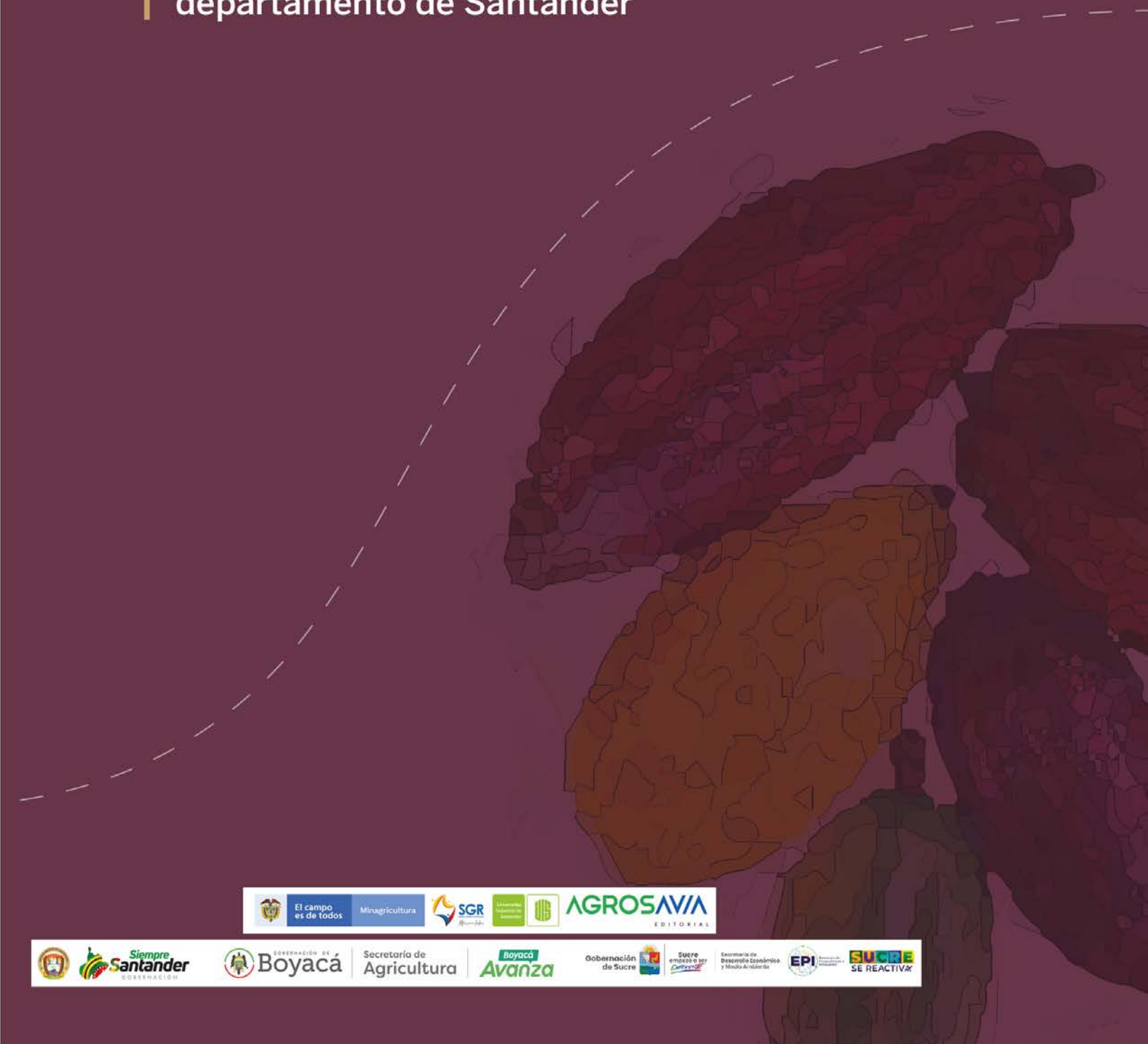
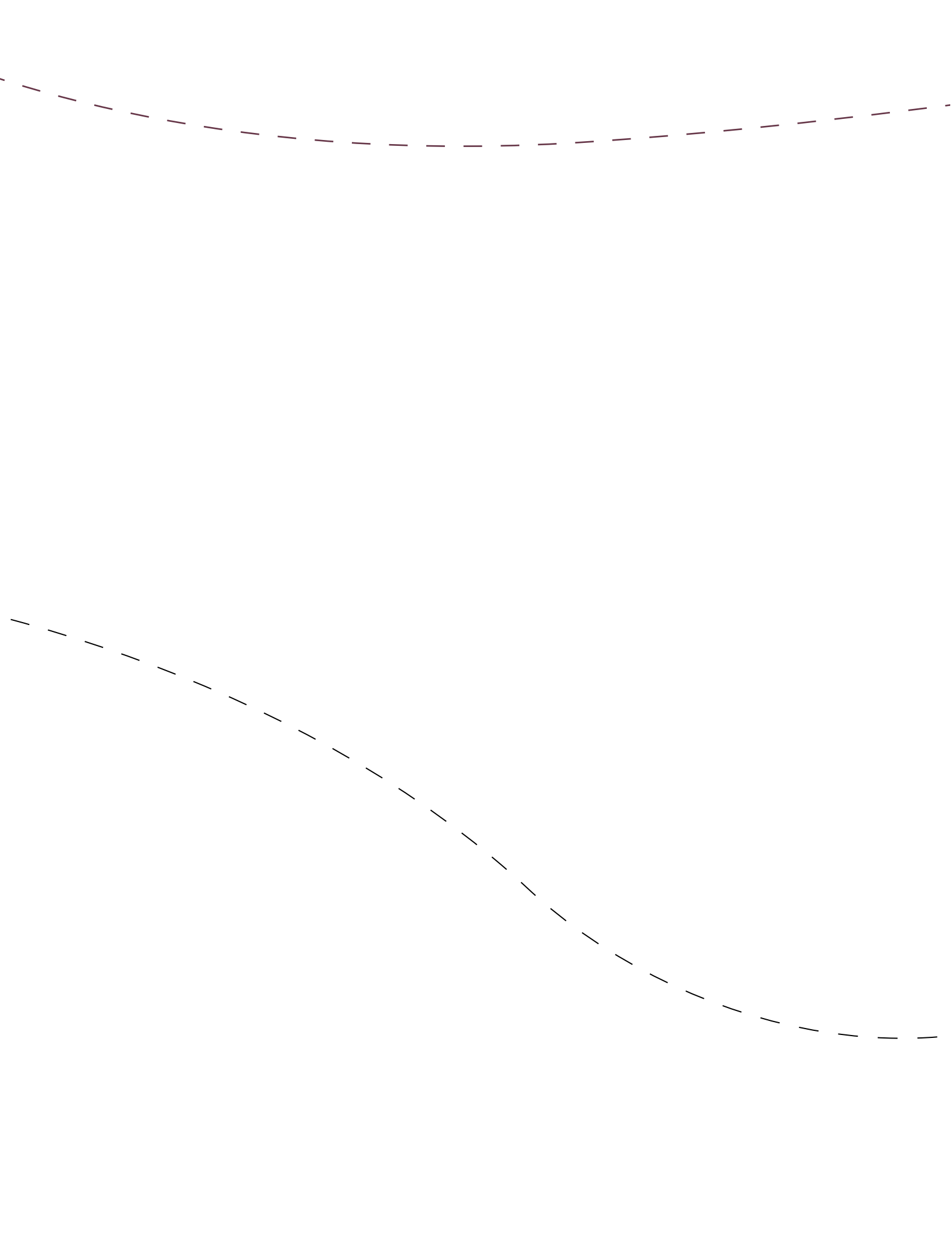
Caracterización agronómica, fisicoquímica, sensorial y de metabolitos

con actividad funcional de cacaos especiales cultivados bajo sistemas agroforestales en el departamento de Santander



El campo es de todos · Minagricultura · SGR · AGROSAVIA EDITORIAL
Siempre Santander · Gobernación de Boyacá · Secretaría de Agricultura · Boyacá Avanza · Gobernación de Sucre · Sucre emprende el 307 · Secretaría de Desarrollo Económico y Medio Ambiente · EPI · SUCRE SE REACTIVA



Caracterización agronómica, fisicoquímica, sensorial y de metabolitos

con actividad funcional de cacaos especiales cultivados bajo sistemas agroforestales en el departamento de Santander

Eliana Yadira Báez Daza
Genaro Andrés Agudelo Castañeda
Karen Stephanie Núñez Gómez
Lucero Gertrudis Rodríguez Silva
Roberto Antonio Coronado Silva
Luis Javier López Giraldo

AGROSAVIA
EDITORIAL

Caracterización agronómica, fisicoquímica, sensorial y de metabolitos con actividad funcional de cacaos especiales cultivados bajo sistemas agroforestales en el departamento de Santander / Eliana Yadira Báez Daza [y otros cinco] -- Mosquera, (Colombia) : AGROSAVIA, 2022.

204 páginas (Colección Alianzas AGROSAVIA)

Incluye tablas, fotos y referencias bibliográficas
ISBN: 978-958-740-529-3
ISBN e-Book: 978-958-740-530-9

1. *Theobroma cacao* 2. Genotipos 3. Fermentación 4. Sistemas agroforestales 5. Muestreo 6. Molienda 7. Productividad.

Palabras clave normalizadas según Tesauro Multilingüe de Agricultura Agrovoc

Catalogación en la publicación – Biblioteca Agropecuaria de Colombia

Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria - AGROSAVIA

Centro de Investigación La Suiza. Kilómetro 32, vía al mar, vereda Galápagos, Ríonegro-Santander.
Código postal: 687511, Colombia.

Esta publicación es el resultado de los proyectos "Investigación, Desarrollo e Innovación de cacaos especiales bajo arreglos agroforestales (2015-2022) con BPIN 2013000100255"; "Recomendaciones técnicas de sistemas alternativos de producción intensiva y tradicionales de cacao con énfasis en arreglos agroforestales (SAF)" (2013-2017); "Estrategias de manejo integrado de las principales plagas y enfermedades del cultivo de cacao" (2013-2017); "Mejoramiento genético del cultivo de cacao mediante la selección varietal y propagación de genotipos sobresalientes, con participación comunitaria en fincas de agricultores en las principales regiones productoras de Colombia" (2008-2011); "Esquemas de fertilización convencional y orgánica para el sistema de producción de cacao (*Theobroma cacao* L.) y su efecto en el rendimiento y calidad del grano en las principales zonas productoras de Colombia" (2008-2011); "Sistema de producción de cacao bajo sistemas agroforestales como estrategia para la competitividad del cultivo en Colombia" (2008-2011); "Evaluación de clones de cacao regionales de alto rendimiento bajo nuevos arreglos forestales con maderas finas tropicales en zonas productoras de Colombia" (2008-2011); "Evaluación de biocontroladores y productos no convencionales para el control de la moniliasis" (2005-2008); "Evaluación de la respuesta a moniliasis de algunos clones universales y regionales de cacao" (2005-2008) y "Evaluación del potencial adaptativo y productivo de clones regionales promisorios de cacao en zonas productoras de Colombia" (2005- 2008), entre otros.

Fecha de recepción: 25 de noviembre de 2021
Fecha de evaluación: 24 de enero 2022
Fecha de aceptación: 8 de marzo de 2022

Colección Alianzas AGROSAVIA
Tipología: Libro Resultado de Investigación
Primera impresión: 500 ejemplares



https://co.creativecommons.org/?page_id=13

Preparación editorial
Editorial AGROSAVIA
editorial@agrosavia.co
Edición: Liliana Gaona García
Corrección de estilo: Luz Ángela Cuellar Uscategui
Diseño: Mónica Cabiativa
Diagramación: María Paula Berón Ramírez
Impresión: DGP Editores S.A.S.
Impreso en Bogotá, Colombia, junio de 2022
Printed in Bogotá

Citación sugerida: Báez Daza, E. Y., Agudelo Castañeda, G. A., Núñez Gómez, K. S., Rodríguez Silva, L. G., Coronado Silva, R. A., & López Giraldo, L. J. (2022). *Caracterización agronómica, fisicoquímica, sensorial y de metabolitos con actividad funcional de cacaos especiales cultivados bajo sistemas agroforestales en el departamento de Santander* Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria - AGROSAVIA. https://doi.org/10.21930/agrosavia.investigation.7405309

Cláusula de responsabilidad: AGROSAVIA no es responsable de las opiniones e información recogidas en el presente texto. Los autores asumen de manera exclusiva y plena toda responsabilidad sobre su contenido, ya sea este propio o de terceros, y declaran, en este último supuesto, que cuentan con la debida autorización de terceros para su publicación; igualmente, declaran que no existe conflicto de interés alguno en relación con los resultados de la investigación propiedad de tales terceros. En consecuencia, los autores serán responsables civil, administrativa o penalmente, frente a cualquier reclamo o demanda por parte de terceros relativa a los derechos de autor u otros derechos que se hubieran vulnerado como resultado de su contribución.

Línea de atención al cliente: 018000121515
atencionalcliente@agrosavia.co
www.agrosavia.co



Contenido

Autores 11
Agradecimientos 15
Prólogo 17
Introducción 21

Materiales y métodos **31**

Características morfológicas y agronómicas de los genotipos estudiados 31
Caracterización física 42
Proceso poscosecha: fermentación y secado 43
Proceso de tostado y molienda de granos de cacao 44
Caracterización fisicoquímica, metabolitos presentes con actividad funcional y perfil sensorial de granos de cacao 45
Modelos matemáticos empleados para la predicción de atributos sensoriales de los 24 genotipos de cacao evaluados 56
Análisis estadístico de resultados 58

Resultados **59**

Caracterización morfológica y agronómica 59
Caracterización fisicoquímica, funcional y sensorial de granos de cacao 78

Conclusiones **113**

Glosario 117
Referencias 119
Anexos 131

Contenido figuras

Figura 1	Estructura de los polifenoles característicos en granos de cacao	25
Figura 2	Representación gráfica de la metodología usada para realizar la medición del tamaño de la hoja de cacao	32
Figura 3	Ejemplo fotográfico de las formas encontradas en la hoja de cacao	34
Figura 4	Ejemplo fotográfico de la escala para la determinación del color de la hoja joven presente en los crecimientos terminales de la planta de cacao	35
Figura 5	Ejemplos fotográficos de cada una de las categorías de color para la determinación de la pigmentación antociánica	36
Figura 6	Ejemplos fotográficos de frutos de cacao	38
Figura 7	Ejemplos fotográficos del color y la forma de la almendra	40
Figura 8	Rueda sensorial en cacao	55
Figura 9	Relaciones matemáticas para la predicción del perfil sensorial de cacao	57
Figura 10	Metodología empleada por Palencia Blanco para la construcción de modelos de predicción de atributos sensoriales de licores de cacao	58
Figura 11	Distribución de valores de índice de grano para los 24 genotipos de cacao evaluados	61
Figura 12	Distribución de valores de índice de mazorca para los 24 genotipos de cacao evaluados	63
Figura 13	Distribución de valores de número de almendras por mazorca para los 24 genotipos de cacao	66
Figura 14	Distribución de valores de peso húmedo de las almendras por mazorca para los 24 genotipos de cacao	68
Figura 15	Distribución de valores de peso por mazorca para los 24 genotipos de cacao evaluados	70
Figura 16	Distribución de valores de incidencia de monilia para los 24 genotipos de cacao evaluados	71
Figura 17	Distribución de valores de productividad para los 24 genotipos de cacao evaluados	73
Figura 18	Distribución de los valores de porcentaje de cascarilla de los 24 genotipos de cacao evaluados	80
Figura 19	Distribución de los valores de porcentaje de almendra de los 24 genotipos de cacao evaluados	82

Figura 20	Distribución del contenido de grasa total de los 24 genotipos de cacao	91
Figura 21	Distribución de genotipos de cacao según su contenido de proteína	93
Figura 22	Distribución de genotipos de cacao según la relación de su contenido de teobromina/cafeína	97
Figura 23	Distribución del contenido de polifenoles totales de los 24 genotipos de cacao evaluados	99
Figura 24	Distribución de genotipos de cacao según su contenido de principales flavan-3-oles	101
Figura 25	Distribución de la capacidad antioxidante de los 24 genotipos de cacao evaluados	102
Figura 26	Análisis de componentes principales para los genotipos evaluados sensorialmente	105
Figura 27	Radial de perfil sensorial con atributos destacados en genotipos evaluados	107
Figura 28	Radial de perfil sensorial comparativo de dos genotipos en estudio con dos testigos comerciales	109

Contenido de tablas

Tabla 1	Lista breve de compuestos volátiles asociados con atributos sensoriales de licores de cacao	28
Tabla 2	Escala de determinación para el tamaño de la hoja en plantas de cacao	33
Tabla 3	Valores de referencia para la ponderación del ancho y la longitud del sépalo en flores de cacao	37
Tabla 4	Compuestos representativos por familia	52
Tabla 5	Escala de valoración de intensidad de sabor	54
Tabla 6	Características productivas y morfológicas de los genotipos de cacao evaluados para el departamento de Santander	60
Tabla 7	Límites del índice de grano para la clasificación de los 24 genotipos de cacao	62
Tabla 8	Genotipos de cacao con mayor índice de grano de los 24 genotipos evaluados en el departamento de Santander	62
Tabla 9	Límites del índice de mazorca que permiten clasificar los 24 genotipos de cacao	64
Tabla 10	Genotipos de cacao según su índice de mazorca	65
Tabla 11	Límites de número de almendras por mazorca que permiten clasificar la cantidad de los granos obtenidos de los 24 genotipos de cacao	66
Tabla 12	Genotipos de cacao según su número de almendras por mazorca	67
Tabla 13	Límites de peso húmedo de almendras por mazorca que permiten clasificar los 24 genotipos de cacao	68
Tabla 14	Genotipos de cacao con nivel alto de peso húmedo de almendras	69
Tabla 15	Límites de peso de mazorca para clasificar los 24 genotipos de cacao	70
Tabla 16	Límites de incidencia de monilia que permiten clasificar los 24 genotipos de cacao	72
Tabla 17	Genotipos de cacao con baja incidencia de monilia de los 24 evaluados en la localidad de Santander	72
Tabla 18	Límites de productividad para clasificar los 24 genotipos de cacao	74
Tabla 19	Genotipos de cacao según su productividad	74
Tabla 20	Resumen de características en productividad para el departamento de Santander	75

Tabla 21	Resultados de las pruebas de compatibilidad realizada a cada uno de los 24 genotipos evaluados	77
Tabla 22	Caracterización del porcentaje de almendra y el porcentaje de cascarilla de los 24 genotipos evaluados	79
Tabla 23	Límites de porcentaje de cascarilla de los 24 genotipos de cacao evaluados	81
Tabla 24	Límites de porcentaje de almendra en los 24 genotipos evaluados	83
Tabla 25	Variación de la composición de ácidos grasos saturados e insaturados de los 24 genotipos de cacao evaluados	88
Tabla 26	Contenido grasa total, proteína y humedad de los 24 genotipos evaluados	90
Tabla 27	Niveles de contenido de grasa total para clasificar los 24 genotipos de cacao	92
Tabla 28	Genotipos de cacao con mayor contenido graso	92
Tabla 29	Límites de contenido de proteína para clasificar los 24 genotipos de cacao	93
Tabla 30	Genotipos de cacao con mayor contenido de proteína	94
Tabla 31	Límites de contenido de humedad para clasificar los 24 genotipos de cacao evaluados	94
Tabla 32	Genotipos con mejores características fisicoquímicas medidas en grano seco	95
Tabla 33	Caracterización química de los 24 genotipos de cacao evaluados	96
Tabla 34	Niveles de relación teobromina/cafeína para clasificar los 24 genotipos de cacao evaluados	97
Tabla 35	Genotipos de cacao identificados con relación muy baja de teobromina/cafeína	98
Tabla 36	Niveles de contenido de polifenoles totales para clasificar los 24 genotipos de cacao	99
Tabla 37	Genotipos de cacao con alto contenido de polifenoles totales	100
Tabla 38	Límites de contenido de principales flavan-3-oles para clasificar los 24 genotipos de cacao evaluados	101
Tabla 39	Genotipos de cacao con alto contenido de catequinas, epicatequinas y procianidinas B1 y B2	102
Tabla 40	Límites de capacidad antioxidante para clasificar los 24 genotipos de cacao	103
Tabla 41	Genotipos de cacao con nivel alto de capacidad antioxidante	103

Tabla 42 Genotipos con mejores características químicas y mayor potencial funcional 104

Tabla 43 Resultados de descriptores sensoriales evaluados 106

Tabla 44 Genotipos con mayor cantidad de atributos sensoriales positivos 107

Tabla 45 Genotipos predominantes en sabores básicos 108

Tabla 46 Compuestos volátiles priorizados que explicaron la mayor varianza de los datos 110

Tabla 47 Perfil sensorial cata *vs*. predicho para el genotipo TCS 05 111

Autores

Eliana Yadira Báez Daza
Correo: ebaez@agrosavia.co
Orcid: https://orcid.org/0000-0002-1059-1604

Ingeniera agrónoma de la Universidad de Pamplona con maestría en Agroforestería Tropical con énfasis en sistemas agroforestales de la Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales (UDCA), Bogotá. Cuenta con experiencia en manejo de recurso genético; caracterización morfológica de materiales; selección de materiales genéticos de cacao con requerimientos de producción, calidad y factores climáticos; manejo de cosecha y poscosecha de cacao; modelos agroforestales asociados a cacao con maderas finas tropicales; y manejo productivo del cultivo de cacao bajo SAF. Es autora de dos variedades de cacao de Agrosavia TCS (Theobroma Corpoica La Suiza), ha publicado artículos científicos en revistas indexadas y es autora del *Modelo productivo para el cultivo de cacao (Theobroma cacao) para el departamento de Santander*. Actualmente se desempeña como investigador máster vinculada a la Red de Cacao del Centro de Investigación La Suiza de AGROSAVIA en Rionegro Santander.

