



INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO DEL CAFÉ ARÁBIGO Y ROBUSTA



INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO DEL CAFÉ ARÁBIGO Y ROBUSTA

Luciano Abelardo Ponce Vaca

Carlos Alberto Ponce Gómez

Barbara Enriquez Obregón

Luis Alberto Duicela Guambi

Kléber Dionicio Orellana Suárez

Willian Paúl Chilán Villafuerte

Gianni Rubén Corral Castillo

Agustín Hugo Álvarez Plúa

Kerly Andrea Mero Loor

Roberto Muñoz González

Bienvenido Máximo Vera Tumbaco

Rubén Melquiades Alcívar Murillo

Tomás Robert Fuentes Figueroa

Bolívar Fabián Mendoza Marcillo

Carlos Alberto Castro Piguave

Juan Miguel García Cabrera

Joffre Daniel Pincay Menéndez

Jéssica Jessenia Morán Morán

Sofía del Rocío Velásquez Cedeño

Autores Investigadores

INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO DEL CAFÉ ARÁBIGO Y ROBUSTA

AUTORES

INVESTIGADORES

Luciano Abelardo Ponce Vaca

Doctor en Ciencias Económicas;
Docente de la Maestría en Administración
Pública del Instituto de Posgrado de la
Universidad Estatal del Sur de Manabí,
Jipijapa, Ecuador.

✉ lpv1353@hotmail.com

🆔 <https://orcid.org/0000-0002-4202-0435>

Carlos Alberto Ponce Gómez

Magíster en Investigación en
Economía Social y Solidaria.
Especialista de Riesgo Operativo;
BanEcuador B.P.
Quito, Ecuador

✉ Carlos.ponce@banecuador

🆔 <https://orcid.org/0009-0006-7561-3006>

Barbara Enriquez Obregón

Licenciada en Educación Especial
Área de Posgrado de la Universidad
“Hermanos Saíz Montes de Oca” de Pinar del Río,
República de Cuba

✉ barbyenriquez68@gmail.com

🆔 <https://orcid.org/0000-0003-4201-8949>

Luis Alberto Duicela Guambi

Doctor en Ciencias Agrarias
Director de la Carrera de Ingeniería
Agroforestal de la Escuela Superior
Politécnica Agropecuaria de Manabí
“Manuel Félix López”- ESPAM
Docente de la Escuela Superior
Politécnica Agropecuaria de Manabí
“Manuel Félix López” Manabí - Ecuador

✉ luis.duicela@espam.edu.ec

ID <https://orcid.org/0000-0002-9326-8545>

Kléber Dionicio Orellana Suárez

Magíster en Contabilidad y Auditoría
Docente de Grado y Posgrado de la
Universidad Estatal del Sur de Manabí;
Director de Investigación de la
Universidad Estatal del Sur de Manabí,
Jipijapa, Ecuador

✉ kleber.orellana@unesum.edu.ec

ID <https://orcid.org/0000-0002-4202-0435>

Willian Paúl Chilán Villafuerte

Máster en Agroecología y Agricultura Sostenibles
Docente de la Escuela Superior Politécnica
Agropecuaria de Manabí “Manuel Félix López”
Manabí; Ecuador

✉ wpchilan@espam.edu.ec

ID <https://orcid.org/0000-0003-3262-3555>

Gianni Rubén Corral Castillo

Máster en Agroforestería para el trópico húmedo
Asesor de Proyectos de Caficultura en
Programa de Gestión Grupo Sánchez;
Los Ríos; Ecuador

✉ ruben.corral70@yahoo.com

Agustín Hugo Álvarez Plúa

Magíster en Agroecología y Agricultura Sostenible
Docente de Grado y Posgrado de la
Universidad Estatal del Sur de Manabí
Jipijapa; Ecuador

✉ Agustín.alvarez@unesum.edu.ec

ID <https://orcid.org/0000-0002-4213-1493>

Kerly Andrea Mero Loor

Doctora en Ciencias Económicas
Docente tiempo parcial -
Pontificia Universidad Católica del Ecuador sede Manabí
Docente de Posgrado -
Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de
“Manabí Manuel Félix López”
Docente de posgrado de la

Universidad Estatal Península de Santa Elena

✉ kerlymeroor@yahoo.com

ID <https://orcid.org/0000-0002-7745-0937>

Roberto Muñoz González

Doctor en Ciencias Económicas
Profesor Emérito por la Universidad Central
“Marta Abreu” de Las Villas
Docente de la UCLV, Santa Clara, Cuba

✉ munoz@uclv.edu.cu

ID <https://orcid.org/0000-0002-7635-3932>

Bienvenido Máximo Vera Tumbaco

Magíster en Administración Ambiental
Docente de Grado y Posgrado de la
Universidad Estatal del Sur de Manabí
Jipijapa, Ecuador

✉ maximo.vera@unesum.edu.ec

ID <https://orcid.org/0000-0003-2320-712X>

Rubén Melquiades Alcívar Murillo

Magíster en Gestión Ambiental
Director del Centro Experimental de Café
"Askley Delgado" –CECAD

✉ cecadjijapa@gmail.com

ID <https://orcid.org/0009-0004-3063-2823>

Tomás Robert Fuentes Figueroa

Magíster en Agropecuaria, Mención Agrícola
Docente de Grado y Posgrado de la
Universidad Estatal del Sur de Manabí
Jipijapa, Ecuador

✉ tomas.fuentes@unesum.edu.ec

ID <https://orcid.org/0000-0003-3266-22043>

Bolívar Fabián Mendoza Marcillo

Magíster en Agronomía con mención
producción agrícola sostenible;
Ingeniero Agropecuario;
Docente de Grado, Carrera Agropecuaria,
Universidad Estatal del Sur de Manabí;
Jipijapa, Ecuador.

✉ bolivar.mendoza@unesum.edu.ec

ID <https://orcid.org/0000-0003-0812-2232>

Carlos Alberto Castro Piguave

Magíster en Administración Ambiental
Docente de Grado y Posgrado de la
Universidad Estatal del Sur de Manabí
Coordinador de la carrera Agropecuaria de la
Universidad Estatal del Sur de Manabí;
Jipijapa, Ecuador.

✉ carlos.castro@unesum.edu.ec

ID <https://orcid.org/0000-0003-3180-2359>

Juan Miguel García Cabrera

Magíster en Ingeniería Agrícola
Docente de Grado y Posgrado de la
Universidad Estatal del Sur de Manabí
Coordinador del Programa de Maestría en Agropecuaria de la
Universidad Estatal del Sur de Manabí,
Jipijapa, Ecuador

✉ juan.cabrera@unesum.edu.ec

🆔 <https://orcid.org/0000-0002-2026-3751>

Joffre Daniel Pincay Menéndez

Magíster Agronomía con Mención en
Producción Agrícola Sostenible
Docente de Grado y Posgrado de
Universidad Estatal del Sur de Manabí
Jipijapa, Ecuador;

✉ Joffre.pincay@unesum.edu.ec

🆔 <https://orcid.org/0009-0004-1917-1894>

Jéssica Jessenia Morán Morán

Magíster en Ciencias Mención Microbiología
Docente de Grado y Posgrado de la
Universidad Estatal del Sur de Manabí
Jipijapa, Ecuador;

✉ jessica.moran@unesum.edu.ec

🆔 <https://orcid.org/0000-0002-6487-1038>

Sofía del Rocío Velásquez Cedeño

Doctora en Recursos Naturales y Gestión Sostenible
Vicerrectora Académica y de Investigación de la
Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí
"Manuel Félix López" - ESPAM,
Manabí; Ecuador

✉ svelasquez@esepam.edu.ec

🆔 <https://orcid.org/0000-0001-5141-0489>

INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO DEL CAFÉ ARÁBIGO Y ROBUSTA

REVISORES ACADÉMICOS

Aldo José Loqui Sánchez

Magíster en Riego y Drenaje;
Ingeniero Agrónomo;
Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia,
Universidad de Guayaquil;
Guayaquil, Ecuador;

✉ aldo_loqui@hotmail.com

🆔 <https://orcid.org/0000-0001-8953-5105>

Ricardo Paúl González Dávila

Ingeniero Agrícola de la Universidad Nacional de Loja UNL;
Maestro en Ciencias Sistemas Agropecuarios y Medio Ambiente de la
Universidad Autónoma de Tamaulipas UAT México;
Docente Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí,
El Carmen, Ecuador;

✉ ricardo.gonzalez@uleam.edu.ec

🆔 <https://orcid.org/0000-0001-7808-7642>

CATALOGACIÓN BIBLIOGRÁFICA

AUTORES:

Luciano Abelardo Ponce Vaca
Carlos Alberto Ponce Gómez
Barbara Enriquez Obregón
Luis Alberto Duicela Guambi
Kléber Dionicio Orellana Suárez
William Paúl Chilán Villafuerte
Gianni Rubén Corral Castillo
Agustín Hugo Álvarez Plúa
Kerly Andrea Mero Looor
Roberto Muñoz González

Bienvenido Máximo Vera Tumbaco
Rubén Melquiades Alcívar Murillo
Tomás Robert Fuentes Figueroa
Bolívar Fabián Mendoza Marcillo
Carlos Alberto Castro Piguave
Juan Miguel García Cabrera
Joffre Daniel Pincay Menéndez
Jéssica Jessenia Morán Morán
Sofía del Rocío Velásquez Cedeño

Título: Investigación y desarrollo del Café Árábigo y Robusta

Descriptores: Ciencias Agrarias; Producción agrícola; Investigación agrícola; Tipos de café

Código UNESCO: 3103 Agronomía

Clasificación Decimal Dewey/Cutter: 633/P773

Área: Ciencias Agrarias

Edición: 1era

ISBN: 978-9942-654-53-3

Editorial: Mawil Publicaciones de Ecuador, 2025

Ciudad, País: Quito, Ecuador

Formato: 148 x 210 mm.

Páginas: 245

DOI: <https://doi.org/10.26820/978-9942-654-53-3>

URL: <https://mawil.us/repositorio/index.php/academico/catalog/book/175>

Texto para docentes y estudiantes universitarios

El proyecto didáctico: **Investigación y desarrollo del Café Árábigo y Robusta**, es una obra colectiva escrita por varios autores y publicada por SaberEC; publicación revisada bajo la modalidad de pares académicos y por el equipo profesional de la editorial siguiendo los lineamientos y estructuras establecidos por el departamento de publicaciones de SaberEC en la ciudad de Quito, Ecuador.

© Reservados todos los derechos. La reproducción parcial o total queda estrictamente prohibida, sin la autorización expresa de los autores, bajo sanciones establecidas en las leyes, por cualquier medio o procedimiento.



Usted es libre de:
Compartir — copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato.
Adaptar — remezclar, transformar y construir a partir del material para cualquier propósito, incluso comercialmente.

Director Académico: Ph.D. Lenin Suasnabas Pacheco

Dirección Central MAWIL: Office 18 Center Avenue Caldwell; New Jersey # 07006

Gerencia Editorial MAWIL-Ecuador: Mg. Vanessa Pamela Quishpe Morocho

Dirección de corrección: Mg. Ayamara Galanton.

Editor de Arte y Diseño: Leslie Letizia Plua Proaño

Corrector de estilo: Lic. Marcelo Acuña Cifuentes

INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO DEL CAFÉ ARÁBIGO Y ROBUSTA

Índice

Contenidos

Prólogo 22
 Introducción 24

Capítulo I.

Crisis de la caficultura ecuatoriana y oportunidades de cambio 26
*Econ. Luciano Abelardo Ponce Vaca; Econ. Carlos Alberto Ponce Gómez;
 Lic. Barbara Enriquez Obregón*

Capítulo II.

Métodos para estimar la estabilidad del rendimiento: aplicación en la
 selección de clones de café robusta 59
Ing. Luis Alberto Duicela Guambi; Ing. Kléber Dionicio Orellana Suárez

Capítulo III.

Identificación y selección de clones élites de café robusta
 para zonas del litoral ecuatoriano 94
*Ing. Willian Paúl Chilán Villafuerte; Ing. Gianni Rubén Corral Castillo;
 Ing. Agustín Hugo Álvarez Plúa*

Capítulo IV.

Sector agroindustrial cafetalero: análisis y propuesta socioeconómica
 para la provincia de manabí 139
*Econ. Kerly Andrea Mero Loor; Lic. Roberto Muñoz González; Ing. Bienvenido
 Máximo Vera Tumbaco*

Capítulo V.

Ecuador país de los cafés especiales 172
*Ing. Rubén Melquiades Alcívar Murillo; Ing. Tomás Robert Fuentes Figueroa;
 Ing. Bolívar Fabián Mendoza Marcillo*

Capítulo VI.

Diversidad genética del café arábigo (*coffea arabica l.*)
 Aplicando marcadores microsatélite y evaluación morfo
 agronómica en banco de germoplasma 185
*Ing. Carlos Alberto Castro Piguave; Ing. Juan Miguel García Cabrera;
 Ing. Joffre Daniel Pincay Menéndez; Ing. Jéssica Jessenia Morán Morán*

Capítulo VII.

Factores de influencia en la calidad del café robusta
 (*Coffea canephora Pierre*) con tres procesos
 de beneficio en el Ecuador 219
Ing. Sofía del Rocío Velásquez Cedeño

INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO DEL CAFÉ ARÁBIGO Y ROBUSTA

Índice

Cuadros

Cuadro 1. Producción nacional, importaciones y exportaciones totales de café.	40
Cuadro 2. Importaciones de café robusta: 2008-2022.	41
Cuadro 3. Exportaciones totales de café en sacos de 60 kilos, del período 1992-202.	42
Cuadro 4. Contribuciones de las exportaciones de café al PIB: 2015-2022.	47
Cuadro 5. Estrategias para construir una caficultura sostenible.	53
Cuadro 6. Clasificación botánica del café robusta.	97
Cuadro 7. Principales características del café robusta.	98
Cuadro 8. Requerimientos edafoclimáticos del café robusta.	99
Cuadro 9. Clones de café robusta evaluados en la parroquia Las Mercedes, Cantón Isidro Ayora, provincia del Guayas.	102
Cuadro 10. Escala ordinal para la evaluación del estado sanitario general.	104
Cuadro 11. Escala ordinal para la evaluación de incidencia de plagas y enfermedades.	104
Cuadro 12. Escala ordinal para la evaluación de las características organolépticas.	107
Cuadro 13. Criterios usados en el análisis de Matriz de puntajes de los 32 clones de café robusta.	109
Cuadro 14. Promedios de las características agronómicas de 32 genotipos de café robusta, después de 60 meses del establecimiento.	110
Cuadro 15. Promedios de producción de café oro/planta, potencial de rendimiento, fruto vano y peso de 100 frutos de 32 genotipos de café robusta.	117
Cuadro 16. Promedios de las características físicas del grano de 32 genotipos de café robusta.	120
Cuadro 17. Promedios de las características organolépticas de la bebida de 32 genotipos de café robusta.	122
Cuadro 18. Promedios de las características industriales de 32 genotipos de café robusta.	124
Cuadro 19. Matriz de puntajes de 32 genotipos de café robusta, después de 60 meses del establecimiento.	127
Cuadro 20. Relación entre la producción de café oro/planta y la altura de los cafetos, de los árboles de café robusta preseleccionados como “cabeza de clon”, en Isidro Ayora.	131

.....

Cuadro 21. Promedios de variables agronómicas y estado sanitario de plantas de café robusta seleccionados como “cabeza de clon”, en Isidro Ayora.	133
Cuadro 22. Promedios de las variables productivas de las plantas de café robusta seleccionados como “cabeza de clon”, en Isidro Ayora.	134

INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO DEL CAFÉ ARÁBIGO Y ROBUSTA

Índice

Figuras

Figura 1. Modelo actual de gestión pública de la caficultura en Ecuador.....	50
Figura 2. Estabilidad de los clones de café robusta en base al modelo Finlay y Wilkinson.	79
Figura 3. Índices ambientales de 22 clones de café robusta y capacidad de adaptación.	82
Figura 4. Estabilidad del rendimiento de 22 clones de café robusta en cinco localidades del Ecuador usando el modelo AMMI.	84
Figura 5. Diagrama de cuatro celdas para la identificación de clones de café robusta de mayor rendimiento y reducida variación relativa (más estables).....	85
Figura 6. Promedios de altura de planta de 32 clones de café robusta, después de 60 meses del establecimiento.....	112
Figura 7. Diagrama de cuatro celdas: Relación entre producción café oro/planta (promedio de cuatro años de cosecha) y la variabilidad relativa de 32 clones de café robusta.....	128
Figura 8. Relación entre los sistemas de producción de café y la percepción de los productores en las mejoras de la calidad de vida del grupo familiar derivados de los ingresos de la caficultura en la provincia de Manabí.....	152
Figura 9. Calificaciones sensoriales, más altos y más bajos, en la escala SCA de los concursos “Taza Dorada” 2007-2023.....	181
Figura 10. Proyección de los puntajes sensorial más altos en los concursos Taza Dorada de café arábigo: 2026, Ecuador.....	181
Figura 11. Porcentaje de granos de Conil (A) y Robusta (B) en prueba de tamizaje.....	229
Figura 12. Porcentaje de notas de cata positivas y negativas para Robusta cultivado en diferentes altitudes.....	233
Figura 13. Porcentaje de notas de cata positiva y negativa para Conil cultivado en diferentes altitudes.....	234

INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO DEL CAFÉ ARÁBIGO Y ROBUSTA

Índice

Gráficos

.....

Gráfico 1. Evolución de las importaciones de café robusta: 2008-2022.	41
Gráfico 2. Exportaciones de café.	47
Gráfico 3. Aporte de las exportaciones de café al PIB: 2008-2022	48
Gráfico 4. Evolución de la producción de café.	49
Gráfico 5. Principales transformaciones en la estructura agraria ecuatoriana propiciadas por las legislaciones (1908-2009).	146

INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO DEL CAFÉ ARÁBIGO Y ROBUSTA

Índice

Tablas

Tabla 1. Genotipos de café robusta probados por localidades cafetaleras.....	66
Tabla 2. Regla de decisiones para interpretar los resultados de estabilidad en el modelo Eberhart y Russell.....	69
Tabla 3. Estadísticos de la variable rendimiento (kg ha ⁻¹) en 22 clones de café robusta: Medias por localidad, Medias de los clones , Error típico, valor escalar a la media (EAm), coeficiente de variación (CV), variación relativa (VR), coeficiente de asimetría de Fisher (Y1), Curtosis (g2) y tipos de distribución y de varianza	76
Tabla 4. Comparación de medias de rendimiento usando el análisis KW en cinco localidades cafetaleras	77
Tabla 5. Análisis de varianza por rangos de Kruskal y Wallis de la variable rendimiento de clones de café robusta en las localidades Pichilingue (Los Ríos) y Portoviejo (Manabí).....	78
Tabla 6. Promedio de rendimiento de los 22 clones de café robusta y parámetros de estabilidad de Eberhart y Russell (b, β y Sd ²), coeficiente de determinación R ² y agrupamiento en categorías con escala ordinal de los estadísticos promedio de rendimiento de los genotipos (G _i), categorización del coeficiente de determinación (R ²) y de la varianza de las desviaciones (S ² d), la valoración multicriterio (ΣMC) y la prioridad de selección.....	81
Tabla 7. Índice de superioridad (Pi) de los clones G _i mediante el método de Lin y Binns.....	83
Tabla 8. Comparación entre modelos estadísticos usados para estimar la estabilidad del rendimiento de clones de café robusta	87
Tabla 9. Relación entre los sistemas de producción de cafetales y la utilización de insumos para el control de plagas del cafeto en zonas estudiadas de la provincia de Manabí.....	148
Tabla 10. Relación entre los sistemas de producción de café y la contribución de los productores a la conservación ambiental en zonas estudiadas de la provincia de Manabí.....	149
Tabla 11. Relación entre los sistemas de producción de café y variables de producción y comercialización en zonas estudiadas de la provincia de Manabí.....	150

.....

Tabla 12. Relación entre la asistencia técnica y la utilización de insumos para el control de plagas del cafeto en zonas estudiadas de la provincia de Manabí..... 151

Tabla 13. Relación entre la asistencia técnica y aspectos administrativos y de comercialización del café en zonas estudiadas de la provincia de Manabí..... 154

Tabla 14. Distribución territorial de los 10 mejores cafés arábigos, concurso “Taza Dorada” 178

Tabla 15. Puntajes sensoriales más altos de los cafés arábigos ganadores de los Concursos “Taza Dorada”: 2007-2023..... 179

Tabla 16. Marcadores microsatélites (SSR) codominantes utilizados para el QTA-genotyping de 20 accesiones café del Banco de Germoplasma de la UNESUM..... 192

Tabla 17. Reactivos necesarios para la reacción de PCR..... 194

Tabla 18. Tratamientos utilizados en el experimento..... 196

Tabla 19. Altura de los fragmentos de pares de bases de cada marcador microsatélite o SSR en cada accesión de café evaluado..... 206

Tabla 20. Análisis de Chi cuadrado para los fragmentos (bp) de QTA-genotyping determinados..... 207

Tabla 21. Cuadrados medios de las evaluaciones de Altura de planta, Número de ramas, Diámetro de copa y Longitud de rama de la investigación..... 208

Tabla 22. Valores promedios y prueba de Tukey al 0,05% de las evaluaciones de Altura de planta, Número de ramas, Diámetro de copa y Longitud de rama de la investigación..... 209

Tabla 23. Cuadrados medios de las evaluaciones de Longitud de fruto, Ancho de fruto, Espesor de fruto y Disco del fruto de la investigación..... 209

Tabla 24. Valores promedios y prueba de Tukey al 0,05% de las evaluaciones de Longitud de fruto, Ancho de fruto, Espesor de fruto y Disco del fruto de la investigación..... 210

Tabla 25. Cuadrados medios de las evaluaciones de Color del fruto, Forma del fruto, Longitud de semilla, Ancho de semilla de la investigación..... 210

Tabla 26. Valores promedios y prueba de Tukey al 0,05% de las evaluaciones de Color del fruto, Forma del fruto, Longitud de semilla, Ancho de semilla de la investigación..... 211

.....

Tabla 27. Caracteres cualitativos de mayor valor discriminante de los cinco genotipos de café (<i>Coffea arabica</i> L.).....	211
Tabla 28. Características de las zonas y ecotipos en cafetales de muestreo.....	226
Tabla 29. Resumen de los valores F del ANOVA para el análisis físico.....	230
Tabla 30. Resumen de los valores F del ANOVA para defectos.....	231
Tabla 31. Puntuaciones medias de las notas de cata positivas en una escala de 1 a 10 para el café Robusta y Conil cultivados en diferentes altitudes.....	235

INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO DEL CAFÉ ARÁBIGO Y ROBUSTA

Prólogo

En un mundo cada vez más interconectado y digitalizado, la transformación digital se ha convertido en un imperativo para las instituciones públicas y privadas. La Universidad Estatal del Sur de Manabí, como institución de educación superior comprometida con el desarrollo de su región, ha asumido un rol protagónico en la exploración y aplicación de las tecnologías de la información y la comunicación (TIC) en diversos ámbitos.

Este libro, “E-gobierno, autogestión comunitaria y gestión administrativa: un enfoque desde las funciones sustantivas de la Universidad Estatal del Sur de Manabí”, es un testimonio del compromiso de nuestra institución con la innovación y la búsqueda de soluciones a los desafíos que enfrenta nuestra sociedad. A través de los trabajos aquí compilados, se presenta un panorama amplio y profundo de cómo las TIC están transformando la forma en que gobernamos, gestionamos y nos relacionamos con nuestras comunidades.

Los autores de este libro, en su mayoría docentes e investigadores de nuestra universidad, han abordado desde diferentes perspectivas temáticas de gran relevancia para el desarrollo local y regional. La implementación del e-gobierno, la promoción de la autogestión comunitaria y la optimización de los procesos administrativos son solo algunos de los temas que se exploran en profundidad.

Es de destacar el enfoque multidisciplinario de esta obra, que integra conocimientos de diversas áreas como la administración pública, la informática, la sociología y la economía. Este enfoque holístico permite comprender la complejidad de los procesos de transformación digital y sus implicaciones en los diferentes ámbitos de la vida social.

Estoy convencido de que este libro será una valiosa herramienta para estudiantes, investigadores, funcionarios públicos y miembros de la comunidad en general interesados en conocer las últimas tendencias en materia de gobierno electrónico y desarrollo local. Las experiencias y lecciones aprendidas en el contexto de la Universidad Estatal del Sur de Manabí pueden servir de inspiración para otras instituciones y comunidades que buscan aprovechar el potencial de las TIC para mejorar la calidad de vida de sus ciudadanos.

Se agradece a todos los autores por su valiosa contribución a esta obra y a la editorial por hacer posible su publicación. Estoy seguro de que este libro marcará un hito en la investigación y la difusión del conocimiento en nuestra región.

INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO DEL CAFÉ ARÁBIGO Y ROBUSTA

Introducción

La presente compilación de investigaciones se adentra en el apasionante universo de la transformación digital y su impacto en diversos ámbitos de la sociedad ecuatoriana, con un enfoque particular en la gobernanza y la gestión pública. Los trabajos aquí reunidos exploran cómo las tecnologías de la información y la comunicación (TIC) están reconfigurando las relaciones entre el Estado, las empresas y los ciudadanos, generando nuevas oportunidades y desafíos.

A través de una mirada multidisciplinaria, los autores analizan cómo la digitalización está incidiendo en la eficiencia de la recaudación tributaria, fomentando la participación ciudadana en la toma de decisiones, promoviendo la transparencia en la gestión pública, y transformando las prácticas de gestión financiera y contable en diversos niveles de gobierno. Asimismo, se exploran los desafíos asociados a la cultura tributaria, la evasión de impuestos y la gestión del talento humano en el contexto de la transformación digital.

Los estudios de caso presentados en este libro ofrecen una visión detallada de las experiencias concretas en diferentes localidades del Ecuador, permitiendo identificar tanto los avances alcanzados como las brechas existentes. En este sentido, la compilación se convierte en una herramienta valiosa para académicos, tomadores de decisiones y profesionales interesados en comprender los desafíos y oportunidades que plantea la transformación digital en el país.

INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO DEL CAFÉ ARÁBIGO Y ROBUSTA

Capítulo 1

Crisis de la caficultura ecuatoriana y
oportunidades de cambio

AUTORES: Econ. Luciano Abelardo Ponce Vaca, Ph.D; Econ. Carlos Alberto Ponce Gómez,
MESS; Lic. Barbara Enriquez Obregón

Introducción

La humanidad vive un mundo caracterizado por una economía globalizada marcada por el modelo neoliberal, donde predominan los privilegios de las grandes empresas transnacionales, circunstancias, en las cuales, el bien material café representa uno de los productos de mayor importancia económica a nivel mundial, tan solo superado por el petróleo, cuyos precios están determinados por la bolsa de Nueva York para el *Coffea arábica* L. (arábiga) y por la bolsa de Londres para el *Coffea canephora* Pierre ex Froehner (robusta).

Ciertamente, como refieren Ramírez y Paredes (2004), uno de los acontecimientos más extraordinarios de la humanidad ha sido, sin discusión alguna, la domesticación del café o qahwa (agua vegetal), como le llamaron los árabes, esa infusión que cruzó mares y desiertos y ascendió a alturas considerables, para difundirse por el mundo, sin importar culturas, ni políticas y que, al decir de Fernando Ortiz, fue “[...] un muy astuto artificio del demonio para ganarse a los humanos”.

En efecto, millones de personas dependen directa o indirectamente de la producción y venta del café para poder subsistir. En el mercado mundial, el café se caracteriza por precios volátiles y cambios en los niveles de producción, los cuales impactan en forma directa sobre los ingresos y la subsistencia de los agricultores que lo cultivan. En ese orden, el Banco Mundial estima que de los 140 países que se encuentran en vías de desarrollo, en 95 de ellos el valor exportado por materias primas representa el 50% o más del total de ingresos provenientes del comercio exterior, el café es un claro ejemplo de ello (Instituto del Café de Costa Rica, 2015).

En Ecuador, al igual que en los demás países cafetaleros del mundo, la producción de café es una actividad familiar que demanda mucha mano de obra y genera empleo rural y urbano, puesto que a las jornadas en el campo se suman aquellas necesarias para los procesos de comercialización, transporte, preparación del grano para la exportación y de industrialización (Pinargote, 2016).

Duicela (2016) sostiene que el mayor problema de la caficultura ecuatoriana lo constituye la baja producción nacional que tiene como causas: 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

1 Doctor en Ciencias Económicas, Docente de la Maestría en Administración Pública del Instituto de Posgrado de la Universidad Estatal del Sur de Manabí (UNESUM), Jipijapa, Manabí, Ecuador. Correo: luciano.ponce@unesum.edu.ec

2 Máster en Contabilidad y Auditoría, Profesor y Director de Investigación de la Universidad Estatal del Sur de Manabí (UNESUM), Jipijapa, Manabí, Ecuador. Correo: kleber.orellana@unesum.edu.ec

del clima; débil asociatividad de los productores; insuficientes conocimientos para la gestión de sistemas agroforestales cafetaleros; carencia de un programa de zonificación del cultivo. Situación agravada por la presencia de plagas (broca del fruto y minador de las hojas) y enfermedades (mal de hilachas, roya, ojo de gallo y mancha de hierro), (Ponce, 2016).

En este contexto, la caficultura ecuatoriana se ha visto afectada por una serie de factores exógenos como la inestabilidad de los precios y fenómenos climáticos como “El Niño” y por factores endógenos como el deficiente proceso de gestión pública, situación presente en todas las instituciones del sector público.

En esa lógica, es necesario señalar que los esfuerzos del Gobierno nacional a través del Ministerio de Agricultura y Ganadería por reactivar la caficultura, a partir de la ejecución del proyecto denominado “Reactivación de la caficultura ecuatoriana”, implementado desde el año 2011, no ha logrado los resultados esperados, toda vez que la producción y las exportaciones del grano han bajado significativamente mientras que las importaciones de café robusta han crecido para cubrir la demanda de la industria nacional.

A partir de los elementos expuestos, se evidencia que, para el contexto de la caficultura ecuatoriana, se ponen de manifiesto las insuficiencias del Ministerio de Agricultura y Ganadería en el proceso de gestión pública para reactivar la caficultura, con resultados desalentadores: débil articulación de la cadena productiva (Estado, empresa privada, academia, productores, gremios de productores) y demás actores claves vinculados a esta importante actividad productiva. En definitiva, se evidencia que no existe una clara visión del Gobierno central por priorizar la actividad cafetalera como una política pública dirigida a incrementar la producción, productividad, calidad, exportación, consumo interno y reducir las importaciones, requerida por la industria nacional; todo lo cual contribuye al desequilibrio de la balanza comercial y, sobre todo, a la desmotivación y desaliento de los productores cafetaleros.

Fundamentos teóricos y metodológicos para la gestión pública de la caficultura

Breve historia del café

Duicela y Palma, R. (2021) indican que el café es la bebida más consumida en el mundo, después del agua (Excélsior, 2017). El café, en todas sus presentaciones y preparaciones, se deriva de semillas tostadas y molidas cosechadas en plantas denominadas cafetos. Los cafetos pueden corresponder a cualquiera de las 125 especies del género *Coffea* (Missouri, 2010), originarias de África y la región de Madagascar (Loor y col., 2017).

Esta aromática bebida es testigo de trascendentales acontecimientos de la historia universal, de sucesos inolvidables en la vida de millones de personas, de creaciones antológicas en la literatura, la música, las artes plásticas. Aquí, allá y acullá su ritual se repite, cada uno matizado por la cultura de cada pueblo (Ramírez y Paredes, 2004).

La historia del café empieza en el siglo IX en el cuerno de África, en la provincia de Kaffa de la República Federal Democrática de Etiopía. Las investigaciones realizadas acerca de su origen, no precisan el tiempo exacto, toda vez que no existen documentos históricos sobre cuándo el hombre empezó a consumir el grano de café.

El café y su expansión por el mundo atribuye a los árabes como protagonistas, se afirma que durante unos 200 años tuvieron la dominación exclusiva del cultivo y comercio del café, ya que tenían una rigurosa política y especial cuidado de no exportar granos fértiles de café, para lo cual le quitaban las capas exteriores y lo tostaban; de este modo, era misión imposible plantar café en territorios que no estuvieran bajo la influencia árabe.

La leyenda cuenta que un miembro de la tribu de Kaldi, habitantes de las zonas montañosas y de mayor altitud de Kaffa, observó como las cabras tenían mucha más energía tras comer un tipo de frutos, parecidos a las cerezas. Al probarlas él mismo, descubrió las propiedades energizantes y excitantes de las semillas encerradas en su fruto y las trasladó a su tribu.

De cualquier forma que se escriba la leyenda sobre el origen del café, no cabe duda y ciertamente existe información documentada precisando que en el siglo XV en la República de Yemen, país bicontinental situado en Oriente Próximo entre Asia y África, había plantaciones de café y un gran comercio del grano entre Sudán y Arabia a través del puerto de Al-Mokha, ciudad portuaria tranquila ubicada a orillas del Mar Rojo.

El café en América

La primera referencia del consumo de café en Norteamérica data de 1668; sin embargo, fue en el decenio de 1720 cuando el café se empezó a cultivar por primera vez en las Américas. La historia otorga el mérito a Gabriel Mathieu de Clieu, oficial de la Marina francesa, que estaba de servicio en la isla Martinica y que, en 1720, viajó a París con permiso, quien con alguna ayuda logró adquirir un cafeto; después de haber atravesado diversas dificultades en su travesía de retorno, logró plantar el cafeto en la isla Martinica, esta planta creció y se multiplicó, y en 1726 se obtuvo la primera cosecha; sin embargo, fueron los holandeses los primeros en propagar el cafeto en América

Central y del Sur, donde hoy en día reina sin rival como el principal cultivo con fines comerciales del continente. El café llegó primero a la colonia holandesa de Surinam en 1718, y después se plantaron cafetales en la Guyana francesa y el primero de muchos en Brasil (OIC, 2024).

El café en Ecuador

Ecuador está ubicado en la mitad del mundo, sobre la línea ecuatorial, en América del Sur, por lo cual su territorio se encuentra en ambos hemisferios. Limita al norte con Colombia, al sur y al este con Perú y al oeste con el océano Pacífico, cuenta con 24 provincias y se siembra café en 23 de ellas. Uno de los cantones más antiguos de la provincia de Manabí es Jipijapa, su extensión territorial abarcaba lo que hoy constituyen los cantones Paján y 24 de Mayo. El MAG (1987) refiere que a Ecuador se introdujo la variedad Típica, en 1830, iniciándose su cultivo en las montañas del municipio Jipijapa (Manabí), a partir del cual se expandió el cultivo por toda la provincia de Manabí y en su orden por las provincias de Loja, El Oro y otras zonas del país.

En Ecuador también se siembra y cosecha el café robusta, introducido en 1951, y desde entonces se produce las dos especies, arábigo y robusta, junto con Brasil y México, aunque actualmente otros países como Colombia, han propuesto cultivar robusta.

Fundamentos de la gestión pública

La evolución histórica de la administración como ciencia tiene un desenvolvimiento de ideas a nivel cultural en Oriente y Occidente, contribuyendo al desarrollo del hombre en cada uno de los sistemas sociales por los que ha pasado, ya que ha evolucionado la toma de decisiones en las cuatro funciones claves para el desarrollo de mando a nivel organizacional, como son: planificar, organizar, dirigir y controlar, y por consiguiente la dinámica en el mundo empresarial, en el desenvolvimiento de entornos productivos y mercados competitivos a escala mundial (Fernández, 2005, citado por Hernández, 2011).

Las bases teóricas de la gestión en un mundo cada vez más globalizado condiciona ineludiblemente el surgimiento de un nuevo paradigma filosófico orientado al desarrollo viable de amplios sectores sociales afectados por el desigual sistema de producción capitalista, entre éstos, el sector productor cafetalero ecuatoriano que carece de un modelo de gestión pública para impulsar su reactivación, proceso que permitirá implementar un nuevo enfoque de gestión y, con ello, enriquecer las funciones básicas de la administración; esto es, la planificación, organización, dirección y control (Ponce, 2018).

Las diversas fuentes bibliográficas existentes permiten inferir que el pensamiento económico, acerca de la gestión desde la administración, ha estado caracterizado por gran diversidad de ideas, según haya sido el fin y las preferencias de los autores, así como las condiciones históricas concretas en que fueron formuladas y el ámbito de conocimiento de éstas; no obstante, los diversos enfoques coinciden en que la gestión es el resultado de integrar los procesos de planificación, organización, dirección y control, en función de alcanzar altos niveles de productividad, eficiencia y eficacia.

La sistematización teórica, desde la práctica social, permite afirmar que la gestión pública debe tener un enfoque integrador y articulador de los distintos actores de la sociedad civil, a fin de asegurar el desarrollo de los territorios y de la sociedad en su conjunto, asegurando una relación dinámica y equilibrada entre la sociedad, el Estado y el mercado, en armonía con la naturaleza, proceso que debe garantizar la participación ciudadana en la planificación del Estado, en términos de promover con ética y responsabilidad la satisfacción de las necesidades de la población en su conjunto (Constitución, 2008).

Desarrollo sostenible

En 1987, la Comisión Brundtland de las Naciones Unidas definió la sostenibilidad en los siguientes términos: La sostenibilidad es el desarrollo que satisface las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las futuras generaciones, garantizando el equilibrio entre el crecimiento económico, el cuidado del medio ambiente y el bienestar social (Aguado, 2018).

Aguado (2018) refiere que se pone de manifiesto el carácter dinámico y complejo con un modelo económico basado en la eficiencia y la solidaridad, en una perspectiva ética intergeneracional respecto del uso de los recursos naturales.

Desarrollo sostenible de la caficultura

Partiendo de estas concepciones teóricas, el desarrollo sostenible de la caficultura ecuatoriana debe responder a los Objetivos de Desarrollo Sostenible (Agenda 2030), declarados por los líderes mundiales para erradicar la pobreza, proteger el planeta y asegurar la prosperidad para todos.

En este contexto, se debe tomar en cuenta que en el Ecuador la producción de café se desarrolla en sistemas agroforestales, lo cual representa una ventaja competitiva en términos de promover una caficultura diferenciada de alta calidad, actividad que demanda de buenas prácticas agrícolas que conlleven a transformar las Unidades de Producción Cafetalera (UPAs) en fincas integrales autosostenibles (Cañarte, 2016).

Consecuentemente, es impostergable sugerir cambios en la política cafetalera del Ecuador, de modo que se promueva el desarrollo sostenible de la caficultura en atención a las condiciones edafoclimáticas y características geomorfológicas que se presentan en las diversas zonas geográficas del Ecuador aptas para el cultivo de la especie *Coffea arábica* L. y las potencialidades que experimenta el *Coffea canephora* Pierre ex Froehner en Ecuador, esto en correspondencia con las nuevas tendencias del mercado internacional del café y el requerimiento de materia prima por parte de la industria cafetalera ecuatoriana. Se sugiere, además, como estrategia, impulsar una nueva asociatividad en función de las particularidades y características de cada zona productora de café; por tanto, las acciones prioritarias deben encaminarse al fortalecimiento de las organizaciones de los productores, articuladas al desarrollo territorial multisectorial y, sobre todo, deben estar dirigidas a la formación de nuevos talentos en caficultura.

En estos contextos, se vuelve imprescindible impulsar un modelo de gestión para el desarrollo sostenible de la caficultura ecuatoriana, a partir de la articulación e integración de los actores claves, vinculados a la actividad cafetalera (Estado, empresa privada, academia y productores cafetaleros).

A continuación, y con el propósito de ilustrar al lector, se incorporan algunos modelos de gestión de la caficultura de varios países productores de café, que pueden servir de referencia, en términos de entender que el diseño de un modelo de gestión debe estar integrado por componentes encadenados entre sí en su estructura, que distingan las relaciones esenciales e interrelaciones entre éstos; y que en la praxis la dinámica de las dimensiones sustantivas de la sostenibilidad formen parte sustancial de su estructura metodológica.

Modelos institucionales de atención al sector cafetalero de los principales países productores de café

El Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA) (2016), revela algunos modelos institucionales de atención al sector cafetalero de varios países, analizados en el taller “Producción sostenible de café y biodiversidad en Mesoamérica; retos y perspectivas para reflexionar en México”, realizado del 26 al 28 de octubre de 2016, en Oaxaca de Juárez-México, además, el aporte de varios autores sustenta la síntesis del presente trabajo (Quirós, 2016; Pineda, 2016).

Modelo institucional de la caficultura de Brasil

Brasil, primer productor y exportador mundial de café y el segundo consumidor del mundo, cuenta con una superficie cultivada de 2,1 millones de

hectáreas, distribuida entre 300.000 explotaciones. 2/3 están constituidas por pequeños productores, el café está esparcido en 11 estados federados y 1.850 municipios. El café arábigo representa el 76,3% de la producción nacional y el café robusta el 23,7%.

Con la ruptura del Acuerdo Internacional del Café, se desnacionaliza la industria del café, dando lugar a la consolidación de 3 grandes tipos de empresas transnacionales procesadoras y exportadoras: empresas tostadoras, trading e industria de café soluble; por tanto, la política cafetalera de Brasil está controlada por el sector privado y empresas transnacionales, contexto en el cual las opciones de una caficultura sostenible agroecológica están lejanas.

El carácter empresarial de la producción, combinado con un elevado patrón tecnológico, hace que las áreas cafetaleras alcancen los más elevados rendimientos de la caficultura brasileña (Sacco *et al.*, 2011).

Modelo institucional de la caficultura de Vietnam

Vietnam, el mayor productor mundial de café robusta, está situado en el este de la península Indochina y al sudeste de Asia.

Más del 50% de la producción total del país proviene de la provincia de Dak Lak, y su capital Buon Ma Thuot es la capital cafetera del país (Avellaneda y González, 2003).

El marco institucional en Vietnam está a favor de las iniciativas de cambio climático y representantes de gobierno y las instituciones académicas están motivados a cooperar (Panhuysen & Pierrot, 2014).

Las fincas cafeteras en Vietnam tienen entre 1 y 2 hectáreas. El Estado es el rector de la política cafetalera y como tal brinda asistencia técnica y crédito para promover la producción y productividad.

Modelo institucional de la caficultura de Colombia

Datos de la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia (FNC) (2014), señalan que en Colombia existen 686.585 fincas cafeteras, con un total de 948.533 hectáreas.

Quirós (2016) señala que el modelo del sector cafetalero está liderado por la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia (FNC), creada en 1927, con la misión de procurar el bienestar de los caficultores de Colombia.

Existe el fondo nacional del café, cuenta parafiscal administrada por la FNC para beneficio de los cafetaleros, cuyos parámetros de utilización es armonizada con el gobierno.

El nuevo plan estratégico institucional (2015-2020) está enfocado en los cuatro elementos del desarrollo sostenible: económico, social, ambiental e institucional, lo que resulta coherente y consistente con el desarrollo y bienestar de la población (Muñoz, 2014).

Modelo institucional de la caficultura de Costa Rica

El Instituto del Café de Costa Rica (ICAFE) es un ente público no estatal, con personería jurídica y patrimonio propio, fundado en el año 1933, desde entonces se ha posicionado como el líder de la rectoría y fomento de la actividad cafetalera de este país centroamericano, mediante esquemas de innovación y trazabilidad.

Según el ICAFE (2013), el sistema cafetalero costarricense tiene un modelo único en el mundo, regulado a través del ICAFE, que tiene su origen en una decisión tomada por el Gobierno para atender la situación crítica que sufría la actividad cafetalera nacional. La comercialización de café se encuentra totalmente en manos del sector privado, pero el Estado mantiene la supervisión y el control de la misma a través del

- El ICAFE se reglamenta en la Ley de la República de Costa Rica No. 2762, con el objetivo de:
- Promover un modelo de producción único y equitativo entre los Productores, Beneficios, Tostadores y Exportadores nacionales.
- Apoyar la producción, proceso, exportación y comercialización del café costarricense.
- Promover el consumo nacional e internacional de nuestro café.
- Investigar y desarrollar tecnología agrícola e industrial.
- Aprobar un precio mínimo justo que debe pagar el Beneficio de café al productor del mismo.
- Costa Rica cuenta con 90.000 hectáreas, distribuidas en 8 regiones cafetaleras del país; existen 46.766 productores (42% se encuentra afiliado a una cooperativa); registra 210 firmas beneficiadoras de café; 69 compañías exportadoras; 43 torrefactoras (ICAFE, 2015).

Modelo institucional de la caficultura de Ecuador

El Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG), como entidad del Estado ecuatoriano, ejerce la rectoría de la política agropecuaria y como tal la política cafetalera del país. En el año 2011 inició la ejecución del proyecto denominado “Reactivación de la caficultura ecuatoriana”, el cual buscaba, entre otros objetivos, resolver el problema de la baja producción nacional, reducir las importaciones de café robusta y promover la productividad (MAGAP, 2016).

La política del Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG) de impulsar la reactivación de la caficultura ecuatoriana, no dieron los resultados esperados, pese a una inversión que superaría los cien millones de dólares; además, en la actualidad el Ecuador carece de una ley que regule la producción y comercialización interna y externa del café; toda vez que la Ley Especial del Sector Cafetalero, publicada en el Registro Oficial N.º 657 del 20 de marzo de 1995, que dio vida al Consejo Cafetalero Nacional (COFENAC), fue derogada por la Asamblea Nacional en el año 2014.

De la información sistematizada en el presente estudio, se observa que los modelos institucionales de atención al sector cafetalero de los países estudiados, presentan diferentes características y contradicciones, priorizan la rentabilidad económica empresarial y reproducción del capital, en detrimento de los intereses de los caficultores que, como en el caso de Ecuador, han optado por abandonar la actividad y migrar a las principales urbes del país en busca de mejores horizontes.

Estos elementos sirven de base material para impulsar un nuevo modelo de gestión de la caficultura, que permita asegurar el desarrollo sostenible de la caficultura ecuatoriana y la búsqueda de oportunidades en mercados potenciales, a partir de la producción de cafés especiales y diferenciados; para lo cual es fundamental y necesario implementar una sólida alianza pública-privada que articule e integre a todos los actores de la cadena productiva-café, para fomentar de forma efectiva el desarrollo sostenible del sector, proceso en el cual debe jugar un rol protagónico la academia a través de la Red Universitaria de Investigación y Desarrollo Cafetalero (REDUCAFE) y, por otro lado, la Asociación Nacional Ecuatoriana del Café (ANECAFE), antes Asociación Nacional de Exportadores de Café, entidad que ha dado un giro paradigmático en su estructura institucional, en términos de contribuir a la recuperación y fomento de la producción y productividad de café de las especies: arábigo y robusta, y con ello reducir las crecientes importaciones de café robusta proveniente de otras latitudes del mundo, materia prima destinada a cubrir la

demanda de la industria nacional, sector de la cadena que desarrolla su actividad en medio de un clima de incertidumbre frente a las nuevas tendencias del mercado de café robusta y los cambios disruptivos que experimenta la globalización económica mundial.

Materiales y Métodos

La propuesta para promover un modelo de gestión para el desarrollo sostenible de la caficultura ecuatoriana, parte de las experiencias del ex Consejo Cafetalero Nacional (COFENAC) y de algunos investigadores de reconocida trayectoria en materia cafetalera, recoge aspectos fundamentales de la tesis doctoral “Modelo de gestión pública cantonal para la reactivación de la caficultura ecuatoriana sobre bases agroecológicas, 2018”, así como también incorpora algunos hallazgos del proyecto “Modelo de gestión pública para el desarrollo sostenible de caficultura en la provincia de Manabí”, investigación que se encuentra en plena ejecución por parte de un grupo de docentes-investigadores de la Maestría en Administración Pública del Instituto de Posgrado de la Universidad Estatal del Sur de Manabí (UNESUM).

La presente investigación contempla datos históricos de la producción nacional, exportaciones del período 1990-2023 e importaciones de café del período 2008-2022, contribución del rubro café al PIB, esto en la perspectiva de explicar y demostrar al lector la verdadera problemática de producción y productividad que en materia cafetalera experimenta el Ecuador.

Las principales actividades de investigación realizadas fueron: revisión bibliográfica, talleres, encuentro con productores cafetaleros, tomando en cuenta criterios generacionales, diálogo con actores locales clave vinculados a la actividad cafetalera (técnicos, funcionarios, académicos, líderes de gremios (exportadores y productores), con el fin de conocer la situación actual del sector cafetalero desde la visión de los actores de la cadena productiva-café.

Se incorpora como base de la investigación la metodología utilizada en el diagnóstico del proceso de gestión pública de la caficultura, implementada en la tesis doctoral “Modelo de gestión pública cantonal para la reactivación de la caficultura ecuatoriana sobre bases agroecológicas, 2018”. Se recurrió a fuentes de información primaria y secundaria, complementadas con métodos y técnicas de investigación científica, las cuales permitieron diagnosticar, en términos de valorar en todas sus dimensiones, el estado actual del proceso de gestión pública de la caficultura.

En el contexto, la situación de la caficultura en Ecuador, en los últimos 5 años, no registra cambios significativos; en función de lo cual se tomó como

base los datos de la tesis doctoral “Modelo de gestión pública cantonal para la reactivación de la caficultura ecuatoriana sobre bases agroecológicas” (Ponce, 2018).

En estas circunstancias y a fin de determinar la necesidad de información se cumplieron los siguientes pasos: a) revisión y análisis de la información secundaria; b) identificación de las zonas cafetaleras de estudio; c) aplicación de instrumentos del diagnóstico; d) procesamiento de la información.

Revisión y análisis de información secundaria

La información del Censo Cafetalero - Programa Nacional del Café del Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG, 1983), el sistema de producción de las zonas cafetaleras de Ecuador del Consejo Nacional Cafetalero (COFENAC, 2002), así como la situación del sector cafetalero ecuatoriano: Diagnóstico, COFENAC (2013), entre otros documentos sobre métodos y técnicas de diagnóstico, constituyen la base teórica del presente trabajo; pero, además, se realizó una rigurosa revisión documental, lo cual permitió afianzar el estudio, que sirvió para la caracterización del proceso de gestión pública de la caficultura ecuatoriana.

Identificación de las zonas cafetaleras de estudio

La selección de las zonas cafetaleras de estudio se realizó tomando como referencia las áreas de producción de mayor importancia, siendo los cantones Jipijapa, Paján y 24 de Mayo, del sur de la provincia de Manabí, los que demuestran la frontera más amplia del cultivo a nivel nacional.

Aplicación de instrumentos del diagnóstico

Como pasos previos al diagnóstico, se aplicaron los siguientes instrumentos: recorrido de campo; entrevistas no estructuradas; talleres participativos para el diagnóstico.

Aplicación de fichas técnicas

Una vez culminado el proceso de aplicación de instrumentos del diagnóstico, se aplicó la encuesta utilizando una ficha técnica, recurriendo a los métodos empíricos, lo que permitió compilar los datos requeridos para llevar adelante la investigación. Para el estudio de campo se seleccionó una muestra representativa con base en la estimación de la superficie sembrada y el universo de las UPC de los tres cantones, mediante la utilización de una fórmula estadística en la que se explica el cálculo de la muestra con sus respectivos atributos. El Anexo 5, describe la fórmula y el procedimiento aplicado.

En ese orden, se encuestaron 371 UPC y entrevistaron a 40 actores locales claves, tomando en cuenta los distintos niveles de gobierno y representatividad. El trabajo de campo se realizó entre los meses de abril y noviembre de 2015.

Procesamiento de la información

Se preparó una base de datos de las encuestas para obtener resultados, para lo cual se utilizó una herramienta de base de datos Access que ayudó a manejar los datos relacionales de mejor manera y obtener los reportes requeridos. Además, para las entrevistas, mediante el uso de los métodos cuantitativo y cualitativo, se establecieron 4 criterios de valoración: 1 = Ninguno, 2 = Baja, 3 = Media y 4 = Alta. Los resultados fueron procesados con ayuda de la estadística descriptiva, mediante el uso del software Statistical Package For Social Sciences (SPSS) versión 22.0.

Resultados y Discusión

Situación de la caficultura ecuatoriana

El Ecuador continental se localiza dentro de la zona intertropical tórrida con la cordillera de los Andes que atraviesa de norte a sur, constituyéndose en un factor causal de los diversos climas (Barros y Troncoso, 2010). Según Martínez, Harris, Graber (2006), el clima de la región Costa del Ecuador, depende de las corrientes marinas Humboldt y El Niño, citados por Duicela (2016).

El café, para los ecuatorianos, tiene importancia en los órdenes: económico, social, ambiental y salud humana. En lo económico constituye una fuente de divisas e ingresos para los actores de las cadenas del café. En lo social, en las cadenas del café se involucran muchas etnias y pueblos en 23 de las 24 provincias del país, dispersos en un amplio tejido social. En lo ambiental se cultiva, básicamente, en sistemas agroforestales, en una amplia diversidad de suelos y climas, contribuyendo a la conservación de la fauna y flora nativas. En lo referente a la salud humana, según lo indican Gotland y De Pablo (2007, p. 105) y Capel *et al.* (2010, p. 72), el consumo de café muestra correlación inversa con el riesgo de diabetes tipo 2, daño hepático y enfermedades neurodegenerativas como el Parkinson (Duicela, 2016).

En el contexto de la caficultura mundial, Ecuador aparece como productor, exportador y consumidor de café arábigo y robusta (Ponce *et al.*, 2018) que se cultivan en 23 de las 24 provincias del país (Duicela, 2016).

El sector cafetalero ecuatoriano evidencia una profunda crisis, agravada aún más en la última década, crisis que se manifiesta en la reducción de

la producción nacional de café; en la severa disminución de su aporte a la economía del país y en el desmejoramiento de las condiciones de vida de los pequeños productores (Ponce *et al.*, 2018). Haciendo historia, se denota que la década de 1980 fue una época de auge para el sector cafetalero, la producción ecuatoriana representaba un 2% (más de 2 millones de sacos) de la producción mundial. La superficie cosechada, en 1983, fue 346.971 hectáreas, según el Ministerio de Agricultura, que se redujo a 29.480 hectáreas cosechadas, en 2021, de las cuales 14.720 fueron de café arábigo y 14.760 de café robusta (MAG, 2020), que produjeron 343.280 quintales. Según la Asociación Nacional Ecuatoriana del Café (ANECAFE) la producción se redujo a 200.000 sacos en el 2022, volumen que al parecer no varió en el 2023 (Pinargote, 2023).

Algunos factores críticos explican la baja producción: en 1996 se registró una sequía, en 1997-1998 hubo el fenómeno de El Niño y del 2000 al 2006 hubo una caída drástica de los precios del café a nivel global. Se reconoce que hubo esfuerzos del MAG para reactivar la caficultura, pero no lograron los objetivos ni se han tomado los correctivos pertinentes.

En cuanto a la demanda, se destaca que la industria del café soluble requiere de 1.200.000 sacos de 60 kilos (preferentemente café robusta), el consumo interno se estima en 300.000 sacos y los exportadores de café en grano declaran que disponen de una capacidad instalada para 800.000 sacos de grano. Esto significa que la demanda llega a 2 millones 300 mil sacos. Por tanto, la brecha entre la oferta y la demanda de café en grano es grande. Una producción nacional de 300.000 sacos, apenas cubriría el consumo interno. Debido al déficit de producción, la industria tiene que importar materia prima desde Vietnam, Brasil o Costa de Marfil, bajo la modalidad de internación temporal (Reducafé, 2023).

La baja producción nacional del café también se debe a la baja productividad que, según el MAG, en arábigo es 0,5 t/ha y en robusta 0,71 t/ha, comparativamente más bajos que los otros países productores de café. Los factores determinantes de la baja productividad son: la edad avanzada de los cafetales, el uso de ineficientes prácticas de cultivo, la falta de acceso a insumos de calidad y el impacto del cambio climático; además de la alta incidencia de enfermedades.

Datos históricos revelan que la producción de café en el Ecuador ha disminuido paulatinamente. De acuerdo con el II Censo Agropecuario, realizado en 1983, existieron 346.971 hectáreas de café, mientras que en el año 2002

disminuyeron a 260.528 hectáreas y para el 2012 la cifra se redujo a 220.000 hectáreas. Según datos de la Asociación Nacional Ecuatoriana del Café (ANECAFE), para el año 2019 se estimó tan solo en 60.000 hectáreas.

En el cuadro 1 se puede observar el comportamiento de la producción, las importaciones de café robusta y las exportaciones totales en todas sus formas, en sacos de 60 kilos. Los datos de producción de los años 2012 al 2018 responden a la información estadística de la OIC, mientras que los datos de producción de los años 2019 a 2022, revelan las estimaciones de ANECAFE.

Cuadro 1.

Producción nacional, importaciones y exportaciones totales de café.

Años	Producción nacional (sacos de 60 kilos)	Importaciones de café robusta en grano (sacos de 60 kilos)	Exportaciones totales de café en todas sus formas (sacos de 60 kilos)
2012	825.000,00	1.133.180,72	1.570.944,00
2013	828.000,00	1.377.629,75	1.261.691,00
2014	666.000,00	1.228.200,00	1.131.638,00
2015	644.000,00	488.176,00	869.970,00
2016	700.000,00	751.237,00	921.174,00
2017	645.000,00	808.822,67	695.144,00
2018	624.000,00	367.702,17	482.000,00
2019*	300.000,00	449.628,27	506.266,69
2020*	300.000,00	327.364,17	443.201,61
2021*	250.000,00	387.399,00	523.193,71
2022*	200.000,00	680.605,00	538.662,28
TOTAL	5.982.000,00	7.999.944,75	8.943.885,29

Fuente: Ponce, Orellana, Acuña, Fuentes y Enríquez (2020); ANECAFE (2023).

Se presenta a continuación el cuadro 2, referido a las importaciones de café robusta durante los últimos 15 años, período 2008-2022.

Cuadro 2.

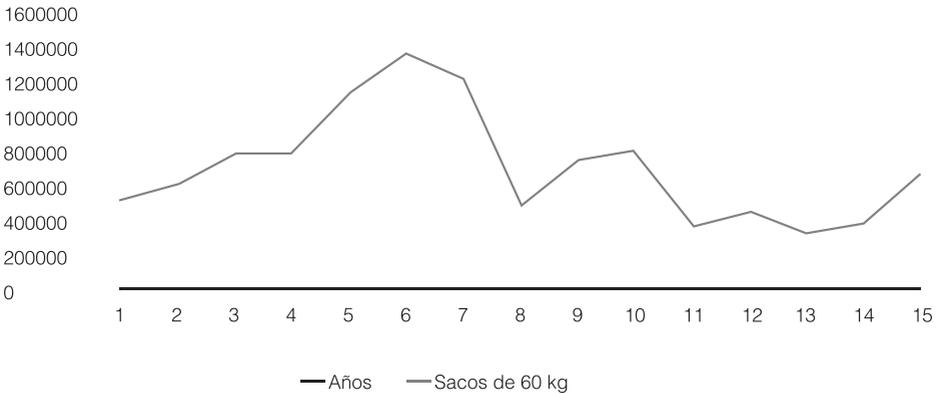
Importaciones de café robusta: 2008-2022.

Años	Sacos de 60 kg	Años	Sacos de 60 kg
2008	509.377,05	2016	751.237,25
2009	607.537,78	2017	808.822,67
2010	788.887,27	2018	367.702,17
2011	787.852,62	2019	449.628,27
2012	1.133.180,72	2020	327.364,17
2013	1.377.629,75	2021	387.399,00
2014	1.228.200,08	2022	680.605,00
2015	488.176,38	TOTAL	10.693.600,18

Fuente: Cobus (2023)

Gráfico 1.

Evolución de las importaciones de café robusta: 2008-2022.



De igual forma, en el cuadro 3 se exponen las exportaciones totales de café durante el período 1992-2023.

Cuadro 3.*Exportaciones totales de café en sacos de 60 kilos, del período 1992-202.*

AÑOS	CALIDAD							
	ARÁBIGO		ROBUSTA		INDUSTRIALIZADO		TOTAL	
	SACOS	DÓLARES	SACOS	DÓLARES	SACOS	DÓLARES	SACOS	DÓLARES
1992	412.183,00	25.725.020,51	665.797,00	38.231.522,78	376.304,17	17.970.123,08	1.454.284,17	81.926.666,37
1993	779.276,00	53.655.523,30	559.279,00	31.043.022,05	433.004,50	27.681.622,88	1.771.559,50	112.380.168,23
1994	1.402.018,00	279.584.151,27	522.256,00	86.249.431,94	571.312,50	45.445.938,88	2.495.586,50	411.279.522,09
1995	769.947,00	112.580.946,24	581.301,50	72.255.993,96	584.985,50	58.408.292,30	1.936.234,00	243.245.232,50
1996	627.739,50	78.310.284,92	542.586,00	45.616.380,06	346.794,00	29.644.431,05	1.517.119,50	153.571.096,03
1997	263.594,50	51.443.323,22	445.846,00	33.057.242,03	348.102,50	29.302.901,63	1.057.543,00	113.803.466,88
1998	191.390,70	24.974.929,21	477.149,06	40.813.052,34	411.407,02	33.899.936,86	1.079.946,78	99.687.918,41
1999	304.107,05	30.480.367,88	375.616,20	26.725.641,89	310.241,52	21.264.464,43	989.964,77	78.470.474,20
2000	201.627,52	17.300.239,79	163.775,00	6.588.201,72	330.624,25	21.593.505,98	696.026,77	45.481.947,49
2001	222.388,94	11.758.098,16	170.868,76	3.697.668,68	363.113,98	28.749.471,10	756.371,68	44.205.237,94
2002	144.204,91	8.699.191,43	74.954,98	2.032.164,26	359.381,84	31.885.567,07	578.541,73	42.616.922,76
2003	122.629,83	7.967.890,00	84.808,43	3.140.090,37	416.952,25	36.931.657,03	624.390,51	48.039.637,40
2004	149.107,41	11.737.842,03	72.958,57	2.626.891,22	483.661,95	44.832.085,61	705.727,93	59.196.818,86
2005	120.000,63	13.799.101,14	277.724,72	15.278.426,62	597.072,19	59.417.476,90	994.797,54	88.495.004,66
2006	196.956,80	24.342.126,86	230.091,63	16.859.509,56	601.483,15	63.574.714,10	1.028.531,58	104.776.350,52
2007	147.375,71	19.186.477,21	95.625,02	10.238.466,54	749.189,18	93.971.782,86	992.189,91	123.396.726,61
2008	59.575,46	9.705.292,79	65.894,82	7.582.265,35	748.608,86	108.292.972,20	874.079,14	125.580.530,34
2009	136.064,08	20.821.332,09	300.014,94	26.168.766,95	690.642,66	99.036.730,36	1.126.721,68	146.026.829,40
2010	184.398,41	39.852.130,64	210.903,44	20.900.801,38	806.048,49	111.983.813,09	1.201.350,34	172.736.745,11
2011	199.437,70	61.029.322,73	407.789,06	57.464.642,85	939.111,51	151.427.866,51	1.546.338,27	269.921.832,09
2012	114.180,55	24.901.241,61	359.311,63	50.558.417,80	1.097.452,18	198.440.131,58	1.570.944,36	273.899.790,99
2013	78.587,22	12.466.720,07	122.656,39	15.844.505,18	1.060.447,35	189.759.310,21	1.261.690,96	218.070.535,46
2014	63.591,80	13.307.345,12	87.467,65	10.778.071,40	980.578,74	154.412.077,93	1.131.638,19	178.497.494,45
2015	58.973,91	13.455.901,12	46.728,45	4.890.175,89	764.267,90	126.953.936,40	869.970,26	145.300.013,41
2016	64.122,47	14.823.565,58	20.247,45	2.081.223,19	836.804,37	129.142.742,96	921.174,29	146.047.531,73
2017	52.943,61	12.448.039,56	26.931,91	3.028.877,74	615.268,55	101.212.025,83	695.144,07	116.688.943,13
2018	18.046,82	5.606.761,27	55.186,45	6.298.517,91	409.466,25	69.106.397,87	482.699,52	81.011.677,05
2019	12.554,47	4.781.147,77	11.749,72	1.442.694,02	481.962,50	71.557.221,08	506.266,69	77.781.062,87
2020	13.576,26	5.982.725,80	16.580,95	1.901.959,69	413.044,40	60.674.794,72	443.201,61	68.559.480,21
2021	23.687,32	7.857.649,75	36.737,52	5.201.900,90	462.768,87	65.089.401,08	523.193,71	78.148.951,73
2022	40.373,07	14.797.048,45	37.114,18	9.531.709,95	461.175,03	89.001.356,57	538.662,28	113.330.114,97
2023*	10.199,39	5.879.114,07	16.909,41	3.025.312,13	541.663,54	104.972.567,56	568.772,34	113.876.993,76

*: Datos hasta el mes de noviembre/2023

Fuente: Certificados ICO-MAG-ANECAFE (2023).**Resultados del análisis de la revisión documental**

La valoración de la información bibliográfica parte de la revisión rigurosa y análisis documental de fuentes oficiales, información de organismos relacionados, así como la observación de instrumentos jurídicos que norman el proceso de gestión pública en general, implementado en el desarrollo de la tesis doctoral "Modelo de gestión pública cantonal para la reactivación de la caficultura sobre bases agroecológicas", análisis que tiene plena vigencia, toda vez que enfoca con visión clara y prospectiva la débil gestión pública

imperante en las distintas instancias de gobierno; agravada aún más por las políticas de corte neoliberal implementadas por el régimen actual.

