SSR: Secuencias simples repetidas

Hojas jóvenes, sanas y completamente expandidas de 55 genotipos del programa de mejoramiento genético de café de la Universidad Estatal del Sur de Manabí (Tabla 4.8) fueron recolectadas en el campo y enviadas al laboratorio de biología molecular del INIAP (Dr. C. Eduardo Morillo), a las cuales se les extrajo el ADN utilizando el protocolo propuesto por Doyle y Doyle (1990) modificado por De Souza *et al.* (2012) para *C. arabica* con una ligera modificación en la que las hojas fueron maceradas en nitrógeno líquido, en lugar de liofilizadas. Para cada muestra se pulverizó 100 mg de tejido deshidratado en tubos Eppendorf de 1,5 ml con un molino MM 400 Retsch. Luego se adicionó 1 mL de buffer Sorbitol (100 mM Tris-HCl pH 8,0; 0,35 M sorbitol; 5 mM EDTA pH 8,0; 1% PVP-40; 1% 2-mercaptoetanol), se agitó por vórtex y se centrifugó durante 10 minutos a 5800 rpm. El sobrenadante se descartó y el pellet se resuspendió en 1 mL de buffer Sorbitol, repitiéndose este paso de lavado tres o cuatro veces. Al pellet obtenido tras el último lavado se le adicionó 1 mL de buffer CTAB (100 mM Tris-HCl pH 8,0; 3 M NaCl; 3% CTAB; 20 mM EDTA pH 8,0; 1% PVP-40; 0,2% 2-mercaptoetanol; 0,2% sarkosyl; precalentado a 60 °C) y las muestras se incubaron por una hora a 60 °C.

Posteriormente se centrifugó por cinco minutos a 5800 rpm y el sobrenadante se transfirió a un nuevo tubo. Se adicionaron 600 µL de CIA (24:1), se mezcló suavemente durante 10 minutos y se centrifugó a 13000 rpm por 10 minutos. El sobrenadante recuperado se transfirió a tubos limpios y se le añadieron 70 µL de acetato de sodio (3 M; 1/10 del volumen) y 460 µL de isopropanol (2/3 del volumen). La mezcla se incubó a -20 °C durante 1 hora y posteriormente se centrifugó a 13000 rpm por 30 minutos. El pellet obtenido se lavó con 500 µL de etanol al 70% y luego con 500 µL de etanol absoluto, centrifugando cinco minutos en cada paso. Finalmente, el pellet de ADN fue secado y resuspendido en 100 µL de buffer TE.

Para analizar la diversidad genética de los genotipos de *C. arabica*, se desarrolló la amplificación heteróloga de 20 pares de cebadores SSR para *C. arabica*. Para realizar los análisis en todos los materiales genéticos, se utilizaron cebadores SSR disponibles en la bibliografía (Hendre *et al.*, 2008, Missio *et al.* 2009a,b, Missio *et al.* 2011) (Tablas 4.16).

Las reacciones de PCR para los marcadores SSR se realizaron en 7,50 µL que contenían 2,18 µL de agua, 1,50 µL de Buffer PCR (x), MgCl₂ (mM) 0,60 µL, dNTPs (mM) 0,38 µL, Primer (µM) F 0,38 µL, Primer (µM) R 0,38 µL, Taq polimeraza (U/µL) 0,10 µL (Morillo y Miño, 2011). Las reacciones de amplificación de los cebadores SSR

se realizaron utilizando un termociclador Veriti Applied Biosystems 96 mediante un procedimiento de PCR de detección de primers modificado por Morillo y Miño (2011). Esto consistió en una desnaturalización inicial a 94 °C/5 min de 1 ciclo, desnaturalización a 94 °C/45 s seguida, hibridación de 57 °C por 1 min, y extensión a 72 °C/2 min, repetido en 30 ciclos, seguidos de una extensión final a 72 °C/7 min y almacenamiento a 10 °C infinito por 1 clico. Los productos PCR generados se verificaron en el gel de agarosa al 2% en tinción con Sybr Safe (Thermo Fisher Scientific).

Pruebas PCR y multiplexaje de primers SSR: Se amplificaron siete muestras de ADN validadas con 20 primers SSR de una nueva síntesis. Se empleó un control negativo por cada primer probado y se empleó una temperatura de anillamiento de 55°C. El coctel de amplificación y programa térmico fueron descritas previamente.

Con los primers amplificados se realizaron las pruebas de polimorfismo y multiplexaje con la tecnología M13 tailing (Morillo y Miño, 2011). Los productos PCR se corrieron en el LI-COR 4300s.

Se preparó un gel de poliacrilamida al 3.5% con 150 µl Persulfato de Amonio (APS) al 10% y 15 µl de TEMED, se realizó la corrida del gel en el LI-COR 4300s con tampón TBE 1x KB Plus LI-COR. Se diluyeron los productos PCR en Blue Stop, en proporción 1:1, se denaturaron las muestras a 95°C por 5 minutos y se cargó 1 uL de producto en los pocillos del gel, la corrida se realizó durante hora y media. Todos los geles obtenidos se analizaron, el registro de datos se realizó con el software SAGA-GT. Como producto de la lectura y depuración de la información se obtuvo una matriz de datos de genotipo para cada individuo o muestra analizada con cada primer SSR.

Análisis de alelos

Los QTA-genotyping para los 22 marcadores moleculares SSR evaluados, determinándose que 9 marcadores determinaron alelos homocigotos (SSRCa003, SSRCa020, SSRCa016, CaM17, CaM26, CaM24, SSRCa079, SSRCa088, SSRCa092) y 13 marcadores identificaron alelos heterocigotos (SSCa023, SSRCa019, SSRCa026, SSRCa052, SSRCa062, SSRCa068, SSRCa082, CaM32, CaM55, CaM22, SSRCa087, CaM42 y CaM16) (Tabla 4.17).