Genaro Andrés Agudelo Castañeda
Correo: gagudelo@agrosavia.co
Orcid: https://orcid.org/0000-0002-0469-1406

Ingeniero agrónomo con maestría en Fisiología Vegetal con énfasis en ecofisiología de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia (UPTC), sede Tunja. Cuenta con experiencia en la evaluación y selección de materiales genéticos de cacao adaptados a diferentes ambientes, en modelos agroforestales asociados a cacao con maderas finas tropicales, en manejo productivo del cultivo de cacao bajo sistemas agroforestales y en manejo de viveros y producción de material vegetal de siembra para el establecimiento de nuevos cultivos. Es autor de cuatro variedades de cacao de Agrosavia TCS (Theobroma Corpoica La Suiza), ha publicado artículos científicos en revistas indexadas, manuales y autor de libros con resultados de investigación relacionados con el cultivo de cacao. Actualmente, se desempeña como investigador máster vinculado a la Red de Cacao del Centro de Investigación La Suiza de AGROSAVIA en Rionegro Santander.

Lucero Gertrudis Rodriguez Silva
Correo: lgrodriguez@agrosavia.co
Orcid: https://orcid.org/0000-0001-9454-7821

Profesional agroindustrial de la Universidad Industrial de Santander (UIS), estudiante de último semestre de maestría en Biotecnología Alimentaria de la Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD), Bucaramanga. Cuenta con experiencia como juez experto en análisis sensorial de alimentos con énfasis en licor de cacao, pertenece al panel nacional de jueces en productos de chocolatería y licor de cacao permitiéndole participar en concursos nacionales e internacionales, líder y formadora del panel sensorial del Centro de Investigación La Suiza, analista de variables morfológicas, físicas, químicas y sensoriales de materiales genéticos de cacao, incorporación de procesos y técnicas de laboratorio en función de métodos de caracterización, cosecha y poscosecha, así como procesos agroindustriales acorde a los estándares de calidad internacional. Participa en la construcción de normativas Icontec para grano de cacao y chocolatería como equipo ejecutor. Autora de la oferta tecnológica de módulos de beneficio modulares para cacao y de contenidos

audiovisuales relacionados con proceso de poscosecha y análisis sensorial; y ha publicado artículos en revistas indexadas. Actualmente se desempeña como profesional de apoyo a la investigación vinculada a la Red de Cacao en el Centro de Investigación La Suiza de AGROSAVIA en Rionegro, Santander.

Roberto Antonio Coronado Silva
Correo: rcoronado@agrosavia.co
Orcid: https://orcid.org/0000-0002-4916-5813

Ingeniero agrónomo de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia (UPTC), con maestría en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente de la Universidad de Manizales y especialización en Manejo Bilógico de Cultivos de la UPTC. Cuenta con entrenamiento especializado en tabaco de capa Universidad del Pinar del Río, Cuba y con experiencia en la curaduría de los bancos de germoplasma de cacao, caña y tabaco. Investigador principal de los proyectos "Mejoramiento genético de cacao", "Caracterización fisicoquímica y sensorial de cultivares especiales de cacao", y "Recolección y caracterización morfoagronómica, molecular de materiales criollos y de alto rendimiento en Colombia".

Luis Javier López Giraldo
Correo: ljlopez@uis.edu.co
Orcid: https://orcid.org/0000-0001-9267-7016

Ingeniero químico Universidad Nacional de Colombia (Manizales), doctor en Química, Bioquímica y Ciencia de Alimentos de SupAgro, Montpellier, e investigador senior de Minciencias. Cuanta con experiencia en la dirección de proyectos de investigación de la cadena productiva de diferentes matrices vegetales dentro de las que se destacan cacao, mango y yuca, y con amplia trayectoria en el tratamiento biotecnológico de subproductos agroindustriales y agroforestales con el objeto de obtener productos de mayor valor agregado. En su vida académica ha publicado más de 35 artículos en revistas indexadas y participado con más de 40 ponencias en congresos nacionales e internacionales. En el 2009 recibió el premio de tesis de la Asociación Francesa para el Estudio de los Lípidos, por su trabajo

en modificación enzimática de antioxidantes y su efecto en la preservación de la oxidación de lípidos. En el 2017, recibió el XXIV Premio Nacional a la Dirección del Mejor Trabajo de Grado en Ingeniería Química 2017 del Consejo Profesional de Ingeniería Química de Colombia. Actualmente se desempeña como director del Centro de Investigación en Ciencia y Tecnología de Alimentos (CICTA) de la Universidad Industrial de Santander.

Karen Stephanie Núñez Gómez
Correo: bioceras1@uis.edu.co
Orcid: https://orcid.org/0000-0002-0107-981X

Ingeniera química de la Universidad Industrial de Santander (UIS), con maestría en Ingeniería Bioquímica del Tecnológico Nacional de México, Unidad de Investigación en Alimentos (Unida), y especialización en Ciencia y Tecnología de Alimentos: Procesos de Conservación y Almacenamiento, Aditivos Alimentarios, Análisis y Control de Calidad en la Industria Alimentaria, Higiene y Manipulación de Alimentos. Cuenta con experiencia en desarrollo de nuevos productos, estandarización de procesos, manejo de regulación Invima, entre otros; y en planeación y ejecución de cursos de formación para el trabajo. Actualmente se desempeña como profesional de apoyo en la Universidad Industrial de Santander (UIS).

Agradecimientos

Los autores de este libro agradecen a los departamentos de Santander, Boyacá y Sucre por el financiamiento otorgado con recursos del Sistema General de Regalías a través del proyecto "Investigación, desarrollo e innovación de cacaos especiales bajo sistemas agroforestales", código BPIN 2013000100255.

También extendemos un agradecimiento muy especial a todos los estudiantes de pregrado y posgrado que participaron activamente en la realización de pruebas experimentales durante su estancia en el Grupo de Investigación en Ciencia y Tecnología de Alimentos (CICTA) de la Universidad Industrial de Santander (UIS), así como a los miembros del grupo CICTA por la participación que tuvieron en el análisis de las muestras.

Así mismo, queremos agradecer a cada uno de los miembros de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA) (profesionales de apoyo a la investigación, asistentes de investigación y operarios) que participaron activamente en la recolección de muestras.



Prólogo

Lo contenido en este trabajo de investigación, titulado "Caracterización agronómica, fisicoquímica, sensorial y de metabolitos con actividad funcional de cacaos especiales cultivados bajo sistemas agroforestales en el departamento de Santander", es el resultado de una estrategia regional de I+D+i que desde AGROSAVIA, la UIS y demás entidades aliadas, fundamentales para el sector cacaotero regional, han desarrollado gracias a la puesta en marcha del proyecto "Investigación, desarrollo e innovación de cacaos especiales bajo sistemas agroforestales", denominado "proyecto regalías cacao", financiado con recursos del Fondo de Ciencia, Tecnología e Innovación (FCTeI) del Sistema General de Regalías (SGR), donde AGROSAVIA funge como entidad ejecutora.

Con la puesta en marcha y la implementación de diferentes estrategias científicas y tecnológicas alrededor de la cadena productiva del cacao, en el marco del proyecto en mención, se ha constituido un plan orientado a mejorar la calidad, la productividad y la competitividad de los pequeños y medianos productores de cacao. Este plan busca, a través de la investigación, el desarrollo e innovación, enfrentar y resolver parte de la problemática que enfrenta el cacao en el territorio nacional, entregando nueve soluciones tecnológicas que promueven: 1) la transferencia de la oferta tecnológica disponible para el cultivo, 2) la capacidad productiva de genotipos especiales en modelos agroforestales y 3) el incremento de la oferta disponible de material genético de calidad, con el objetivo de tecnificar al productor y aprovechar a nivel de mercados internacionales el auge creciente y potencial de los cacaos especiales, finos de aroma.

Desde la Organización Internacional del Cacao (ICCO, por su sigla en inglés), se ha venido considerando al cacao colombiano como un producto de exportación, fino de aroma. Se ha estimado que el 95 % de las exportaciones totales de grano de cacao generadas en el país corresponden a esta categoría (ICCO, 2019), mientras que, del volumen de grano seco de cacao que se comercializa en el mundo (*commodities*, principalmente del continente africano, con una producción mayor a 3,4 millones de toneladas), tan solo el 5 % de este producto se comercializa como fino.

Los cacaos finos de aroma se producen principalmente en países latinoamericanos de la franja tropical como Ecuador, República Dominicana, Perú, Colombia, Costa Rica y Trinidad y Tobago, entre otros, y se caracterizan por presentar un amplio espectro sensorial de aromas, por ejemplo, florales o frutales y sabores a nueces o malta, altamente apetecidos en mercados internacionales, donde las apuestas nacionales en pro de consolidar un portafolio de variedades regionales con características especiales constituyen una posibilidad para incursionar en un mercado internacional selecto que busca granos de calidad y permite obtener precios preferenciales para el productor.

Si bien con el Plan Nacional de Desarrollo Cacaotero 2012 se promovió una estrategia nacional orientada hacia la modernización de la cacaocultura, con metas retadoras a 2021, todavía en Colombia el cacao presenta bajos rendimientos que no superan los 500 kg/ha, en una brecha tecnológica y socioeconómica que debe superarse con programas nacionales y regionales continuos, sostenibles y con un enfoque hacia la calidad. Estos programas deben considerar factores generalizados, como el envejecimiento de las plantaciones (>30 años), la alta incidencia de plagas y enfermedades, la falta de arreglos tecnificados para la producción, el manejo deficiente del cultivo (cosecha/poscosecha) y la baja apropiación tecnológica, elementos fundamentales que deben ser desarrollados para garantizar un modelo competitivo y con visión global, es decir, en el marco de la calidad del producto y su exportación.

Y es en el marco de la calidad del producto y su exportación que trabajos como el presentado a continuación propenden por la generación de una nueva ruta para reinterpretar el concepto de calidad en cacao, asociando y evaluando características fisicoquímicas, organolépticas y funcionales del grano de cacao con variedades regionales promisorias, potenciales para incursionar en

un escenario nacional y mundial creciente, a la espera de nuevas y mejores características que cautiven el paladar del consumidor final, pero que con la agregación de valor permitan mejorar la calidad de vida de los pequeños y medianos cacaocultores de Santander y, por qué no, del país.

Junto con todo el equipo científico y técnico de AGROSAVIA, el Centro de Investigación La Suiza y la Universidad Industrial de Santander, desde el Laboratorio de Alimentos del CICTA, esperamos que este nuevo conocimiento para el cultivo de cacao que aborda elementos disruptivos como la predicción matemática de atributos sensoriales en cacao basada en la caracterización de variedades, el análisis sensorial, la identificación de compuestos volátiles y demás atributos morfológicos, químicos y funcionales, contribuya con la puesta en marcha de una cacaocultura próspera, que se sume a las actuales estrategias nacionales que buscan mejorar la competitividad para alcanzar un beneficio económico y social sobresaliente para la cadena productiva del cacao y el desarrollo agrícola de nuestro país.

Dr. Diego A. Zárate

Director regional de AGROSAVIA
Centro de Investigación La Suiza



Introducción

Según las cifras presentadas por el Ministerio de Agricultura (MinAgricultura, 2021), en Colombia existen alrededor de 65.000 familias que derivan su sustento de la producción de cacao en grano. En el mismo informe, se menciona que en los últimos 10 años el área sembrada promedio fue de 167.000 ha y para el año 2020 el área preliminar fue de 188.370 ha distribuidas principalmente en los departamentos de Santander (41 %), Antioquia (9 %), Arauca y Huila (8 %) y Tolima (7 %).

La producción colombiana promedio en los últimos 10 años fue de 53.000 toneladas y en el año 2020 se alcanzó la máxima producción reportada, con una cifra de 63.416 toneladas, es decir que hubo un incremento del 6 % comparado con el 2019. La producción de cacao en Colombia está concentrada en los departamentos de Santander con 26.315 toneladas (41 %), seguido de Antioquia con 5.974 toneladas (9 %) y Arauca con 5.082 toneladas (8 %), con un rendimiento promedio de 450 kg/ha al año. Con esta producción, Colombia se posiciona como el décimo productor a nivel mundial y sus principales variedades son forastero y trinitario, además del criollo. Adicionalmente, la actividad cacaotera en Colombia tiene un potencial de crecimiento de 8 millones de hectáreas, de las cuales se han sembrado el 2,5 %. A través del Fondo para el Financiamiento del Sector Agropecuario (Finagro) se apalancan diferentes estrategias de financiamiento que propenden por el fomento y el desarrollo integral de la cadena productiva del cultivo de cacao. Así, por ejemplo, para septiembre de 2020 se habían aprobado operaciones de crédito por 803.000 millones que fueron usados por pequeños productores de cacao para inversión (69 %), capital de trabajo (19 %) y normalización de cartera (12 %).

Ahora bien, para cumplir con las metas de siembra de cacao no solo es importante favorecer las condiciones económicas de los

cacaocultores; también es crucial determinar cuáles genotipos son los más apropiados para una región particular. En cuanto al aspecto genético, es importante recordar que el cacao (*Theobroma cacao* L.) es una planta originaria de la Amazonía, región caracterizada por su alta diversidad natural (Osorio G. et al., 2017). Dada la importancia del cultivo en Colombia, a partir de 1960 el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA) estableció el primer Banco de Germoplasma en Palmira, Valle del Cauca, con materiales ICS (Imperial College Selection), TSH (Trinidad Selection Hybrids), EET (Estación Experimental Tropical), UF (United Fruit), IMC (Iquitos Marañón Collection) y PA (Parinari), provenientes de Trinidad, Ecuador, Costa Rica y Perú, los cuales fueron la base para el establecimiento de nuevos cultivos a partir de semilla híbrida (Jaimes Suárez et al., 2021). Posteriormente se incorporaron colecciones con las siglas ABC (Arboleda, Buriticá, Correa), EBC (Expedición Botánica al Caquetá), SC (Selección Colombia) y CR (Criollo). Todos estos cultivares fueron incorporados al Banco de Germoplasma de cacao y colecciones de trabajo en el Centro de Investigación La Suiza de AGROSAVIA en 1991 (Arguello Castellanos et al., 1999).

A partir de 1999, la investigación en Colombia se enfocó en la selección participativa de genotipos de cacao y como resultado se identificaron materiales genéticos regionales, a los cuales se les dio la sigla SCC (Selección Colombia Corpoica) (Arguello Castellanos et al., 1999). A partir de 2008, la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica, ahora AGROSAVIA) desarrolló un proyecto de investigación denominado "Selección varietal participativa en las principales regiones productoras de Colombia", donde se evaluaron *in situ* más de 255 genotipos y se seleccionaron materiales promisorios identificados con las siglas TCS (*Theobroma* Corpoica La Suiza) (Palencia et al., 2011).

En el año 2015, AGROSAVIA seleccionó 19 genotipos TCS para ser incorporados en evaluaciones productivas y sanitarias, con caracterización fisicoquímica y sensorial. Estas evaluaciones se han realizado en marco del proyecto "Investigación, desarrollo

e innovación de cacaos especiales en sistemas agroforestales" del Sistema General de Regalías (SGR) del departamento de Santander. De igual manera, se realizó un convenio interadministrativo entre AGROSAVIA y la Universidad Industrial de Santander UIS 1841-03 con el fin de aunar esfuerzos para desarrollar la caracterización fisicoquímica y sensorial de los granos de cacao. Finalmente, se logró caracterizar 18 genotipos que se encuentran en proceso de evaluación y seis variedades comerciales: TCS 01, TCS 06, TCS 13, TCS 19, ICS 95 y CCN (Colección Castro Naranjal) 51.

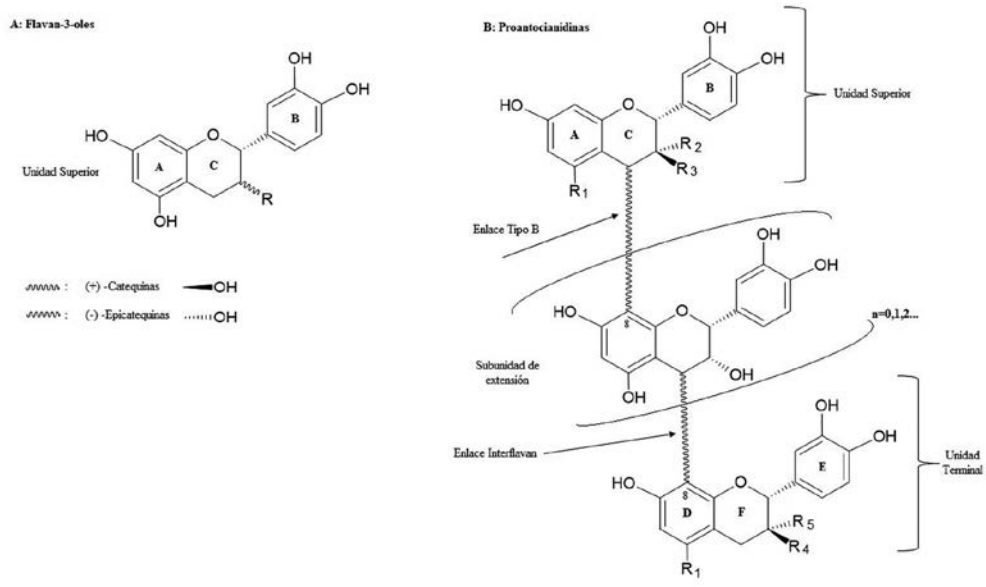
Así las cosas, la información que se presenta en este libro es importante porque podría servir como base para emitir recomendaciones asociadas a un genotipo en particular para continuar con procesos de investigación que permitan la generación de nuevas variedades. Por ejemplo, si se analizan los resultados desde el punto de vista físico, las características que son típicamente evaluadas son el porcentaje de cascarilla y el índice de grano; según la Federación Nacional de Cacaoteros (Fedecacao, 2005), un grano de calidad debe tener un porcentaje de cascarilla menor al 12 % y un índice de grano mayor a 1,05 g.

En cuanto a las características químicas y funcionales, se evaluó el contenido de grasa total, el perfil de ácidos grasos, la relación teobromina/cafeína, el contenido de polifenoles totales y el pH, entre otros. Los valores típicos del contenido de la grasa total en granos de cacao fluctúan entre 50-55 %. Valores por fuera de este rango podrían indicar granos de cacao con contenidos de grasa excepcionalmente grandes o pequeños, según sea el caso, que traerían consigo implicaciones en el precio del grano. Pasando al perfil de ácidos grasos, la manteca de cacao tiene una distribución típica de ácidos grasos saturados como el esteárico (C 18:0 - 35 %) y el palmítico (C 16:0 - 25 %), como también ácidos grasos monoinsaturados tales como el oleico (C 18:1 - 35 %) y en menor proporción los poliinsaturados, como el linoleico (18:2 - 3 %) (Lares Amaiz et al., 2012); típicamente la relación másica de ácidos grasos saturados: insaturados es de 2:1, lo que clasifica a la manteca de cacao como semiblanda. En lo que respecta a los polifenoles, la

concentración de este grupo de compuestos varía, en promedio, de 70 mg EAG/g en granos sin fermentar a 30 mg EAG/g en granos fermentados y secos (Pallares-Pallares et al., 2016). Como en el caso de la grasa total, valores por encima de los mencionados pueden convertirse en una ventaja competitiva a la hora de comercializar los granos de cacao puesto que conforme aumenta el contenido de polifenoles, también hay mayor probabilidad de que aumenten las características funcionales de los granos de cacao.