En efecto, la gestión pública es aún deficiente en todos los órdenes; los Gobiernos Autónomos Descentralizados (GAD) muestran limitaciones y desarticulación con la ciudadanía, por tanto, no cumplen satisfactoriamente con el mandato constitucional de participación ciudadana en los diferentes niveles de gobierno, que permita a la ciudadanía intervenir de forma transparente y ordenada en la elaboración de planes y estrategias locales; mejoramiento de la calidad de la inversión pública y definición de una agenda de desarrollo; elaboración de presupuestos participativos, audiencias públicas, cabildos populares, la silla vacía, entre otras competencias y mecanismos de participación previstos en la Constitución de la República (2008), en Ley Orgánica de Participación Ciudadana y en el Código Orgánico de Organización Territorial, Autonomía y Descentralización (COOTAD).

Esta situación no es diferente en los organismos del Estado central, especialmente en el Ministerio de Agricultura y Ganadería, que no ha logrado, hasta ahora, las metas trazadas en el marco de la política de reactivación de la caficultura, sin duda y a juicio del autor, debido a la implantación de un modelo de gestión pública verticalista y deficiente, lo cual se evidencia en una frágil y limitada articulación del MAG con los actores claves involucrados en la actividad cafetalera, lo cual se confirma con los deficientes índices de producción y productividad y las crecientes importaciones de café robusta, como se demuestra en los cuadros 1 y 2.

Resultados de las entrevistas realizadas a los actores claves

Los datos obtenidos se ingresaron utilizando el paquete estadístico SPSS, versión 22, a partir del cual se analizó la fiabilidad de la información brindada por los actores locales claves. El coeficiente Alfa de Cronbach alcanzó un valor de 0,805, de entre 17 elementos, lo cual demuestra que existe alta fiabilidad en la información. Para el análisis de frecuencia se partió de la clasificación de las preguntas en atención a los criterios de valoración establecidos: (Ninguno = 1; Baja = 2; Media = 3 y Alta = 4).

Las preguntas 5, 8 y 11 registran una valoración (Baja). En el caso de los resultados de la pregunta 5, se debe a que los actores locales claves muestran su preocupación respecto a la situación política de los GAD. Los resultados de las preguntas 1, 2, 3, 4, 5 y 6 expresan una valoración aceptable (Media). En las preguntas 7, 9, 10, 12, 13 14, 15, 16 y 17, los entrevistados coinciden en valorar con escala (Alta).

Los resultados permiten reafirmar la necesidad de implementar un nuevo modelo de gestión de la caficultura, incorporando nuevos elementos y consensos que faciliten la integración y articulación entre todos los actores de la cadena-productiva; en cuyo caso el Estado ecuatoriano, a través del MAG, debe garantizar la recuperación y transformación de la caficultura mediante la suscripción de acuerdos y convenios de cooperación interinstitucional que conduzcan a la transferencia de las competencias concurrentes a los actores claves de la cadena-café.

Resultados de las encuestas realizadas a los productores cafetaleros

Análisis descriptivo: Mediante esta técnica se dedujeron las frecuencias y gráficos para las variables cuantitativas y cualitativas. Se calcularon medidas de tendencia central y dispersión para las mediciones cuantitativas. Además de la descripción de las pruebas aplicadas en el estudio, se especifica el nivel de significación para detectar diferencias significativas ($p < 0,05$).

Para el presente análisis, el autor describe a continuación únicamente y de forma específica variables relevantes que tributan a la investigación

Edad de los caficultores.- La edad de los productores varía desde 18 hasta más de 65 años. En ese rango se evidencia que el grupo de 51 y 65 años registra el 34,77%, seguido por el grupo de 36 a 50 años con un 31,00%, el resto se distribuye entre los grupos de 25 a 35 años (14,29%), más de 65 años (10,78%), y en el 9,1%, corresponde al grupo de 18 a 24 años. Los datos descritos revelan que no predominan los jóvenes entre los productores cafetaleros.

Nivel de educación.- El mayor porcentaje corresponde a la instrucción primaria con un 44,20% y los porcentajes correspondientes a media-bachillerato y ninguna se distribuye de forma similar (28,57 y 23,99%, respectivamente), la educación superior está reflejada tan solo en el 3,23%. El nivel de educación es un fenómeno social que afecta al sector y al proceso de gestión pública cantonal para la reactivación de la caficultura sobre bases agroecológicas; sin embargo, hay que señalar que el eje central de influencia en cuanto a lo organizativo está dado a través del rescate de la fuerza laboral juvenil.

Para solventar esa carencia existen herramientas de intervención, acción y participación donde la universidad juega un papel determinante, toda vez que constituye la portadora de la fuerza de trabajo juvenil.

Aspecto organizativo.- Los resultados de las encuestas revelan que el 93,26% de los productores no pertenecen a ninguna organización, mientras que solo el 6,74% pertenecen a diferentes tipos de organizaciones (asociacio-

nes, cooperativas, uniones, federaciones, corporaciones), panorama agravado por la inercia y edad avanzada de los directivos y por la poca credibilidad de los productores en sus dirigentes, por tanto, es impostergable iniciar un proceso de formación de nuevos líderes o talentos en caficultura, que conduzca con energía a romper los paradigmas anquilosados predominantes en las organizaciones de productores, todo lo cual contribuirá a fortalecer el proceso de gestión pública para la reactivación de la caficultura ecuatoriana, sobre bases agroecológicas.

Respecto a la intervención del MAG en el proceso de gestión pública para la reactivación de la caficultura, el 58,50% le asigna una calificación Baja, el 27,60% Media, el 4,87% Alta y el 9,03% Ninguno.

El modelo actual de gestión pública de la caficultura ecuatoriana

La Constitución de la República del Ecuador determina, en el capítulo cuarto, el Régimen de Competencia y precisa en el Art. 260 que el ejercicio de las competencias exclusivas no excluirá el ejercicio concurrente de la gestión en la prestación de servicios públicos y actividades de colaboración y complementariedad entre los distintos niveles de gobierno; al mismo tiempo, el Art. 261 determina que el Estado central tendrá competencias exclusivas, entre otras, las siguientes: La planificación nacional. Las políticas económica, tributaria, aduanera, arancelaria, fiscal y monetaria; comercio exterior y endeudamiento. Las áreas naturales protegidas y los recursos naturales. Los recursos energéticos; minerales, hidrocarburos, hídricos, biodiversidad y recursos forestales; esto en correspondencia con lo previsto en el Art. 147 de la Constitución que guarda relación con las atribuciones y deberes del Presidente o Presidenta de la República, esto es, definir y dirigir las políticas públicas de la Función Ejecutiva.

Desde esta lógica constitucional el Estado ecuatoriano es el responsable de definir las políticas públicas en términos de garantizar el desarrollo nacional; por tanto, al Ministerio de Agricultura y Ganadería le corresponde impulsar la política agropecuaria del país y, por ende, implantar una adecuada política pública dirigida al sector cafetalero.

En este orden, es importante tener en cuenta que el Plan Nacional de Desarrollo, como máxima directriz de la planificación nacional, se implementa en una articulación activa a través de las políticas y lineamientos establecidos en los objetivos nacionales de desarrollo, traducidos en el Plan Nacional de Desarrollo conforme lo establece el Art. 380 de la Constitución. En correspondencia con esta disposición constitucional, se consolidan las agendas zonales como

instrumentos articuladores entre el Estado central y los Gobiernos Autónomos Descentralizados (GAD) a través de sus propios Planes de Desarrollo y Ordenamiento Territorial (PD y OT). En ese ámbito, los GAD planifican el desarrollo cantonal y formulan los correspondientes planes de ordenamiento territorial, de manera articulada con la planificación nacional, regional, provincial y parroquial. Según el artículo 242 de la Constitución, el Estado ecuatoriano se organiza territorialmente en regiones, provincias, cantones y parroquias rurales.

Un GAD constituye una unidad territorial; en ese ámbito, Torres (2016) sostiene que la noción de territorio puede ser entendida como aquel espacio que posee características económicas, sociales, culturales y ambientales relativamente homogéneas, donde las relaciones sociales, de producción, comercialización y de identidad ciudadana se producen y reproducen. Puntualiza, además, referenciando a Ravenet (2002) y Sepúlveda *et al.* (2003), que esta concepción no tiene necesariamente que coincidir con el ámbito político administrativo, pues en ocasiones la gestión de estos procesos trasciende estos marcos institucionales.

El Código Orgánico de Organización Territorial, Autonomía y Descentralización (COOTAD), establece la organización político-administrativa de los diferentes niveles de gobiernos autónomos descentralizados y los regímenes especiales, con el fin de garantizar su autonomía política, administrativa y financiera; es decir, que los GAD en Ecuador cuentan con las herramientas políticas y administrativas para la institucionalización del proceso de gestión pública; desafortunadamente, las instituciones del sector público ecuatoriano en general y los GAD en particular, evidencian deficiencias en el cumplimiento de sus responsabilidades, sumado a ello, factores como la débil participación de la ciudadanía en la toma de decisiones, facultad prevista en el artículo 95 de la Constitución y en la Ley Orgánica de Participación Ciudadana, publicada en el Registro Oficial Suplemento N.º 175 del 20 de abril de 2010.

En este contexto, como ya se explicó en líneas anteriores, la caficultura ecuatoriana en los últimos años se ha visto afectada por una serie de factores, tanto exógenos como endógenos, principalmente por la deficiente gestión pública para impulsar su desarrollo; todo lo cual se manifiesta en una baja producción nacional y en los bajos niveles de productividad.

En ese orden, las exportaciones de café en los últimos 8 años han contribuido con tan solo el 0,10% del PIB Nacional. El cuadro 4 muestra el aporte de las exportaciones de café al PIB durante el período 2015-2022; estas cifras se expresan también en los Gráficos 2 y 3.

Cuadro 4.

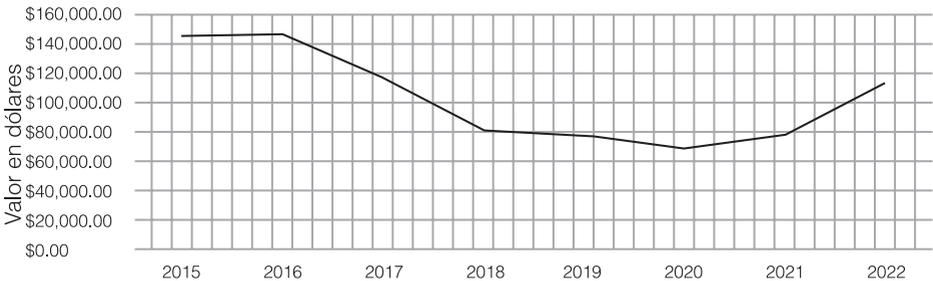
Contribuciones de las exportaciones de café al PIB: 2015-2022.

Años	PIB anual en millones de dólares		Valor total de las exportaciones de café en millones de dólares		Aporte % al PIB Nominal
2015	\$	100.177.000,00	\$	145.300,00	0,15%
2016	\$	99.938.000,00	\$	146.047,00	0,15%
2017	\$	104.296.000,00	\$	116.688,00	0,11%
2018	\$	107.562.000,00	\$	81.011,00	0,08%
2019	\$	107.436.000,00	\$	77.781,00	0,07%
2020	\$	99.290.000,00	\$	68.599,00	0,07%
2021	\$	106.200.000,00	\$	78.148,00	0,07%
2022	\$	115.000.000,00	\$	113.330,00	0,10%
Aporte promedio de las exportaciones de café al PIB durante el periodo 2015-2023					0,10%

Fuente: Banco Central del Ecuador (2024), Cámara de Comercio de Guayaquil (2017) y ANECAFÉ (2023).

Gráfico 2.

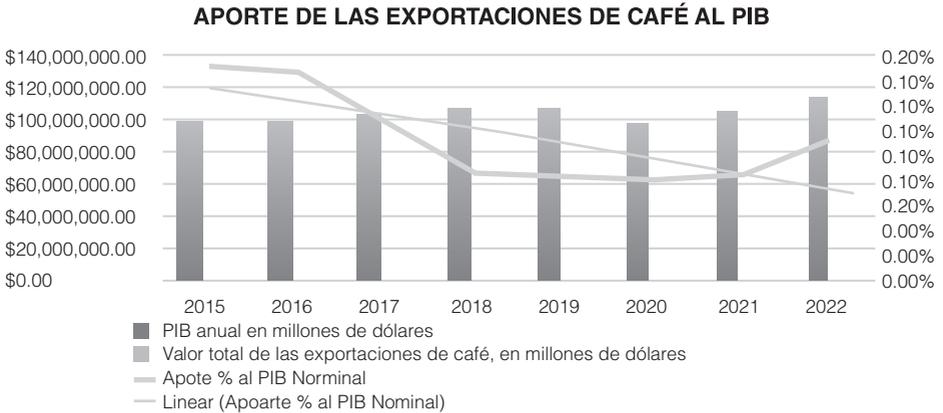
Exportaciones de café.



Fuente: Banco Central del Ecuador (2024), Cámara de Comercio de Guayaquil (2017) y ANECAFÉ (2023).

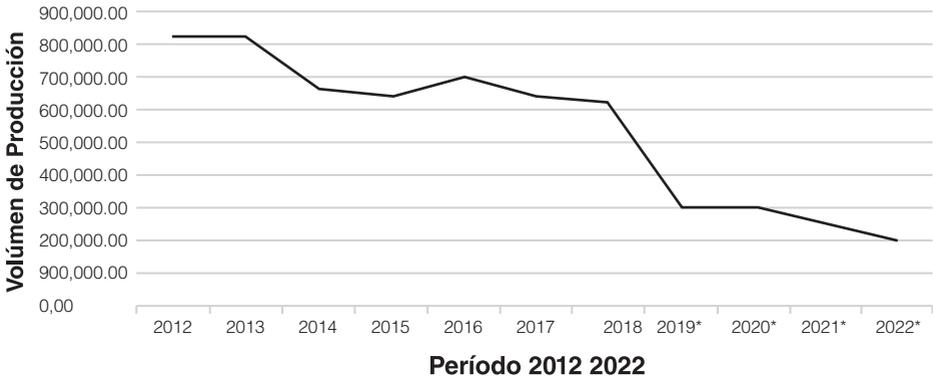
Gráfico 3.

Aporte de las exportaciones de café al PIB: 2008-2022



Fuente: Banco Central del Ecuador (2024), Cámara de Comercio de Guayaquil (2017) y ANECAFE (2023).

La información descrita pone de manifiesto el panorama desalentador que atraviesa la caficultura ecuatoriana, tal como se observa en los cuadros descritos: 1, 2, 3 y 4. En estas circunstancias y con el propósito de resolver el problema de la baja producción nacional y reducir las importaciones de café, el MAG, desde junio del 2011, implementó el proyecto “Reactivación de la caficultura”, cuya meta era sembrar 135.000 hectáreas de café, de las cuales 78% corresponden a Coffea arábica L. (arábigo) y 22% a Coffea canephora Pierre ex A. Froehner (robusta) (MAGAP, 2012); sin embargo, los resultados no son visibles, toda vez que la curva de producción en los últimos 11 años ha bajado considerablemente (OIC, 2018, ANECAFE, 2023), como se demuestra en el gráfico 4.

Gráfico 4.*Evolución de la producción de café.***Fuente:** OIC (2018), ANECAFE (2023).

En este contexto y de acuerdo a los resultados del estudio realizado, las expectativas del MAG no se han cumplido, debido, entre otros factores, a las deficiencias del modelo de gestión pública aplicado al sector cafetalero; a la débil organización de los productores; deficiente capacitación; escaso acceso a capitales; familias envejecidas con poco nivel de escolaridad, situación reflejada en la propia composición de la dirigencia campesina que en su mayoría está integrada por personas de la tercera edad, todo lo cual afecta el proceso de gestión pública de la caficultura. Por tanto, el modelo actual implementado de forma vertical por el MAG no responde a las necesidades del cambio y de una gestión eficiente; consecuentemente, hace falta incorporar nuevos elementos, vías y métodos que desde la gestión pública contribuyan a la reactivación de la caficultura ecuatoriana.

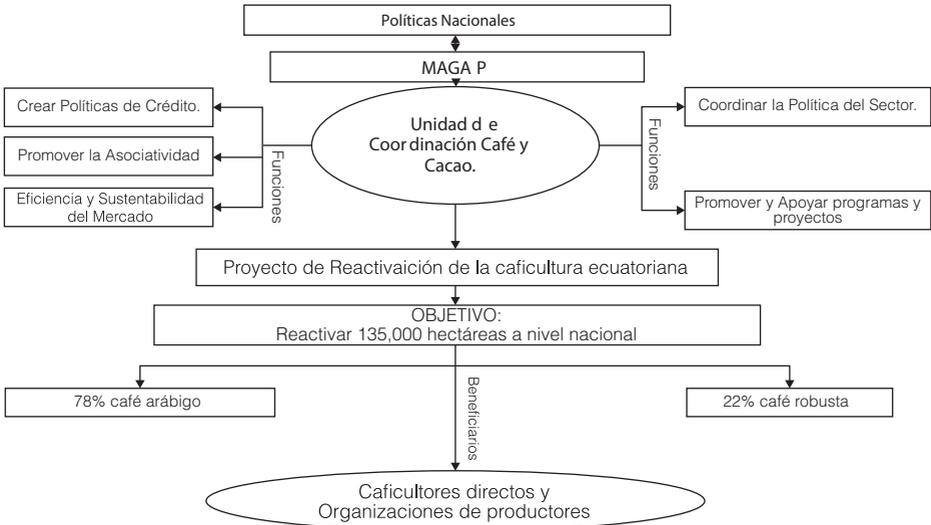
La figura 1 describe el modelo de gestión pública actual de la caficultura ecuatoriana, el cual, a juicio del autor, debe experimentar una transformación o cambio de ruta en término de impulsar una caficultura eficiente y sostenible que contribuya de manera efectiva al mejoramiento de las condiciones de vida de las familias campesinas dedicadas a esta invaluable labor productiva, y con ello afianzar y fortalecer a toda la cadena-productiva del sector cafetalero ecuatoriano.

En estas circunstancias, la articulación e integración de la empresa privada (ANECAFE), con los productores, las organizaciones de cafetaleros, los GAD en sus distintos niveles, las universidades, los ministerios y demás actores del sector, se vuelve un imperativo para garantizar el incremento de la pro-

ducción y productividad, reducir las importaciones de café robusta e impulsar la transformación y diversificación productiva.

Figura 1.

Modelo actual de gestión pública de la caficultura en Ecuador.



Fuente: Elaborado por el autor a partir de información del MAGAP (2016).

Resulta indispensable la intervención de la academia a través de la Red Universitaria de Investigación y Desarrollo Cafetalero (REDUCAFÉ), creada al amparo de la Ley Orgánica de Educación Superior; consecuentemente, este proceso dialéctico condiciona la necesidad de implementar un nuevo modelo de gestión para el desarrollo sostenible de la caficultura ecuatoriana.

Componentes del modelo de gestión para una caficultura sostenible

A partir de los fundamentos expuestos en la presente investigación, se debe construir colectivamente y por consenso el nuevo modelo de gestión para el desarrollo sostenible de la caficultura ecuatoriana, tomando en cuenta, en la estructura del modelo, entre otros, los siguientes aspectos esenciales:

La identificación objetiva de los actores claves vinculados a la actividad cafetalera; es decir, el Estado (MAG, GAD), empresas privadas (ANECAFÉ), La academia (REDUCAFÉ) y los productores (gremios/emprendedores) que constituyen el eslabón principal de la cadena. En criterio del autor, los actores descritos conforman las relaciones esenciales del modelo, toda vez que

juegan un rol fundamental en el proceso de articulación e integración de los demás componentes del modelo y en las orientaciones de las políticas públicas dirigidas al sector y, sobre todo, construir el modelo de gestión sobre la base de las estrategias participativas y acciones prioritarias planteadas por REDUCAFÉ (2024).

Valorar los resultados del diagnóstico participativo dirigido a los productores y actores claves vinculados a la actividad cafetalera (funcionarios, académicos, empresarios, líderes cafetaleros).

La revisión de otros modelos de gestión de la caficultura, entre estos los ejemplos descritos en el acápite Modelos institucionales de atención al sector cafetalero de varios países; y, sobre todo, la revisión minuciosa del modelo de gestión pública de la caficultura aplicado en Ecuador por el MAG (ver figura 1), precisamente para identificar las limitaciones y deficiencias de ese modelo.

Las entidades públicas, empresas privadas y ONGs que apoyan la investigación y el desarrollo cafetalero, las instituciones financieras del sector público y las entidades de la economía popular y solidaria, ubicadas en los territorios con vocación cafetalera.

Una vez, definida la estructura del modelo teórico y conceptual, se debe precisar el procedimiento para su implementación; para lo cual, la REDUCAFÉ y la ANECAFÉ promoverán eventos y talleres de sensibilización y socialización de la propuesta, a fin de crear las condiciones objetivas para la implementación del modelo de gestión.

Perspectivas del sector cafetalero ecuatoriano

Desde una visión prospectiva y holística es prioritario proyectar el futuro del sector cafetalero ecuatoriano, el mismo que requiere soluciones integrales que aborden los problemas de producción, productividad, de comercialización, aspectos sociales e institucionales, los cuales deben convertirse en elementos esenciales para el diseño e implementación de un nuevo modelo de gestión de la caficultura, tales como:

Mejorar la productividad.- Resulta imperativo la renovación de los cafetales, la adopción de técnicas modernas de cultivo, referidas al uso de variedades mejoradas, aplicación eficiente de las enmiendas del suelo y de la fertilización, gestión inteligente del agua de riego, uso de insumos de calidad y capacitación de los caficultores.

Controlar los problemas fitosanitarios.- Se dispone de tecnologías eficientes para reducir las pérdidas de las cosechas, con base en el control integrado de enfermedades fungosas (roya, mal de hilachas, ojo de gallo y cercos-

poriosis) y plagas de los cafetales (broca del fruto, taladrador de las ramas y minador de la hoja).

Adaptarse al cambio climático.- La caficultura es vulnerable a los efectos del cambio climático. Los retrasos en el inicio de las épocas de lluvia, observados en los últimos años han trastornado el comportamiento fisiológico de los cafetos. Hay que desarrollar y aplicar prácticas de adaptación al cambio climático, como el uso de variedades resistentes a la roya, a las oscilaciones térmicas y a los cambios en el régimen de lluvias.

Ampliar el acceso a mercados de café diferenciados.- Las organizaciones de caficultores, deben gestionar una eficiente asistencia técnica y capacitación para elevar la productividad, mejorar la poscosecha y calidad del grano, acceder a mercados diferenciados y negociar a mejores precios.

Reducir la pobreza.- Las comunidades cafetaleras, requieren de urgente apoyo del Estado para reactivar el sector. El desarrollo cafetalero tiene que ser integral, esto es, mejorar la productividad y calidad, junto a la mejora de la infraestructura (camino, sistemas de riego) y a la dotación de servicios como: educación, salud y crédito.

Ampliar la intervención del Estado.- El Gobierno Nacional y los Gobiernos Autónomos Descentralizados (GAD), deben aumentar la inversión en investigación y desarrollo, fortaleciendo la gestión de proyectos de las instituciones públicas (INIAP) y universidades (REDUCAFÉ).

En esta perspectiva, la REDUCAFÉ propone construir una caficultura sostenible basada en seis estrategias: [1] reactivación productiva integrada, [2] mejora de la calidad e inocuidad, [3] acceso a mercados diferenciados, [4] formación del talento, [5] nueva asociatividad y [6] promoción del consumo interno (cuadro 5).

Cuadro 5.

Estrategias para construir una caficultura sostenible.

Estrategias	Acciones prioritarias
[1] Reactivación productiva integrada	Zonificación biofísica. Producción tecnificada de café. Diversificación agroproductiva. Agroartesanía familiar. Agroindustria comunitaria. Agroturismo.
[2] Mejora de la calidad e inocuidad	Tecnologías para producir cafés diferenciados. Mejora de los procesos poscosecha. Competitividad de la calidad integral. Prevención de ocratoxina y residuos de agroquímicos. Certificaciones sociales y ambientales.
[3] Acceso a mercados diferenciados	Promoción de los cafés finos del Ecuador en el mundo, gestionada por la diplomacia y los actores del sector. Participación intensa en ferias. Acuerdos de negocios de mediano y largo plazos. Adaptación de normativas nacionales a las exigencias del mercado global.
[4] Formación del talento	Formación de investigadores con un enfoque holístico. Formación de líderes de las comunidades cafetaleras. Capacitación de semilleros, viveristas y productores. Gestión del conocimiento e innovación tecnológica con participación de la juventud y de la mujer en: café y ambiente, café y certificaciones, café y turismo, café y salud, barismo y recreación . Rediseño curricular para mejorar la educación media. Integración curricular en la universidad con un enfoque transdisciplinario.
[5] Nueva asociatividad	Fortalecimiento de organizaciones de base, uniones, corporaciones y federaciones regionales. Construcción de la asociatividad articulada al desarrollo territorial multisectorial. Vinculación de la asociatividad con la formación del talento.
[6] Promoción del consumo interno	Ampliación de ferias y eventos de competitividad a nivel regional Motivación a consumir café de calidad, de origen ecuatoriano, con énfasis en el fortalecimiento de la economía rural y los beneficios a la salud.

Fuente: REDUCAFÉ (2024).

Conclusiones y Recomendaciones

La investigación realizada permitió inferir las siguientes conclusiones y recomendaciones:

Conclusiones

- El aporte teórico que sustenta esta investigación evalúa la concepción de la gestión pública para el desarrollo sostenible de la caficultura como un instrumento para crear las condiciones y consensos entre los actores claves vinculados al sector cafetalero para la implementación de un modelo de gestión que responda a las nuevas realidades, características y tendencias que identifican al mercado cafetalero.
- Los modelos institucionales de atención al sector cafetalero de los países estudiados, como elemento distintivo, evidencian contradicciones en su estructura, toda vez que priorizan los intereses del mercado en términos de medir la rentabilidad y beneficio, sin potenciar el desarrollo sostenible como alternativa para derrotar la pobreza, mejorar las condiciones de vida de los productores y mitigar el deterioro del medio ambiente.
- El diagnóstico reveló las principales deficiencias del proceso de gestión pública de la caficultura ecuatoriana liderada por el Ministerio de Agricultura y Ganadería, cuyos resultados son desalentadores, toda vez que la curva de producción y productividad han disminuido a niveles preocupantes; consecuentemente, existen condiciones objetivas para impulsar la implementación de un nuevo modelo de gestión de la caficultura ecuatoriana, para lo cual se torna imperativo una efectiva articulación y integración entre los actores principales de la cadena-productiva del café (Estado, empresa privada, academia, productores) que facilite el proceso de ejecución de las estrategias y acciones prioritarias planteadas en el presente estudio.

Recomendaciones

La Red Universitaria de Investigación y Desarrollo Cafetalero (REDUCA-FÉ) y la Asociación Nacional Ecuatoriana del Café (ANECAFÉ), deben liderar la iniciativa de implementar un nuevo modelo de gestión para el desarrollo sostenible de la caficultura ecuatoriana, en el marco de las normas constitu-

cionales y legales vigentes en el Ecuador, proceso que incluye ineludiblemente al eslabón principal de la cadena; es decir, los productores y el Ministerio de Agricultura y Ganadería, como rector de la política cafetalera del país.

Referencias bibliográficas

- Aguado Puig, A. (2018). Desarrollo sostenible: 30 años de evolución desde el informe Brundtland [Tesis doctoral inédita. Universidad de Sevilla]. Sevilla.
- Asamblea Constituyente. (2008). Constitución de la República del Ecuador. Montecristi.
- Asamblea General de las Naciones Unidas. (1987). Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo. "Nuestro futuro común" Harlem Brundtland.- Digitized by Dag Hammarskjöld Library.
- Avellaneda, R. & Pearson, G. (2003). Vietnam: una introducción a su desarrollo y su caficultura. Revista Escuela de Administración de negocios, (48), 110-131.
- Banco Central del Ecuador. (2024). Información económica - Evolución del Producto Interno Bruto.
- Cámara de Comercio de Guayaquil. (2017). Análisis de resultados del Producto Interno Bruto (PIB). Ecuador.
- Cañarte, C. (2016). Aprovechamiento de los árboles maderables en el sistema agroforestal cafetalero de la Unión Jipijapa [Tesis presentada en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Forestales, Pinar del Río].
- Código Orgánico de Organización Territorial, Autonomía y Descentralización (COOTAD), publicado en el Registro Oficial Suplemento 303 de 19-oct.-2010. Última modificación: 09-dic.-2016
- Davis, A. P., Tosh, J., Rush, N. & Fay, M. F. (2011). Growing coffee: *Psilanthus* (Rubiaceae) subsumed on the basis of molecular and morphological data; implications for the size, morphology, distribution and evolutionary history of *Coffea*. *Botanical Journal of the Linnean Society*, 167, 357-377. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8339.2011.01177.x>
- Duicela, L. (2016). Investigación y desarrollo cafetalero en el Ecuador: situación actual y perspectivas. VII Congreso Latinoamericano de Agronomía. ISBN: 978-9942-21-969-5. Portoviejo-Ecuador.

- Duicela, L. y Palma, R. (2021). La Red Universitaria de Investigación y Desarrollo Cafetalero y la oportunidad de contribuir al mejoramiento de la caficultura ecuatoriana.
- Hernández, H. (2011). La gestión empresarial, un enfoque del siglo XX, desde las teorías administrativas científica, funcional, burocrática y de relaciones humanas. *Revista Escenarios*, 9(1), 38-51. Colombia.
- ICAFFE (Instituto del Café de Costa Rica). (2015). Informe sobre la actividad cafetalera - Análisis de mercado mundial. San José-Costa Rica. <https://perfectdailygrind.com/es/2021/05/13/como-costa-rica-ha-logrado-una-caficultura-ambientalmente-sostenible/>
- IICA (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura). (2016). Modelos institucionales de atención al sector cafetalero de varios países. <https://www.biodiversidad.gob.mx/media/1/region/files/spsb/05-mo-delos-institucionales-atencion-sector-cafetalero-otros-paises.pdf>
- Ley Orgánica de Participación Ciudadana. (2010). Registro Oficial Suplemento N.º 175 del 20 de abril de 2010.
- MAG (Ministerio de Agricultura y Ganadería). (1987). Primer diagnóstico cafetalero - Programa Nacional del Café (PNC). Portoviejo, Manabí, Ecuador.
- MAG (Ministerio de Agricultura y Ganadería). (2020). Indicadores socio económicos. <http://sipa.agricultura.gob.ec/index.php/sipa-estadisticas/estadisticas-productivas>
- MAGAP (Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca). (2016). Informe técnico: "Proyecto Reactivación de la caficultura ecuatoriana". Quito-Ecuador.
- Ministerio de Agricultura y Ganadería. <http://sipa.agricultura.gob.ec/index.php/sipa-estadisticas/estadisticas-productivas>
- Muñoz, L. (2014). Ensayo sobre economía cafetera-caficultura sostenible, moderna y competitiva. Federación Nacional de Cafeteros, Bogotá-Colombia.
- OIC (Organización Internacional del Café). (2024). Historia del café. https://www.ico.org/ES/coffee_storyc.asp
- OIC (Organización Internacional del Café). (2017). Cosecha de café de Honduras - Período 2003/2004 - 2016-2017. Londres.

- Panhuisen, S. & Pierrot, J. (2014). Barómetro de café: el café y el cambio climático: impactos y opciones para la adaptación en Brasil, Guatemala, Tanzania y Vietnam. Hivos IUCN Nederland Oxfam Novib Solidaridad WWF
- Pinargote, P. (2016). Situación actual de la caficultura: perspectivas en el Ecuador y el mundo. Conferencia - VI reunión de la Red Universitaria de I&D Cafetalero (REDUCAFÉ). Asociación Nacional de Exportadores de Café (ANECAFÉ), Guayaquil.
- Pinargote, P. (7 de agosto del 2023). ANECAFÉ calcula una pérdida de al menos el 30% de producción de café. El Productor, <https://elproductor.com/2023/08/anecafe-calcula-una-perdida-de-al-menos-el-30-de-produccion-de-cafe/>
- Pineda, M. (2016). Programa Bosques y Agua / GIT -TRIFINIO en prácticas para la adaptación al cambio climático basada en ecosistemas. Honduras - El Salvador - Guatemala.
- Ponce, L. (2018). Modelo de gestión pública cantonal para la reactivación de la caficultura ecuatoriana sobre bases agroecológicas [Tesis doctoral, Universidad de Pinar del Río "Hermanos Saíz Montes de Oca"]. Cuba.
- Ponce, L. Orellana, K. y Acuña, R. (2016). Diagnóstico y propuesta de un sistema de innovación tecnológica cafetalera en Ecuador. ISSN 2310-3469-Revista Cubana de Ciencias Forestales CEFORES-Cuba.
- Ponce, L., Orellana, K., Acuña, I., Alfonso, J. y Fuentes, T. (2018). Situación de la caficultura ecuatoriana: Perspectivas. Revista Científica Estudios de Desarrollo Social: Cuba y América Latina, 6(1). ISSN: 2308-0132. http://scielo.sld.cu/scielo.php?Script=sci_arttext&pid=S2308-01322018000100015
- Quirós, E. (2016). Modelos institucionales de atención al sector cafetalero en otros países. Taller Producción Sostenible del Café y Biodiversidad en Mesoamérica: Retos y Perspectivas para Reflexionar en México, IICA, Oaxaca - México.
- Ramírez, J. y Paredes, F. A. (2004). Francia en Cuba: los cafetales de la Sierra del Rosario, Ed. Unión, La Habana, 2004.
- REDUCAFÉ. (28 de enero del 2023). Volver a producir 1,5 millones de sacos de café en cinco o seis años es la meta del plan del sector impulsado por Reducafé. El Universo. Economía. <https://www.eluniverso.com/>

noticias/economia/volver-a-producir-15-millones-de-sacos-de-cafe-cinco-o-seis-anos-es-la-meta-del-plan-del-sector-impulsado-por-reduccion-de-nota/

- Sacco, F., Belik, W. y Velleda, N. (2011). La caficultura en Brasil. Evolución, situación actual y nuevos retos de cara al futuro. Brasil: Mundo Agrario.
- Torres, C. (2015). Modelo para la gestión de políticas territoriales de desarrollo local a escala municipal [Tesis presentada en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Económicas, Pinar del Río].

INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO DEL CAFÉ ARÁBIGO Y ROBUSTA

Capítulo 2

Métodos para estimar la estabilidad
del rendimiento: aplicación en la
selección de clones de Café Robusta

AUTORES: Ing. Luis Alberto Duicela Guambi, Ph.D; Ing. Kléber Dionicio Orellana Suárez

Introducción

En el género *Coffea* se han identificado 124 especies, agrupadas en dos subgéneros: *Coffea* y *Baracoffea*, originarias del continente africano y de la región de Madagascar (Davis, Rakotonasolo & De Block, 2010, p. 371), todas diploides ($2n = 22$), excepto *C. arabica* que es tetraploide ($4n = 44$) (Arias, 2023, p. 14). El café robusta es una especie de café alógama, auto incompatible, originaria de las regiones bajas del continente africano (Santana y col., 2020, p. 1). En el café robusta se distinguen tres grupos: *Congolensis*, *Conilón* y *Guinensis*. En América no se ha reportado café del grupo *Guinensis*. El café robusta tipo *Congolensis* prevalece en el Ecuador, fue introducido en 1951, constatándose en la actualidad una alta diversidad entre y dentro de los clones (Loor y col., 2017, p. 2).

La alogamia y la recombinación intensa, sin control de parentales, generan una alta heterogeneidad fenotípica que es la expresión de su acervo genético, definido como el conjunto de genotipos o “pool genético” (CEBIOGEN, 2018, p. 41). Esta es la característica del café robusta en Ecuador. Los cafetales de robusta, en la Costa y Amazonía, presentan alta variabilidad fenotípica, que es la expresión de la variación genotípica (Plaza y col., 2015, p. 8), destacándose que el factor genético tiene influencia sobre la fisiología, producción y otros atributos (Leroy y col., 2006, p. 232).

En el Ecuador se han realizado selecciones de clones de café robusta, en diferentes momentos y regiones, según reportan Chiguano y Játiva (1998, p. 47); Plaza y col. (2015, p. 13); Duicela, Corral y Chilán (2016, p. 22) y Orrala y col. (2017, p. 27). Varios de los clones se recomiendan por parte de la institución oficial de regulación y control de material vegetal, la Agencia Ecuatoriana de Aseguramiento de la Calidad del Agro (AGROCALIDAD, 2012).

En café robusta hay dos alternativas de desarrollo de cultivares de alto valor genético: clones e híbridos (Duicela, 2017, p. 41). La libre polinización entre clones selectos, en condiciones de lote aislado, permitió la obtención de un híbrido F1 identificado como ECU-robusta 01, usado en varias zonas del país, para la renovación de cafetales. El mejoramiento genético vegetal, en el que se enmarca el presente estudio, integra las ciencias biológicas y la estadística, procurando acelerar los procesos que ocurren en la “selección natural” para obtener genotipos de óptimo desempeño en entornos cambiantes (CEBIOGEN, 2018, p. 5).

En la mejora genética vegetal, se enfatizan tres conceptos básicos: fenotipo, genotipo y ambiente. Según Tiessen (2009, p. 25), fenotipo es el conjunto de caracteres que se manifiestan visiblemente a nivel del individuo o población, pudiendo medirse y cuantificarse. El término genotipo se refiere a cualquier entidad genética con cierto grado de repetibilidad: clones, variedades, híbridos, familias, razas o accesiones (CATIE, 1994, p. 46). El genotipo es la suma de los genes y combinación de alelos que tiene un individuo o un cultivar. En términos moleculares, genotipo es la información genética codificada en el ADN que está presente en el núcleo, plástidos y mitocondrias. A nivel de especie se trata del genoma, que incluye todos los genes y su potencial de expresión llamado "pool genético". A nivel de los individuos, se trata de la combinación de los alelos (Tiessen, 2009, p. 25).

El ambiente se refiere a los factores abióticos y bióticos del entorno que se interrelacionan con las plantas cultivadas, influyendo sobre el fenotipo y muchas veces controlando la expresión de genes o proteínas (Tiessen, 2009, p. 25). En los programas de mejoramiento genético es importante definir cuáles son los genotipos sobresalientes en cuanto a su rendimiento y su estabilidad en multiambientes para recomendar su uso de manera comercial (López y col., 2018, p. 1). En la caficultura la variable de mayor interés comercial es el rendimiento. La producción de café en grano por planta se puede extrapolar a una hectárea o a mayores superficies, considerando la humedad del grano (10-12%) y la densidad poblacional real (Duicela, 2017, p. 9).

Los fitomejoradores han desarrollado diversas técnicas estadísticas para estimar la estabilidad, que se inició con la interpretación de los análisis de varianza combinados genotipos x localidades x años. Si se cumpliesen los supuestos que exigen las técnicas paramétrica, efectivamente permiten tomar decisiones seguras. Varios modelos estadísticos fueron propuestos por investigadores, fundamentados en la evidencia experimental de la interacción genotipo x ambiente, que se trata de identificarla y minimizarla, destacándose, entre ellos: Finlay y Wilkinson, Eberhart y Russell, Lin y Binns, AMMI y un método alternativo propuesto por Benítez y col. (1988). En el presente trabajo, se adopta el método de Benítez y col. (1988), cambiando el estadístico de dispersión, en lugar de la varianza se usa la variabilidad relativa:

$$VR = \frac{S}{\frac{\sqrt{n}}{\bar{Y}}} (100)$$

Este modelo se basa en la relación entre los promedios y la variabilidad relativa (PROMVAR), que se representa en el plano cartesiano como un diagrama de cuatro celdas. Se considera de alto rendimiento a los genotipos que superan la media general. Del mismo modo, se consideran de reducida variabilidad, por lo tanto más estables fenotípicamente a aquellos genotipos que presentan una variabilidad relativa por debajo de la media general de este estadístico de dispersión.

El método de Finlay y Wilkinson (1963, p. 742) valora la estabilidad del rendimiento en función de la pendiente de la regresión (b) y direcciona la selección de cultivares en función del rendimiento promedio de todos los genotipos en un entorno específico (Kumagaia y col., 2016, p. 312). Finlay y Wilkinson (1963, p. 744) indican que la dinámica de la adaptación varietal a ambientes naturales proporciona una base para formular conceptos biológicos. El modelo, según González y col. (2007, p. 344), es un análisis univariado que utiliza las medias aritméticas del genotipo en distintos ambientes y el coeficiente de regresión de todos los genotipos en el conjunto de ambientes.

En la aplicación del modelo de Finlay y Wilkinson, como variable independiente se considera las medias de todos los clones en los ambientes j (comportamiento promedio de los genotipos) y como variable dependiente se considera los valores individuales de los clones i en todos los ambientes.

El método de Eberhart y Russell (1966, p. 38) se basa en los coeficientes de regresión lineal b_{1i} , de cada variedad sobre un índice ambiental, y una función de las desviaciones al cuadrado S_{di}^2 , que proporcionan las estimaciones de los parámetros de estabilidad. Las desviaciones de la regresión constituyen un indicativo del grado de confiabilidad de la respuesta lineal estimada, que caracteriza lo predecible que es un genotipo (Jiménez y Ruiz, 2006). Según Eberhart y Russell (1966, p. 37), las poblaciones heterocigotas y heterogéneas ofrecen la mejor oportunidad para producir variedades con reducida interacción genotipo x ambiente.

La estratificación de ambientes ha sido utilizada para reducir la IGA, esto significa que las variedades se pueden agrupar según su comportamiento a nivel de macro ambientes o también denominados “dominios de recomendación”, que se basan en cierta uniformidad en variables ambientales como: temperatura, precipitación, acidez de los suelos u otros factores. Una evaluación realista de los cultivares debe caracterizarse por valorar los efectos de los factores adversos y condiciones de estrés que originan la variación en las respuestas agroproductivas (Córdova, 1991, p. 2). El modelo de Eberhart y

Russell se basa en la propuesta de Finlay y Wilkinson, con una modificación en el uso de las medias aritméticas de los genotipos en los distintos ambientes, los coeficientes de regresión y la desviación de la regresión.

Los análisis permiten determinar tres clases de genotipos: los estables, los especialistas y los erráticos (CATIE, 1994, p. 53). Los genotipos estables presentan un coeficiente de regresión cercano a la unidad ($b = 1$) y la varianza de sus desviaciones tiende a cero: $Sd^2 \approx 0$. En este caso, el comportamiento de un genotipo con respecto de los demás se mantiene aproximadamente constante al cambiar de ambiente. Los genotipos especialistas tienen coeficiente de regresión $b > 1$ o $b < 1$, aunque las varianzas de las desviaciones sean pequeñas. Esto significa que existen genotipos que se comportan bien en ambientes adecuados comparados con los otros ($b > 1$) o viceversa ($b < 1$). Los genotipos erráticos tienen valores altos para la varianza de las desviaciones de la regresión y en este caso no resulta importante el coeficiente b (CATIE, 1994, p. 53).

El método de Lin y Binns (1988, p. 193) es una técnica no paramétrica que se basa en el cálculo de una medida de superioridad general del cultivar para los datos de distintos ambientes. Esta medida o índice de superioridad se define como el cuadrado medio de la distancia entre la respuesta del cultivar y la respuesta máxima promediada en todos los ambientes (Lin y Binns, 1988, p. 193; De Francheschi y col., 2010, p. 800; Silva y col., 2014, p. 111). El método requiere que todos los cultivares estén equilibrados en las localidades (Lin y Binns, 1988, p. 193).

El modelo basado en el análisis de los “efectos principales aditivos e interacción multiplicativa” (AMMI: siglas en inglés) considera los efectos principales y de interacción como fijos (Sa’diyaha y Futuhul-Hadib, 2016, p. 164). El modelo AMMI combina componentes aditivos para los efectos principales (ADEVA) y componentes multiplicativos para la interacción genotipo x ambiente (IGA) mediante el análisis de componentes principales (ACP).

El ACP, en este modelo, se usa para describir las componentes multiplicativas e identificar los principales componentes de la interacción (Jiménez y Ruiz, 2006; Córdova, 1991, p. 2). El Análisis de Componentes Principales (ACP) fue iniciado por Pearson en 1901 y desarrollado por Hotelling en 1933, para describir una población o componentes principales a varias poblaciones (Cuadras, 2019, p. 92). Los datos originales se transforman para uniformizar en una nueva escala. En un primer momento se puede incluir muchas variables que se reducen mediante técnicas del análisis factorial. Con el nuevo grupo de variables se realiza el ACP definitivo.

El ACP se aplica partiendo de la matriz de covarianzas, sin embargo, si las variables fueran de distinta naturaleza se recomienda realizar el ACP sobre la matriz de correlaciones r (Cuadras, 2014). Primero se aplica un ACP a cada matriz centrada de datos, que se normalizan dividiendo para la raíz cuadrada del primer valor propio, que luego se transforman y se juntan en una sola a la que se aplica un ACP global (Cuadras, 2014). En el caso de clones de café robusta, la primera componente permite ordenar los clones por rendimiento en orden ascendente y la segunda por comportamiento posición, en cada localidad, de esos mismos clones.

Según el método “Relación de promedios y variabilidad relativa (PROM-VAR), el objetivo es seleccionar cultivares de alto rendimiento y alta estabilidad (reducida variación por efecto del ambiente). Benítez y col. (1992, p. 23) propusieron un método que relaciona las medias aritméticas de los rendimientos de los genotipos y sus respectivas varianzas. La interpretación se realiza de manera gráfica en un diagrama de cuatro celdas (medias aritméticas de rendimiento en el eje X y las varianzas en el eje Y, del plano cartesiano).

En el eje Y del plano cartesiano, Benítez y col. (1992, p. 26) colocan las varianzas de los genotipos, cuya media SY^2 posibilita discriminar dos grupos: si $SG_i^2 > SY^2$ (varianza de un genotipo i es mayor que el promedio de las varianzas), se consideran “genotipos inestables” y si $SG_i^2 < SY^2$ (si la varianza de un genotipo i es menor que el promedio de las varianzas), se consideran “genotipos estables”. El uso de la varianza (S^2) tiene el inconveniente de que la magnitud puede alcanzar cifras altas en variables cuantitativas continuas, como el rendimiento expresado en $kg \cdot ha^{-1}$. Esto motivó a realizar una propuesta, que se resume en el uso del estadístico variación relativa (porcentaje de error respecto de la media).

El trabajo se justifica en razón de que en el mejoramiento genético vegetal, el análisis de la estabilidad fenotípica es clave para asegurar la selección de cultivares de alto valor genético. La estabilidad fenotípica es la capacidad de un genotipo para expresar consistencia a través de diferentes ambientes, con valor predictivo. El análisis de estabilidad del rendimiento, usando diversos métodos estadísticos, tratados en el presente documento, corresponde a un ensayo multilocal de clones de robusta, adoptando un enfoque positivista.

El objetivo general fue: identificar el método más eficiente para la estimación del parámetro estabilidad del rendimiento en ensayos multilocales. El objetivo específico consistió en seleccionar el genotipo de café robusta de alto potencial productivo y adecuada estabilidad en cinco ambientes del Ecuador.

Metodología

El presente trabajo de investigación se basa en la información de un experimento multilocal (cinco localidades) tres ubicadas en el litoral y dos en la Amazonía, ejecutado por el equipo de investigadores del Programa de Café del Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP), entre 2015 y 2019, donde se probaron 22 clones de café robusta. En cada localidad se obtuvo la información pertinente para los análisis de datos. El análisis estadístico se realizó usando los programas computacionales: INFOSTAT v 2018 (Di Rienzo y col., 2018) e INFOGEN v 2016 (Balzarini y Di Rienzo, 2016). En el proceso de análisis se aplicaron pruebas paramétricas a partir de la comprobación del cumplimiento de los supuestos de normalidad y homocedasticidad de los datos de rendimiento (variable cuantitativa), cuando esto no se verificaba se usaron las pruebas no paramétricas pertinentes (Corral, 2019, p. 229).

Características de las localidades

Loreto: 444 m s.n.m., latitud 023403 (18 M) y longitud 9918214, precipitación anual estimada > 2.000 mm, pH del suelo 4,9 (muy ácido).

Macas: 1.150 m s.n.m., latitud 819760 (18 M) y longitud 9753423, precipitación anual 2.463,5 mm, 4,8 (muy ácido).

Pichilingue: 75 m s.n.m., latitud 667488 (18 M) y longitud 9881369, precipitación anual 2.201,62 mm, pH del suelo 6,7 (prácticamente neutro).

Portoviejo: 48 m s.n.m., latitud 570154 (18 M) y longitud 9872612, precipitación anual 578,6 mm, pH del suelo 7,1 (prácticamente neutro).

Santo Domingo: 300 m s.n.m., latitud 698719 (18 M) y longitud 9981324, precipitación anual 2.686,0 mm, pH del suelo 6,0 (ligeramente ácido).

Diseño de los ensayos regionales.- En Loreto se probaron 14 clones, en dos años de producción y tres repeticiones. En Macas se evaluaron 20 clones en dos años de producción y tres repeticiones. En Pichilingue se estudiaron 22 clones en cinco años de producción y tres repeticiones. En Portoviejo se evaluaron 20 clones en cuatro años de producción y tres repeticiones. En Santo Domingo se estudiaron 20 clones en cuatro años de producción y tres repeticiones.

Los clones de café robusta del experimento multilocal, se indican en la tabla 1.

Tabla 1.

Genotipos de café robusta probados por localidades cafetaleras.

Loreto (14)	Macas (20)	Pichilingue (22)	Portoviejo (20)	Santo Domingo (20)
COF-001-A2	COF-001-A2	COF-001-A2	COF-001-A2	COF-001-A2
	COF-003-A15	COF-003-A15	COF-003-A15	COF-003-A15
COF-003-A2	COF-003-A2	COF-003-A2	COF-003-A2	COF-003-A2
	COF-003-A7	COF-003-A7	COF-003-A7	COF-003-A7
COF-004-A15	COF-004-A15	COF-004-A15	COF-004-A15	COF-004-A15
COF-004-A7	COF-004-A7	COF-004-A7	COF-004-A7	COF-004-A7
	COF-005-A16	COF-005-A16	COF-005-A16	COF-005-A16
LB-A10	LB-A10	LB-A10	LB-A10	LB-A10
LB-A11	LB-A11	LB-A11	LB-A11	LB-A11
	LE-A1	LE-A1	LE-A1	LE-A1
LE-A7	LE-A7	LE-A7	LE-A7	LE-A7
LF-A7	LF-A7	LF-A7	LF-A7	LF-A7
	LI-A13	LI-A13	LI-A13	LI-A13
	LQ-A3	LQ-A3	LQ-A3	LQ-A3
LT-A2	LT-A2	LT-A2	LT-A2	LT-A2
NESTLÉ-1	--	NESTLE-1	--	--
NESTLÉ-2	--	NESTLE-2	--	--
NP-2024	NP-2024	NP-2024	NP-2024	NP-2024
NP-2024-A10	NP-2024-A10	NP-2024-A10	NP-2024-A10	NP-2024-A10
NP-3013	NP-3013	NP-3013	NP-3013	NP-3013
	NP-3018-A19	NP-3018-A19	NP-3018-A19	NP-3018-A19
	NP-4024-A4	NP-4024-A4	NP-4024-A4	NP-4024-A4

Fuente: Programa de Cacao y Café del INIAP, Ecuador.

Variable experimental

Para el análisis de estabilidad genética se usó la estimación de la variable cuantitativa continua: rendimiento (REN), expresado en kg café oro ha-1. El procedimiento para estimar el rendimiento se inicia con las recolecciones parciales de los frutos maduros por cafeto (PPCn), que se pesaron en una balanza gramera (g, sin decimales).

Producción de café cereza planta⁻¹ (PCC).- Corresponde a la suma de las recolecciones (cosechas) parciales: durante un año calendario. Los datos de la cosecha anual por cafeto, registrada en gramos, se transformó a kilos, dividiendo para 1.000.

$$PCC = \sum PPC_n$$

Donde:

PCC = Producción anual de café cereza (g planta⁻¹). Este dato se transforma a kg planta⁻¹.

$\sum R_n \quad \sum PPC_n$ = Suma de las recolecciones del café cereza (g planta⁻¹), realizadas en un año calendario.

Producción café oro kg cafeto⁻¹ (PCO).- Cuando no se dispone de la conversión de café cereza a café oro (CC:CO) se recomienda tomar como referencia el factor de conversión 4.5:1.0, que equivale a la transformación de 450 kg de café cereza a 100 kg café verde (café en grano al 10-12% de humedad). Por lo tanto, se estimó dividiendo la producción de café cereza anual (PCC) para el coeficiente de conversión mencionado. El resultado de esta relación se multiplicó por el factor 0,75 que constituye un coeficiente de ajuste, considerando el 25% de potenciales pérdidas durante el proceso de cosecha y poscosecha.

$$PCO = \frac{PCC}{4.5} \times 0.75 \approx PCO = 0.167 \times PCC$$

Rendimiento, kg café oro.ha⁻¹ (REN).- A partir del dato individual por cafeto (PCO) se realiza una extrapolación REN expresado en kg café oro.ha⁻¹, considerando la densidad poblacional real (plantas.ha⁻¹).

$$REN = PCO(DPR)$$

Donde:

REN = Rendimiento expresado en kg café oro.ha⁻¹

PCO = Producción de café oro expresado en kg café oro.planta⁻¹

DPR = Densidad poblacional real o Número de cafetos efectivos por hectárea (con corrección de las plantas faltantes)

Modelos estadísticos de estimación del parámetro estabilidad

Modelo de Finlay y Wilkinson.- En la aplicación del modelo, los valores observados de cada clon se sometieron al análisis de regresión lineal con los valores identificados como índices ambientales calculados como las diferencias entre la media marginal de las localidades/repeticiones y la media

general. La decisión se fundamenta en que si $b > 1.0$ la estabilidad del clon resulta reducida.

El modelo lineal (Corral, 2019, p. 149), se expresa como se indica a continuación:

$$Y = a + (b, \times, X)$$

Donde:

Y = Valor de la variable cuantitativa (p.e.: Rendimiento)

A = Valor del intercepto, es decir, valor de Y cuando X=0

b = Valor de la pendiente o coeficiente de regresión

X= Valor asociado de la variable independiente

Los genotipos con coeficientes de regresión: $b > 1,0$ tienen reducida estabilidad (Kumagaia y col., 2016, p. 313).

Modelo de Eberhart y Russell.- En la aplicación del modelo se realizó el análisis de la interacción genotipo x ambiente en dos etapas: en un primer momento se calculó la desviación de la regresión o residuo que es la diferencia de los valores observados y predichos de cada clon i, es la respuesta del clon. Las decisiones se tomaron con base en la siguiente regla: Si $b \approx 1.0$, la adaptabilidad del clon corresponde a la media, si $b > 1.0$ el clon se adapta a ambientes favorables, si $b < 1.0$ el clon se adapta a ambientes desfavorables, si la $S^2_{di} \approx 0.0$ la estabilidad es alta y si $S^2_{di} \approx 0.0$ la estabilidad es reducida. Como referencia se consideró que $b \approx 1,0$ cuando el coeficiente de regresión varía entre 0,8 y 1,2.

Eberhart y Russell (1966, p. 37) indican que el modelo para calcular el parámetro de estabilidad es el siguiente:

$$Y_{ij} = \mu_i + b_i I_j + d_{ij}$$

Donde:

Y_{ij} = Media del i-ésimo clon en el j-ésima ambiente (i = clones 1, 2,...; j = localidades 1, 2,...)

μ_i = Media del i-ésimo clon a través de todos los ambientes

b_i = Coeficiente de regresión que mide la respuesta del clon i en varios ambientes

I_j = Índice ambiental de la localidad j , que se calcula como la desviación del promedio de los genotipos en un ambiente dado, a partir del promedio general.

$$I_j = \frac{\sum y_{ij}}{g} - \bar{Y} =$$

Las desviaciones al cuadrado de la regresión se realizan considerando como variable independiente el promedio de los clones en todas las localidades y variable dependiente los promedios del clon i . El análisis de regresión lineal permite obtener el coeficiente b para cada clon i . Con los valores del intercepto a y del coeficiente b se define los valores de predicción. El residuo se calcula como la diferencia de los valores observados y predichos de cada clon i . La varianza de los valores residuales (diferencias) constituye el parámetro Sd_i^2 . Vargas y col. (2016, p. 74) señalan que se puede calcular mediante la siguiente fórmula:

$$S^2 d_i = \frac{d_i}{L-2} - \frac{CME_{error}}{r}$$

La regla de decisión para interpretar los parámetros empíricos: b_{1i} y S^2_{di} , de cada genotipo en distintos ambientes, se describe en la tabla 2.

Tabla 2.

Regla de decisiones para interpretar los resultados de estabilidad en el modelo Eberhart y Russell.

Parámetro	Si la variable es del tipo: mayor es mejor ($Y_i > \text{testigo}$ o $Y_i > Y$)
$b1i \approx 1.0$	Adaptabilidad media o general
$b1i > 1.0$	Adaptabilidad a ambientes favorables
$b1i < 1.0$	Adaptabilidad a ambientes desfavorables
$b1i \approx 0.0$	Genotipo ideal
$Sdi2 \approx 0.0$	Buena estabilidad
$Sdi2 > 0.0$	Mala estabilidad

Fuente: Jiménez y Ruiz (2006).

Modelo de Lin y Binns.- Esta técnica no paramétrica incluye el análisis del índice ambiental y el cálculo del índice de superioridad. El índice ambiental está dado por la expresión: $IA = \bar{G}_i - \bar{G}$, que es la diferencia entre el promedio individual del clon y la media general de los clones. Este mismo procedimiento se aplica para la estimación del índice ambiental de las localidades, con el ajuste pertinente de las medias por localidad y la media general de las locali-

dades en estudio. Este índice es la relación entre la diferencia al cuadrado del rendimiento máximo del clon superior y la media de un clon objeto de análisis G_i , dividido para el doble del número de observaciones del que provienen las medias. Cuando la IGA es significativa en el análisis de la varianza, Lin (1982, p. 277) sugiere usar métodos de agrupamiento en base a índices de similitud entre pares de genotipos, como la distancia euclidiana o inclusive el coeficiente de correlación r de Pearson. La decisión de estabilidad se tomó considerando el índice de superioridad, con el criterio “menor es mejor”.

La fórmula para calcular el índice de superioridad propuesto por Lin y Binns (1988, p. 194) es la siguiente:

$$P_i = \frac{\sum(G_{ij} - \text{Máx}_j)^2}{2n}$$

Donde:

P_i = índice de superioridad de un genotipo i en todos los ambientes j

G_{ij} = Promedio del genotipo i en todos los ambientes j

Máx_j = El valor máximo logrado en los genotipos

n = Número de observaciones (localidades) de los que provienen las medias
 Lin, Binns y Lefkovitch (1986, p. 896) proponen la clasificación de la estabilidad en tres tipos:

Estabilidad Tipo 1.- Un genotipo es estable si su variación entre ambientes es pequeña.

Estabilidad Tipo 2.- Un genotipo es estable si su respuesta a los ambientes es similar a la respuesta promedio de todos los genotipos.

Estabilidad Tipo 3.- Un genotipo es estable si el cuadrado medio del error del modelo de regresión, en el índice ambiental, es pequeño. Lo ideal es identificar genotipos con P_i reducidos, donde se atribuye una predominancia del componente genético (De Franceschi y col., 2010, p. 800).

Modelo AMMI.- En el presente estudio, donde la variable cuantitativa continúa de interés es el rendimiento, el ambiente comprende cinco localidades y distintos años de producción de 22 clones de café robusta. En el análisis estadístico “Efectos principales aditivos e interacción multiplicativa” se usó el programa INFOGEN que genera un gráfico de dos dimensiones (biplot), que corresponden a los componentes principales (eje X y eje Y).

Los lineamientos básicos para interpretar el biplot del modelo AMMI, son los siguientes: Los genotipos con mayor estabilidad, en el biplot, se encuentran más cercanos al punto de origen. Los genotipos, a medida que se alejan del punto de origen significa que tienen mayor variabilidad, por tanto, mayor

interacción genotipo x ambiente, en consecuencia, menor estabilidad. La relación entre ambientes y genotipos está determinada por los signos de los componentes principales: si poseen el mismo signo representan una interacción positiva para la variable experimental (valores mayores que la media). Los signos contrarios en los componentes principales indican un efecto negativo del genotipo en un ambiente específico (valores menores que la media).

Los ensayos de rendimiento de cultivos proporcionan información para recomendaciones agronómicas y selecciones de cultivares, pero su valor a menudo está limitado por la inexactitud y otros problemas, donde el modelo AMMI ha ayudado a obtener estimaciones de rendimiento precisas y selecciones confiables, ayudando a comprender conjuntos de datos complejos (William y col., 2010).

La varianza de un genotipo $S^2_{\text{genotipo } i}$ en distintos ambientes puede ser una medida de estabilidad; así como el coeficiente de variación (CV%) de cada genotipo (Lin, Binns y Lefkovitch, 1986, p. 894). La distancia euclidiana, originalmente fue definida como estabilidad genética comparativa, por tanto, un análisis de conglomerados jerárquicos también orienta sobre la estabilidad genética de los genotipos (Lin, Binns y Lefkovitch, 1986, p. 897).