Observamos que los marcadores SSR utilizados, no discriminan sustancialmente los genes de diversidad genética (no hay polimorfismo), con excepción de algunos marcadores. Estos resultados concuerdan con el estudio realizado por Castro *et al.* (2025),

que no encontró marcadores polimorficos al analizar el banco de germoplasma de café de la Universidad estatal del Sur de Manabí. Estos estudios, se contradicen con los estudios de Missio *et al.* (2010), quienes encontraron que de los 33 pares de cebadores utilizados en su estudio, denominados SSR, mismos que también fueron aplicados en nuestra investigación, 26 (79%) amplificaron bandas bien definidas, 22 (67%) mostraron polimorfismo entre las 24 accesiones. Estos loci polimórficos amplificaron 112 alelos, una media de 5,1 alelos por cebador. Esto estaría indicando que los cultivares de café conservados en la UNESUM tiene una estrecha base genética y no existe mucha variabilidad genética. Determinamos que 9 marcadores microsatélites determinaron alelos homocigotos y 13 marcadores microsatélite detectaron alelos heterocigotos (Tabla 4.17).

Tabla 4.17.

Caracterización molecular de 55 genotipos de café con 22 marcadores moleculares microsatélite (SSR).

No.	Genótipos	SSCa023	SSRCa019	SSRCa003	SSRCa020	SSRCa016	SSRCa026	SSRCa052	SSRCa062	SSRCa068	SSRCa082	CaM17	CaM26	CaM32	CaM55	CaM22	CaM24	SSRCa079	SSRCa087	SSRCa088	SSRCa092	CaM42	CaM16																						
1	021-100-1	247	259	323	329	196	196	264	264	172	172	289	295	129	126	275	285	227	236	152	178	174	174	250	250	194	220	-1	-1	-1	-1	199	199	287	287	121	135	-1	-1	142	142	191	195	186	194
2	021-100-2	247	259	323	329	196	196	264	264	172	172	289	295	129	126	-1	-1	227	236	152	178	174	174	250	250	194	220	160	150	103	105	199	199	287	287	121	135	180	180	142	142	191	195	186	194
3	021-100-3	247	259	323	329	196	196	264	264	172	172	289	295	129	126	275	285	227	236	152	178	174	174	250	250	194	220	160	150	103	105	199	199	287	287	121	135	180	180	142	142	191	195	186	194
4	021-100-4	247	259	323	329	196	196	264	264	172	172	289	295	129	126	275	285	227	236	152	178	174	174	250	250	194	220	160	150	103	105	199	199	287	287	125	135	180	180	142	142	191	195	186	194
5	021-100-5	247	259	323	329	196	196	264	264	172	172	289	295	129	126	275	285	227	236	152	178	174	174	250	250	194	220	160	150	103	105	199	199	287	287	125	135	180	180	142	142	191	195	186	194
6	021-100-6	247	259	323	329	196	196	264	264	172	172	289	295	129	126	275	285	227	236	152	178	174	174	250	250	194	220	160	150	103	105	199	199	287	287	121	135	180	180	142	142	-1	-1	186	194
7	021-101-1	-1	-1	323	329	196	196	264	264	172	172	289	295	129	126	275	285	227	236	152	178	174	174	250	250	194	220	160	150	103	105	199	199	287	287	121	135	180	180	142	142	191	195	186	194
8	021-101-2	247	259	323	329	196	196	264	264	172	172	289	295	129	126	275	285	227	236	152	178	174	174	250	250	194	220	160	150	103	105	199	199	287	287	121	135	180	180	142	142	191	195	186	194
9	021-101-3	247	259	323	329	196	196	264	264	172	172	289	295	129	126	275	285	227	236	152	178	174	174	250	250	194	220	160	150	103	105	199	199	287	287	121	135	180	180	142	142	191	195	186	194
10	021-101-4	247	259	323	329	196	196	264	264	172	172	289	295	129	126	275	285	227	236	152	178	174	174	250	250	194	220	160	150	103	105	199	199	287	287	121	135	180	180	142	142	-1	-1	186	194
11	021-101-5	247	259	323	329	196	196	264	264	172	172	289	295	129	126	275	285	230	236	152	178	174	174	250	250	194	220	160	150	103	105	199	199	287	287	121	135	180	180	142	142	191	195	186	194
12	021-104-1	247	259	323	329	196	196	264	264	172	172	289	295	129	126	275	285	227	236	138	178	174	174	250	250	194	220	160	150	103	105	199	199	287	287	121	135	180	180	142	142	191	195	186	194
13	021-104-2	247	259	323	329	196	196	264	264	172	172	289	295	129	126	275	285	230	236	178	178	174	174	246	250	194	220	160	150	103	105	199	199	287	287	121	135	180	180	142	142	191	195	186	194