En efecto, varias investigaciones han demostrado que los productos derivados del cacao tienen características funcionales (Aron & Kennedy, 2008; Jeong & Kong, 2004), es decir, tienen un efecto benéfico sobre la salud humana, además de ser un alimento energético. Las características funcionales de los productos chocolateros están estrechamente relacionadas con el contenido de polifenoles que, para el caso del cacao, están representados por la catequina, la epicatequina y procianidinas del tipo B, los cuales representan cerca del 60 % del contenido total de polifenoles (figura 1) (Jalil & Ismail, 2008; Pedan et al., 2018; Toro-Uribe et al., 2018). Estos compuestos tienen una alta capacidad antioxidante debido a la presencia de grupos hidroxilos en su estructura química (Bors et al., 1990). Consecuentemente, podría pensarse en una comercialización diferenciada hacia mercados que produzcan productos chocolateros con características funcionales.

Algunas investigaciones usan la relación teobromina/cafeína para clasificar los granos de cacao. Por ejemplo, si la relación es menor a 2,5 la muestra puede considerarse como una variedad de cacao criollo; si la relación se encuentra entre 2,5 y 9,5 se considera variedad trinitaria y si la relación es mayor a 9,5 se considera forastero (Amores Puyutaxi et al., 2002; Zambrano et al., 2010).



Procianidinas Tipo B, por ejemplo:

Dímero B1: n=0; R1=OH; R2=OH; R3=H; R4=OH; R5=H Esquema: [epicatequina-(4ß → 8)-catequina]
Dímero B2: n=0; R1=OH; R2=OH; R3=H; R4=H; R5=OH Esquema: [epicatequina-(4ß → 8)-epicatequina]
Trímero C1: n=1; R1=OH; R2=OH; R3=H; R4=H; R5=OH Esquema: [epicatequina-(4ß → 8)-epicatequina-(4ß → 8)-epicatequina]

Figura 1. Estructura de los polifenoles característicos en granos de cacao: a. Esqueleto básico de catequinas monoméricas; b. Estructura básica de procianidinas condensadas.

Fuente: Elaboración propia con base en Toro-Uribe et al. (2018)

Otro aspecto por considerar son las características organolépticas de los licores de cacao, las cuales son consideradas, por muchos, como las más importantes a la hora de clasificar a un cacao como fino y de aroma (Fedecacao, 2005; ICCO, 2019; Sánchez Campuzano, 2007). Los atributos sensoriales que típicamente usan los paneles de cata para clasificar los licores de cacao son:

- Sabores básicos: acidez, amargo y astringente.
- Sabores específicos: cacao, floral, frutal y nuez.
- Sabores adquiridos: crudo/verde, humo y moho.

Ahora bien, no hay valores predefinidos para cada uno de los sabores que se acaban de mencionar y, por lo tanto, lo que se busca con los paneles de cata es un balance entre el conjunto de atributos, tendiendo a favorecer los valores altos para sabores específicos. En efecto, los consumidores se inclinan por experimentar sensaciones únicas en productos chocolateros, los cuales son elaborados con los denominados cacaos finos y de aroma, cuyos precios fluctúan entre 3500-5000 USD/t y son significativamente mayores a los del cacao corriente, que oscilan entre 1000-3000 USD/t (Nieburg, 2016).

Pese a que la prueba reina es la cata por un panel de expertos, ellos no siempre están disponibles, por lo que en este libro también se propone la cuantificación de los compuestos volátiles que están asociados con las notas de los sabores previamente descritos. Se han identificado más de 500 compuestos volátiles asociados con el sabor y el aroma de granos de cacao (Afoakwa et al., 2013; Ducki et al., 2008; Frauendorfer & Schieberle, 2008; Jati & Sari, 2011; Noguera Muñoz, 2014; Palencia Blanco, 2019; Rodriguez-Campos et al., 2011), los cuales pueden ser clasificados por familias.

Entre los grupos funcionales más influyentes en el sabor y el aroma del cacao se encuentran aldehídos, cetonas, alcoholes, pirazinas, ésteres y ácidos; cada uno de estos grupos ofrece ciertas características sensoriales responsables del sabor y el aroma del cacao (Aprotosoaie et al., 2016; Bonvehí, 2005; Jinap et al., 1998; Kongor et al., 2016). En la tabla 1 se muestran algunos compuestos volátiles presentes en el cacao y su descriptor sensorial.

Apreciado lector, con la ambientación que han dado los párrafos precedentes, surge la pregunta: ¿cuál genotipo de cacao debo sembrar en mi finca? Si bien es cierto que este libro no pretende dar una respuesta cerrada a dicha pregunta, sí tiene como propósito darles las herramientas básicas para que se creen ambientes de discusión sustentada en los que se valoren los pros y los contras de 24 genotipos de cacao que fueron evaluados por su potencial para ser considerados en nuevas investigaciones que permitan el registro para la siembra de nuevos cultivos en la montaña santandereana. El libro ha sido distribuido en las siguientes secciones: metodología, resultados generales y, finalmente, las fichas individuales con las características agronómicas, fisicoquímicas, metabolitos presentes con actividad funcional, perfil sensorial y perfiles de concentración de los principales compuestos volátiles.

Desde el Grupo de Investigación en Ciencia y Tecnología de Alimentos (CICTA) y la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA), esperamos que este libro sea de su agrado y, lo más importante, que se vuelva una herramienta que les permita entender mejor la importancia y el impacto que tienen sobre el mercado las diferentes características de los granos de cacao.

Tabla 1. Lista breve de compuestos volátiles asociados con atributos sensoriales de licores de cacao

Compuestos	Atributo sensorial	Compuestos	Atributo sensorial
Ácidos		**Cetonas**	
Ácido acético	Vinagre, rancio	2-pentanona	Frutal
Ácido propanoico	Purga, rancio	2,3-butanodiona	Mantequilla
Ácido isobutírico	Manteca, rancio	Acetoína	Mantequilla, crema
Ácido butanoico	Dulce, rancio	Fenilmetilcetona	
Ácido hexanoico	Purga, rancio	2-heptanona	Frutal, frutal
Ácido octanoico	Manteca, rancio	Acetofenona	Floral
Ácido fenilacético	Manteca	2-hidroxiacetofenona	Herbal
Ácido 2-metilpropionico	Metal	4-metilacetofenona	Frutal
Ácido 3-fenilpropionico	Floral	**Ésteres**	**Atributo**
Ácido cinámico	Dulce	Acetato de etilo	Piña, frutal
Alcoholes	**Atributo**	Acetato de isobutilo	Frutal
1-propanol	Caramelo	Acetato de isoamilo	Frutal
2-metil-1-butanol	Vino, frutal	Acetato de fenilo	Floral
3-metil-2-Butanol		Fenilacetato de metilo	Floral
1,3-butanediol		Fenilacetato de etilo	Floral
2,3-butanediol	Caramelo	Acetato de fenetila	Floral
2-pentanol	Verde	Buriato de etilo	Frutal
1-hexanol	Frutal	Lactato de etilo	Frutal
2-hexanol	Frutal	Succinato de dietilo	Floral
2-heptanol	Cítrico	2-metilbutanoato de etilo	Frutal
1-feniletanol	Caramelo, floral	3-metilbutanoato de etilo	Frutal
2-feniletanol	Caramelo, floral	Valerato de etilo	Frutal
Alcohol bencílico	Floral	Hexanoato de etilo	Uvas, frutal
Aldehídos	**Atributo**	Octanoato de etilo	Floral, frutal
2-fenilacetaldehído	Floral	Decanoato de etilo	Pera, frutal
2-metilpropanal	Chocolate, dulce	Laurato de etilo	Frutal
2-fenilpropanal	Floral	Benzoato de isoamilo	Floral
2-metilbutanal	Chocolate, dulce	Salicilato de metilo	Nuez
3-metilbutanal	Chocolate, dulce	Cinamato de metilo	Caramelo

continúa

Continuación tabla 1

Compuestos	Atributo sensorial	Compuestos	Atributo sensorial
Ácidos		**Cetonas**	
2-fenil-2-butenal	Cacao	**Pirazinas**	**Atributo**
4-metil-2-fenil-2-pentenal	Chocolate	2-metilpirazina	Cacao
n-Hexanal	Herbal	2-etilpirazina	Nuez
5-metil-2-fenil-2-hexenal	Chocolate	2,5-dimetilpirazina	Nuez
2-Nonenal	Herbal	2,6-dimetilpirazina	Nuez
Vanilina	Vainilla	2-etil-5-metilpirazina	Pimienta
Otros	**Atributo**	2,3-dietilpirazina	Tierra, nuez
Pirrol	Nuez	2,3-dimetilpirazina	Caramelo
2-acetilpirrol	Caramelo	2,3,5-trimetilpirazina	Nuez
2-pirrolaldehído	Nuez	2,3,5,6-tetrametilpirazina	Nuez
Benzonitrilo	Nuez	2,3,5-trimetil-6-etilpirazina	Caramelo
2-furfural	Almendra, nuez	**Otros**	**Atributo**
5-metil-2-furfural	Caramelo	2-acetilfurano	Café, caramelo
4-hidroxi-2,5-dimeril-3-furanona	Cereza, caramelo	3-hidroxi-2-metil-4-pirona	Coco, nuez
(S)-linalool	Floral	(R)-linalool	Floral

Fuente: Adaptado de Palencia Blanco (2019)



Materiales y métodos

Características morfológicas y agronómicas de los genotipos estudiados

Localidad de muestreo

Las muestras para la caracterización morfológica, fisicoquímica y sensorial fueron recolectadas de la parcela experimental ubicada en el Centro de Investigación La Suiza de AGROSAVIA en la vereda Galápagos en Rionegro, Santander, ubicada en el km 32 vía Bucaramanga al mar. La parcela está ubicada a 550 m s. n. m., con temperatura media anual de 30 °C y precipitación superior a los 2000 mm anuales. En cuanto a su ubicación geográfica, se encuentra a 7° 22' 12'' latitud norte y 73° 11' 39'' longitud occidental (Osorio-Guarín et al., 2020).

Materiales caracterizados

Se evaluaron dos genotipos introducidos y comercialmente distribuidos a nivel nacional:

- ICS 95
- CCN 51

Junto con los genotipos introducidos, también se evaluaron 22 genotipos regionales denominados TCS 01, 02, 04, 05, 06, 08, 10, 11, 12, 13, 19, 20, 40, 41, 42, 44, 45, 46, 47, 48 y 49, los cuales son producto de selección natural participativa, y el material TCS 03 que es producto de cruzamiento. Todos los genotipos estuvieron ubicados en colecciones de trabajo en predios del Centro de Investigación La Suiza de AGROSAVIA en su plan de mejoramiento genético.

Caracterización morfológica

La caracterización morfológica de los 24 genotipos de cacao fue realizada teniendo en cuenta los protocolos de la Unión Internacional para la Protección de las Obtenciones Vegetales (UPOV, 2011). En ese documento se encuentran las directrices para la ejecución del examen de distinción, homogeneidad y estabilidad (DHE) de las variedades de cacao y se identifican características propias de algunos cultivares tomados como ejemplo para cada una de las variables.

Se registró la información de 45 de las variables más representativas, distribuidas de la siguiente forma: 9 ítems en árbol, 7 en hojas, 8 en flores, 12 en fruto y 9 en almendra. La forma de medición para cada una de las variables se describe a continuación.

Tamaño de la hoja

La longitud de la hoja se determinó tal y como se muestra en la figura 2, tomando como muestra representativa 10 hojas de la parte intermedia de dos árboles de cada genotipo. Luego se determinó la media y se clasificó el descriptor en una de las categorías mostradas en la tabla 2.



Figura 2. Representación gráfica de la metodología usada para realizar la medición del tamaño de la hoja de cacao.

Fuente: Elaboración propia

Tabla 2. Escala de determinación para el tamaño de la hoja en plantas de cacao

Descriptor	Escala de determinación
Pequeño	<32 cm
Mediano	32,01 - 37 cm
Grande	>37,01 cm

Fuente: Elaboración propia

Forma de la base, el ápice e intensidad del color verde en las hojas

Para la determinación de estos descriptores se colectaron 10 hojas de la parte intermedia de dos árboles de cada uno de los genotipos caracterizados. La colecta de estas hojas se realizó en las primeras horas de la mañana y se depositaron en bolsas de papel debidamente identificadas y almacenadas en neveras portátiles con una temperatura interna de alrededor de 4 °C para evitar la deshidratación y el cambio en la coloración. Seguidamente, las muestras fueron analizadas en el laboratorio del Centro de Investigación La Suiza de AGROSAVIA. El análisis fue llevado a cabo comparando las muestras con los materiales de referencia reportados en UPOV. En la figura 3 se muestran algunos ejemplos representativos para cada uno de los descriptores analizados.

Forma de la base (a)



Forma del ápice (b)



Intensidad del color verde (c)



Figura 3. Ejemplo fotográfico de las formas encontradas en la hoja de cacao: a. Forma de la base; b. Forma del ápice; c. Intensidad de color verde.

Fuente: Elaboración propia

Color de la hoja joven

Para esta característica se colectaron muestras de 10 hojas jóvenes provenientes de los crecimientos terminales en árboles de cacao, correspondientes a cada uno de los genotipos evaluados. La recolección de las hojas se realizó en las primeras horas de la mañana y las hojas se depositaron en bolsas de papel debidamente identificadas; seguidamente, fueron almacenadas en neveras portátiles con una temperatura interna de alrededor de 4 °C, evitando así la deshidratación y los posibles cambios en la coloración. Posteriormente, en el laboratorio del Centro de Investigación La Suiza de AGROSAVIA, se realizó la determinación de este descriptor teniendo en cuenta las diferencias en la coloración de acuerdo con la escala que se muestra en la figura 4.

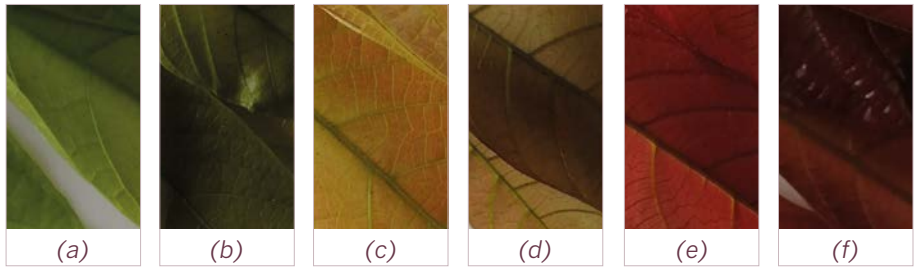


Figura 4. Ejemplo fotográfico de la escala para la determinación del color de la hoja joven presente en los crecimientos terminales de la planta de cacao: a. Verde claro; b. Verde medio; c. Marrón; d. Rojo claro; e. Rojo medio; f. Rojo oscuro.

Fuente: Elaboración propia

Pigmentación antociánica del pedicelo, el sépalo y el estaminodio, color de la lígula y ancho y largo del sépalo de las flores de cacao

La determinación de cada uno de estos descriptores se realizó con 10 flores procedentes de árboles de cada uno de los genotipos evaluados. La recolección de las flores se hizo en las primeras horas de la mañana y se verificó que la apertura del botón floral fuera reciente. Las muestras colectadas se depositaron en cajas de Petri con papel absorbente húmedo con el fin de que las flores

permanecieran frescas y así evitar la deshidratación; luego se procedió con la identificación individual de cada una de ellas, para cada uno de los genotipos evaluados. Posteriormente, en el laboratorio del Centro de Investigación La Suiza de AGROSAVIA, se realizó el análisis destructivo de cada flor por genotipo, permitiendo así la determinación de pigmentación antociánica que se asocia con la escala de color mostrada en la figura 5.

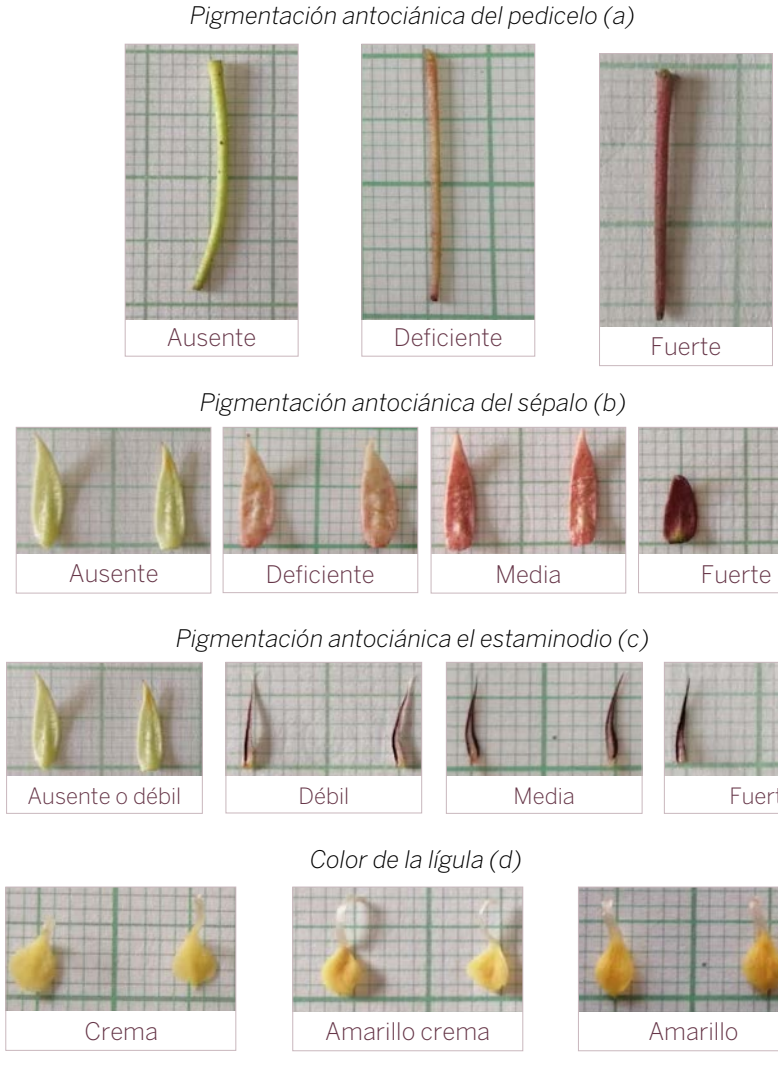


Figura 5. Ejemplos fotográficos de cada una de las categorías de color para la determinación de la pigmentación antociánica: a. Del pedicelo; b. Del sépalo; c. Del estaminodio; d. Color de la lígula.

Fuente: Elaboración propia

De igual manera, se realizó la medición del ancho y el largo de los sépalos por medio del procesamiento de imágenes digitales, haciendo uso del programa ImageJ 2021 versión gratuita. La determinación de este descriptor fue realizada con valores de referencia teniendo en cuenta la escala de la tabla 3.

Tabla 3. Valores de referencia para la ponderación del ancho y la longitud del sépalo en flores de cacao

Longitud del sépalo		Anchura del sépalo	
Valor (mm)	**Ponderación**	**Valor (mm)**	**Ponderación**
0-4	Corto	0-2	Estrecho
4,1 - 8,0	Medio	2,1 - 2,5	Medio
>8,1	Largo	>2,6	Ancho

Fuente: Elaboración propia

Forma, color, profundidad de los surcos, grosor del exocarpio, forma de ápice, constricción basal y rugosidad de la superficie en frutos de cacao

La determinación y medición de estos descriptores se realizó, para cada uno de los genotipos evaluados y caracterizados, usando frutos de cacao cosechados fisiológicamente maduros. Durante los picos de cosecha, se recolectaron en campo 10 frutos de cacao maduros de cada genotipo; después cada una de las muestras de los genotipos fue empacada en bolsas de papel debidamente identificadas y almacenadas en cajas de cartón; este procedimiento se realizó con el fin de evitar daños físicos y cambios en la textura y la coloración. Posteriormente, en el laboratorio del Centro de Investigación la Suiza de AGROSAVIA, se determinaron las características de cada genotipo teniendo en cuenta los descriptores de UPOV y la representación gráfica de la figura 6.

Forma del fruto (a)



Color del fruto (b)



Profundidad de los surcos (c)



Grosor del exocarpio (d)

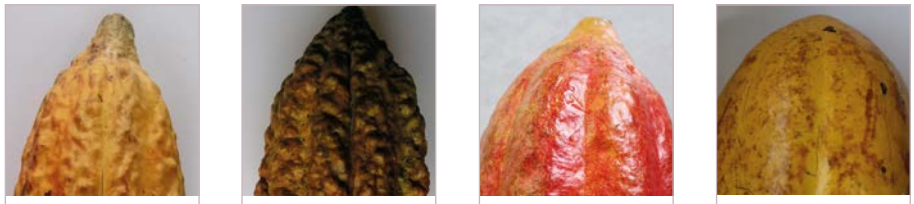


Figura 6. Ejemplos fotográficos de frutos de cacao:
a. Forma del fruto; b. Color del fruto; c. Profundidad de los surcos;
d. Grosor del exocarpio; e. Forma de ápice;
f. Constricción basal; g. Rugosidad de la superficie.