El análisis de conglomerados jerárquicos (ACJ) ha sido recomendado por varios autores para analizar e interpretar las relaciones entre distintas variables de manera simultánea, mediante la construcción de modelos estadísticos complejos que permiten distinguir la contribución independiente de cada una de ellas en el sistema de relaciones para describir, explicar o predecir (Meneses, 2019, p. 22). Hay algunos aspectos que se deben considerar para poder tener confiabilidad en el modelo: la medida de distancia, el método de agrupamiento y la validez de la prueba. Para definir la similitud entre genotipos se usó la distancia euclidiana, para el agrupamiento el método de Ward y la correlación cofenética para determinar la validez de la prueba.

Distancia euclidiana.- Las distancias euclídeas entre matrices de datos y el agrupamiento por Ward se realiza usando programas computacionales como INFOSTAT. La distancia euclídea define la disimilitud entre pares de datos, años, localidades y genotipos. La distancia euclidiana se deduce a partir del teorema de Pitágoras, que inicia midiendo la distancia de un punto consigo mismo, esto significa una distancia cero, sin embargo, como los datos tienen un carácter aleatorio las distancias también resultan aleatorias, aunque esta limitación se puede resolver ordenando la serie de datos en forma ascendente o descendente. Muñoz y Romana (2019, p. 45) detallan el cálculo de la distancia euclídea usando la siguiente fórmula:

$$D_e = \sqrt{\sum (Y_{1+1} - Y_1)^2 + (Y_{2+1} - Y_2)^2}$$

Donde:

De = Distancia euclídea

Y₁ = Magnitud de la variable correspondiente al clon 1 (p.e.: rendimiento en la primera observación) y **Y₁₊₁** = Magnitud de la variable del mismo clon 1, pero correspondiente a la observación siguiente.

Y₂ = Magnitud de la variable en el clon 2 (p.e.: rendimiento en la primera observación) y **Y₂₊₁** = Magnitud de la variable del mismo clon 2, pero correspondiente a la observación de la siguiente posición.

Método de agrupamiento de Ward.- En el análisis de conglomerados, luego de definir el distanciamiento, se tiene que agrupar y una técnica muy usada es el método de agrupamiento de Ward conocido como de varianza mínima (Minimum Variance Clustering), con la cual se conforman grupos jerárquicos de subconjuntos mutuamente excluyentes, cada uno de los cuales tiene elementos similares con respecto a características específicas. Este procedimiento permite su reducción a $n - 1$ conjuntos mutuamente excluyentes al considerar la unión de todos los posibles: $n \left(\frac{n-1}{2} \right)$ pares y seleccionar el valor máximo para la función objetivo (rendimiento: mayor es mejor), repitiendo este proceso, hasta que solo quede un grupo, obteniéndose una estructura jerárquica completa y una estimación cuantitativa de la pérdida asociada con cada etapa de la agrupación (Ward, 1963, p. 236).

Correlación cofenética.- La correlación cofenética es una medida de proximidad entre el dendrograma y la matriz de distancia original, donde se busca que su valor sea lo más alto posible, cercano o igual a 1 (Acevedo y col., 2020, p. 47). El método se basa en el cálculo del coeficiente de correlación lineal de Pearson para $\frac{n-1}{2}$ pares de distancias. Cuando el coeficiente de correlación cofenética tiene el valor 1 significa que ambas matrices, original y transformada, son proporcionales, es decir, cumplen la propiedad métrica y la clasificación resultaría exacta, mientras que si el valor se aproxima a cero la clasificación sería inexacta.

Modelo PROMVAR.- Se basa en la relación entre las medias aritméticas de los clones (eje X) y la variación relativa (VR%) que representa el error estándar de la media, expresado en por ciento (eje Y). La construcción de un dispersograma con estos dos estadígrafos permitió valorar de manera gráfica un

diagrama de cuatro celdas. Considerando que el rendimiento es una variable cuantitativa continua, cuyo resultado deseable se identifica como “mayor es mejor”, se propendió a identificar (en el eje X) los clones con promedios mayores que la media general y valores de variación relativa menores que la media general de VR% (eje Y). Se identificaron los clones que, en el diagrama de cuatro celdas, se ubican en el cuadrante inferior derecho, reuniendo las condiciones de alto rendimiento y reducida variabilidad relativa (alta estabilidad).

El modelo PROMVAR puede adaptarse a las necesidades de la investigación en fitomejoramiento. En el caso de haber un cultivar testigo, los promedios de rendimiento y de variación relativa de ese material serían los valores críticos para tomar decisiones de selección. Si hubiese un alto número de genotipos promisorios (cuadrante inferior derecho), se podría incrementar la presión de selección (medias de rendimiento), usando los criterios del análisis de cuartiles, quintiles o deciles.

En estas circunstancias se propone sustituir la varianza (valores absolutos) por la variabilidad relativa (VR%), que representa el porcentaje del error típico de la media. Según Badii y col. (2007, p. 125), a través de la variabilidad relativa también se mide la precisión del experimento, que se expresaría como $P\% = 100\% - VR\%$. Esta propuesta metodológica, que se basa en la relación entre los promedios y la variación relativa, se identifica como PROMVAR.

La regla de decisión con respecto al rendimiento y a la variación relativa es la siguiente:

- Si el rendimiento de un genotipo i es mayor que la media general se considera de “Alto rendimiento”: $\bar{G}_i > \bar{Y}_i$
- Si el rendimiento de un genotipo i es menor que la media general se considera de “Bajo rendimiento”: $\bar{G}_i < \bar{Y}_i$
- Si la variación relativa del genotipo j es mayor que la media general de la variación relativa se considera de “Baja estabilidad”: $\bar{G}_j > V\bar{R}_j$
- Si la variación relativa media del genotipo j , es menor que la media general de la variación relativa se considera de “Alta estabilidad”: $\bar{G}_j < V\bar{R}_j$

Las decisiones, en el diagrama de cuatro celdas, se asocian a la ubicación en los cuadrantes:

Rendimiento alto y estable: cuadrante inferior derecho (deseable).

Rendimiento alto e inestable: cuadrante superior derecho (continuar selección).

Rendimiento bajo y estable: cuadrante inferior izquierdo.

Rendimiento bajo e inestable: cuadrante superior izquierdo.

El análisis comparativo entre modelos estadísticos se realizó usando la prueba Ji-cuadrada, para lo cual se usó como referencia los ocho clones identificados con modelo PROMVAR (valor esperado) contrastados con las frecuencias absolutas (número de clones identificados = valores observados) usando los modelos estadísticos.

$$X^2 = \frac{\sum(\text{observando-esperando})^2}{(\text{esperando})}$$

Manejo de los experimentos

Los ensayos en Pichilingue y Santo Domingo se instalaron en marzo del 2014; en Portoviejo en junio del 2014; en Macas en agosto del 2014; y en Loreto en noviembre del 2015. Las densidades poblacionales fueron adaptadas a las circunstancias locales: en Loreto y Macas se estableció en un distanciamiento de 3,0 x 2,5 m, que equivale a 1.333 plantas.ha⁻¹ y en Pichilingue, Portoviejo y Santo Domingo a una densidad poblacional de 2.000 plantas.ha⁻¹.

En el manejo de los ensayos a nivel de las cinco localidades. Se realizaron labores de fertilización, en el control de malezas se combinó la roza (manual o mecánica) y la aplicación de herbicidas, para el control de broca se usó trampas a base de atrayentes con alcoholes, la prevención de enfermedades foliares se realizó con la aplicación de fungicidas cúpricos, se realizaron podas anuales (deschuponamiento), la cosecha selectiva y el beneficio por vía seca (café natural).

Resultados y Discusión

El análisis estadístico de la variable rendimiento de los 22 clones de café robusta, se inició con el uso de técnicas de la estadística descriptiva, la evaluación de los supuestos de homocedasticidad y normalidad, el análisis de varianza por rangos de Kruskal y Wallis y las estimaciones de la estabilidad usando los modelos: Finlay y Wilkinson, Eberhart y Russell, Lin y Binns, AMMI y PROMVAR.

Para decidir la pertinencia del análisis de varianza paramétrico, se realizaron las pruebas de la homocedasticidad y de la normalidad. En el primer caso se usó la prueba de Levene y en el segundo caso la prueba de Ji-cuadrada. Se demostró que no había homocedasticidad para clones, ni localidades ni años, por tanto, no se cumplía el supuesto exigido para la aplicación de las pruebas paramétricas como el análisis de varianza de Fisher.

Los clones de café robusta: LB-A10, LT-A2, NP-4024-A4, NP-2024, NP-2024-A10 y LF-A7, LB-A11, COF-004-A7 y COF-001-A2 tenían distribución normal, pero no homogeneidad en las varianzas. La prueba de Levene, para determinar la homogeneidad de las varianzas, indicó que las varianzas no eran homogéneas. Estos resultados justifican el uso del análisis de varianza no paramétrico de Kruskal-Wallis.

Considerando que la media general de rendimiento de las cinco localidades fue 1.236 kg café oro ha⁻¹, el estadístico escalar a la media (EAm%) resultó un indicativo apropiado para interpretar el conjunto de clones con mayor producción, que se expresan con valores arriba de 100%.

Los clones con mayor valor EAm, con información de las cinco localidades, resultaron los siguientes: LB-A10, LE-A7 y LT-A2. En cuatro localidades, excepto en Loreto, se destacan los clones: COF-03-A7, LE-A1, NP-3018-A19 y NP 4024-A4 (tabla 3). Cabe indicar, además, que el clon COF-03-A7, presentó la menor variación relativa, como promedio de cuatro localidades.

Tabla 3.

Estadísticos de la variable rendimiento (kg ha⁻¹) en 22 clones de café robusta: Medias por localidad (\bar{Y}), Medias de los clones $i(\bar{G}_i)$, Error típico ($EE=S_{\bar{G}}$), valor escalar a la media (EAm), coeficiente de variación (CV), variación relativa (VR), coeficiente de asimetría de Fisher (Y_1), Curtosis (g_2) y tipos de distribución y de varianza.

Clones	n	Rendimiento kg.ha ⁻¹					\bar{G}_i	$S_{\bar{G}}$	EAm (%)	CV (%)	VR (%)	Y_1	g_2	Distribución normal	Varianza homogénea
		Loretos	Macas	Pichilingue	Portoviejo	Santo Domingo									
COF-001-A2	48	447	1044	1681	863	1128	1130	± 130	91%	80	11.5	0.41	-0.58	Si	No
COF-003-A15	43	--	1099	1159	676	886	946	± 102	77%	71	10.8	0.96	1.48	No	No
COF-003-A2	42	517	1193	2078	779	778	1215	± 146	98%	78	12.0	0.64	-1.05	No	No
COF-003-A7	41	--	1206	2193	1523	1147	1572	± 137	127%	54	8.5	-0.23	-0.80	No	No
COF-004-A15	43	199	1211	1509	1011	1048	1081	± 123	87%	75	11.4	0.23	-0.99	No	No
COF-004-A7	45	570	1020	2034	687	825	1141	± 132	92%	78	11.6	0.94	0.48	Si	No
COF-005-A16	38	--	793	1279	642	1026	941	± 1457	76%	95	15.4	2.08	5.12	No	No
LB-A10	41	700	2120	3038	945	1149	1637	± 188	132%	74	11.5	0.76	-0.55	Si	Si
LB-A11	42	366	1015	2017	813	1018	1182	± 140	96%	77	11.8	1.05	0.08	Si	No
LE-A1	41	--	1751	2703	822	1102	1700	± 195	138%	73	11.5	0.10	-0.89	No	-
LE-A7	47	512	1376	1943	844	1503	1335	± 139	108%	71	10.4	0.72	-0.66	No	No
LF-A7	48	533	1630	1502	845	1290	1200	± 129	97%	74	10.8	0.90	-0.17	Si	No
LI-A13	37	--	931	1410	583	571	883	± 114	71%	79	12.9	1.55	1.93	No	No
LQ-A3	40	--	1265	1767	1045	1299	1370	± 149	111%	69	10.9	1.21	1.47	No	No
LT-A2	43	526	1894	2243	716	1238	1351	± 166	109%	81	12.3	0.86	-0.07	Si	Si
NESTLÉ-1	11	366	--	2034	--	--	1579	± 297	128%	62	18.8	-0.05	-1.91	No	Si
NESTLÉ-2	13	380	--	2289	--	--	1554	± 310	126%	72	19.9	0.05	-2.05	No	Si
NP-2024	42	494	1452	1322	621	1059	1005	± 138	81%	89	13.8	0.87	-0.58	Si	No
NP-2024-A10	39	424	1254	1566	527	620	933	± 129	75%	86	13.8	0.83	-0.55	Si	No

El análisis de varianza no paramétrico, por rangos de Kruskal-Wallis, permitió, analizar los factores en forma individual: localidades, años y clones. En el análisis de varianza KW para localidades (tabla 4), los clones tienen diferen-

cias estadísticas en las localidades de Portoviejo y Pichilingue ($p < 0,01$). En la tabla 5, se expone las pruebas post hoc de Kruskal y Wallis, de la variable rendimiento de clones de café robusta, en las localidades Pichilingue y Portoviejo. Los clones que sobresalen son: en Pichilingue, LB-A10, LE-A1, Nestlé 2, NP-4024 A4, LT-A2 y COF-03-A7; y en Portoviejo: COF-03-A7, COF-04-A15, NP-3013, LB-A10 Y LQ-A3.

Tabla 4.

Comparación de medias de rendimiento usando el análisis KW en cinco localidades cafetaleras.

Localidades	n	\bar{L}_j	Post hoc de Kruskal-Wallis	
		(kg.ha ⁻¹)	Rangos (=R)	Rangos KW
Pichilingue	258	1886±50	600,63	A
Macas	118	1272±76	494,58	B
Santo Domingo	193	1095±60	366,63	C
Portoviejo	238	826±52	343,29	C
Loreto	61	463±102	186,23	D

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Tabla 5.

Análisis de varianza por rangos de Kruskal y Wallis de la variable rendimiento de clones de café robusta en las localidades Pichilingue (Los Ríos) y Portoviejo (Manabí).

Pichilingue				Portoviejo			
Clones	n	R	Rangos KW	Clones	n	R	Rangos KW
LB-A10	10	196.40	A	COF-003-A7	12	193.42	A
LE-A1	15	180.57	AB	COF-004-A15	10	155.65	AB
NESTLE-2	8	167.31	ABC	NP-3013	12	149.33	AB
NP-4024-A4	12	164.33	ABC	LB-A10	12	148.75	AB
LT-A2	10	156.35	ABCD	LQ-A3	12	147.92	AB
COF-003-A7	12	155.92	ABCD	NP-4024-A4	12	129.46	BC
NESTLE-1	8	149.44	ABCDE	LE-A7	12	127.75	BC
COF-003-A2	13	146.69	ABCDE	COF-001-A2	12	124.00	BC
COF-004-A7	13	142.65	ABCDE	LE-A1	12	122.50	BC
LB-A11	12	140.00	ABCDE	LB-A11	12	119.96	BC
LE-A7	13	136.96	ABCDE	LF-A7	12	117.46	BC
NP-3018-A19	13	127.92	BCDEF	COF-003-A2	12	115.21	BC
COF-001-A2	13	120.27	CDEF	COF-004-A7	12	103.96	BC
LQ-A3	13	116.77	CDEF	LT-A2	12	103.79	BC
NP-2024-A10	12	109.92	CDEF	COF-003-A15	12	102.38	BC
LF-A7	13	106.42	CDEF	COF-005-A16	12	98.63	BC
COF-004-A15	11	102.64	CDEF	NP-3018-A19	12	88.54	C
NP-3013	10	100.00	CDEF	NP-2024	12	86.50	C
LI-A13	11	97.00	DEF	LI-A13	12	85.58	C
NP-2024	11	83.95	EF	NP-2024-A10	12	75.25	C
COF-005-A16	11	83.73	EF	--			
COF-003-A15	14	77.75	F	--			

Nota: Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$).

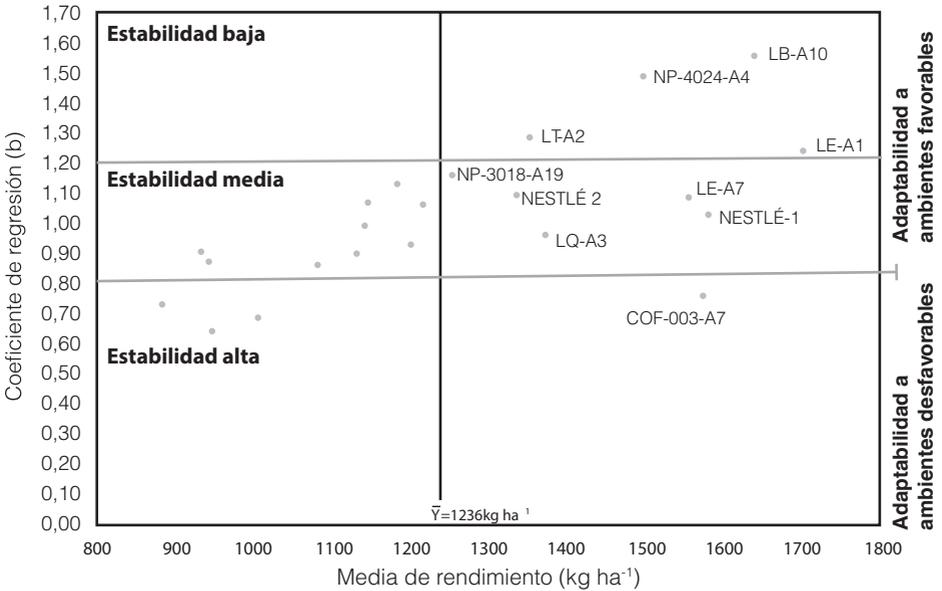
Estabilidad del rendimiento con el modelo de Finlay y Wilkinson

El modelo de Finlay y Wilkinson se basa en la regresión lineal de los promedios de todos los clones i en los ambiente j (\bar{G}_j), y el promedio del clon específico (G_i), en los ambientes evaluados. El único clon con adaptación en ambientes desfavorables y estabilidad alta resultó: COF-003-A7. Un grupo de clones tiene adaptabilidad a ambientes favorables con estabilidad media:

NP-3018-A19, Nestlé-2, LQ-A3, LE-A7 y Nestlé-1. Hay un grupo de clones con estabilidad baja: LT-A2, NP-4024-A4, LB-A10 y LE-A1 (figura 2).

Figura 2.

Estabilidad de los clones de café robusta en base al modelo Finlay y Wilkinson.



Estabilidad del rendimiento con el modelo de Eberhard y Russel

Las diferencias en la productividad entre ambientes es la manifestación de que hay influencia de los factores ambientales que pueden ser de distinto orden: fertilidad del suelo, prácticas de manejo, condiciones edafoclimáticas e incidencia de plagas. Con los datos de los parámetros de Eberhart y Russel, que se detallan en la tabla 6, se hizo una transformación a datos en escala ordinal.

Los promedios G_i , se convirtieron a dos categorías: 1 = debajo de la media y 3 = arriba de la media (nótese que no se asignó el valor 2); el coeficiente de determinación R^2 se calificó con 1 cuando está debajo de 0,75 y se asignó el valor de 2 cuando superó a 0,75. El valor R^2 mas cercano a 1 “es mejor”. En la desviación de la regresión al cuadrado, si $S^2d > 0,20$ se valoró con 1; y, si

$S^2d \approx$ de 0 a 0,20 (mayor estabilidad) se le valoró con 2 puntos. La prioridad de selección se definió en base a ΣMC , al clon con mayor puntaje ordinal se identifica de prioridad 1, y así sucesivamente. El clon LE-A7, ocupó la

.....

prioridad 1, que en el modelo de Finlay y Wilkinson tiene estabilidad media y el COF-003-A7, obtuvo mayor estabilidad. Los modelos de Lin y Binns y Eberhard & Russell, presentaron resultados similares (Rocha y col., 2015, p. 1536).

En Manabí y Los Ríos, Zambrano y colaboradores (2017, p. 7), usaron el modelo de Eberhart y Russel para determinar genotipos de maíz con alta estabilidad en las condiciones del ambiente, de las zonas maiceras de estas dos provincias. Según Lin y col. (1986, p. 897), la razón básica que dificulta la estimación de los parámetros de estabilidad por los métodos de regresión propuestos por Finlay-Wilkinson y por Eberhart-Russell, es la respuesta multivariante de los genotipos a los distintos ambientes, pero el análisis estadístico los trata como a una respuesta univariada. En consecuencia, por resultados de selección podrían no ser confiables.

Estabilidad del rendimiento con el modelo Lin y Binns

El modelo de Lin y Binns tiene la característica de incluir el concepto de índice ambiental, reconociendo que los clones (factor genético) responden de manera en entornos diferentes (factor ambiente). El factor ambiente no solo involucra el suelo y clima, sino también el manejo del cultivo. El índice ambiental, referido a las localidades, indica que Pichilingue y Macas tienen condiciones más favorables para el cultivo de café robusta. Los índices genéticos permitieron identificar como clones de alta adaptación a los siguientes: LB-A10, LE-A1, COF-03-A7, NP-4024-A4, NP-3018-A19, LT-A2, LQ-A3, Nestlé 2 y LE A7 (figura 3). El índice de superioridad de Linn y Binns, identifica como clones mejor producción y estabilidad del rendimiento, los siguientes: LB-A10, LT-A2, LE-A1, LE-A7, COF-003-A7, LF-A7 y NP-4024-A4 (tabla 7).

Figura 3.

Índices ambientales de 22 clones de café robusta y capacidad de adaptación.

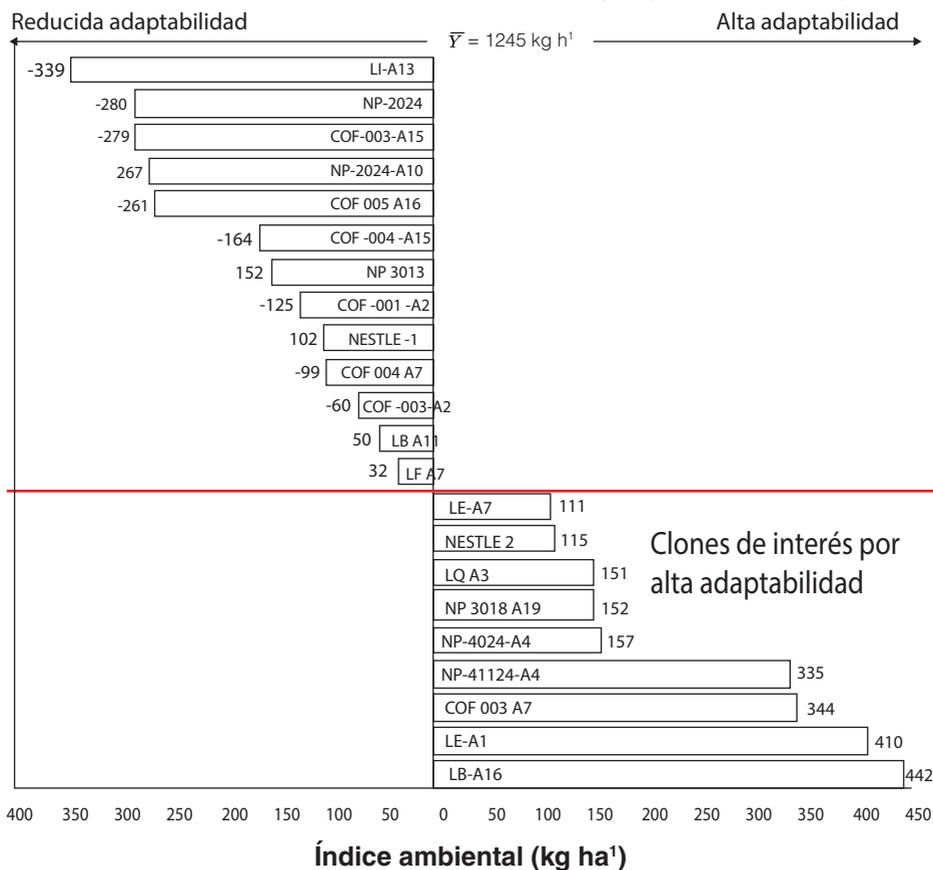


Tabla 7.

Índice de superioridad (Pi) de los clones Gi mediante el método de Lin y Binns.

Clones	n	ΣG_i	\bar{G}_i kg ha ⁻¹	Índice de superioridad Pi	Prioridad de selección
LB-A10	41	7952	1637	0.0	1
LT-A2	43	6618	1351	2.2	2
LE-A1	41	6377	1700	3.2	3
LE-A7	47	6179	1335	3.5	4
COF-003-A7	41	6068	1572	4.5	5
LF-A7	48	5801	1200	5.0	6
NP-4024-A4	40	5757	1497	6.3	7
NP-3013	43	5323	1145	8.4	8
COF-001-A2	48	5163	1130	8.5	9
COF-003-A2	42	5344	1215	8.5	9
LQ-A3	40	5377	1370	8.7	10
COF-004-A7	45	5135	1141	9.2	11
LB-A11	42	5229	1182	9.3	12
COF-004-A15	43	4978	1081	10.8	13
NP-2024	42	4949	1005	11.3	14
NP-3018-A19	41	4867	1253	12.2	15
NP-2024-A10	39	4391	933	17.1	16
COF-003-A15	43	3820	946	20.8	17
COF-005-A16	38	3741	941	24.6	18
LI-A13	37	3495	883	28.4	19
NESTLÉ-2	13	2668	1554	126.9	20
NESTLÉ-1	11	2400	1579	171.2	21

Santana y col. (2020, p. 2) reportan un estudio de interacciones genotipo × ambiente en genotipos de robusta, usando el método de Lin y Binns (1998), donde concluyen que son apropiadas para identificar genotipos por adaptabilidad amplia o específica. Rocha y col. (2015, p. 1533) usaron el método de Lin-Binns, considerando que es una técnica de análisis no paramétrico, basada en el índice de superioridad Pi.

La característica fisiológica del café robusta, identificada como alternancia bienal de la cosecha, hace que las variaciones entre genotipos sean más evidentes. Las cosechas, año tras año, expresan un comportamiento diferenciado de los genotipos en el tiempo, escenario en el cual deben considerarse

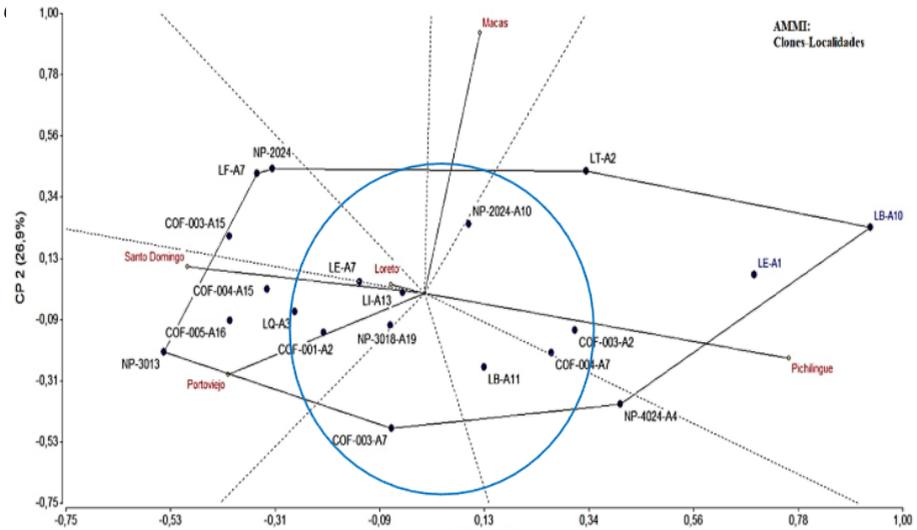
varios métodos para interpretar el efecto de las interacciones sobre el cultivo (Rocha y col., 2015, p. 1532).

Estabilidad del rendimiento con el modelo AMMI

El primer componente representó el 58,3% de la varianza total y el segundo eje representó el 26,9%. Los dos primeros componentes explican 85,2% de la variabilidad total del rendimiento, en las cinco localidades. Los clones más estables en lo referente a localidades fueron: LI-A13, LE-A7, NP-3018-A19, NP-2024-A10, LQ-A3 y COF-01-A2. El clon más estable y de mayor producción resultó NP-2024-A10. Los clones con mayor interacción genotipo x ambiente fueron: LB-A10, LE-A1, LT-A2 y NP-4024-A4. Los tres primeros de rendimientos altos en la localidad Pichilingue (figura 4).

Figura 4.

Estabilidad del rendimiento de 22 clones de café robusta en cinco localidades



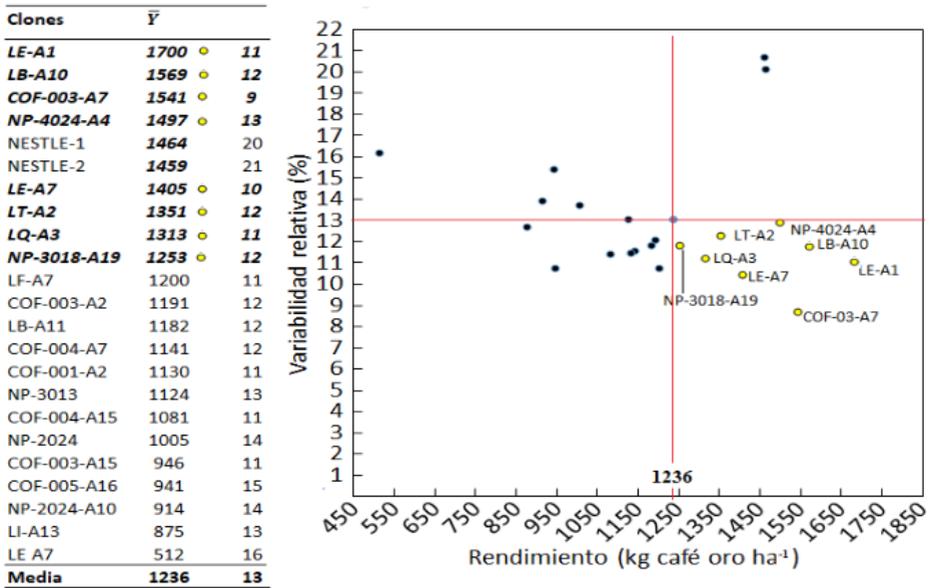
Estabilidad del rendimiento con el modelo PROMVAR

El modelo PROMVAR se fundamenta en la relación entre las medias aritméticas de cada genotipo para la variable rendimiento y sus proporciones de error típico. Cuando la variable cuantitativa continua corresponde al tipo “mayor es mejor” como el “rendimiento”, se procura un valor arriba del promedio general y una variabilidad relativa inferior a la media general. Cabe destacar que si la variable de interés fuese del tipo “menor es mejor”, como la inci-

dencia de roya del cafeto, con el modelo PROMVAR, en la interpretación del gráfico se procuraría identificar los genotipos localizados en la celda izquierda inferior. Considerando como valores críticos para la selección, el promedio $\bar{Y} = 1.236 \text{ kg ha}^{-1}$ con una $\text{VAR} = 13,0\%$. Los genotipos con rendimientos $> \bar{Y} = 1.236 \text{ kg ha}^{-1}$ y $< \text{VAR} = 13\%$ fueron: LE-A1; LB-A10, COF-03-A7, NP-4024-A4, LE-A7, LT-A2, LQ-A3 y NP-3018-A19 (figura 5).

Figura 5.

Diagrama de cuatro celdas para la identificación de clones de café robusta de mayor rendimiento y reducida variación relativa (más estables).



Comparación entre modelos usados para estimar la estabilidad del rendimiento

La comparación de los resultados usando diversos modelos para calcular el parámetro estabilidad del rendimiento de los 22 clones en cinco localidades cafetaleras y la prueba ji cuadrada, se expone en la tabla 8. Los resultados del modelo PROMVAR se compararon con los otros modelos por cuanto tuvo una frecuencia absoluta más alta, seguido de los resultados logrados con el ADEVA de Kruskal y Wallis, donde hubo siete de ocho coincidencias.

El valor del estadístico de KW fue $H=48.92$, con un valor $p=0,0005$ (**), por consiguiente, había diferencias significativas entre clones, siendo los de mayor producción y estables: LE-A7, LE-A1. COF-03-A7. LB-A10. LQ-A3. LT-A2 y NP-4024-A4 que comparten la letra A de los rangos.

El análisis de varianza por rangos de Kruskal-Wallis, el modelo PROMVAR, el modelo de Lin y Binns y el modelo de Eberhart y Russell resultaron estadísticamente iguales ($p=0,046$). Los modelos AMMI y de Finlay y Wilkinson resultaron estadísticamente diferentes del método PROMVAR ($p>0,05$), por tanto, no se recomienda usarlos en los análisis de estabilidad genética de especies perennes. El análisis de rangos de Kruskal-Wallis permitió determinar un conjunto de clones de mayor rendimiento general: COF-03-A7, LB-A10, LQ-A3, LT-A2, LE-A1, LE-A7 y NP-4024-A4, verificándose que coinciden en siete de ocho casos con los resultados del modelo PROMVAR. El modelo Finlay y Wilkinson permitió identificar como clones de adecuada estabilidad los siguientes: COF-03-A7 (estabilidad alta) y LE-A1, LE-A7 y NP-3018-A19 (estabilidad media). No se incluyeron los clones Nestlé 1 y Nestlé 2, considerando que no están replicados en las cinco localidades. Con el método Finlay y Wilkinson solo coinciden 4 de 8 clones, identificados con el método PROMVAR. Igual ocurrió con la comparación de PROMVAR y AMMI.

El modelo Eberhart y Russell permitió identificar como clones más estables en rendimiento: LE-A7, LE-A1, LB-A10, COF-03-A7, NP-4024-A4 y LT-A2. Mediante el índice de superioridad de Lin y Binns, se identificaron como superiores los clones: LB-A10, LT-A2, LE-A1, LE-A7 y COF-03-A7. Los clones identificados con el modelo AMMI, fueron: LI-A13, LE-A7, NP-3018-A19, NP-2024-A10, LQ-A3 y COF-01-A2. Cabe enfatizar que para calcular la estabilidad e interacción genotipo x ambiente, en AMMI, se requiere de software especializado, como INFOGEN (Balzarini y Di Rienzo, 2016).

Tabla 8.

Comparación entre modelos estadísticos usados para estimar la estabilidad del rendimiento de clones de café robusta.

	ADEVA Kruskal y Wallis	Lin y Binns	Eberhart y Russell	Finlay y Wilkinson	AMMI	PROMVAR
	LE-A7	LE-A7	LE-A7	LE-A7	LE-A7	LE-A7
	LE-A1	LE-A1	LE-A1	--	LI-A13	LE-A1
	COF-003-A7	COF-003-A7	--	COF-003-A7	--	COF-03-A7
	LB-A10	LB-A10	LB-A10	--	--	LB-A10
	LQ-A3	--	--	LQ-A3	LQ-A3	LQ-A3
	LT-A2	LT-A2	LT-A2	--	--	LT-A2
	NP-4024-A4	--	NP-4024-A4	--	--	NP-4024-A4
	--	--	--	NP-3018-A19	NP-3018-A19	NP-3018-A19
Frecuencia observada	7 (88%)	5 (63%)	5 (63%)	4 (50%)	4 (50%)	8 (100%)
Frecuencia esperada	8	8	8	8	8	8
p valor: PROMVAR vs. cada uno de los otros modelos	0.42 (NS)	0.42 (NS)	0.42 (NS)	0,046 (*)	0.046 (*)	--

Se reportan varios estudios comparativos de los métodos de estimación de la estabilidad fenotípica: Williams y col. (2010, p. 117) informan que el método AMMI resultó más eficiente para caracterizar el comportamiento de genotipos de sorgo, comparado con el modelo Finlay-Wilkinson. Según Williams y col. (2010, p. 117), el modelo AMMI suministra información adicional, que permite agrupar ambientes de igual respuesta.

En un estudio sobre yuca, Damba (2008, p. 69) concluye que los métodos AMMI, Lin-Binns y Eberhart-Russel son complementarios, proporcionando información valiosa para la toma de decisiones.

En un estudio de la estabilidad en trigo, De Franceschi y col. (2010, p. 804) concluyeron que el índice de superioridad del método de Lin-Binns, permite discriminar un conjunto de cultivares, tanto en ambientes favorables como desfavorables.

El método propuesto por Benítez y col. (1992), que se valida en el presente estudio como el más eficiente, permite la selección simultánea de algunos genotipos, combinando los altos rendimientos y reducida variabilidad relativa

(alta estabilidad), lo cual demuestra que es un método práctico para promover una agricultura que afronta los desafíos del cambio climático.

Conclusiones y Recomendaciones

La evidencia experimental permitió establecer las siguientes conclusiones y recomendaciones:

Conclusiones

Los modelos de análisis de estabilidad genética de la producción contribuyen, junto con la valoración de las características fenotípicas, a seleccionar genotipos en forma segura, como en el presente caso, en café robusta.

La comparación de los modelos PROMVAR vs. Kruskal-Wallis, Lin-Binns y Eberhart-Russell demostró que son estadísticamente iguales ($p = 0,417$), en la estimación del parámetro estabilidad del rendimiento, de 22 clones de café robusta, en cinco ambientes.

El modelo PROMVAR comparado con los modelos AMMI y Finlay-Wilkinson, resultó estadísticamente diferente ($p = 0,046$).

El modelo basado en la relación entre medias y la variación relativa (porcentaje de error de las medias, con el apoyo del diagrama de cuatro celdas, posibilita la identificación ágil de los genotipos estables y de alto rendimiento.

Los clones de café identificados por alto rendimiento y alta estabilidad (reducida variabilidad relativa), fueron: LE-A1, LB-A10, COF-03-A7, NP-4024-A4, LE-A7, LT-A2, LQ-A3 y NP-3018-A19.

Recomendaciones

Ampliar el uso del modelo PROMVAR validando en otros escenarios y cultivos perennes, anuales y de ciclo corto.

Referencias bibliográficas

- Acevedo, M., Silva, R., Álvarez, R., Torres, O. y Edicta, R. (2020). Estratificación ambiental de arroz por análisis de la interacción genotipo x ambiente con cinco métodos. *Agronomía Mesoamericana*, 31(1), 43-57. https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?pid=S1659-13212020000100043&script=sci_abstract&lng=es
- AGROCALIDAD (Agencia Ecuatoriana de Aseguramiento de la Calidad del Agro). (18 de Abril de 2012). Manual de procedimientos para el registro y certificación de viveros y productores de material de propagación vegetal de café. Requisito de la norma: 4.2.3 / 4.2.4, 13 y Anexos. Quito, Pichincha, Ecuador: Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca. <https://faolex.fao.org/docs/pdf/ecu140948.pdf>
- Arias, J.C. (2023). Colección colombiana de café: Conservando la diversidad genética para una caficultura sostenible. *Cenicafé*. <https://doi.org/10.38141/cenbook-0021>
- Badii, M., Castillo, J., Landeros, J. y Cortez, K. (2007). Papel de la estadística en la investigación científica. *Innovaciones de Negocios*, 4(1), 107-145. <http://eprints.uanl.mx/12472/1/A5.pdf>
- Balzarini, M. y Di Rienzo, J. (2016). InfoGen versión 2016. (FCA, Ed.) Córdoba, Argentina: Universidad Nacional de Córdoba. <http://www.info-gen.com.ar>
- Benítez, A., Valencia, J., Estrada, E. y Baena, D. (1988). Caracterización fenotípica de algunas introducciones del banco de germoplasma de lulo, *Solanum quitoense* Lam. *Acta Agron.*, 38(3), 34-39. https://revistas.unal.edu.co/index.php/acta_agronomica/article/view/86536/74610
- CATIE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza). (1994). Ensayos de procedencias en especies forestales: Establecimiento, manejo, evaluación y análisis. En J. C. Mesén (Ed.), *Manual sobre mejoramiento genético forestal* (pág. 218). Turrialba, Costa Rica. <http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/19/0Manual%20Te%CC%81cnico%20para%20el%20Establecimiento%20de%20Ensayos.pdf>
- CEBIOGEN (Centro de Bioinformática Genómica). (2018). Nuevas técnicas de mejoramiento de plantas (NPBTs): Elementos de análisis y recomendaciones sobre su enfoque regulatorio. (Grupo de Investigación, México): México. <https://conahcyt.mx/cibiogem/index.php/cibiogem/convocatorias-de-la-cibiogem/convocatorias-fondo-cibiogem/6032-nuevas-tecni>

cas-de-mejoramiento-de-plantas-elementos-de-analisis-y-recomendaciones-sobre-su-enfoque-regulatorio/file

- Chiguano, C. y Játiva, M. (1998). Plantaciones clonales de café robusta en sistemas agroforestales para la Amazonía ecuatoriana. Francisco de Orellana, Ecuador: INIAP. <http://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/3898>
- Córdova, H. S. (1991). Estimación de parámetros de estabilidad para determinar la respuesta de híbridos de maíz (*Zea mays* L.) a ambientes contrastantes de Centroamérica, Panamá y México. *Agronomía Mesoamericana*, 2, 1-10.
- Corral, L. (2019). Estadística y técnicas experimentales. Quito, Ecuador: AB-YA-YALA. 520 p. <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/19040>
- Cuadras, C. (2014). Nuevos métodos de análisis multivariante. CMC. 304 p. https://gc.scalahed.com/recursos/files/r161r/w24899w/Semana5/ME-TODOS_S5.pdf
- Damba, G.P. (2008). Evaluación de métodos para análisis de estabilidad en diferentes ambientes en genotipos de yuca (*Manihot esculenta* Crantz). [Tesis de maestría en Ciencias, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Colombia]. <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/2468/7206503.2008.pdf?sequence=1>
- Davis, A. P., Tosh, J., Rush, N. & Fay, M. F. (2011). Growing coffee: *Psilanthus* (Rubiaceae) subsumed on the basis of molecular and morphological data; implications for the size, morphology, distribution and evolutionary history of *Coffea*. *Botanical Journal of the Linnean Society*, 167, 357-377. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8339.2011.01177.x>
- De Franceschi, L., Benin, G., Marchioro, V. S., Martín, T. N., Rossi Silva, R. y Lemes Da Silva, C. (2010). Métodos para análise da adaptabilidade e estabilidade em cultivares de trigo no estado do Paraná. *Bragantia*, 69(4), 797-805. <https://www.scielo.br/j/brag/a/YYRD9jkJHvdFKTjZqWMXMB-J/?format=pdf&lang=pt>
- Di Rienzo J.A., Casanoves F., Balzarini M.G., Gonzalez L., Tablada M., Robledo C.W. (2018) InfoStat versión 2018. Centro de Transferencia InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>
- Duicela, L. A. (2017). Café robusta: producción y poscosecha. (ESPAM, Ed.) Calceta, Ecuador: Humus. 292 p.

- Duicela, L., Corral, G. y Chilán, W. (2016). Selección de "cabezas de clon" en café robusta (*Coffea canephora*) en el trópico seco, Ecuador. *ESPAM-CIENCIA*, 7(1), 23-35.
- Eberhart, S. A. & Russell, W. A. (1966). Stability Parameters for Comparing Varieties. *Crop Science*, 6, 36-40.
- Finlay, W. & Wilkinson, G. (1963). The analysis of adaptation in a plant-breeding programme. *Aust. J. Agric. Res.*, 14, 742-754.
- González, T., Monteverde, E., Marín, C., Madriz, I. y Petra, M. (2007). Comparación de tres métodos para estimar estabilidad del rendimiento en nueve variedades de algodón. *Interciencia*, 32(5), 344-348.
- Jiménez, J. J. y Ruiz, O. (2006). Determinación y aplicación de métodos estadísticos para medir estabilidad genética en vegetales. Caso banano. Escuela Superior Politécnica del Litoral. <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/2469/1/4802.pdf>
- Kumagaia, E., Kurodac, E. & Shimonoc, H. (2016). Finlay-Wilkinson's regression coefficient as a pre-screening criterion for yield responsiveness to elevated atmospheric CO₂ concentration in crops. *Physiologia Plantarum*, 158, 312-317. doi:10.1111/ppl.12468
- Leroy, T., Ribeyre, F., Bertrand, B., Charmetant, P., Dufour, M., Montagnon, C. & Pot, D. (2006). Genetics of coffee quality. *Brazilian journal of plant physiology*, 18(1), 229-242.
- Lin, C. S. (1982). Grouping genotypes by a cluster method directly related to genotype-environment interaction mean square. *Theoretical and Applied Genetics*, 62(3), 277-280.
- Lin, C. S. & Binns, M. R. (1988). A superiority measure of cultivar performance for cultivar x location data. *Plant Science*, 68, 193-198.
- Lin, C., Binns, M. & Lefkovitch, L. (1986). Stability Analysis: Where Do We Stand? *Crop science*, 26(5), 894-900.
- Loor, R., De Bellis, F., Leroy, T., Plaza, L., Guerrero, H., Subía, C. & Vera, D. (2017). Revealing the diversity of introduced *Coffea canephora* germoplasm in Ecuador: Towards a national strategy to improve robusta. *The Scientific World Journal*, 1-12. doi:10.1155/2017/1248954
- López, J., Aguilar, J., García, J. y Lobato, R. (2018). Adaptabilidad y estabilidad de longitud de mazorca de maíz raza jala en cinco ambientes. *Biociencias*, 5(3), 1-14.

- Meneses, J. (2019). Introducción al análisis multivariante. Barcelona, España: Universidad Oberta de Catalunya.
- Muñoz, B. y Romana, M. (2019). Espacios métricos y métodos de decisión multicriterio. *Pensamiento matemático*, 9(1), 41-54.
- Orrala, N., León, Á. y Arzube, M. (2017). Adaptación, selección y difusión de clones de café robusta (*Coffea canephora* Pierre ex Froehner) de alta productividad en la provincia de Santa Elena, en el litoral ecuatoriano, Universidad Península de Santa Elena. Santa Elena: UPSE.
- Plaza, L., Loor, R., Guerrero, H. y Duicela, L. (2015). Caracterización fenotípica del germoplasma de *Coffea canephora* Pierre base para su mejoramiento en Ecuador. *ESPAMCIENCIA*, 6(1), 7-13.
- Rocha, R., Ramalho, A., Texeira, A., Souza, F. e Cruz, C. (2015). Adaptabilidade e estabilidade da produção de café beneficiado em *Coffea canephora*. *Ciencia Rural*, 45(9), 1531-1537.
- Sa'diyaha, H. & Futuhul-Hadib, A. (2016). AMMI Model for Yield Estimation in Multi-Environment Trials: A Comparison to BLUP. *Agriculture and Agricultural Science Procedia*, 9, 163-169.
- Santana, M., Barros, R., Lara, A., Curitiba, M., Andrade, C. & Pereira, A. (2020). Adaptability and stability of *Coffea canephora* Pierre ex Froehner genotypes in the Western Amazon. *Ciência Rural*, Santa María, 50(1), 1-10.
- Silva Díaz, R. J., Pérez Comenares, A. A., Medina Montilla, S. A., Viloría Díaz, J. E., García Mendoza, P. J., Duarte, A. y Pacheco, T. (2014). Estabilidad fenotípica de híbridos de maíz en Venezuela utilizando el índice de superioridad y la regresión lineal bisegmentada. *Agronomía Tropical*, 64(1-2), 107-120.
- Tiessen-Favier, A. (2009). Fundamentos y metodologías innovadoras para el mejoramiento genético del maíz (1.a ed.). México: Ciencia Activa.
- Vargas, E. A., Vargas, J. E. y Baena, D. (2016). Análisis de estabilidad y adaptabilidad de híbridos de maíz de alta calidad proteica en diferentes zonas Agroecológicas de Colombia. *Acta Agronómica*, 6(1), 72-79.
- Ward, J. H. (1963). Hierarchical grouping to optimize an objective function. *Journal of the American Statistical Association*, 58(301), 236-244. doi:10.1080/01621459.1963.10500845
- Williams, H., Pecina, V., Zavala, F., Montes, N., Gámes, J., Arcos, G. y Alcalá, L. (2010). Modelo de Finlay y Wilkinson vs. el modelo AMMI para analizar

la interacción genotipo-ambiente en sorgo. Revista Fitotecnia Mexicana, 33(2), 117-123.

Zambrano, E.E., Limongi, J.R., Alarcón, F.D., Villavicencio, J.P., Caicedo, M., Eguez, J.F. y Zambrano, J.L. (2017). Interacción genotipo ambiente de híbridos de maíz bajo temporal en Manabí y Los Ríos, Ecuador. ESPAMCIENCIA, 8(1), 7-14. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/7020060.pdf>

INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO DEL CAFÉ ARÁBIGO Y ROBUSTA

Capítulo 3

Identificación y selección de clones
élites de café robusta para zonas del
litoral ecuatoriano

AUTORES: Ing. Willian Paúl Chilán Villafuerte, Mg.Sc; Ing. Gianni Rubén Corral Castillo, Mg.Sc;
Ing. Gianni Rubén Corral Castillo, Mg.Sc; Ing. Agustín Hugo Álvarez Plúa, Mg.Sc.

Introducción

El Ecuador se caracteriza por producir las dos especies de café de importancia económica: café arábigo (*Coffea arábica* L.) y café robusta (*Coffea canephora* Pierre ex Froehner), este rubro tiene mucha importancia para los sectores ambientales, económicos y sociales. El problema central de la caficultura es su baja producción y deficiente calidad del grano. Como causas de la baja productividad se han identificado los siguientes factores: uso de material de siembra de origen genético desconocido, falta de tecnología apropiada para el manejo del cultivo, falta desarrollar materiales genéticos mejorados, variaciones de condiciones climáticas y alto impacto de contaminación en el grano.

El cafeto es el nombre que identifica a las plantas del género *Coffea*, donde café arábigo es de genética tetraploide y autógama (Eskes, 1989), a diferencia del café robusta que es diploide y alogama. El origen de todas estas especies es el continente africano y la región de Madagascar. Todas las especies del género *Coffea* pueden ser cruzadas entre ellas con diferente grado de infertilidad (Eskes, 1989). Una característica importante del género *Coffea* es que la mayor parte de especies contienen cafeína en sus semillas (Charrier y Berthaud 1985). A nivel de mercado al café arábigo le corresponde del 60 al 70% de la producción mundial y al café robusta del 30 al 40 por ciento (CTI, 2022).

El café robusta fue descubierto en África a fines del siglo XIX, creciendo de manera silvestre en las zonas tropicales de Guinea y El Congo. En 1895, en el Zaire se cultivaban cafetos de la especie robusta procedentes de las riberas del río Lomani. A Java se introdujeron plantas procedentes de Zaire, en 1901. Las plantaciones de café robusta del Ecuador, en su gran mayoría, son poco productivas o improductivas (Ramírez, 2005), debido al uso de material genético de origen desconocido, a la edad avanzada, a las densidades poblacionales bajas, al no uso de abonos químicos ni orgánicos, al deficiente control de los problemas fitosanitarios, a la falta de regulación de sombra y podas; así como a la cosecha y beneficio incorrectos del grano de café.

La naturaleza alogámica del café robusta y el uso de material de siembra derivado de semilla provocó en los cafetales una amplia variabilidad fenotípica. En el país existen zonas con condiciones agroecológicas adecuadas para la producción de café robusta, en la perspectiva de ampliar el área de cultivo y abastecer a la industria local o exportar en grano, contribuyendo a la generación de empleo y mejora de ingresos de la cadena cafetalera.

El proceso de expansión del cultivo de café robusta, en el Ecuador se ha dado principalmente en ambientes del “trópico húmedo”, por lo que la selección de materiales genéticos para el trópico seco debe pasar por un proceso de identificación de “cabezas de clon”, adaptación agroclimática y estudio de su comportamiento agroproduktivo.

Características de la especie *Coffea canephora* Pierre ex Froehner

La especie *canephora*, conocida como café robusta, se descubrió en el antiguo Congo belga, en el siglo XIX, y en 1900 se introdujo al sudeste de Asia debido a que la roya del cafeto, enfermedad ocasionada por el hongo *Hemileia vastatrix*, devastara los cafetales arábigos, en Ceilán, hoy Sri Lanka, en 1869, así como la mayoría de los cafetales en Java, en 1876. La especie *Coffea canephora* es una especie nativa de África ecuatorial, en las zona tropicales húmedas de Guinea, Congo y Uganda (Duicela *et al.*, 2005).

Los robustas, por su naturaleza alogámica, se caracterizan por su diversidad de ecotipos, identificándose tres grandes grupos: el café congolensis (originario del Congo), el café guinensis (originario de Guinea) y el café encontrado en África Central denominado como Kouillou, de donde se deriva el café conilón (Clifford & Wilson, 1985).

En los años 80, mediante la técnica de “isozyme electrophoresis”, fueron caracterizados dos grupos genéticos de las poblaciones silvestres de *C. canephora*: guineanos (región Guinea, Costa de Marfil) y congoleños (África central: República Centroafricana, Congo, Camerún) (Berthaud, 1986, citado por Montagnon *et al.*, 1992).

Posteriormente, con la misma técnica, los genotipos congoleños se dividían en dos subgrupos: subgrupo 1, a partir de variedades cultivadas en Gabón y Benín; y el subgrupo 2, formado por los genotipos silvestres y cultivados con origen en la zona central del continente africano. El subgrupo 1 incluye algunas variedades del Congo llamado “Kouillou” con origen en una zona de Benín a Gabón. El subgrupo 2 incluye todas las variedades conocidas como “robusta” de África Central (Montagnon *et al.*, 1992).

Al Ecuador se han introducido diversas líneas de café robusta desde el Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), localizado en Costa Rica, hacia la Estación Experimental Tropical Pichilingue del Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias (INIAP), ubicada en Quevedo, en los años 1943, 1951, 1964 y 1972. En 1977 y 1986 se realizaron dos nuevas introducciones desde el CATIE. En 1984 se realizó la introducción de ocho accesiones de café robusta, variedad Conilón procedente del Institu-

to Agronómico de Campinas (IAC), desde Brasil; y, en el 2006 se introdujo material del ecotipo Conilón a través de una comisión del Programa PRONORTE desde el Estado de Rondonia-Brasil (INIAP s/f).

En el país, este rubro se ha ido esparciendo progresivamente en la zona central del litoral ecuatoriano desde la Estación Pichilingue del INIAP a las zonas de Quevedo y Santo Domingo de los Tsáchilas y comunidades aledañas. De ahí, una migración interna ocasionada por una sequía (1968), hizo que productores se movilizan a las zonas de la Amazonía con el objetivo de colonizar zonas tropicales húmedas. Las características de adaptabilidad y altos rendimientos en sus primeros años de producción motivaron a que los colonos lleven este cultivo a las provincias orientales del país.

Cabe indicar que la propagación del café robusta, hasta 1990, se realizaba por la vía sexual; es decir, se usaba la semilla. La mayor parte de las plantaciones de café robusta del país se establecieron usando los llamados “lechuguines”, que son aquellas plantas que crecen espontáneamente debajo de los cafetos, a partir de los frutos caídos. Esta forma de reproducción sexual, en el café robusta que es una especie alógama (polinización cruzada), provocó una alta heterogeneidad de las plantaciones. A continuación, se indica la clasificación botánica del café robusta en el cuadro 6.

Cuadro 6.

Clasificación botánica del café robusta.

Reino :	Vegetal
Subreino :	Angiosperma
Clase :	Dicotiledónea
Orden :	Rubiales
Familia :	Rubiaceae
Género :	Coffea
Especie :	Coffea canephora Pierre ex Froehner

Fuente: Eskes 1989, Monroig s.f.

También se menciona que el café robusta reúne un conjunto de características fenotípicas y genéticas que lo distinguen de las demás especies de café (cuadro 7).

Cuadro 7.*Principales características del café robusta.*

Características	Descripción
Tipo de planta:	Árbol
Copa:	Irregular
Sistema radical:	Raíz pivotante con raíces laterales y raicillas abundantes. A los primeros 10 cm de profundidad del suelo se encuentra más de la mitad de raicillas.
Tallo:	Se consideran pequeños arboles vigorosos, de altura variable. Los cafetos pueden ser monocaulos (un solo tallo productivo) o multicaules (varios tallos productivos) (Hood 1966).
Ramas:	Ramas plagiotrópicas primarias, secundarias y terciarias.
Hojas:	Las hojas son anchas de bordes orlados o lisos, de forma oblonga-elíptica, cortas, acuminadas, redondeadas o ampliamente acuñadas en su base. Pueden ser ampliamente triangulares, largas puntiagudas, connatas por su base y semipersistentes (Méndez, 2011).
Inflorescencia:	Axilares, de 3 a 5 cimbras.
Flor:	Posee flores hermafroditas de incompatibilidad gametofítica, de color blanco, en dos racimos axilares, sésiles. La corola tiene de 5-6 lóbulos, el tubo sólo un poco más corto que los lóbulos. Los estambres y el pistilo bien salidos (Méndez, 2011).
Fruto:	Drupa elipsoidal o sub oblonga. Su maduración es variable, dependiendo del cultivar y puede ir de 8 a 12 meses (Montagnon <i>et al.</i> , 1998). Los ecotipos “robusta” y “conilón” tienen ciclos de maduración de frutos precoces (240 días), intermedias (270 días), tardías (300 días) y extremadamente tardías (330 días) (IBC, 1998; EMBRAPA, 2009). Según el cultivar, la forma del grano puede ser redondeada, ovalada o elíptica, con puntas pronunciadas (Duicela <i>et al.</i> , 2005).
Contenido de cafeína (en % de materia seca):	1,3 a 5,2 (Eskes, 1989).
Fecundación:	Alógama
Estructura genética:	Diploide
Número cromosomas:	2n = 22

Fuente: Ferwerda y Wit, 1987.

Los requerimientos edafoclimáticos para el café robusta se indican en el cuadro 8.

Cuadro 8.

Requerimientos edafoclimáticos del café robusta.

Característica edafoclimática		Condición óptima	Referencias
Suelo:	Textura	Franco	Duicela <i>et al.</i> , 2005 EMBRAPA, 2009
	Estructura	Granular	Duicela <i>et al.</i> , 2005
	Profundidad	Profundos ≤ 1,2 m	EMBRAPA, 2009
		Profundos (0,5 a 1,0 m)	Duicela <i>et al.</i> , 2005
	Drenaje	Buen drenaje	Játiva, 1994
			Duicela <i>et al.</i> , 2005
EMBRAPA, 2009			
PH	5,5 a 6,5	Duicela <i>et al.</i> , 2005	
Clima:	Precipitación *	>2.000 mm (9 a 10 meses)	Játiva, 1994
		2.000-3.000 mm	Duicela <i>et al.</i> , 2005, Federación española El Café, 2012
		< 200 mm (zonas con déficit hídrico menor a este valor son consideradas aptas para el cultivo)	EMBRAPA, 2009
	Temperatura media	22-26 oC	EMBRAPA, 2009 Játiva, 1994
		20-26 oC	Duicela <i>et al.</i> , 2005
	Heliofanía	1.000 horas luz/año<	Duicela <i>et al.</i> , 2005
Fisiografía:	Altitud (msnm)	< 500 m.s.n.m.	Ferrao <i>et al.</i> , 2007
		0 a 700 m.s.n.m.	Federación Española El Café, 2012
		20 - 600 m.s.n.m.	Duicela <i>et al.</i> , 2005

Introducciones de germoplasma de café robusta en el Ecuador

La Estación Experimental Napo Payamino del Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias (INIAP), localizada en el cantón La Joya de los Sachas, provincia de Orellana, seleccionó siete clones (7) de café robusta, considerando la producción por planta y la arquitectura del cafeto (Chiguano

y Játiva, 1998). La Estación Experimental Tropical Pichilingue del INIAP, en la provincia de Los Ríos, seleccionó cuatro (4) clones de alta producción, adecuada arquitectura y con cierta tolerancia a los nematodos del género *Meloidogyne* (Romero 1999); así como, seis (6) clones del tipo conilón, introducidos desde Bahía-Brasil.

El Consejo Cafetalero Nacional (COFENAC), en el 2007, seleccionó 16 “cabezas de clon” de café robusta que se caracterizan por su alta producción, amplia adaptabilidad y excelentes características físicas de los granos. Con este material, identificado por INIAP y COFENAC, durante el 2007 se establecieron tres bancos de germoplasma de café robusta, en Napo (1), en Los Ríos (1) y en el Guayas (1) (COFENAC, 2011). Estos 32 materiales genéticos de café robusta son parte del banco de germoplasma en el cantón Isidro Ayora.

También se menciona que en una de las actividades del proyecto denominado “Sistemas de producción de semilla de café arábigo y de multiplicación de clones superiores de café robusta para la reactivación de la caficultura ecuatoriana” (2009), el COFENAC seleccionó 32 nuevas “cabezas de clon” de café robusta, en fincas ubicadas en la Amazonía norte (COFENAC-MAGAP, 2010). Estos cultivares fueron establecidos en dos “bancos de germoplasma” localizados en la provincia de Santa Elena, con el apoyo de la Universidad Estatal Península de Santa Elena (UPSE).

En el 2010, en el marco de un proyecto de desarrollo ejecutado por el COFENAC en alianza con la empresa Solubles Instantáneos C.A., se seleccionaron cincuenta (50) “cabezas de clon” de café robusta de fincas ubicadas en las provincias de Cotopaxi y Bolívar, con los cuales se establecieron dos “bancos de germoplasma” en el cantón Echeandía, provincia de Bolívar (COFENAC y SICA, 2011).

Criterios de selección de café robusta

El “ideotipo” de una población clonal de café robusta es la representación cuantitativa y cualitativa de las características agronómicas, sanitarias, productivas, físicas del grano, organolépticas de la bebida e industriales, que son deseables en una población futura, según la visión del equipo de trabajo, que definen los parámetros o caracteres óptimos de selección de acuerdo a los involucrados y prioridades de la cadena de valor del café con el germoplasma disponible y tendencias del mercado.

La prioridad de la selección fue la obtención de clones de alta producción y con resistencia a enfermedades. Diversos acontecimientos han contribuido para cambiar la prioridad de selección: la inestabilidad de los precios mun-

diales del café y la necesidad de disminuir los costos de producción, el agotamiento de las fronteras agrícolas, la educación del consumidor para evaluar la calidad del café, además de los conceptos de protección y conservación del ambiente. Los clones y/o variedades seleccionados tendrán que presentar un alto potencial de producción, una buena calidad, reducidos costos de producción por insumos y mano de obra; y, bajo impacto ambiental (Montagnon *et al.*, 1988).

De acuerdo con estudios realizados, se considera que la variable productividad será uno de los criterios de mayor peso en la selección de cultivares. El agricultor puede esperar una producción mayor a dos toneladas de café oro/hectárea, si trabaja con un adecuado nivel de tecnificación (Montagnon, 2003). Otro factor es la calidad del café, que comprende todas las características físicas, químicas y organolépticas deseables por los tostadores y consumidores. Los criterios utilizados para determinar la calidad del café son el tamaño y apariencia visual del grano y el potencial organoléptico. El potencial de extracción para hacer café soluble también es importante para la industria, mientras que los requerimientos de alto contenido de cafeína son variables (Montagnon *et al.*, 1988).

Estudios realizados en Brasil por la Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (2009), seleccionaron tres líneas de café robusta que superan los 1.600 kilos de café oro/ha: LC 2259 (1.859 kg café oro/ha), LC 1647 (1.792 kg café oro/ha) y LC 2258-1 (1.761 kg café oro/ha) con altura de planta comprendido entre 2,99 a 3,15 metros. Estos clones son establecidos en densidades de 1.666 a 2.222 plantas/hectárea, en el estado de Rondonia.

Metodología

2.1. Cultivares de café robusta

Para la siguiente investigación se establecieron 32 materiales genéticos seleccionados por las estaciones experimentales Napo-Payamino y Pichilingue del INIAP, así como selecciones realizadas por el COFENAC en la Amazonía norte (cuadro 9).