14	021-104-3	-1	-1	-1	-1	196	196	264	264	172	172	289	295	129	126	275	285	227	236	152	178	174	174	250	250	194	220	160	150	103	105	199	199	287	287	-1	-1	180	180	142	142	191	195	186	194
15	021-105-1	247	259	323	329	196	196	264	264	172	172	289	295	129	126	275	285	230	236	138	178	174	174	250	250	194	220	160	150	103	105	199	199	287	287	121	135	180	180	142	142	191	195	186	194
16	021-105-2	247	259	323	329	196	196	264	264	172	172	289	295	129	126	275	285	230	236	152	178	174	174	246	250	194	220	160	150	103	105	199	199	287	287	121	121	180	180	142	142	191	195	186	194
17	021-105-3	247	259	323	329	196	196	264	264	172	172	289	295	129	126	275	285	227	236	138	178	174	174	250	250	194	220	160	150	103	105	199	199	287	287	125	135	180	180	142	142	191	195	186	194
18	021-105-4	247	259	323	329	196	196	264	264	172	172	289	295	129	126	275	285	227	236	152	178	174	174	250	250	194	220	160	150	103	105	199	199	287	287	121	135	180	180	142	142	191	195	186	194
19	021-105-5	247	247	323	329	196	196	264	264	172	172	289	295	132	126	275	285	230	236	152	178	174	174	250	250	194	220	160	150	103	105	199	199	287	287	121	135	180	180	142	142	191	195	186	194
20	021-105-6	-1	-1	323	329	196	196	264	264	172	172	289	295	132	126	275	285	227	236	152	178	174	174	250	250	-1	-1	160	150	103	105	199	199	287	287	121	135	180	180	142	142	191	195	186	194
21	021-105-7	247	259	323	329	196	196	264	264	172	172	289	295	129	126	275	285	227	236	152	178	174	174	250	250	194	218	160	150	103	105	199	199	287	287	125	135	180	180	142	142	191	195	186	194
22	021-105-8	247	259	323	329	196	196	264	264	172	172	289	295	129	126	275	285	230	236	152	178	174	174	246	250	194	220	160	150	103	105	199	199	287	287	121	135	180	180	142	142	-1	-1	186	194
23	021-106-1	247	259	323	329	196	196	264	264	172	172	289	295	129	126	275	285	236	236	178	178	174	174	250	250	194	220	160	150	103	105	199	199	287	287	-1	-1	180	180	142	142	191	195	186	194
24	021-106-2	247	259	323	329	196	196	264	264	172	172	289	295	129	126	275	285	227	236	152	178	174	174	250	250	194	220	160	150	103	105	199	199	287	287	121	135	180	180	142	142	191	195	186	194
25	021-106-3	247	259	323	329	196	196	264	264	172	172	289	295	129	126	275	285	227	236	152	178	174	174	250	250	194	220	160	150	103	105	199	199	287	287	121	135	180	180	142	142	191	195	186	194
26	021-106-4	247	259	323	329	196	196	264	264	172	172	289	295	129	126	275	285	-1	-1	152	178	174	174	250	250	194	220	160	150	103	105	199	199	287	287	121	135	180	180	142	142	191	195	186	194
27	021-106-5	247	259	323	329	196	196	264	264	172	172	289	295	129	126	275	285	227	236	152	178	174	174	250	250	194	220	160	150	103	105	199	199	287	287	121	135	180	180	142	142	191	195	186	194
28	021-106-6	247	259	323	329	196	196	264	264	172	172	289	295	129	126	-1	-1	-1	152	178	174	174	174	250	250	194	220	160	150	103	105	199	199	287	287	-1	-1	180	180	142	142	191	195	186	194
29	021-106-7	247	259	323	329	196	196	264	264	172	172	289	295	129	126	275	285	227	236	152	178	174	174	250	250	194	220	160	150	103	105	199	199	287	287	125	135	180	180	142	142	191	195	186	194
30	021-106-8	247	259	323	329	196	196	264	264	172	172	289	295	129	126	275	285	227	236	152	178	174	174	250	250	194	220	160	150	103	105	199	199	287	287	121	135	180	180	142	142	191	195	186	194
31	021-106-9	247	259	323	329	196	196	264	264	172	172	289	295	129	126	275	285	227	236	152	178	174	174	250	250	194	220	160	150	103	105	199	199	287	287	125	135	180	180	142	142	191	195	186	194
32	021-107-1	247	259	323	329	196	196	264	264	172	172	289	295	129	126	275	285	227	236	138	178	174	174	250	250	194	218	160	150	103	105	199	199	287	287	125	135	180	180	142	142	191	195	186	194
33	021-107-2	247	259	323	329	196	196	264	264	172	172	289	295	129	126	275	285	2																											