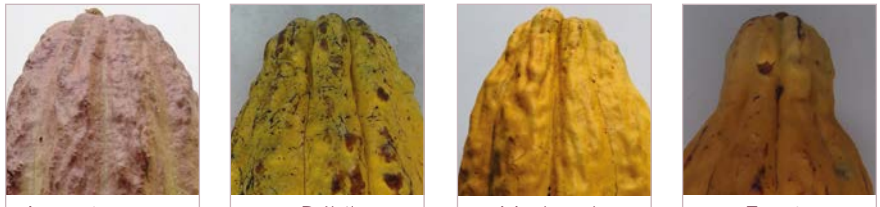
continúa

Continuación figura 6

Forma del ápice (e)



Constricción basal (f)



Rugosidad de la superficie del fruto (g)



Figura 6. Ejemplos fotográficos de frutos de cacao: a. De la forma del fruto; b. Del color del fruto; c. Profundidad de los surcos; d. Grosor del exocarpio; e. Forma de ápice; f. Constricción basal; g. Rugosidad de la superficie.

Fuente: Elaboración propia

Color y forma de la almendra

Los frutos colectados para la caracterización de variables cualitativas externas también se utilizaron para determinar otros descriptores de importancia, tales como el color y la forma de la almendra en su sección longitudinal. Para tal fin se tomaron 50 almendras seleccionadas al azar procedentes de cada genotipo, se les retiró la testa que recubre la semilla y por comparación visual se determinó el color, tomando como base las fotografías mostradas en la figura 7. Posteriormente se tomaron 10 almendras al azar para realizar mediciones de longitud, ancho y grosor en cada uno de los genotipos con ayuda de un calibrador o pie de rey.



Figura 7. Ejemplos fotográficos del color y la forma de la almendra: a. Color de la almendra; b. Forma de la almendra en la sección longitudinal.

Fuente: Elaboración propia

Compatibilidad sexual

La autocompatibilidad del cacao está dada por la fecundación que se realice en sus propias flores y que lleguen a cosecha (López et al., 2021). Para evaluar la compatibilidad se realizó la autopolinización de 50 flores; luego se revisaron los resultados de fecundación pasados 3, 7 y 15 días. Para definir si un genotipo es autocompatible, el resultado debe superar el umbral de 30 % de flores fecundadas de las polinizadas. El cálculo se realizó utilizando la fórmula descrita a continuación (Chavarro et al., 1982):

$$\%\ \text{de flores fecundadas} = \frac{\text{Número de flores fecundadas}}{\text{Número de polinizaciones realizadas}} \text{x}100 \qquad \text{Ecuación 1}$$

Índice de mazorca

Para determinar el índice de mazorca (IM) se evaluaron 10 mazorcas por cada genotipo. Para tal fin, se realizó el proceso poscosecha (fermentación y secado) y luego se verificó que el contenido de humedad de los granos secos estuviera entre un 7-8 %. Finalmente se determinó el índice de grano (sección 1.2) y con este se calculó el promedio de almendras por mazorca utilizando la Ecuación 2 (Quintana Fuentes et al., 2015):

$$\text{IM} = \frac{1000\ \text{g}}{\text{Indice de grano g*Promedio de almendras por mazorca}} \qquad \text{Ecuación 2}$$

Productividad

La productividad se expresó en kilogramos por árbol durante un año (kg árbol^{-1} año^{-1}) y se determinó para los genotipos con siembras superiores a 2 años. Para calcular el valor, se determinó el número de mazorcas sanas por año por árbol y se calculó el índice de mazorca; finalmente se determinó la productividad usando la siguiente ecuación:

$$\text{Productividad} = \frac{\text{Promedio del número de mazorcas sanas año}}{\text{Índice de mazorca}} \qquad \text{Ecuación 3}$$

Incidencia de monilia (*Moniliophthora roreri)*

Dentro de las enfermedades limitantes en el cultivo de cacao se encuentra la monilia (*Moniliophthora roreri*), que es la responsable de pérdidas en producción de hasta aproximadamente el 80 % (Sánchez Mora & Garcés Fiallos, 2012). Para establecer la incidencia de monilia se realizó una evaluación quincenal del número de mazorcas afectadas y el número de mazorcas sanas. Finalmente, el porcentaje de incidencia se calculó usando la siguiente ecuación:

$$\text{Incidencia (\%)} = \frac{\text{Número de mazorcas afectadas}}{\text{Número de mazorcas afectadas + Número de mazorcas sanas}} * 100$$

Ecuación 4

Caracterización física

La calidad física de los genotipos en estudio se determinó usando como descriptores el tamaño de grano, el porcentaje de cascarilla y el porcentaje de almendra. Estas características influyen en la selección de genotipos de cacao para la siembra, la comercialización y la transformación. El porcentaje de cascarilla está ligado al tamaño de grano; por ejemplo, se estima que en almendras con pesos promedio menores o iguales a 1 g el porcentaje de cascarilla es mayor y el contenido de grasa es menor que los obtenidos para granos con pesos promedio mayores a 1 g (Álvarez et al., 2007).

La determinación del índice de grano (IG) y del porcentaje de cascarilla de los genotipos en estudio se desarrolló siguiendo lo establecido en la norma técnica colombiana NTC 1252 (Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación [Icontec], 2021). De cada una de las muestras de los genotipos evaluados, se tomaron al azar 500 g de granos fermentados y secos. El análisis del índice de grano se inició con el cuarteo de la muestra, en el que se separaron al azar 100 granos de cacao a los cuales se les realizó registro de peso. Posteriormente, se calculó el índice de grano por medio de la siguiente ecuación:

$$Ig = \frac{\text{Peso de 100 granos}}{100} \qquad \text{Ecuación 5}$$

El porcentaje de cascarilla se determinó con los mismos granos de cacao que fueron usados para evaluar el índice de grano. En este caso el procedimiento fue el siguiente: se usó un bisturí y se retiró cuidadosamente la cascarilla, lo cual permite obtener los tejidos por separado. Luego, se pesó la cascarilla y se calculó el porcentaje, como se muestra a continuación:

$$\%\ \text{cascarilla} = \frac{\text{Peso cascarilla*}\ 100}{\text{Peso total de 100 granos completos}} \qquad \text{Ecuación 6}$$

El porcentaje de almendra se calculó usando el tejido de grano o nibs libres de cascarilla usando la siguiente ecuación:

$$\%\ \text{almendra} = \frac{\text{Peso almendra*}\ 100}{\text{Peso total de 100 granos completos}} \qquad \text{Ecuación 7}$$

Proceso poscosecha: fermentación y secado

Fermentación

La fermentación de cada uno de los 24 genotipos de cacao evaluados y priorizados por AGROSAVIA se desarrolló usando mazorcas de cacao fisiológicamente maduras. Las colectas de estas mazorcas se realizaron en la parcela experimental de AGROSAVIA en el CI La Suiza y comprende las cosechas recogidas entre 2018 y 2021. El proceso de fermentación de los granos de cacao se desarrolló al interior de una incubadora marca Memmert modelo IN 450, la cual permite la microfermentación de masas de 1 a 5 kg; además, en este equipo se pueden simular los perfiles de temperatura típicos que se alcanzan en cada una de las etapas del proceso de fermentación cultural que ocurre de manera espontánea durante 6 días. La aireación de los

granos de cacao se hizo realizando volteos del grano cada 12 horas después de 48 horas de haber iniciado la fermentación.

Secado

El secado se realizó durante 5 días usando paseras o superficies de madera expuestas al sol. Durante las primeras 24 horas los granos se removieron cada 2 horas y posteriormente cada 4 horas hasta alcanzar una humedad de 6-8 %, cumpliendo así con los requerimientos de la norma NTC 1252 (Icontec, 2021) (la caracterización física de los granos se explicará en la sección correspondiente).

Proceso de tostado y molienda de granos de cacao

Para cada una de las muestras fermentadas y secas, se tomaron 250 g de granos cortados longitudinalmente. Los granos se clasificaron en dos categorías: bien fermentados y al azar. Estos granos fueron tostados a una temperatura constante de 110 °C durante 12 minutos. Para tal fin se empleó un tostador de doble tambor marca Kaffemat. Posteriormente, los granos tostados fueron descascarillados y triturados usando un molino de piedras marca CocoaTown; este proceso se llevó a cabo durante 3 horas y al final se obtuvo el licor de cacao para cada genotipo evaluado. Con este procedimiento se consiguió un licor de cacao que tuvo una granulometría con un diámetro aproximado de partícula inferior a 35 micras. Finalizado el proceso, se moldeó el licor, se empacó al vacío y se almacenó a 4 °C.

Caracterización fisicoquímica, metabolitos presentes con actividad funcional y perfil sensorial de granos de cacao

Preparación de las muestras para análisis

La preparación de las muestras comprende las etapas de desengrasado y extracción de polifenoles, según lo propuesto por Cadena y Herrera (2008). Un gramo (1 g) de muestra (descascarillada y molida) fue desengrasado con 10 ml de n-hexano en un baño ultrasónico (LC 30H, Elma Ultrasonics, Singen, Alemania) por 15 min a 30 °C. Seguidamente, se centrifugó (equipo Heraeus Megafuge 16R, Thermo Fisher Scientific, Waltham, Massachusetts, USA) a 3500 rpm durante 15 min a 25 °C. Este proceso se realizó tres veces.

Para la extracción de polifenoles, la muestra desengrasada se puso en contacto con 20 ml de una solución etanol: agua (80:20 v) a 60 °C y agitación constante durante 15 min. Luego, se centrifugó (utilizando los mismos parámetros empleados en el desengrasado) y el sobrenadante se pasó a través de papel filtro (papel cualitativo, con una retención de 10 µm, Filter Paper, Munktell, Bärenstein, Germany).

La extracción se realizó tres veces y finalmente las fracciones filtradas se concentraron por evaporación a 50 °C y 100 mbar (rotoevaporador R-210, Büchi, Valinhos, Brasil). Cada extracto se aforó a un volumen de 25 ml con una solución etanol: agua (50:50 v) y fue almacenado a 4 °C hasta su uso. Se prepararon dos extractos por muestra recolectada. Inicialmente, se desarrolló un secado primario a 233,15 K y 0,013 MPa durante 36 h, seguido de un secado secundario en gradiente desde 263,15 hasta 318,15 K durante 24 h.

Caracterización bromatológica

Se realizó el análisis del contenido de humedad, cenizas, grasa, fibra, proteína y carbohidratos presentes en cada uno de los genotipos evaluados. Los métodos empleados fueron los recomendados por la Asociación Internacional de Químicos Analíticos (AOAC International, 2019) para cacao: 931.04, 972.15, 963.15, 930.20, 970.22 y 962.09 respectivamente.

Perfil de ácidos grasos

El perfil composicional de los principales ácidos grasos (% de ácido palmítico, % de ácido esteárico y % de ácido oleico) presentes en los granos de cacao se determinó por cromatografía gaseosa, siguiendo la metodología establecida por la norma NTC 4967:2014.

Contenido de polifenoles totales

El contenido de polifenoles totales de las muestras se determinó siguiendo el protocolo propuesto por Toro-Uribe et al. (2020): la reacción se inició añadiendo 50 µl de la muestra con 1,5 ml de reactivo de Folin-Ciocalteu diluido 10 veces. Después de 5 min, se añadieron 1,5 ml de carbonato de sodio al 7,5 % (p/v) y se agitó en vórtex durante 10 s. El medio de reacción se guardó en la oscuridad durante 1 h a 25 °C. La absorbancia se midió a 765 nm (Genesys 20; Thermo Scientific-Fisher, Waltham, MA, USA) y se comparó con la absorbancia de una sustancia de referencia (ácido gálico). Los resultados de la cantidad total de polifenoles se expresaron como mg de equivalentes de ácido gálico por gramo de muestra seca (mg EAG/g muestra seca).

Actividad antioxidante

Ensayo ORAC

Uno de los métodos más utilizados para determinar la capacidad antioxidante (CA) en matrices alimentarias es la capacidad atrapadora de radicales de oxígeno (ORAC, por la sigla en inglés de *oxygen radical*

absorbance capacity). En este caso, la CA se determinó siguiendo el método propuesto por Huang et al. (2002). Brevemente, en una microplaca de 96 pozos, se adicionaron los reactivos en el orden que se especifica a continuación: 150 µl de solución de fluoresceína [$8{,}16 \times 10^{-5}$ mM], 25 µl de ácido 6-hidroxi-2,5,7,8-tetrametilcromano-2-carboxílico [6,25-50 µM], extracto [0,0468-0,1238 mg EAG/gMS] o buffer de fosfato (según fuera a ubicarse en el pozo el estándar, la muestra o el blanco del ensayo respectivamente) y 25 µl de solución de AAPH [153 mM]. Antes de añadir el AAPH, la microplaca con la fluoresceína y el antioxidante fue precalentada a 37 °C durante 10 min.

Inmediatamente después de la adición del iniciador de radicales, se midió en un espectrofluorímetro (Fluoroskan Ascent, Thermo Scientific, Waltham, Massachusetts, USA) la señal de fluorescencia cada minuto durante 1 h. Las longitudes de onda de excitación y emisión fueron 485 y 530 nm respectivamente. Cada concentración evaluada se analizó por triplicado (5 concentraciones por extracto).

Se preparó una curva de calibración. Los resultados se expresaron en µmol de ácido 6-hidroxi-2,5,7,8-tetrametilcromano-2-carboxílico-equivalente por gramo muestra seca (µmol Tx/g), como en la siguiente ecuación:

$$\text{ORAC} = \frac{\text{AUC}_{\text{muestra}} - \text{AUC}_{\text{referencia}}}{\text{AUC}_{\text{trolox}} - \text{AUC}_{\text{referencia}}} * k * \frac{\text{Molaridad de trolox}}{\text{Peso de la muestra}} \qquad \text{Ecuación 8}$$

Donde k es el factor de dilución de la muestra y AUC es el área bajo la curva de decaimiento de fluorescencia de la muestra, el blanco y ácido 6-hidroxi-2,5,7,8-tetrametilcromano-2-carboxílico respectivamente (Toro-Uribe et al., 2018).

Ensayo DPPH

El ensayo de DPPH se realizó siguiendo el procedimiento descrito por Toro-Uribe et al. (2019): se mezcló una solución de DPPH (745 µl de 68,5 µM) con 100 µl de la muestra. Después de 1 h de reacción, se tomaron 300 µL de muestra y se colocaron en microplacas de 96 pozos para medir la absorbancia total. La disminución de la absorbancia se determinó a 517 nm utilizando un lector de microplacas (Synergy HT, BioTek Instruments, Winooski, VT, USA). El metanol y la solución de DPPH sin muestras de ensayo se utilizaron como soluciones blanco y de control respectivamente. Los resultados se expresaron como porcentaje de atrapamiento de radicales y se calcularon de la siguiente manera:

$$DPPH(\%) = \frac{Abs_{control} - Abs_{muestra}}{Abs_{contro}} * 100 \qquad \text{Ecuación 9}$$

Método ABTS^{+}

La capacidad antirradicalaria de los metabolitos presentes en los genotipos estudiados también se midió por el método ABTS^{+} (Belščak et al., 2009). Se prepararon soluciones patrón de ABTS^{+} (7 mM) y de persulfato de potasio (140 mM) en agua y se mezclaron hasta alcanzar una concentración final de 2,45 mM de persulfato de potasio. La mezcla se dejó reaccionar durante toda la noche (12-16 h) en la oscuridad, a temperatura ambiente. El día del análisis, la solución de radicales ABTS^{+} se diluyó con etanol hasta alcanzar una absorbancia de 0,70 $\pm$ 0,02 a 734 nm. Todas las mediciones se realizaron así: se añadieron 100 µl de extracto de cacao a 2,0 ml de la solución de radicales ABTS^{+} y las lecturas de absorbancia se tomaron después de exactamente 6 minutos contra el blanco (100 µl de etanol) en lugar de la muestra. Los resultados, obtenidos por triplicado, se expresaron como equivalentes de ácido 6-hidroxi-2,5,7,8-tetrametilcromano-2-carboxílico y se obtuvieron a partir de una curva de calibración determinada para este estándar.

Identificación y cuantificación de metabolitos con actividad funcional

Catequinas, epicatequinas y procianidinas B

La separación cromatográfica se desarrolló en un HPLC Thermo Scientific Ultimate 3000, equipado con sistema de autoinyección y detector UV-VIS (Thermo Scientific VWD-3100). Se utilizó una columna analítica de fase reversa (Zorbax Eclipse XDB C18 150 mm x 2,1 mm x 5 µm). La columna se calentó a 25 °C utilizando un horno (Thermo Scientific TCC-3000 SD). Todos los compuestos se detectaron a 204 nm. El volumen de inyección fue de 20 µl. La composición de la fase móvil fue la siguiente: ácido fórmico al 0,1 % (v/v) (disolvente A) y acetonitrilo (solvente B) con un flujo de 0,2 ml/min. El gradiente fue: 0-20 min, 6-10 % de B; 20-25 min, 10-13 % de B; 25-30 min, 13-15 % de B; 30-40 min, 15-10 % de B; 40-45 min, 10-6 % de B, seguido de 10 min de reequilibrio de la columna antes de una nueva inyección.

La identificación de monómeros y dímeros se llevó a cabo utilizando un detector LC/MS de trampa iónica (modelo 6320, Agilent Technologies, Waldbronn, Alemania) equipado con una fuente ESI y un analizador de masas de trampa iónica. El espectrómetro de masas fue operado en modo ESI negativo con las siguientes condiciones: espectros de masas registrados desde 90-2200 m/z, nebulizador 40 psi, gas seco 12 l/min y temperatura seca 350 ºC.

Finalmente, cada familia química se cuantificó utilizando estándar externo y los resultados se expresaron como mg de sustancia/g de materia seca (mg S/g ms).

Análisis de metilxantinas (teobromina y cafeína)

La separación cromatográfica se desarrolló en un HPLC Thermo Scientific Ultimate 3000, equipado con sistema de autoinyección y detector UV-VIS (Thermo Scientific VWD-3100). Se utilizó una columna analítica de fase reversa (Zorbax Eclipse XDB C18 150 mm x 2,1 mm x 5 µm). La columna se calentó a 25 °C utilizando un

horno (Thermo Scientific TCC-3000 SD). Todos los compuestos se detectaron a 273 nm. El volumen de inyección fue de 5 µl. La fase móvil usada fue ácido acético al 0,5 % (v/v) (disolvente A) y metanol (disolvente B) con un flujo de 0,3 ml/min. El gradiente fue el siguiente: 0-10 min, 15 % de B; 10-11 min, 15-25 % de B; 11-18 min, 25 % de B; 18-18,1 min, 25-30 % de B; 18,1-25 min, 30 % de B; 25-25,1 min, 100 % de B; 25; 1-30 min, 100 % de B; 30-35 min, 0 % de B, seguido de 10 min de reequilibrio de la columna antes de una nueva inyección.

Finalmente, cada familia química se cuantificó usando estándar externo y los resultados se expresaron como mg de sustancia/g de materia seca (mg S/g ms).

Identificación y cuantificación de compuestos volátiles

Preparación de la muestra para análisis por microextracción en fase sólida (SPME)

Para cada uno de los genotipos sujetos a análisis, se tomaron 2 g de licor de cacao y se agregaron a un vial de 10 ml con agitador magnético (luego se selló con una tapa PTFE con septa de silicona). La extracción se realizó utilizando una microfibra de polidimetilsiloxano con recubrimiento anfifílico divinilbenceno-carboxen-polidimetilsiloxano (DVB-CAR-PDMS) 50/30 µm de Supelco, la cual, según Ducki et al. (2008) y Rodriguez-Campos et al. (2011), permite una mayor adsorción de los compuestos volátiles. Inicialmente, se colocó la muestra de licor de cacao en baño maría de aceite mineral dentro de un vaso crisol con agitador. Este vaso crisol se ubicó sobre una plancha de calentamiento y se controló la temperatura en un valor de 60 °C. Después, la microfibra contenida en un *holder* se expuso en el espaciado de cabeza (1,2 cm) durante 40 min a 60 °C.