Cuadro 9.

Clones de café robusta evaluados en la parroquia Las Mercedes, cantón Isidro Ayora, provincia del Guayas.

N.o	Código de Campo	Código de Origen	Descripción	Selección y procedencia
1	DC-01	NP- 2024	Estación Napo Payamino Introducción 2024	INIAP-NAPO
2	DC-06	NP-4024	Estación Napo Payamino Introducción 4024	INIAP-NAPO
3	DC-07	NP-2044	Estación Napo Payamino Introducción 2044	INIAP-NAPO
4	DC-12	CON-ERB 01	Selección de la variedad Conilón de Embra-pa, Rondonia, Brasil	Rondonia, Brasil
5	DC-13	COF-O 02	Consejo Cafetalero Nacional Selección 02	COFENAC
6	DC-18	COF-O 05	Consejo Cafetalero Nacional Selección 05	COFENAC
7	DC-19	COF-O 04	Consejo Cafetalero Nacional Selección 04	COFENAC
8	DC-24	COF-O 03	Consejo Cafetalero Nacional Selección 03	COFENAC
9	DC-25	COF-O 06	Consejo Cafetalero Nacional Selección 06	COFENAC
10	DC-30	NP-3018	Estación Napo Payamino Introducción 3018	INIAP-NAPO
11	DC-31	RP-S 04	Finca Ramiro Piñas. Sucumbios Selección 04	Ramiro Piñas - Shushufindi
12	DC-02	NP-3013	Estación Napo Payamino Introducción 3013	INIAP-NAPO
13	DC-05	ETP- 3756-14	Estación Pichilingue Introducción 3756 planta 14	INIAP-PICHILINGUE
14	DC-08	JO-P 01	Finca Juan Ortiz. Putumayo Selección 01	Juan Ortiz- Putumayo
15	DC-11	NP-3072	Estación Napo Payamino Introducción 3072	INIAP-NAPO
16	DC-14	NP-3056	Estación Napo Payamino Introducción 3056	INIAP-NAPO
17	DC-17	COF-O 01	Consejo Cafetalero Nacional Selección 01	COFENAC
18	DC-20	RP-S 01	Finca Ramiro Piñas. Sucumbios Selección 01	Ramiro Piñas - Shushufindi
19	DC-23	ETP- 3564-2	Estación Pichilingue Introducción 3564 planta 2	INIAP-PICHILINGUE
20	DC-26	CON-ETP 01	Selección de la variedad Conilón. Estación Pichilingue 01	Brasil
21	DC-29	CON-ETP 02	Selección de la variedad Conilón. Estación Pichilingue 02	Brasil
22	DC-32	Brasilia 1	FUNDAR	Amazonia
23	DC-03	ETP- 3752-6	Estación Pichilingue Introducción 3752 planta 6	INIAP-PICHILINGUE
24	DC-04	CON-ETP 03	Selección de la variedad Conilón. Estación Pichilingue 03	Brasil

25	DC-09	COF-O 07	Consejo Cafetalero Nacional Selección 07	COFENAC
26	DC-10	MA-N 02	Municipio de Archidona, Napo Selección 02	Parcela Municipio de Archidona
27	DC-16	MA-N 01	Municipio de Archidona, Napo Selección 01	Parcela Municipio de Archidona
28	DC-21	CON- ETP 04	Selección de la variedad Conilón. Estación Pichilingue 04	Brasil
29	DC-22	ETP- 3753-13	Estación Pichilingue Introducción 3753 planta 13	INIAP-PICHILINGUE
30	DC-27	CON- ETP 05	Selección de la variedad Conilón. Estación Pichilingue 05	Brasil
31	DC-28	CON- ETP 06	Selección de la variedad Conilón. Estación Pichilingue 06	Brasil
32	DC-15	COF-LR 01	Consejo Cafetalero Nacional/Dublinsa	Finca productor de Los Ríos

2.2. Parámetros de evaluación

VARIABLES AGRONÓMICAS

Las variables agronómicas fueron evaluadas cada seis meses, considerando los 20 cafetos de cada cultivar.

Altura de planta.- Se midió en centímetros (cm), desde el suelo hasta el ápice del tallo principal, usando una regla graduada.

Diámetro del tallo.- Con el empleo de un calibrador Vernier, se midió desde 20 cm a partir del nivel del suelo y se registró su medida en centímetros.

Diámetro de copa.- Con el empleo de una regla graduada, se midió la rama bajera más larga del cafeto, en centímetros (cm).

Número de tallos.- Mediante conteo directo, se registró el número de tallos ortotrópicos presente en los cafetos.

Número de ramas /tallos.- Se contó directamente el número de ramas existentes en cada uno de los cafetos.

Longitud de rama intermedia.- Se identificó una rama ubicada en la parte intermedia del cafeto, a la cual se la midió su longitud, con el empleo de una regla graduada, en centímetros (cm).

Número de nudos / rama intermedia.- En la rama intermedia marcada se determinó, mediante conteo directo, el número de nudos existentes.

Distancia de entrenudos.- En la rama intermedia marcada, con el uso de una regla graduada, se midió la distancia entrenudos, en centímetros (cm).

VARIABLES SANITARIAS

Estado sanitario general.- Las plantas de cada clon de café robusta fueron evaluadas individualmente de acuerdo con una escala ordinal de 1-5 cada seis meses después de instalado el lote (cuadro 10). Los datos fueron transformados a porcentaje para su análisis.

Cuadro 10.

Escala ordinal para la evaluación del estado sanitario general.

Escala ordinal	Descripción
1	Estado sanitario malo. Planta completamente enferma, sin posibilidades de recuperación inmediata.
2	Estado sanitario regular. Planta enferma, poco vigor, síntomas significativos de enfermedades, con posibilidades de recuperación.
3	Estado sanitario medio. Planta medianamente sana, vigor aceptable, con síntomas de enfermedades.
4	Estado sanitario bueno. Planta sana, vigor aceptable, reducidos síntomas de enfermedades.
5	Estado sanitario excelente. Planta completamente sana, vigorosa, sin síntomas de enfermedades.

Incidencia de plagas y enfermedades.- Se consideró la incidencia de las principales plagas del café: Taladrador de la ramilla (*Xylosandrus morigerus* Blandford), Escama verde (*Coccus viridis*) y Cochinilla harinosa (*Planococcus* spp.); así como de la enfermedad llamada Fumagina (*Capnodium* spp). Para el efecto, se evaluó usando la Ficha de Recuento de Problemas Fitosanitarios del Cafeto. La evaluación de la incidencia se realizó a cada cafeto identificando el nivel de ataque de acuerdo con una escala ordinal de 0-5 (cuadro 11).

Cuadro 11.

Escala ordinal para la evaluación de incidencia de plagas y enfermedades.

Escala ordinal	Descripción
0	Planta sana
1	Incidencia baja
2	Incidencia media baja
3	Incidencia media
4	Incidencia media alta
5	Incidencia alta

Los datos obtenidos para el estado sanitario general, taladrador de la ramilla, presencia de insectos chupadores y de la enfermedad Fumagina mediante escala ordinal, fueron transformados a porcentaje para el análisis, apoyado en la fórmula modificada de Townsend y Heuberger⁶.

Donde:

I% = Porcentaje de incidencia

a = Número de plantas asociadas a una categoría de incidencia (escala).

b = Categoría de incidencia asociada de un número de plantas

k = Categoría máxima de la escala ordinal (5)

n = Número de plantas observadas

$$I \% = \frac{\sum (a \times b)}{k_n} \times 100$$

Variables productivas

Para el registro de las variables productivas se realizó la cosecha individual de cada cafeto, en función del grado de maduración de los frutos, en cada pase de cosecha.

Edad del clon a la primera cosecha.- Se registró la fecha de la primera cosecha de café y se calculó la edad a la primera cosecha relacionándola con la fecha de establecimiento de la plantación. Los datos se expresan en meses.

Producción de café cereza/planta.- Se registró la fecha de cosecha y la producción de café cereza / planta. Las cosechas parciales fueron sumadas para tener información de la cosecha acumulada por año calendario.

Adicionalmente, se calculó la producción promedio de los cuatro años consecutivos de cosecha.

Frutos vanos.- Se tomó en cada cosecha, para el efecto se colectaron 100 frutos maduros y sanos, los cuales se colocaron en un recipiente con agua. Se contaron los frutos flotantes que corresponden a los granos vanos y sus datos se expresan en porcentaje.

Peso de 100 frutos maduros.- Se contaron 100 frutos maduros y sanos, los cuales fueron pesados con el empleo de una balanza de precisión. Los datos se expresan en gramos.

Conversión café cereza a café oro.- Se tomó como base cinco kilos de café cereza que fueron secados hasta el 12% de humedad. Posteriormente se trilló la muestra para obtener el café oro. La conversión resulta de dividir el peso inicial de la muestra (café cereza) para el peso final de la muestra (café oro).

⁶Townsend y Heuberger, 1943. Methods for estimating losses caused by diseases, pp. 347-390.

Producción de café oro/planta.- La producción de los clones de café robusta se determinó dividiendo la producción de café cereza/planta para el coeficiente de conversión. Los datos se expresan en gramos de café oro/planta. Los valores de café oro por planta, se ajustaron con un factor de corrección 0,75.

Productividad estimada.- Con la información de la producción de café oro/planta se estimó la productividad, multiplicando por la densidad poblacional del estudio (1.250 plantas/hectárea). Para efectos del presente estudio se consideró un 25% de ajuste a los datos experimentales de cosecha.

Potencial de rendimiento.- El potencial de rendimiento, de los clones de café robusta, se calculó multiplicando la producción de café oro/planta por 1.666 plantas/hectárea, que resultó ser la densidad poblacional más adecuada en las condiciones del trópico seco.

Características físicas del grano

Las características físicas del grano fueron evaluadas de acuerdo con normativas nacionales e internacionales

Defectos físicos.- En una muestra de 300 gramos de café oro se realizó la determinación de defectos físicos, según la Norma NTE INEN 285:2006. Los resultados del conteo se expresan en “número de defectos por muestra de 300 gramos”.

Densidad del grano.- La densidad del café se determina con base en el peso de los granos contenidos en un litro de café. A nivel de laboratorio se determinó la densidad del café, con base en el peso de café en grano contenido en un recipiente de un litro. Los datos se expresan en gramos/litro.

Granulometría: Zaranda 15 \leq .- Para el registro de esta variable se consideró la cantidad de granos (peso) que queda retenido arriba de la zaranda 15 (5,95 milímetros) de una muestra de 100 gramos. Su valor se expresa en porcentaje.

Tamaño promedio del grano.- En el cálculo de esta variable se tomó como referencia el protocolo establecido en la Norma NTE INEN 290:78 - Café en grano, determinación del tamaño.

Características organolépticas de la bebida

Las características organolépticas de la bebida de los clones de café robusta fueron evaluadas por el panel de catadores de la Empresa Solubles Instantáneos C.A. (SICA), durante el tercer y cuarto año de producción. La

evaluación organoléptica se realizó enfatizando en los caracteres deseables: fragancia, aroma, cuerpo y sabor, empleando una escala ordinal de 1 a 5 (cuadro 12). Los cálculos pertinentes se realizaron usando directamente estos valores.

Cuadro 12.

Escala ordinal para la evaluación de las características organolépticas.

Escala	Descripción
1	Bajo
2	Medio bajo
3	Medio
4	Medio alto
5	Alto

Características industriales

Las características industriales de los clones de café robusta fueron evaluadas en el Laboratorio de Calidad de la Empresa Solubles Instantáneos C.A. (SICA).

Pérdida de peso en la tostión del café (%).- La tostión o torrefacción del café es un proceso en el cual intervienen mecanismos de transferencia de calor y de masa, simultáneamente. Depende del tiempo y la temperatura, donde se inducen los cambios en el café verde produciendo los compuestos que originan los atributos sensoriales del café. El cálculo de la pérdida de peso en la tostión se realizó mediante la siguiente ecuación:

$$\text{Pérdida de peso (\%)} = \frac{\text{Peso de café verde} - \text{Peso de café tostado}}{\text{Peso de café verde}} \times 100$$

Sólidos solubles a partir de café verde (%).- Para la determinación del porcentaje de sólidos solubles, propios del grano, a partir del café verde, se desarrolló el procedimiento descrito en la norma NTC 4602-1, por el método de goteo directo. En el cálculo se aplicó la siguiente ecuación:

$$\text{SScv (\%)} = \frac{\text{SSt} \times \text{Pe}}{\text{Pct} \times (\text{Rt}/100)} \times 100$$

Donde:**SScv (%):** Sólidos solubles propios del café**SSt:** Sólidos solubles en café tostado**Pe:** Peso total de extracto obtenido en la extracción**Pct&m:** Peso total del café tostado y molido**Rt:** Rendimiento del tostado

pH de la bebida.- Para la determinación del pH (escala 0 a 14), se filtró el extracto de café previa agitación continua, por un minuto. Esta muestra se vierte en el sensor de pH para la lectura directa. El sensor utilizado en SICA es de marca Mettler Toledo, que tiene un nivel de precisión de $\pm 0,1$.

2.3. Análisis estadístico

Se realizó el cálculo de los estadísticos descriptivos: mínimo, máximo, media, desviación estándar, coeficiente de variación, error estándar y variación relativa, de las variables agronómicas, productivas, físicas, organolépticas e industriales. Para la descripción de las características organolépticas se elaboró una gráfica radial.

Para la selección de los clones de café robusta se realizó el análisis “Matriz de Puntajes” (Matrix Ranking), tomando como criterios de evaluación las variables agronómicas, productivas, físicas, organolépticas e industriales. Para cada criterio se determinó el peso en sentido positivo según la variable (cuadro 13).

Se elaboraron “diagramas de cuatro celdas”, ubicando en el eje “X” los datos de producción y en el eje “Y” a la variabilidad relativa (VR). Mediante este método se identifican los clones con niveles de producción arriba de la media general y una variabilidad relativa por debajo de la media general.

Posteriormente, con la información individual de cada uno de los cafetos se procedió a identificar los mejores árboles, en las perspectiva de considerarlos nuevos “cabeza de clon”, con base en la caracterización agronómica, productiva, sanitaria, física del grano, organoléptica de la bebida y atributos industriales. Los mejores árboles se identificaron a partir del análisis de frecuencias bivariado: producción y altura de planta.

Cuadro 13.

Criterios usados en el análisis de Matriz de puntajes de los 32 clones de café robusta.

N	Criterios	Descripción	Peso
1	Altura de planta (cm) (Menor es mejor)	Porte bajo: 270 a 330 cm	2
		Porte mediano: 331 a 360 cm	1
		Porte alto: ≥ 361	0
2	Diámetro de tallo (cm) (Mayor es mejor)	Arriba de la media general: $\geq 6,5$	2
		Abajo de la media general: $\leq 6,4$	1
3	Número de tallos (Mayor es mejor)	Multicaule	2
		Monocaula	1
4	Número de ramas (Mayor es mejor)	Arriba de la media general: ≥ 107	2
		Abajo de la media general: ≤ 106	1
5	Número de nudos productivos/rama (Mayor es mejor)	Arriba de la media general: ≥ 22	2
		Abajo de la media general: ≤ 21	1
3	Distancia entre nudos (cm) (Menor es mejor)	Abajo de la media general: $\leq 4,9$	2
		Arriba de la media general: $\geq 5,0$	1
7	Buen estado sanitario (por ciento) (Mayor es mejor)	Arriba de la media general: ≥ 64	2
		Abajo de la media general: ≤ 63	1
8	Edad a la primera cosecha (meses) (Menor es mejor)	Abajo de la media general: ≤ 17	2
		Arriba de la media general: ≥ 18	1
9	Producción de café cereza/planta (gramos) (Mayor es mejor)	Arriba de la media general y variabilidad relativa baja	4
		Arriba de la media general y variabilidad relativa alta	2
		Abajo de la media general y variabilidad relativa baja	0
		Abajo de la media general y variabilidad relativa alta	0
10	Rendimiento de café oro/planta (gramos)	Arriba de la media general y variabilidad relativa baja	4
		(Mayor es mejor)	2
		Abajo de la media general y variabilidad relativa baja	0
		Abajo de la media general y variabilidad relativa alta	0
11	Fruto vano (por ciento) (Menor es mejor)	Abajo de 5%	2
		Arriba de 5%	0
12	Peso de 100 frutos (gramos) (Mayor es mejor)	Arriba de la media general: ≥ 156	2
		Abajo de la media general: ≤ 155	0
13	Conversión café cereza a café oro (Menor es mejor)	De 4,5 a 5:1	2
		Arriba de 5:1	0
14	Defectos físicos en muestra de 300 gramos (Menor es mejor)	Abajo de la media general: $\leq 66,0$	2
		Arriba de la media general: $\geq 67,0$	1

15	Densidad del grano (gramos café oro/litro)	Arriba de 650 gramos/litro	2
		(Mayor es mejor)	0
16	Granulometría: Zaranda <15 (%) (Mayor es mejor)	Arriba de la media general: ≥ 80,5	2
		Abajo de la media general: ≤ 80,0	1
17	Tamaño promedio del grano (Mayor es mejor)	Arriba de la media general: ≥ 6,7	2
		Abajo de la media general: ≤ 6,6	1
18	Características organolépticas: fragancia, aroma, sabor y cuerpo (Mayor es mejor)	Arriba de la media general: ≥ 3,9	2
		Abajo de la media general: ≤ 3,8	1
19	Obtención de sólidos solubles a partir de café verde (%) (Mayor es mejor)	Arriba de la media general: ≥24,3	2
		Abajo de la media general: ≤ 24,2	1

Resultados y Discusión

Caracteres agronómicos

Los promedios de las características agronómicas de los 32 clones de café robusta, se presentan en el cuadro 9. A los cinco años de establecimiento, la altura de planta promedio fue 352 cm; con un diámetro del tallo de 6,5 cm; diámetro de copa de 194 cm, 2 tallos, 107 ramas, con 139 cm de longitud de rama, 22 nudos productivos y con una distancia de entrenudos de 5,0 centímetros (cuadro 14).

Cuadro 14.

Promedios de las características agronómicas de 32 genotipos de café robusta, después de 60 meses del establecimiento.

Código de origen	Código de campo	Altura de planta (cm)	Diámetro de tallo (cm)	Diámetro de copa (cm)	Número de tallos	Número de ramas por planta	Longitud de rama intermedia (cm)	Número de nudos productivos	Distancia entrenudos (cm)	Estado sanitario (por ciento)
NP-2024	DC-01	332	6,3	199	2	134	130	19	3,8	63
NP-4024	DC-06	325	5,9	157	2	126	116	20	4,2	66
NP-2044	DC-07	332	6,1	168	1	118	144	22	4,0	60
CON-ERB 01	DC-12	299	5,3	135	4	274	100	25	4,4	66
COF-0 02	DC-13	337	6,6	154	1	102	141	23	5,0	62
COF-0 05	DC-18	337	6,7	172	1	101	148	20	4,9	71
COF-0 04	DC-19	334	6,5	164	2	87	144	22	5,0	57
COF-0 03	DC-24	521	8,5	203	1	102	146	15	5,9	53
COF-0 06	DC-25	277	5,9	178	1	99	146	30	5,1	74
NP-3018	DC-30	329	6,4	191	1	105	134	23	5,1	81
RP-S 04	DC-31	324	6,2	205	1	86	144	22	5,4	79
NP-3013	DC-02	326	5,6	192	2	93	141	22	5,1	71
ETP-3756-14	DC-05	395	7,0	209	1	102	134	22	5,0	73
JO-P 01	DC-08	395	7,4	219	2	90	137	18	5,0	55
NP-3072	DC-11	307	5,6	185	2	74	154	19	5,1	60
NP-3056	DC-14	318	5,7	188	1	73	145	20	5,1	71
COF-O 01	DC-17	338	6,3	193	2	96	149	21	5,0	62
RP-S 01	DC-20	382	8,0	207	1	99	149	24	5,4	62
ETP-3564-2	DC-23	391	7,5	214	1	99	151	23	5,1	63
CON-ETP 01	DC-26	347	5,9	205	2	93	136	30	5,1	60
CON-ETP 02	DC-29	407	7,7	223	1	96	146	19	5,3	63

Brasilia 1	DC-32	344	6,2	213	1	102	140	20	5,1	70
ETP-3752-6	DC-03	372	6,6	206	1	105	145	19	5,1	75
CON-ETP 03	DC-04	377	6,4	195	2	112	145	19	5,4	70
COF-O 07	DC-09	351	6,8	204	2	110	129	22	5,0	70
MA-N 02	DC-10	343	6,2	204	2	104	133	19	4,9	60
COF-LR 01	DC-15	336	6,2	196	1	96	137	23	5,1	61
MA-N 01	DC-16	346	6,1	199	2	109	138	26	4,9	70
CON-ETP 04	DC-21	357	6,2	205	2	111	137	23	5,0	58
ETP-3753-13	DC-22	377	6,8	208	1	108	139	22	5,1	74
CON-EET 05	DC-27	354	6,2	205	1	105	142	28	5,0	34
CON-EET06	DC-28	356	6,1	208	2	112	131	23	5,1	32
Promedio		352	6,5	194	2	107	139	22	5,0	64
Desviación estándar (S)		42,5	0,7	20,4	0,4	33,1	10,4	3,3	0,4	10,6
Error estándar (EE)		7,5	0,1	3,6	0,1	5,8	1,8	0,6	0,1	1,9
Variación relativa (VR)		2,1	1,9	1,9	4,8	5,5	1,3	2,6	1,4	2,9
Coefficiente de variación		12,1	10,9	10,5	27,2	31,0	7,5	14,9	8,2	16,7

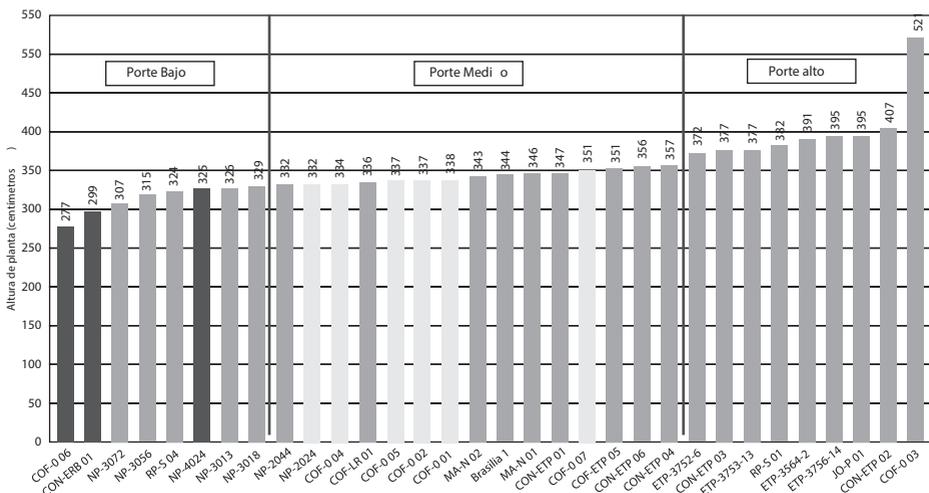
En el análisis de la variable altura de planta, considerando los 32 genotipos de café robusta evaluados y 570 plantas evaluadas, se establecieron tres categorías: plantas de “porte bajo” (270 a 330 cm) con ocho clones, plantas de “porte mediano” (331 a 360 cm) con 15 clones de café robusta; y, plantas de “porte alto” (361 a 420<) con 9 clones de café robusta (Cuadro 10). Los clones de menor altura fueron: COF-0 06 (DC-25), CON-ERB 01 (DC-12), NP-3072 (DC-11), NP-3056 (DC-14), RP-S 04 (DC-31), NP-4024 (DC-06), NP-3013 (DC-02); y, NP-3018 (DC-30). El clon COF-0 03 (DC-24) tuvo la mayor altura de planta con 521 centímetros (figura 6).

Para la variable diámetro de tallo se registró un valor mínimo de 5,3 y un valor máximo de 8,5 centímetros con una media general de 6,5 centímetros a los 60 meses de establecimiento en el campo. Los clones de mayor diámetro de tallo fueron los siguientes: COF-0 03 (DC-24) en la clase 8,0 < cm; y, JO-P 01 (DC-08), CON-ETP 02 (DC-29) RP-S 01 (DC-20) y ETP-3564-2 (DC-23).

La variable diámetro de copa registró un valor mínimo y un valor máximo de 135 y de 223 centímetros, con una media general de 194 centímetros, a los 60 meses de establecimiento en el campo. Los clones con mayor diámetro de copa (>210 centímetros) fueron los siguientes: JO-P 01 (DC-08), ETP-3564-2 (DC-23), Brasilia 1 (DC-32) y CON-ETP 02 (DC-29).

Figura 6.

Promedios de altura de planta de 32 clones de café robusta, después de 60 meses del establecimiento.



Los valores promedios de número de tallos/planta en los materiales de café robusta, se registraron entre 1 y 4 tallos. Se identificaron que 17 clones de café robusta tienen un solo tallo, mientras que los 14 clones restantes tienen dos tallos o más (tendencia multicaule).

El clon CON-ERB-01 (DC-12) del tipo Conilón registró cuatro tallos, condición que le permite tener mayor cantidad de ramas y, por consiguiente, mayor capacidad de producción. Según EMBRAPA (2009), los cafetos de la variedad Conilón presentan un sistema radicular vigoroso con tallos multicaules (>4) y de buen desarrollo.

En la variable número de ramas, el promedio fue de 107 ramas/planta, con un mínimo de 73 y un máximo de 274 ramas/planta. El clon CON-ERB 01 (DC-12) presentó el mayor número de ramas plagiotrópicas (274) valor relacionado con su condición de multicaule (4 tallos). Otros materiales genéticos con 118 < ramas plagiotrópicas son: NP-2024 (DC-01), NP-4024 (DC-06) y NP-2044 (DC-07).

El promedio para la variable longitud de rama fue 139 centímetros, con un mínimo de 100 y un máximo de 154 centímetros/rama. Los materiales genéticos que mostraron la mayor longitud de rama (145 < cm) fueron: COF-0 06 (DC-25), COF-0 01 (DC-17), COF-0 05 (DC-18), COF-0 03 (DC-24), ETP-3564-2 (DC-23), NP-3072 (DC-11), CON-ETP 02 (DC-29) y RP-S 01 (DC-20).

Los promedios de número de nudos productivos/rama se registraron entre 15 y 30, con una media general de 22 nudos/rama. Los clones de café robusta con mayor número de nudos/planta fueron los siguientes: COF-0 06 (DC-25), CON-ETP 01 (DC-26) y CON-ETP 05 (DC-27). La distancia de entrenudos varió de 3,8 a 5,9 centímetros con un promedio general de 5,0 centímetros. Los clones que mostraron la menor distancia de entrenudos fueron: NP-2024 (DC-01), NP-2044 (DC-07), NP-4024 (DC-06) y CON-ERB 01 (DC-12) con 4,4 < centímetros.

Caracteres fitosanitarios

En un cafetal ocurren en forma dinámica y permanente una serie de interacciones entre los factores biológicos y no biológicos. El concebir los fenómenos y sus interacciones en forma global y tomar decisiones oportunas y efectivas para asegurar el crecimiento sano y vigoroso de las plantas cultivadas se constituye en el fundamento del manejo integrado de los problemas fitosanitarios (Sotomayor y Duicela, 1995).

Estado sanitario general (por ciento)

Para el análisis del estado sanitario de los 32 genotipos de café robusta se consideró la evaluación en que se observó la mayor incidencia de plagas: Taladrador de la ramilla (*Xylosandrus morigerus*), Escama verde (*Coccus viridis*) y Cochinilla harinosa (*Planococcus* spp.); así como de enfermedades, particularmente de Fumagina (*Capnodium* spp.), que inició su ataque a los 36 meses después del establecimiento.

El promedio general fue del 64%, con un valor mínimo de 32% y un máximo de 81%, a los 36 meses de establecimiento en el campo. Los clones que se reportaron más susceptibles a los problemas fitosanitarios fueron: CON-ETP 06 (DC-28) y CON-ETP 05 (DC-27). Los clones que presentaron adecuadas condiciones sanitarias ($\geq 71\%$) fueron los siguientes: NP-3018 (DC-30), RP-S 04 (DC-31), ETP-3752-6 (DC-03), ETP-3753-13 (DC-22), COF-0 06 (DC-25), ETP-3756-14 (DC-05), NP-3013 (DC-02), NP-3056 (DC-14) y COF-0 05 (DC-18).

Incidencia de la Broca del fruto: *Hypothenemus hampei* Ferr.

Este insecto plaga pertenece al orden Coleóptera, familia Scolytidae. Es un pequeño escarabajo de origen africano que fue descubierto en el Ecuador en 1981 y se encuentra afectando el café en estado verde, maduro y almacenado, en todas las zonas de producción del país (Páliz y Mendoza 1993), con excepción de la provincia de las Galápagos. Los insectos adultos penetran

por el disco o corona del fruto y ovipositan en el interior de las galerías (Mendoza, 1991). Los huevos eclosionan pasando al estado larval, luego al estado pupal y finalmente al estado adulto, en el interior del grano.

La broca ataca a los frutos y deteriora los granos de café en pergamino, en bola seca y grano verde (café oro). La broca ocasiona pérdidas en peso y en calidad. El mayor daño que ocasiona la broca es la afectación directa sobre la calidad física y organoléptica. Los granos brocados son considerados defectos físicos. Los orificios en el grano, causados por la broca, crean condiciones favorables para el ataque de hongos (Benito, 2009).

Durante los cinco años de evaluación en el Banco de germoplasma de café robusta, no se detectó la presencia de insectos Broca del fruto. A diferencia de un estudio realizado en la Estación Experimental Tropical Pichilingue del INIAP, en la provincia de Los Ríos, Ecuador, Plaza (2012) reportó porcentajes de incidencia de la Broca del café de entre 0,55% a 7,57% en evaluación de 16 accesiones de café robusta, en un ambiente tropical húmedo.

Incidencia de Taladrador de la ramilla: *Xylosandrus morigerus* Blandford

Esta plaga insectil originaria del sudeste de Asia e Indonesia es un pequeño escarabajo que afecta a las ramas del cafeto. En América fue detectada en 1959 y en el Ecuador en 1976. Pertenece al orden Coleóptera, familia Scolytidae. Las hembras realizan pequeñas perforaciones en los brotes tiernos y en las ramas primarias y secundarias, haciendo galerías internas donde ovipositan y se reproducen aceleradamente. Las larvas del taladrador se alimentan del tejido interno del brote o rama, impiden la circulación de la savia y provocan la muerte progresiva (Páliz y Mendoza, 1993).

Porcentaje de infestación del taladrador de la ramilla, en el período junio/2010 a septiembre/2011. El mayor nivel de infestación se registró en octubre/2010 (5,7%) y en julio/2011 (4,4%). La poda sanitaria de las ramas y de los brotes con taladrador y la incineración del material podado, junto con el uso de trampas con atrayentes preparados a base de alcohol etílico más café tostado y molido fueron las estrategias de control que contribuyeron a la reducción de las poblaciones de la plaga en la plantación de café.

Incidencia de insectos chupadores (por ciento)

Los principales insectos chupadores que se identificaron en el cafetal fueron: Escama verde (*Coccus viridis*) y Cochinilla harinosa (*Planococcus* spp.) que infestaron simultáneamente los cafetos. La Escama verde es una plaga que pertenece al orden Homóptera, familia Coccidae. Se localiza a lo largo de

las nervaduras, en el envés de las hojas, brotes y frutos tiernos. Se caracteriza por segregar una sustancia azucarada que recubre las hojas del cafeto sobre las cuales se desarrolla un hongo conocido como “Fumagina” (Páliz y Mendoza, 1993).

La Cochinilla harinosa es una plaga de los brotes, hojas tiernas y flores del cafeto. Estos insectos segregan una sustancia azucarada donde se desarrolla el hongo *Capnodium* spp. que causa la enfermedad conocida como “Fumagina” (Muñoz, 2001).

Infestación de insectos chupadores en la plantación de café robusta. Entre mayo y septiembre/2010 las poblaciones de escama verde y cochinilla harinosa se incrementaron de 14,6 a 20,3% de infestación, a partir de aquello se intensificó las medidas de control que permitieron reducir el ataque. Como parte del control integrado de estas plagas se realizaron aplicaciones de insecticidas New mectin (abamectina) + Actara (Thiamethoxan), acompañado de las podas sanitarias.

Incidencia de Fumagina: *Capnodium* spp.

La “Fumagina” es una enfermedad fungosa asociada a las escamas verdes, cochinillas aéreas y pulgones que emiten una sustancia azucarada sobre la cual se desarrolla el hongo; además, la sustancia azucarada atrae a las hormigas, las cuales diseminan la enfermedad. El síntoma característico de la Fumagina es un recubrimiento negruzco, con apariencia de hollín, sobre las hojas, brotes y frutos del cafeto. El daño directo es la reducción de la actividad fotosintética del cafeto y consecuentemente de la producción (Macías, 2001).

La evolución de los niveles de infección de Fumagina en la plantación de café robusta, registrado entre junio y octubre/2010 se incrementó de 20,8 a 27,8 por ciento, tendencia que se presentó junto con el ataque de los insectos chupadores. Para el control de la Fumagina se enfatizó en el manejo eficiente de los insectos asociados (cochinillas y escamas verdes) a la Fumagina y la aplicación alternada de aceite agrícola y fungicida cúprico, cubriendo el haz y el envés de las hojas.

Caracteres productivos

Respecto de la variable edad del cafeto a la primera cosecha, se registraron valores comprendidos entre 16 y 22 meses, con un promedio general de 18 meses. Se reportan 13 clones de café robusta precoces (<18 meses a la primera cosecha): NP-2024 (DC-01), NP-4024 (DC-06), NP-2044 (DC-07), CON-ERB- 01 (DC-12), ETP-3756-14 (DC-05), CON-ETP 01 (DC-26), CON-

ETP 03 (DC-04), COF-O 07 (DC-09), MA-N 01 (DC-16), ETP-3752-6 (DC-03), MA-N 02 (DC-10), COF-LR 01 (DC-15) y ETP-3753-13 (DC-22) (Cuadro 10). El uso de clones de café robusta proporciona ventajas por su precocidad en la producción y alta productividad (Espindula y Partelli, 2011).

Los materiales de café robusta que reportaron mayor producción de café cereza/planta, en la clase 14.000 < gramos fueron: CON-ERB-01 (DC-12), COF-O 03 (DC-24) y CON-ETP 05 (DC-27). En un segundo nivel (12.001 a 14.000 gramos de café cereza/planta) se reportan los clones COF-0 06 (DC-25) y CON-ETP 06 (DC-28).

Respecto de la variable conversión de café cereza a café oro, se registraron valores comprendidos entre 4,5 y 7,6 con un promedio general de 5,3. Se reportan cuatro genotipos de café robusta con conversiones de 4,5: 1,0: NP-4024 (DC-06), COF-0 04 (DC-19), COF-0 02 (DC-13) y COF-0 05 (DC-18) (cuadro 10).

Esta variable se calculó dividiendo la producción promedio de café cereza/planta para el valor de conversión de café cereza a café oro y multiplicando por el factor de corrección 0,75; es decir, que se consideró un ajuste del 25% a los datos originales de cosecha. En el primer año de cosecha se registraron valores comprendidos entre 133 y 1.347 gramos café oro/planta, con un promedio general de 490 gramos de café oro/planta (Cuadro 15).

Durante el segundo año de cosecha se registró un mínimo de 942 y un máximo de 3.008 con una media general de 1.925 gramos de café oro/planta. Los rendimientos del tercer año de cosecha presentaron un valor mínimo de 1.193, un máximo de 4.921, con un promedio general de 2.156 gramos de café oro/planta. La producción de los materiales de café robusta, en el cuarto año de cosecha osciló entre 2.041 y 5.804 con una media de 3.541 gramos de café oro/planta.

El rendimiento de café oro/planta promedio, de los cuatro años de cosecha, se calculó entre 1.214 gramos (valor mínimo) y 3.177 gramos (valor máximo), con una media general de 2.028 gramos de café oro/planta. El clon CON-ERB O1 (DC-12) se destaca del resto por su alto rendimiento 3.177 gramos. Otros materiales de café robusta de alto rendimiento (2.500< gramos) son: COF-0 06 (DC-25), NP-4024 (DC-06), COF-0 05 (DC-18), COF-0 04 (DC-19), COF-0 03 (DC-24) y CON-ETP 05 (DC-27).

Cuadro 15.

Promedios de producción de café oro/planta, potencial de rendimiento, fruto vano y peso de 100 frutos de 32 genotipos de café robusta.

N°	Clones Código COFENAC	Clones Código DU-BLinsa	Producción café oro/ planta (gramos)					Conversión (café cereza a café oro)	Potencial de rendimiento (qq café oro / ha)*	Fruto vano (por ciento)	Peso de 100 frutos maduros (gramos)
			1er año cosecha (julio/08 a julio/09)	2do año cosecha (agosto/09 a julio/10)	3er año cosecha (agosto/10 a julio/11)	4to año cosecha (agosto/11 a julio/12)	Promedio anual				
1	NP-2024	DC-01	1.036	1.955	2.076	3.259	2.082	5,1	57	1,8	141
2	NP-4024	DC-06	524	2.266	2.792	4.973	2.639	4,5	73	1,9	166
3	NP-2044	DC-07	319	1.291	1.193	3.035	1.459	5,1	40	1,8	122
4	CON-ERB 01	DC-12	1.347	2.498	4.921	3.944	3.177	4,8	87	1,7	131
5	COF-0 02	DC-13	423	2.383	2.894	4.150	2.463	4,5	68	1,4	128
6	COF-0 05	DC-18	520	2.613	3.092	3.907	2.533	4,5	70	1,7	129
7	COF-0 04	DC-19	566	2.313	3.052	4.637	2.642	4,5	73	1,7	133
8	COF-0 03	DC-24	593	2.989	3.179	5.804	3.141	4,8	86	1,6	201
9	COF-0 06	DC-25	448	2.494	3.000	4.249	2.548	5,4	70	2,4	211
10	NP-3018	DC-30	483	1.828	1.635	2.682	1.657	5,2	46	2,5	126
11	RP-S 04	DC-31	179	995	1.630	2.913	1.430	7,3	39	1,6	257
12	NP-3013	DC-02	464	1.233	1.557	2.823	1.519	5,2	42	2,3	166
13	ETP-3756-14	DC-05	445	1.055	1.658	2.067	1.306	6,2	36	1,9	145
14	JO-P 01	DC-08	530	1.984	1.335	5.638	2.372	4,7	65	1,5	170
15	NP-3072	DC-11	385	942	1.559	2.724	1.403	5,7	39	2,2	162
16	NP-3056	DC-14	356	1.224	1.235	2.041	1.214	6,1	33	2,1	159
17	COF-O 01	DC-17	405	2.534	2.632	3.642	2.303	5,0	63	2,0	136
18	RP-S 01	DC-20	225	1.627	1.547	2.629	1.507	7,6	41	3,3	204
19	ETP-3564-2	DC-23	564	1.807	1.525	3.513	1.852	5,5	51	2,0	139
20	CON-ETP 01	DC-26	652	2.255	2.216	2.967	2.023	5,5	56	4,7	120
21	CON-ETP 02	DC-29	300	1.402	2.496	2.589	1.697	4,9	47	1,6	145
22	Brasilia 1	DC-32	422	1.495	2.189	2.958	1.766	6,3	49	4,4	157
23	ETP-3752-6	DC-03	356	1.780	2.265	3.132	1.883	4,9	52	4,1	172
24	CON-ETP 03	DC-04	525	1.864	1.231	2.999	1.655	5,2	45	2,7	115
25	COF-O 07	DC-09	332	2.390	2.087	3.905	2.178	5,3	60	1,7	206
26	MA-N 02	DC-10	145	1.274	1.309	2.688	1.354	5,2	37	1,6	150
27	COF-LR 01	DC-15	133	1.243	1.319	2.329	1.256	5,3	35	1,7	148
28	MA-N 01	DC-16	779	2.542	1.997	4.184	2.375	4,8	65	2,5	136
29	CON-ETP 04	DC-21	351	1.708	1.910	5.426	2.349	4,7	65	2,1	155
30	ETP-3753-13	DC-22	513	2.230	2.412	4.187	2.335	4,6	64	2,4	176
31	CON-ETP 05	DC-27	798	2.372	3.724	3.788	2.670	5,5	73	1,2	134
32	CON-ETP 06	DC-28	553	3.008	1.327	3.543	2.108	5,7	58	1,5	139
Promedio			490	1.925	2.156	3.541	2.028	5,3	56	2,2	156
Desviación estándar			245	589	856	994	548	0,7	15	0,84	31,78
Coefficiente de variación			50,0	30,6	39,7	28,1	27,0	13,9	27,0	38,8	20,4
Variación Relativa			8,8	5,4	7,0	5,0	4,8	2,5	4,8	6,9	3,6
Error estándar			43,3	104,2	151,3	175,8	96,9	0,1	2,7	0,1	5,6

- Potencial de rendimiento (1.666 pl/ha) expresada en café oro y ajustada con factor de corrección del 0,75.

Tomando como base los promedios de los cuatro años de cosecha, la productividad de los clones de café robusta se estimó entre 25 (mínimo) y 66 (máximo), con una media general de 42 quintales de café oro/hectárea. Los materiales genéticos: CON-ERB O1 (DC-12), COF-0 03 (DC-24) y CON-ETP 05 (DC-27) fueron los de mayor productividad estimada; arriba de 55 quintales de café oro/hectárea.

El potencial de rendimiento, de los clones de café robusta, se calculó multiplicando el rendimiento de café oro/planta por 1.666 plantas/hectárea, que resultó ser la densidad poblacional más adecuada en las condiciones del trópico seco.

Con base en los promedios de los cuatro años de cosecha, el potencial de rendimiento de los clones de café robusta se estimó entre 33 (mínimo) y 87 (máximo), con una media general de 56 quintales de café oro/hectárea, siendo los materiales genéticos: CON-ERB O1 (DC-12) y COF-0 03 (DC-24) los de mayor potencial de rendimiento; arriba de 73 quintales de café oro/hectárea.

La variable porcentaje de frutos vanos registró un valor mínimo de 1,2 y un valor máximo de 4,7 por ciento con una media general de 2,2 por ciento. Los materiales evaluados no superaron el 5% de frutos vanos, valor que fue fijado como límite máximo para la selección. La variable peso de 100 frutos maduros registró un mínimo de 115 gramos (CON ETP 03) y un máximo de 257 gramos (RP-S 04), con una media general de 156 gramos, en el cuarto año de cosecha. Los clones de café robusta con frutos de mayor peso (185< gramos) fueron los siguientes: COF-0 06 (DC-25), COF-O 07 (DC-09), RP-S 01 (DC-20), RP-S 04 (DC-31) y COF-0 03 (DC-24).

Caracteres físicos del grano

Las características de los granos que determinan la calidad física del café son: el color, el olor, la forma de los granos, la humedad, el tamaño y la densidad del café oro. Entre las características físicas también se consideran: la cantidad de defectos físicos y materias extrañas (Becker y Freytag, 1992). Los promedios del número de defectos físicos de café verde se registraron entre 33 (mínimo) y 153 (máximo), con una media general de 66 defectos en una muestra de 300 gramos. Los clones que, a nivel de laboratorio, reportaron menos de 40 defectos fueron los siguientes: COF-O 07 (DC-09), NP-3056 (DC-14), COF-O 01 (DC-17) y ETP-3756-14 (DC-05) (cuadro 16).

El valor promedio de densidad del grano fue de 751 gramos café oro/litro, con un mínimo de 640 y un máximo de 801 gramos café oro/litro. Materiales de café que sobrepasan los 650 gramos/litro, son calificados de "alta densidad".

Los clones que mostraron mayor densidad, arriba de 780 gramos/litro fueron los siguientes: CON-ETP 05 (DC-27), CON-ERB 01 (DC-12), COF-O 01 (DC-17) y ETP-3564-2 (DC-23).

La evaluación granulométrica se realizó clasificando el tamaño de los granos: zaranda 15 \leq y debajo de la zaranda 15. La variable registró un valor mínimo de 52,1% y un valor máximo de 98,6% con una media general de 80,5% de granos por arriba de zaranda 15. Los clones de café robusta con mayor tamaño de granos (90% de granos zaranda 15 \leq) fueron los siguientes: JO-P 01 (DC-08), NP-3013 (DC-02), COF-O 07 (DC-09), NP-3056 (DC-14), NP-4024 (DC-06), COF-O 03 (DC-24), COF-O 06 (DC-25), ETP-3753-13 (DC-22) y RP-S 04 (DC-31). Cabe destacar que los clones con tamaño de granos muy grandes son: COF-O 03 (DC-24), COF-O 06 (DC-25) y RP-S 04 (DC-31), que tienen más del 60% de granos zaranda 20 arriba.

En la variable tamaño del grano de café verde, se registraron valores comprendidos entre 5,28 y 9,43 mm con un promedio general de 6,73 milímetros, considerando la clasificación de la NTE INEN 290. Se determinó tres clones de café robusta de tamaño "muy grande": NP-2024 (DC-01), CON-ETP 02 (DC-29) y CON-ETP 01 (DC-26).

Cuadro 16.

Promedios de las características físicas del grano de 32 genotipos de café robusta.

N.º	Clones Código COFENAC	Código	Defectos físicos (número/300 g)	Densidad del grano (gramos/litro)	Granulometría: Zaranda 15≤ (por ciento)	Tamaño del grano (mm)
1	NP-2024	DC-01	60	754	87,7	9,4
2	NP-4024	DC-06	43	769	93,6	6,8
3	NP-2044	DC-07	153	765	52,1	5,3
4	CON-ERB O1	DC-12	70	785	59,5	5,3
5	COF-0 02	DC-13	59	766	79,7	7,0
6	COF-0 05	DC-18	53	750	78,5	6,1
7	COF-0 04	DC-19	72	752	76,8	7,3
8	COF-0 03	DC-24	48	730	96,3	7,3
9	COF-0 06	DC-25	47	750	96,4	7,2
10	NP-3018	DC-30	55	759	72,1	6,1
11	RP-S 04	DC-31	63	709	98,6	7,2
12	NP-3013	DC-02	65	735	92,0	7,2
13	ETP-3756-14	DC-05	37	751	67,3	6,2
14	JO-P 01	DC-08	80	764	90,5	6,5
15	NP-3072	DC-11	69	757	80,8	5,7
16	NP-3056	DC-14	34	760	92,8	6,6
17	COF-O 01	DC-17	35	789	64,4	6,6
18	RP-S 01	DC-20	61	771	86,5	6,6
19	ETP-3564-2	DC-23	51	801	82,3	7,4
20	CON-ETP 01	DC-26	107	742	67,2	8,4
21	CON-ETP 02	DC-29	107	776	86,4	9,3
22	Brasilia 1	DC-32	97	752	59,1	7,4
23	ETP-3752-6	DC-03	58	742	88,8	5,9
24	CON-ETP 03	DC-04	130	746	72,6	6,4
25	COF-O 07	DC-09	33	640	92,6	6,9
26	MA-N 02	DC-10	50	745	82,5	6,1
27	COF-LR 01	DC-15	66	748	81,1	6,0
28	MA-N 01	DC-16	71	762	70,1	5,9
29	CON-ETP 04	DC-21	68	666	75,7	6,7
30	ETP-3753-13	DC-22	60	742	96,8	7,0
31	CON-ETP 05	DC-27	69	780	76,7	5,9
32	CON-ETP 06	DC-28	53	763	79,3	5,9
Promedio			66	751	80,5	6,7
Desviación estándar			26,9	31,4	12,2	1,0
Coeficiente de variación			40,5	4,2	15,1	14,4
Variación relativa			7,16	0,74	2,68	2,54
Error estándar			4,76	5,55	2,16	0,17

3.5 Caracteres sensoriales de la bebida

Respecto de la variable sensorial fragancia, se registraron valores comprendidos entre 3,3 (mínimo) y 4,3 (máximo); con un promedio general de 3,9 en la escala ordinal de 1 a 5. Los clones con mayor fragancia fueron: CON-ETP 03 (DC-04), MA-N 01 (DC-16), CON-ETP 02 (DC-29), CON-ERB 01 (DC-12), COF-O 01 (DC-17), Brasília 1 (DC-32), MA-N 02 (DC-10) y COF-LR 01 (DC-15) con puntajes de 4,1 a 4,3 equivalentes a medio alto en la escala ordinal de 1 a 5 (cuadro 17).

Respecto de la variable aroma de los clones de café robusta, se registraron valores comprendidos entre 3,4 (mínimo) y 4,3 (máximo), con una media general de 3,9 en la escala ordinal de 1 a 5. Los clones que a nivel de la valoración sensorial presentaron aromas más intensos fueron: RP-S 04 (DC-31), COF-0 02 (DC-13), MA-N 02 (DC-10), MA-N 01 (DC-16), NP-3013 (DC-02), ETP-3756-14 (DC-05), COF-LR 01 (DC-15) y COF-O 01 (DC-17) con puntajes de 4,1 a 4,3 equivalentes a medio alto en la escala ordinal de 1 a 5.

La variable organoléptica sabor registró un valor mínimo de 3,0 y un valor máximo de 4,3 con una media general de 3,9 en la escala ordinal de 1 a 5. Los clones de café robusta que se destacan por el sabor son los siguientes: ETP-3756-14 (DC-05) con puntaje de 4,3/5,0 y MA-N 02 (DC-10), NP-3072 (DC-11), NP-4024 (DC-06), CON-ETP 02 (DC-29), ETP-3752-6 (DC-03), COF-O 01 (DC-17), NP-3013 (DC-02), COF-0 02 (DC-13) y COF-LR 01 (DC-15) con puntaje de 4,1/5,0; es decir, medio alto en la escala ordinal utilizada.

Cuadro 17.

Promedios de las características organolépticas de la bebida de 32 genotipos de café robusta.

N.º	Clones Código COFENAC	Código	Fragancia (0-5)	Aroma (0-5)	Cuerpo (0-5)	Sabor (0-5)	Percepción global (0-5)
1	NP-2024	DC-01	3,7	3,6	3,7	3,7	3,7
2	NP-4024	DC-06	3,7	4,0	4,0	4,1	3,9
3	NP-2044	DC-07	3,9	3,7	3,9	3,9	3,9
4	CON-ERB O1	DC-12	4,1	4,0	4,0	3,9	4,0
5	COF-0 02	DC-13	4,0	4,1	4,3	4,1	4,1
6	COF-0 05	DC-18	3,8	4,0	4,3	3,9	4,0
7	COF-0 04	DC-19	4,0	4,0	4,2	4,0	4,0
8	COF-0 03	DC-24	3,7	3,6	3,8	3,7	3,7
9	COF-0 06	DC-25	3,5	3,5	3,7	3,5	3,5
10	NP-3018	DC-30	3,8	3,9	3,7	3,4	3,7
11	RP-S 04	DC-31	4,0	4,1	4,0	3,6	3,9
12	NP-3013	DC-02	4,0	4,1	4,2	4,1	4,1
13	ETP-3756-14	DC-05	3,9	4,2	4,1	4,3	4,1
14	JO-P 01	DC-08	3,5	3,8	3,6	3,7	3,6
15	NP-3072	DC-11	3,7	3,8	3,9	4,1	3,9
16	NP-3056	DC-14	3,5	3,5	3,7	3,6	3,5
17	COF-O 01	DC-17	4,1	4,3	4,1	4,1	4,2
18	RP-S 01	DC-20	3,3	3,4	3,5	3,0	3,3
19	ETP-3564-2	DC-23	3,9	4,0	3,9	4,0	3,9
20	CON-ETP 01	DC-26	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0
21	CON-ETP 02	DC-29	4,1	4,0	3,9	4,1	4,0
22	Brasilia 1	DC-32	4,2	3,9	3,9	4,0	4,0
23	ETP-3752-6	DC-03	3,8	4,0	4,0	4,1	4,0
24	CON-ETP 03	DC-04	4,1	4,0	4,0	4,0	4,0
25	COF-O 07	DC-09	3,8	3,9	3,8	3,9	3,8
26	MA-N 02	DC-10	4,2	4,1	4,2	4,1	4,1
27	COF-LR 01	DC-15	4,3	4,3	4,1	4,1	4,2
28	MA-N 01	DC-16	4,1	4,1	4,3	4,0	4,1
29	CON-ETP 04	DC-21	3,8	3,9	3,7	3,7	3,8
30	ETP-3753-13	DC-22	3,8	3,7	3,7	3,6	3,7
31	CON-ETP 05	DC-27	4,0	4,0	4,1	3,9	4,0
32	CON-ETP 06	DC-28	3,9	4,0	3,8	3,8	3,9
Promedio			3,9	3,9	3,9	3,9	3,9
Desviación estándar			0,2	0,2	0,2	0,3	0,2
Coeficiente de variación			6,0	6,0	5,6	6,8	5,5
Variación relativa			1,06	1,06	0,98	1,21	0,97
Error estándar			0,04	0,04	0,04	0,05	0,04

La variable organoléptica “cuerpo” registró un puntaje mínimo de 3,5 y un máximo de 4,3; con una media general de 3,9 en la escala ordinal de 1 a 5. Los clones que presentaron niveles medio alto de cuerpo fueron los siguientes: CON-ETP 05 (DC-27), ETP-3756-14 (DC-05), COF-O 01 (DC-17), COF-LR 01 (DC-15), MA-N 02 (DC-10), COF-0 04 (DC-19), NP-3013 (DC-02), COF-0 02 (DC-13), COF-0 05 (DC-18) y MA-N 01 (DC-16) con puntajes de 4,1 a 4,3 equivalentes a medio alto en la escala ordinal de 1 a 5.

Caracteres industriales

Los promedios de las características industriales de los 32 clones de café robusta, a los cinco años de establecimiento en el campo (cuadro 18). El pH de una sustancia refleja su grado de acidez o basicidad. La acidez de una solución depende de la concentración de iones hidrógeno o hidronio. El valor mínimo reportado en las muestras de café robusta es de 5,3 y el valor máximo de 5,9 con una media general de 5,5; variación que se considera “ligeramente ácida” en la escala de pH.

Los porcentajes de pérdida de peso del café verde en el proceso de tostión se registraron entre 16,6% (mínimo) y 19,2% (máximo), con una media general de 17,7 por ciento de merma.

Cuadro 18.*Promedios de las características industriales de 32 genotipos de café robusta.*

N.º	Clones Código COFENAC	Clones Código DUBLINSA	Pérdida de peso en la tostión del café (%)	Potencial hidrógeno (0-14)	Sólidos solubles extraídos (%)	Rendimiento café verde (%)
1	NP-2024	DC-01	16,9	5,4	2,1	26,5
2	NP-4024	DC-06	17,2	5,5	2,3	27,8
3	NP-2044	DC-07	18,8	5,9	2,1	25,0
4	CON-ERB O1	DC-12	18,7	5,4	1,8	25,9
5	COF-0 02	DC-13	18,5	5,6	1,8	26,7
6	COF-0 05	DC-18	19,2	5,6	1,7	25,1
7	COF-0 04	DC-19	18,6	5,6	1,7	24,8
8	COF-0 03	DC-24	17,7	5,5	1,7	24,4
9	COF-0 06	DC-25	17,6	5,4	1,6	23,6
10	NP-3018	DC-30	17,2	5,3	1,6	23,1
11	RP-S 04	DC-31	17,6	5,5	1,7	25,5
12	NP-3013	DC-02	17,7	5,5	1,6	23,1
13	ETP-3756-14	DC-05	16,9	5,4	1,7	25,6
14	JO-P 01	DC-08	18,6	5,5	1,5	22,2
15	NP-3072	DC-11	18,5	5,4	1,7	24,6
16	NP-3056	DC-14	17,8	5,5	1,5	22,7
17	COF-O 01	DC-17	17,5	5,6	1,6	23,5
18	RP-S 01	DC-20	18,5	5,9	1,6	23,1
19	ETP-3564-2	DC-23	18,9	5,7	1,7	24,9
20	CON-ETP 01	DC-26	17,0	5,6	1,7	25,3
21	CON-ETP 02	DC-29	17,9	5,7	1,6	23,9
22	Brasília 1	DC-32	17,6	5,6	1,7	24,6
23	ETP-3752-6	DC-03	16,6	5,6	1,5	22,9
24	CON-ETP 03	DC-04	17,7	5,6	1,6	23,0
25	COF-O 07	DC-09	16,9	5,5	1,6	23,6
26	MA-N 02	DC-10	17,3	5,5	1,6	24,2
27	COF-LR 01	DC-15	17,2	5,5	1,6	23,5
28	MA-N 01	DC-16	17,4	5,5	1,8	26,4
29	CON-ETP 04	DC-21	17,8	5,4	1,5	22,6
30	ETP-3753-13	DC-22	16,9	5,5	1,5	22,7
31	CON-ETP 05	DC-27	17,5	5,5	1,6	23,9
32	CON-ETP 06	DC-28	17,2	5,3	1,6	24,3
Promedio			17,7	5,5	1,7	24,3
Desviación estándar			0,7	0,1	0,2	1,4
Coeficiente de variación			3,9	2,4	10,7	5,7
Variación relativa			0,70	0,43	1,89	1,00
Error estándar			0,12	0,02	0,03	0,24

Los materiales genéticos de café robusta que mostraron menor pérdida de peso en el proceso de tostión fueron los siguientes: ETP-3752-6 (DC-03), COF-O 07 (DC-09) NP-2024 (DC-01), ETP-3753-13 (DC-22) y ETP-3756-14

(DC-05) con pérdidas del $16,9 \leq$ por ciento en el proceso de tostión.

Esta variable hace referencia a la extracción de los sólidos solubles propios de cada material genético a partir de café verde y se obtiene a nivel de laboratorio con agua a presión atmosférica y 100 °C de temperatura (SICA, 2011).

El menor rendimiento de sólidos solubles reportado es de 22,2% y mayor valor 27,8% con una media general de 24,3 por ciento. Los clones de café robusta de mayor rendimiento superiores al 25 por ciento fueron: NP-4024 (DC-06), COF-0 02 (DC-13), NP-2024 (DC-01), ETP 3756-14 (DC-05), RP-S 04 (DC-31), CON-ETP 01 (DC-26) y COF-O 05 (DC-18).

Identificación de genotipos promisorios de café robusta

Para el proceso de identificación de los genotipos café robusta se consideraron las características agronómicas, sanitarias y productivas de los materiales; así como las características físicas e industriales del grano y organolépticas de la bebida, orientadas a asegurar las características de la futura plantación. En este propósito se emplearon dos herramientas de análisis: El “Diagrama de cuatro celdas” y la “Matriz de puntajes” (Matrix Ranking).

La productividad es el criterio de selección más importante. Con los materiales seleccionados, los productores pueden esperar una alta producción, si se trabaja con un nivel suficiente de intensificación. Una alternativa en el mejoramiento genético son las variedades clonales, constituidos por una mezcla de al menos cinco clones y que tengan un alto potencial de producción (Montagnon *et al.*, 1998).

El INIAP, en un estudio de café robusta, identificó a los cultivares COF-O 01, COF-O 03, COF-O 04, COF-O 05 y NP-2024 como los de mayor rendimiento, en la evaluación que realizó entre los 37 y 48 meses de edad, de entre 16 accesiones del Banco de germoplasma de la ETP Pichilingue, en las condiciones de trópico húmedo de la provincia de Los Ríos (Plaza, 2012).

Para la identificación de los genotipos promisorios de café robusta, en función del rendimiento, se consideró el promedio de los cuatro años de cosecha, combinando la información con las categorías definidas por altura de planta: “porte bajo” (270 a 330 cm), “porte mediano” (331 a 360 cm); y, “porte alto” (361 a 420<).

El “diagrama de cuatro celdas” permite identificar catorce (14) “clones de alta productividad” en la celda inferior derecha (ALTA producción y variación relativa ESTABLE). De estos se seleccionan nueve materiales genéticos de café robusta, por reunir las mejores características agronómicas, produc-

tivas, físicas, organolépticas e industriales, como expresión de adaptación a las condiciones edafoclimáticas del presente estudio (figura 7): Porte bajo: CON-ERB O1 (DC-12), COF-0 06 (DC-25) y NP-4024 (DC-06); Porte mediano: COF-0 02 (DC-13), COF-0 04 (DC-19), COF-0 05 (DC-18), COF-O 01 (DC-17), NP-2024 (DC-01) y COF-O 07 (DC-09).

Los clones COF-0 03 (DC-24), JO-P 01 (DC-08) y ETP-3753-13 (DC-22) se descartaron del proceso de selección por ser de “porte alto”, situación que dificulta la realización de las diferentes labores de cultivo en campo. Los clones de café, MA-N 01 (DC-16) y CON-ETP 04 (DC-21), se descartaron por ser “inestables” durante los primeros cuatro años de evaluación.

La “matriz de puntajes” confirma las ventajas agronómicas, productivas, físicas, organolépticas e industriales de los materiales de café robusta seleccionados con puntajes que van de 37 a 46 sobre una escala máxima de 50 puntos, estos clones son los que más se aproximan al ideotipo de “cabeza de clon” en las condiciones del presente estudio (cuadro 19). Según esta técnica estadística, el clon NP-4024 (DC-06) alcanzó el mayor puntaje 46/50, seguido por los clones COF-0 02 (DC-13), COF-0 04 (DC-19) y CON-ERB O1 (DC-12), con un puntaje de 43/50, en tercer nivel COF-O 05 (DC-18) y COF-O 07 (DC-09) con 41/50, seguidos de los clones COF-O 01 (DC-17) con 45/50, COF-O 06 (DC-25) con 39/50 y el clon NP-2024 (DC-01) con 37/50 puntos posibles.

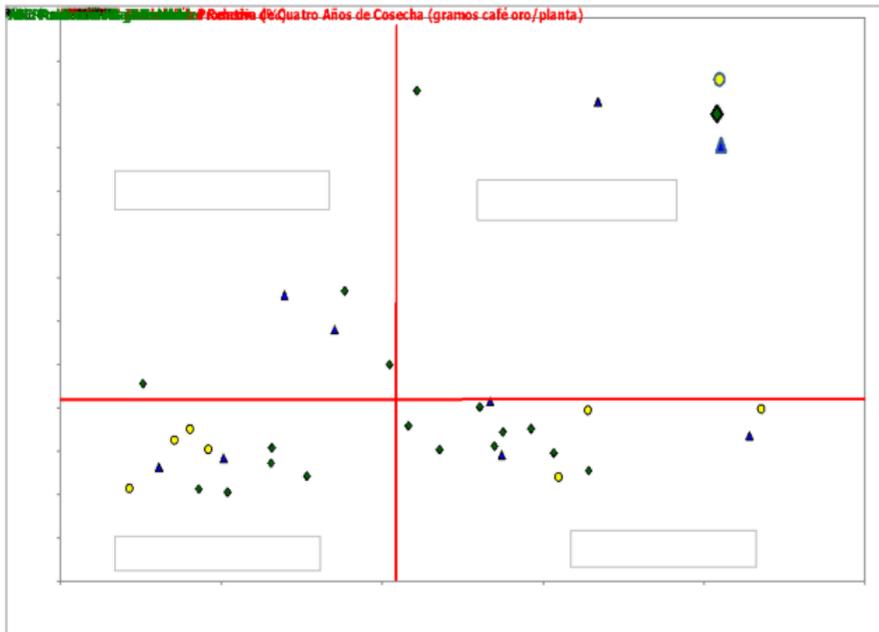
Cuadro 19.

Matriz de puntajes de 32 genotipos de café robusta, después de 60 meses del establecimiento.