Selección de los mejores genotipos

Fueron seleccionados 10 genotipos en base a su comportamiento, caracteres morfo-agronómicos, resistencia a la roya (*Hemileia vastatrix*), resistencia al ojo de gallo del cafeto (*Mycena citricolor*), resistencia a la broca (*Hypothenemus hampei* Ferrari), y producción temprana de frutos (Tabla 4.18).

Tabla 4.18.

Genotipos seleccionados y nominación de sus nombres.

Genotipos	Nombre	Madre	Padre
021-100-1	Guty	Catimor CIFC-P1	Bourbon amarillo
021-100-3	Kerly	Catimor CIFC-P1	Bourbon amarillo
021-101-2	Jatun	Catimor CIFC-P1	Caturra rojo-Pichilingue
021-105-3	Angyta	Bourbon amarillo	Tipica
021-105-5	Sultana	Bourbon amarillo	Tipica
021-106-3	HD (Heidi Diana)	Acawa	Tipica
021-106-4	Jipijapa	Acawa	Tipica
021-108-2	Gabriel	Arara	Gheisha
091-108-4	Verito	Arara	Gheisha
021-109-3	Sinchi	Arara	Catucai-2 SL

Referencias

- Aggarwal, R.K., Hendre, P.S., Varshney, R.K., Bhat, P.R., Krishnakumar, V., & Singh, L. Identificación, caracterización y utilización de marcadores génicos microsatélites derivados de EST para el análisis genómico del café y especies afines. *Genética Teórica y Aplicada*, 114(2), 359–372. doi: 10.1007/s00122-006-0440-x.
- Alpizar, E., Etienne, H., & Bertrand, B. (2007). Resistencia intermedia al nematodo agallador *Meloidogyne exigua* en *Coffea arabica*. *Protección de Cultivos*, 26(7), 903–910.
- Anthony, F., Bertrand, B., Quiros, O., et al. (2001). Diversidad genética del café silvestre (*Coffea arabica* L.) mediante marcadores moleculares. *Euphytica*, 118(1), 53–65.
- Anthony, F., Combes, M.C., Astorga, C., Bertrand B., Graziosi, G., & Lashermes, P. (2002). El origen de las variedades cultivadas de *Coffea arabica* L. revelado mediante marcadores AFLP y SSR. *Genética Teórica y Aplicada* 104(5), 894–900. doi: 10.1007/s00122-001-0798-8.
- Baruah, A., Naik, V., Hendre, P.S., Rajkumar, R., Rajendrakumar, P., & Aggarwal, R.K. (2003). Aislamiento y caracterización de nueve marcadores microsatélites de *Coffea arabica* L., que muestran amplias amplificaciones entre especies. *Notas de Ecología Molecular*, 3(4), 647–650.
- Bertrand, B., Anthony, F., & Lashermes, P. (2001). Mejoramiento genético para resistencia a *Meloidogyne exigua* en *Coffea arabica* mediante la introgresión de genes de resistencia de *Coffea canephora*. *Fitopatología*, 50(5), 637–643.
- Bertrand, B., Peña Durán, M.X., Anzueto, F., et al. (2000). Estudio genético de la resistencia del cafeto *Coffea canephora* a los nematodos *Meloidogyne incognita* en Guatemala y *Meloidogyne* sp. en El Salvador para la selección de variedades de portainjertos en Centroamérica. *Euphytica*, 113(2), 79–86.
- Castro, C., González, M., García, J., Morán, J., & Gabriel, J. (2025). Diversidad genética del café arábigo (*Coffea arabica* L.) aplicando 20 marcadores microsatélite en el banco de germoplasma de la UNESUM, Ecuador. *Centrosur Agraria*, 1(25), 30–53. <https://doi.org/10.37959/revista.v1i25.287>

- Cubry, P., Musoli, P., Legnaté, H, et al. (2008). Diversidad en café evaluada con marcadores SSR: Estructura del género *Coffea* y perspectivas de mejoramiento. *Genoma*, 51(1), 50–63. doi: 10.1139/g07-096.
- Davis, A.P., Govaerts, R., Bridson, D.M., & Stoffelen, P. (2006). Un resumen taxonómico anotado del género *Coffea* (Rubiaceae). *Botanical Journal of the Linnean Society*, 152(4), 465–512.
- De Souza, H. A., Muller, L. A., Brandao, R. L., & Lovato, M. B. (2012). Isolation of high quality and polysaccharide-free DNA from leaves of *Dimorphandra mollis* (Leguminosae), a tree from the Brazilian Cerrado. *Genet Mol Res*, 11, 756-764.
- Doyle, J.J., & Doyle, J.L. (1990). Isolation of plant DNA from fresh tissue. *Focus*, 12, 13-15.
- Gabriel, J, & Fienco N. (2026a). Analysis of the genetic resistance to the coffee berry borer (*Hypothenemus hampei* Ferrari) in the germplasm bank of the Universidad Estatal del Sur de Manabí, Ecuador. *Revista Agronomía costarricense* (en proceso)
- Gabriel, J., Macías, A., Salvatierra, J., Burgos, G., & Morán, J. (2026b). Uso del ácido oxálico para seleccionar genotipos resistentes al ojo de gallo del cafeto [*Mycena citricolor* (Berk. & M.A.Curtis) Sacc.]. *Revista UNESUM-Ciencia*, 1(1) (en revisión)
- Gabriel, J., Parrales, T., Castro, C. A., Narváez, W. V., & Fuentes, T. (2023). Evaluación de la resistencia genética a enfermedades foliares en 20 accesiones de café arábigo (*Coffea arabica* L.) del banco de germoplasma de la Universidad Estatal del Sur de Manabí. *Agrosilvicultura Y Medioambiente*, 1(1), 26–40. <https://doi.org/10.47230/agrosilvicultura.medioambiente.v1.n1.2023.26-40>
- Gabriel, J., Valverde, A., Indacochea, B., Castro, C., Vera, M., Alcívar, J., & Vera, R. (2022). Diseños experimentales: Teoría y práctica para experimentos agropecuarios. 3^{ra} ed. Mawil, Quito, Ecuador. DOI: <https://doi.org/10.26820/978-9942-602-26-8>
- Geleta, M., Herrera, I., Monzón, A., & Bryngelsson, T. (2012). Genetic diversity of arabica coffee (*Coffea arabica* L.) in Nicaragua as estimated by simple sequence repeat markers. *Scientific World Journal*, 939820. doi: 10.1100/2012/939820.

- Gichuru, E.K., Agwanda, C.O., Combes, M.C., et al. (2008). Identificación de marcadores moleculares vinculados a un gen que confiere resistencia a la enfermedad del fruto del café (*Colletotrichum kahawae*) en *Coffea arabica*. *Fitopatología*, 57(6), 1117–1124.
- Gutiérrez, J. & Gabriel, J. (2025). Análisis de la interacción genotipo x ambiente de progenies F1 y progenitores de café (*Coffea arabica* L.) para caracteres morfo-agronómico bajo condiciones de campo en la finca Andil, Jipijapa. [Tesis para optar al título de Magister en Agropecuaria, Universidad Estatal del Sur de Manabí, Jipijapa, Ecuador].
- Hendre, P., Phanindranath, R., Annapurna, V., Lalremruata, A. & Aggarwal, R. K. (2008). Coffee (*Coffea canephora* Pierre ex A. Froehner) showing broad cross-species transferability and utility in genetic studies. *BMC Plant Biology*, 8, 51 doi:10.1186/1471-2229-8-51
- InfoStat. (2020). Software para análisis estadístico. <https://www.infostat.com.ar/>
- Krug, C.A. (1951). Advances in Genetics. *The Genetics of Coffea* (4), 127–158. doi:10.1016/s0065-2660(08)60233-3
- Lashermes, P., Carvalho, A., & Etienne, H. (2008). Genomics of coffee, one of the world's largest traded commodities. In: P.H. Moore, and R. Ming, editors, *Genomics of tropical crop plants. 1*, 203-226. doi:10.1007/978-0-387-71219-2_9
- Lashermes, P., Combes, M.C., Ansaldi, C., Gichuru, E., & Noir, S. (2011). Análisis de introgresión alienígena en cafeto (*Coffea arabica* L.) *Mejoramiento molecular*, 27(2), 223–232.
- Lashermes, P., Combes, M.C., Robert, J., Trouslot, P., Hont, A.D., Anthony, F., & Charrier, A. (1999). Molecular characterization and origin of the *Coffea arabica* L. genome. *Mol. Gen. Genet.*, 261, 259-266. doi:10.1007/s004380050
- Leroy, T., Ribeyre, F., & Bertrand. B., et al. (2010). Genética de la calidad del café. *Revista Brasileña de Fisiología Vegetal*, 18(1), 229–242.
- Mahé, L., Combes, M. C., Várzea, V. M., Guilhaumon, C., & Lashermes, P. (2008). Development of sequence characterized DNA markers linked to leaf rust (*Hemileia vastatrix*) resistance in coffee (*Coffea arabica* L.). *Molecular breeding*, 21(1), 105-113. DOI:10.1007/s11032-007-9112-z