Identificación de compuestos volátiles

La identificación de los compuestos volátiles extraídos por SPME se realizó siguiendo el protocolo propuesto por Palencia-Blanco et al. (2020). Brevemente, la desorción de la microfibra se realizó en un cromatógrafo de gases GC 7890A (Agilent Technologies) acoplado a un espectrómetro de masas (Hewlett Packard, Model 5972) con detector cuadrupolo (MSD, Agilent Technologies, modelo 5975) utilizando el software msd ChemStation E.02 (Agilent Technologies). Para la separación se utilizó una columna capilar apolar 5%-fenil poli-metilsiloxano (HP-5) de 30 m (l) x 0,25 mm (e) x 0,25 µm d.i. La rampa de calentamiento del horno para la separación de los analitos se fijó inicialmente a 30 °C durante 10 min, luego se incrementó a 3 °C/min hasta 60 °C manteniéndose en esta temperatura durante 10 min, después se aumentó a 10 °C/min hasta 150 °C y finalmente incrementó en 4 °C/min hasta los 200 °C manteniéndola durante 5 min. El gas de arrastre fue hidrógeno a 1 ml/min, la temperatura del inyector fue de 265 °C en modo *split* 3:1 y se utilizó un sistema de ionización de impacto electrónico a 70 eV^{-} con una temperatura de la fuente de 230 °C. Al llegar al detector de masas (MSD), se obtuvieron las señales de relación masa/carga (m/z) para cada uno de los picos correspondientes a los compuestos volátiles; seguidamente, se creó un cromatograma (reporte), en donde cada señal (pico) fue comparada con la biblioteca Wiley 8 (Wiley Registry of Mass Spectral data, 8th edition) de espectros de masa. Para cada uno de los espectros, se comparó el grado de coincidencia de cada una de las relaciones e intensidades m/z de cada compuesto (fragmentos) *versus* la información tabulada en las bases de datos de espectros de compuestos conocidos.

Finalmente, para corroborar la identificación cada compuesto, se calcularon los índices de retención de Kovats por medio de la Ecuación 10, de acuerdo con Palencia-Blanco et al. (2020), y se comparó dicho valor con el tabulado en la biblioteca NIST SRD 69 (NIST, 2018).

$$IK=100n+100\left[\frac{t_{Rx}-t_{Rn}}{t_{RN}-t_{Rn}}\right] \qquad \text{Ecuación 10}$$

Donde n es el número de átomos de carbono del n-alcano que eluye antes del compuesto de interés x, t_{Rx} es el tiempo de retención del compuesto de interés x, y t_{Rn} y t_{RN} son los tiempos de retención de n-alcanos que eluyen antes y después del compuesto x. Para el cálculo del índice de Kovats se utilizó un patrón de n-alcanos con átomos de carbono que variaron desde C5-C20.

Cuantificación de compuestos volátiles

Para la cuantificación de los compuestos volátiles, se utilizó el método semicuantitativo propuesto por Palencia-Blanco et al. (2020). En este método se empleó un cromatógrafo de gases 7890A (Agilent Technologies) acoplado a un detector de ionización de llama (FID-GC). Se utilizó una columna apolar 5%-fenil polimetilsiloxano (HP-5) de dimensiones 30 m (l) x 0,25 mm (e) x 0,25 µm (d.i) y la misma rampa de calentamiento descrita en la sección de identificación de compuestos volátiles. El puerto inyector fue establecido en modo *split* (3:1) a una temperatura de 265 °C y el gas de arrastre fue hidrógeno a 0,7 ml/min. Así mismo, se seleccionó tolueno como estándar interno debido a que es un compuesto que tiene un área definida, no hace parte de la matriz, no interfiere con los analitos de interés y es suficientemente volátil. Debido a la cantidad de compuestos volátiles de diferentes grupos funcionales presentes en el licor de cacao, se hizo la suposición de que la respuesta de los analitos por familia permanece constante. Para esto, se calculó un factor de respuesta para cada una de las familias de compuestos encontrados en los licores de cacao (pirazinas, ácidos, ésteres, aldehídos, cetonas y alcoholes) usando los compuestos representativos mostrados en la tabla 4.

Tabla 4. Compuestos representativos por familia

Familias	Compuesto representativo	Factor de respuesta calculado
Pirazinas	Trimetilpirazina	0,88
Alcoholes	Linalool	2,19
Ácidos	Ácido acético	1,02

continúa

Continuación tabla 4

Familias	Compuesto representativo	Factor de respuesta calculado
Ésteres	Acetato etilo	6,38
Cetonas	Acetofenona	0,38
Aldehídos	Fenilacetaldehído	2,84
Otros	Acetilpirrol	1,10

Fuente: Elaboración propia

La cuantificación de los compuestos volátiles presentes en los licores de cacao se realizó por medio de la ecuación 11. Se prepararon tres muestras idénticas para cada análisis y se tomó el promedio de los resultados.

$$C_x = FR \times \frac{A_x \times C_{EI}}{A_{EI} \times p}$$ Ecuación 11

Donde A_x es el área del compuesto de interés, C_{EI} es la concentración del estándar interno (mg/l), A_{EI} es el área del estándar interno, FR es el factor de respuesta y p es la densidad del licor de cacao (kg/l).

Compuestos olor-activos. Después de identificar y cuantificar los compuestos volátiles, se decidió analizar los compuestos que más aportan al sabor y aroma de los licores de cacao. Con el fin de evaluar la contribución de un compuesto químico al aroma, se determinó el valor de la actividad olor-activa (*odor-active value* [OAV], por su sigla en inglés) de cada compuesto. OAV es una medida de qué tan importante es un compuesto específico para el olor de una muestra. Este parámetro se calculó mediante la ecuación 12, al igual que en otras investigaciones (Aznar et al., 2003; Cordero et al., 2019; Cuevas-Glory et al., 2013; Culleré et al., 2004; Feng et al., 2018; Frauendorfer & Schieberle, 2008; Jetti et al., 2007; Ouyang et al., 2017; Pang et al., 2012; Qian & Wang, 2005; Tao et al., 2017).

$$OAV = \frac{C_x}{OT_x}$$ Ecuación 12

Donde C_x es la concentración del compuesto volátil por analizar y OT_x es la concentración correspondiente al umbral del olor del compuesto volátil en el ser humano (en inglés, *odor threshold)*.

Los valores olor-activos se calcularon como la relación entre la concentración de un compuesto individual y la concentración correspondiente al umbral de percepción de ese compuesto encontrado en la literatura. Compuestos con valores de OAV mayores a 1 (OAV>1) superaron el umbral del olor y, por consiguiente, fueron los compuestos que se tomaron para modelar la relación existente entre los atributos sensoriales y las concentraciones de compuestos volátiles.

Análisis sensorial

El análisis sensorial se realizó para 13 licores de cacao usando un panel sensorial compuesto por cinco evaluadores, tres evaluadores pertenecientes a una empresa privada y dos evaluadores pertenecientes al panel sensorial del Centro de Investigación La Suiza. El panel determinó la intensidad de sabores y aromas siguiendo la escala de valoración mostrada en la tabla 5.

Tabla 5. Escala de valoración de intensidad de sabor

Puntuación	0	1-2	3-6	7-9	10
Intensidad	Ausente	Bajo	Medio	Alto	Muy alto

Fuente: Adaptado de Cocoa of Excellence Technical Committee (2021b)

Para realizar la evaluación sensorial se tomaron 50 g de licor de cacao por cada genotipo evaluado; luego el licor se fundió a 55 °C empleando un baño maría marca JlabTech hasta alcanzar una consistencia líquida. Después, el licor se depositó en recipientes plásticos independientes, los cuales se taparon, se codificaron y finalmente se entregaron a cada evaluador. La evaluación sensorial se realizó bajo la metodología de la Guía Técnica Colombiana GTC 165 y GTC 232 del 2012 y las normas del Icontec NTC 3929 del 2009 y NTC 3501 de 2008, las cuales describen los procedimientos y el

vocabulario utilizado en el análisis sensorial de alimentos. El perfil sensorial se determinó evaluando los criterios de sabores básicos (amargo, astringente, ácido) y atributos específicos (frutal, floral, dulce, nuez), así como también las puntuaciones asociadas con los defectos (humedad, sobrefermentado, verde). Los parámetros se contemplan en la figura 8.

El análisis sensorial se realizó durante cinco sesiones en las que se utilizaron intervalos de descanso de los evaluadores para evitar fatigas sensoriales. Los evaluadores fueron seleccionados por su experiencia, idoneidad y confiablidad demostrada en análisis de muestras nacionales e internacionales, garantizando así los resultados en este estudio.

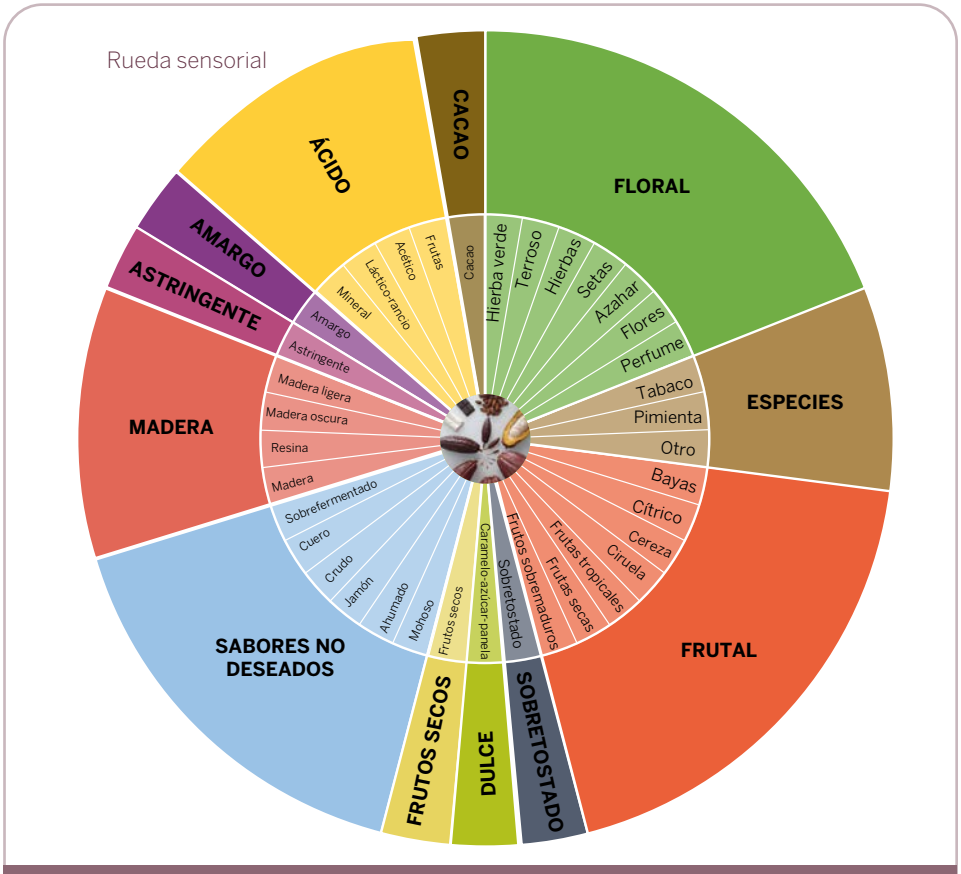


Figura 8. Rueda sensorial en cacao.

Fuente: Elaboración propia con base en Cocoa of Excellence Technical Committee (2021a)

Modelos matemáticos empleados para la predicción de atributos sensoriales de los 24 genotipos de cacao evaluados

Se emplearon los modelos matemáticos desarrollados por Palencia Blanco (2019) para la predicción de los atributos sensoriales (cacao, floral, frutal, nuez, dulce y ácido) de los 24 genotipos en estudio. Estos modelos describen cada atributo sensorial como una combinación lineal de la concentración de 16 compuestos volátiles que aportan en mayor proporción al aroma o *flavor* del cacao (figura 9).

En la figura 10 se muestra brevemente la metodología empleada por Palencia Blanco (2019) para ajustar los modelos matemáticos que relacionan los atributos sensoriales del cacao con el contenido de compuestos volátiles priorizados presentes en el cacao. A partir de un análisis de componentes principales (PCA), se identificaron los compuestos volátiles que mejor explicaron los atributos sensoriales evaluados en muestras de licor de cacao. Seguidamente, se empleó la regresión de mínimos cuadrados parciales para obtener los 6 atributos sensoriales. Finalmente, la precisión del modelo se midió usando la herramienta de validación cruzada mediante el método "dejar uno afuera" (*leave one out*).

$$Cacao = a_0 + \sum_{i=1}^{i=16} a_i x_i$$

$$Floral = b_0 + \sum_{i=1}^{i=16} b_i x_i$$

$$Frutal = c_0 + \sum_{i=1}^{i=16} c_i x_i$$

$$Nuez = d_0 + \sum_{i=1}^{i=16} d_i x_i$$

$$Dulce = e_0 + \sum_{i=1}^{i=16} e_i x_i$$

$$Ácido = f_0 + \sum_{i=1}^{i=16} f_i x_i$$

Figura 9. Relaciones matemáticas para la predicción del perfil sensorial de cacao.

Fuente: Elaboración propia con base en Palencia Blanco (2019)

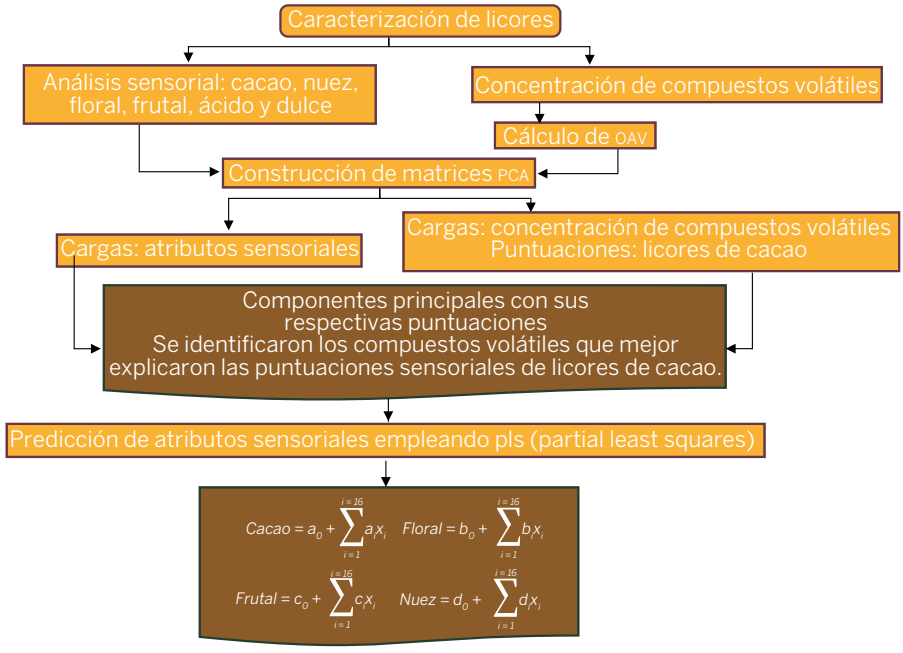


Figura 10. Metodología empleada por Palencia Blanco para la construcción de modelos de predicción de atributos sensoriales de licores de cacao.

Fuente: Elaboración propia con base en Palencia Blanco (2019)

Análisis estadístico de resultados

A continuación, se describe la metodología empleada para el análisis estadístico de los resultados de la caracterización morfológica, agronómica, fisicoquímica y metabolitos presentes con actividad funcional de 24 genotipos de cacao cultivados bajo sistemas agroforestales en el departamento de Santander. El objetivo fue clasificar los 24 genotipos estudiados e identificar aquellos con mejores atributos fisicoquímicos, mayor concentración de metabolitos con actividad funcional y mayor productividad. Para este fin, se empleó la herramienta de diagrama de caja de Microsoft Excel (versión 365), la cual consiste en graficar los datos a través de cuartiles, identificar la distribución de los datos, posibles datos atípicos o que están fuera de rango y los agrupados o considerados medias (BBC, 2021).

Resultados

Caracterización morfológica y agronómica

Para la evaluación productiva y sanitaria, en cada uno de los genotipos se realizaron registros en la parcela establecida en el Centro de Investigación La Suiza de AGROSAVIA. De igual manera, se colectaron frutos maduros para realizar la caracterización morfológica cuantitativa. Los datos recolectados acerca del comportamiento productivo y la caracterización de variables morfológicas cuantitativas de los 24 genotipos de cacao estudiados en el departamento de Santander se resumen en la tabla 6.

Tabla 6. Características productivas y morfológicas de los genotipos de cacao evaluados para el departamento de Santander

Genotipo	Índice de grano (g)	Índice de mazorca*	Número de almendras/ mazorca	Peso húmedo de las almendras (g)	Peso mazorca (g)	Incidencia de monilia (%)	Productividad kg/árbol/año
TCS 01	2,72	9,3	38	310,59	1048	17,3	3,31
TCS 02	1,89	12	28	203,11	850,8	14,8	1,6
TCS 03	1,74	15,3	31	146,57	834	8,6	1,78
TCS 04	1,84	13,3	36	188,38	1053,4	14,6	1,34
TCS 05	1,77	18,3	33	151,87	899,7	11,5	1,04
TCS 06	1,79	12,3	41	245,69	1027,9	2	1,98
TCS 08	1,76	17,3	33	86,91	737	13,9	0,94
TCS 10	1,87	24,3	32	152,61	651,4	14,7	1,04
TCS 11	2,21	11,3	34	242,64	984	11,5	2,09
TCS 12	1,47	15	41	185,33	853,6	10,5	0,87
TCS 13	1,76	14,3	44	200,32	1273,2	7,7	1,53
TCS 19	1,67	16	36	163,53	876,7	8,4	1,78
TCS 20	2,24	12,5	33	202,81	823	17,9	1,75
TCS 40	1,27	19,8	39	128,97	671,3	17,7	1,84
TCS 41	1,32	18,3	35	137,7	553,4	22,3	1,77
TCS 42	1,65	15,5	41	181,61	613,5	12	1,82
TCS 44	1,6	14	40	197,33	560,4	16,5	1,69
TCS 45	1,48	17,5	46	156,47	849,7	12,8	1,18
TCS 46	1,24	19	41	131,63	764	16,7	1,31
TCS 47	1,83	18	29	136,62	781,3	19,9	1,79
TCS 48	1,58	16,3	40	162,02	666,1	21,4	1,69
TCS 49	1,47	13	48	227,7	784,6	12,7	1,74
CCN 51	1,53	15,8	47	210,32	856,3	22,5	1,6
ICS 95	1,33	19,3	38	117,12	724	14,2	0,8

*Número de mazorcas necesarias para obtener un kilo de cacao seco.

Fuente: Elaboración propia

Índice de grano

La figura 11 muestra los resultados de los análisis estadísticos descriptivos a través del diagrama de caja, el cual es empleado para definir rangos y clasificar en categorías o niveles los diferentes genotipos de cacao con respecto a su índice de grano.

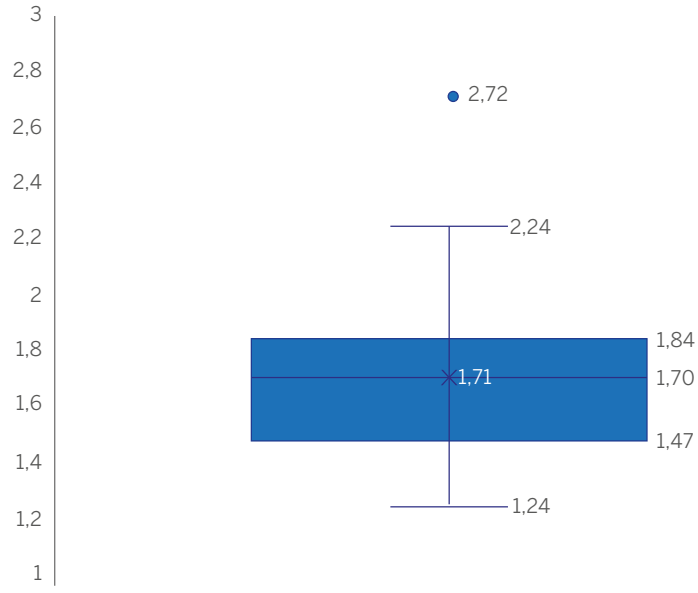


Figura 11. Distribución de valores de índice de grano para los 24 genotipos de cacao evaluados.

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo con la figura y el análisis estadístico aplicado, la variable *índice de grano* permitió clasificar el índice de grano de los 24 genotipos evaluados en cinco categorías (tabla 7). Estas categorías van desde granos pequeños a muy grandes, pasando por un valor atípico o fuera de rango.