Nº	CODIGO 1	CODIGO 2	Altura de Planta	Dímetro del Tallo	Número de Tallos	Número de Rama de Flores	Longitud de Rama de Flores	Número de Rama de Flores	Estad. entre Nudos	Estad. primera Cosecha	Estad. segunda Cosecha	Resistencia Café Coflabán	Resistencia Café Coflabán	Grano varano	Resistencia 100 Frutos	Conversión Cosecha Ojo	Defectos	Densidad	Guajarin	Timbre de grano	Fragancia	Aroma	Cuerpo	Sabor	Resistencia no café verde	Sólidos	Puntaje Total
1	NP-2024	DC-01	2	1	2	1	2	1	2	2	4	4	2	4	2	0	2	2	2	2	1	1	1	1	2	40	
2	NP-4024	DC-06	3	1	2	1	1	2	2	2	4	4	2	4	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	49	
3	NP-2044	DC-07	2	1	1	2	2	2	2	2	0	0	2	0	2	0	1	2	1	1	2	1	2	2	2	33	
4	CON-EB-01	DC-12	3	1	2	1	2	2	2	2	4	4	2	0	2	0	2	1	2	1	2	2	2	2	2	46	
5	COF-0-02	DC-13	2	2	1	1	2	2	1	2	4	4	2	0	2	0	2	2	2	1	2	2	2	2	2	46	
6	COF-0-05	DC-18	2	2	1	1	2	2	2	2	4	4	2	0	2	0	2	2	2	1	1	1	2	2	2	44	
7	COF-0-04	DC-19	2	2	1	2	2	2	1	2	4	4	2	0	2	0	2	2	2	2	2	2	2	2	2	46	
8	COF-0-03	DC-24	1	2	1	1	2	1	1	2	4	4	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	2	42	
9	COF-0-06	DC-25	3	1	1	1	2	2	1	2	2	4	4	2	2	0	2	2	2	2	1	1	1	1	1	41	
10	NP-30J8	DC-30	3	1	1	1	2	1	2	2	0	0	2	0	2	0	2	2	1	1	1	2	1	1	1	29	
11	RP-S-04	DC-31	3	1	1	1	2	2	1	2	0	0	2	2	0	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	37	
12	NP-30J3	DC-02	3	1	2	1	2	2	1	2	0	0	2	2	0	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	38	
13	ETP-37556-14	DC-05	1	2	1	1	2	2	2	2	0	0	2	0	2	0	2	2	1	1	2	2	2	2	2	34	
14	JO-P-01	DC-08	1	2	2	1	1	2	1	1	4	4	2	2	2	2	1	2	2	1	1	1	1	1	1	38	
15	NP-3072	DC-11	3	1	2	1	2	1	1	2	0	0	2	2	0	2	2	2	2	1	1	1	2	2	2	34	
16	NP-3056	DC-14	3	1	1	1	2	1	1	2	2	0	0	2	2	0	2	2	2	2	1	1	1	1	1	31	
17	COF-0-01	DC-17	2	1	2	1	2	1	2	1	2	4	4	2	0	2	2	2	2	1	2	2	2	2	1	42	
18	RP-S-01	DC-20	1	2	1	1	2	2	1	1	2	4	0	2	2	0	2	2	2	1	1	1	1	1	1	34	
19	ETP-3564-2	DC-23	1	2	1	1	2	2	1	1	0	0	2	0	2	0	2	2	2	2	2	2	2	2	2	34	
20	CON-ETP-01	DC-26	2	1	2	1	2	1	2	2	0	0	2	0	2	0	1	2	1	2	2	2	2	2	2	35	
21	CON-ETP-02	DC-29	1	2	1	1	2	1	1	1	0	0	2	0	2	0	2	2	2	2	2	2	2	2	1	32	
22	Brasilia 1	DC-32	2	1	1	2	1	1	2	1	4	0	2	2	2	0	1	2	1	2	2	2	2	2	2	38	
23	ETP-3752-6	DC-03	1	2	1	1	2	1	1	2	0	0	2	2	2	2	2	2	2	1	1	2	2	2	1	36	
24	CON-ETP-03	DC-04	1	2	2	2	1	1	2	2	0	0	2	0	2	0	1	2	1	1	2	2	2	2	1	31	
25	COF-0-07	DC-09	2	2	2	1	2	2	2	2	4	4	2	2	2	0	2	0	2	2	1	2	2	2	1	43	
26	MAN-02	DC-10	2	1	2	1	1	1	2	1	2	0	0	2	0	2	2	2	2	2	1	2	2	2	1	32	
27	COF-LR 01	DC-15	2	1	1	1	2	1	1	2	2	4	4	2	0	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	31	
28	MAN-01	DC-16	2	1	2	1	2	2	1	2	4	4	2	0	2	0	2	1	2	1	2	2	2	2	2	46	
29	CON-ETP-04	DC-21	2	1	2	1	2	1	2	1	4	4	2	0	2	0	2	2	2	2	1	2	1	1	1	40	
30	ETP-3753-13	DC-22	1	2	1	2	2	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	39	
31	CON-ETP-05	DC-27	2	1	1	2	2	2	1	1	2	2	2	2	2	0	0	2	1	1	2	2	2	2	1	34	
32	CON-ETP-06	DC-28	2	1	2	1	2	1	1	1	2	2	2	2	2	0	2	2	2	1	1	2	2	2	1	34	

Figura 7.

Diagrama de cuatro celdas: Relación entre producción café oro/planta (promedio de cuatro años de cosecha) y la variabilidad relativa de 32 clones de café robusta.



Caracterización genotípica de los materiales de café robusta promisorios

La caracterización genotípica se realizó en el marco de un convenio de cooperación interinstitucional entre la Estación Experimental Pichilingue del Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP) y el COFENAC que tuvo por objetivo “realizar en el CIRAD de Francia, el análisis molecular de 180 plantas de café robusta de los clones promisorios identificados en el banco de germoplasma”. Los principales resultados se presentan a continuación:

- Para la caracterización de los materiales genéticos de café robusta se utilizaron 12 marcadores moleculares.
- Se evaluaron 197 muestras de plantas de café robusta, correspondientes a 11 genotipos del banco de germoplasma.
- Las muestras evaluadas pertenecen a los subgrupos SG1 y SG2 de origen congolensis.
- Las plantas de los materiales MAN-01 y CON ERB 01 son totalmente diferentes entre sí.
- Las plantas del material NP-4024 son diferentes, excepto las plantas 05 y 08 que son iguales.
- Las plantas del material ETP-3756-13 son totalmente homogéneas.
- El material COF-O 07, forman dos grupos de plantas, a excepción de la planta 09 que es diferente.
- Las plantas del material CON ETP 01, son homogéneas, a excepción de la planta 11.
- La accesión NP-2024 presenta tres grupos diferentes de plantas. La planta 10 no se caracterizó por baja calidad de la muestra de ADN.
- Las plantas del material COF-O 06, son homogéneas, a excepción de la planta 02. Las plantas 13, 15 y 16 presentan características genéticas especiales.
- Las plantas del material COF-O 05, presentan tres grupos diferentes de plantas. Las plantas 11, 04 y 03 son homogéneas. Las plantas 14 y 17 son totalmente diferentes.
- Las plantas del material COF-O 04, presentan cuatro grupos homogéneos de plantas, a excepción de la planta 06 que es diferente.
- Las plantas del material COF-O 02, son homogéneas, a excepción de la planta 20.

- Las plantas del material COF-O 01, presentan dos grupos homogéneos de 9 y 8 plantas. Las plantas 01 y 15 son diferentes.

Selección de plantas de café robusta “cabeza de clon”

Las características que deben considerarse para la selección de plantas élites son: la producción promedio de café cereza/planta, representada por el peso de todos los frutos maduros cosechados en forma acumulativa durante el año, número total de ramas, número de ramas productivas, longitud de rama, grado de compactación y diámetro del tallo a cinco centímetros del suelo (Berlingeri *et al.*, 2007).

La selección clonal es el método principal de mejoramiento empleado para la propagación vegetativa de especies, ya que permite explorar el valor genotípico total de plantas de desempeño superior. Se practica de forma secuencial, comenzando con la selección masal de plantas con características de interés, que son clonadas y evaluados en diseños experimentales adecuados. Esta estrategia se ha utilizado en el mejoramiento de *Coffea canephora*, porque es una de las maneras más rápidas para capitalizar ganancias genéticas. Una vez identificados los alelos deseados por sus características de interés, estos pueden ser fijados y multiplicados a través de la clonación (Texeira *et al.*, 2011).

Para la selección de las plantas “cabeza de clon” se consideró como variables discriminatorias el índice de frutos vanos, la conversión de café cereza a café oro, precocidad de la cosecha y la producción de café oro de las 480 plantas evaluadas a nivel del banco de germoplasma.

En relación con la conversión de café cereza a café oro, se consideró para la selección de plantas aquellas que presentaron coeficiente de conversión ≤ 6 ; es decir, que para obtener 1 kilo de café oro, al 12% de humedad, se requirieron ≤ 6 kilos de café cereza. Otro criterio de selección fue la precocidad a la cosecha, en este sentido, se descartaron 53 cafetos con producción < 1.000 gramos de café cereza/planta, en el primer año de cosecha.

El criterio de mayor importancia para la selección de las “cabeza de clon” fue la producción promedio de café oro/planta, descartándose aquellos cafetos con producción menor a 2.000 gramos de café oro/planta, de esta manera se descartaron otros 266 materiales genéticos. De esta manera se preseleccionaron 44 plantas de café robusta de alta producción correspondientes a los genotipos: COF-O 01 (2), COF-O 02 (3), COF-O 03 (9), COF-O 04 (4), COF-O 05 (2), COF-O 06 (4), CON-ERB 01 (12), CON-ETP 01 (1), CON-ETP 05 (2), ETP-3564-2 (1), JO-P 01 (2), NP-2024 (1) y NP-4024 (1). En el cuadro 15, se

presenta la relación entre la producción de café oro y la altura de las plantas de café robusta preseleccionadas como "cabeza de clon" (cuadro 20).

Estudios realizados en Brasil realizados por la Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (2009), indican que seleccionaron tres líneas de café robusta que superan los 1.600 kilos de café oro/ha: LC 2259 (1.859 kg café oro/ha), LC 1647 (1.792 kg café oro/ha) y LC 2258-1 (1.761 kg café oro/ha) con altura de planta comprendida entre 2,99 y 3,15 metros. Otros materiales seleccionados son Conilón 69-5 y Conilón 66-3 con 1.721 y 1.801 kilos de café oro/ha respectivamente; con un promedio de altura de planta entre 2,93 y 2,99 metros, todas procedentes de la Sección de Genética del Instituto Agronómico de Campinas. Estos clones son establecidos en densidades de 1.666 a 2.222 plantas/hectárea, en el estado de Rondonia.

Cuadro 20.

Relación entre la producción de café oro/planta y la altura de los cafetos, de los árboles de café robusta preseleccionados como "cabeza de clon", en Isidro Ayora.

Clases		Producción ajustada de café oro (g/planta)					Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa (%)	
		≤ 2000	2001 -2250	2251-2500	2501-2750	2751-3000			3001≤
Altura de planta (cm)	≤ 300		COF-O 06 - P11 CON-ERB 01 - P09 COF-O 06 - P03 COF-O 06 - P15 COF-O 06 - P17 COF-O 01 - P04 COF-O 05 - P14	CON-ERB 01-P18 CON-ERB 01-P08	CON-ERB 01-P11 CON-ERB 01-P13	CON-ERB 01-P10 CON-ERB 01-P17	13	30%	
	301 - 350	NP-2024 - P10	CON-ERB 01 - P04 COF-O 01 - P02 COF-O 04 - P16 COF-O 02 - P14 CON-ERB 01 - P07	COF-O 04 - P05 COF-O 02 - P17 COF-O 02 - P15 COF-O 04 - P01 COF-O 04 - P18	CON-ERB 01-P14	CON-ERB 01 - P01 CON-ERB 01-P20	14	32%	
	351 - 400		NP-4024 - P15 COF-O 05 - P02 CON-ETP 05 - P10 JO-P 01 - P09	CON-ETP 01 - P11 JO-P 01 - P01			61	4%	
	401 - 450		ETP-3564-2 - P10 COF-O 03 - P03	COF-O 03 - P01		CON-ETP 05 - P09	49	%	
	451 ≤		COF-O 03 - P07 COF-O 03 - P16	COF-O 03 - P13 COF-O 03 - P10	COF-O 03 - P17	COF-O 03 - P11 COF-O 03 - P18	71	6%	
Frecuencia absoluta		1	20	12	4	4	3	44	100%
Frecuencia relativa (%)		2%	45%	27%	9%	9%	7%	100%	

Las plantas de café robusta escritas con "negrilla" y "subrayadas" son seleccionadas como "cabeza de clon"

El Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensao Rural de Brasil (INCAPER), al evaluar varios materiales genéticos reporta los siguientes rendimientos: Robusta tropical (2.286 kilos café oro/hectárea), Robusta Capixaba (2.454 kilos café oro/hectárea) y Conilón Vitória (3.200 kilos café oro/

hectárea), establecidos en densidades poblacionales de 2.222 y 3.333 plantas/hectárea, en el estado de Espírito Santo. Para la selección final de las plantas se tomó en cuenta la diversidad genética de los materiales de café robusta, considerando aquellos de porte bajo a medio; es decir, con menos de 400 cm de altura en campo y que reúnen a su vez interesantes características agronómicas, sanitarias, productivas, físicas del grano, organolépticas de la bebida e industriales.

La condición básica para el éxito de la selección de plantas es la existencia de variabilidad genética en la población a ser mejorada, asociada con una alta productividad, permitiendo la selección de genotipos superiores y que permite un incremento en la frecuencia de alelos favorables. Estudios sobre la divergencia genética muestra que la especie *Coffea canephora* posee una gran variabilidad natural, promovido por la ocurrencia de intercruces naturales entre y dentro de poblaciones. Este hecho ha proporcionado grandes avances en los programas de mejoramiento genético (Texeira *et al.*, 2011).

Se seleccionaron once plantas de café robusta como “cabeza de clon”. De estos cinco corresponden a selecciones realizadas por el COFENAC en la provincia de Orellana a nivel de fincas y son los siguientes: COF-O 01 - Plantas 02 y 04 (genéticamente similares), COF-O 02 - Plantas 15 y 17 (genéticamente similares), COF-O 04 - Planta 18, COF-O 05 - Planta 02; y, COF-O 06 - Plantas 03, 15 y 17 (genéticamente similares).

Cuatro plantas seleccionadas como “cabeza de clon” corresponden a un material genético introducido del estado de Rondonia, Brasil, vía semilla híbrida, lo cual las hace genéticamente diferentes, y son las siguientes: CON-ERB Planta 13, CON-ERB Planta 14, CON-ERB Planta 17, CON-ERB Planta 20. Un material seleccionado corresponde a una introducción de café robusta realizada a la EE Pichilingue del INIAP desde el estado de Bahía-Brasil: CON-ETP 01 Planta 11 y una planta élite seleccionada por la EE Napo Payamino del INIAP, ahora Estación Central Amazónica: NP-4024 Planta 15.

Los valores promedios y estadísticos de las variables agronómicas y el estado sanitario de los once genotipos de café robusta “cabeza de clon” se exponen en el cuadro 16. La altura promedio de los materiales genéticos fue de 332 cm. Bergo *et al.* (2008) en un estudio realizado en Rio Branco, Brasil, obtuvieron una media de altura de planta de 355 centímetros para ecotipos de café robusta. Con relación al número de tallos, dos genotipos seleccionados son monocaule y los nueve restantes son multicaules.

Cuadro 21.

Promedios de variables agronómicas y estado sanitario de plantas de café robusta seleccionados como “cabeza de clon”, en Isidro Ayora.

N°	Cabezas de clon	Variables Agronómicas								Estado sanitario (Escala 1-5)
		Altura de planta (cm)	Diámetro de tallo (cm)	Diámetro de copa (cm)	Número de tallos	Número total de ramas	Longitud de rama intermedia (cm)	Número de nudos productivos	Distancia entrenudos (cm)	
1	COF-O 01: P02, P04	310	6,0	198	2	105	145	25	5,0	4
2	COF-O 02: P15, P17	333	6,5	155	2	156	143	25	5,0	5
3	COF-O 04: P18	350	6,0	145	2	152	145	22	5,0	4
4	COF-O 05: P02	375	6,0	175	2	188	165	20	5,0	4
5	COF-O 06: P03, P15, P17	290	6,0	177	1	133	150	27	5,0	5
6	CON-ERB 01: P13	300	5,0	145	4	286	135	24	4,5	5
7	CON-ERB 01: P14	340	6,5	160	4	376	105	26	4,0	5
8	CON-ERB 01: P17	280	5,5	135	5	448	110	25	4,0	4
9	CON-ERB 01: P20	340	5,0	150	4	300	85	25	5,0	5
10	CON-ETP 01: P11	365	6,0	200	3	116	130	30	5,0	4
11	NP-4024: P15	365	6,5	150	1	110	100	18	6,0	5

El promedio de número de ramas plagiotrópicas, de los once genotipos seleccionados es de 215 ramas/planta, a los 60 meses de establecimiento en el campo. La longitud de rama promedio fue 128 centímetros, con 24 nudos productivos/ rama. La distancia de entrenudos promedio de 4,9 centímetros.

El coeficiente de conversión de café cereza a café oro, de los once materiales seleccionados es de 4,8:1,0. La producción ajustada promedio de café oro/planta de este grupo de clones va de 2.135 (mínimo) a 3.155 (máximo), con un promedio de 2.439 gramos de café oro/planta/año. El potencial productivo de estos genotipos oscila entre 3.557 kilos de café oro/ha (mínimo) y 5.256 kilos de café oro/ha (máximo), con una media de 4.063 kilos de café oro/ha, con una densidad poblacional de 1.666 cafetos/hectárea. El porcentaje de frutos vanos de los materiales genéticos seleccionados es de 1,9% y el peso de 100 frutos maduros promedio es de 138 gramos (cuadro 22).

Cuadro 22.

Promedios de las variables productivas de las plantas de café robusta seleccionados como “cabeza de clon”, en Isidro Ayora.

N°	Cabezas de clon	Conversión café cereza a café oro	Producción por planta ajustada (g café oro)	Potencial productivo (kilos café oro/ Ha)				Peso 100 frutos (gramos)	Frutos vanos (%)
				1.111 plantas/ha	1.250 plantas/ha	1.333 plantas/ha	1.666 plantas/ha		
1	COF-O 01: P02, P04	5,0	2.135	2.372	2.669	2.846	3.557	132	1,2
2	COF-O 02: P15, P17	4,5	2.424	2.693	3.030	3.231	4.038	127	1,3
3	COF-O 04: P18	4,5	2.317	2.574	2.896	3.088	3.859	123	1,9
4	COF-O 05: P02	4,5	2.246	2.495	2.807	2.993	3.741	128	1,7
5	COF-O 06: P03, P15, P17	5,4	2.151	2.390	2.689	2.868	3.584	211	2,6
6	CON-ERB 01: P13	4,8	2.638	2.930	3.297	3.516	4.394	128	1,3
7	CON-ERB 01: P14	4,8	2.510	2.788	3.137	3.345	4.181	127	1,4
8	CON-ERB 01: P17	4,8	2.832	3.146	3.540	3.775	4.718	119	1,7
9	CON-ERB 01: P20	4,8	3.155	3.505	3.943	4.205	5.256	130	2,3
10	CON-ETP 01: P11	5,5	2.268	2.520	2.835	3.023	3.779	126	0,9
11	NP-4024: P15	4,5	2.153	2.392	2.691	2.869	3.586	165	4,3

Las cuatro plantas seleccionadas del genotipo CON-ERB 01 tienen un potencial productivo que va de 92,0 a 115,6 quintales de café oro/hectárea/año. Mientras que los otros siete árboles élitos seleccionados como “cabeza de clon” tienen una productividad potencial de 78,3 a 88,8 quintales de café oro/hectárea/año.

Entre los factores más importantes que determinan la densidad de siembra óptima para un cultivo se encuentran las características agronómicas de las plantas, como altura de planta, diámetro de copa, número y longitud de las ramas plagiotrópicas y ortotrópicas, cantidad de nudos y distancia de entrenudos (Verdin, 2011). En relación con las características físicas del grano, de los once materiales genéticos de café robusta seleccionados, en promedio tuvieron 63 defectos físicos en muestra de 300 gramos. El 72% de los granos de café verde, tienen una granulometría por arriba de la zaranda 15 con una densidad del grano promedio de 769 gramos/litro.

Las características organolépticas, tienden a ser estables: fragancia 4,0; aroma 4,0; sabor 3,9; cuerpo 4,1 y percepción global 4,0 equivalentes a medio alto en la escala ordinal de 1 a 5. Respecto de las características industriales de las plantas seleccionadas, para la pérdida de peso en la tostión registró un promedio de 18,2% y para la obtención de sólidos solubles a partir de café verde registró un promedio del 25,5 por ciento.

Referencias bibliográficas

- Becker, R. y Freytag, W. (1992). Manual para el control de la calidad del café. Proyecto de mejoramiento de la calidad y comercialización del café, MECAFE. Santo Domingo, República Dominicana. 68 p.
- Benito, J. (2009). Manejo integrado del cultivo de café. Ministerio de Agricultura, Agrobanco, Instituto Nacional de Innovación Agraria. 20 p. <http://repositorio.inia.gob.pe/handle/20.500.12955/176>
- Bergo, C., Alves, R. y Sales, F. 2008. Avaliacao de Genótipos de Cafeeiros Arabica e Robusta no Estado do Acre Ciênc. agrotec., Lavras, 32(1), pp. 11-16. <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1026897/avaliacao-de-genotipos-de-cafeeiros-arabica-e-robusta-no-estado-do-acre>
- Centro de Comercio Internacional [CTI, SE] (2022). La guía del café (4.a ed.). ITC (Ginebra). <https://intracen.org/es/recursos/publicaciones/la-guia-del-cafe-cuarta-edicion>
- Charrier, A. y Berthaud, J. (1985). Botanical classification of coffee. In Coffee "Botany, biochemistry and production of beans and beverage". p. 13-47. http://dx.doi.org/10.1007/978-1-4615-6657-1_2
- Chiguano, C. y Játiva, M. (1998). Plantaciones clonales de café robusta en sistemas agroforestales para la Amazonía ecuatoriana: guía técnica. Francisco de Orellana, EC. ECORAE, INIAP, GTZ. 64 p.
- Clifford, M. y Willson, K. (1985). Coffee: Botany, Biochemistry and Production of Beans and Beverage. American Edition. 457 p. <https://link.springer.com/book/10.1007/978-1-4615-6657-1>
- Consejo Cafetalero Nacional [COFENAC, EC]. (2011). Informe técnico del proyecto: Reactivación de la caficultura en el cantón Echeandía, provincia de Bolívar. COFENAC, SICA. 32 p.
- Consejo Cafetalero Nacional [COFENAC, EC]. (2011). Informe de Avances Técnicos: Primer semestre. CFENAC. Portoviejo, EC. 95 p.
- Consejo Cafetalero Nacional [COFENAC, EC]. (2010). Informe técnico del proyecto: Sistemas de producción de semilla de café arábigo y de multiplicación de clones superiores de café robusta para la reactivación de la caficultura ecuatoriana. COFENAC, MAGAP. 40 p.

- Duicela, L., García, J., Corral, R., Farfán, D. y Fernández, F. (2005). Calidad física y organoléptica de los cafés robustas ecuatorianos. COFENAC, Ultramares El Café, GTZ. 71p.
- Eira, A., Fazuoli, L., Garcia, T. y Favarin, J. (2005). Diversidade química de cafeeiros na especie *Coffea canephora*. *Bragantia: Revista de Ciências Agronômicas*, 64(4). pp. 577-582. <https://doi.org/10.1590/S0006-87052005000400007>
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária [EMBRAPA, BR]. (2009). *Cultivo dos Cafeeiros Conilon e Robusta para Rondônia* (3.a ed.) ISSN 0103-1668. http://www.cpafro.embrapa.br/media/arquivos/publicacoes/sp33_cafe.pdf.
- Eskes, A. (1989). Disponibilidad de variabilidad genética en café. In VIII Reunión Regional de Mejoramiento Genético del Café. San Pedro Sula, IICA. p.1-10.
- Espindula, M. y Partelli F. (2011). Vantagens do uso de clones no cultivo de cafeeiros canéfora (Conilon e Robusta). *Porto Velho*. ISSN 0103-9865, 144, 16 p. <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/926447/vantagens-do-uso-de-clones-no-cultivo-de-cafeeiros-canefora-conilon-e-robusta>
- Ferwerda, F. y Wit, F. (1987). *Genotécnica de cultivos tropicales perennes* (1.a ed.). México, pp. 110-135.
- Instituto Brasileiro do Café [IBC, BR]. (1981). *Clima e fenologia do cafeeiro. Instruções técnicas sobre a cultura de café no Brasil* (4.a ed.), pp. 25-62.
- Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural (INCA-PER). (2011). *Vitória: 'Incaper 8142' Variedade clonal de café Conilon* (4.a ed. ISSN 1519-2059. <https://biblioteca.incaper.es.gov.br/digital/bitstream/item/989/1/FOLDER-Conilon-Vitoria-2011-4-Ed.compressed.pdf>
- Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias [INIAP, EC]. (s.f.). *Informes técnicos: introducciones de materiales de café al INIAP. Estación Experimental Tropical Pichilingue*.
- Macías, T. (2001). Principales enfermedades del cultivo del cafeto. In *Manual de caficultura IHCAFÉ*. http://www.cafedehonduras.org/ihcafe/administrador/aa_archivos/documentos/tec_guia_enfermedades.pdf

- Méndez, I. (2011). Paquete tecnológico café robusta (*Coffea canephora* P.): Establecimiento y mantenimiento. México, INIFAP-Centro de Investigación Regional Pacífico Sur. www.inifap.gob.mx/inicio/paquetes/cafe_robusta.pdf
- Mendoza, J. 1991. Resposta da broca-do-café, *Hypothenemus hampei*, a estímulos visuais e semioquímicos. [Tesis Mag. Sc. Minas Gerais, BR. Universidade Federal de Viçosa]. 44 p.
- Monroig, M. (s.f.). Botánica del café. <http://academic.uprm.edu/mmonroig/id51.htm>
- Montagnon, C. (2003). Les nouvelles variétés hybrides chez *Coffea canephora*: an alternative to clonal varieties for producers. In *Le café au Cirad = Coffee at Cirad*. CIRAD-CP-CAFE. Montpellier: CIRAD-CP, 2 p. <https://agritrop.cirad.fr/531594>
- Montagnon, C., Leroy, T., y Eskes, A. (1998). Amélioration variétale de *Coffea canephora*. Montpellier, CIRAD-CP, Institut des Forêts. http://publications.cirad.fr/une_notice.php?dk=390308
- Montagnon, C., Leroy, T., Bertrand, B. y Dufour, M. (1992). Résultats récents pour l'amélioration génétique du caféier. Montpellier, FR, CIRAD-CP, Institut des Forêts. http://publications.cirad.fr/une_notice.php?dk=390308.
- Muñoz, R. (2001). Plagas insectiles del cafeto. In *Manual de caficultura*. IH-CAFÉ. http://www.cafedehonduras.org/ihcafe/administrador/aa_archivos/documentos/tec_guia_plagas.pdf
- Páliz, S. y Mendoza, J. (1993). Plagas del cafeto. In *Manual del cultivo del café*. Estación Experimental Tropical Pichilingue del INIAP. pp. 144-174.
- Plaza, L. (2012). Caracterización y selección fenotípica de genotipos superiores de *Coffea canephora* Pierre en el banco de germoplasma de la EET-Pichilingue del INIAP [Tesis de Ingeniero Agrícola. Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López]. 88 pág. <https://repositorio.espam.edu.ec/handle/42000/27>
- Ramírez, P. (2005). Diseño de un sistema agroforestal basado en café robusta que incrementa la sustentabilidad, rentabilidad y equidad, en la amazonia ecuatoriana [Tesis Magister en Gestión en Desarrollo Rural y Agricultura Sustentable. Temuco, CH. Universidad Católica de Temuco]. 192 p.

- Romero, E. (1999). Fuentes de resistencia al nematodo agallador *Meloidogyne incognita*, en 15 clones de café robusta (*Coffea canephora* Pierre) [Tesis Ing. Agr. Universidad Técnica de Babahoyo]. 42 p.
- Solubles Instantáneos, [SICA, EC] (2011). Reporte de laboratorio. Departamento de calidad. Guayaquil-Ecuador, 8 p.
- Solubles Instantáneos, [SICA, EC]. (2010). Reporte de laboratorio. Departamento de calidad. Guayaquil-Ecuador, 33 p.
- Sotomayor, I. y Duicela, L. (1995). Control integrado de las principales enfermedades foliares del cafeto en el Ecuador. Estación Experimental Tropical Pichilingue del INIAP. 78 p.
- Teixeira, A., Barros, R. y Rostand, A. (2011). Melhoramento genético, registro e proteção de cultivares de *Coffea canephora* para o Estado de Rondônia. Porto Velho, RO: Embrapa - Rondônia. 23 p. ISSN 0103-9865; 143.
- Verdin, A. (2011). Influência do espaçamento e densidade de hastes em café conilon conduzido com a poda programada de ciclo. [Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial à obtenção do título de Magister Science em Produção Vegetal. Alegre, ES – Brasil]. 68 pp. <http://repositorio.ufes.br/handle/10/6633>.

INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO DEL CAFÉ ARÁBIGO Y ROBUSTA

Capítulo 4

Sector agroindustrial cafetalero:
análisis y propuesta socioeconómica
para la provincia de Manabí

AUTORES: Econ. Kerly Andrea Mero Loor, Ph.D; Lic. Roberto Muñoz González, Ph.D; Ing.
Bienvenido Máximo Vera Tumbaco, Mg.Sc.

Introducción

La economía ecuatoriana se caracteriza por una deformación estructural, típica de un país subdesarrollado, por tanto, con alta dependencia internacional. En términos sectoriales, la agricultura y la pesca constituyen enclaves cardinales de su economía, destacando otros sectores, como son: sector bananero, cafetalero y el del cacao, conjuntamente con la producción de petróleo que juega un importante papel en sus exportaciones y en la conformación del PIB del país.

La conformación de la estructura económica de Ecuador se asocia, como en los demás países subdesarrollados, al proceso histórico de división internacional capitalista del trabajo y a la manera como fueron insertados de forma desventajosa en la misma, como productores de materias primas principalmente. Por tanto, la configuración de la estructura agraria ha sido decisiva en la estructuración del modelo agroexportador que le caracteriza.

El proceso de transformaciones y conformación de las estructuras agrarias en Ecuador hacen parte del llamado problema agrario campesino que, como en la mayoría de Latinoamérica, tiene su base en la propiedad de la tierra y el agua, así como en sus formas de explotación. Según García (2021), el problema agrario campesino tiene que ver por un lado, con la cuestión de la tenencia del medio de producción fundamental en la agricultura: la tierra, y por otro lado con la explotación, es decir, el uso de la misma y su gestión correspondiente (p. 8).

En el caso ecuatoriano, el problema agrario está marcado históricamente por su modelo agroexportador y por la existencia de múltiples actores sociales; en donde los grupos económicos e instituciones de poder, han definido los destinos del sector y han tenido una enorme influencia sobre el mercado del trabajo y el mercado de la tierra en el país, tanto como en el resto de la región, generando con frecuencia el agotamiento de tierras que fueron de alta calidad productiva, la deforestación masiva y prácticas culturales inadecuadas (Loor *et al.*, 2019).

Según Pazmiño (2018), la agroexportación y la extracción de materias primas minerales y energéticas, han sido las principales vías a las que han recurrido los gobiernos de turno del Ecuador, para insertarse en la economía mundial. En la práctica, dos modelos en relación de contradicción han predominado en torno al problema agrario ecuatoriano: el modelo de producción para la exportación y la agroindustria, frente al modelo de pequeños productores. Para el modelo de agroexportación, la propiedad sobre la tierra descansa

.....

en la racionalidad del mercado, es decir, en la alta capacidad de concentrar la tierra bajo un régimen de propiedad privada, de grandes extensiones de suelo productivo, de mayores posibilidades de comprar o arrendar la tierra. El otro modelo recoge las demandas históricas de las luchas campesinas por el acceso a la tierra, redistribución y justicia en el campo, la construcción de una estructura de pequeños propietarios, una economía campesina/comunitaria y, en algunos casos, agroecológica; es un modelo que busca garantizar la alimentación de las poblaciones tanto urbanas como rurales y cambiar las condiciones de desigualdad e inequidad históricas. Esos dos modelos coexisten en permanente relación de contradicción.

En Ecuador, el café se ha establecido durante décadas como un producto tradicional de gran importancia dentro de la economía nacional, conjuntamente con el cacao y el banano, constituyendo también fuente de empleo e ingresos para miles de familias que se dedican a su producción y comercialización en los principales territorios y localidades cafetaleras del país, además de lo que aporta en divisas por concepto de exportaciones. Sin embargo, la producción ha tenido una tendencia al decrecimiento en los últimos años debido a varios factores, entre ellos los de carácter institucional y organizativos, la vetustez de los cafetales, problemas de financiamiento y el comportamiento de los precios del petróleo, importante fuente de divisa para Ecuador, además de los efectos de la crisis económica mundial y la pandemia de la COVID-19.

El sector agroindustrial del café hace parte, en ocasiones relevantes, de la estructura socioeconómica y sus dinámicas en varios países del mundo, y está constituido por una serie de eslabones que conforman un total de procesos interconectados, que va desde la producción y comercialización del café en sus diferentes formas o estados, hasta su consumo final; por eso es frecuente que se hable de agroindustria cafetalera o cadenas agroindustriales del café, lo que refiere todo el proceso de input-output que es parte de ese sistema. Pero un eslabón decisivo en la agroindustria es, sin duda, la fase primaria de producción del grano; ello es determinante en la calidad y sostenibilidad de todo el proceso.

La trascendencia socioeconómica del sector cafetalero puede ser valorada desde diferentes perspectivas, a saber, en la generación de empleo e ingresos para las familias cafetaleras y otros actores de la cadena productiva, productores, comerciantes, microempresarios, obreros de las industrias del café, transportistas, exportadores, entre otros. Ocupa, además, a miles de familias dedicadas a la provisión de bienes y servicios de otros sectores concomitantes, y en general ingresos a la economía nacional por medio de las exportaciones del café en sus diferentes formas y tipos.

Su relevancia también se evidencia en el incremento de la demanda de café en los últimos 30 años, dando lugar al esparcimiento de la producción y exportación del producto. La producción mundial de café (en volumen) creció más de un 60% desde la década de 1990. El valor de las exportaciones de café transfronterizas (todas las formas, es decir, verde, tostado y soluble) fue de más del cuádruple, ya que pasó de USD 8,4 miles de millones en 1991 a USD 35,6 miles de millones en 2018 (OIC, 2021).

La provincia de Manabí es una de las 24 que conforman la República del Ecuador y se la considera uno de los más importantes centros administrativos, económicos, financieros y comerciales del país. La actividad cafetalera ocupa un lugar importante en la estructura socioproductiva del territorio manabita y provee de empleo e ingresos a miles de familias manabitas, por lo cual resulta decisivo su desarrollo y dinamismo; sin embargo, como ha ocurrido en el resto del país, en años recientes las actividades del sector han venido presentado diversos problemas que han afectado la productividad, pues los rendimientos del café arábigo que ocupa una superficie aproximada del 80% del total de café que se cultiva en el territorio, con 12.035 ha, tuvo un rendimiento de solo 0,23 t/ha, en 2019, lejos de los rendimientos de años anteriores, lo que indica la urgencia de revertir esa situación (Lema, 2019).

Varios factores combinados han tributado a esos comportamientos negativos en el sector cafetalero manabita, destacando problemas asociados a: calidad de las semillas, acceso y uso de fertilizantes, dificultades en el manejo agroecológico en algunas fincas y la edad de los cafetales; obviamente que ello se vincula, además, con el nivel de escolaridad de los productores, el acceso a financiamiento y el grado de asociatividad de los mismos y problemas de carácter institucional, entre otros factores.

Habría que añadir los impactos que generó la COVID-19 en la actividad. La OIC identificó dos vías principales de transmisión de sus efectos en el sector cafetero: en primer lugar, la pandemia ha afectado la disponibilidad de fuerza laboral, o bien directamente debido a enfermedad o debido indirectamente a estar restringido el movimiento de los trabajadores agrícolas y trabajadores migrantes por medidas de confinamientos, distanciamiento social y condicionamientos de desplazamiento; también las perturbaciones en las redes logísticas internas y en el funcionamiento de la infraestructura resultaron en retrasos de exportación y en incrementos de los costos de comercio y transacciones, entre otros (OIC, 2020).

Todo lo anterior demanda un estudio que permita la construcción científica de una plataforma teórica y factual válida, con el propósito de proponer

estrategias encaminadas a la reconversión y desarrollo socioeconómico del sector cafetalero en la provincia ecuatoriana de Manabí y que también pueda tributar a las transformaciones del sector en el país.

Metodología

La presente investigación requirió la utilización de una serie de métodos específicos, como son: analítico-sintético en la valoración de las diferentes perspectivas teóricas encontradas en la literatura científica sobre el sector cafetalero y sus dinámicas como cadena agroindustrial, su conducta en el mercado internacional, sus particularidades y problemáticas en Ecuador y la provincia de Manabí; lógico-histórico en el proceso de organización del conocimiento existente sobre el tema en función de los propósitos que fueron planteados. Otros métodos generales y técnicas, tales como la observación científica, el análisis de documentos y estadísticas, con base en el enfoque crítico e historicista, para el logro de resultados relevantes sobre el tema investigado.

Se realizaron 232 encuestas a productores de 4 cantones de la provincia de Manabí y la información se procesó con ayuda de métodos estadísticos mediante el uso del software Statistical (SPSS), versión 20.0 en español.

Para determinar la muestra se consideró la superficie (ha) cosechadas en la provincia de Manabí, de acuerdo a la información oficial publicada por las instituciones pertinentes que era de 9.879 ha. Y considerando un promedio de 2,5 ha por cada productor se determinó la muestra de 232, de acuerdo a la siguiente fórmula, desarrollada a partir de Badii *et al.* (2011) de muestreo de una proporción considerando el 95% de confianza.

En donde:

n óptimo = Tamaño óptimo de la muestra o población

V = Varianza de la muestra

Z = 1,96 para I.C. igual a 95%

E = d = Margen de error

d_2 = Error de muestreo

a = Probabilidad de equivocarse

P = Proporción de ocurrencia del evento o probabilidad de un resultado esperado

q = $1 - p$ = Proporción de no ocurrencia del evento

Además, para establecer la necesidad de información, análisis de resultados y propuestas operativas, se cumplieron los siguientes pasos:

- a. Identificación de las zonas cafetaleras en estudio. La selección de las zonas cafetaleras de estudio se realizó tomando en cuenta áreas de producción de importancia y tradición en la caficultura que incluyera cantones de las llamadas zona 1 y zona 2; de esa manera y en consulta con expertos cafetaleros, fueron seleccionadas por la zona 1: Jipijapa y 24 de Mayo, y por la zona 2: Portoviejo y Santa Ana.
- b. Revisión y análisis de información secundaria. Informes pertinentes y otros documentos del Ministerio de Agricultura y Ganadería y de otras instituciones y asociaciones vinculadas al giro. El análisis y revisión documental permitió robustecer el estudio, además, tributó a la caracterización del sector cafetalero en el país y el territorio manabita.
- c. Aplicación de instrumentos del diagnóstico. Antes de aplicar la encuesta, se realizaron talleres de discusión con grupos de productores, entrevistas no estructuradas a líderes de las comunidades cafetaleras y a expertos en café, en donde fue de mucho valor el método de acción-participación; todo lo cual facilitó la identificación de los principales problemas del sector cafetalero, en particular de los que hacen parte de la economía familiar, micro, pequeños y medianos productores de las zonas objeto de estudio. Se aplicó la encuesta utilizando una ficha técnica, lo que permitió recopilar los datos pretendidos para llevar adelante la investigación, tales como desarrollo social y humano, sistema de producción de café, cosecha y comercialización del café e institucionalidad asociada a la caficultura.
- d. El trabajo de campo se realizó durante el período comprendido entre los meses de marzo de 2018 a noviembre de 2019, fundamentalmente, aunque algunos encuentros con expertos del café y productores fueron efectuados en los tres primeros meses de 2020 para compartir los resultados investigativos obtenidos hasta el momento, con productores de café de las dos zonas seleccionadas, con el apoyo del Instituto de Economía Solidaria y del gobierno autónomo descentralizado provincial de Manabí.
- e. Procesamiento de la información. Se preparó una base de datos de las encuestas a los productores de los cuatro cantones seleccionados para obtener resultados, como herramienta que ayudó a manejar los datos relacionales de mejor manera y obtener los reportes requeridos. Los resultados fueron procesados con ayuda de métodos estadísticos, mediante el uso del software Statistical (SPSS), versión 2.0 en español.

Asimismo, se establecieron correlaciones entre las variables que influyen en el proceso socio-productivo del café en la provincia. Una vez determinadas las características y principales determinantes que arrojaron las encuestas por cada una de las dimensiones, se establecieron las correlaciones entre las variables definidas que influyen en el proceso socioproductivo del café en la provincia y el valor agregado que esas asociaciones pueden otorgar al producto final, comparadas a través de la prueba no paramétrica de chi cuadrado de Pearson (X^2).

Lo importante es definir si esa diferencia es significativa estadísticamente al nivel de confianza evaluado (95% en este caso), lo que se constata por la presencia de uno o dos asteriscos (significativo y altamente significativo, respectivamente). Los grados de libertad se obtienen al multiplicar el número de respuestas posibles de cada variable menos 1, es decir, una multiplicación entre los grados de libertad de cada variable. Por ejemplo, en el caso de las relaciones con el nivel de escolaridad:

Nivel de escolaridad tiene 4 opciones >>> $GL = 4 - 1 = 3$

Tipo de producción tiene 2 opciones >>> $GL = 2 - 1 = 1$

Los grados de libertad para la prueba de chi cuadrado = $3 * 1 = 3$

La aplicación del método referido reveló que todas las asociaciones de variables resultaron significativas al 1% de significatividad.

Resultados y Discusión

En el Ecuador, las transformaciones o reformas agrarias realizadas (gráfico 1), por lo general, históricamente facilitaron la consolidación del capitalismo en el sector agrario ecuatoriano, al promover la transformación de las grandes haciendas en grandes unidades de producción capitalista, generando a la vez condiciones para el acceso a la tierra de un número considerable de personas (proceso combinado con la colonización de nuevas tierras) que, no obstante, derivó en el surgimiento de una enorme bolsa de minifundios. La tendencia general de la estructura agraria del país no ha variado significativamente en más de 60 años.

Gráfico 5.

Principales transformaciones en la estructura agraria ecuatoriana propiciadas por las legislaciones (1908-2009).

Año	Ley	Contenido esencial	Gobierno
1908	Ley de Beneficencia, conocida como la Ley de "Manos Muertas"	Primer intento desde el Estado por producir cambios en la estructura agraria; afectando en este caso, a los latifundios de las órdenes religiosas.	Eloy Alfaro
1964	Ley de Reforma Agraria y Colonización	Se propuso eliminar las relaciones precarias de producción, parcelar las haciendas del Estado y adjudicarlas a los campesinos precaristas, impulsar el proceso de colonización agraria, y desmontar el sindicalismo agrario que estaba bajo influencia de los partidos de izquierda. Para ejecutar la política agraria y colonización, se constituyó el Instituto Ecuatoriano de Reforma Agraria y Colonización (IERAC).	Junta Militar presidida por el contralmirante Ramón Castro Jijón.
1973	Ley de Reforma Agraria	Con la reforma agraria se logró eliminar lo que se conocía en ese entonces como el huasipungo (parcela de tierra que el propietario de una hacienda pone a disposición de un peón para que pueda cultivarla para sí y el huasipunguero, por ello tiene la obligación de trabajar una determinada cantidad de días para el propietario de la tierra). La reforma agraria pudo beneficiar a 23 mil familias y resolvió 14.008 casos de huasipungos en 800 haciendas.	Gobierno militar nacionalista de Guillermo Rodríguez Lara.
1979	Ley de Fomento y Desarrollo Agropecuario	Supuestamente garantizaba la seguridad a la propiedad agraria "cuyas tierras eran eficientemente trabajadas". Con esa ley se trataba de fortalecer la perspectiva empresarial de medianos y grandes propietarios de la tierra, consolidando el latifundio.	Consejo Supremo de Gobierno militar de los "triumvros" que presidió Alfredo Poveda Burbano
1994	Ley de Desarrollo Agrario	Deroga la legislación de reforma agraria; promueve el mercado de tierras; elimina todas las restricciones posibles a la transferencia de las propiedades rústicas; la mediana y gran propiedad tienen garantía del Estado; autoriza el fraccionamiento de tierras comunales y su transferencia a terceros, vía mercado; en el plano institucional se elimina al IERAC, para reemplazarlo por el Instituto de Desarrollo Agrario (INDA).	Gobierno de Sixto Durán Ballén

2009	Plan de Fomento del Acceso de Tierras a los Productores Familiares del Ecuador	Democratizó el acceso de los productores familiares a la tierra (Plan Tierras). Posteriormente, ya en la fase final del mismo el Gobierno, lanzó el Plan de Acceso a Tierras de los Productores Familiares y Legalización Masiva en el Territorio Ecuatoriano (ATLM), el cual suplió al Plan Tierras y, entre sus medidas, limitó el accionar ministerial a la seguridad jurídica de los predios	Gobierno de Rafael Correa Delgado
------	--	--	-----------------------------------

Fuente: Elaboración propia a partir de Brassel, *et al.*, 2008; Vicuña, 2017 y Montesdooca y Ramos, 2021.

Sistema de producción y aspectos técnicos de la caficultura

El sector cafetalero es uno de los sectores agroindustriales que mayor dinamismo económico ha tenido en las últimas décadas a escala mundial y en varios países de la región latinoamericana. Se caracteriza por un típico proceso de encadenamiento con otros sectores de la economía.

Igualmente, su relevancia se evidencia en que el aumento de la demanda de café en las últimas tres décadas dio lugar a la expansión de la producción y exportación del producto y al incremento de países que lo producen y exportan. Crecieron, considerablemente, los países productores, las exportaciones de café y también el comercio internacional en forma de café procesado, por ejemplo, el café tostado y soluble subió de forma más sustancial que el café verde, y ese aumento estuvo estimulado principalmente por un pequeño número de países que conquistaron un porcentaje grande de valor de la cadena mundial de valor (OIC, 2021).

El sector agroindustrial caficultor tiene una importante trascendencia socioeconómica, como se ha mencionado anteriormente, y no se debe dejar a un lado la gran importancia ecológica; en tal dirección, es posible mencionar algunas de las más relevantes: a) la amplia capacidad de adaptabilidad que pueden tener los cafetales a los distintos agroecosistemas de la zona o región de que se trate; b) es común que los cafetales estén cultivados bajo árboles de alto valor ecológico y económico y coexistan en medio de diversos paisajes agroforestales, que constituyen un hábitat apropiado para muchas especies de la fauna y flora nativas; c) asimismo, todo ese paisaje florístico combinado, contribuye a la captura de carbono de manera similar a los bosques secundarios; d) pueden servir para regular el balance hídrico de los ecosistemas, y en el manejo tecnificado, necesariamente no demandan de una alta dependencia de agroquímicos; f) y por fin, los desechos que se generan del proceso productivo, pueden ser tratados y convertidos en otros productos o subproductos, por ejemplo, abonos y alimento animal.

Además, es preciso señalar que, como en los demás sectores que hacen parte de los procesos asociados a la agricultura, el sector cafetalero también se ve impactado por el incremento de las temperaturas y la alteración de los regímenes pluviales ligados al cambio climático (las sequías, las inundaciones y deslaves, erosión, la aparición de enfermedades y plagas, lo que conduce a incertidumbre y cambios en el rendimiento de los cultivos, dificultad para mantener la calidad), particularmente con efectos en la producción de la variedad de arábigo.

Estudios recientes estiman que, sin un plan contundente para combatir el cambio climático, la superficie mundial apta para la producción de café podría reducirse en un 50% de aquí al 2050 y, de aquí al 2080, algunas variedades podrían desaparecer y causar una disminución en la diversidad genética, lo que homogenizaría la producción de café (y, consecuentemente, la haría más pobre en términos organolépticos) y más vulnerable a las enfermedades (Basic, 2019).

Es por ello que es importante considerar, entre otros factores, también los ambientales. Es así que, a través de la prueba de chi cuadrado, se mostraron diferencias altamente significativas para la distribución de las proporciones entre los sistemas de producción y el uso de insumos para el control de plagas (tabla 1). En el caso del café cultivado bajo el sistema convencional, existe cierta proporción de los productores que utilizan plaguicidas para el control de la broca (14,6%), aun cuando se ha demostrado que dicha técnica resulta poco efectiva; similarmente, se reporta una proporción de 74,3% de los productores que utilizan la poda como una medida de control de plagas, a pesar de que no es una práctica agronómica para manejo de problemas fitosanitarios del cafeto, pero sí es efectiva para la producción de madera productiva, lo cual compensaría cierto incremento en los rendimientos.

Tabla 9.

Relación entre los sistemas de producción de cafetales y la utilización de insumos para el control de plagas del cafeto en zonas estudiadas de la provincia de Manabí.

Sistema de producción	Plaguicidas	Herbicidas	Trampa de alcohol	Fungicidas	Poda	Nada
Convencional	14,6	2,1	6,3	0,0	74,3	2,8
Orgánico	10,2	2,3	73,9	1,1	0,0	12,5
Total	12,9	2,2	31,9	0,4	46,1	6,5
X ² de Pearson	154,502**					

Fuente: Elaboración propia a partir de los resultados de las encuestas realizadas.

Por su parte, los productores de café que consideran que es orgánico tienen como estrategia el uso de trampas de alcohol para la captura de la broca del café (73,9%), la cual es una práctica amigable desde el punto de vista ambiental; sin embargo, una proporción de 11,3% de los productores usa plaguicidas o fungicidas, lo cual no es compatible con el sistema de producción orgánico.

Según los criterios de los productores en cuanto a su contribución a la conservación ambiental, se determinó que existe una relación altamente significativa entre el sistema de producción y las prácticas de manejo agronómico aplicadas en las plantaciones (tabla 10).

Tabla 10.

Relación entre los sistemas de producción de café y la contribución de los productores a la conservación ambiental en zonas estudiadas de la provincia de Manabí.

Sistema de producción	Reciclaje	No usa fertilizante químico	No usa fertilizante químico ni pesticidas	Usa residuos de cosechas	Ninguna de las anteriores
Convencional	1,4	62,5	16,0	6,3	13,9
Orgánico	4,5	9,1	84,1	1,1	1,1
Total	2,6	42,2	41,8	4,3	9,1
X ² de Pearson	112,735**				

Fuente: Elaboración propia a partir de los resultados de las encuestas realizadas.

Bajo el sistema de producción convencional del cultivo del café, el 62,5% de los productores no usa fertilizantes químicos en sus plantaciones, a los cuales se le suma una proporción de 16% de productores que tampoco usan pesticidas; mientras que, en el caso del sistema de producción considerada orgánica, la proporción de productores que no usa ningún tipo de agroinsumo de origen químico alcanza la magnitud de 84,1%, a los cuales deben sumarse un 9,1% de productores que no utiliza fertilizantes químicos, por ello los productores manifiestan que su producción dentro de ese sistema, a pesar no tener ningún tipo de documento que determine que su producción es orgánica.

De igual forma, se obtuvieron relaciones significativas al 1% de significatividad por la prueba de chi cuadrado, entre los dos sistemas de producción (convencional y orgánico) y las variables edad de los cafetales, asistencia técnica, recepción de financiamiento, realización del registro contable y si consideran la comercialización de su café dentro de los criterios de comercio justo (tabla 11).

Tabla 11.

Relación entre los sistemas de producción de café y variables de producción y comercialización en zonas estudiadas de la provincia de Manabí.

Sistema de producción	Edad de los cafetales (años)			Asistencia técnica		Recibe financiamiento		Registro contable		Comercializa a precio justo	
	2-6	6-13	>25	Sí(%)	No(%)	Sí(%)	No(%)	Sí(%)	No(%)	Sí(%)	No(%)
Convencional	16,0	71,5	12,5	49,3	50,7	7,6	92,4	2,8	97,2	14,6	85,4
Orgánico	95,5	0,0	3,4	84,1	15,9	75,0	25,0	35,2	64,8	73,9	26,1
Total	46,1	44,4	9,1	62,5	37,5	33,2	66,8	15,1	84,9	37,1	62,9
X ² de Pearson	153,940**			28,199**		111,771**		44,897**		82,282**	

Fuente: Elaboración propia a partir de los resultados de las encuestas realizadas.

Se observa que la mayor proporción de los cafetales convencionales están comprendidos entre 6 y 13 años (71,5%) y su condición se asocia con altas proporciones de productores que carecen de financiamiento (92,4%) y, de modo similar, no llevan el registro contable de sus operaciones financieras (97,2%) y tampoco comercializan bajo esquemas de calidad o comercio justo (85,4%).

En contraste, el café considerado orgánico es de reciente data, ya que la gran mayoría de las plantaciones cuenta con edades entre 2 y 6 años (95,5%), y están en fase de establecimiento o apenas inician su producción comercial. La mayor proporción de los productores ubicados en este renglón cuentan con financiamiento (75%) y reciben asistencia técnica (84,1%), probablemente asociado al financiamiento recibido. Ellos consideran que la producción tiene criterios de comercio justo aunque no la comercializan como tal (73,9%), ya que expresan que conocen qué es el comercio justo y que su producto debería comercializarse bajo ese esquema, aunque no lo hacen de esta manera; pero a pesar de las anteriores relaciones, poseen una alta proporción de predios que no realiza el registro de sus operaciones financieras, lo cual podría estar asociado a deficiencias en la asistencia técnica para abordar esta situación.

Con respecto al impacto de la asistencia técnica en la actividad cafetalera, al aplicar la prueba de chi cuadrado, se comprobó diferencias significativas para la distribución de las proporciones entre la recepción de asistencia técnica y el uso de insumos para el control de plagas (tabla 12).

Tabla 12.

Relación entre la asistencia técnica y la utilización de insumos para el control de plagas del cafeto en zonas estudiadas de la provincia de Manabí.

Asistencia técnica	Controles fitosanitarios					
	Plaguicidas	Herbicidas	Trampa de alcohol	Fungicidas	Poda	Nada
Si	17,9	0,0	51,0	0,0	26,9	4,1
No	4,6	5,7	0,0	1,1	78,2	10,3
Total	12,9	2,2	31,9	0,4	46,1	6,5
X2 de Pearson	96,178**					

Fuente: Elaboración propia a partir de los resultados de las encuestas realizadas.

En el caso de los productores que reciben asistencia técnica, la estrategia principal para el control de la broca consiste en la captura a través de trampas de alcohol (51%), seguido por la utilización de podas de las plantas (26%) el empleo de plaguicidas con 17,9% de los productores; mientras que los productores que no reciben asistencia técnica sólo realizan podas con fines sanitarios (78,2%), lo cual es de poca efectividad, como se mencionó anteriormente.

Es importante destacar que la práctica de poda es primordial para recuperar la productividad de la plantación, y tiene cierto impacto en mitigar los daños a las plantaciones por plagas y enfermedades y de recuperación de la madera productiva del cafeto por efecto de su avanzada edad, así como también, por la muerte regresiva de las ramas o maltrato de la plantación durante la cosecha, pero por sí sola no controla problemas asociados al ataque de insectos o de enfermedades sistémicas.

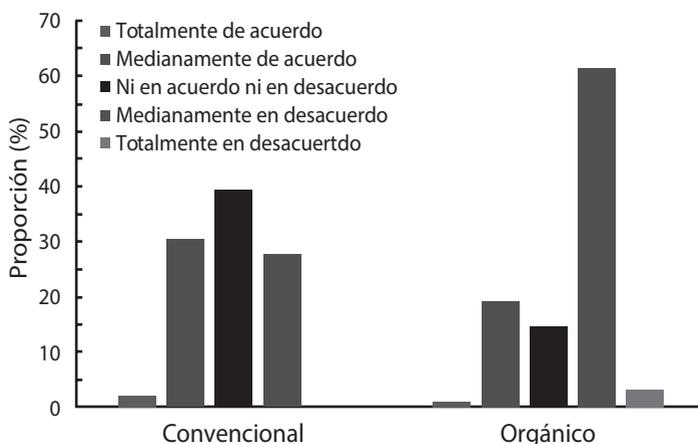
En lo referente al impacto socioeconómico de la caficultura, la figura 1 muestra los valores sobre la percepción de los productores cafetaleros de los cantones 24 de Mayo, Jipijapa, Portoviejo y Santa Ana, acerca de las mejoras en la calidad de vida del grupo familiar derivados de los ingresos de esta actividad.

Dentro del sistema de manejo convencional, se presenta la mejor condición de asociación en 30,5%, en relación a estar medianamente de acuerdo que la caficultura mejora las condiciones socioeconómicas de su grupo familiar; mientras que, en el sistema de manejo que ellos consideran orgánico, la mayor proporción de asociación de frecuencia ocurre con la respuesta media-

namente en desacuerdo, con 61,4%. Probablemente, el no usar insumos agroquímicos hace que tengan poco rendimiento en sus plantaciones, además en algunos casos la edad de sus cultivos influye ya que fueron parte del proyecto de reactivación de la caficultura y aún no están en etapa productiva. En otras palabras, para las condiciones actuales, los caficultores no consideran la caficultura como una actividad rentable.

Figura 8.

Relación entre los sistemas de producción de café y la percepción de los productores en las mejoras de la calidad de vida del grupo familiar derivados de los ingresos de la caficultura en la provincia de Manabí.



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de encuestas realizadas a productores.

Una breve síntesis indica que el país debe reestructurar su estrategia de desarrollo cafetalero y apostar por alcanzar mayor competitividad económica, al menos a nivel de la región sudamericana y rescatar las buenas prácticas que durante años se desarrollaron en el país en el cultivo, producción y comercialización del café, como importante ramo de la economía nacional.

Cabe destacar, igualmente, que el nivel de asociatividad de los productores y otros actores vinculados a la cadena cafetalera resulta relativamente débil en Ecuador, lo que atenta contra una mayor eficiencia del sector.

Las organizaciones cafetaleras se enfrentan actualmente a los complejos retos impuestos por la crisis combinada en los ámbitos económicos, sanitarios y hasta políticos, como sucede en el caso de Ecuador; por lo que necesitan

fortalecer las relaciones de cooperación con todos los actores vinculados de manera directa o indirecta a la cadena cafetalera, además de consolidar las alianzas y sus capacidades a nivel de los territorios y localidades.

Un país productor de café sin gremios de caficultores, o con ellos, pero que actúan sin la eficacia necesaria, deberá empujar la creación de estrategias asociativas capaces de poder aprovechar las oportunidades y revitalizar la cadena productiva y de comercialización, con un trabajo articulado entre el sector público y privado, para poder dialogar de desarrollo y derechos en políticas agrícolas, de consumo y de agroexportación.

Reconstruir el diálogo al interior de la cadena, exige crear el aparato gremial con claras diferencias frente a lo que existía antes de la reforma constitucional del 2008, cuando el Estado reasumió el liderazgo de la política del sector. Dos cambios importantes surgieron después de esa reforma, el primero que de hecho es positivo, pero sin obtener los resultados esperados y el segundo que tributó aún más a la atomización gremial:

2011: La puesta en marcha del Proyecto de Reactivación de Café y Cacao Fino de Aroma, liderado por el Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG), para incrementar productividad, mejorar calidad, fortalecer la asociatividad y apoyar en la vinculación comercial a productores de café y cacao a nivel nacional. Lo cierto es que los resultados esperados de ese proyecto estratégico no son visibles, toda vez que la producción y comercialización del producto lejos de incrementarse se han ido reduciendo poco a poco.

2018: La derogatoria de la Ley Especial del Sector Cafetalero y la subsecuente disolución del Consejo Cafetalero Nacional (Cofenac), que garantizaba una inversión directa en investigación y créditos para el sector.

De la misma manera, se determinaron diferencias altamente significativas para la distribución de frecuencias entre la asistencia técnica y los aspectos administrativos y de comercialización del café (tabla 13).

Tabla 13.

Relación entre la asistencia técnica y aspectos administrativos y de comercialización del café en zonas estudiadas de la provincia de Manabí.

Asistencia técnica	Registro contable		Conoce comercio justo		Comercializa a precio justo	
	Si (%)	No (%)	Si (%)	No (%)	Si (%)	No (%)
Si	23,4	76,6	28,3	71,7	52,4	47,6
No	1,1	98,9	8,0	92,0	11,5	88,5
Total	15,1	84,9	20,7	79,3	37,1	62,9
X ² de Pearson	21,106**		13,561**		39,029**	

Es de notar las grandes deficiencias que presentan los productores que no reciben asistencia técnica en cuanto al seguimiento de las actividades que realizan en sus plantaciones a través de registros contables y de producción, ya que prácticamente ninguno de los productores lleva registros (98,9%); similarmente, muestran desconocimiento acerca de los esquemas de calidad y comercio justo (92%) y tienen la apreciación de que no reciben precio justo por su producción (88,5%).

En tanto una cuarta parte de los productores que reciben asistencia técnica llevan registros contables acerca de su predio y conocen los esquemas de comercio justo, y aproximadamente la mitad de ellos (52,4%) comercializa su producción a mejor precio, más justo; sin embargo, quedan en evidencia las deficiencias de la asistencia técnica para potenciar la actividad, la carencia de registros contables de las operaciones financieras de las fincas y de la venta de su café bajo criterios de calidad y comercio justo, solo cambiando aquello será una manera de garantizar la recuperación de la inversión y el mejoramiento de la calidad de vida de los productores de la provincia de Manabí.

A las conductas anteriores y en concordancia, se une la hostilidad del entorno, dígame los problemas asociados al cambio climático, la alta incidencia de plagas, la falta de recursos para la caficultura y la crisis pandémica y secuelas posteriores. De igual manera se une la pobre contribución del sistema institucional y en especial la ineficacia de las políticas públicas que hacen parte importante del contexto socioeconómico del país y del territorio.

La pobre calidad de las políticas públicas vinculadas al sector y la baja efectividad de sus propósitos, se ponen de manifiesto en varios efectos no deseados, entre ellos los problemas de los productores para poder acceder a financiamiento como ha sido dicho, particularmente los pequeños y medianos;

la pobre interconexión entre los actores vinculados a la actividad cafetalera, pues no se logra transitar desde el acercamiento mediante el intercambio de información y conocimiento mutuos, hasta conseguir una verdadera integración sistémica que permita el aprovechamiento de capacidades y potencialidades de cada uno de los actores que hacen parte de dicho sistema. Del mismo modo, las políticas públicas no facilitan ni estimulan el aprovechamiento de la ciencia y la tecnología, ni tampoco el conocimiento y las experticias de los especialistas universitarios y centros de investigación vinculantes.

Como resultado del proceso de caracterización del territorio y el diagnóstico de situación, se procedió a establecer las principales fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas del sector.

El proceso de construcción, presentación y aprobación de la FODA, tuvo en consideración los principales resultados de las diversas acciones investigativas emprendidas, tales como los talleres y encuentros con productores del territorio, las encuestas, entrevistas a los especialistas y toda la información factual analizada y levantada a la que se pudo acceder, generada por entidades internacionales afines, e instituciones y organizaciones nacionales y territoriales.