- Manrique, A.J., & Thimann, R.E. (2002). Coffee (*coffea arabica*) pollination with africanized honeybees in venezuela. *INCI*, 27(8), 414-416. https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0378-18442002000800005
- Martínez-Garza, A. (1988). Diseños experimentales: métodos y elementos de teoría, Trillas, México. *México*, 756 p.
- Melese, K. (2016). The role of biotechnology on coffee plant propagation: A current topics paper. *J. Biol. Agric. Healthcare* 6(5), 13-19. <https://core.ac.uk/download/pdf/234661918.pdf>
- Ming, H., & Bloom, A.J. (2014). Easy Leaf Area: Automated digital image analysis for rapid and accurate measurement of leaf area. *Applications in Plant Sciences*, 2(7), 1400033. <https://doi.org/10.3732/apps.1400033>
- Missio, R. F., Caixeta, E. T., Zambolim, E. M., Cruz, C. D., & Sakiyama, N. S. (2010). Polymorphic information content of SSR markers for *Coffea* spp. *Crop breeding and applied biotechnology*, 10(1), 89-94. <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/880497>
- Missio, R. F., Caixeta, E. T., Zambolim, E. M., Zambolim, L., Cruz, C. D., & Sakiyama, N. S. (2009a). Polymorphic information of SSR markers for *Coffea* spp. *Crop breeding and applied biotechnology*, 10, 89-94.
- Missio, R. F., Texeira, E., Maciel, E., Zambolin, L., & Sakiyama, S. (2011). Developmenyt and validation of SSR markers foe Coffea Arabica L. *Crop breeding and applied biotechnology*, 9, 361-371. <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/880403>
- Missio, R.F., Caixeta, E.T., Zambolim, E.M., Pena, G.F., Ribeiro, A.P., Zambolim, L., Pereira, A.A., & Sakiyama, N.S. (2009b). Assessment of EST-SSR markers for genetic analysis on coffee. *Bragantia*, 68(3), 573-581
- Moncada, P., & McCouch, S. (2004). Diversidad de repeticiones de secuencias simples en especies diploides y tetraploides de *Coffea*. *Genoma*, 47(3), 501–509. doi: 10.1139/g03-129.
- Morillo, E. (2026). Informe técnico de resultados. Genotipado de materiales de café del proyecto “Mejoramiento genético de café” del programa de posgrado de la

- Universidad Estatal del Sur de Manabí (UNESUM). Departamento de Biotecnología de la Estación Experimental de Santa Catalina en Quito, Ecuador,
- Morillo, E., & Miño, G. (2011). Marcadores Moleculares en Biotecnología Agrícola: Manual de procedimientos y técnicas en INIAP. Publicación Miscelánea Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias, Estación Experimental Santa Catalina. Quito -Ecuador.
- Nagaño, T. F. S., Santos, N. R. S., Santos, D. M. C., & Cao, E. P. (2022). In Silico Physical Mapping of Resistance and Resistance-associated Genes in the S H³ Region of the *Coffea canephora* Genome. *Philippine Journal of Science*, 151(1), 107-126. https://philjournalsci.dost.gov.ph/wp-content/uploads/2025/07/in_silico_physical_mapping_of_resistance_genes_in_SH3_region.pdf
- Noir, S., Anthony, F., Bertrand, B., Combes, M.C., & Lashermes, P. (2003). Identificación de un gen principal (Mex-1) de *Coffea canephora* que confiere resistencia a *Meloidogyne exigua* en *Coffea arabica*. *Fitopatología*, 52(1), 97–103.
- Ortiz, J., & Gabriel, J. (2024). Obtención de genotipos mejorados de café (*Coffea arabica* L.) para la zona sur de Manabí, Ecuador. *UNESUM - Ciencias. Revista Científica Multidisciplinaria*, 8(2), 118–130. <https://doi.org/10.47230/unesciencias.v8.n2.2024.118-130>
- Parrales, C., & Gabriel, J. (2023). Aptitud combinatoria general y específica de progenitores de café (*Coffea arabica* L.) del banco de germoplasma de la UNESUM en la obtención de híbridos F1. [Tesis maestría, Universidad Estatal del Sur de Manabí, Jipijapa, Ecuador]. 72 p.
- PDOT. (2019). Gobierno Provincial de Manabí. Cantón Jipijapa. https://jipijapa.gob.ec/images/Planes/PDyOT%20GAD%20JIPIJAPA%202019-2023_signed.pdf
- Raina, S.N., Mukai, Y., & Yamamoto, M. (1998). La hibridación in situ identifica las especies progenitoras diploides de *Coffea arabica* (Rubiaceae). *Genética teórica y aplicada*, 97(8), 1204–1209
- SAS University. (2020). An Introduction to SAS University Edition. <https://www.oreilly.com/library/view/an-introduction-to/9781629600079/>