Tabla 7. Límites del índice de grano para la clasificación de los 24 genotipos de cacao

Característica	Nivel	Valor (g)
Índice de grano	Pequeño	1,24 - 1,47
	Mediano	1,47 - 1,70
	Grande	1,70 - 1,84
	Muy grande	1,84 - 2,24
	Atípico	2,72

Fuente: Elaboración propia

Algunos estudios mencionan que un índice de grano en nivel alto (muy grande) se encuentra entre 1,4 - 1,8 g (Quintana Fuentes et al., 2018). Según Rodríguez-Lozano (2020), el genotipo CCN 51 presenta un índice de grano de 1,5 g (1,53 g en este estudio). Por otro lado, el genotipo ICS 95 presenta un índice de grano que oscila entre 1,1-1,5 g según Quintana Fuentes et al. (2015) (1,33 g en el presente estudio). Los resultados de los 24 genotipos de cacao evaluados en la variable *índice de grano*, la cual determina el peso de un grano seco de cacao, fueron clasificados en tres niveles de importancia agronómica determinados por el tamaño de la almendra relacionado con el índice de grano. En la tabla 8 se presentan los genotipos que tienen índice de grano en las categorías grande - muy grande (1,74 a 2,24 g), además del genotipo TCS 01, el cual presenta un valor de índice de grano de 2,72 g.

Tabla 8. Genotipos de cacao con mayor índice de grano de los 24 genotipos evaluados en el departamento de Santander

Característica	Genotipo	Peso seco de un grano de cacao
Índice de grano	TCS 01	2,72
	TCS 02	1,89
	TCS 03	1,74
	TCS 04	1,84
	TCS 05	1,77
	TCS 06	1,79

continúa

Continuación tabla 8

Característica	Genotipo	Peso seco de un grano de cacao
Índice de grano	TCS 08	1,76
	TCS 10	1,87
	TCS 11	2,21
	TCS 13	1,76
	TCS 20	2,24
	TCS 47	1,83

Fuente: Elaboración propia

Índice de mazorca

En la figura 12 se muestra el diagrama de caja obtenido para clasificar los diferentes genotipos de cacao según su índice de mazorca.

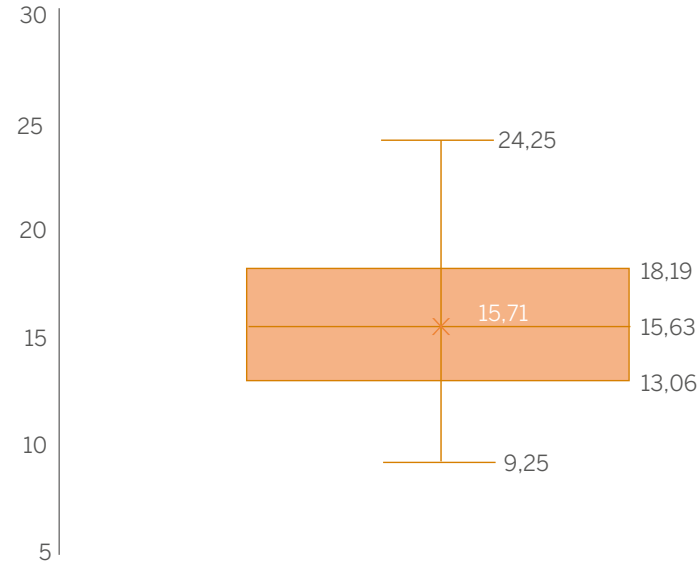


Figura 12. Distribución de valores de índice de mazorca para los 24 genotipos de cacao evaluados.

Fuente: Elaboración propia

Se aprecia una alta variabilidad del índice de mazorca; sin embargo, el diagrama de cajas y bigotes permite obtener rangos para clasificar los genotipos en diferentes categorías dentro de cada rango o nivel (tabla 9).

Tabla 9. Límites del índice de mazorca que permiten clasificar los 24 genotipos de cacao

Característica	Nivel	Número frutos/kg
Índice de mazorca	Bajo	9,3 - 13,1
	Medio	13,1 - 15,6
	Alto	15,6 - 18,2
	Muy alto	18,2 - 24,3

Fuente: Elaboración propia

Esta característica productiva es muy importante para los productores de cacao, ya que determina el número de frutos que se requiere para obtener un kilogramo de cacao seco. Por ejemplo, ICS 95 tiene un índice de mazorca de entre 19-28, es decir, se requiere de ese número de mazorcas para obtener un kilogramo de cacao seco, mientras que para el CCN 51 el promedio es de 14-17 (Quintana Fuentes et al., 2015) y para ICS 39 - ICS 60 el valor de índice de mazorca es de alrededor de 12, si bien estas últimas son muy superiores a los otros genotipos mencionados (Grupo Conacado, 2021).

Ahora bien, de los 24 genotipos analizados, 12 de ellos (tabla 10) se encuentran clasificados como índice de mazorca bajo (9,3 - 13,1) y medio (13,1 - 15,6), haciendo de estos grupos los más deseables y promisorios desde los puntos de vista de producción e importancia agronómica.

Tabla 10. Genotipos de cacao según su índice de mazorca

Característica	Genotipo	Número de mazorcas para obtener un kg de cacao seco
Índice de mazorca	TCS 01	9,3
	TCS 02	12
	TCS 03	15,3
	TCS 04	13,3
	TCS 06	12,3
	TCS 11	11,3
	TCS 12	15
	TCS 13	14,3
	TCS 20	12,5
	TCS 42	15,5
	TCS 44	14
	TCS 49	13

Fuente: Elaboración propia

Número de almendras por mazorca

El número de almendras por mazorca es otra característica morfológica de gran importancia agronómica, ya que ayuda a determinar la productividad de los genotipos evaluados. Los resultados se representan en la figura 13. El diagrama de cajas determina la clasificación en niveles o grupos de genotipos similares de acuerdo con el número de almendras por mazorca.

La clasificación de los datos se realizó en cuatro cuartiles expresados en niveles desde bajo hasta muy alto, donde son deseables aquellos genotipos que presentan un mayor número de almendras por mazorca (tabla 11).

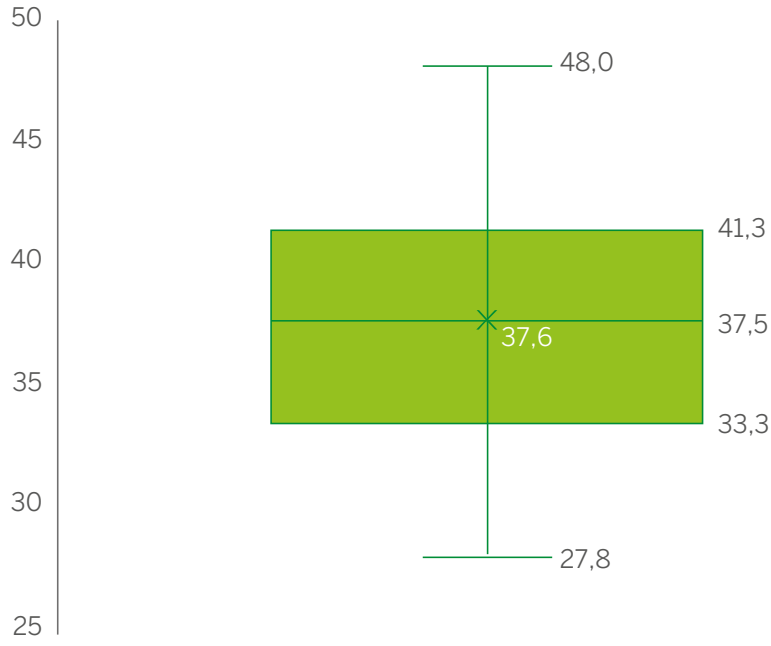


Figura 13. Distribución de valores de número de almendras por mazorca para los 24 genotipos de cacao.

Fuente: Elaboración propia

Tabla 11. Límites de número de almendras por mazorca que permiten clasificar la cantidad de los granos obtenidos de los 24 genotipos de cacao

Característica	Nivel	Cantidad
Número de almendras por mazorca	Bajo	27,8 - 33,3
	Medio	33,3 - 37,5
	Alto	37,5 - 41,3
	Muy alto	41,3 - 48,0

Fuente: Elaboración propia

El análisis de los datos determinó que 13 de los 24 genotipos evaluados tienen niveles altos y muy altos, con números de almendras por mazorca que están entre 37,50 y 48 almendras por mazorca (tabla 12). Algunos estudios reportan que CCN 51 tiene aproximadamente 45 almendras por mazorca (Rodríguez-Lozano, 2020), lo cual concuerda con los resultados obtenidos. Sin embargo, esta variable puede ser afectada por las condiciones edafoclimáticas de cada zona y pueden variar los resultados.

Tabla 12. Genotipos de cacao según su número de almendras por mazorca

Característica	Genotipo	Promedio número de almendras
Número de almendras	CCN 51	47
	ICS 95	37,5
	TCS 01	37,5
	TCS 06	40,5
	TCS 12	41,3
	TCS 13	43,8
	TCS 40	38,8
	TCS 42	41,3
	TCS 44	40
	TCS 45	45,5
	TCS 46	41,3
	TCS 48	39,8
	TCS 49	48

Fuente: Elaboración propia

Peso promedio húmedo de las almendras por fruto

La variabilidad del peso húmedo promedio de las almendras de los 24 genotipos evaluados se muestra en la figura 14, donde se puede ver que los valores oscilan entre 86,9 y 245,7. Además, se identificó un dato atípico de 310,6. A partir de estos resultados se infiere que la variabilidad del peso húmedo de las almendras entre genotipos es muy elevada.

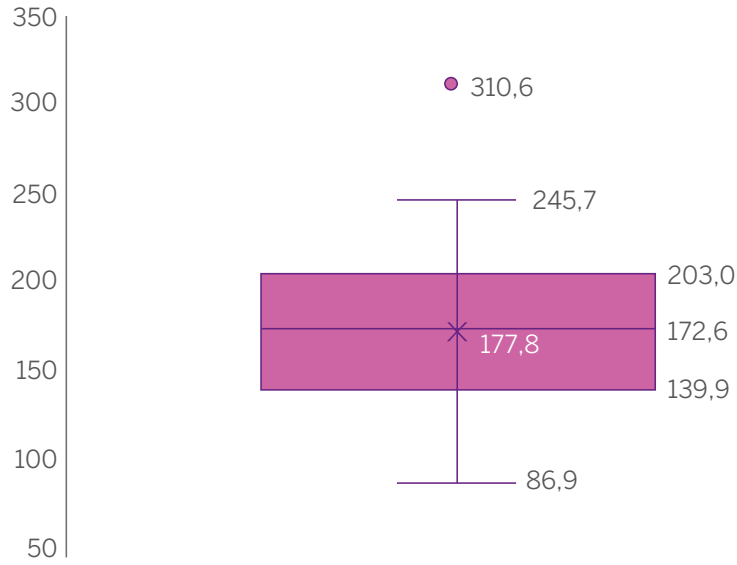


Figura 14. Distribución de valores de peso húmedo de las almendras por mazorca para los 24 genotipos de cacao.

Fuente: Elaboración propia

A partir de los resultados, se realizó una clasificación de los datos en las cinco categorías mostradas en la tabla 13.

Tabla 13. Límites de peso húmedo de almendras por mazorca que permiten clasificar los 24 genotipos de cacao

Característica	Nivel	Gramos
Peso húmedo de las almendras	Muy bajo	86,9 - 139,9
	Bajo	139,9 - 172,6
	Medio	172,6 - 203, 0
	Alto	203,0 - 245,7
	Atípico	310,6

Fuente: Elaboración propia

Con esta clasificación, se encontraron cinco genotipos con valores altos que oscilan entre 203,11 y 245,69 g. En lo que se refiere al valor atípico de 310,59 g, este corresponde al genotipo TCS 01. Estudios demuestran que el peso húmedo promedio de las almendras de un genotipo ICS 95 está en alrededor de 102 g (Furcal Beriguete, 2016), lo cual indica que este genotipo estaría catalogado en un nivel muy bajo de acuerdo con los resultados obtenidos. Lo anterior indica que los genotipos que se encuentran en la categoría *alto* son muy superiores cuando se comparan con el genotipo comercial ICS 95. Por otro lado, el CCN 51 tiene un valor que lo clasifica en el grupo de valores altos, lo cual determina la similitud entre los genotipos evaluados y este tipo de material para la característica evaluada. La tabla 14 resume los genotipos con valores altos de peso húmedo de almendras.

Tabla 14. Genotipos de cacao con nivel alto de peso húmedo de almendras

Característica	Genotipo	Peso en gramos
Peso húmedo de almendras	TCS 01	310,6
	TCS 02	203,1
	TCS 06	245,7
	TCS 11	242,6
	TCS 49	227,7
	CCN 51	210,3

Fuente: Elaboración propia

Peso de mazorca

La variabilidad del peso de mazorca de los genotipos evaluados se muestra en la figura 15. Este diagrama permite clasificar a los genotipos en cuatro categorías, más un valor atípico que se encuentra fuera de los rangos identificados (tabla 15). Así mismo, se puede inferir que el peso de las mazorcas tiene una alta variabilidad entre los genotipos evaluados, con valores entre 553,4 y 1273,2 g.

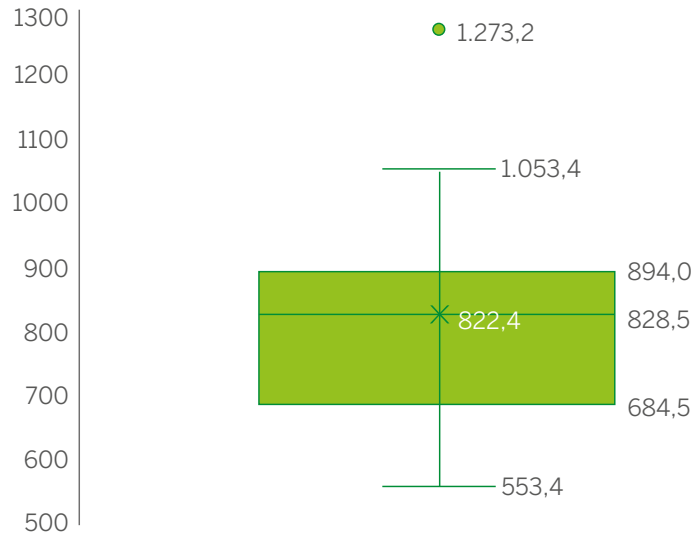


Figura 15. Distribución de valores de peso por mazorca para los 24 genotipos de cacao evaluados.

Fuente: Elaboración propia

Tabla 15. Límites de peso de mazorca para clasificar los 24 genotipos de cacao

Característica	Nivel	Peso (g)
Peso de la mazorca	Muy pequeño	553,4 - 684,5
	Pequeño	684,5 - 828,5
	Mediano	828,5 - 894,0
	Grande	894,0 - 1053,4
	Atípico o muy grande	1273,2

Fuente: Elaboración propia

Algunos estudios determinan que el peso promedio de una mazorca de ICS 95 se encuentra en 589,7 g (Furcal Beriguete, 2016), lo cual lo clasificaría en el nivel de *muy pequeño* de acuerdo con los resultados obtenidos. Se determinaron dos niveles de importancia, grande y atípico o muy grande, con valores que variaron entre 894,0 y 1273,2 g, los cuales son muy superiores a los reportados para ICS 95. Los genotipos clasificados en este rango son TCS 13, TCS 01, TCS 04, TCS 05, TCS 06 y TCS 11.

Incidencia de monilia

Dentro de los genotipos evaluados fue indispensable incluir los resultados de incidencia de monilia (*Moniliophthora roreri*), ya que las mayores pérdidas en Colombia son causadas por este hongo y alcanzan un 90 % de afectación en cultivos sin control cultural, químico, biológico ni genético (Correa Álvarez et al., 2014).

La variabilidad de la incidencia de monilia en parcelas con manejo agronómico y entre genotipos se muestra en la figura 16, donde se permite clasificar a los genotipos en cinco categorías debido a que, según las evaluaciones, se encontró un genotipo con una incidencia catalogada en *muy bajo* (tabla 16). Así mismo, se puede inferir que la incidencia de monilia tiene una alta variabilidad entre los genotipos evaluados; los valores estuvieron entre 2 y 22,5.

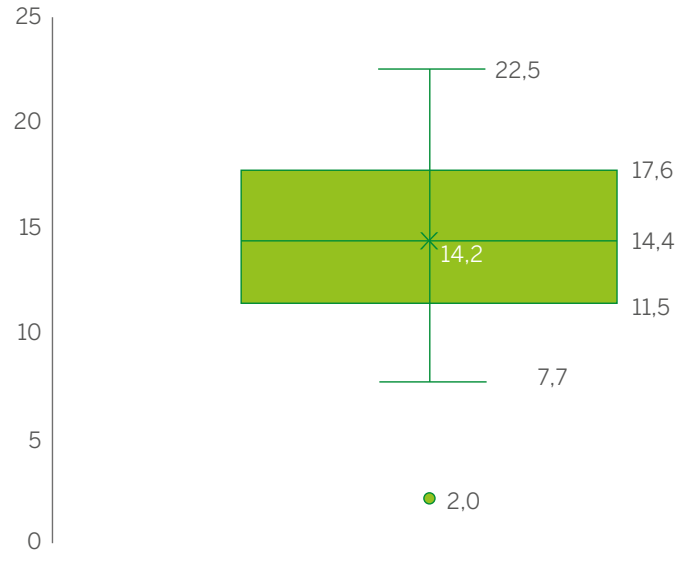


Figura 16. Distribución de valores de incidencia de monilia para los 24 genotipos de cacao evaluados.

Fuente: Elaboración propia

Tabla 16. Límites de incidencia de monilia que permiten clasificar los 24 genotipos de cacao

Característica	Nivel	%
Incidencia de monilia	Muy bajo	2
	Bajo	7,7 - 11,5
	Medio	11,5 - 14,4
	Alto	14,4 - 17,6
	Muy alto	17,6 - 22,5

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo con estudios realizados para TCS 01, la incidencia de monilia se encuentra en un porcentaje de 22. Este resultado es del mismo orden de magnitud obtenido durante el control regional realizado al cultivo (Villamil C. et al., 2016); sin embargo, el valor reportado en este libro señala que disminuyó a 17,5 %, lo que finalmente clasifica a dicha variedad en el nivel *muy alto*. Para el ICS 95 se han reportado valores entre 21-25 % (Azpeitia Morales et al., 2018; Phillips-Mora et al., 2013), mientras que para el CCN 51 la incidencia está reportada en 34,4 % (Sánchez-Mora et al., 2015).

Ahora bien, 7 de los 24 genotipos de cacao evaluados se clasificaron en niveles de incidencia de monilia bajos (tabla 17), con valores de incidencia menores a los reportados para el resto de los genotipos. De igual manera, el dato con nivel atípico o muy bajo corresponde a TCS 06 con afectación del 2 %, lo que perfila a este genotipo como de alta importancia agronómica en cuanto a su bajo porcentaje de afectación por monilia.

Tabla 17. Genotipos de cacao con baja incidencia de monilia de los 24 evaluados en la localidad de Santander

Característica	Genotipo	%
Incidencia de monilia	TCS 06	2
	TCS 13	7,7
	TCS 19	8,4
	TCS 03	8,6
	TCS 12	10,5

continúa

Continuación tabla 17

Característica	Genotipo	%
Incidencia de monilia	TCS 11	11,5
	TCS 05	11,5

Fuente: Elaboración propia

Productividad

En la figura 17 se presenta el diagrama de caja que permite clasificar la variable *productividad* en cinco categorías o grupos, incluyendo un valor atípico o fuera de rango de acuerdo con los análisis estadísticos con una variabilidad del 26,8 %. En la figura se aprecia que los valores de productividad estuvieron entre 0,8 hasta 3,3 kg árbol^{-1} año^{-1} (tabla 18).

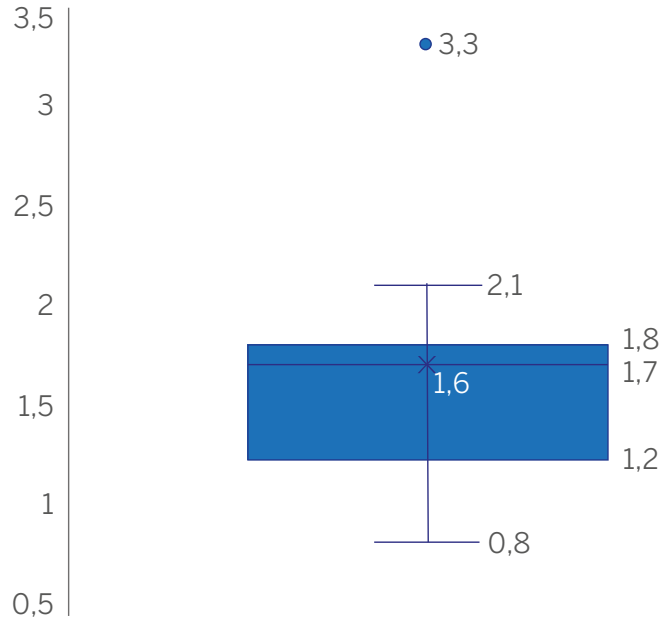


Figura 17. Distribución de valores de productividad para los 24 genotipos de cacao evaluados.