Como parte del análisis y resultados de la FODA y en concordancia, se establecieron posibles acciones que deben tener centralidad en las necesarias transformaciones que requiere el sector agroindustrial cafetalero en el territorio manabita, en correspondencia con las acciones de la estrategia que propone la autora.

.....

Análisis de la matriz FODA y centralidad de las transformaciones estratégicas

ANÁLISIS FODA	Fortalezas	Centralidad de las transformaciones estratégicas
INTERNOS	Tradición en caficultura limpia.	Lograr la certificación social y ambiental de los procesos productivos por parte de organismos acreditadores pertinentes.
	Aptitud agroecológica para café.	Avanzar en la tecnificación de la caficultura con enfoque agroecológico actualizado.
	Tejido socio-productivo diverso y amplio.	Integrar gremios de productores a nivel multisectorial aprovechando las potencialidades de cada actor.
	Existencia de abundantes tierras aptas para el cultivo de café.	Promover acuerdos asociativos e institucionales para lograr legalización de tierras.
	Debilidades	Centralidad de las transformaciones estratégicas
	Débil asociatividad de los productores.	Integrar los gremios de productores articulados al desarrollo territorial.
	Desarmonías en la integración de la cadena agroindustrial.	Identificar e incentivar una mayor integración y calidad de las articulaciones en la cadena, con instituciones y asociaciones del ramo.
	Falta de líderes jóvenes.	Promover la educación técnica continua en liderazgo y desarrollo participativo y multigeneracional.
Pobre diversificación productiva y comercial.	Fomentar la oferta de cafés de especialidades.	
Bajos rendimientos.	Elevar la productividad de las fincas mediante el uso de la ciencia y la tecnología.	
ANÁLISIS FODA	Oportunidades	Centralidad de las transformaciones estratégicas
	Existencia de proyectos de desarrollo.	Promover de forma asociativa la participación en proyectos de desarrollo territorial.
	Acceso a créditos preferenciales.	Generar acceso oportuno para los productores o asociaciones a crédito con tasas de interés preferenciales.
	Alta demanda de cafés especiales y orgánicos.	Crear mecanismos asociativos para acceder a mercados diferenciados.
	Cooperación técnica entre productores.	Lograr la participación de la cooperación técnica para los productores con apoyo institucional.
	Mejoramiento genético.	Estimular la investigación e introducción de plántulas mejoradas genéticamente y de otros frutos de la biotecnología.

EXTERNOS	Amenazas	Centralidad de las transformaciones estratégicas
	Cierre de mercados por deficiente calidad.	Garantizar la inocuidad y calidad del producto.
	Cambio climático.	Implementar buenas prácticas agrícolas de adaptación al cambio climático basadas en la ciencia y la tecnología.
	Alta incidencia de plagas.	Desarrollar programas y acciones asociativas para la prevención y manejo de plagas con apoyo institucional.
	Falta de recursos para la caficultura.	Gestionar recursos financieros y tecnológicos para la caficultura mediante proyectos de desarrollo territorial.
	Futuras crisis por pandemia y pospandemia.	Crear alternativas asociativas para mitigar impactos de la pandemia y posterior a ella.

Fuente: Elaboración propia en colaboración con el experto en café en Ecuador, Luis A. Duicela Guambi.

Postulados generales para la viabilidad de la propuesta de estrategia

El punto de partida de cualquier estrategia, debe ser la situación actual del sector agroindustrial cafetalero y la problemática que enfrenta, a la vez que se asienta en el contexto sociohistórico del país y del territorio, y en la valoración del potencial presente y futuro del sector; el análisis realizado lleva a la necesidad de concebir y diseñar desde la ciencia estrategias adecuadas, eficientes, sostenibles y sustentables para el desarrollo del sector cafetalero en la provincia de Manabí.

Varios presupuestos generales han sido definidos por la autora en colaboración con algunos expertos del café, las que podrían ofrecer viabilidad a la estrategia que se propone en la presente investigación:

- a. Es el Gobierno nacional a través de sus diferentes ministerios y programas, así como los gobiernos autónomos descentralizados (provincial, municipal, parroquial), a los cuales les corresponderá tener verdadera voluntad para diseñar políticas públicas efectivas e introducir estrategias pertinentes para el desarrollo del sector cafetalero.
- b. El gobierno autónomo descentralizado provincial tiene autonomía, pero necesita de más autonomía en la toma de decisiones relativas a ese nivel en el ámbito del sector agropecuario, así como los GADs municipales a nivel local. Tales instituciones tienen la responsabilidad de gestionar y realizar las acciones pertinentes y necesarias para articular a los diferentes actores de la cadena agroindustrial del café.

- c. Verdadera articulación y estabilidad en las funciones de las instituciones como el Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG), Instituto de Economía Popular y Solidaria (IEPS), Ministerio de Producción, Comercio Exterior, Inversiones y Pesca, Gobierno Provincial de Manabí, organizaciones no gubernamentales (ONGs), Instituto de investigación agropecuaria (INIAP) y gobiernos locales, además de involucrar a la academia. Es necesario evitar la duplicidad de funciones que actualmente existe y el agotamiento de esfuerzos individuales, y poder contribuir con planes, proyectos y políticas públicas consensuadas entre los diferentes actores, tanto asociados como individuales y las instituciones involucradas en el desarrollo y crecimiento del sector cafetalero.
- d. Presencia de políticas enfocadas y orientadas al desarrollo local por parte del Gobierno, estableciendo diferentes canales institucionales para concretar las estrategias de desarrollo socioeconómico que puedan tributar al seguimiento, evaluación y sostenimiento del sector en cuestión.
- e. Actualización permanente de datos estadísticos y socioeconómicos de los sectores productivos en los portales o gacetas oficiales de las entidades públicas, ya que existe información oficial con más de 10 años de desactualización.
- f. El desarrollo del sector cafetalero debe ser sostenible y sustentable como actividad, integrando aspectos económicos, ambientales, socioculturales, y que propendan al crecimiento, lo más armónico posible, del sector.
- g. La existencia de capital humano en las instituciones con suficientes capacidades, conocimientos, habilidades y competencias para llevar adelante las tareas de coordinación de los diferentes actores con diversos intereses y lograr encaminarlos al trabajo de cooperación y articulación de la cadena productiva o al menos crear la disposición para la identificación, formación y capacitación.
- h. Participación de entidades privadas, ONGs y universidades, de manera que estas instituciones motiven a los actores y participen en propuestas concretas y realizables en torno a un objetivo en común, que permita solucionar los problemas fundamentales que aquejan el desarrollo del sector y concomitantes.

El conocimiento y socialización de los lados robustos del sector y sus puntos débiles entre los actores involucrados resulta de vital importancia; con mayor razón si se considera que las estrategias conciernen cada vez más a las instituciones, las leyes, los mercados y la dotación de recursos, pero mucho dependen también de las capacidades administrativas y de gestión que posean los que forman parte directa del sistema en cuestión, especialmente los productores, suministradores, transportistas, comercializadores, exportadores.

Varias ideas sobre el papel que le corresponde a las autoridades de gobierno en el país y el territorio para hacer viable la estrategia que en esta investigación se propone, hacen parte de algunos presupuestos generales señalados anteriormente; no obstante, es preciso prestar atención a algunos problemas puntuales sobre las políticas públicas más recientes en el país, considerando que las políticas condicionan la mayor o menor viabilidad de cualquier estrategia que se proponga.

Referente al sector agroindustrial cafetalero se puede señalar de manera puntual que las políticas públicas:

- Aún no alcanzan a establecer objetivos políticos claros, ni logran definir con eficacia los temas técnicos correspondientes a los problemas y necesidades del sector, entorpeciendo las mismas estrategias y acciones de desarrollo cafetalero concebidas por los propios entes públicos.
- Son poco inclusivas y dinámicas, además no tributan con eficacia al crecimiento balanceado y sustentable de la economía cafetalera, obstaculizando en la práctica las transformaciones pertinentes de la estructura socioproductiva e institucional del sector, y, por tanto, la calidad de vida de miles de familias ecuatorianas que se dedican a la actividad cafetalera.

Todo lo señalado anteriormente sienta las bases generales para poder diseñar una estrategia, lo más integral e inclusiva posible, como herramienta oportuna y eficaz para alcanzar el crecimiento y desarrollo sustentable del sector.

Sistema de Líneas Estratégicas para el desarrollo socioeconómico del sector cafetalero en la provincia de Manabí

LÍNEA ESTRATÉGICA 1. Sistematizar las experiencias de los productores en la aplicación de buenas prácticas en los procesos de producción y poscosecha de cafés arábigos.	
ACCIONES	Indicadores asociados a la Línea Estratégica
<ul style="list-style-type: none"> a. Evaluar los resultados productivos logrados por los productores pioneros en la adopción de tecnologías de producción. b. Evaluar los resultados en la mejora de la calidad logrados por los productores pioneros en la adopción de tecnologías de poscosecha. c. Identificar la relación entre nivel educativo y mejora de la productividad y calidad del café. 	<p>Porcentaje de productores evaluados en la adopción de nuevas tecnologías en producción, mejora de calidad y productividad.</p> <p>Medición de impactos del nivel educativo en la productividad del proceso socioproductivo cafetalero.</p>
LÍNEA ESTRATÉGICA 2. Cuantificar la cadena de valor del café en distintas circunstancias agroproductivas.	
ACCIONES	Indicadores asociados a la Línea Estratégica
<ul style="list-style-type: none"> a. Determinar los beneficios productivos y económicos del café cultivado en sistemas agroforestales y monocultivos. b. Determinar los beneficios productivos y económicos del café en monocultivo. c. Calcular los beneficios económicos de las prácticas de cultivo de café y del agronegocio. d. Identificar las debilidades y potencialidades de la cadena cafetalera. e. Identificar las potencialidades de la cadena cafetalera. 	<p>Determinar porcentajes comparados de beneficios productivos y económicos del café cultivado en sistemas agroforestales, monocultivos y en las prácticas de agronegocios determinados.</p> <p>Potencialidades y debilidades de la cadena cafetalera identificadas.</p>
LÍNEA ESTRATÉGICA 3. Fomentar una nueva asociatividad de las comunidades cafetaleras con un enfoque hacia el desarrollo territorial y multisectorial.	
ACCIONES	Indicadores asociados a la Línea Estratégica
<ul style="list-style-type: none"> a. Diagnosticar el tejido agrosocial al cual se articulan los caficultores y redefinir una nueva asociatividad. Reorganizar a los productores en un enfoque multisectorial. b. Integrar a la juventud a programas de mejora de productividad y calidad de la agricultura, artesanía, agroturismo y agronegocios. c. Potenciar la participación de mujeres directivas en las asociaciones cafetaleras. d. Impulsar la creación de asociaciones de primer y segundo grado de cafetaleros para tener representación nacional y participar en programas y políticas para el sector. 	<p>Porcentaje de productores asociados y reorganizados en un enfoque multisectorial y de género.</p> <p>Porcentaje de jóvenes y mujeres en programas de mejora de productividad y calidad de la agricultura, artesanía, agroturismo y agronegocios.</p> <p>Porcentajes de productores organizados a nivel cantonal, provincial y nacional.</p>
LÍNEA ESTRATÉGICA 4. Impulsar la renovación y rehabilitación de los cafetales para incrementar los rendimientos productivos.	
ACCIONES	Indicadores asociados a la Línea Estratégica

<p>a. Desarrollar un programa de renovación y rehabilitación de plantaciones por UPAs seleccionadas, a fin de incrementar rendimientos y mejorar la rentabilidad del cultivo del café.</p> <p>b. Impulsar en las fincas cafetaleras el establecimiento de sistemas eficientes de podas que permitan la renovación de los cafetales e incremento de los rendimientos de manera sostenible.</p> <p>c. Crear un fondo asociativo que permita el desarrollo de programas para la entrega de bonos tecnológicos a familias cafetaleras, conteniendo semillas e insumos biológicos para el manejo de fertilidad y las plagas en el cultivo del café.</p> <p>d. Intensificar el extensionismo asociativo para promover en las familias cafetaleras la aplicación de técnicas modernas para los microinjertos, producción y selección de plántulas de alta calidad genética.</p>	<p>Porcentaje de áreas de plantaciones por áreas seleccionadas renovadas y/o rehabilitadas, a fin de incrementar rendimientos.</p> <p>Porcentaje de productores con sistemas integrales de manejo de cultivo y producción cafetalera.</p> <p>Porcentaje de productores asociados y fortalecidos con el desarrollo de programas de incentivos y en la aplicación de técnicas modernas.</p>
--	---

LÍNEA ESTRATÉGICA 5. Poscosecha, agregación de valor y procesamiento del café, con mejoramiento de los procesos del beneficiado húmedo y seco para preservar la calidad del café.

<p>ACCIONES</p>	<p>Indicadores asociados a la Línea Estratégica</p>
<p>a. Acompañar a los pequeños y medianos productores con la aplicación de innovaciones tecnológicas en el beneficio húmedo, a fin de alcanzar los mejores estándares de calidad del pergamino y con efectos ambientales que no pongan en riesgo los recursos naturales.</p> <p>b. Fomentar el consumo interno de café tostado y molido, generando ingresos a las familias de los productores.</p> <p>c. Incentivar a los restaurantes y locales de expendio de comida a la compra y venta de café tostado y molido mediante incentivos tributarios y disminución de impuestos municipales.</p>	<p>Porcentaje de pequeños y medianos productores aplicando innovaciones tecnológicas y mejores estándares de calidad.</p> <p>Porcentaje de consumo interno de café tostado y molido, generando ingresos a las familias de los productores.</p> <p>Porcentaje de restaurantes y locales incentivos para consumo de café tostado y molido.</p> <p>Porcentaje de productores y emprendedores que gestionan sus procesos mediante el procesamiento, barismo, transformación y agregación de valor en la producción cafetalera.</p> <p>Porcentajes de actores de la economía popular y solidaria generando valor agregado al café en actividades familiares y asociaciones.</p>

<ul style="list-style-type: none"> d. Fortalecer las capacidades de los productores en el establecimiento de sistemas de tratamiento de agua mieles (agua con miel de café) para evitar la contaminación en las fuentes de agua. e. Fortalecer las capacidades de los productores y emprendedores para el procesamiento, barismo, transformación y agregación de valor de la producción cafetalera. f. Promover y asistir a los nuevos emprendimientos y actores de la economía popular y solidaria en tostado, molienda y empaque a fin de desarrollar la agroindustria cafetera familiar. g. Impulsar programas de diseño de marcas y registros, acompañando a familias emprendedoras y actores de la economía popular y solidaria a fin de mejorar la comercialización de la producción de café. h. Fortalecer las capacidades de los productores en la elaboración de productos en base de la pulpa de café, aguas mieles y otros subproductos, a fin de diversificar la economía de las familias cafetaleras y evitar generar desperdicios y contaminación. i. Promover la certificación de los emprendimientos cafetaleros con buenas prácticas de manufactura para acceder a nichos especiales de mercados que agregan valor a la cosecha. 	<p>Evaluar la creación de capacidades en la elaboración de subproductos y diversificación de la actividad cafetalera, en concordancia con la mitigación de impactos ambientales.</p>
<p>LÍNEA ESTRATÉGICA 6. Impulsar la producción cafetalera sostenible con el medio ambiente y establecer un sistema de vigilancia fitosanitaria y de alerta temprana.</p>	
<p>ACCIONES</p>	<p>Indicadores asociados a la Línea Estratégica</p>
<ul style="list-style-type: none"> a. Desarrollar programas para la prevención y manejo de plagas y enfermedades que afectan las plantaciones de café con el uso de la aplicación las nuevas tecnologías, productos y servicios más avanzados del país y de la región latinoamericana, mediante convenios y alianzas proactivas. b. Fortalecer las capacidades técnicas de las familias cafetaleras sobre las alternativas y medidas de control fitosanitarias ante la incidencia de variedades de roya, broca y otras, que pongan en riesgo la producción y calidad del café manabita, mediante el extensionismo dinámico, convenios de capacitación con universidades, centros e institutos de investigación más avanzados en el tema. 	<p>Medición de impactos de los programas de prevención y manejo de plagas y enfermedades que afectan las plantaciones de café.</p> <p>Porcentaje de familias cafetaleras con capacidades fortalecidas en técnicas alternativas y medidas de control de enfermedades y plagas.</p>

<p>c. Desarrollar una red de monitoreo climático de carácter provincial y cantonal, para que las familias dispongan de información actualizada que facilite la toma de decisiones para el control de plagas y enfermedades del café.</p>	
<p>LÍNEA ESTRATÉGICA 7. Desarrollar nuevas tecnologías, potenciando las existentes y estimulando los procesos de innovación y capacitación en cuanto al manejo eficiente de la producción cafetalera y la reducción de costos de producción ante la variación de los precios internacionales.</p>	
ACCIONES	Indicadores asociados a la Línea Estratégica
<p>a. Capacitar a los productores con la participación proactiva de las asociaciones correspondientes, en la administración, gerencia y manejo de fincas cafetaleras con enfoque agroecológico y adaptación a la variabilidad climática.</p> <p>b. Promover la capacitación de los productores con la participación proactiva de las asociaciones correspondientes, para alcanzar la certificación orgánica de sus producciones y de comercio justo.</p> <p>c. Fortalecer la articulación y armonizar las funciones entre las instituciones, gobiernos autónomos descentralizados, organismos no gubernamentales, asociaciones y productores, encaminados a evitar duplicidad de funciones y que todas las acciones tributen a la recuperación del sector.</p> <p>d. Crear un centro de desarrollo tecnológico científico provincial, en coordinación con universidades y centros de investigación científica especializados, para la generación de variedades, buenas prácticas y tecnologías, que reduzcan las afectaciones de la variabilidad climática en el cultivo del café.</p> <p>e. Establecer convenios de colaboración en el ámbito de la biotecnología cafetalera con instituciones de terceros países que poseen experiencia y resultados en ese campo (Ej. Vietnam, Cuba, otros).</p> <p>f. Instalar laboratorios especializados en técnicas biotecnológicas para la investigación y multiplicación in vitro de plantas más productivas y resistentes a plagas y enfermedades.</p> <p>g. Desarrollar un programa de mejoramiento genético de variedades de café de alta calidad, alto rendimiento y resistente a la variabilidad climática, con apoyo de las instituciones competentes y las universidades.</p>	<p>Porcentaje de productores que han fortalecido sus capacidades en técnicas modernas, gerencia y administración.</p> <p>Porcentaje en incremento de productividad de las fincas cafetaleras por mejoras tecnológicas e introducción de innovaciones.</p> <p>Porcentaje en incremento de ventas de los productores.</p> <p>Medición de impactos del sistema institucional en el incremento de la productividad de la producción cafetalera.</p> <p>Medición de impactos de los proyectos de colaboración científico-técnico en el mejoramiento de la calidad y productividad del cultivo y producción cafetalera.</p> <p>Porcentaje de fincas cafetaleras de la provincia que alcanzaron la condición de referencia nacional en el cultivo y producción cafetalera.</p> <p>Evaluar la creación de capacidades y superación de técnicos e instituciones en desarrollo tecnológico del sector cafetalero.</p> <p>Porcentaje de variedades creadas con apoyo de las instituciones de investigación, posibles convenios y desarrollo de investigación de las universidades, como es REDUCAFE, Red Universitaria de Investigación y Desarrollo Cafetalero, creada al amparo de la Ley Orgánica de Educación Superior.</p>

<p>h. Desarrollar un programa de mejoramiento genético de variedades de café de alta calidad, alto rendimiento y resistente a la variabilidad climática, con apoyo de las instituciones competentes y las universidades.</p> <p>i. Ampliar las variedades existentes de café para adaptación y validación en las condiciones agroclimáticas en las zonas cafetaleras, con el apoyo de centros internacionales, organismos especializados y las universidades.</p> <p>j. Establecer programas para la entrega de material vegetativo de las mejores variedades e híbridos más tolerantes a roya para su injertación.</p> <p>k. Desarrollar fincas cafetaleras de referencia nacional para la transferencia de tecnologías, prácticas modernas para la producción de semilla y el intercambio de conocimientos entre productores de café.</p>	
---	--

LÍNEA ESTRATÉGICA 8. Impulsar el mercadeo y comercialización, promoviendo el acceso a mercados de cafés especiales.

ACCIONES	Indicadores asociados a la Línea Estratégica
<p>a. Involucrar a los productores en la filosofía de concursos cantonales y regionales, Em- prende-Café y/o la Taza de Excelencia, a fin de promover los emprendimientos y la calidad de los cafés manabitas.</p> <p>b. Desarrollar un programa para la catación de los cafés producidos en las diferentes zonas cafetaleras para la generación del mapa provincial de los perfiles de taza, mejorando el acceso a mercados gourmet.</p> <p>c. Promover asociativamente la utilización de tecnologías de la información, comunicación y aplicaciones móviles, a fin de poner a disposición de las familias productoras información sobre los precios más competitivos del mercado.</p> <p>d. Impulsar ferias cantonales y provinciales, a fin de promover la comercialización de productos y subproductos del café.</p> <p>e. Desarrollar ruedas de negocios con los productores, emprendedores, procesadores y empresarios, a fin de desarrollar alianzas comerciales para mejorar los precios de la producción de café.</p>	<p>Porcentaje de zonas cafetaleras incorporadas al Programa para la catación de los cafés producidos en las diferentes zonas.</p> <p>Evaluar los impactos del mapa provincial de los perfiles de taza, mejorando el acceso a mercados gourmet.</p> <p>Evaluar los impactos de la aplicación de mecanismos y acciones de gestión de mercados y promoción de cafés especiales en la diversificación productiva e incremento de la productividad de la producción cafetalera en la provincia.</p> <p>Porcentajes de productores promoviendo sus emprendimientos de café y subproductos en ferias cantonales, provinciales.</p> <p>Porcentajes de productores participando en ruedas de negocio.</p>

- | | |
|---|--|
| f. Promover la participación de emprendedores y productores de cafés especiales en eventos regionales, nacionales e internacionales, a fin de colocar competitivamente los cafés manabitas en los mercados. | |
|---|--|

Fuente: Elaboración propia.

Ruta estratégica de competencia para el desarrollo socioeconómico del sector en el actual contexto de la crisis

Ante todo, es necesario establecer un conjunto de principios que deben normar y orientar el sistema de nodos que estructuran la ruta estratégica. A tales efectos, los autores asumen el concepto de nodo en el entendido general de puntos (factores o ítems en cuestión) interconectados, que conforman o estructuran el camino o ruta estratégica de competencia, con el propósito de que pueda ser viable la estrategia, en tanto proceso de transformación o renovación del sector cafetalero, en especial en la etapa pospandémica, para el caso de la provincia manabita de Ecuador; de manera que los principios que se sugieren actúen como ciertas normas a seguir, para dar mayor viabilidad al sistema de nodos que estructuran la ruta estratégica propuesta. La ruta de competencia complementa y apoya la estrategia que se propone.

Principios orientadores de la ruta estratégica de competencia.

Los principios que se sugieren se listan a continuación:

- a. El incremento de la calidad del producto es tan importante como el aumento en la cantidad y posiblemente sea más importante.
- b. Toma tiempo lograr una competitividad basada en la calidad. Este proceso recibe apoyo de asociaciones y alianzas estratégicas con el sector privado. Las instituciones nacionales pueden ofrecer apoyo a los productores en la forma de tecnologías apropiadas, asistencia técnica y servicios financieros y de comercialización.
- c. Tener experiencia y resultados en la comercialización nacional de diversos tipos de cafés y derivados de los mismos, es el primer paso hacia el desarrollo exitoso de la comercialización orientada a la exportación.
- d. Los gobiernos cantonales, provinciales y el nacional apoyan la diversificación, facilitando mecanismos atractivos para la inversión en el sector, tanto para inversores nacionales como extranjeros.

- e. Las inversiones públicas en capital humano y estructuras de apoyo (educación, capacitación, salud, agua, sanidad, infraestructura rural e investigación y extensión), resultan imprescindibles.
- f. La producción, el financiamiento, el procesamiento y la comercialización, pueden estar principalmente en manos del sector privado, pero las políticas públicas deben facilitarlas.
- g. Los productores cafetaleros, que en gran medida son pequeños y medianos, no pueden asumir todos los riesgos que acarrear los procesos productivos y el camino de la diversificación. El gobierno debe brindar incentivos para la investigación y el análisis conjunto, la asistencia técnica y de mercadotecnia.
- h. El sector público debe enfocar sus esfuerzos en proveer infraestructura de transporte y comunicaciones, infraestructura de comercialización, servicios de control de calidad, de información de mercado y asistencia en la promoción de nuevos productos cafeteros y de su comercio.
- i. La investigación y la extensión enfocadas en el agricultor son importantes para la adopción de métodos apropiados de producción sostenible por parte de los pequeños caficultores.
- j. Un entorno de política macroeconómica adecuada es esencial para dar sostenibilidad a toda estrategia de desarrollo socioeconómico del sector cafetalero.

Ruta de competencia estratégica del sector cafetalero

En medio de la actual crisis económica y los consecuentes impactos de la crisis sanitaria, los actores económicos, políticos e institucionales del sector cafetalero, alcanzan mayor conciencia de sus efectos para la estabilidad y desarrollo de la actividad cafetalera en todos sus eslabones, por lo que es de esperar cambios de actitudes y procederes; los mismos que ya se hacen visibles dentro del sistema, pero que necesitan ser reforzados respecto a las pequeñas y medianas empresas de productores y a sus trabajadores, con relación a la estabilidad de sus ingresos y gastos vinculados, por ejemplo, con el sistema productivo, comercio, transporte, almacenamiento, procesamiento, servicios financieros y ventas.

En tal contexto, urge el acercamiento y la cooperación entre los productores y asociaciones cafetaleras y las instituciones públicas y privadas

en diversos ámbitos interconectados, para hacer efectiva en competencia o capacidades todo el sistema cafetalero, y poder llevar el mismo al lugar que años atrás tenía en la estructura socioeconómica, tanto a nivel nacional como provincial.

La ruta estratégica de competencia, permite visualizar y comprender los nodos principales a tener en cuenta en toda la madeja del sistema agroindustrial cafetalero con miras a su transformación y resiliencia, en concordancia con el papel que deberían desempeñar los actores públicos y privados para el caso ecuatoriano, en medio de la múltiple crisis que padece la economía y la sociedad en general.

Las acciones nodales deben ser concebidas y diseñadas de manera que se combinen en el corto, mediano y largo plazos con mucho tino y uso del método científico, con miras a ir perfeccionando de manera progresiva todos los procesos de gestión en el sector agroindustrial cafetalero; por lo que, a tales propósitos, se deben establecer lazos colaborativos con académicos y centros de investigación pertinentes. Dentro de los nodos o puntos determinantes de la ruta se proponen los siguientes:

- a. **Desarrollo tecnológico e innovación**, más que transferencia de tecnología: dada la situación del sector en la provincia y el país, además de las demandas que para la mejora de la competitividad tiene el desarrollo científico técnico en la actualidad, las unidades agrícolas y demás actores del sistema agroindustrial cafetalero, requieren de tecnologías y técnicas específicas a cada lugar, por lo que al parecer resulta más efectivo que desde las asociaciones e instituciones de gobiernos se empujen los procesos de innovación, particularmente en sistemas productivos sostenibles, manejo de cultivos, proceso poscosecha, empaçado, almacenamiento, etc.
- b. **Financiamiento público y privado**: el café manabita ha sido históricamente de calidad, por lo que las potencialidades de producir y comercializar un buen café existen, particularmente la variedad de arábigo. Ambos tipos de financiamientos son necesarios, pero podrían focalizarse de manera diferenciada, según los destinos del mismo, sea para inversión directa en la producción, para capacitación, infraestructura o para I+D+i. Se deben ponderar adecuadamente financiamientos de corto, mediano y más largo plazos y tasas de interés ajustadas racionalmente a la situación de crisis económica y pandémica combinadas, en correspondencia con las restricciones

financieras que padecen los productores y otros actores. Asimismo, es necesario garantizar que se disponga de los fondos necesarios, que reúnan las condiciones apropiadas para diferentes tipos de agricultores y asociaciones de agricultores.

Tanto al sector público como al privado, les interesa el despegue y desarrollo sostenible del sector agroindustrial cafetalero, debido a las conexiones y efectos de input-output que tiene el mismo en la estructura socioeconómica del país y de los territorios; de manera que deberán armonizarse intereses y decisiones por el bien común y buscar, junto a las asociaciones cafetaleras, nichos de financiamientos en entidades y organizaciones internacionales vinculadas con la ayuda al desarrollo, así como otras fuentes, por ejemplo, la creación de proyectos de desarrollo cafetalero con entidades bancarias y otras organizaciones que posean condiciones y estén dispuestas a hacerlo.

- d. Desarrollo de infraestructura: existen problemas de infraestructura tanto en los sistemas productivos propiamente dichos como en otras instalaciones necesarias y vías de comunicación. Es preciso realizar estudios sobre eficiencia en la logística de la cadena en función de ahorro de costos y el despegue productivo, y en concordancia con el ítem b) promover las inversiones públicas y privadas combinadas, teniendo en cuenta que el desarrollo de la infraestructura es base esencial para el progreso en cualquier ámbito de la economía y la sociedad de un país.
- e. Empuje de conocimientos especializados: incluso estando disponible y ser apropiada la tecnología, y con todas las instalaciones y los servicios de apoyo funcionando, persiste la necesidad de contar con capital humano que sea portador de destrezas y capacidad de emprendimiento y en permanente proceso de capacitación para gestionar el negocio con eficacia. En este sentido, y a todas luces, se encuentran en desventaja los pequeños y medianos productores, por lo general con menos educación y otras restricciones concomitantes. Ellos deben ser el centro de la formación y capacitación, además porque constituyen un eslabón esencial en la estructura socioproductiva del país y de sus territorios cafetaleros.
- f. Dar prioridad al mercado y atender sus señales: a partir de los estudios de mercado, ver el comportamiento de los productores directos, con atención igualmente a la logística, el sentido de oportunidad, las perspectivas técnicas, empresariales y culturales, que son inherentes

al comercio; unido al desarrollo de la asociatividad y la capacitación de los productores y de otros actores, de suma importancia, tanto para el mercado nacional como para el de exportación. El mercado, por su propia naturaleza, genera en los actores actitudes egoístas motivadas por la competitividad; sin embargo, en las condiciones pandémicas y pospandémicas, es necesario más que nunca la cooperación y complementariedad de intereses, de manera que, en tales situaciones, prevalezca el interés colectivo y social.

- g. Sostenibilidad de las iniciativas de diversificación: es necesario emprender esfuerzos de diversificación sostenibles, en la producción y comercialización de tipos de cafés y derivados de los mismos, pero no solo como respuesta de corto plazo ante las crisis de cualquier tipo. La diversificación no puede ser un sistema de respuesta ante emergencias, sino que debe ser concebida y desarrollada como un proceso orgánico e innovador, pero además sostenible en el tiempo y sustentable económicamente.

Por ejemplo, las acciones coyunturales que vienen llevando a cabo los productores más emprendedores, enfocadas a la diversificación ante las afectaciones de la pandemia, en cuanto a producir y vender productos derivados del café, como sal parrillera, licor de café, jabones, cremas, ambientadores y otros, deberían estudiarse más adelante e incluirse en sus estrategias productivas y comerciales, hasta llegar a ser parte de la canasta de sus salidas como algo natural, tanto como su producto principal.

Conclusiones

- En Ecuador, la agroindustria cafetalera hace parte importante de la estructura económica y social del país, pero evidencia dificultades en su desarrollo debido a varios factores generales determinantes, como son: los impactos de la crisis económica mundial, los efectos de la pandemia y el manejo desacertado de las políticas económicas por parte de las instituciones gubernamentales, lo que se hace evidente en el comportamiento de los indicadores económico-sociales que ha mostrado el país en los años recientes.
- El análisis teórico e instrumental realizado revela que los diversos problemas detectados en el sector agroindustrial cafetalero de la provincia de Manabí, se deben a varios factores combinados, entre ellos: insuficientes empujes productivos hacia la innovación, persistencia

Referencias bibliográficas

- Badii, M. H., Guillen, A., Cerna, E., & Valenzuela, J. (2011). Nociones introductorias de muestreo estadístico. *Revista Daena (International Journal of Good Conscience)*, 6(1). <http://www.spentamexico.org/v6-n1/89a105.pdf>
- Banco Central de Ecuador. (2021). Reporte de Comercio Exterior, Año 2 N.o 1, Primera Edición, 2021, Cámara de Comercio de Quito, Ecuador, <http://www.ccq.ec>. [Fecha de consulta: 18 de abril de 2021].
- Banco Central de Ecuador. (2021a). Participación porcentual de los principales productos de exportación FOB. Disponible en: <https://contenido.bce.fin.ec/home1/estadisticas/bolmensual/IEmensual.jsp> [Fecha de consulta: 10 de agosto de 2021]
- Basic, (2019). *Café: La historia de un éxito que oculta una crisis. Estudio de sostenibilidad de la cadena productiva del café. Síntesis.* Commerce equitable france, Basic, the repenser les filières collective y Max have-laar france. Cuaderno de Comercio Justo, Número 11. Disponible en www.comerciojusto.org
- Brassel, F. *et al.* (2008). “¿Reforma Agraria en el Ecuador?: viejos temas, nuevos argumentos”. Sistema de Investigación sobre la Problemática Agraria en el Ecuador (SIPAE) Quito, ISBN: 978-9942-01-874-8, <http://www.sipae.com>
- Duicela, L. A. (2016). “Investigación y desarrollo cafetalero: situación actual y perspectivas”. En artículos in extenso. *Revista Espamciencia*, 7(1). <https://issuu.com/espammf10/docs/vol7n1>
- García, J. (2021). *La cuestión agraria en el modelo económico social de desarrollo socialista en Cuba. Crítica de la Economía Política.* Editorial Feijóo, Universidad Central de Las Villas, ISBN 978-959-312-465-2
- Instituto Nacional de Estadística y Censos. (2020b). Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua, ESPAC <http://www.ecuadorencifras.gob.ec/institucional/home/>
- Lema, C. (2019). Informe de rendimientos objetivos: café grano oro. Dirección de Análisis de la Información Agropecuaria Sistema de Información Pública Agropecuaria (SIPA), Ministerio de Agricultura y Ganadería, Ecuador. <https://fliphtml5.com/ijia/aphb/basic>

- Loor C, P, Alonso A, A, & Pérez P, M. (2019). Relaciones agrarias en América Latina, especialmente en Ecuador. *Economía y Desarrollo*, 162 (2), http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0252-85842019000200016&lng=es&tlng=en
- Mero, K. y Muñoz, R. (2019). Desarrollo socioeconómico de la provincia de Manabí: importancia y retos del sector cafetalero, que he tenido ante mí, publicado en forma de monografía. Editorial Samuel Feijoo ISBN 978-959-312-372-3
- Mero, K. y Muñoz, R. (2018). “Economía política del desarrollo: claves el sector cafetalero para el desarrollo territorial de Manabí, Ecuador”. Observatorio de la Economía Latinoamericana. *Revista EUMED.NET* ISSN: 1696 - 8352) Disponible URL en: <https://www.eumed.net/rev/oel/2018/11/sector-cafetalero-ecuador.html>
- Mero, K. y Muñoz, R. (2020). “El sector cafetalero a nivel mundial y sus principales determinantes socioeconómicos”. *Revista Cubana de Ciencias Económicas EKOTEMAS*, Vol. 6, N.º 2, pp. 27-41. ISSN: 2414 – 468 Disponible URL en: <https://ekotemas-staging.dofleinissoftware.com/index.php/ekotemas/article/view/15>
- Montesdoeca, D. y Ramos, M. (2021) “Acceso a la tierra en el Ecuador. A partir de sus políticas públicas más recientes”. *Iniciativa sobre la desigualdad de la tierra, Documentos de Soluciones*, ISSN: 978-92-95105-62-2 <http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0>
- Organización Internacional del Café. (2020). “Efectos de la COVID-19 en el sector mundial del café: Encuesta de los miembros exportadores de la OIC”. *Serie Coffee Break* No. 3. junio 2020. <http://www.ico.org> [Fecha de consulta: 10 de marzo de 2021].
- Organización Internacional del Café (2021). “Informe del mercado de café-febrero de 2021”, Disponible en <http://www.ico.org> [Fecha de consulta: 13 de septiembre de 2020].
- Pazmiño, C. (2018). “El mundo rural en tiempos de Lenin Moreno”, *Revista Opción*, diciembre 11, <http://www.opción.ec/portal/home>
- Vicuña, L. (2017). *Una década de cambios 2007-2016* (1.a ed.), CONACIP, abril 2017, ISBN 978-9.

INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO DEL CAFÉ ARÁBIGO Y ROBUSTA

Capítulo 5

Ecuador país de los cafés especiales

AUTOR: Ing. Rubén Melquiades Alcívar Murillo, Mg.Sc; Ing. Tomás Robert Fuentes Figueroa, Mg.Sc; Ing. Bolívar Fabián Mendoza Marcillo, Mg.Sc

Resumen

Los cafés especiales, en sentido estricto, son aquellos productos cuyas tazas tienen calificaciones sensoriales ≥ 80 puntos en la normativa de Specialty Coffee Association (SCA). En los diecisiete eventos de competitividad de los cafés arábigos ecuatorianos, expresados en los concursos anuales Taza Dorada, del 2007 al 2023, hubo una amplia participación de caficultores de las distintas provincias del país. El objetivo del estudio fue determinar la evolución de las calificaciones sensoriales por territorio y realizar un pronóstico del comportamiento sensorial futuro de los cafés finos. Los resultados del estudio indican que el Ecuador tiene un amplio territorio, en 19 de las 24 provincias, con aptitud agroecológica para producir cafés diferenciados, con distinción de calidad sensorial, sistema de producción, pueblo y nacionalidad involucrada en los procesos precosecha, poscosecha y comercialización. Los cafés de Loja han ocupado el primer lugar en 12 de los 17 años de concurso. Los cafés de Pichincha (2), Zamora Chinchipe (2) y Chimborazo (1), también se destacan como territorios de cafés finos. El café de Loja, del caficultor Servio Gonzales Jiménez del cantón Quilanga ha obtenido la más alta calificación sensorial, con 92,65 puntos con la variedad geisha, cultivado en la finca Clara Luz. Las variedades caturra, típica, bourbon y en estos últimos concursos con la variedad geisha, tienen mayores frecuencias en puntajes sensoriales comparados con los otros cultivares individuales y mezclas.

Introducción

El café es la bebida más consumida en el mundo, después del agua, que se prepara tostando y moliendo las semillas provenientes de plantas de varias especies del género *Coffea*, principalmente de arábica y robusta. Se cultiva café arábigo en 19 de las 24 provincias del país: Azuay, Bolívar, Carchi, Chimborazo, Cotopaxi, Cañar, El Oro, Esmeraldas, Guayas, Imbabura, Loja, Los Ríos, Manabí, Morona Santiago, Pastaza, Pichincha, Santo Domingo, Zamora y Galápagos. Se reconoce que, actualmente, el sector cafetalero ecuatoriano atraviesa una profunda crisis de producción y de precios (Ponce, 2018), donde, definitivamente, no existe reales posibilidades de competir en el mercado global con altos volúmenes de producción exportable de cafés corrientes, procedentes de Brasil, Perú, Colombia, Honduras, Guatemala y Costa Rica, entre otros países latinoamericanos. El Ecuador sí tiene la oportunidad de desarrollar sus capacidades de oferta de cafés finos e incursionar con intensidad en los selectos nichos de los cafés especiales (Jiménez, 2014).

⁷Categoría usada por International Trade Center (ITC) para segmentar los nichos de café especial.

En la actualidad, en el mercado global, los cafés diferenciados han adquirido relevante importancia por la calidad sensorial, aunque prevalecen los cafés convencionales. El café convencional se usa para la elaboración de solubles, granulados, liofilizados y los precios del mercado están expuesto a una gran volatilidad, que se negocian a nivel de las Bolsas de Nueva York (para los arábigos) y de Londres (para café robusta). Los cafés diferenciados satisfacen una demanda especializada en función de una o más características de interés como: sistema de producción (orgánica, bajo sombra, amigable con las aves, de bosques tropicales), método de procesamiento (lavados, semilavados o naturales), calidad sensorial (estándar de Specialty Coffee Association [SCA]), por el origen geográfico (de valor ecológico o histórico), grupo humano integrado en la producción y transformación (identidad de los pueblos nativos, etnias o de género), por ser productos inocuos (sin contaminantes físicos, químicos o biológicos), además de aquellos que se basan en los principios de solidaridad y justicia en los negocios (comercio justo).

Los cafés especiales, en sentido estricto, son aquellos productos cuyas tazas tienen calificaciones sensoriales ≥ 80 puntos en la escala SCA. En la actualidad, los pequeños tostadores, tiendas especializadas y cafeterías selectas, principalmente de Japón, Corea, Taiwán, Estados Unidos, Reino Unido y Australia, promueven el consumo de los cafés de “calidad ejemplar” de taza fina o única, de disponibilidad limitada, identificados directamente en los países, comunidades cafetaleras y fincas específicas, con puntajes sensoriales > 85 en la escala SCA. En este escenario, la compra-venta de “microlotes”, de 5, 10 o 20 sacos de café, se está constituyendo en una estrategia de negocios de los pequeños productores (Jiménez, 2014, p. 30).

La calificación sensorial del café valora la calidad organoléptica en base a la valoración de un conjunto de 10 atributos sensoriales que se manifiestan en la taza que hacen los expertos catadores, en un panel específico, usando estándares internacionalmente aceptados. Jiménez (2016) da una definición de café especial, como aquel que, por sus atributos especiales, el consumidor está dispuesto a pagar un mayor precio que el común de los cafés. Para considerarse a un café como especial, según la Asociación de Cafés Especiales de América (SCA: siglas en inglés). La taza debe tener una calificación sensorial ≥ 80 puntos (SCA, 2020). La calidad sensorial es de naturaleza compleja y depende de los factores genéticos, ambientales y de manejo en precosecha y poscosecha. El factor genético se refiere a las variedades o híbridos cultivados.

El factor ambiental se refiere a los elementos edafoclimáticos, como: las características físicas, químicas y biológicas del suelo; los elementos del cli-

ma (precipitación, temperatura, humedad relativa, evapotranspiración, heliofania, nubosidad) y posición geográfica de la zona de cultivo (latitud, longitud y altitud). El manejo se refiere a la capacidad, habilidad y destreza del caficultor para gestionar los recursos naturales, financieros y técnicos en procura de asegurar la eficiencia de la producción y transformación primaria. El manejo involucra la precosecha y poscosecha (Duicela, Farfán y Velázquez, 2016).

Organizadores

Los diecisiete (17) eventos de competitividad de los cafés arábigos ecuatorianos, del 2007 al 2023, fueron organizados por la Asociación Nacional de Exportadores de Café (ANECAFÉ), donde hubo una amplia participación de caficultores de las distintas provincias del país.

En el estudio se consideran los 10 primeros lugares (top-ten), de cada una de las diecisiete ediciones de los concursos “Taza Dorada” de café arábigo (en el 2008 se valoraron los nueve primeros puntajes), lo que significa que se analizan los puntajes sensoriales de ciento sesenta y nueve (169) lotes de café especiales, que obtuvieron los mayores puntajes sensoriales (ANECAFÉ, 2023).

Los cafés arábigos que participan en los concursos son valorados por catadores a dos niveles: el primero a un panel de catadores nacionales, integrado por expertos catadores acreditados por QCI y luego, los cafés preseleccionados son evaluados por un panel de expertos catadores internacionales, usando la normativa SCA (2020).

Concurso Taza Dorada 2023, Desarrollado Fuera del País

El sábado 18 de noviembre de 2023 se realizó la edición diecisiete (17). La segunda fase de la competencia internacional del concurso Taza Dorada se realizó en las instalaciones del The Graycliff Banquet Hall, New Jersey, Estados Unidos, con el apoyo de United Project Global (UPG), obteniendo el primer lugar la productora María del Pilar Burneo de la provincia de Loja con una puntuación de 91,50 puntos con la variedad geisha, el cual fue subastado en 45,00 dólares la libra; adquirido por una empresa estadounidense.

Los 10 atributos organolépticos que valoran los catadores son:

Fragancia/aroma (FR/AR).- La valoración olfativa del café molido en seco, sin adición de agua, se identifica como fragancia, mientras que aroma es la impresión olfativa del café luego de añadir agua a 93 oC sobre el café molido.

Sabor (SA).- Es la combinación de atributos gustativos percibidos en la bebida.

Sabor residual (SR).- Es la sensación que queda en el paladar luego de degustar la bebida.

Acidez (AC).- Es la percepción de soluciones diluidas de los ácidos cítrico, tartárico u otros, que se siente al degustar la bebida.

Cuerpo (CU).- Es la sensación de sólidos solubles en la infusión, percibidas y persistentes la boca.

Uniformidad (UN).- Es la no variación del gusto entre una taza y otra.

Balance (BA).- Es una sensación de equilibrio que denota interacción y complementariedad entre sabor, sabor residual, acidez y cuerpo.

Limpidez (TL).- Taza limpia o limpidez es la ausencia de contaminación con olores o sabores extraños en la bebida.

Dulzor (DU).- Es la sensación del sabor dulce percibido por la presencia de ciertos carbohidratos, principalmente fructosa, en la bebida.

Puntaje del catador (PCAT).- Es la calificación directa que otorga el evaluador a una bebida, según su particular criterio.

Evaluación sensorial (EVSEN).- Es la suma de las valoraciones parciales de los 10 atributos. Si hubiera defectos en la bebida, a la suma total se restan de dos a cuatro puntos por taza defectuosa (se valoran cinco tazas por muestra).

Las calificaciones sensoriales <80 puntos indican que los cafés no son especiales, los cafés con puntajes de 80,0 a 84,99 se califican como muy buenos, los cafés con puntajes de 85 a 89,99 se categorizan como excelentes y los cafés con puntajes de 90 a 100 puntos se identifican como excepcionales (SCAA, 2020).

El análisis estadístico se basó en la descripción de los mejores 10 cafés arábigos ganadores de los concursos anuales y usando la técnica de pronóstico ETS, se hizo la previsión del comportamiento sensorial hasta el 2025. El método predice un valor futuro con base en valores históricos mediante el algoritmo de suavizado exponencial triple (ETS). El valor pronosticado es una continuación de los valores históricos de la fecha de destino especificada, que debería ser la continuación de la línea de tiempo.

Resultados de los Diferentes Concursos Taza Dorada

Los 169 cafés mejor puntuados de los 17 años de concurso, se distribuyen en 11 provincias, destacándose que en el 2007, 2008 y 2011 hubo participación de empresas del café (tabla 1). En el 2007, de los diez mejores

.....

puntajes (top ten), 6 corresponden a Loja, 1 a Imbabura, 1 a Manabí y 2 a empresas del café.

En el 2008, de los 10 mejores cafés, a Loja pertenecieron 3 cafés, 1 a Manabí, 1 a Galápagos y 4 a empresas. En el 2011, los 10 mejores cafés tuvieron como ganadores a las empresas. Los cafés de Manabí estuvieron calificados entre los mejores 10 cafés en los años 2007, 2008 y 2012. Cabe señalar que, en Manabí, se cultiva café debajo de los 800 m s.n.m. (Duicela, Farfán y Velázquez, 2016), mientras que en otras provincias se cultivan en localidades de mayor altura.

A Loja corresponde el 50,30% de los 167 cafés “top ten”; a Pichincha el 16,00%; a Zamora Chinchipe el 10,1%; a empresas el 9,5%; a Chimborazo el 5,9%; a Imbabura el 3,0%; a Azuay el 1,2%; a Manabí el 1,8% y a las provincias de Carchi, Galápagos, Guayas y Napo el 0,6%.

Tabla 14.

Distribución territorial de los 10 mejores cafés arábigos, concurso “Taza Dorada”.

Años	Azuay	Carchi	Chimborazo	Galápagos	Guayas	Imbabura	Loja	Manabí	Pichincha	Zamora Chinchipe	Napo	Empresas	Mjores puntajes	Provincia ganadora del con-curso	Ganador del con-curso Taza Dorada Ecuador
2007						1	6	1				2	10	Loja	Aso. El Colmenar
2008			1				3	1				4	9	Loja	PROCAFEQ
2009						1	8			1			10	Loja	Jorge Encalada
2010				1			5		1	3			10	Zamora	Cosmel Merino
2011											10		10	Loja	Angelino Abad
2012							5	1	1	3			10	Zamora	APECAP
2013	1						6		3	3			10	Loja	Angelino Abad
2014							6		3	1			10	Loja	Elizabeth Rios
2015						1	4		2	3			10	Loja	Richard Grandia
2016	1		1				5		1	1			10	Loja	Servio Partdo
2017	1		1				4		4				10	Chimborazo	Colón Merino
2018		2				1	1		5	1			10	Pichincha	Henry Galbor
2019		3					4		3				10	Loja	Olinka Vélez
2020							5		3	1	1		10	Loja	Ramiro Coronel
2021		1					8		1				10	Pichincha	Galo Morales
2022		1					8		1				10	Loja	Servio Gonzales
2023		1					7		2				10	Loja	María Del Pilar Burneo
Total	2	1	10	1		5	85	3	27	17	1	16	169		

Los puntajes sensoriales más altos, con los estándares de la Asociación de Cafés Especiales (SCAA: siglas en inglés), en los concursos “Taza Dorada” ha evolucionado positivamente, en el 2007 el puntaje sensorial más alto 82,00 y en 2022 alcanzó el puntaje de 92,65, café de Servio Gonzales, provincia de Loja (tabla 2).

Tabla 15.

Puntajes sensoriales más altos de los cafés arábigos ganadores de los Concursos “Taza Dorada”: 2007-2023.

Años	Azuay	Carchi	Chimborazo	Galápagos	Guayas	Imbabura	Loja	Manabí	Pichincha	Zamora Chinchipe	Napo	Empresas	Ganador del concurso Taza Dorada Ecuador
2007			70,8			82,0	65,5					75,8	Aso. El Colmenar
2008				74,9		82,6	73,2					80,9	PROCAFEQ
2009					79,6	84,6				82,7			Jorge Encalada
2010					81,7	84,3		83,8		86,7			Cosmel Merino
2011						84,9							Angelino Abad
2012						86,5	84,6	85,7		87,7			APECAP
2013		85,5				87				86,1			Angelino Abad
2014						89,2		88,4		88			Elizabeth Ríos
2015						86,6	88,1	86,5	86,9				Richard Grandia
2016	90,3		88,6			87,2	90,5	85,8	87				Servio Pardo
2017	87,1		89,5			89,2		88,7					Colón Merino
2018			88			87,3	89,3	90,1	88,3				Henry Gaibor
2019						91,2							Olinka Vélez
2020						90,6					88,7		Ramiro Coronel
2021								91,0					Galo Morales
2022						92,7							Servio Gonzales
2023						91,5							María Del Pilar Burneo

Nota: En negrilla se indican los puntajes sensoriales más altos.

En la **figura 9** se exponen los puntajes máximos y mínimos de los 10 mejores cafés entre el 2007 y el 2023 (ANECAFÉ, 2024). La evolución progresiva de las calificaciones sensoriales es un indicativo de la mejora continua de la calidad de los cafés especiales ecuatorianos.

Hasta el concurso Taza Dorada de café arábigo 2023, se ha evidenciado veinte cafés con puntajes superiores a los 90 puntos SCA:

En el año **2016**, el café de Servio Pardo (Calvas, Loja) con 90,45 puntos, con la variedad caturra, el café de Santa Isabel de Gustavo Landívar (Azuay) con 90,30 puntos con la variedad típica.

En el año **2018**, el café del noroccidente de Pichincha de Henry Gaibor con 90,06 puntos con la variedad típica.

En el año **2019**, el café de Olinka Vélez (Loja) con 91,17 puntos, el café de Diana Vélez Rodríguez (Loja) con 90,17 puntos y Chi Cheng Lee Chen de Pichincha con 90,31 puntos.

En el año **2020**, el café de Ramiro Coronel (Loja) con 90,59 puntos y el café de Manuel Romero Sánchez con 90,19 puntos.

En el año **2021**, el café de Galo Morales (Pichincha) con 91,04 puntos con la variedad típica sidra, el café de Servio Gonzales con 90,86 puntos de Loja con la variedad geisha, el café de María del Pilar Burneo de Loja con 90,36 puntos con la variedad geisha y el café de Servio Gonzales de Loja con 90,25 puntos con la variedad geisha.

En el año 2022 los cafés que tuvieron más de 90 puntos fueron: el café de Servio González de Quilanga (Loja), con 92,65 puntos con la variedad geisha; el café de Galo Morales de Pichincha con 92,10 puntos con la variedad típica-sidra; el café de Fabricio Coronel con 91,47 puntos con la variedad sidra; el café de José Luis Eguiguren con 90,55 puntos con la variedad sidra-SL29; el café de la familia Moreno con 90,50 puntos con la variedad sidra; el café de Chocovilcamundo con 90,40 puntos con la variedad geisha, y el café de Leónidas Jaramillo con 90,05 puntos con la variedad San Salvador

En el año **2023**, el café de María del Pilar Burneo con 91,50 puntos con la variedad geisha y el café de la familia Morales Rivera con 90,13 puntos con la variedad geisha.

Figura 9.

Calificaciones sensoriales, más altos y más bajos, en la escala SCA de los concursos "Taza Dorada" 2007-2023.

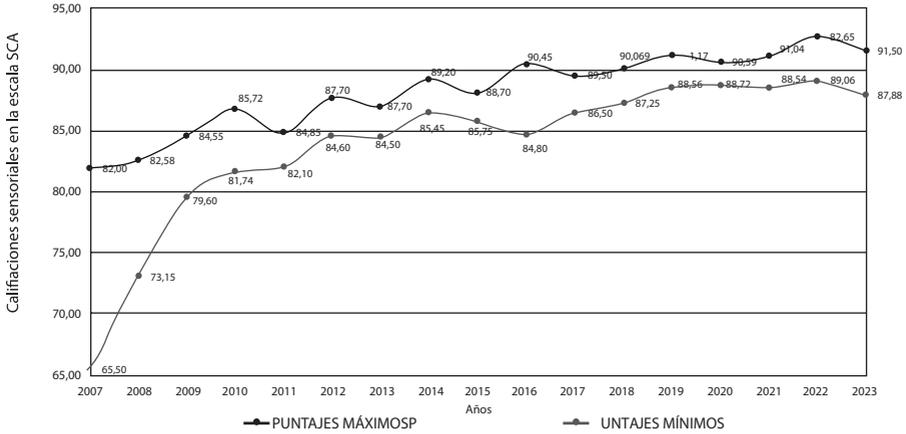
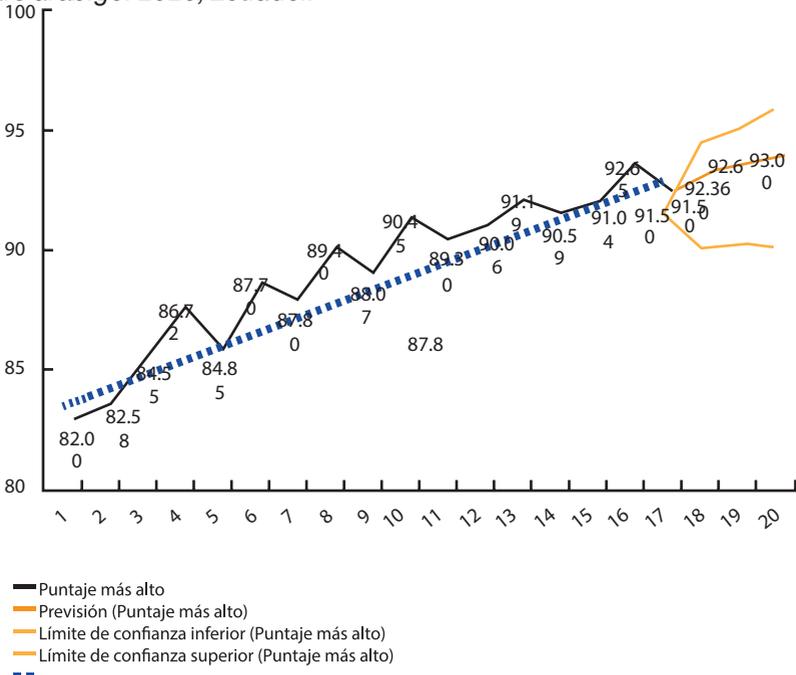


Figura 10.

Proyección de los puntajes sensorial más altos en los concursos Taza Dorada de café arábigo: 2026, Ecuador.



En cuanto a las variedades y los puntajes sensoriales, se determinó que Caturra, Típica y Bourbonn tuvieron mayores frecuencias, entre los 10 mejores cafés arábigos ganadores de los concursos Taza Dorada, Ecuador. Sin embargo, no se evidencia diferenciación en la calidad de taza en función de la variedad. Según Díaz y Perdomo (2015), “es más importante controlar aspectos de campo, cosecha y beneficiado que la variedad de café utilizada”. En un estudio en Manabí se determinó que las variedades Típica, Caturra, Bourbonn y Sarchimor dan calidades organolépticas estadísticamente iguales (Duicela, Farfán y Velázquez, 2016).

En un estudio de mercado de los cafés ecuatorianos (Jiménez, 2016), se destaca la potencialidad de los cafés de “calidad ejemplar” que se definen como aquellos que tienen un alto valor intrínseco con una taza fina o única, usualmente de limitada disponibilidad, vendidos bajo nombres específicos de fincas u orígenes.

Por otra parte, en todos los casos, los cafés arábigos ganadores de los concursos Taza Dorada muestran interesantes saborizados naturales, principalmente achocolatados, con gusto a manzana verde y frutas tropicales, de fragancia cítrica y a florales (ANECAFÉ, 2021), que los convierten en cafés finos (Duicela, Farfán y Velázquez, 2016).

Se dispone de territorios con aptitud agroecológica, comunidades cafetaleras, asociaciones de caficultores y productores que promueven la competitividad como una práctica cotidiana, se acumula experiencias en procesos de producción y poscosecha y se constata la voluntad de avanzar hacia la excelencia en cafés diferenciados.

Las evidencias de los resultados de las diecisiete (17) ediciones de los Concursos “Taza Dorada” café arábigo, permiten arribar a las siguientes conclusiones:

- El Ecuador tiene un amplio territorio, en 19 de las 24 provincias, con aptitud agroecológica para producir cafés diferenciados, con distinción de calidad sensorial, sistema de producción, pueblo y nacionalidad involucrada en los procesos precosecha, poscosecha y comercialización.
- Los cafés de Loja han ocupado el primer lugar en 12 ediciones, de los 17 años de concurso; los cafés de Pichincha y Zamora Chinchipe en dos ediciones y Chimborazo en una edición.

- El café de Loja, Servio González ha obtenido la más alta calificación sensorial, con 92,65 puntos, en el año 2022.
- Las variedades Caturra, Típica y Bourbonn tienen mayores frecuencias en puntajes sensoriales comparados con los otros cultivares individuales y mezclas.

Referencias bibliográficas

- ANECAFÉ (Asociación Nacional de Exportadores de Café, EC). (2023). Taza Dorada. <http://www.anecafe.org.ec>
- Banegas R, KY. (2009). Identificación de las fuentes de variación que tienen efecto sobre la calidad de café (*Coffea arabica*) en los municipios de El Paraíso y Alauca, Honduras (Tesis Magister Scientiae. CATIE). Costa Rica. 58 p.
- CENICAFÉ. (2008). Café variedad Castillo. <http://cafevariedadcastillo.blogspot.com/>
- Díaz, A. L., y Perdomo, A. M. (2015). Caracterización físico-química y sensorial de dos variedades de café (*Coffea arabica*) del occidente de Honduras. <http://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/4565/1/AGI-2015-018.pdf>.
- Duicela G. L. y Sotomayor, H. I. (1993). Principales variedades. En I. Sotomayor (Ed.) Manual del cultivo de café. Quevedo, EC, Estación Experimental Tropical Pichilingue del INIAP. p. 43-48.
- IHCAFÉ (Instituto Hondureño del café). (2003). Variedad IHCAFE. http://econegociosagricolas.com/ena/files/Variedad_con_Resistencia_Genetica_a_los_Nematodos.pdf
- Jiménez, R. (2014). Estudio de mercado y tendencias de las certificaciones agrícolas relevantes para el grano de café ecuatoriano. VECO Andino. Quito, Ecuador. 41 p.
- OIC (Organización Internacional del Café). (2019). Total production by all exporting countries. <http://www.ico.org/prices/po-production.pdf>.
- Ponce, L. (2018). Situación de la caficultura ecuatoriana: perspectivas. Estudios del Desarrollo Social: Cuba y América Latina, 15(1), 307-325.
- PROCAFÉ (Fundación Salvadoreña para investigaciones del café). (2009). Conozca la variedad de café “centroamericano” para la caficultura del futuro. Santa Tecla, El Salvador. 3 p.

.....

SCA (Specialty Coffee Association). (2020). Protocolos de catación. <http://es.scribd.com/doc/251552648/Protocolos-de-catación-de-SCA>

INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO DEL CAFÉ ARÁBIGO Y ROBUSTA

Capítulo 6

Diversidad genética del café arábigo
(*coffea arabica* L.)

Aplicando marcadores microsatélite y
evaluación morfo agronómica en
banco de germoplasma

AUTORES: Ing. Carlos Alberto Castro Piguave, Mg.Sc; Ing. Juan Miguel García Cabrera, Mg.Sc; Ing. Joffre Daniel Pincay Menéndez, Mg.Sc; Ing. Jéssica Jessenia Morán Morán, Mg.Sc; Ing. Jéssica Jessenia Morán Morán, Mg.Sc.

Introducción

Coffea arabica es la especie más cultivada a nivel mundial. Tiene su origen en las tierras altas de Etiopía, en elevaciones que oscilan entre 1.350 a 2.000 m s.n.m. Es un arbusto o árbol pequeño liso y de hojas lustrosas. Las hojas son relativamente pequeñas, pero varían en anchura, promediando de 12 a 15 cm de largo y más o menos 6 cm de ancho, de forma oval o elíptica, acuminadas, cortas, y agudas en la base (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura IICA, 2019).

El café se originó en África, en diferentes regiones geográficas y climáticas. Como grupo botánico está constituido por más de 100 especies de una gran "familia" pertenecientes al género *Coffea*. De acuerdo a la región y clima de origen se desarrollaron diferentes tipos de cafetos, con características genéticas diversas: porte y forma de planta, tamaño y color de fruto, resistencia a enfermedades, tolerancia a plagas, sabor de bebida, adaptabilidad, productividad, entre otras (Velásquez, 2019). El café es una planta tropical que crece entre los 25° de latitud Norte y los 25° de latitud Sur, pero necesita unas condiciones ambientales muy concretas para su cultivo comercial. Son importantes la temperatura, la lluvia, el sol, el viento y el suelo, pero las exigencias son distintas según las variedades que se cultiven (International Coffee Organization, 2020).

El café arábico tuvo su origen en las regiones montañosas del país que ahora es Etiopía, ubicadas entre 1.300 y 2.800 metros de altitud, como vegetación espontánea dentro de los bosques. Con base en registros del clima de Etiopía y de numerosas investigaciones realizadas en diferentes regiones cafetaleras del mundo se establecieron los parámetros que definen las exigencias climáticas del café. El clima influye de manera directa e indirecta en la planta de café y en el suelo principalmente a través de la lluvia, viento, temperatura, humedad relativa y horas de luz (Anzueto, 2020).