- Silvestrini, M., Junqueira, M.G., Favarin, A.C., et al. (2007). Diversidad genética y estructura de accesiones de *Coffea arabica* L. de Etiopía, Yemen y Brasil mediante marcadores microsatélites. *Recursos Genéticos y Evolución de Cultivos*, 54(6), 1367–1379
- Tesfaye, K., Borsch, T., Govers, K., & Bekele E. (2007). Caracterización de los microsatélites del cloroplasto de Coffea y evidencia de la divergencia reciente de los genomas del cloroplasto de C. arabica y C. eugenioides. *Genome*, 50(12), 1112–1129. doi: 10.1139/G07-088.
- Tscharntke, T., Clough, Y., Bhagwat, S.A., et al. (2011). Manejo multifuncional de árboles de sombra en paisajes agroforestales tropicales: una revisión. *Journal of Applied Ecology*, 48(3), 619–629.
- Villain, L., Aribi, J., Réversat, G., & Anthony, F. (2010). Un método de alto rendimiento para la detección temprana de genotipos de café (*Coffea* spp.) resistentes a los nematodos agalladores (Meloidogyne spp.). *European Journal of Plant Pathology*, 128(4), 451–458.
- Waller, J.M., Bigger, M., & Hillocks, R.A. (2007). Plagas, enfermedades del café y su manejo. Nosworthy Way, Oxfordshire, Reino Unido: CABI. El café como cultivo y producto básico; págs. 1–17.

Mejoramiento genético de café (*Coffea arabica* L.) para el Sur de Manabí, Ecuador

Capítulo V. Consideraciones finales

Resumen

En este último capítulo del libro se enfatiza en compartir las potencialidades del café para la zona Sur de Manabí. La Universidad Estatal del Sur de Manabí conserva un valioso recursos genético para emprender un programa de mejora genética y a esto se suma la reciente implementación de un moderno Centro de estudios de Biotecnología, que está en proceso de implementación y fortalecimiento. En este laboratorio, se podrían innovar muchas de las tecnologías reportadas como exitosas en la micropropagación de plantas de café como el cultivo de tejidos y el uso de un sistema de inmersión temporal para acelerar procesos de obtención de plantas de alta calidad genético-sanitarias. Todos estos aspectos aunados con la oportunidad de no contar con un programa similar a nivel del Sur de Manabí es una desafío y una gran oportunidad para desarrollar cultivares más acordes a las necesidades de los productores y recuperar ese valioso espacio de ser una zona productora de café de calidad, que contribuya a que la zona Sur de Manabí logre el sitio que le corresponde; y así dar mejores oportunidades de negocio a los productores cafetaleros de la zona. Está claro que la genética no solucionará completamente la problemática del café en Ecuador, pero contribuye a la mejora de la misma.

Palabras clave: oportunidad de negocio, valor agregado, tecnología disponible, desafío, oportunidad de negocio, productores cafetaleros.

Abstract

This final chapter of the book emphasizes the potential of coffee in the southern region of Manabí. The Southern State University of Manabí possesses valuable genetic resources for undertaking a genetic improvement program. This is further enhanced by the recent implementation of a modern Biotechnology Studies Center, which is currently being established and strengthened. This laboratory could innovate upon many technologies reported as successful in the micropropagation of coffee plants, such as tissue culture and the use of a temporary immersion system to accelerate the production of high-quality, genetically and healthily sound plants. All of these factors, combined with the lack of a similar program in southern Manabí, present both a challenge and a significant opportunity to develop cultivars better suited to the needs of producers and reclaim its position as a high-quality coffee-producing region. This would help southern Manabí achieve its rightful place and provide better business opportunities for coffee

growers in the area. It is clear that genetics will not completely solve the problems facing coffee producers in Ecuador, but it does contribute to improving the situation.

Keywords: business opportunity, added value, available technology, challenge, business opportunity, coffee producers.

Introducción

Genéticamente todas las especies de café, a excepción de *C. arabica*, *C. heterocalyx* y *C. anthonyi*, son auto-incompatibles (Davis *et al.*, 2006), y *C. arabica* es tetraploide alotetraploide autofértil ($2n=4x=44$) (Mishra y Slater, 2012), es un híbrido espontáneo entre *C. eugenoides* (hembra) y *C. canephora* (macho) (Lashermes *et al.*, 1999), con un tamaño de genoma de 1300 Mpb (Lashermes *et al.*, 2008). Los diferentes niveles de ploidía en el género *Coffea* obstaculizan la introducción de características agronómicas y de calidad de las especies diploides hacia las tetraploides. Por lo que el mejoramiento genético de café con base en las metodologías convencionales, es un proceso largo y tedioso, que puede durar hasta más de 30 años (Melese, 2016). Sin embargo, en las últimas décadas se han desarrollado técnicas biotecnológicas que bien pueden contribuir a introducir las características deseadas y a acelerar los procesos de mejora genética (Villalta y Gatica, 2019).

Gabriel *et al.* (2021) mencionan que para el mejoramiento genético de café (*Coffea arabica*), se utilizaron metodologías de mejora genética como la hibridación, selección genealógica y selección por cruzas y retrocruzas interespecíficas, con el fin de transferir resistencia a patógenos y plagas, mejorar la adaptación y el rendimiento del cultivo (Villalta y Gatica, 2019). También, se utilizó la introducción y selección cultivares, cruzas artificiales con parentales seleccionados y de mutágenos obtenidos por radiación en las semillas (Solano, 2001). El híbrido Timor (*C. arabica* x *C. canephora*), fue utilizado por su resistencia a la roya (*Hemileia vastatrix*), derivada de cuatro genes mayores de resistencia de *C. canephora* (Villalta y Gatica, 2019). De esta manera, la cruce entre Timor y el mutante natural Caturra Rojo dio origen al cultivar Catimor (resistente a roya). El vigor de Catimor, se obtuvo por retrocruza de Catimor x Catuai.