Fuente: Elaboración propia

Tabla 18. Límites de productividad para clasificar los 24 genotipos de cacao

Característica	Nivel	kg árbol^{-1} año^{-1}
Productividad	Bajo	0,8 - 1,2
	Medio	1,2 - 1,7
	Alto	1,7 - 1,8
	Muy alto	1,8 - 2,1
	Atípico	3,3

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo con los estudios realizados por Gutiérrez Brito et al. (2019), el CCN 51 presenta registros de producción de 1,20 kg árbol^{-1} año^{-1} y en el caso de ICS 95 su rendimiento productivo está alrededor de 1,59 kg árbol^{-1} año^{-1} (Gutiérrez Brito et al., 2019). De acuerdo con los resultados obtenidos, 12 genotipos (tabla 19) superan ese rendimiento y se clasifican en las categorías de alto, muy alto o atípico en productividad. De igual manera, se clasifica TCS 01 en un nivel atípico superior, lo cual destaca un comportamiento productivo muy superior con respecto a los demás genotipos evaluados.

Tabla 19. Genotipos de cacao según su productividad

Característica	Genotipos	kg árbol^{-1} año^{-1}
Productividad	TCS 01	3,3
	TCS 11	2,1
	TCS 03	1,8
	TCS 06	2
	TCS 19	1,8
	TCS 20	1,8
	TCS 40	1,8
	TCS 41	1,8
	TCS 42	1,8
	TCS 44	1,7
	TCS 47	1,8
	TCS 49	1,7

Fuente: Elaboración propia

Finalmente, cada una de las características de productividad se resumen en la tabla 20: se señalan con amarillo aquellas que son deseables y de mayor importancia en la evaluación, mientras que se indican en verde los valores atípicos o fuera de rango de cada una de las características evaluadas.

Tabla 20. Resumen de características en productividad para el departamento de Santander

	Características	Índice de grano (g)	Índice de mazorca	Número de almendras	Peso húmedo de las almendras (g)	Peso mazorca (g)	Incidencia de monilia	Productividad
TCS 06	7	Grande	Bajo	Alto	Alto	Grande	Atípica o muy bajo	Muy alto
TCS 01	6	Atípico	Bajo	Alto	Atípico	Grande	Alto	Atípico
TCS 11	6	Muy grande	Bajo	Medio	Alto	Grande	Bajo	Muy alto
TCS 13	5	Grande	Medio	Muy alto	Medio	Atípico o muy grande	Bajo	Medio
TCS 03	4	Grande	Medio	Bajo	Bajo	Mediano	Bajo	Alto
TCS 49	4	Mediano	Bajo	Muy alto	Alto	Pequeño	Medio	Alto
TCS 02	3	Grande	Bajo	Bajo	Alto	Mediano	Alto	Medio
TCS 04	3	Muy grande	Medio	Medio	Medio	Grande	Alto	Medio
TCS 05	3	Grande	Muy alto	Bajo	Bajo	Grande	Bajo	Bajo
TCS 12	3	Mediano	Medio	Muy alto	Medio	Mediano	Bajo	Bajo
TCS 20	3	Muy grande	Bajo	Bajo	Medio	Pequeño	Muy alto	Alto
TCS 42	3	Mediano	Medio	Muy alto	Medio	Muy pequeño	Medio	Muy alto
TCS 44	3	Mediano	Medio	Alto	Medio	Muy pequeño	Alto	Alto
TCS 19	2	Mediano	Alto	Medio	Bajo	Mediano	Bajo	Alto
TCS 40	2	Pequeño	Muy alto	Alto	Muy bajo	Muy pequeño	Muy alto	Muy alto
TCS 47	2	Grande	Alto	Bajo	Muy bajo	Pequeño	Muy alto	Muy alto
CCN 51	2	Mediano	Alto	Muy alto	Alto	Mediano	Muy alto	Bajo
TCS 08	1	Grande	Alto	Bajo	Muy bajo	Pequeño	Medio	Bajo
TCS 10	1	Muy grande	Muy alto	Bajo	Bajo	Muy pequeño	Alto	Bajo

continúa

Continuación tabla 20

	Características	Índice de grano (g)	Índice de mazorca	Número de almendras	Peso húmedo de las almendras (g)	Peso mazorca (g)	Incidencia de monilia	Productividad
TCS 41	1	Pequeño	Alto	Medio	Muy bajo	Muy pequeño	Muy alto	Alto
TCS 45	1	Mediano	Alto	Muy alto	Bajo	Mediano	Medio	Bajo
TCS 46	1	Pequeño	Muy alto	Alto	Muy bajo	Pequeño	Alto	Medio
TCS 48	1	Mediano	Alto	Alto	Bajo	Muy pequeño	Muy alto	Medio
ICS 95	0	Pequeño	Muy alto	Medio	Muy bajo	Pequeño	Medio	Bajo

Fuente: Elaboración propia

Igualmente, en la tabla 20 se ubicaron, en orden descendente, los genotipos que cumplieron con un número mayor de características evaluadas. Entre los genotipos que se destacan están TCS 06, el cual registró siete, seguido de TCS 01 y 11, con seis características cada uno, luego TCS 13 con cinco, posteriormente TCS 03 y 49 con cuatro y finalmente TCS 02, 04, 05, 12, 20, 42 y 44 con tres características relevantes.

Cabe destacar que estos resultados fueron obtenidos en evaluaciones realizadas en el departamento de Santander y pueden presentar cambios para otras zonas agroecológicas.

Compatibilidad sexual

De acuerdo con los resultados publicados por Cadavid-Vález (2007), se considera que hay compatibilidad sexual cuando se supera un valor del 20 % en el día 15 de evaluación; así, por ejemplo, los resultados de Cadavid-Vález mostraron que ICS 95 obtuvo como resultado un 85 % y CCN 51 un 62,5 %. Sin embargo, en la compatibilidad el porcentaje utilizado es del 30 % (Alvarado et al., 2017). Para esta investigación, en los 24 genotipos evaluados en la localidad de Santander se trabajó con porcentajes superiores al 30 %.

Ahora bien, ICS 95 es autocompatible debido a su alto porcentaje de compatibilidad; por lo tanto, es posible sembrarlo solo. No obstante, se recomienda sembrarlo en compañía de un máximo de dos genotipos adicionales autocompatibles que permitan una intercompatibilidad para aumentar la productividad (Cerón Salazar et al., 2020). Así mismo, TCS 01 y TCS 19 son genotipos autocompatibles y, en consecuencia, se pueden sembrar solos o acompañados, con un manejo agronómico y sembrados bajo un sistema agroforestal que permita un desarrollo óptimo. El TCS 06 es autoincompatible y se requiere la siembra con genotipos donadores de polen como TCS 01 y TCS 19. El TCS 13 es autocompatible, sin embargo, para un mejor desempeño productivo se requiere sembrarlo acompañado del genotipo TCS 19. Estos resultados confirman la importancia que tiene este parámetro sobre el cultivo de cacao. En la tabla 21 se presenta un resumen de los resultados obtenidos para la compatibilidad de los 24 genotipos evaluados.

Tabla 21. Resultados de las pruebas de compatibilidad realizada a cada uno de los 24 genotipos evaluados

Genotipo	Compatibilidad	Genotipo	Compatibilidad
TCS 01	AC*	TCS 20	AC
TCS 02	AI	TCS 40	AC*
TCS 03	AI	TCS 41	AC
TCS 04	AC	TCS 42	AC
TCS 05	AC**	TCS 44	AI
TCS 06	AI	TCS 45	AI
TCS 08	AI	TCS 46	AC
TCS 10	AC**	TCS 47	AI
TCS 11	AI	TCS 48	AI
TCS 12	AI	TCS 49	AI
TCS 13	AC	CCN 51	AC
TCS 19	AC**	ICS 95	AC**

Nota: AC (autocompatible), en donde *>60 % y **>80 %; AI (autoincompatible).
Fuente: Elaboración propia

En la tabla 21 se describe los resultados de compatibilidad sexual y se puede ver que 10 de los genotipos evaluados son autocompatibles. Entre estos genotipos se destacan TCS 05, TCS 10, TCS 19 e ICS 95, puesto que sus resultados muestran una eficiencia en la polinización superior al 80 % y para el TCS 40 el resultado es superior a un 60 %. Por otro lado, los genotipos TCS 04, TCS 13, TCS 20, TCS 41, TCS 42, TCS 46 y CCN 51 tuvieron un porcentaje de polinización superior al 30 %; por lo tanto, para futuras investigaciones y evaluaciones se recomienda sembrar de forma combinada con dos o más genotipos para obtener mayor productividad.

Caracterización fisicoquímica, funcional y sensorial de granos de cacao

Análisis físico

Los resultados de los análisis físicos porcentaje de cascarilla y porcentaje de almendra) se reportan como el promedio de ensayos llevados a cabo por triplicado. La calidad del grano de cacao está condicionada por muchos factores, entre los que se destacan la genética, los factores medioambientales y los procesos poscosecha, entre otros. Cada uno de estos factores tiene un impacto directo sobre las características físicas, como tamaño de almendra, porcentaje de cascarilla y humedad. Estos requisitos de calidad son fijados por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) y entes locales como el Icontec, para el caso de Colombia, y con base en los valores obtenidos para cada uno de ellos se fija el precio que se pagará por los granos de cacao (Mundaca-Vidarte, 2016).

Por lo tanto, resulta crucial evaluar y analizar cada una de las características que se mostrarán en esta sección. Así, por ejemplo, en la tabla 22 se muestran los resultados del porcentaje de cascarilla y porcentaje de almendra obtenidos para los 24 genotipos de cacao evaluados en el departamento de Santander.

Tabla 22. Caracterización del porcentaje de almendra y el porcentaje de cascarilla de los 24 genotipos evaluados

Material	% cascarilla	% almendra
TCS 01	12,71	87,29
TCS 02	13,57	86,43
TCS 03	11,63	88,37
TCS 04	14,44	85,56
TCS 05	12,87	87,13
TCS 06	12,73	87,27
TCS 08	12,33	87,68
TCS 10	11,38	88,62
TCS 11	11,2	88,8
TCS 12	13,1	86,9
TCS 13	13,15	86,85
TCS 19	12,33	87,67
TCS 20	11,93	88,07
TCS 40	12,84	87,16
TCS 41	14,14	85,86
TCS 42	15,21	84,79
TCS 44	13,23	86,77
TCS 45	12,84	87,16
TCS 46	15,32	84,68
TCS 47	14,62	85,38
TCS 48	15,07	84,93
TCS 49	13,46	86,54
ICS 95	14,23	85,77
CCN 51	12,77	87,23

Fuente: Elaboración propia

Porcentaje de cascarilla

En la figura 18 se muestra la variación que tiene el porcentaje de cascarilla en los 24 genotipos evaluados en el departamento de Santander. En dicha figura se aprecia que el rango estuvo entre 11,20 y 15,32; además, con este diagrama fue posible clasificar en cuatro categorías o cuartiles los genotipos evaluados (tabla 23).

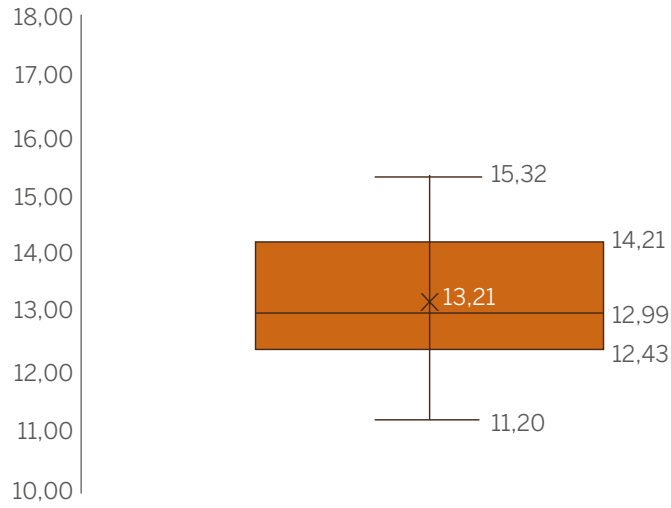


Figura 18. Distribución de los valores de porcentaje de cascarilla de los 24 genotipos de cacao evaluados.

Fuente: Elaboración propia

Además, se encontró que los genotipos que tuvieron el menor porcentaje de cascarilla son aquellos que tienen un índice de grano grande, tales como como TCS 03, TCS 10, TCS 11 y TCS 20. A partir de este hecho podría suponerse que para este tipo de materiales habría una disminución en las pérdidas de masa a lo largo de la cadena de procesamiento.

Así mismo, se confirmó que los valores entre los cuales fluctuó el valor del porcentaje de cascarilla están en el mismo orden de magnitud de trabajos precedentes. Por ejemplo, en los trabajados por Fedecacao (2005) se han reportado valores de 11,20 %. Así mismo, Quintana Fuentes et al. (2015) reportaron valores promedio de porcentajes de cascarilla entre 11-12 % para los genotipos CCN 51, ICS 60 e ICS 95, lo cual es considerado como porcentaje medio, aunque en algunas ocasiones el ICS 95 y el CCN 51 alcanzaron valores que estuvieron entre el 13-16 % y 12-14 % respectivamente (Quintana Fuentes et al., 2015).

La clasificación por cuartiles también permitió evidenciar que existen dos niveles superiores, con porcentajes de cascarilla mayores a 12,33 %. Estos valores son altos si se comparan con los

valores típicos que se reportan para la montaña santandereana, que oscilan entre 11-12 % (Quintana Fuentes et al., 2015). Además, entre más elevado sea el valor del porcentaje de cascarilla, menos apreciado será el grano y la industria tiende a descartar, debido al alto porcentaje de pérdida que ocurre durante el procesamiento. Sin embargo, actualmente hay investigaciones en las que se ha demostrado que este tejido contiene antioxidantes naturales capaces de inactivar componentes cancerígenos, lo cual mejora la salud de los consumidores (Teneda Llerena et al., 2019).

Tabla 23. Límites de porcentaje de cascarilla de los 24 genotipos de cacao evaluados

Característica física	Nivel		Materiales
% de cascarilla	Muy alto	15,32 - 14,00	TCS 04 TCS 41 TCS 42 TCS 46 TCS 47 TCS 48 ICS 95
	Alto	13,99 - 13,00	TCS 02 TCS 12 TCS 13 TCS 44 TCS 49
	Normal	12,99 - 12,34	TCS 01 TCS 05 TCS 06 TCS 40 TCS 45 CCN 51
% de cascarilla	Bajo	12,33 - 11,20	TCS 03 TCS 08 TCS 10 TCS 11 TCS 19 TCS 20

Fuente: Elaboración propia

Porcentaje de almendra

El porcentaje de almendra se considera el tejido del grano que será utilizado durante el procesamiento agroindustrial para la obtención de chocolate (Álvarez et al., 2007). En la figura 19 se muestra la variación de los porcentajes que se obtuvieron para los 24 genotipos evaluados.

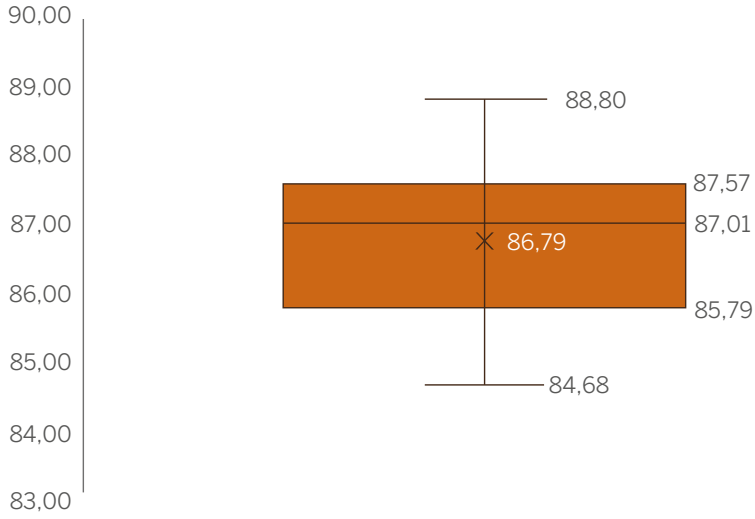


Figura 19. Distribución de los valores de porcentaje de almendra de los 24 genotipos de cacao evaluados.

Fuente: Elaboración propia

Además, esta clasificación puede compararse con el valor del porcentaje de almendra que es aceptado típicamente por la industria, de manera que se puedan priorizar los materiales que tengan características superiores. Así, por ejemplo, se considera que un grano es corriente cuando su porcentaje de almendra está entre 40-60 % (Icontec, 2021). Para el caso de los genotipos en estudio, los porcentajes de almendra obtenidos fueron superiores al 60 %, donde el genotipo TCS 46 presentó el porcentaje de almendra más bajo (84,68 %) y el genotipo TCS 11 el índice más alto (88,80 %). Lo anterior permiten considerar que los genotipos en estudio pueden ser catalogados como cacaos estándar o premium (Icontec, 2021).

En la tabla 24 se muestran los valores límite con los que se pudo realizar una clasificación por grupos para el porcentaje de almendra y la distribución de los genotipos de cacao en la clasificación, donde se evidencia que esta característica presentó una variación de 84,68 a 88,80 %. A medida que aumenta el porcentaje de almendra resulta lógico pensar que también aumentarán los rendimientos durante el procesamiento de esta, lo que se traduce en un mayor beneficio económico.

Tabla 24. Límites de porcentaje de almendra en los 24 genotipos evaluados

Característica física	Nivel	Porcentaje	Materiales
% de almendra	Muy alto	88,80 - 87,67	TCS 03 TCS 08 TCS 10 TCS 11 TCS 20 TCS 19
	Alto	87,66 - 87,01	TCS 01 TCS 05 TCS 06 TCS 40 TCS 45 CCN 51
% de almendra	Medio	87,00 - 86,00	TCS 02 TCS 12 TCS 13 TCS 44 TCS 49
	Bajo	85,99 - 84,68	TCS 04 TCS 41 TCS 42 TCS 46 TCS 47 TCS 48 ICS 95

Fuente: Elaboración propia

Análisis fisicoquímico

Grasa total

Los porcentajes de contenido de grasa total variaron entre 50-57 % para almendras de cacao seco de los 24 genotipos cosechados en el departamento de Santander. Estas variaciones confirman que aunque todas las almendras fueron cosechadas en las mismas condiciones agroclimáticas y siguieron los mismos procesos poscosecha (fermentación y secado), la genética de cada una de ellas conduce a variaciones en el contenido de grasa. El valor promedio fue de 54 %, el cual está en el rango de 55-59 % de contenido de grasa previamente reportado por diversos autores (Afoakwa et al., 2008; Pallares Pallares et al., 2017). Ahora bien, Padilla et al. (2000) mencionan que en términos generales la hibridación conduce a reducciones en los contenidos de grasa, lo cual no se evidenció en este estudio, ya que corresponden a híbridos naturales de descendencias criollas y trinitarias. Por su parte, Domínguez (1969) reportó un alto contenido de grasa para hibridaciones entre cacaos criollos y forasteros (45,9 %), mientras que el cruce entre dos variedades forasteras condujo a un contenido de grasa de apenas 41,4 %.

Los resultados obtenidos en el contenido de grasa de los genotipos evaluados en este trabajo son importantes puesto que la grasa es una de las macromoléculas más importantes en la producción de cacao y se usa como indicador de calidad durante los procesos de compra de granos fermentados y secos. Entre las razones que justifican la obtención de granos fermentados y secos con mayores contenidos de grasa, "manteca de cacao", se encuentra que esta es usada por diferentes industrias para la elaboración de confitería, jabones y diferentes productos cosméticos (Ntiamoah & Afrane, 2008; Schumacher et al., 2010).

Contenido de humedad

Los porcentajes de contenido de humedad variaron entre 4-6 % para granos de cacao secos de los 24 genotipos evaluados en el departamento de Santander. En todos los casos el valor de humedad estuvo por debajo de 7 %, con lo cual se aumenta el tiempo de vida útil de los granos de cacao durante los procesos de almacenamiento. Según Afoakwa et al. (2013), es posible almacenar granos de cacao durante largos períodos de tiempo cuando el intervalo de humedad se encuentra entre 6-7 % y concluyen que cuando se tienen niveles de humedad menores al 7 % se paran las reacciones microbianas y enzimáticas y por lo tanto el tiempo de vida útil de los granos aumenta.