En el caso de Latinoamérica, las variedades tradicionales de arábica provienen de semillas de unas pocas plantas del centro de origen en Etiopía. Estas variedades son Típica y Bourbon, quienes han dado origen a otras por medio de mutaciones naturales o por cruzamientos espontáneos e inducidos, como el Caturra, Mundo Novo, Catuaí, Pache, Villa Sarchí, Pacas, Maragogipe, etc. Esta situación explica la estrecha base genética de todas ellas, característica que no les permite tener tolerancia a ciertas plagas o resistencia a ciertas enfermedades, incluida la roya del cafeto (*Hemileia vastatrix*) (Velásquez, 2019). Según el mercado de café, se recomienda las variedades

siguientes: Caturra y Catuaí. También, las variedades introducidas en los últimos 10 años (Lempira, Costa Rica, Obatá, Tupí, Acauá, y Castillo, entre otras) (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura IICA, 2019).

Coffea arabica, es la especie más cultivada en el mundo y aporta aproximadamente el 60% de la producción mundial de café, produce bebida de buena calidad. Dentro de las especies del género *Coffea*, solamente la especie arábica es autógama, es decir, que la flores de estas tienen la capacidad de autopolinizarse, pero siempre podría suceder un máximo del 9% de polinización cruzada o sea la intervención del polen de flores de otras plantas. La autopolinización se debe a que la especie arábica es una planta tetraploide, compuesta de células que contienen el doble de cromosomas que una célula somática normal o sean 92 cromosomas. Esta cantidad se presenta en las células germinales antes de dividirse (Velásquez, 2019).

Un agroecosistema de café, es un ecosistema en el cual interactúan las plantas de café con árboles (sombra, maderables, frutales), arbustos, hierbas (de hoja ancha y hoja angosta), fauna silvestre, insectos, microorganismos, suelo, agua, entre otros elementos y componentes importantes. El café con sombra es un sistema importante que bien manejado genera ingresos a las familias campesinas, pero también garantiza servicios como: la regulación del ciclo hidrológico, conservación de biodiversidad, captura de carbono, protección de suelos ante la erosión, suministro de leña, madera, alimentos y productos no maderables, y valores paisajísticos y de recreación (López, 2020).

Debido a la variabilidad en las precipitaciones y temperaturas extremas, por el cambio climático, los cafetales están siendo más afectados por plagas y enfermedades. Por lo tanto, la productividad, calidad y rentabilidad del cultivo de café están disminuyendo, lo cual genera la urgente necesidad de establecer estrategias para adaptar los cafetales a estos cambios de clima, el cual se presenta menos estacional y predecible. En este contexto, la agroforestería es una alternativa para desarrollar estrategias de adaptación, mitigación y resiliencia, según el acceso que tengan los productores y las comunidades a recursos como semillas o plántones forestales y frutales, abonos, herramientas, mano de obra, etc., y servicios de capacitación y asistencia técnica oportuna (Cabrera *et al.*, 2017).

En los últimos años se ha incrementado la siembra de variedades que tienen resistencia a la roya, como son los Catimores y Sarchimores. Son variedades híbridas que proceden del cruce de dos padres arábigos genéticamente distintos y han servido de base para el desarrollo de las variedades conocidas

comercialmente como Anacafé 90, Catimor T-8667, Costa Rica 95, Lempira, Parainema, Sarchimor, Cuscatleco, Tupi, Geisha, Castillo, Marsellesa, entre otras (Asociación Nacional del Café, Anacafé, 2019).

Ecuador tiene una larga historia caficultora que inició con la introducción del café al país en los años 1800. En el país actualmente hay 16 provincias que cultivan café arábigo, siendo Manabí, Loja, Zamora Chinchipe y El Oro las de mayor superficie sembrada y 11 provincias las que cultivan café robusta, siendo las provincias de Orellana y Sucumbíos las de mayor representatividad en superficie sembrada. Desde que se tiene registro, Ecuador llegó a tener más de 500.000 hectáreas entre 1987 a 1990, llegando a más de 4 millones de quintales anuales producidos en el país en los años 1994 a 1996 (García *et al.*, 2020).

El café es un cultivo perenne, por ende, permanece en su ciclo productivo por al menos 20 años. Establecer una nueva plantación de café es una inversión a largo plazo, que demanda un costo elevado y un alto riesgo para el productor, si no desarrolla las prácticas agronómicas adecuadas (Maximizando Oportunidades en café y Cacao en las Américas (MOCCA), 2022).

El cambio climático ha generado una transformación en la forma en cómo las personas productoras establecen sus cafetales; ahora, ante el cambio y la variabilidad climática, se necesitan de nuevos diseños que permitan reducir el porcentaje de pérdida de plantas durante el proceso de establecimiento, complementándolo con la colocación de sombra provisional, barreras de viento y coberturas de vegetativas, densidades de siembra más espaciadas y cultivos alternativos en el momento de sembrar las plantas de café (Maximizando Oportunidades en café y Cacao en las Américas (MOCCA), 2022). El café arábica es a menudo susceptible a plagas y enfermedades, por lo cual la obtención de resistencia es uno de los principales objetivos de los programas de mejora vegetal. El café arábica se cultiva en toda Latinoamérica, en África Central y Oriental, en la India y un poco en Indonesia (Organización Internacional del Café ICO, 2020).

Materiales y Métodos

A. Materiales

Insumos y equipos principales utilizados en el desarrollo de la investigación.

Insumos	Equipos
Plantas de café	Calibrador
Regla graduada	Flexómetro
Machete	Tarjetas
Alambre	

B. Métodos

Ubicación

La investigación se desarrolló en el cantón Jipijapa, uno de los más grandes y ricos de Manabí, geográficamente ubicado entre las coordenadas 01 grados 10 minutos y 01 grados 47 minutos de latitud sur y entre 80 grados 25 minutos y 80 grados de longitud oeste. Ubicado en la zona sur de Manabí (Alcaldía Jipijapa, 2019).

Límites:

Norte: cantones Montecristi, Portoviejo y Santa Ana

Sur: provincia del Guayas, y el cantón Puerto López

Este: cantones Paján y 24 de Mayo

Oeste: Océano Pacífico

El sitio experimental fue el lote de café de la finca Andil de la UNESUM, ubicada en el sitio Andil de la parroquia y cantón Jipijapa, a un costado de la vía que conduce a la parroquia Noboa del cantón 24 de Mayo.

Factores en estudio

En la fase investigativa se desarrolló un ensayo unifactorial de evaluación molecular y morfo agronómica donde se evaluaron 20 materiales genéticos de café arábigo:

Tratamientos

Factor A: Cultivares
Tratamientos
Catimor 8666 (4-3)
Catuái rojo UFV
Geisha
Bourbón amarillo
Caturra amarillo T-3386
Catimor CIFIC-P2
Catimor CIFIC-P1
Castillo
Arara
Pache
Acawa
Catimor CIFIC-P3
Catucai Amarillo -2 SL
Catimor UFV-5607
Caturra rojo-Pichilingue
Catimor 8664 (2-3)
Catuai amarillo
Sarchimor 4260
Típica
Catucai Rojo 785-15

Metodología de toma de datos para análisis moleculares

Protocolo para la toma y secado de muestras vegetales para extracción de ADN genómico

1. 1. Seleccionar una planta por accesión, genotipo o variedad, o varias en el caso de que se incluyen réplicas.
2. 2. Para cada planta seleccionada, extraer uno o varios chupones, o brotes tiernos, utilizando guantes y evitando manipular el tejido. Procurar que el tejido foliar presente buen estado fitosanitario (estar libres de epífitas y patógenos).
3. 3. Colocar inmediatamente una hoja en bolsa ziplock debidamente identificada con al menos 100 gramos de silicagel (azul preferiblemente). Renovar la silicagel al día siguiente o máximo después de dos (o tres) días hasta obtener tejido completamente seco. En este estado se puede preservar adecuadamente el material biológico hasta realizar la extracción de ADN en laboratorio. Para la extracción se requieren 100 mg de tejido seco.

Notas:

Es muy importante realizar un correcto procedimiento de secado del tejido foliar, esto garantiza la integridad del ADN que se pueda extraer posteriormente.

Las muestras completamente secas y rotuladas se pueden conservar indefinidamente en fundas de papel, preferiblemente en una campana con sílica gel.

Análisis de marcadores microsatélite (SSR) para el QTA-genotyping

Se realizó el genotipado de QTA, con la tecnología M13 Tailing de 20 accesiones de café con 20 marcadores microsatélites en el laboratorio de Biología Molecular de la Estación Experimental Santa Catalina, del Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias y Forestales (INIAF). Los marcadores moleculares utilizados se describen en la tabla 16.

Tabla 16.

Marcadores microsatélites (SSR) codominantes utilizados para el QTA-genotyping de 20 accesiones café del Banco de Germoplasma de la UNESUM.

Nombre	Cebador directo	Cebador reverso	Repetición	Ta (°C)	Amplicon (bp)	Referencia
CaM42	TGGGTCAAGGATCCGTTAAGAAAGA	CCCTCACCAAGTCCCGATGTCAG	(CT)8	55	190	Hendrie <i>et al.</i> (2008)
CaM41	ATGGGGGTGTGGTCTATGTGA	CGCAATTGGCTGTACCTCCG	(GA)4(G)4 (A)27	50	183	Hendrie <i>et al.</i> (2008)
CaM38	GAAGCTGAAGCGGAGGTAGTAAT	CCCATCCACCACCTTCAATTC		55	228	Hendrie <i>et al.</i> (2008)
SSRFca091	CGTCTCGTATCAGCCTCTC	TGTTCCGTGTTCCCTCTCTCT	(G T) 8(GA) 110	56	110	Missio <i>et al.</i> (2011)
CaM17	GGATTCACAAAGTTGGCAGAGC	TGCCGAAGAAGAGGAGATAGTGATG	(CCT)5-87 bp-(CTG)6	57	193	Hendrie <i>et al.</i> (2008)
CaM26	CGAGCTAGAAATGGATGACTTGGTTGG	GTTTGCTGCACCCGCTTCC	(TGGAAAG)5	55	203	Hendrie <i>et al.</i> (2008)
CaM32	GGGTCAAGGATCCGTGAAGAAAGA	CCCTCACCAAGTCCCGATGTCAG	(CT)8	55	191	Hendrie <i>et al.</i> (2008)
CaM55	ATGGGGGTGTCCGGTCTATGTGA	CGCAATTGGCTGTACCTCCG	(GA)4(G)4 (A)27	50	183	Hendrie <i>et al.</i> (2008)
CaM24	GGATTCACAAAGTTGGCAGAGC	TGCCGAAGAAGAGGAGATAGTGATG	(CCT)5-87 bp-(CTG)6	57	193	Hendrie <i>et al.</i> (2008)
CaM22	CCCTCTCTCTCTACTAGATGGTGGT	AACCACCCACGCCACCAATTAAT	(AT)9 (AC)12	55	222	Hendrie <i>et al.</i> (2008)
CaM33	GCGCATTAGGGGTGGAGAA	CAGAGGTTTCTGGTACAGGTGGAGAA	(A)13-5 bp-(AG)18	55	240	Hendrie <i>et al.</i> (2008)
CaM46	GGTGGGTGTTTTTCAGTTGGAGA	AACCACCCACGCCACCAATTAAT	(AT)9 (AC)12	55	222	Hendrie <i>et al.</i> (2008)
CaM40	TTGACACGAAACAGGAAATAATAG	CCCTCCCTCTATGCCCTTT	(CGA)8	55	238	Hendrie <i>et al.</i> (2008)
SSRFca018	GTCTCGTTTCACGCTCTCTC	ATTTTTGGCACGGTATGTTC	(GT)18 (GA)10	57	115	Brandao <i>et al.</i> (2014, 2015), Missio <i>et al.</i> (2009, 2011),
CaM03	CGCGTTTGTCCCTCTGTCTCT	TGGGGGAGGGCGGTGT	(AC)11	57	173	Hendrie <i>et al.</i> (2008), Gelela <i>et al.</i> (2012)
CaM18	CCGACTTGGAGCTGATGCGAAATTA	AAAGCAAAAACCCAGAAAACACGAAGA	(TC)9	57	181	Hendrie <i>et al.</i> (2008)
CaM20	AAGAGTTTGGGATGTCATTTAT	CCGCTAGGCTTTGTTTGG	(TA)7(GT)14	55	178	Hendrie <i>et al.</i> (2008)
CaM49	CCGTTAATACATTTGGTCTTT	ATGACATTTGACTTTGCTATAA	(A)33	55	200	Hendrie <i>et al.</i> (2008)
CaM36	TGGTTTTAGTTTGTATTTTGTATGATGAT	CGAGCCCTCCCTTTGCA	(TTA)7	55	185	Hendrie <i>et al.</i> (2008)
CaM02	CGCCAGCCACAGCCACTTGC	GCGGGGTAGAAAAGGCGGAG	(AGG)7	50	224	Hendrie <i>et al.</i> (2008)

SSR: Secuencias simples repetidas

Extracción de DNA

Se extrajo DNA genómico de cada una de las 20 accesiones. Para las extracciones se utilizó el kit "DNeasy® Plant mini" (Qiagen, Izasa S.A. 69106), que incluye todos los componentes necesarios para la extracción, incluido columnas, buffers y enzimas. La cantidad de material vegetal fresco de partida fue de aproximadamente 100 mg. Los foliolos colectados de cada accesión se trituraron hasta convertirlos en polvo con ayuda de nitrógeno líquido, posteriormente se mezcló vigorosamente con 400 mL de buffer de extracción AP1 que previamente fue calentado en un baño maría a 65 °C y con 4 µL de RNasa A (100 mg/mL). Luego se incubó la mezcla 10 min a 65 °C. Se añadieron 130 µL de buffer AP2, se mezcló mediante vortex y se incubó 5 min en hielo. Pasado este tiempo, la mezcla se centrifugó a 6.000 x g durante 5 min y el sobrenadante se añadió a la columna QIAshredder (color lila). Esta columna se centrifugó a 6.000 x g durante 2 min. El sobrenadante se transfirió a un tubo nuevo y añadieron 1,5 volúmenes del buffer AP3 mezclándose suavemente. Seguidamente, la mezcla se añadió a una columna Dneasy Mini Spin (color blanco) y se centrifugó 1 min a 4.000 x g. Se descartó la fase líquida del tubo y se añadió sobre la misma columna el resto de la mezcla repitiéndose la centrifugación. A continuación, se añadieron 500 µL de buffer AW sobre la columna. Se centrifugó durante 1 min a 8.000 rpm y se descartó la fase líquida. La columna se centrifugó de nuevo para secarse completamente. Finalmente, se añadieron 100 µL de buffer de elución AE precalentado a 65 °C y se incubó 5 min a temperatura ambiente. Posteriormente, se recuperó el ADN centrifugando la muestra a 6.000 x g durante 1 min. Se tomó una alícuota de 1µL de la muestra y se visualizó en un gel de agarosa al 1% (p/v) para comprobar la integridad del ADN.

Cuantificación de ácidos nucleicos

La cuantificación del ADN se realizó mediante la determinación de la absorbancia a 260 µm en el espectrofotómetro (ependorf Biophotometer), lo cual permite el cálculo de la concentración de los ácidos nucleicos en la muestra. Una DO=1 corresponde aproximadamente a 50 µg/ml de ADN de doble cadena, 40 µg/mL del ADN de cadena sencilla y de ARN y 20 µg/mL de oligonucleótidos de cadena sencilla (Valdez-Moctezuma y Kahl 2005). La relación entre la lectura de absorbancia a 260 y 280 nm (DO260/280) aporta una estimación de la pureza de los ácidos nucleicos. Las preparaciones puras del DNA y del RNA tienen valores que van desde 1.8 a 2.0 a (DO260/280), respectivamente.

La concentración de ADN en la solución se calculó con la siguiente fórmula:

$$\text{Concentración de ADN } (\mu\text{g/mL}) = [(\text{DO} \times 100 \text{ (factor de disolución)} \times 50 \mu\text{g/mL}) / 1000]$$

Determinación en geles de agarosa

El grado de degradación del ADN fue estimado por la electroforesis de una alícuota de la muestra en geles de agarosa. El ADN de peso molecular alto apareció como una banda definida en la parte superior del gel a poca distancia de los pozos, mientras que el material parcialmente degradado, formó barrido (parecido a una mancha) de fragmentos pequeños a lo largo del carril haciendo que la definición citada, pierda su nitidez o no se aprecie.

La cantidad de ácidos nucleicos en la muestra fue estimada comparando el campo fluorescente de los mismos respecto a la serie de estándares utilizados como el fago lambda.

Análisis de marcadores SSR

Se analizaron 20 accesiones mediante reacciones de PCR utilizando marcadores o primers SSR (secuencias simples repetidas) específicos diseñados para determinar la diversidad genética en 20 accesiones de café (tabla 17).

Tabla 17.

Reactivos necesarios para la reacción de PCR.

Reactivos	Volumen
dd H ₂ O	2,0 μL
10 x NH ₄ PCR buffer 10x	1,0 μL
MgCl ₂ (50mM)	0,5 μL
dNTPs (2,5mM)	0,8 μL
Primer directo (10 pmol/μ)	0,4 μL
Primer reverso (10 pmol/μ)	0,4 μL
IRD M13 (1 μM)	1,8 μL
Taq DNA polimerasa (5U/μ) (Invitrogen Inc. Barcelona, España)	0,1 μL
Volumen final	7,0 μL
DNA (30 ng)	3,0 μL

Todos los productos de amplificación fueron desarrollados en el termociclador Primus 96 (MWG AG Biotech) usando Taq DNA polimerasa recombinante (Invitrogen Inc. Barcelona, España). Los productos amplificados se

mezclaron con 7 μ L de formamida-loading buffer (98% (v/v) formamida, EDTA 10mM pH 8,0, Azul de bromofenol 0,1% (p/v); Xilenecyanol 0,1% (p/v)). Para la amplificación se utilizó el programa de PCR desarrollado por Ghislain *et al.* (2004) con modificaciones. La mezcla se desnaturalizó en el termociclador durante 8 min a 95 °C, y se enfrió rápidamente en congelador a -20 °C. Posteriormente los fragmentos amplificados se separaron por electroforesis en gel de poliacrilamida al 6% (p/v) y 7M de urea, y se visualizaron en el analizador LICOR (DNA Analyser Gene Reader 4200, LICOR, MWG-Biotech) utilizando su manual.

Todos los productos de amplificación fueron desarrollados en el termociclador 2720 A&B (MWG AG Biotech) usando Taq 1kb Plus DNA Ladder (Invitrogen Inc. Barcelona, España). Para la amplificación se utilizó el programa desarrollado por Gonzales *et al.* (2007), con modificaciones. Posteriormente, los fragmentos amplificados se separaron por electroforesis en gel de agarosa preparado con 0,5 g de agarosa + 0,5 ml de TAE 1x al 1% + 0,5 μ L de bromuro de etidio. Los geles se visualizaron en el transluminador BIORAD utilizando su manual.

Análisis de alelos

Los geles fueron analizados de forma visual, determinando el peso de los fragmentos en pares de bases (pb) amplificados para el QTA-genotyping en referencia a un marcador de peso conocido del fragmento. Los 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 cuadrado (Gabriel *et al.*, 2021) 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 (Missio *et al.*, 2011; Hendre *et al.*, 2007).

Después de haber realizado el análisis molecular de las 20 accesiones de café arábigo del banco de germoplasma de la UNESUM se procedió a realizar la evaluación morfológica y agronómica de cinco accesiones de café seleccionadas por mejor comportamiento en la zona de influencia del estudio que a continuación se detalla:

Factor A: Genotipo de café arábigo

A1: Sarchimor 4260

A2: Acawa

A3: Catimor

A4: Catuaí

A5: Catucaí

1. Tratamiento

Tabla 18.

Tratamientos utilizados en el experimento.

Tratamiento	Genotipo de café arábigo de 48 meses de sembrado	Número de plantas a evaluarse
T1	Sarchimor 4260	20 (5 por tratamiento)
T2	Acawa	20 (5 por tratamiento)
T3	Catimor	20 (5 por tratamiento)
T4	Catuaí	20 (5 por tratamiento)
T5	Catucaí	20 (5 por tratamiento)

2. Delineamiento experimental

Delineamiento experimental	Medidas
Unidades experimentales:	560
Número de repeticiones:	4
Número de tratamientos:	5
Número de plantas por tratamiento:	112
Número de plantas por repetición	28
Número de plantas por hileras	7
Número de plantas útiles por hilera	5
Distanciamiento entre plantas	2.0 m
Distancia entre plantas	1.50 m

Diseño experimental

En el experimento se utilizó un Diseño de Bloque Completamente Aleatorio (DBCA), el mismo que se dividió en 5 tratamientos por cuatro repeticiones aplicado para las variables cuantitativas y para las variables cualitativas fue necesario efectuar Chi cuadrado Pearson, Coeficiente de contingencia Cramer, Coeficiente de contingencia Pearson y Análisis de Componentes Principales.

Análisis estadístico

De acuerdo al análisis estadístico expuesto en el diseño experimental, se aplicó el siguiente análisis de varianza:

Análisis de varianza				
Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F
Repeticiones	r-1=3	SCR	CMR=SCR/r-1	CMR/SCE
Tratamientos	t-1= 4	SCT	CMT=SCT/t-1	CMT/SCE
Error experimental	t(r-1)= 12	SCE	CME=SCE/tr-1=s ²	
Total	rt - 1= 19	SCTotal		

Modelo aditivo lineal

El lugar de experimentación del trabajo investigativo se efectuó en Diseño de Bloque Completamente Aleatorio (DBCA), el mismo que se analizó de acuerdo al siguiente modelo aditivo lineal (Gabriel *et al.*, 2021).

$$Y_{ijk} = \mu m + \beta_i + \pi_j + \sum_{ijk}$$

Donde:

Y_{ijk} = Características del experimento

β_i = Efecto del Bloque i

π_j = Efecto tratamiento del j

\sum_{ij} = Error experimental

Análisis funcional

La comparación de las medias se realizó mediante la prueba de Tukey al 0,05% de probabilidades, a través del software estadístico Infostat, cuya prueba se realizó en función de los resultados obtenidos con la aplicación del ANOVA, lo cual permitió conocer si existe significancia o no entre tratamientos.

Método de Tukey

Se aplicó cuando los tratamientos son igualmente repetidos, se calcula la estadística de la diferencia honesta (DSH)

$$DSH = q_{\alpha,t,\eta} \sqrt{\frac{S^2}{r}}$$

Donde:

α = nivel de significancia

η = gl Error = (r-1) (t-1) gl de S2.

S²= CME

t= Bloques completos

VARIABLES EVALUADAS

Genotipos de café seleccionados y evaluados morfo agronómicamente

Sarchimor 4260

Los Sarchimores, se originaron del cruce del Híbrido de Timor CIFC 832/2 (resistente a roya) y plantas de la variedad Villa Sarchí. De este cruce se derivaron progenies que originaron variedades con características estables en diferentes países. En Brasil el lapar 59, Tupí y Obatá; en Honduras el Parainema; en El Salvador El Cuscatleco; en Nicaragua el Marsellesa. Se le llama simplemente Sarchimor cuando se desconoce su procedencia. Los Sarchimores, son plantas de porte bajo, brote verde o bronce, vigor y producción alta, bien adaptado en zonas de baja y media altitud y buena taza. Dentro de estos materiales hay variedades prometedoras por su adaptación agronómica, tamaño de grano y calidad de taza, en algunos casos superiores a los Catimores (Velásquez, 2019).

El origen del Sarchimor T-5296 proviene de la cruce de Villa Sarchí con el Híbrido de Timor (CIFC 832/2), fue seleccionado en una tercera generación. Las características de las plantas en las diferentes líneas son similares en porte bajo, buen vigor, buena producción, bandolas largas, hojas grandes y frutos de color rojo. La calidad de taza se considera de buena a muy buena. Por tener origen similar, las plantas tienden a ser tolerantes a roya, pero se han visto líneas o plantas que son susceptibles (ICAFÉ Instituto del Café de Costa Rica, 2020).

El café Sarchimor presenta las siguientes características:

Origen Portugal

Porte: Bajo

Color del brote de hojas: Café

Tamaño de semilla: Grande

Potencial de rendimiento: Alto

Reacción a la roya: Resistente a varias razas de roya

Altura de siembra recomendada: 700-1200 m s.n.m.

Perfil de taza: Buena calidad (Grupo Técnico Interdisciplinario de Café, 2016)

Los Sarchimores, se originaron del cruce del Híbrido de Timor CIFC 832/2 (resistente a roya) y plantas de la variedad Villa Sarchí. De este cruce se derivaron progenies que originaron variedades con características estables en diferentes países. En Brasil el lapar 59, Tupí y Obatá; en Honduras el Parainema; en El Salvador el Cuscatleco; en Nicaragua el Marsellesa. Se le llama simplemente Sarchimor cuando se desconoce su procedencia. Los Sarchimores,

son plantas de porte bajo, brote verde o bronce, vigor y producción alta, bien adaptado en zonas de baja y media altitud y buena taza. Dentro de estos materiales hay variedades prometedoras por su adaptación agronómica, tamaño de grano y calidad de taza, en algunos casos superiores a los Catimores (Asociación Nacional del Café, Anacafé, 2019).

Acawa

El café de la variedad Acawa, es originaria del cruce Mundo Novo IAC 388-17 y Sarchimor IAC 1668, de alta resistencia a la sequía y a la roya; tolerante a los nematodos; bebida de buena calidad y ciclo de madurez tardío (Ministerio de Agricultura y Ganadería del Ecuador, 2018) y (Ministerio de Agricultura y Ganadería del Ecuador, 2022).

La variedad de café Acawa, es resistente a la roya y con vida útil de 40 años, que ya en su tercer año de vida están sobre los promedios de producción. Se han sembrado sobre las 18.000 hectáreas en 18 de los 22 cantones de Manabí, y más de 9.000 familias están inmersas en este exitoso proyecto (Vergara, 2018).

Catuái

La variedad Catuái es un cruce artificial entre la variedad Caturra y el Mondo Novo, es una variedad de porte bajo y alta producción. El tallo principal es grueso, con ramas laterales abundantes las cuales le dan una gran capacidad productiva. Las hojas nuevas son de color verde claro. Es un arbusto vigoroso y compacto con buen rendimiento físico. Es un café con calidad de taza estándar.

Catuái es el resultado del cruzamiento artificial de las variedades Mundo Novo y Caturra, realizado en Brasil. La introducción de Catuái al país se realizó alrededor de 1970. Se adapta muy bien en rangos de 600 a 1.370 metros sobre el nivel del mar (1.970 a 4.500 pies sobre el nivel mar) en la costa sur y de 1.070 a 1.675 metros sobre el nivel del mar (3.500 a 5.500 pies sobre el nivel del mar) en la zona central, oriental y norte del país. El Catuái es una variedad de porte bajo, pero un poco más alta que Caturra, con una altura promedio de 2,25 metros, las ramas laterales forman un ángulo cerrado de 45 grados con el tallo principal, con entrenudos cortos. Las hojas nuevas o brotes son de color verde claro, las hojas adultas tienen una forma redondeada y de color verde oscuro. Es una variedad muy vigorosa, que desarrolla mucho crecimiento lateral con ramas secundarias, conocidas como “palmillas” (Asociación Nacional del Café, Anacafé, 2019).

Esta variedad produce frutos de color rojo y amarillo, predominando en la caficultura de Guatemala la variedad de frutos rojos, tamaño de grano mediano (zaranda 16), tiene alta capacidad de producción. En condiciones óptimas de clima y suelo, podría llegar a producir 55 quintales de café pergamino por manzana (79 quintales por hectárea). Requiere de un manejo adecuado y oportuno de las diferentes actividades agronómicas, especialmente en lo que se refiere a la nutrición y control de roya. La maduración de los frutos es tardía y no se desprenden fácilmente de las bandolas, lo que es una ventaja para las zonas donde la maduración coincide con períodos de lluvias intensas. Produce una excelente calidad de bebida (Asociación Nacional del Café, Anacafé, 2019).

Catucaí

Son plantas descendientes del cruzamiento natural entre Icatú y Catuací de fruto amarillo. En general, los cultivares del grupo Catucaí mostraron resistencia moderada a la roya, lo que significa que las plantas pueden ser infectadas, pero los daños son moderados, sin gran defoliación. Planta de vigor y productividad alta, porte medio, ramificación abundante de ramas secundarias, entrenudos cortos, brotes verdes o bronceados. Produce frutos rojos o amarillos, de tamaño mediano y ciclo de maduración mediana. En evaluaciones realizadas en finca Las Flores, Barberena, Santa Rosa, se han obtenido 188 quintales de café maduro por manzana (promedio de 7 cosechas). En 2017 se realizaron 4 cataciones, obteniendo en promedio 79,31 puntos (Asociación Nacional del Café, Anacafé, 2019).

Catimor

El Catimor es un cruce entre la caturra roja y el Híbrido de Timor. Sus hojas son anchas y verdes, las yemas o cogollos laterales y apical son de color morado. Es una variedad muy buena en producción, pero exigente en nutrientes, de preferencia cultivarlo a más de 1.000 m s.n.m. permitiendo mejorar la calidad en taza. Esta variedad fue introducida en el Perú en 1983 (Cooperativa Agraria Norandino, 2017).

En general, estas variedades son muy precoces, productivas y exigentes en el manejo agronómico, especialmente en la nutrición. Evidencian una mayor susceptibilidad a la enfermedad ojo de gallo (*Mycena citricolor*). En la caficultura guatemalteca, una de las características atribuidas a los Catimores y Sarchimores es la calidad inferior de taza, debido a que se evaluaron plantas de progenies cultivadas en regiones de baja altitud y en proceso de depuración antes de obtener variedades estables. Esta característica ha sido mejorada a través de la selección de plantas en la conformación de varie-

dades estables y con la introducción de estas en regiones de mayor altitud (Asociación Nacional del Café, Anacafé, 2019).

En la década de los años 80, Anacafé estableció parcelas de validación con plantas de la progenie (descendencias) de Catimor T-5269 en fincas de la región cafetalera de suroccidente de Guatemala, buscando generar una variedad con características estables. Se observó buena adaptabilidad en baja y media altitud, alta productividad y taza estándar (Muy buena). Planta de porte bajo, compacta, semejante a la variedad Caturra, con brotes de color verde y bronce. En la actualidad existen fincas cafetaleras que tienen parcelas sembradas con este Catimor (ANACAFÉ Asociación Nacional del Café, 2019).

A las descendencias del cruzamiento de Caturra e Híbrido de Timor se les conoce genéricamente como "Catimores". Del cruce de caturra e Híbrido de Timor CIFC 832/1, se originaron variedades de Catimores con características estables en diferentes países de Latinoamérica, como el Lempira, Costa Rica 95, Catimor T-8667, Anacafé 90, Ihcafé 90, Catimor T-5175, Catimor T-5269, entre otras. Del cruzamiento de Caturra Amarillo e Híbrido de Timor CIFC 1343 se originó la variedad multilínea Colombia, que posteriormente dio origen a la variedad Castillo General y Regionales, con ciclos complementarios de selección y recientemente dio origen a la variedad Cenicafé 1 (Velásquez, 2020).

Catimor es una variedad enana/compacta, con altos rendimientos y resistente a las enfermedades de la roya del café y la antracnosis de la cereza (CBD). Se encuentra comúnmente en Malawi, Zambia y Zimbabue (World Coffee Research, 2023).

La llamada variedad Catimor no existe como tal. El término Catimor es una denominación genérica que se le ha dado a todos los genotipos y a todas las poblaciones derivadas de cruzamientos entre Caturra X Híbrido de Timor. Resultado de estos cruces se han obtenido variedades tanto en Colombia como en otros países. Una de estas es la variedad Costa Rica 95, la cual entró al país hace algunos años por el departamento de Antioquia distribuyéndose en varias zonas. Si bien el interés general por esta variedad ha ido decayendo, debido a que se ha observado pérdida de la resistencia y su calidad es controvertida, sin embargo, algunos la siguen cultivando (Federación Nacional de Cafeteros, 2023).

Las variables evaluadas fueron:

Variables morfológicas cuantitativas

Longitud de fruto

Se midió la longitud del fruto en unidades de milímetros utilizando la distancia de ambos polos del fruto con la ayuda de un calibrador Vernier como lo mencionan los descriptores (IPGRI) para el cultivo de café, el valor se consideró por planta evaluada y se expresó como la media de las tres lecturas.

Ancho de fruto

También fue medido en unidades de milímetros con ayuda del calibrador Vernier, se consideró la parte más ancha del fruto y finalmente el valor del descriptor por planta se consideró como la media de las tres lecturas.

Espesor del fruto

Se determinó en unidades de milímetros, para esto se tomó el largo del tabique que separa a las dos semillas como lo menciona León (2000). Y el valor del descriptor considerado por planta fue la media de las tres mediciones.

Longitud de la semilla

Se midió con la ayuda de un calibrador Vernier en unidades de milímetros, tomando la parte más larga del fruto (IPGRI, 1996). El valor del descriptor por planta fue establecido como la media de las cinco mediciones.

Ancho de la semilla

Fue medido en milímetros también con ayuda del calibrador Vernier, tomando en cuenta la parte más ancha del fruto (IPGRI, 1996). También el valor del descriptor por planta fue establecido como la media de las cinco mediciones.

Espesor de la semilla

Se midió en milímetros teniendo como línea de referencia la marca del hilo central de las semillas. El valor del descriptor por planta fue establecido como la media de las cinco mediciones.

Variables agronómicas

Altura de planta

Estos datos se tomaron de cinco plantas tomadas al azar dentro de la parcela útil por cada tratamiento, se utilizó un flexómetro considerando la base del tallo al nivel del suelo hasta el brote del meristemática de la planta.

Número de ramas

Estos datos fueron tomados en cinco plantas escogidas al azar dentro de la parcela útil por cada tratamiento y repetición, para esto se contabilizó el número de ramas primarias. Para tomar este dato la planta fue dividida en tres partes, la parte baja o basal, la parte intermedia que fue donde se escogieron las ramas para tomar los datos y la parte superior.

Diámetro de copa

Estos datos fueron recogidos de cinco plantas tomadas al azar dentro de la parcela útil, por repetición y tratamiento, para esto a la planta se la dividió en tres partes, la inferior, la intermedia y la superior; de la parte intermedia de la planta, de acuerdo al crecimiento y desarrollo de la planta, se escogió la rama que fue medida de ambos lados para poder sacar estos valores. Las ramas fueron escogidas al azar no siempre se consideró la misma rama. Los datos fueron tomados de la parte intermedia de las plantas.

Longitud de rama

En las mismas plantas donde se tomó el diámetro de copa se escogió, seleccionó e identificó las ramas que fueron medidas por planta de las que estaban dentro de la parcela útil por repetición y tratamiento. No siempre se consideraron las mismas ramas y los datos fueron tomados de la parte intermedia de la planta.

Variables morfológicas cualitativas

Forma del fruto

Para describir la forma del fruto se utilizaron figuras establecidas clasificadas en códigos del 1-5, donde (1) redondeada, (2) obovada, (3) oval, (4) elíptica, (5) oblonga (IPGRI 1996). La forma del fruto por planta se determinó con base en la moda del total de los 15 frutos (total de las tres muestras) caracterizados (IPGRI, 1996).

Forma del disco del fruto

Esta característica también se estableció mediante códigos del 1-4, donde (1) disco no marcado, (2) disco marcado pero no prominente, (3) disco prominente y (4) disco forma picuda (IPGRI 1996), luego la forma del disco del fruto por planta se determinó en forma similar a la característica anterior.

Color del fruto

El color del fruto se describió utilizando la tabla estándar para colores denominada Royal Horticultural Society Colour Chart, el color de los frutos se clasificó utilizando códigos del 1-10 donde (1) amarillo, (2) amarillo naranja, (3) naranja, (4) naranja rojizo, (5) rojo, (6) rojo púrpura, (7) púrpura, (8) púrpura violeta, (9) violeta y (10) negro (IPGRI 1996). El color del fruto por planta se determinó en función de la moda del total de los frutos evaluados.

Color de la semilla

De acuerdo con IPGRI (1996) el color de la semilla es una característica polimórfica dentro del género *Coffea*. El color de las semillas se caracterizó utilizando la tabla estándar para colores denominada Royal Horticultural Society Colour Chart y la escala de clasificación para color de semillas propuesto por el IPGRI (1996) cuyos códigos van del 1-2, donde (1) amarilla y (2) marrón-púrpura. Finalmente, el color de la semilla por planta fue establecido como la moda de las cinco observaciones.

Forma de la semilla

La forma de la semilla fue caracterizada comparando con las muestras de imágenes utilizadas para la caracterización de frutos, luego para describir se utilizaron códigos del 1-5, donde (1) redonda, (2) obovada, (3) oval y (4) elíptica y (5) oblonga (IPGRI 1996). El valor del descriptor fue establecido como la moda de las cinco observaciones.

Manejo experimental de la investigación

El presente experimento contó con actividades específicas, en las cuales se les brindó un ambiente adecuado a las plantas de café:

Control de malezas

El control de malezas se realizó de acuerdo a la aparición de las mismas, fue de tipo manual y mecánica.

Toma de datos

La toma de datos se la realizó una vez por mes, pero hubo datos que se tomaron cada quince días (número de hojas), para conocer el desarrollo de las plántulas, esto se lo realizó con la ayuda de los instrumentos: flexómetro y calibrador.

Manejo experimental de la investigación

El presente experimento contó con actividades específicas, entre las cuales se les brindó un ambiente adecuado a las plantas de café.

Control de malezas

El control de malezas se realizó de acuerdo a la aparición de las mismas, fue de tipo manual y mecánico.

Toma de datos

La toma de datos se la realizó una vez por mes, pero hubo datos que se tomaron cada quince días (número de hojas), para conocer el desarrollo de las plántulas, esto se lo realizó con la ayuda de los instrumentos: flexómetro y calibrador.

Resultados Experimentales

Análisis de alelos

En la tabla 4 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, Típica, Catimor 8666 (4-3), Catucaí Rojo 785-15, Catucaí rojo UFV, Geisha, Bourbon amarillo, Caturra amarillo T-3386, Catimor CIFC-P2, Catimor CIFC-P1, Castillo y Arara.

Se denotó, asimismo, que los microsatélites CaM42, CaM41, CaM38, SSR-Ca091, CaM17, CaM26, CaM32, CaM55, CaM24, CaM22, CaM33, CaM46, CaM40, SSR-Ca018, 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 no reaccionó a los marcadores SSR-Ca091, 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.

Tabla 19.

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

Accesión	C a M 4 2		C a M 4 1		C a M 3 8		S S R C a O 1 7		C a M 2 6		C a M 3 2		C a M 5 5		C a M 2 4		C a M 2 2		C a M 3 3		C a M 4 6		C a M 4 0		S S R C a O 1 8		C a M 0 3		C a M 1 8		C a M 2 0		C a M 4 9		C a M 3 6		C a M 0 2			
	1	9	22	3	22	3	10	4	17	6	25	4	20	7	15	6	19	-1	10	4	24	0	22	4	22	9	11	9	16	7	18	3	-1	-1	-	1	-	1		
Pache	1	9	22	3	22	2	10	4	17	6	25	4	20	7	15	6	19	-1	10	4	24	0	22	4	22	9	11	9	16	7	18	3	-1	-1	-	1	-	1		
Acawa	1	9	22	3	22	2	10	4	17	6	25	4	20	7	15	6	19	9	10	4	-1	-1	22	4	22	9	11	9	16	7	18	3	20	5	20	0	-	1	-	1
Catimor CIFC-P3	1	9	22	3	22	2	10	4	17	6	25	4	20	7	15	6	19	9	10	4	24	0	22	4	22	9	11	9	16	7	18	3	20	5	20	0	-	1	-	1
Catuaí Amarillo – SL	1	9	22	3	22	2	10	4	17	6	25	4	20	7	15	6	19	9	10	4	24	0	22	4	22	9	11	9	16	7	18	3	20	5	-1	-1	-	1	-	1
Catimor UFV-5607	1	9	22	3	22	2	10	4	17	6	25	4	20	7	15	6	19	9	10	4	24	0	22	4	22	9	11	9	16	7	18	3	20	5	20	0	-	1	-	1
Caturra rojo-Pichilingu e	1	9	22	3	22	2	10	4	17	6	25	4	20	7	15	6	19	9	10	4	24	0	22	4	22	9	11	9	16	7	18	3	20	5	20	0	-	1	-	1
Catimor 8664 (2-3)	1	9	22	3	22	2	10	4	17	6	25	4	20	7	15	6	19	9	10	4	24	0	22	4	22	9	11	9	16	7	18	3	20	5	20	0	-	1	-	1
Catuaí Amarillo	1	9	22	3	22	2	10	4	17	6	25	4	20	7	15	6	19	9	10	4	24	0	22	4	22	9	11	9	16	7	18	3	20	5	-1	-1	-	1	-	1
Sarchimor 4260	1	9	22	3	22	2	10	4	17	6	25	4	20	7	15	6	19	9	10	4	24	0	22	4	22	9	11	9	16	7	18	3	20	5	20	0	-	1	-	1
Típica	1	9	22	3	22	2	10	4	17	6	25	4	20	7	15	6	19	9	10	4	24	0	22	4	22	9	11	9	16	7	18	3	20	5	20	0	-	1	-	1
Catimor 8666 (4-3).	1	9	22	3	22	2	10	4	17	6	25	4	20	7	15	6	19	9	10	4	24	0	22	4	22	9	11	9	16	7	18	3	20	5	20	0	-	1	-	1
Catuaí Rojo 785-15	1	9	22	3	22	2	10	4	17	6	25	4	20	7	15	6	19	9	10	4	24	0	22	4	22	9	11	9	16	7	18	3	20	5	20	0	-	1	-	1
Catuaí rojo UFV	1	9	22	3	22	2	10	4	17	6	25	4	-1	-1	19	9	10	4	24	0	22	4	22	9	11	9	16	7	18	3	20	5	20	0	-	1	-	1		

Geisha.	1 9 3	22 3	22 2	10 4	17 6	25 4	20 7	15 6	19 9	10 4	24 0	22 4	22 9	11 9	16 7	18 3	20 5	20 0	- 1	- 1
Bourbon amarillo	1 9 3	22 3	22 2	-1 -1	-1 -1	20 7	19 9	10 4	24 0	22 4	22 9	11 9	16 7	18 3	20 5	-1 -1	- 1	- 1	- 1	- 1
Caturra amarillo T-3386	1 9 3	-1 -1	22 2	10 4	17 6	25 4	20 7	15 6	19 9	10 4	24 0	22 4	22 9	11 9	16 7	18 3	20 5	20 0	- 1	- 1
Catimor CIFC-P2.	1 9 3	22 3	22 2	10 4	17 6	25 4	20 7	15 6	19 9	10 4	24 0	22 4	22 9	11 9	16 7	18 3	20 5	20 0	- 1	- 1
Catimor CIFC-P1	1 9 3	22 3	22 2	10 4	17 6	25 4	20 7	15 6	19 9	10 4	24 0	22 4	22 9	11 9	16 7	18 3	20 5	20 0	- 1	- 1
Castillo	1 9 3	22 3	22 2	10 4	17 6	25 4	20 7	15 6	19 9	10 4	24 0	22 4	22 9	11 9	16 7	18 3	20 5	20 0	- 1	- 1
Arara	1 9 3	22 3	22 2	10 4	17 6	25 4	20 7	15 6	19 9	10 4	24 0	22 4	22 9	11 9	16 7	18 3	20 5	20 0	- 1	- 1

Se realizó un análisis estadístico mediante la prueba de Chi cuadrado (X²) 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 20).

Tabla 20.

Análisis de Chi cuadrado 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

El análisis de X^2 (tabla 5) 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.

Altura de planta, Número de ramas, Diámetro de copa y Longitud de rama

La tabla 21 presenta los cuadrados medios de las evaluaciones de las variables Altura de planta, Número de ramas, Diámetro de copa y Longitud de rama, donde se pudo evidenciar que las evaluaciones de altura de planta y número de ramas presentan diferencia estadística significativa, a diferencia de las variables diámetro de copa y longitud de rama que no presentan diferencia estadística alguna entre los tratamientos evaluados. En torno a esto el coeficiente de variación esta entre el rango de 12,95 y 16,33%.

Tabla 21.

Cuadrados medios de las evaluaciones de Altura de planta, Número de ramas, Diámetro de copa y Longitud de rama de la investigación.

Fuente de variación	Grados de libertad	Altura de planta (m)	Número de ramas (N.º)	Diámetro de copa (m)	Longitud de rama (cm)
Repetición	3	0.07	14.45	0.04	690.72
Tratamientos	4	0.28*	179.93*	0.13ns	371.05ns
Error	12	0.07	25.33	0.13	399.72
Total	9				
C. V. %		12.95	15.70	14.97	16.33

*=Diferencias estadísticas significativas

ns: no significativo

En la tabla 22 se presentan los valores medios y la prueba de Tukey al 0,05% de las variables Altura de planta, Número de ramas, Diámetro de copa y Longitud de rama; en donde es posible distinguir que en la altura de planta

se presentan dos rangos de significación estadística, siendo el mayor que corresponde al tratamiento Catuaí con 2,40 m y el rango más bajo correspondió al tratamiento Catimor con 1,68 m.

Asimismo, la variable de número de hojas presenta, de igual manera, dos rangos de significación estadística, el mayor corresponde a los tratamientos Sarchimor 4260 con 38,75 ramas y Catuaí con 37,75 ramas.

Tabla 22.

Valores promedios y prueba de Tukey al 0,05% de las evaluaciones de Altura de planta, Número de ramas, Diámetro de copa y Longitud de rama de la investigación.

Tratamientos	Altura de planta (m)	Número de ramas (N.º)	Diámetro de copa (m)	Longitud de rama (cm)
Sarchimor 4260	1.90 ab	38.75 a	2.63	130.50
Acawa	1.98 ab	32.00 ab	2.28	119.50
Catimor	1.68 b	29.50 ab	2.63	115.50
Catuaí	2.40 a	37.75 a	2.23	134.50
Catucaí	1.95 ab	22.25 b	2.50	112.25
Tukey al 0.05 %	0.57	11.34	ns	ns

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Longitud de fruto, Ancho de fruto, Espesor de fruto y Disco del fruto

La tabla 23 muestra los cuadrados medios de Longitud de fruto, Ancho de fruto, Espesor de fruto y Disco del fruto, permitiendo observar que ninguna de las cuatro evaluaciones efectuadas posee diferencia estadística, asimismo, es posible tomar en cuenta que el coeficiente de variación está entre el rango de 5,58 y 33,83.

Tabla 23.

Cuadrados medios de las evaluaciones de Longitud de fruto, Ancho de fruto, Espesor de fruto y Disco del fruto de la investigación.

Fuente de variación	Grados de libertad	Longitud de fruto (mm)	Ancho de fruto (mm)	Espesor de fruto (mm)	Disco del fruto
Repetición	3	0.13	0.34	0.26	0.18
Tratamientos	4	0.65ns	0.72ns	0.36ns	0.33ns
Error	12	0.81	0.99	0.43	0.39
Total	9				
C. V. %		6.61	7.56	5.58	33.83

ns: no significativo

La tabla 24 presenta los valores promedios de las evaluaciones de Longitud de fruto, Ancho de fruto, Espesor de fruto y Disco del fruto. Referente al disco del fruto de acuerdo a la escala utilizada para evaluar está en la escala (2) disco marcado, pero no prominente, para todos los tratamientos.

Tabla 24.

Valores promedios y prueba de Tukey al 0,05% de las evaluaciones de Longitud de fruto, Ancho de fruto, Espesor de fruto y Disco del fruto de la investigación.

Tratamientos	Longitud de fruto (mm)	Ancho de fruto (mm)	Espesor de fruto (mm)	Disco del fruto
Sarchimor 4260	14.08	13.75	11.88	2.25
Acawa	13.78	12.90	11.98	1.75
Catimor	13.70	13.43	11.88	1.75
Catuái	13.08	12.70	11.25	2.00
Catucaí	13.28	13.00	11.55	1.50
Tukey al 0.05 %	ns	ns	ns	ns

Longitud de semilla, Ancho de semilla y Espesor de semilla

La tabla 25 presenta los Cuadrados medios de las evaluaciones de Color del fruto, Forma del fruto, Longitud de semilla y Ancho de semilla, se puede tomar en cuenta que ninguna de las evaluaciones efectuadas en sus tratamientos presenta diferencia estadística alguna. Es así que el Coeficiente de variación está entre el rango de 4,49 y 37,16%.

Tabla 25.

Cuadrados medios de las evaluaciones de Color del fruto, Forma del fruto, Longitud de semilla, Ancho de semilla de la investigación.

Fuente de variación	Grados de libertad	Longitud de semilla	Ancho de semilla	Espesor de semilla
Repetición	3	0.50	0.05	0.08
Tratamientos	4	0.12ns	0.10ns	0.14*
Error	12	0.33	0.13	0.03
Total	9			
C. V. %		5.35	4.49	3.30

*=Diferencias estadísticas significativas

ns: no significativo

La tabla 26 presenta los valores promedios de las evaluaciones de Longitud de semilla, Ancho de semilla y Espesor de semilla. La evaluación de espesor de semilla expresada en mm presenta dos rangos de significación

estadística, el mayor corresponde a Catimor con 5,05 mm y Catuai 5,00 mm y el rango más bajo correspondió a Catucaí con 4,58 mm.

Tabla 26.

Valores promedios y prueba de Tukey al 0,05% de las evaluaciones de Color del fruto, Forma del fruto, Longitud de semilla, Ancho de semilla de la investigación.

Tratamientos	Longitud de semilla (mm)	Ancho de semilla (mm)	Espesor de semilla
Sarchimor 4260	10.93	8.10	(mm)
Acawa	10.73	8.23	4.90 ab
Catimor	11.00	7.95	4.90 ab
Catuai	10.58	7.85	5.05 a
Catucaí	10.73	7.90	5.00 a
Tukey al 0.05 %	ns	ns	4.58 b

Forma del fruto, forma del disco, color del fruto, color de la semilla y Forma de semilla

La tabla 24 presenta los caracteres cualitativos de mayor valor discriminante de los cinco genotipos de café (*Coffea arabica* L.) que corresponden a forma del fruto, forma del disco, color del fruto, color de la semilla y forma de la semilla; se observa que no existe diferencia entre cada una de las variables evaluadas.

Tabla 27.

*Caracteres cualitativos de mayor valor discriminante de los cinco genotipos de café (*Coffea arabica* L.).*

Variables Cualitativas	Chi cuadrado Pearson	Coefficiente de contingencia Cramer	Coefficiente de contingencia Pearson	Valor P
Forma del fruto	5,71	0,38	0,47	0,2215 ns
Color del fruto	3,33	0,29	0,38	0,5037 ns
Color de semilla	-	-	-	0,9999 ns
Forma de semilla	14,52	0,38	0,65	0,5598 ns

Discusión

La discusión de los resultados se realizó por cada variable evaluada y en otros casos se realizó por agrupación de variables.

La característica de codominancia de los marcadores SSR no fue considerada en este estudio de diversidad genética. Existen dificultades en el uso

del marcador SSR como codominante en especies con genoma poliploide como es el caso de *Coffea arabica*, que es una especie alotetraploide. Esto podría ser explicado por las limitaciones en el establecimiento de los niveles de heterocigosis u homocigosis en los locus específicos, dada la incapacidad de los marcadores SSR para distinguir alelos de cromosomas homólogos, así como la posibilidad de encontrar alelos nulos en poliploides (Missio *et al.*, 2009, Cordeiro *et al.*, 2003).

Para determinar los atributos útiles de los marcadores genéticos evaluado, los 20 marcadores microsatélites fueron probados en un panel de 20 genotipos de *C. arabica*. Se obtuvo amplificación alélica para todos los marcadores en todos los genotipos probados, excepto CaM36 y CaM02 que no amplificaron. Contrariamente a lo determinado por Hendre *et al.* (2007), quienes determinaron que estos marcadores sí amplificaron y CaM54 no amplificó en las arábicas, este marcador no utilizamos en nuestra investigación.

En general, los marcadores revelaron una diversidad alélica baja a media, y en particular 18 de ellos (CaM42, CaM41, CaM38, SSRCa091, CaM17, CaM26, CaM32, CaM55, CaM24, CaM22, CaM33, CaM46, CaM40, SSRCa018, CaM03, CaM18, CaM20 y CaM49) dieron como resultado alelos dobles en el caso de todos los genotipos de *C. arabica* probadas. En cambio, Hendre *et al.* (2007) determinaron que los marcadores CaM03, CaM15, CaM18, CaM21, CaM31, CaM34, CaM35, CaM39, CaM43, CaM55, CaM57 y CaM58) establecieron una diversidad alélica baja a media. Comparando ambos estudios observados se validaron diferentes marcadores y solo dos de los marcadores utilizados (CaM03 y CaM18) coinciden con esa característica de detección de diversidad alélica.

Determinamos que de los 20 marcadores moleculares validados uno (CaM22) fue monomórfico. En cambio, Hendre *et al.* (2007) determinaron además que siete marcadores (CaM08, CaM09, CaM11, CaM12, CaM23 y CaM53) eran monomórficos.

Respecto a los marcadores SSRCa091, se determinó el fragmento a 104 pb. Al respecto, este fragmento fue reportado a 110 pb (Missio *et al.*, 2011), con una correlación significativa moderada (0,40). En nuestro análisis mediante la prueba de Chi cuadrado observamos que no hubo diferencia significativa, lo que indicaría que se trata del mismo fragmento.

A manera de conclusión podemos mencionar que 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 homoci-

gosis 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. Por otra parte, se determinó que el marcador Cam22 fue monomórfico (Hendre *et al.*, 2007).

El material utilizado en la investigación fue Sarchimor 4260, esto debido a que los Sarchimores, se originaron del cruce del Híbrido de Timor C1FC 832/2 (resistente a roya) y plantas de la variedad Villa Sarchí. De este cruce se derivaron progenies que originaron variedades con características estables en diferentes países. Los Sarchimores son plantas de porte bajo, brote verde o bronce, vigor y producción alta, bien adaptado en zonas de baja y media altitud y buena taza (Asociación Nacional del Café, Anacafé, 2019).

VARIABLES MORFOLÓGICAS CUANTITATIVAS presentan con mayor longitud de fruto a Sarchimor 4260 con 14,08 mm, mejor Ancho de fruto a Sarchimor 4260 con 13,75 mm, mejor espesor del fruto a Acawa con 11,98, mayor longitud de la semilla a Catimor con 11,00 mm, mejor ancho de la semilla. Acawa con 8,23 mm y mayor espesor de la semilla a Catimor con 5,05 mm y Catuaí con 5,00 mm. VARIABLES MORFOLÓGICAS CUALITATIVAS indican que la mejor forma del fruto está en la escala que corresponde a (1) redondeada y (2) obovada, el color del fruto está en el valor (6) rojo púrpura, (7) púrpura; el color de semilla presenta escala de 2 que corresponde a (2) marrón-púrpura y la forma de la semilla presenta escala de valores de (2) obovada y (3) oval.

Estos resultados se sustentan en lo indicado por el cambio climático, ha generado una transformación en la forma en cómo las personas productoras establecen sus cafetales; ahora, ante el cambio y la variabilidad climática, se necesita de nuevos diseños que permitan reducir el porcentaje de pérdida de plantas durante el proceso de establecimiento, complementándolo con la colocación de sombra provisional (Proyecto Maximizando Oportunidades en Café y Cacao en Las Américas [MOCCA], 2022).

Además, se sustentan en lo indicado por Velázquez (2019) quien indica que los Sarchimores, son plantas de porte bajo, brote verde o bronce, vigor y producción alta, bien adaptado en zonas de baja y media altitud y buena taza. Dentro de estos materiales hay variedades prometedoras por su adaptación agronómica, tamaño de grano y calidad de taza, en algunos casos superiores a los Catimores. También los resultados de la investigación se sustentan en lo indicado por Vergara (2018), quien señala que la variedad de café Acawa, es resistente a la roya y con vida útil de 40 años, que ya en su tercer año de vida están sobre los promedios de producción.

Las variables agronómicas presentan la mayor altura de planta con Catuaí con 2,40 m, el mayor número de ramas con Sarchimor con 38,75 y Catuaí con 37,75, el mejor diámetro de copa con Sarchimor 4260 y Catimor con 2,63 m y la mayor longitud de rama con Catuaí con 134,50 cm.

Los resultados se sustentan en lo indicado por López (2020), quien indica que urge desarrollar acciones que garanticen el mejoramiento de la productividad y sostenibilidad de los agroecosistemas de café, ya que de dicha actividad dependen miles de productores, así como su adaptación, ante el cambio climático, que evidentemente seguirá afectando este cultivo con mayor intensidad en el futuro.

Además, estos resultados se sustentan en lo indicado por Cabrera *et al.* (2017) quienes indican que la productividad, calidad y rentabilidad del cultivo de café están disminuyendo, lo cual genera la urgente necesidad de establecer estrategias para adaptar los cafetales a estos cambios de clima, el cual se presenta menos estacional y predecible oportunamente. Se sustenta en lo indicado por la Cooperativa Agraria Norandino (2017), quienes indican que El Catimor es un cruce entre la caturra roja y el Híbrido de Timor. Sus hojas son anchas y verdes, las yemas o cogollos laterales y apical es de color morado, es una variedad muy buena en producción, pero exigente en nutrientes.

Conclusiones

Las variables morfológicas cuantitativas que presentaron mayor longitud de fruto con 14,08 mm y ancho de fruto con 13,75 mm fueron observadas en el híbrido Sarchimor 4260; sin embargo, en el espesor del fruto fue Acawa con 11,98 mm, mejor ancho de la semilla con 8,23 mm. La mayor longitud de semilla se observó en el híbrido Catimor con 11,00 mm, y mayor espesor de semilla con 5,05 mm y Catuaí con 5,00 mm.

Con respecto a las variables morfológicas cualitativas se observó el mejor comportamiento en el híbrido Sarchimor 4260 en la variable forma del fruto está en la escala que corresponde a (1) redondeada y (2) obovada, el color del fruto está en el valor (6) rojo púrpura, (7) púrpura; el color de semilla presenta escala de 2 que corresponde a (2) marrón-púrpura y la forma de la semilla presenta escala de valores de (2) obovada y (3) oval.

Referente a las variables agronómicas se evidenció que la mayor altura de planta fue el híbrido Catuaí con 2,40 m, el mayor número de ramas se obtuvo en Sarchimor con 38,75m y Catuaí con 37,75m, el mejor diámetro de copa

.....

fue en Sarchimor 4260 y Catimor con 2,63 m y la mayor longitud de rama con Catuaí con 134,50 cm.

Referencias bibliográficas

Alcaldía Jipijapa. (24 de Septiembre de 2019). Cantón Jipijapa. Obtenido de Jipijapa.gob.ec: <https://jipijapa.gob.ec/index.php/municipio/gadjipijapa/nuestro-canton>

ANACAFÉ Asociación Nacional del café. (2019). Guía de variedades de café . Guatemala: ANACAFÉ Asociación Nacional del Café.

Anzueto, F. (2020). Guía de buenas prácticas en el cultivo de café para la adaptación al cambio climático. Guatemala: Fundación Hanns R. Neumann Stiftung.

Asociación Nacional del Café, Anacafé. (2019). Guía de variedades de café-Guatemala. Guatemala: Asociación Nacional del Café, Anacafé. Segunda edición.

Cabrera, N., Galluser, S., Kroll , B., & Varese, E. (2017). Café 2.0 Manual de caficultura climáticamente inteligente. Lima-Perú: Solidaridad South America.

Cabrera, N., Galluser, S., Kroll, B., Varese, E., & Zurita, F. (2017). Café 2.0 Manual de caficultura climáticamente inteligente. Perú: Solidaridad South America.

Cooperativa Agraria Norandino. (2017). Guía Práctica. Manejo ecológico del cultivo de café. Fomentando la Asociatividad y la inclusion de los pequeños productores. Piura-Perú: USAID-FUNDACION CEPICAFE.

Cordeiro, G.M., Pan, Y.B., Henry, R.J. (2003) Sugarcane microsatellites for the assessment of genetic diversity in sugarcane germplasm. *Plant Science*, 165: 181-189.

Federación Nacional de Cafeteros. (2023). Variedad Catimor. Obtenido de Federación Nacional de Cafeteros de Colombia: <https://federaciondefcafeteros.org/wp/glosario/variedad-catimor/>

Gabriel, J., Valverde, A., Indacochea, B., Castro, C., Vera, M. A., & Vera, R. (2021). Diseños experimentales: teoría y práctica para experimentos agropecuarios. (J. Gabriel, & A. Valverde, Edits.) Guayaquil: Compás.

García, J., Scotto, F., Cianferoni, A., Loor, A., Benalcázar, H., Lanchi, E., & López, A. (2020). Manual básico del catador de café. Volumen 1. Diferencias entre especies de café. Pichincha-Ecuador.

Grupo Técnico Interdisciplinario de Café. (2016). Manual para la producción de semilla certificada de café en México. Plan Integral de atención al café. México: SAGARPA Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación.

Hendre, P. S., & Aggarwal, R. K. (2007). DNA markers: development and application for genetic improvement of coffee, In: Varshney RK, Tuberosa R (eds.), Genomic Assisted Crop Improvement: Genomics Applications in Crops. 2: 399–434.

ICAFÉ Instituto del Café de Costa Rica. (2020). Guía técnica para el cultivo del café / ICAFE, segunda edición. Heredia-Costa Rica: Instituto del Café de Costa Rica ICAFÉ.

Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura IICA. (2019). Manual de producción sostenible de café en la República Dominicana. República Dominicana: Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura IICA.

Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura IICA. (2019). Manual de producción sostenible de café en la República Dominicana / Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura – República Dominicana. República Dominicana: Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura IICA.

International Coffee Organization. (2020). Ecología del café. Obtenido de International Coffee Organization: http://www.ico.org/es/ecology_c.asp

Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos IPGRI (1996). Descriptores del café (*Coffea* spp. y *Psilanthus* spp.).

López, N. (2020). Buenas prácticas productivas y ambientales, usando hongos entomopatógenos para el control de plagas y enfermedades. Madrid-Nicaragua: Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo (AECID).

López, N. (2020). Manual de café: Buenas prácticas productivas y ambientales, usando hongos entomopatógenos para el control de plagas y enfermedades. Nicaragua: Amigos de la Tierra España. Fundación Ecología y Desarrollo (ECODES). Instituto de Promoción Humana - Somoto (INPRHU - SOMOTO).

Maximizando oportunidades en café y cacao en las Américas (MOCCA). (2022). El establecimiento de plantaciones de café. Honduras: Proyecto Maximizando oportunidades en café y cacao en las Américas (MOCCA).

Ministerio de Agricultura y Ganadería del Ecuador. (2018). Semilla de café importada de Brasil se destinará a cantones cafetaleros de Loja. Obtenido de Dirección Provincial Agropecuaria de Loja. Ministerio de Agricultura y Ganadería del Ecuador: <https://www.agricultura.gob.ec/semilla-de-cafe-importada-de-brasil-se-destinara-a-cantones-cafetaleros-de-loja/>

Ministerio de Agricultura y Ganadería del Ecuador. (2022). Semilla de café importada de Brasil se destinará a cantones cafetaleros de Loja. Obtenido de

Ministerio de Agricultura y Ganadería del Ecuador: <https://www.agricultura.gob.ec/semilla-de-cafe-importada-de-brasil-se-destinara-a-cantones-cafetale-ros-de-loja/>

Missio, R. F., Caixeta, E. T., Zambolim, E. M., Pena, G. F., Zambolim, L., Dias, L. A. S., & Sakiyama, N. S. (2011). Genetic characterization of an elite coffee germplasm assessed by gSSR and EST-SSR markers. *Genetic and Molecular Research*, 10(4):2366-2381.