En Brasil se obtuvo el cultivar Icatu resistente a la roya, antracnosis de los frutos y nematodos, del cruzamiento de dos cultivares tetraploides de *C. arabica* y *C. canephora*

(Berthouly, 1997). En Kenia, se liberó el híbrido Ruirii 11, resistente a roya, antracnosis del fruto, de alta producción y calidad (Agwanda, 1999). Desde 1991 en Centroamérica se desarrolla un programa de mejoramiento genético de café, con participación de PROMECAFE, los institutos de café de los países centroamericanos, instituciones nacionales de investigación en café, la cooperación francesa (CIRAD, ORSTOM, MAE) y el Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). La finalidad es lograr cruzar de las especies silvestres de Etiopía y Sudán (*C. canephora*), como fuentes de resistencia a roya, nematodos, buen vigor y alta productividad (Albarrán, 1999).

Una visión al futuro de mediano plazo

Está claro que Ecuador, no es un centro de origen del café, ya que no existen especies silvestres, ni cultivares originarios; sin embargo, sus condiciones de ubicación geográfica, los tipos de suelos y climas, hacen que sean óptimos para el cultivo de esta especie, y 23 de sus 24 provincias del Ecuador cultivan esta especie (Ponce Vaca *et al.*, 2018). Estas características han permitido que se introduzca el cultivar de café Típica de Etiopía en el siglo XIX, en el año 1830, lográndose que se posea particularmente en Manabí (Duicela, 2018, Sotomayor & Gutiérrez, 2021).

Actualmente la caficultura ecuatoriana sufre de muchas dificultades como es la baja producción nacional cuyas causas principales, entre otras, son las siguientes: Prevalencia de cafetales viejos; baja productividad; deficiente calidad e inocuidad; reducción del área cultivada; escasos incentivos para la producción; limitada asistencia técnica y capacitación a los productores; comportamiento errático del clima; débil asociatividad; insuficiente conocimientos tecnológicos; carencia de un programa de zonificación del cultivo, situación que ha originado, entre otras, las siguientes consecuencias: reducción de las exportaciones; reducción de ingreso de divisas; importación de materia prima; salida de divisas; reducción de ingresos para los productores; abandono de la actividad y migración campesina (Duicela, 2016, 2018, Ponce Vaca *et al.* 2018).

La caída de los precios determinados por la Bolsa de New York para el *Coffea arabica* L. y por la Bolsa de Londres para el *Coffea canephora* Pierre ex Froehner, provocaron un duro impacto en la economía de los productores del grano a nivel mundial y particularmente a los caficultores ecuatorianos, toda vez que, los precios del grano comenzaron a caer luego de alcanzar valores de USD 160 por quintal /oro (100 libras)

llegando a menos de USD 50 por quintal en el ciclo 2000-2001 el nivel de precios más bajo en los últimos 100 años (Ponce Vaca *et al.*, 2018).

Esta situación ligada a la inestabilidad de los precios, a la ruptura del Convenio Internacional de Café en 1989 y a los fenómenos naturales, provocó a partir de la década de los años 90, el éxodo masivo de los caficultores hacia los mayores centros poblados del país, lo cual significó el abandono de la actividad y como consecuencia de ello, la disminución de la producción.

La complejidad del contexto analizado condiciona la necesidad del diseño e implantación de un modelo de gestión integral para las unidades de producción cafetalera de Ecuador, en la perspectiva de integrar y armonizar las dimensiones sustantivas de la sostenibilidad, en lo social, económico, ambiental e institucional) tomando en cuenta las particularidades de cada región o zona, de tal suerte que los productores y sus organizaciones mejoren su nivel de participación en la cadena agroindustrial del café. En ese orden el MAGAP debe transferir de manera oportuna las tecnologías disponibles, así como promover la generación y validación de nuevos cultivares de café arábigo y robusta de alta productividad (Sotomayor & Gutiérrez, 2021), adaptadas a los distintos agroecosistemas y resistentes a plagas y enfermedades especialmente a la roya del café (Ponce Vaca *et al.*, 2018).

Por lo que para la zona Sur de Manabí es un desafío el lograr nuevos cultivares mejorados de café de mejor calidad, productividad y resistentes a factores bióticos (especialmente roya, ojo de gallo del cafeto, broca del café) y abióticos (tolerantes a sequía), tiene una importante perspectiva, debido a que aún existen muchos escenarios cafetaleros con cultivos de café de más de 50 años que aún son productivos, mismos que han sufrido a través del tiempo procesos de selección y co-evolución, por lo que se constituyen en germoplasma altamente valioso.

Además, la Universidad Estatal del Sur de Manabí conserva cultivares mejorados de alto valor genético, que fueron evaluados en los últimos años para diversos factores abióticos, bióticos, de calidad y rendimiento, los que se constituyen en un valioso recursos genético para emprender un programa de mejora genética; a esto se suma la reciente implementación de un moderno Centro de estudios de Biotecnología, que está en proceso de implementación y fortalecimiento. En este laboratorio se podrían innovar muchas de las tecnologías reportadas como exitosas en la micropropagación de plantas de café como el cultivo de tejidos y el uso de

un sistema de inmersión temporal para acelerar procesos de obtención de plantas de alta calidad genético-sanitarias.

Consideramos que todos estos aspectos aunados con la oportunidad de no contar con un programa similar a nivel del Sur de Manabí es una desafío y una gran oportunidad para desarrollar cultivares más acordes a las necesidades de los productores y recuperar ese valioso espacio de ser una zona productora de café de calidad, que contribuya a que la zona Sur de Manabí logre el sitio que le corresponde; y así dar mejores oportunidades de negocio a los productores cafetaleros de la zona. Está claro que la genética no solucionará completamente la problemática del café en Ecuador, pero contribuye a la mejora de la misma.

En la actualidad se cuenta con 10 genotipos de alto valor genético producto de la cruce intra-específica entre cultivares del banco de germoplasma, que han sido evaluados en campo para diversos factores abióticos y bióticos. Sin embargo, aún falta ver en detalle la producción, el rendimiento de las plantas, y la calidad de taza, que son los siguientes pasos que se deben dar. Además será importante que las autoridades universitarias, los docentes, estudiantes, productores y empresarios cafetaleros conozcan y se apropien de este proceso de mejora genética.

Innovar la selección asistida por marcadores moleculares fue importante, porque permite acelerar procesos de selección y seguridad en este proceso, para lograr genotipos apropiados, ahora se debe innovar también los procesos de Fitomejoramiento Participativo (FMP), para lograr un empoderamiento por parte de los productores y empresario; y empezar a incentivar a algunos agricultores comprometidos y responsables para que siembren estos nuevos materiales bajo sus propias condiciones. Estos pasos deberían realizarse en los siguientes dos o tres años y paralelamente ir trabajando el rendimiento y la calidad. Se podría estimar que en un par de años a partir de ahora se podría liberar por lo menos dos a cinco nuevos cultivares. Este proceso depende de todos, y es una oportunidad para todos.

Referencias

- Agwanda, C.O. (1999). Twenty seven years of coffee breeding in Kenya: prospects for the release of new varieties. 18th International Scientific Colloquium on *Coffee*. ASIC, FIN. <https://www.asic-cafe.org/conference/18th-internationalscientific-colloquium-coffee/twenty-seven-years-coffee-breeding-kenya>.
- Albarrán, J., Bertrand, B., Lartaud, M., & Etienne, H. (2005). Cycle characteristics in a temporary immersion bioreactor affect regeneration, morphology, water and mineral status of coffee (*Coffea arabica*) somatic embryos. *Plant Cell Tissue Organ Cult.*, 81, 27–36.
- Berthouly, M. (1997). Biotecnologías y técnicas de reproducción de materiales promisorios en *Coffea arabica*. En: E.L. Ibarra, editor, Memorias del XVII Simposio Latinoamericano.
- Davis, A.P., Govaerts, R., Bridson, D.M., & Stoffelen, P. (2006). Un resumen taxonómico anotado del género *Coffea* (Rubiaceae). *Botanical Journal of the Linnean Society.*, 152(4), 465–512.
- Duicela, L. (2016). Investigación y desarrollo cafetalero en el Ecuador: Situación actual y perspectivas. Ecuador: Centro de Investigación de Ecuador (CIDE).
- Duicela, L., Andrade, J., Farfán, D.S., & Velásquez, S.R. (2018). Calidad organoléptica, métodos de beneficio y clutivares de 21 café robusta (*Coffea canephora* Pierre ex Froehner) en la amazonía del Ecuador. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 19(2), 240-253.
- Gabriel, J., Indacochea, B., Castro, C., Valverde, A., & Ayón, F. (2021). Desafíos y perspectivas de la mejora genética del café (*Coffea* sp.) en el Sur de Manabí: desafíos y perspectivas de la mejora. *UNESUM – Ciencias*, 5(5), 107–120. <https://revistas.unesum.edu.ec/index.php/unesumciencias/article/view/593>
- Lashermes, P., Carvalho, A., & Etienne, H. (2008). Genomics of coffee, one of the world's largest traded commodities. In: P.H. Moore, and R. Ming, editors, Genomics of tropical crop plants. 1. 203-226. doi:10.1007/978-0-387-71219-2_9
- Lashermes, P., Combes, M.C., Robert, J., Trouslot, P., Hont, A.D., Anthony, F., & Charrier, A. (1999). Molecular characterization and origin of the *Coffea arabica* L. genome. *Mol. Gen. Genet.*, 1(261), 259-266. doi:10.1007/s004380050

- Melese, K. (2016). The role of biotechnology on coffee plant propagation: A current topics paper. *J. Biol. Agric. Healthcare*, 6(5), 13-19. <https://core.ac.uk/download/pdf/234661918.pdf>
- Mishra, M.K., & Slater, A. (2012). Recent advances in the genetic transformation of coffee. *Biotechnol. Res. Int.*, 580857. doi:10.1155/2012/580857
- Ponce Vaca, L.A., Orellana Suarez, K.D., Acuña Velásquez, I.R., Alfonso Alemán, J.L., & Fuentes Figueroa, T. (2018). Situación de la caficultura ecuatoriana: perspectivas. *Estudios del Desarrollo Social*, 6(1), 307-325. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=10217183>
- Solano, W. (2001). Efecto de las características de cultivo en suspensión celular y en biorreactor con inmersión temporal sobre la propagación masiva de *Coffea arabica* por embriogénesis somática. [Tesis Lic., Universidad de Costa Rica, Turrialba, CRI].
- Sotomayor, B., & Gutiérrez, X. (2021). Importancia del mejoramiento genético del cultivo de café (*Coffea arabica* L.) en el Ecuador. [Examen de grado, Universidad Técnica de Babahoyo, Los Ríos, Ecuador]. <https://dspace.utb.edu.ec/server/api/core/bitstreams/5950228a-ee7f-488c-ab9a-a32e650ab1e4/content>
- Villalta, J., & Gatica, A. (2019). Una mirada en el tiempo: mejoramiento genético de café mediante la aplicación de la biotecnología. *Agronomía Mesoamericana*, 30(2), 577-599. <https://doi.org/10.15517/am.v30i2.34173>

ISBN: 978-9942-53-146-9



Compás
capacitación e investigación