Missio, R. F., Caixeta, E. T., Zambolim, E. M., Zambolim, L., Cruz, C. D., & Sakiyama, N. S. (2009). Polymorphic information content of SSR markers for *Coffea* spp. *Crop breeding and applied biotechnology*, 10:89-94.

Organización Internacional del café ICO. (2020). Aspectos botánicos del café. Obtenido de Organización Internacional del café ICO: https://www.ico.org/es/botanical_c.asp

Proyecto Maximizando oportunidades en café y cacao en las Américas (MOCCA). (2020). Menos enfermedades y plagas. Proyecto Maximizando oportunidades en café y cacao en las Américas (MOCCA).

Proyecto Maximizando oportunidades en café y cacao en las Américas MOCCA. (2022). Establecimiento de plantaciones de café. Proyecto Maximizando oportunidades en café y cacao en las Américas MOCCA .

Velásquez, R. (2019). Guía de variedades de café. Guatemala: ANACAFÉ Asociación Nacional del Café.

Velásquez, R. (2020). Guía de variedades de café. Guatemala: ANACAFÉ Asociación Nacional del café. Tercera Edición.

Velásquez, Rafael. (2019). Guía de variedades de café. Guatemala: Asociación Nacional del Café ANACAFÉ.

Velásquez, R. (2019). Guía de variedades de café en Guatemala. Guatemala: ANACAFÉ Asociación Nacional del Café.

Vergara, J. (2018). Resurge el café en Manabí. Obtenido de Revista de Manabí: <https://revistademanabi.com/2018/04/08/resurge-el-cafe-en-manabi/>

World Coffee Research. (2023). Catimor. Obtenido de WCR es una organización de investigación agrícola sin fines de lucro 501(c)5 registrada en el estado de California: <https://varieties.worldcoffeeresearch.org/es/variedades/catimor-129>

INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO DEL CAFÉ ARÁBIGO Y ROBUSTA

Capítulo 7

Factores de influencia en la calidad del café robusta (*Coffea canephora Pierre*) con tres procesos de beneficio en el Ecuador

AUTORES: Ing. Sofía del Rocío Velásquez Cedeño, Ph.D

Introducción

La producción mundial de café en el 2020 era de 10,2 millones de toneladas, con 5,7 millones de toneladas para *Coffea arabica* y 4,3 millones de toneladas de *C. canephora* (OIC 2021). A nivel mundial, solo dos especies del género *Coffea* tienen importancia económica: *Coffea arabica* (café arábica) y *Coffea canephora* (café robusta), que representan el 66 y el 34% de la importancia comercial, respectivamente (Salcedo-Sarmiento *et al.*, 2021). Sin embargo, los países productores de café se encuentran bajo una gran presión debido al aumento de los costos de los insumos, la inestabilidad del mercado, la falta de incentivos para mejorar la calidad, el aumento de la resistencia a los patógenos y el cambio climático; estos factores causan el deterioro de los atributos de calidad física y organoléptica del café (Hameed *et al.* 2018; Kittichotsawat *et al.* 2021). Además, la cosecha de café se está volviendo más difícil de implementar que otros productos debido a la altura y arquitectura de la planta, la madurez desigual de los granos y su contenido de humedad (Louzada & Rizzo 2021).

Los cafés arábigos suelen considerarse superiores a los cafés robustas, sin embargo, los robustas tienen diversas cualidades únicas que los convierten en una especie de café valiosa y versátil. Su sabor más fuerte, su mayor contenido de cafeína y su resistencia a la sequía y aumentos de temperatura lo hacen ideal para una variedad de diverso manejo, se incluye los blends con café arábica que promueven perfiles de sabor deseables a los consumidores (Schwan y Fleet, 2014; Chindapan *et al.*, 2019; Byrareddy *et al.*, 2021; Portela *et al.*, 2022).

Para café robusta la investigación sobre sus parámetros de procesamiento es esencial para liberar todo el potencial propio de su especie (Hameed *et al.*, 2018; Kittichotsawat *et al.*, 2021). En términos de procesamiento, la investigación ha demostrado que el procesamiento semiseco puede producir café con perfiles de sabor más complejos y deseables que el procesamiento en seco (Wulandari *et al.*, 2022; Silva *et al.*, 2022; Girma y Sualeh, 2022).

Además, la calidad de las bebidas de café está relacionada con la madurez de la cereza, que depende de factores previos a la cosecha como su origen genético, ubicación geográfica, altitud, latitud, pendiente del terreno, cultivar de café, suelo, fertilización, precipitaciones, riego, sombra y heladas (Seninde y Chambers, 2020). Las cerezas de café maduras contienen composiciones químicas adecuadas que son responsables de las propiedades del sabor. En consecuencia, la selección de la madurez adecuada de la cereza

afecta al sabor, que es una combinación de gusto, aroma, textura y sensación en la boca (Bastian *et al.* 2021). El sabor del café está determinado por su contenido volátil y no volátil.

Los alcaloides (cafeína y trigonelina), ácidos clorogénicos, ácidos carboxílicos, carbohidratos, lípidos, proteínas, melanoidinas y minerales son no volátiles responsables de las sensaciones gustativas básicas de acidez, amargura y astringencia (Yeretzian *et al.*, 2002). Estos compuestos se ven afectados en todas las etapas del procesamiento del café y, por lo tanto, repercuten en las características fisicoquímicas y sensoriales del producto final. En promedio, la calidad del café se ve afectada en un 40% antes de la cosecha, en un 40% después de la cosecha y en un 20% en la manipulación para la exportación debido al deterioro y la pérdida de calidad (Ferreira *et al.*, 2016; Kumar y Kalita 2017).

La calidad final de la taza está estrechamente vinculada a variables críticas como el genotipo del café, el tamaño del grano, la presencia de granos dañados y la elección de los métodos de procesamiento antes y después de la cosecha (Folmer, 2017; Velásquez y Banchón, 2022). En algunos países, los granos de café de menor tamaño se consideran inferiores, no se consideran cafés especiales y tienen un precio inferior. Además, los granos de café defectuosos representan hasta el 20% de la producción total de café y reducen significativamente la calidad de las bebidas de café en todo el mundo (Ramalakshmi *et al.*, 2007; Belay *et al.*, 2014). El tamaño de los granos de café es un factor clave para determinar su densidad y sabor, y la presencia de granos dañados puede repercutir en la calidad general y el sabor del café, afectando tanto al rendimiento del café como a la calidad de la taza preparada (Luna González *et al.*, 2019; Tassew *et al.*, 2021).

El altiplano de los continentes y los bosques tropicales que van de 600 a 2.200 m sobre el nivel del mar, con regiones de altitud media como las Américas y las islas del Caribe, son los hábitats naturales del arábica, mientras que las regiones de tierras bajas a altitud media (menos de 900 m de altitud) son las zonas para robusta (Tolessa *et al.*, 2017). El arábica se considera café de montaña. La altitud influye positivamente en las características fisicoquímicas y, por tanto, en la calidad organoléptica del café, pero se sabe poco sobre las modificaciones del metabolismo que conducen a esta característica (Worku *et al.* 2018). Algunos estudios señalan que la sombra y el clima cálido también tienen un efecto positivo en la calidad de la taza de café a menor altitud (Bossemann *et al.* 2009; Tolessa *et al.*, 2017).

.....

A mayor altitud, debido al menor tiempo de maduración, las hojas y frutos del cafeto acumulan mayores concentraciones de fotoasimilados (sacarosa, polioles y aminoácidos), que se relacionan con un buen aroma. En altitudes elevadas, los atributos de sabor más representativos son caramelo, azúcar moreno, afrutado, almendra, albaricoque, intensamente dulce, bullet de coco y afrutado (Pereira *et al.*, 2021); por su parte, el robusta cultivado a 300 m de altitud produce café con puntuaciones inferiores y atributos desagradables como aromas amaderados y herbáceos. En altitudes elevadas, hay un mayor índice de precipitación, en comparación con altitudes más bajas, y por cada incremento de 100 m en altitud, hay una disminución de la temperatura de alrededor de 1 °C; esto es beneficioso para un proceso de maduración del café más uniforme. Por encima de los 1.200 m la maduración del fruto del café tiene lugar a través de periodos prolongados en una cinética adecuada de biosíntesis de etileno, en comparación con altitudes por debajo de los 1.000 m (Santos *et al.*, 2018). Un proceso de maduración más lento permite más efectos sobre una mayor producción de compuestos fenólicos y granos de sabor más intenso que los cultivados en zonas más bajas, o a plena luz del sol (Avelino *et al.*, 2007; Joet *et al.*, 2010).

Las principales preocupaciones debidas al cambio climático son la alteración de la biodiversidad y la distribución de la vida silvestre, lo que se traduce en la reducción de los espacios disponibles para la agricultura y, por tanto, en una crisis de producción que afecta gravemente a los pequeños propietarios (Rojas-Múnera *et al.*, 2021). Con el cambio climático, el comportamiento de los caficultores es trasladar su cultivo a otras áreas, pero esto causará deforestación, degradación de la tierra, sequía e inundaciones, destrucción de germoplasma y deterioro de los cuerpos de agua (Hameed *et al.*, 2018). Los productores de café, como en América Central, están experimentando cada vez más condiciones climáticas fuera de los rangos óptimos, incluyendo olas de calor y sequías que se espera afectarán a la producción de café y a su área de distribución geográfica (Ahmed *et al.*, 2021). Se ha calculado que las zonas para cultivar arábica se verán afectadas 300 m hacia arriba en el gradiente altitudinal hasta el año 2050 (Chemura *et al.* 2021; Läderach *et al.* 2017). Por lo tanto, es posible que los agricultores tengan que abandonar las plantaciones de café en elevaciones más bajas. Dado que el café arábica es una planta muy sensible a la temperatura, el café robusta tendría una mayor participación en el mercado.

La aplicación de fertilizantes nitrogenados al suelo afecta a la calidad del café, en comparación con los campos sin fertilizar, porque un exceso de

nitrógeno aumenta el contenido de cafeína y, por tanto, da lugar a un sabor más amargo (Bosselmann *et al.*, 2009; Di Donfrancesco *et al.*, 2019). Por el contrario, un exceso de fósforo, calcio, potasio y magnesio no afecta al contenido de cafeína y ácido clorogénico, pero una deficiencia de magnesio y un exceso de calcio y potasio producen un sabor más amargo (Louzada y Rizzo, 2021). El pH del suelo y el contenido de materia orgánica disminuyen con el cultivo continuo y tienen un efecto negativo significativo en la composición de la comunidad bacteriana y fúngica.

Como ya se ha señalado, el aumento del contenido de macronutrientes de los suelos se asocia a un aumento de los atributos sensoriales. Un exceso de Ca, Mg y K produce un café de sabor amargo, debido a un aumento de lípidos, ácido cítrico y CGA (Morales-Ramos *et al.*, 2020). En general, el contenido total de ácidos clorogénicos en los granos varía en función de la variedad de café, el grado de maduración, el clima, la localización geográfica y el estado nutricional del suelo (Munyendo *et al.*, 2021). Además, cuanto mayor sea la concentración de fósforo disponible en relación con la materia orgánica o el nitrógeno total, mejor será la calidad organoléptica del café.

Uno de los procesos que influyen en la calidad de la bebida es el tueste, proceso en el que los granos de café secos se someten a temperaturas de entre 200 y 240 °C durante distintos periodos de tiempo en función de las características deseadas de la taza de café (Pittia *et al.*, 2001). Como la pérdida de agua, los granos verdes se convierten en una forma quebradiza; además, ocurren varias reacciones bioquímicas como las de Maillard y Strecker, para producir más de 1.000 tipos de compuestos aromáticos (Córdoba *et al.*, 2020; Perrone *et al.*, 2012). Una amplia variedad de compuestos volátiles está presente en los granos de café tostado, tales como alcoholes, aldehídos, aminas, ácidos carboxílicos, dicarbonilos, enoles, ésteres, furanos, furanones, hidrocarburos, imidazoles, indoles, cetonas, lactonas, oxazoles, fenoles, pirazinas, piridinas, pirroles, quinoxalíneas, compuestos de azufre, terpenos y tiazoles (Schenker *et al.*, 2002; Hu *et al.*, 2020). Estos compuestos pueden sufrir cambios drásticos dependiendo del perfil térmico aplicado durante el proceso de tostado. Por lo tanto, el tueste se considera el paso más importante para determinar el sabor y el color característicos del grano de café.

Después del tostado, la molienda de los granos tostados permite equilibrar la humedad y aumenta la superficie de los granos tostados para la respectiva extracción. Después del tostado, se degrada entre el 20 y el 40% de los polisacáridos de almacenamiento de la pared celular, pero no hay una pérdida significativa en términos de cafeína (Campos *et al.*, 2022). La trigonelina

se transforma en N-metilpiridinio y ácido nicotínico como productos principales, lo que los convierte en un índice útil del grado de tostado (Li *et al.*, 2021). Tras el proceso de tostado, los metabolitos de origen microbiano pueden difundirse en los granos y superar el proceso térmico. Entre estos metabolitos, los ésteres activos del sabor muestran un gran potencial para influir en la calidad de la bebida final de café. Una vez tostados los granos verdes, se producen intrincados cambios físicos y químicos, como la caramelización, debido a la combinación de cientos de componentes bioquímicos por la reacción de Maillard y Strecker (Hu *et al.*, 2020). La reacción de Maillard es una degradación del azúcar catalizada por aminoácidos que da lugar al aroma, el sabor y el color. Durante las fases iniciales del tostado, el ácido acético y el ácido fórmico contribuyen en gran medida al aroma picante. Los sabores amargo y astringente se forman con la degradación de los ácidos clorogénicos debido al aumento de la concentración de ácido quínico (Sunarharum *et al.*, 2014; Gao *et al.*, 2021). Mientras que la cafeína no se ve afectada significativamente por el tostado, el CGA y la trigonelina sufren una drástica degradación (Moon *et al.*, 2009; Schwan & Fleet 2014). Esto da lugar a productos de hidrólisis como el ácido quínico y el ácido ferúlico, que se degradan aún más formando importantes odorantes fenólicos, como el guayacol y el 4-vinilguayacol (Heo *et al.*, 2020). Además, la trigonelina y ciertas proteínas junto con los azúcares presentes en las judías verdes se descomponen en compuestos volátiles como piridinas, pirroles y pirazinas (Bastian *et al.*, 2021).

Cuando probamos el café, el olfato es la primera etapa de la degustación, porque el olor se percibe más rápido que el sabor. Determinamos el olor del café cuando las sustancias químicas volátiles procedentes de la infusión estimulan los nervios de la cavidad nasal. Las características sensoriales de una taza de café equilibrada están relacionadas con su composición en cafeína, trigonelina, CGA y compuestos volátiles como los terpenoides (Saloko *et al.*, 2019). El café de alta calidad a menudo se define por una taza "equilibrada" que se caracteriza por niveles específicos de atributos de acidez, sabor, regusto y cuerpo (Folmer, 2017). El café Arábica tiende a ser más ácido que el Robusta, pero esta acidez disminuye con el tueste. La acidez percibida es uno de los principales impulsores de las preferencias de los consumidores y representa una de las principales categorías que la industria utiliza para calificar la calidad del café. Los ácidos del café se dividen en ácidos orgánicos y ácidos clorogénicos. Por ejemplo, los ácidos cítrico, málico y quínico son las características más importantes de los granos de café verde. En el proceso de tostado se produce un aumento de la acidez, ya que en esta fase se forman los ácidos fórmico, acético, glicólico y láctico. La sacarosa es el princi-

pal precursor de la formación de estos ácidos (Sunarharum *et al.*, 2014). La diferencia en la concentración de sacarosa afectará a las cantidades finales de formación de ácidos. Por lo tanto, para mejorar el perfil sensorial final de la taza de café, es importante comprender cómo aumentar la acidez en cada tipo de ácido orgánico o clorogénico.

Respectos de las tendencias, en la actualidad el café de especialidad está ganando terreno en el aspecto comercial y puede definirse como un café de origen geográfico conocido, que tiene un valor superior al del café de calidad comercial debido a la alta calidad de su taza y a los atributos que posee. Por lo tanto, una tendencia futura para los pequeños productores sería la comercialización de cafés especiales. Países como Ecuador, Colombia, Guatemala, entre otros han optado por diferenciar su oferta con la intención de incrementar la demanda y obtener mejores precios (Galanakis 2020).

En este contexto, es pertinente explorar las conexiones entre los atributos sensoriales de la calidad de la taza de café derivados de los clones Robusta y Conilón ecuatorianos, las altitudes a las que se cultivan y las características físicas de los granos. En estos términos, la novedad de este estudio radica en la categorización de los atributos de sabor en factores positivos y negativos, proporcionando una evaluación matizada de los perfiles de sabor y mejorando nuestra comprensión de las características sensoriales asociadas a Robusta y Conilón. En consecuencia, el objetivo de esta investigación era determinar cómo influyen el tamaño de los granos, los defectos de los granos y los métodos de procesamiento posteriores a la cosecha en las cualidades sensoriales (notas de sabor) de los granos Robusta y Conilón. El resultado esperado de esta investigación es un conjunto de recomendaciones sobre los métodos óptimos de poscosecha del grano de café verde para los agricultores de tres altitudes diferentes.

Materiales y Métodos

Muestreo ecotipos robusta

Para el presente estudio se recolectaron los frutos de los grupos genéticos Robusta y Conilón y fueron recolectados en las zonas de producción de Santo Domingo de los Tsáchilas, Bolívar y Santa Elena (tabla 28).

Tabla 28.

Características de las zonas y ecotipos en cafetales de muestreo.

Provincia	Canton	Altitud (msnm)*	Temperatura promedio*	Ecotipos
Santa Elena	Santa Elena	18	26 °C	Congolensis
Santa Elena	Santa Elena	18	26 °C	Conillón
Santo Domingo	Santo Domingo	625	23 °C	Congolensis
Santo Domingo	Santo Domingo	625	23 °C	Conillón
Bolívar	Caluma	350	23 °C	Congolensis
Bolívar	Caluma	350	23 °C	Conillón

*La altitud y temperatura se refieren a valores medios

Métodos de procesos poscosecha

Se aplicaron tres métodos diferentes de proceso poscosecha: beneficio natural, húmedo y honey. En el método natural, toda la cosecha de cerezas maduras se secó al sol durante 12 días, hasta alcanzar el contenido de agua requerido del 10% (Evangelista *et al.*, 2014). Las cerezas se expusieron uniformemente al sol y se removieron constantemente para evitar la fermentación. Tras el secado, las cerezas secas se molieron para eliminar la cascara del fruto y pergamino que recubre las semillas. En el proceso húmedo, la pulpa y el mucílago de las cerezas de café maduras se eliminaron utilizando enzimas aproximadamente en 30 L de agua por kilogramo de cerezas durante 40 minutos. Se utilizaron enzimas proteolíticas (Granozyme, Ecuador) para descomponer el mucílago, después se procede al lavado de los pergaminos. El café pergamino se ubicó en marquesina para su respectivo secado (Pereira *et al.*, 2021). En el método honey (semiseco), se procedió a despulpado y posterior ubicación en marquesina. Las semillas se secaron al sol con el mucílago todavía alrededor. La capa de pergamino en los tres procesos de beneficio se eliminó con una descascarilladora (Wulandari *et al.*, 2021).

Análisis físico

Para el análisis físico, se recolectó la cantidad de 300 gramos de café con 10% de humedad a un proceso de clasificación en el que se emplearon tamices con un número de tamaño de malla comprendido entre 14 y 18 (Tassew *et al.*, 2021). Se midió el peso del café retenido en cada tamiz y se documentó el porcentaje correspondiente (Ameyu, 2016).

En un análisis de defectos, el café de Grado Especial (1) no debe tener más de cinco defectos completos en una muestra de 300 gramos, y no se permiten defectos primarios (negro completo, agrio completo, cereza de vaina, piedras grandes, palos grandes y médium). Además, se permite una tolerancia de hasta el 5% por encima o por debajo del tamaño de malla anunciado (SCA, 2022).

El Grado Premium 2 permite un máximo de 8 defectos completos en 300 gramos, sin restricciones en cuanto a defectos primarios, y las muestras pueden contener hasta tres quakers (SCA, 2022).

Preparación tostado y molido de muestras

El proceso de tostado tenía como objetivo conseguir un tueste medio americano, un nivel comúnmente preferido para el café Robusta. En una tostadora de café (Fresh Roast SR540, China), cada muestra de café se tostó a 210-220 °C (tueste medio americano). Esto llevó hasta 10 minutos. Para determinar el nivel de tueste, se empleó como herramienta estándar el disco de color Agrtron/SCAA E10/E20 con el número 54. Tras el proceso de tostado, las muestras de café se enfriaron y se almacenaron a temperatura ambiente.

Para obtener un tamaño de molido homogéneo, se utilizó el molinillo cónico de fresas Shardor, que produce un grano de entre 0,3 y 0,5 milímetros, adecuado para la preparación de café con vaporizador (molinillo cónico de fresas Shardor, CG9406-UL2, EE.UU.). Se eligió la infusión con vaporizador por su capacidad de ofrecer un control preciso de los parámetros esenciales de la infusión, como la temperatura del agua y el tiempo de contacto. La cantidad de café molido fue de 8,75 gramos por 150 ml de agua caliente (90 °C).

Análisis sensorial

Cinco catadores realizaron el análisis sensorial de los granos procedentes de cada zona de producción. Un panel de expertos certificados por el Coffee Quality Institute (CQI) realizó el estudio sensorial. Todos los panelistas pasaron por 120 horas de formación de panel descriptivo con una variedad de productos alimenticios (Di-Donfrancesco *et al.*, 2019). La terminología de atributos empleada se basó en el aroma, el sabor y el regusto del café, según la rueda de sabores del catador de café (SCA, 2022).

Los catadores de café registraron los atributos de olor/sabor en dos categorías: atributos de sabor positivos como chocolate, hierba limón, cacao, cítricos, aromático, manzana, cereza, fruta de la pasión, floral, bayas, dulce, vainilla, azúcar moreno, miel, toffee, pistacho, kiwi o cremoso; y características de sabor negativas como gomoso, fermentado, áspero, caramelo quemado, madera, amargo, vinagre, astringente, cereal, seco, macerado, hierba,

mantequilla, rancio, un poco jugoso, demasiado maduro, sedoso, suelto, paja, verduras, queso curado, poco cocido, frondoso o inmaduro (Andueza *et al.*, 2007; Seninde y Chambers, 2020; Pinsuwan *et al.*, 2022).

Se asignaron puntuaciones numéricas a cada atributo de olor/sabor o nota de cata en una escala del 1 al 10, reflejando la intensidad de cada característica descrita por los catadores. Posteriormente, los datos permitieron calcular el porcentaje de notas de cata positivas y negativas. Se realizó un análisis estadístico exhaustivo para discernir las diferencias significativas en las notas de cata entre especies de café y zonas de producción.

Análisis estadístico

Los datos observacionales se analizaron mediante estadística descriptiva e inferencial utilizando R-project y R-studio con el paquete ggplot2 (R Core Team, 2022; Wickham, 2016). Los efectos de las características físicas, los defectos, la altitud y los tratamientos poscosecha sobre los atributos sensoriales (variables de respuesta) se estudiaron mediante ANOVA y la prueba de rangos de Tukey. Dado que los ecotipos de Robusta no se encuentran en las mismas altitudes, las pruebas estadísticas se realizaron individualmente para cada variedad.

Resultados y Discusión

Tamaño de grano en prueba de tamizaje

La figura 1 muestra el porcentaje de granos de café Conilón y Robusta retenidos en las cribas 12-18, con la siguiente distribución del tamaño de los granos: criba 12 para granos pequeños, criba 14 para granos medianos, y cribas 16-18 para granos grandes. Los granos pequeños y caracoles son dos de los tamaños más pequeños de los granos de café. Según los resultados, se observó que los granos pequeños representaban menos del 4% del total de granos de café a cualquier altitud y para cualquier proceso después de recolección, mientras que los granos medianos representaban menos del 14% del total de granos de café a cualquier altitud.

A altitudes más bajas, no se observaron variaciones notables en el tamaño de las 12 mallas de los granos de café Conilón, independientemente del método de elaboración posterior a la cosecha empleado. Sin embargo, cuando se trata de granos de café Robusta y Conilón de tamaño 14, surge una marcada diferencia: el método de beneficiado en seco produjo hasta un 15% de retención de la malla, mientras que los otros métodos exhibieron un nivel comparativamente más bajo de retención. A 12 m de altitud, los granos de Robusta presentaron una retención de la malla 18 significativamente mayor (62%) que en Conilón (12%). No se observaron diferencias significativas en la retención de la malla 18 en función del método de transformación posterior a

la cosecha en el caso de los granos de Conilón, pero sí en granos de Robusta.

A mayor altitud, según la figura 11, los granos de Conilón procedentes de fincas ubicadas en los 625 m tenían una retención de malla superior al 40% para la malla 15-18. Los granos de café por encima de la malla 15 se conocen como medianos o excelsos (SCA, 2022). A la misma altitud de 625 m, las muestras de beneficio de honey alcanzaron la malla 18. Los granos de café por encima de la malla 18 se conocen como grande, superior o supremo. Para el ecotipo Robusta procesado por el método húmedo, la mayor retención de malla se produjo en la malla 18, y para las muestras procesadas con el método honey alcanzaron la mayor retención en la malla 15 por encima de los 625 m. A 350 m de altitud, se obtuvo la mayor retención en la malla 15 con todos los métodos de poscosecha. Según el presente estudio y fuentes anteriores, el tamaño de los granos aumenta significativamente a mayor altitud (Tassew *et al.*, 2021). De acuerdo con la tabla 28, la retención de malla se vio afectada significativamente ($p < 0,05$) por el procesamiento poscosecha y la elevación.

Figura 11.

Porcentaje de granos de Conilón (A) y Robusta (B) en prueba de tamizaje.

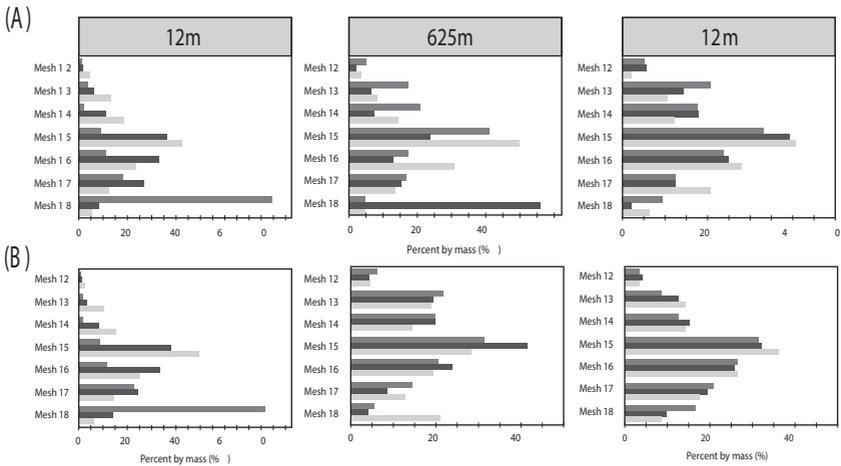


Tabla 29.

Resumen de los valores F del ANOVA para el análisis físico.

Fuentes de variación	GL	Conilón			Robusta		
		12 m	350 m	625 m	12 m	350 m	625 m
Método de beneficio	2	44,8	0,7 (ns)	5,4 (*)	103,6 (ns)	3 (*)	5,3 (*)
Criba 12 a 18	1	39	83,9	3,1 (ns)	0,5	680	240,1
Método de proceso x malla	2	5,6 (*)	4,2 (*)	14,6 (**)	1122,5	13,5	34,1

GL = Grados de libertad. Significancia: (**) 0.01 (*) 0.05 (ns) no significativo

Además de evaluar la influencia del tamaño del grano en la calidad de la taza de café, este estudio también exploró las posibles distinciones entre las variedades de café Conilón y Robusta, revelando que la mayoría de las características de calidad de la taza de la bebida son independientes de la variedad del grano de café (figura 1). Según las conclusiones del presente estudio, que investiga los efectos de la altitud y los métodos de elaboración posteriores a la cosecha en el tamaño de los granos de las muestras de café Robusta y Conilón, existe una correlación significativa entre una mayor altitud y un mayor tamaño de los granos. Además, este estudio destacó el impacto significativo de los métodos de procesamiento y la altitud en la retención de la malla para ambos tipos de café. Estos resultados coinciden con investigaciones anteriores sobre variedades de café como Caturra, Rume Sudan y Blue Mountain, que a menudo producen granos más pequeños asociados a una menor calidad en taza (Njoroge, 1998). Esto subraya la importancia de seleccionar cuidadosamente el cultivar, la variedad o incluso la especie de café adecuados para obtener la calidad deseada. Cabe señalar que el café de alta calidad suele comprender una mezcla de granos planos y caracoles, incorporando granos grandes, medianos y pequeños retenidos por encima del tamaño de malla 14 (Hoffmann, 2018; Luna González *et al.*, 2019).

Estudios anteriores han demostrado que los granos de café del tamaño de criba 15 tienen puntuaciones de acidez, dulzor y cata más bajas que los de cualquier otro tamaño, con una diferencia significativa en la puntuación final de más de cuatro puntos en comparación con el tamaño de criba 13, más pequeño, o los tamaños 17 y 18, más grandes (Luna González *et al.*, 2019). Los granos más grandes, a menudo cultivados a altitudes superiores a los 1.000 metros sobre el nivel del mar, tienden a producir un café de mejor sabor debido a su prolongado periodo de maduración en el árbol, que permite un desarrollo más completo (Papadopoulos, 2008). Además, se observaron notables variaciones estacionales en el impacto del clima sobre el tamaño y

los defectos de los granos de café, asociándose la disminución de las precipitaciones al final de la temporada de crecimiento con granos más pequeños, mientras que la disminución de las precipitaciones durante el principio de la temporada de crecimiento tuvo el efecto contrario (Kath *et al.*, 2021).

Defectos físicos

En la presente investigación, se observó que todas las muestras de Robusta y Conilón presentaban defectos incluidos en las categorías 1 y 2. Los resultados del análisis de varianza (ANOVA) presentados en la tabla 30 indican que el procesamiento poscosecha tuvo un impacto más pronunciado en la calidad de cata de las variantes congolensis y Conilón a altitudes más bajas. Además, se observó que las mayores altitudes tenían un efecto más significativo sobre el tamaño de la malla del grano, observándose una asociación entre los tamaños de malla más grandes y la altitud. La importancia del tamaño del grano durante el proceso de tostado se atribuye al ablandamiento de la estructura celulósica del grano y a la acumulación de subproductos de la pirólisis, lo que establece que el tamaño del grano es un factor estrechamente interrelacionado con la calidad final del café en taza (Papadopoulos, 2008). Investigaciones previas han indicado que los atributos sensoriales de las infusiones de café están notablemente influenciados por las formas de grano, tanto caracoles como planos, junto con el proceso de fermentación en métodos húmedos y semisecos (Luna González *et al.*, 2019). Esta se atribuye a la actividad microbiana durante la fermentación, que resulta en la producción de diversos metabolitos finales, ejerciendo posteriormente una influencia sustancial en la composición química del café procesado (Wulandari *et al.*, 2021; Cortés-Macías *et al.*, 2022).

Tabla 30.

Resumen de los valores F del ANOVA para defectos.

Fuentes de variación	GL	Conilón			Robusta		
		12 m	350 m	625 m	12 m	350 m	625 m
Categoría 1	2	13,8	2,1	5,5 (*)	2,1	4,8 (*)	5,7 (*)
Categoría 2	2	2,1	3,1	0,2	0,1	1,4	1,4

GL = Grados de libertad. Significancia: (**) 0.01 (*) 0.05 (ns) no significativo

La calidad del sabor del café es un factor importante que está relacionado con la presencia de granos de café defectuosos. Según la SCA, el café especial no admite defectos de categoría 1. Las plagas de insectos tienen efectos devastadores en el cafeto, lo que conduce a la producción de peque-

ños granos de baja calidad (Njoroge, 1998). Después de la etapa de trilla, los granos defectuosos se hacen visibles, y éstos deben ser identificados y eliminados mediante análisis físico para evitar desequilibrios en las propiedades organolépticas del café (Barrios Rodríguez *et al.*, 2020). Una mayor precipitación durante la cosecha se asoció con una mayor probabilidad de defectos en los granos de café, como granos mohosos y daños por insectos (Kath *et al.*, 2021). Respecto de los defectos (Categoría 1 + Categoría 2), no alcanzaron un total de 8,0, lo que significa que las muestras están categorizadas como café premium (SCA, 2022). Para esta categoría premium, los defectos primarios están permitidos.

Se considera que un café es especial cuando el número de defectos de categoría 1 de los granos de café verde es 0 (por ejemplo, completamente negro, agrio, dañado por hongos, materias extrañas y daños graves por insectos), y el número de defectos de categoría 2 es ≤ 5 (por ejemplo, inmaduro/sin madurar, marchito, roto y defectos flotantes) (SCA, 2022). El estudio encontró que todas las muestras de café congolensis y Conilón tenían defectos, que se asocian con una menor calidad del sabor. El café especial no permite defectos de categoría 1. Las plagas de insectos pueden provocar la producción de granos pequeños y de baja calidad. Los granos defectuosos deben ser identificados y eliminados para mantener las propiedades sensoriales del café. Las muestras de Robusta y Conilón del estudio se clasificaron como café de primera calidad, que permite algunos defectos primarios.

Notas de atributos en el análisis sensorial

Las figuras 12 y 13 resumen los porcentajes de notas de cata positivas y negativas de las muestras de taza preparadas a partir de granos de diversas altitudes utilizando los diferentes procesos de poscosecha. Los resultados muestran que las notas de cata más negativas proceden del café elaborado a partir de granos de baja altitud. Se determinó que las cualidades organolépticas de los cafés canéfora estaban más influidas por la altitud que por las condiciones de elaboración.

Para el Conilón y el Robusta procesados por los tres métodos, el análisis estadístico (cuadros 2 y 3) reveló que los procesos de miel y húmedo contribuyeron más a la calidad de la taza de café en altitudes elevadas ($p < 0,05$).

Las notas de sabor negativas eran más frecuentes a baja altitud que a gran altitud, sobre todo en el caso del Conilón. Los procesos húmedo y con miel tuvieron un efecto favorable en la eliminación de las notas de sabor desagradables en ambas especies. Estudios anteriores descubrieron que el mejor

tratamiento para los granos de café era una combinación de procesamiento con miel, temperatura de tostado de 175 °C y 15 minutos de tiempo de tostado (Wulandari *et al.*, 2021). Este tratamiento dio como resultado una alta aceptación general para el aroma elaborado, el sabor elaborado, el amargor elaborado, la finura molida y la viscosidad elaborada; el aroma molido, la acidez elaborada y el dulzor elaborado fueron ligeramente menos aceptados (Wulandari *et al.*, 2021). El sabor astringente y rancio y el amargor de la bebida se deben a la concentración de ácido clorogénico y a las proporciones de varios compuestos presentes en el grano de café crudo; la presencia de estos ácidos indica una baja calidad del producto (Silva *et al.*, 2022).

Figura 12.

Porcentaje de notas de cata positivas y negativas para Robusta cultivado en diferentes altitudes.

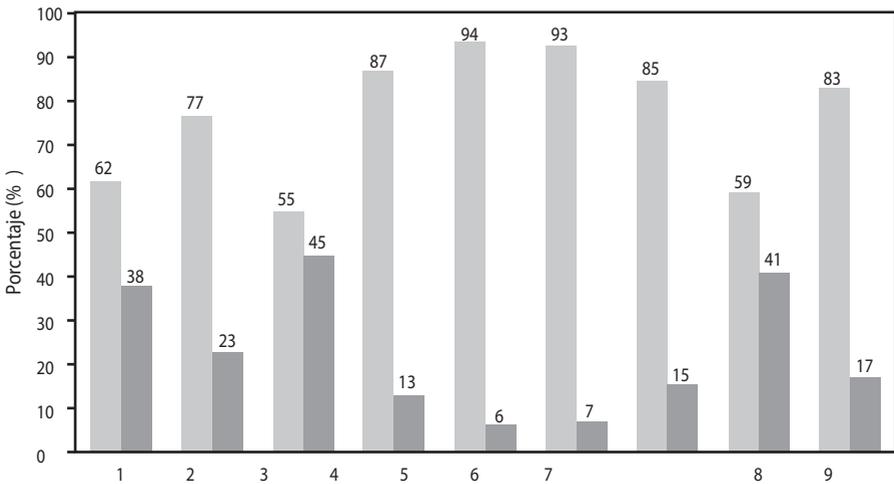
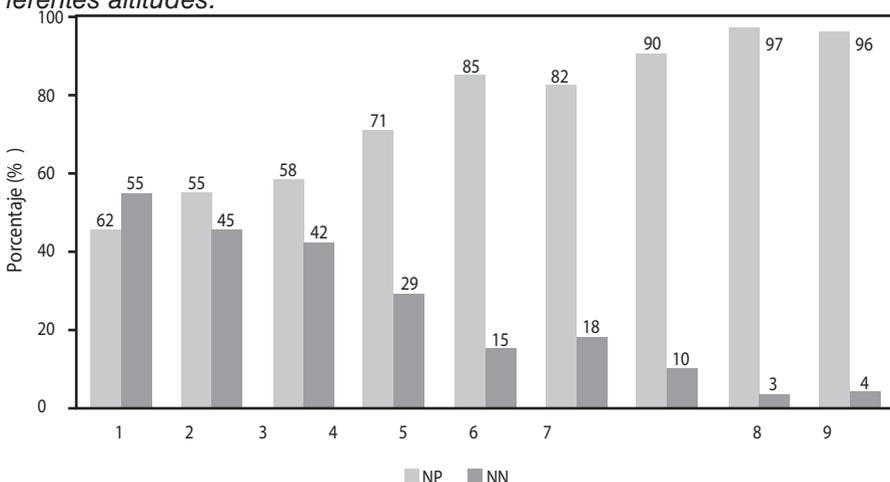


Figura 13.

Porcentaje de notas de cata positiva y negativa para Conilón cultivado en diferentes altitudes.



Los cafés de tueste claro, que enfatizan la deliciosa acidez de una taza de café, tienen sabores cítricos, frutales y florales (lima, mandarina, naranja, frambuesa). Los cafés de tueste oscuro se asocian a notas de chocolate, azúcares caramelizados, almendras, humo, malta y melaza. Los sabores desagradables como el sabor a cebolla y los ácidos butírico y propiónico afectan negativamente a la calidad de los granos de café (Haile y Kang, 2019; Santosa *et al.*, 2021).

El efecto de los defectos negro total, flotante, roto y daños por insectos en la calidad de la taza de café está relacionado con el crecimiento microbiano, que confiere al café un sabor apestoso, sucio, mohoso, agrio y fenólico (Franca *et al.*, 2005). Los daños causados por los hongos afectan a la calidad de la taza porque proporcionan un sabor fermentado, mohoso, terroso, sucio y fenólico (SCA, 2022).

La tabla 31 presenta las puntuaciones medias asignadas a las notas de cata positiva, calificada en una escala de 1 a 10, para el café Robusta y Conilón. En particular, los datos revelan una mayor abundancia de notas de cata positivas para el café cultivado a mayor altitud. Es importante destacar que esta distinción basada en la altitud resultó ser más influyente que los efectos de las diferentes condiciones de elaboración. En este contexto, los resultados actuales difieren de los de otros estudios que afirman que diversos tratamientos posteriores a la cosecha y de elaboración influyen en la calidad sensorial del café molido y elaborado (Wulandari *et al.*, 2021).

Tabla 31.

Puntuaciones medias de las notas de cata positivas en una escala de 1 a 10 para el café Robusta y Conilón cultivados en diferentes altitudes.

Localidades	Ecotipos	Tratamientos	Fragancia /aroma	Sabor residual	Gusto Salado /acidez	Equilibrio Amargo /dulce	Cuerpo	Taza uniforme	Balance	Limpidez	Puntaje catador	Total
Santa Elena	Conilón	Beneficio Natural	7,75	7,79	7,56	7,63	7,77	9,83	7,69	10,00	7,63	81,33
Santa Elena	Conilón	Beneficio Enzimático	7,67	7,60	7,54	7,63	7,69	10,00	7,67	10,00	7,69	81,06
Santa Elena	Conilón	Beneficio Honey	7,81	7,63	7,54	7,63	7,77	10,00	7,67	10,00	7,69	81,31
Santa Elena	Robusta Nacional	Beneficio Natural	7,83	7,81	7,67	7,69	7,75	10,00	7,71	10,00	7,79	81,92
Santa Elena	Robusta Nacional	Beneficio Enzimático	7,77	7,73	7,65	7,71	7,60	10,00	7,71	10,00	7,79	81,65
Santa Elena	Robusta Nacional	Beneficio Honey	7,83	7,75	7,58	7,63	7,67	10,00	7,71	10,00	7,69	81,44
Santo Domingo	Conilón	Beneficio Natural	7,83	7,79	7,75	7,77	7,75	10,00	7,71	10,00	7,88	82,27
Santo Domingo	Conilón	Beneficio Enzimático	7,83	7,77	7,73	7,79	7,71	10,00	7,71	10,00	7,81	82,15
Santo Domingo	Conilón	Beneficio Honey	7,96	7,85	7,81	7,85	7,83	10,00	7,90	10,00	7,90	82,94
Santo Domingo	Robusta Nacional	Beneficio Natural	7,96	7,90	7,79	7,94	7,85	10,00	7,88	10,00	8,06	83,19
Santo Domingo	Robusta Nacional	Beneficio Enzimático	7,77	7,83	7,69	7,79	7,77	10,00	7,69	10,00	7,75	82,04
Santo Domingo	Robusta Nacional	Beneficio Honey	7,83	7,75	7,60	7,73	7,65	10,00	7,69	10,00	7,81	81,77
Bolivar	Conilón	Beneficio Natural	8,10	7,98	7,92	7,94	7,90	10,00	7,90	10,00	8,00	83,54
Bolivar	Conilón	Beneficio Enzimático	8,04	7,90	7,81	7,85	7,81	10,00	7,90	10,00	7,98	83,10
Bolivar	Conilón	Beneficio Honey	7,90	7,81	7,71	7,73	7,71	10,00	7,71	10,00	7,77	82,06
Bolivar	Robusta Nacional	Beneficio Natural	7,77	7,81	7,77	7,85	7,75	10,00	7,73	10,00	7,94	82,44
Bolivar	Robusta Nacional	Beneficio Enzimático	7,94	7,75	7,69	7,67	7,71	10,00	7,67	10,00	7,67	81,75
Bolivar	Robusta Nacional	Beneficio Honey	7,81	7,81	7,73	7,73	7,67	10,00	7,75	10,00	7,75	81,96

Un sistema de puntuación numérica, que va de 1 a 10, cuantifica las descripciones sensoriales, permitiendo un fácil análisis comparativo. El cálculo de los porcentajes de notas positivas y negativas presenta sucintamente las tendencias de sabor para las especies de café y las altitudes, proporcionando una visión general de los rasgos de sabor dominantes. En este contexto, el estudio reveló que los granos procedentes de altitudes bajas mostraban los efectos más pronunciados relacionados con los defectos en las notas de cata del café. La altitud influyó notablemente en las cualidades organolépticas del café Robusta más que las condiciones de elaboración. No surgieron diferencias significativas entre el efecto del método de elaboración sobre la calidad del café en taza para el Conilón y el mismo efecto para el Robusta. Defectos, tales como negro total, flotante, roto, daños por insectos y daños por hongos, afectaron negativamente a la calidad de la taza al introducir sabores desagradables. Los distintos niveles de tueste se correlacionaron con distintas notas de cata, desde cítricos y frutas hasta chocolate y azúcares caramelizados.

Conclusiones

En este estudio se investigó el efecto de la altitud y los métodos de elaboración poscosecha en el tamaño de los granos, los defectos y la calidad final en taza del café Robusta. En el estudio se observó que las altitudes más elevadas se correlacionaban con granos de mayor tamaño, y que los métodos de elaboración y la altitud afectaban significativamente a la retención de malla en los granos de ambas variedades de café.

Entre los cafés Conilón y Robusta procesados con los tres métodos de poscosecha, se observó que los métodos de beneficiado honey y húmedo tenían un impacto más significativo en la calidad del café cuando se cultivaba a mayor altitud. La retención de la malla se vio afectada significativamente por el beneficiado poscosecha y la altitud. Sin embargo, en altitudes de hasta 1.000 metros, los tamaños de malla no fueron estadísticamente diferentes en los tres procesos de poscosecha, especialmente en las muestras de Congo-lensis. Generalmente se considera que los granos de café grandes son de mayor calidad, pero no siempre es así. Los resultados de este estudio coinciden con investigaciones anteriores sobre otros ecotipos de café robusta, que a menudo producen granos más pequeños asociados a una menor calidad en taza. Para gestionar la calidad y la seguridad del café, se han elaborado directrices internacionales para la aplicación de buenas prácticas de fabricación a lo largo de toda la cadena de producción y distribución, junto con criterios de certificación y trazabilidad.

Este trabajo permite comprender mejor las complejidades de la producción de café Robusta y subraya la necesidad de tener muy en cuenta los factores de procesamiento previo y posterior a la cosecha para producir un café de alta calidad.

Referencias bibliográficas

Ameyu, M. A. (2016). Physical Quality Analysis of Roasted Arabica Coffee Beans Subjected to Different Harvesting and Postharvest Processing Methods in Eastern Ethiopia. *Food Sci. Qual. Manag.*, 57.

Andueza, S., Vila, M. A., Paz de Peña, M., Cid, C. (2007). Influencia de la relación café/agua en la calidad final del café espresso. *J. Sci. Food Agric.*, 87(4), 586-592. <https://doi.org/10.1002/jsfa.2720>

Avelino J., Barboza B., Davrieux F., Guyot B. (2007). Shade effects on sensory and chemical characteristics of coffee from very high altitude plantations in Costa Rica. Conference: Second International Symposium on Multi-Strata agroforestry systems with perennial crops: Making ecosystem services count for farmers, consumers and the environment. https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recor_dID=FR2019152286

Barrios Rodríguez, Y. F., Salas Calderón, K. T., Girón Hernández, J. (2020). Comparación de atributos sensoriales y marcadores químicos del espectro infrarrojo entre muestras defectuosas y no defectuosas de café colombiano. *Coffee Sci.*, 15, 1-10. <https://doi.org/10.25186/v15i.1659>

Bastian, F., Hutabarat, O. S., Dirpan, A., Nainu, F., Hara-pan, H., Emran, T. B., Simal-Gandara, J. (2021). From plantation to cup: changes in bioactive compounds during coffee processing. *Foods*, 10(11), 2827. <https://doi.org/10.3390/foods10112827>

Belay, A., Bekele, Y., Abraha, A., Comen, D., Kim, H. K., Hwang, Y.-H. (2014). Discrimination of defective (full black, full sour and immature) and nondefective coffee beans by their physical properties: defective and non-defective physical properties. *J. Food Proc. Eng.*, 37(5), 524-532. <https://doi.org/10.1111/jfpe.12113>

Bosselmann AS, Dons K, Oberthur T, Olsen CS. (2009). The influence of shade trees on coffee quality in small holder coffee 3 agroforestry systems in Southern Colombia. *Agr Ecosyst Environ*, 129(1-3):8

Byrareddy, V., Kouadio, L., Mushtaq, S., Kath, J., Stone, R. (2021). Coping with drought: Lessons learned from robusta coffee growers in Vietnam. *Clim. Serv.*, 22, 100229. <https://doi.org/10.1016/j.cliser.2021.100229>

Campos GAF, Kruizenga JGKT, Sagu ST, Schwarz S, Homann T, Taubert A, Rawel HM (2022) Effect of the post-harvest processing on protein modification in green coffee beans by phenolic compounds. *Foods*, 11(2):159. <https://doi.org/10.3390/foods11020159>

Córdoba N, Fernández-Alduenda M, Moreno FL, Ruiz Y (2020). Coffee extraction: a review of parameters and their influence on the physicochemical characteristics and flavour of coffee brews. *Trends Food Sci Technol* 96:45–60. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.12.004>

Cortés-Macías, E. T., López, C. F., Gentile, P., Girón-Hernández, J., López, A. F. (2022). Impacto de los tratamientos poscosecha sobre las características fisicoquímicas y sensoriales del grano de café en Huila, Colombia. *Postharvest Biol. Technol.*, 187, 111852. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2022.111852>

Chindapan, N., Soydok, S., Devahastin, S. (2019). Roasting kinetics and chemical composition changes of robusta coffee beans during hot air and superheated steam roasting. *J. Food Sci.*, 84(2), 292-302. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.14422>

Chemura A, Mudereri BT, Yalew AW, Gornott C (2021) Climate change and specialty coffee potential in Ethiopia. *Sci Rep.*, 11(1):8097. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-87647-4>

Di Donfrancesco, B., Gutiérrez Guzmán, N., Chambers, E. (2019). Similitudes y diferencias en las propiedades sensoriales del café arábica de alta calidad en una pequeña región de Colombia. *Food Res. Int.*, 116, 645- 651. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.08.090>

Evangelista, S. R., Silva, C. F., da Cruz Miguel, M. G. P., Cordeiro, C. de S., Pinheiro, A. C. M., Duarte, W. F., Schwan, R. F. (2014). Mejora de la calidad de la bebida de café mediante el uso de cepas de levaduras seleccionadas durante la fermentación en proceso seco. *Food Res. Int.*, 61, 183-195. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2013.11.033>

Ferreira W, Queiroz D, Silvac S, Tomaz R, Corrêa P (2016). Effects of the orientation of the mountainside, altitude and varieties on the quality of the coffee beverage from the “Matas de Minas” Region, Brazilian Southeast. *Am J Plant Sci.*, 07(08):1291-1303. <https://doi.org/10.4236/ajps.2016.78124>

Folmer, B. (Ed.). (2017). *El oficio y la ciencia del café*. Vol. 1. Cambridge, MA: Academic Press.

Franca, A. S., Oliveira, L. S., Mendonça, J. C. F., Silva, X. A. (2005). Atributos físicos y químicos de granos de café crudos y tostados defectuosos. *Food*

Chem., 90(1-2),89-94. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2004.03.028>

Gao C, Tello E, Peterson DG (2021) Identification of coffee compounds that suppress bitterness of brew. *Food Chem.*, 350:129225. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.129225>

Galanakis CM (2020) The food systems in the Era of the Coronavirus (COVID-19) Pandemic Crisis. *Foods*, 9(4):523. <https://doi.org/10.3390/foods9040523>

Girma, B. y Sualeh, A. (2022). A Review of Coffee Processing Methods and Their Influence on Aroma. *Int. J. Food Eng. Technol.*, 6(1), 7. <https://doi.org/10.11648/j.ijfet.20220601.12>

Haile, M., Kang, W. H. (2019). El papel de los microbios en la fermentación del café y su impacto en la calidad del café. *J. Food Qual.*, 2019, 1-6. <https://doi.org/10.1155/2019/4836709>

Hameed, A., Hussain, S. A., Ijaz, M. U., Ullah, S., Pasha, I., Suleria, H. A. R. (2018). De la granja al consumidor: factores que afectan a las características organolépticas del café. II: Postharvest processing factors: farm to consumer. *Compr. Rev. Food Sci. Food Saf.*, 17(5), 1184-1237. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12365>

Heo J, Adhikari K, Choi KS, Lee J (2020) Analysis of caffeine, chlorogenic acid, trigonelline, and volatile compounds in cold brew coffee using high-performance liquid chromatography and solid phase microextraction gas chromatography-mass spectrometry. *Foods*, 9(12):1746. <https://doi.org/10.3390/foods9121746>

Hoffmann, J. (2018). *El atlas mundial del café: From beans to brewing-Coffees explored, explained and enjoyed*. London: Octopus.

Hu G, Peng X, Gao Y, Huang Y, Li X, Su H, Qiu M. (2020). Effect of roasting degree of coffee beans on sensory evaluation: Research from the perspective of major chemical ingredients. *Food Chem.*, 331:127329. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127329>

Johnson, M. A., Ruiz-Diaz, C. P., Manoukis, N. C., Verle Rodrigues, J. C. (2020). Broca del café (*Hypothenemus hampei*), una plaga mundial del café: perspectivas de las invasiones históricas y recientes, y prioridades futuras. *Insects*, 11(12), 882. <https://doi.org/10.3390/insects11120882>

Joët T, Laffargue A, Descroix F, Doulebeau S, Bertrand B, Kochko A de, Dussert S. (2010) Influence of environmental factors, wet processing and their interactions on the biochemical composition of green Arabica coffee beans.

Food Chemistry, 118(3), 693-701. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.05.048>

Kath, J., Mittahalli Byrareddy, V., Mushtaq, S., Craparo, A., Porcel, M. (2021). Temperature and rainfall impacts on robusta coffee bean characteristics. *Clim. Risk Manag.*, 32, 100281. <https://doi.org/10.1016/j.crm.2021.100281>

Kittichotsatsawat, Y., Jangkrajarn, V., Tippayawong, K. Y. (2021). Enhancing coffee supply chain towards sustainable growth with big data and modern agricultural technologies. *Sustainability*, 13(8), 4593. <https://doi.org/10.3390/su13084593>

Kumar D, Kalita P. (2017) Reducing postharvest losses during storage of grain crops to strengthen food security in developing countries. *Foods*, 6(1):8. <https://doi.org/10.3390/foods6010008>

Läderach P, Ramírez-Villegas J, Navarro-Racines C, Zelaya C, Martínez-Valle A, Jarvis A. (2017). Climate change adaptation of coffee production in space and time. *Clim Change*, 141(1):47-62. <https://doi.org/10.1007/s10584-016-1788-9>

Li Z, Zhang C, Zhang Y, Zeng W, Cesarino I. (2021). Coffee cell walls. Composition, influence on cup quality and opportunities for coffee improvements. *Food Quality and Safety*, 5, fyab012. <https://doi.org/10.1093/fqsafe/fyab012>

Louzada L, Rizzo T. (Eds.). (2021) *Quality Determinants In Coffee Production*. Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-54437-9>

Luna González, A., Macías López, A., Taboada Gaytán, O. R., Morales Ramos, V. (2019). Atributos de calidad en taza de Catimores afectados por el tamaño y forma del grano de café (*Coffea arabica* L.). *Int. J. Food Properties*, 22(1), 758-767. <https://doi.org/10.1080/10942912.2019.1603997>

Morales-Ramos V, Escamilla-Prado E, Ruiz-Carbajal RA, Pérez-Sato JA, Velázquez-Morales JA, Servín-Juárez R. (2020). On the soil-bean-cup relationships in *Coffea Arabica* L. *J Sci Food Agric* 100(15):5434-5441. <https://doi.org/10.1002/jsfa.10594>

Moon J-K, Yoo HS, Shibamoto T. (2009). Role of roasting conditions in the level of chlorogenic acid content in coffee beans: correlation with coffee acidity. *J Agric Food Chem*, 57(12):5365-5369. <https://doi.org/10.1021/jf900012b>

Munyendo LM, Njoroge DM, Owaga EE, Mugendi B. (2021). Coffee phytochemicals and post-harvest handling A complex and delicate balance. *J Food Compos Anal*, 102:103995. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2021.103995>

Njoroge, J. M. (1998). Factores agronómicos y de procesamiento que afectan a la calidad del café. *Outlook Agric.*, 27(3), 163-166. <https://doi.org/10.1177/003072709802700306>

OIC (2021) Coffee market report. International Coffee Organization. <https://www.ico.org/>

Papadopoulos, K. N. (2008). Food chemistry research developments. Hauppauge, NY: Nova Science Publishers. Pereira, L., Guarçoni, R., Pinheiro, P., Osório, V., Pinheiro, C., Moreira, T., Schwengber, C. (2020). Nuevas propuestas sobre el beneficiado húmedo del café: Perspectivas químicas y sensoriales. *Food Chem.*, 310, 125943. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125943>

Pereira P, Silveira D, Schwan R, Assis Silva S, Coelho J, Bernardes P. (2021). Effect of altitude and terrain aspect on the chemical composition of *Coffea canephora* cherries and sensory characteristics of the beverage. *J Sci Food Agric*, 101(6):2570-2575. <https://doi.org/10.1002/jsfa.10885>

Perrone D, Farah A, Donangelo CM. (2012). Influence of coffee roasting on the incorporation of phenolic compounds into melanoidins and their relationship with antioxidant activity of the brew. *J Agric Food Chem*, 60(17):4265-4275. <https://doi.org/10.1021/jf205388x>

Pinsuwan, A., Suwonsichon, S., Chompreeda, P., Prinyawiwatkul, W. (2022). Sensory drivers of consumer acceptance, purchase intent and emotions toward brewed black coffee. *Foods*, 11(2), 180. <https://doi.org/10.3390/foods11020180>

Pittia P, Dalla Rosa M, Lerici CR. (2001). Textural changes of coffee beans as affected by roasting conditions. *LWT Food Sci Technol*, 34(3):168–175. <https://doi.org/10.1006/food.2000.0749>

Pereira P, Silveira D, Schwan R, Assis Silva S, Coelho J, Bernardes P. (2021). Effect of altitude and terrain aspect on the chemical composition of *Coffea canephora* cherries and sensory characteristics of the beverage. *J Sci Food Agric*, 101(6):2570–2575. <https://doi.org/10.1002/jsfa.10885>

Portela, C. da S., Almeida, I. F. de, Reis, T. A. D. dos, Hickmann, B. R. B., Benassi, M. de T. (2022). Effects of brewing conditions and coffee species on the physicochemical characteristics, preference, and dynamics of sensory attributes perception in cold brews. *Food Res. Int.*, 151, 110860. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2021.110860>

R Core Team. (2022). R: Lenguaje y entorno para la computación estadística. Fundación R para la Computación Estadística. Accesible desde: <https://www.R-project.org>

Ramalakshmi, K., Kubra, I. R., Rao, L. J. M. (2007). Physicochemical characteristics of green coffee: comparison of graded and defective beans. *J. Food Sci.*, 72(5), S333-S337. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2007.00379.x>

Rojas-Múnera DM, Feijoo-Martínez A, Molina-Rico LJ, Zúñiga MC, Quintero H. (2021). Differential impact of altitude and a plantain cultivation system on soil macroinvertebrates in the Colombian Coffee Region. *Appl Soil Ecol* 164:103931. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2021.103931>

Salcedo-Sarmiento S, Aucique-Pérez CE, Silveira PR, Colmán AA, Silva AL, Corrêa Mansur PS, Rodrigues FÁ, Evans HC, Barreto RW. (2021.) Elucidating the interactions between the rust *Hemileia vastatrix* and a *Calonectria* mycoparasite and the coffee plant. *Iscience*, 24(4):102352. <https://doi.org/10.1016/j.isci.2021.102352>

Saloko S, Sulastri Y, MuradRinjani M. (2019). The effects of temperature and roasting time on the quality of ground Robusta coffee (*Coffea robusta*) using Gene Café roaster. *Biosci Biotechnol Biomet*. <https://doi.org/10.1063/1.5141310>

Santosa, K. M., Supriyadi, S., Anggrahini, S., Rahmadian, Y. (2021). Sensory analysis, caffeine, chlorogenic acid and non-volatile taste compounds of arabica coffee (*Coffea arabica*) fermented with sugar addition for brew taste. *Indones. Food Nutr. Prog.*, 17(2), 37. <https://doi.org/10.22146/ifnp.52241>

SCA. (2022). Protocolos y buenas prácticas. Asociación de Cafés Especiales. Acceso desde: <https://www.scaa.org/PDF/resources/cupping-protocols.pdf>

Schenker S, Heinemann C, Huber M, Pompizzi R, Perren R, Escher R. (2002). Impact of roasting conditions on the formation of aroma compounds in coffee beans. *J Food Sci*, 67(1):60-66. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2002.tb11359.x>

Schwan, R., Fleet, G. (2014). Fermentaciones del cacao y del café. 1st ed. Boca Ratón: CRC Press.

Seninde, D. R., Chambers, E. (2020). Coffee Flavor: A Review. *Beverages*, 6(3), 44. <https://doi.org/10.3390/bev-erages6030044>

Silva, C. S. da, Coelho, A. P. de F., Lisboa, C. F., Vieira, G., Teles, M. C. de A. (2022). Poscosecha del café: factores que influyen en la calidad final de la

bebida. Revista Engenharia Na Agricultura - REVENG, 30, 49-62. <https://doi.org/10.13083/reveng.v30i1.12639>

Sunarharum WB, Williams DJ, Smyth HE. (2014). Complexity of coffee flavor: a compositional and sensory perspective. *Food Res Int*, 62:315-325. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2014.02.030>

Tassew, A. A., Yadessa, G. B., Bote, A. D., Obso, T. K. (2021). Influence of location, elevation gradients, processing methods, and soil quality on the physical and cup quality of coffee in the Kafa Biosphere Reserve of SW Ethiopia. *Heliyon*, 7(8), e07790. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e07790>

Tolessa K, D'heer J, Duchateau L, Boeckx P. (2017). Influence of growing altitude, shade and harvest period on quality and biochemical composition of Ethiopian specialty coffee: quality and biochemical composition of Ethiopian specialty coffee. *J Sci Food Agric*, 97(9):2849-2857. <https://doi.org/10.1002/jsfa.8114>

Velásquez, S., Banchón, C. (2022). Influencia de los factores de pre y poscosecha sobre la calidad organoléptica y fisicoquímica del café: una breve revisión. *J. Food Sci. Technol.*, <https://doi.org/10.1007/s13197-022-05569-z>

Wickham, H. (2016). *ggplot2: Gráficos elegantes para el análisis de datos*. 1st ed. Nueva York: Springer-Verlag. Acceso desde: <https://ggplot2.tidyverse.org>

Worku M, de Meulenaer B, Duchateau L, Boeckx P. (2018). Effect of altitude on biochemical composition and quality of green arabica coffee beans can be affected by shade and postharvest processing method. *Food Res Int*, 105:278-285. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.11.016>

Wulandari, S., Ainuri, M., Sukartiko, A. C. (2021). Biochemical content of Robusta coffees under fully-wash, honey, and natural processing methods. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 819(1), 012067. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/819/1/012067>

Wulandari, S., Ainuri, M., Sukartiko, A. C. (2022). Sensory evaluation of robusta coffee under various postharvest and processing. 2nd International Conference on Smart and Innovative Agriculture (ICoSIA 2021), Yogyakarta, Indonesia. <https://doi.org/10.2991/absr.k.220305.061>

Yeretzian C, Jordan A, Badoud R, Lindinger W. (2002). From the green bean to the cup of coffee: investigating coffee roasting by on-line monitoring of volatiles. *Eur Food Res Technol* 214:92-104

INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO DEL CAFÉ ARÁBIGO Y ROBUSTA



Publicado en Ecuador
Enero 2025

Edición realizada desde el mes de Octubre de 2024 hasta
enero del año 2025, en los talleres Editoriales de MAWIL
publicaciones impresas y digitales de la ciudad de Quito.

Quito – Ecuador

Tiraje 30, Ejemplares, A5, 4 colores; Offset MBO
Tipografía: Helvetica LT Std; Bebas Neue; Times New Roman.
Portada: Collage de figuras representadas y citadas en el libro.