Proteína

Los porcentajes de contenido de proteína variaron entre 12-14 % para granos de cacao secos de los 24 genotipos evaluados en el departamento de Santander. Estos valores están en el rango de 16-22 % reportado por trabajos previos (Afoakwa et al., 2008; Aremu et al., 1995; Pallares Pallares et al., 2017). La variación en el contenido de proteína está influenciada por el genotipo y por factores agroclimáticos; por ejemplo, Alvarado et al. (1983) encontraron contenidos de proteína de 13,98 y 14,22 % para variedades Arriba y EET 19 cultivadas en Ecuador. Por su parte, Padilla et al. (2000) reportaron un valor de 15,58 % para híbridos de IMC × OC, mientras que Liendo et al. (1997) encontraron un valor de 17,25 % para un cultivar criollo. En lo que se refiere a las condiciones agroclimáticas, Offem (1990) obtuvo valores de proteína entre 23,82 - 26,26 % para granos de cacao provenientes de árboles jóvenes sembrados en un sistema agroforestal, donde aparentemente hubo una mayor acumulación de proteína por las condiciones medioambientales y factores ecológicos tales como el contenido de nitrógeno en el suelo.

Las proteínas, así como los péptidos y aminoácidos, son importantes porque están involucrados en reacciones de Maillard que generan compuestos olor-activos que les proporcionan a los granos de cacao

tostados sus características de fino y de aroma. Esta es una de las razones por las cuales los cacaos de origen criollo conducen a mejores perfiles de sabor y aroma. Por ejemplo, Santander Muñoz et al. (2020) mencionan en su revisión que las variedades de cacao criollo pueden producir ciertas proteínas y carbohidratos que en conjunto con enzimas específicas generan compuestos precursores de sabor y aroma durante los procesos de poscosecha. Además, durante los procesos de tostado los aminoácidos péptidos y las proteínas reaccionan con los azúcares reductores a través de las reacciones de Maillard produciendo los compuestos asociados con el color y el sabor típicos del chocolate.

Fibra cruda

Los porcentajes de contenido de fibra variaron entre 2-8 % para granos de cacao secos de los 24 genotipos evaluados en el departamento de Santander. Los resultados obtenidos están en el mismo orden de magnitud reportado previamente por Aremu et al. (1995) (3,1 %) y Perea Villamil et al. (2017) (3,1 - 5,5 %). Los contenidos de fibra cobran importancia puesto que el consumo regular de alimentos que la contienen se asocia con la reducción del riesgo de padecer diferentes tipos de enfermedades. Aunque este contenido podría parecer bajo, se debe tener en cuenta que durante el proceso de tostado el contenido de fibra se incrementará como resultado de las interacciones entre polisacáridos, proteínas y polifenoles, así como los productos obtenidos de las reacciones de Maillard (Perea Villamil et al., 2017).

Carbohidratos

Los porcentajes de contenido de carbohidratos variaron entre 22-27 % para granos de cacao secos de los 24 genotipos evaluados en el departamento de Santander. Estos resultados se encuentran en el mismo orden de magnitud previamente reportado por Agus et al. (2018) (25,88 %). Por otro lado, los resultados del contenido de carbohidratos obtenidos en este trabajo fueron significativamente

superiores al valor de 15,1 % que reportó Afoakwa et al. (2013) para cacaos provenientes de Nigeria.

Los carbohidratos, junto con los compuestos nitrogenados (aminoácidos, péptidos y proteínas), son cruciales durante los procesos de tostado para producir los compuestos asociados con el sabor y el aroma de cacaos finos; por lo tanto, los mayores contenidos de carbohidratos podrían ayudar a la obtención de un mejor perfil sensorial de los granos tostados.

Cenizas

Los porcentajes de contenido de ceniza variaron entre 2,5 - 3,5 % para granos de cacao secos de los 24 genotipos evaluados en el departamento de Santander. Estos valores se encuentran en los mismos órdenes de magnitud de los reportados previamente por Agus et al. (2018) (3,26 %). Este valor es importante, pues se relaciona con el contenido de minerales en los granos de cacao; sin embargo, no se realizó una caracterización de minerales para las muestras evaluadas.

Perfil de ácidos grasos

Los resultados presentados en la tabla 25 muestran que todos los genotipos de cacao tienen una relación de ácidos grasos saturados (palmítico (P) y esteárico (S)): ácidos grasos insaturados (oleico (O)) aproximada de 2:1. Este valor permite clasificar la grasa obtenida como una manteca dura o semidura, lo cual coincide con los resultados previamente reportados por Perea et al. (2011) para el cacao colombiano.

Tabla 25. Variación de la composición de ácidos grasos saturados e insaturados de los 24 genotipos de cacao evaluados

Genotipo	% palmítico (C 16:0)			% esteárico (C 18:0)			% oleico (C 18:1)			ΣAGS			ΣAGI		
	Grano seco			Grano seco			Grano seco			Grano seco			Grano seco		
TCS 01	27,52	±	0,34	36,38	±	0,09	32,01	±	0,29	63,9	±	0,35	32,01	±	0,29
TCS 02	27,65	±	1,18	36,72	±	0,33	30,95	±	1,02	64,37	±	1,22	30,95	±	1,02
TCS 03	29,45	±	0,74	33,73	±	0,45	32,64	±	0,23	63,18	±	0,87	32,64	±	0,23
TCS 04	28,91	±	0,85	33,82	±	0,2	32,78	±	0,94	62,72	±	0,87	32,78	±	0,94
TCS 05	26,95	±	1,26	35,61	±	0,31	33,23	±	0,58	62,56	±	1,29	33,23	±	0,58
TCS 06	28,97	±	0,53	35,03	±	0,23	31,59	±	0,35	64	±	0,58	31,59	±	0,35
TCS 08	28,14	±	0,91	35,7	±	0,52	32,26	±	0,22	63,84	±	1,05	32,26	±	0,22
TCS 10	28,64	±	0,74	34,68	±	1,08	32,77	±	0,29	63,32	±	1,31	32,77	±	0,29
TCS 11	28,89	±	0,5	34,24	±	0,48	31,87	±	0,15	63,13	±	0,69	31,87	±	0,15
TCS 12	29,63	±	0,55	32,68	±	0,46	33,11	±	0,05	62,3	±	0,71	33,11	±	0,05
TCS 13	30,83	±	0,48	33,98	±	0,1	30,45	±	0,63	64,81	±	0,5	30,45	±	0,63
TCS 19	28,9	±	0,15	35,36	±	0,85	31,11	±	0,63	64,25	±	0,86	31,11	±	0,63
TCS 20	27,04	±	0,06	36,95	±	1,16	32,24	±	0,74	63,99	±	1,16	32,24	±	0,74
TCS 40	28,18	±	0,02	35,76	±	0,04	31,91	±	0,08	63,94	±	0,05	31,91	±	0,08
TCS 41	28,01	±	0,35	35,45	±	0,11	32,43	±	0,4	63,46	±	0,36	32,43	±	0,4

continúa

Continuación tabla 25

Genotipo	% palmítico (C 16:0)			% esteárico (C 18:0)			% oleico (C 18:1)			∑AGS			∑AGI		
	Grano seco			Grano seco			Grano seco			Grano seco			Grano seco		
TCS 42	29,16	±	2	33,88	±	3,15	32,64	±	1,07	63,03	±	3,72	32,64	±	1,07
TCS 44	31,12	±	0,24	33,28	±	0,64	32,44	±	0,5	64,4	±	0,68	32,44	±	0,5
TCS 45	27,74	±	0,7	36,06	±	0,51	31,78	±	0,22	63,8	±	0,86	31,78	±	0,22
TCS 46	28,94	±	0,53	35,28	±	0,41	31,17	±	0,23	64,22	±	0,67	31,17	±	0,23
TCS 47	27,96	±	0,62	35,08	±	0,32	32,56	±	0,22	63,04	±	0,7	32,56	±	0,22
TCS 48	26,63	±	0,11	35,82	±	0,11	32,98	±	0,23	62,45	±	0,16	32,98	±	0,23
TCS 49	28,51	±	0,08	35,07	±	0,46	32,2	±	0,29	63,58	±	0,47	32,2	±	0,29
CCN 51	29,32	±	0,23	34,19	±	0,41	31,74	±	0,53	63,51	±	0,47	31,74	±	0,53
ICS 95	30,29	±	0,39	34,35	±	1,7	30,98	±	1,35	64,64	±	1,74	30,98	±	1,35

Fuente: Elaboración propia

Este tipo de comportamiento ha sido también evidenciado por autores como Liendo et al. (1997) y Padilla et al. (2000), lo cual explica que cuando se tiene una proporción más elevada de ácidos grasos saturados se favorece la formación de triglicéridos mixtos monoinsaturados del tipo POP, POS y sos, los cuales están asociados con la firmeza de la manteca y mayores puntos de fusión.

Genotipos con mejores características fisicoquímicas

Del análisis fisicoquímico, se pueden destacar tres características de mayor interés comercial: contenido de grasa total, proteína y humedad. En este sentido, se realizó la clasificación de los 24 genotipos de cacao de acuerdo con sus características fisicoquímicas de contenido de grasa total, proteína y humedad medidos en grano seco en el departamento de Santander. La tabla 26 muestra los resultados de las características mencionadas para los 24 genotipos de cacao evaluados.

Tabla 26. Contenido grasa total, proteína y humedad de los 24 genotipos evaluados

Genotipo	% grasa total			% proteína			% humedad		
TCS 01	57,03	±	0,12	12,77	±	0,41	4,79	±	0,18
TCS 02	55,36	±	1,28	12,62	±	0,13	5,07	±	0,22
TCS 03	54,68	±	0,47	12,52	±	0,48	5,42	±	0,19
TCS 04	52,39	±	0,38	12,63	±	0,21	5,47	±	0,31
TCS 05	52,31	±	0,41	13,32	±	0,69	6,66	±	1,15
TCS 06	55,49	±	0,35	12,49	±	0,09	1,98	±	0,06
TCS 08	53,67	±	0,55	12,48	±	0,05	5,39	±	0,29
TCS 10	54	±	1,11	13,88	±	0,24	5,72	±	0,62
TCS 11	55,55	±	0,67	12,74	±	0,22	4,99	±	0,84
TCS 12	50,3	±	1,4	13,34	±	0,5	5,63	±	0,09
TCS 13	55,24	±	0,7	12,19	±	0,22	4,95	±	0,55
TCS 19	55,17	±	0,31	12,56	±	0,48	4,94	±	0,55
TCS 20	55,61	±	0,53	12,1	±	0,04	4,63	±	0,25
TCS 40	53,03	±	1,56	12,37	±	0,02	5,35	±	0,1

continúa

Continuación tabla 26

Genotipo	% grasa total			% proteína			% humedad		
TCS 41	54,01	±	0,25	12,73	±	0,28	4,75	±	0,3
TCS 42	55,37	±	0,59	11,73	±	0,47	4,72	±	0,37
TCS 44	53,3	±	0,86	11,79	±	0,23	4,71	±	0,09
TCS 45	51,95	±	1,61	12,33	±	0,3	4,84	±	0,47
TCS 46	51,92	±	0,97	13,08	±	0,89	6,1	±	0,18
TCS 47	54,78	±	0,32	13,25	±	0,13	4,5	±	0,1
TCS 48	55,99	±	1,99	12,99	±	0,05	4,8	±	0,01
TCS 49	53,31	±	1,08	12,74	±	0,53	5,4	±	0,15
CCN 51	55,83	±	0,11	11,71	±	0,29	5,23	±	0,22
ICS 95	53,53	±	0,43	13	±	0,33	5,12	±	0,64

Fuente: Elaboración propia

La figura 20 muestra la distribución del contenido de grasa total de los 24 genotipos de cacao evaluados. Esta distribución permitió realizar una clasificación de los datos en cuatro niveles (tabla 27).

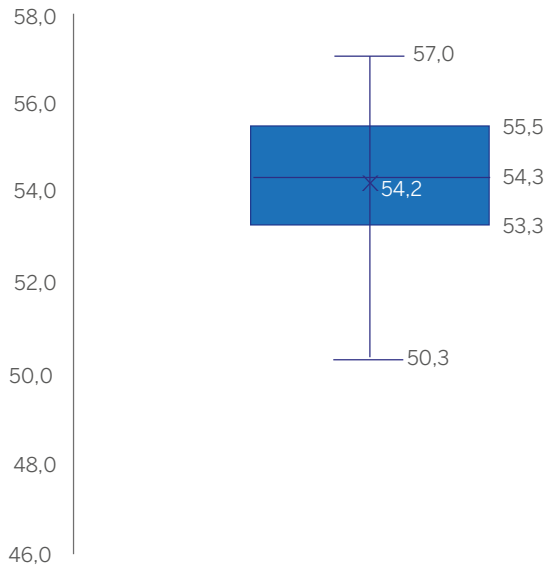


Figura 20. Distribución del contenido de grasa total de los 24 genotipos de cacao.

Fuente: Elaboración propia

Tabla 27. Niveles de contenido de grasa total para clasificar los 24 genotipos de cacao

Característica	Nivel	%
Contenido de grasa total	Alto	55,46 - 57,03
	Medio	54,34 - 55,46
	Bajo	53,30 - 54,34
	Muy bajo	50,30 - 53,30

Fuente: Elaboración propia

De aquí, se identificaron los genotipos de cacao con un nivel alto de contenido de grasa total medido en grano seco (tabla 28).

Tabla 28. Genotipos de cacao con mayor contenido graso

Característica	Genotipo	%
Contenido de grasa total	TCS 01	57,03
	TCS 06	55,49
	TCS 11	55,55
	TCS 20	55,61
	TCS 48	55,99
	CCN 51	55,83

Fuente: Elaboración propia

De igual manera, se graficó la distribución del contenido de proteína de los 24 genotipos de cacao medido en grano seco (figura 21).

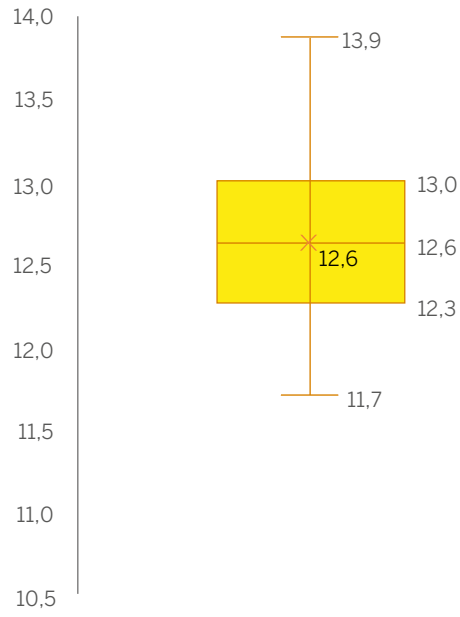


Figura 21. Distribución de genotipos de cacao según su contenido de proteína.

Fuente: Elaboración propia

Aunque la variación del contenido de proteína no fue muy marcada, se clasificaron todos los genotipos en cuatro niveles (tabla 29).

Tabla 29. Límites de contenido de proteína para clasificar los 24 genotipos de cacao

Característica	Nivel	%
Contenido de proteína	Alto	12,99 - 13,88
	Medio	12,63 - 12,99
	Bajo	12,26 - 12,63
	Muy bajo	11,71 - 12,26

Fuente: Elaboración propia

De aquí, se identificaron aquellos genotipos con un nivel alto de contenido de proteína medido en grano seco (tabla 30).

Tabla 30. Genotipos de cacao con mayor contenido de proteína

Característica	Genotipo	%
Contenido de proteína	TCS 05	13,32
	TCS 10	13,88
	TCS 12	13,34
	TCS 46	13,08
	TCS 47	13,25
	ICS 95	13

Fuente: Elaboración propia

Finalmente, se realizó la clasificación en dos niveles (deseado y no deseado) de los 24 genotipos de cacao evaluados de acuerdo con su contenido de humedad medido en grano seco (tabla 31).

Tabla 31. Límites de contenido de humedad para clasificar los 24 genotipos de cacao evaluados

Característica	Nivel	%
Humedad	No deseado	≥6,10
	Deseado	<6,10

Fuente: Elaboración propia

Se identificaron aquellos genotipos de cacao con contenido de humedad deseado, es decir, menor a 6,10 %.

De los resultados mostrados anteriormente, se identificaron aquellos genotipos de cacao con mayor contenido de grasa total, proteína y humedad deseada (tabla 32).

Tabla 32. Genotipos con mejores características fisicoquímicas medidas en grano seco

Genotipo	Características	% grasa total	% proteína	% humedad
TCS 01	2	Alto	Medio	Deseado
TCS 06	2	Alto	Bajo	Deseado
TCS 10	2	Bajo	Alto	Deseado
TCS 11	2	Alto	Medio	Deseado
TCS 12	2	Muy bajo	Alto	Deseado
TCS 20	2	Alto	Muy bajo	Deseado
TCS 46	2	Muy bajo	Alto	Deseado
TCS 47	2	Medio	Alto	Deseado
TCS 48	2	Alto	Medio	Deseado
CCN 51	2	Alto	Muy bajo	Deseado
ICS 95	2	Bajo	Alto	Deseado

Nota: se incluyeron los resultados de CCN 51 e ICS 95 para fines comparativos.
Fuente: Elaboración propia

Genotipos con mayor potencial funcional

A partir del análisis de resultados de caracterización química, se realizó la identificación de aquellos genotipos con mayor potencial funcional teniendo en cuenta la relación de contenido de teobromina y cafeína, contenido de polifenoles totales, contenido total de flavan-3-oles (catequinas, epicatequinas y procianidinas B1 y B2) y capacidad antioxidante medidos en grano seco. La tabla 33 resume la caracterización química realizada en grano seco de los 24 genotipos de cacao evaluados en el departamento de Santander.

Tabla 33. Caracterización química de los 24 genotipos de cacao evaluados

Genotipo	Polifenoles totales (mg EAG/g muestra)			Relación teobromina/ cafeína			Capacidad antioxidante TEAC (µmol Tx/g)			Contenido de flavan-3-oles		
TCS 01	35,62	±	1,39	2,51	±	0,22	732,25	±	25,75	8,3	±	0,26
TCS 02	32,01	±	7,21	4,73	±	1,12	473,5	±	165,5	6,06	±	1,83
TCS 03	29,29	±	0,46	3,39	±	0,69	895	±	237	4,6	±	0,45
TCS 04	39,02	±	2,04	4,4	±	0,6	1238,5	±	55,5	8,39	±	1,09
TCS 05	24,57	±	5,81	3,21	±	1,57	817	±	17	4,83	±	1
TCS 06	36,94	±	0,97	8,03	±	0,09	1250,5	±	24,5	6,44	±	0,59
TCS 08	24,95	±	3,72	2,69	±	0,14	865,5	±	153,5	4,57	±	0,59
TCS 10	27,44	±	6,27	3,33	±	0,33	721,5	±	84,5	3,44	±	0,43
TCS 11	36,77	±	2,78	2,67	±	0,09	819,75	±	119,25	16,1	±	3,2
TCS 12	29,94	±	6,77	4,36	±	0,54	1412,5	±	470,5	3,06	±	1,02
TCS 13	51,53	±	10,86	11,78	±	0,04	1626,5	±	260,5	12,71	±	2,81
TCS 19	44,54	±	7,94	7,34	±	0,84	1144,5	±	150,5	12,21	±	3,33
TCS 20	34,83	±	6,39	3,04	±	0,7	923,5	±	97,5	4,61	±	0,47
TCS 40	15,63	±	4,56	3,02	±	0,22	559,5	±	150,5	1,78		
TCS 41	25,47	±	0,11	3,36	±	0,12	1012	±	3	3,52	±	0,54
TCS 42	17,84	±	1,48	4,83	±	1,24	737	±	89	1,43	±	0,01
TCS 44	37,27	±	2,08	3,28	±	0,28	1139,33	±	500,01	4,42	±	1,18
TCS 45	28,58	±	3,65	3,96	±	1,46	1083,5	±	130,5	2,52	±	1,14
TCS 46	29,86	±	5,06	4,46	±	0,46	1111	±	540,94	4,43	±	0,86
TCS 47	37,28	±	0,32	4,19	±	0,35	1429	±	18	4,99	±	0,52
TCS 48	32,04	±	0,21	3,83			1290,5	±	20,5	4,12	±	0,47
TCS 49	19,81	±	2,92	3,48	±	0,11	678,5	±	48,5	1,53	±	0,11
CCN 51	26,13	±	0,06	6,42	±	1,69	984	±	22	1,34	±	0,14
ICS 95	29,12	±	1,63	4,06	±	0,8	1012,5	±	46,5	3,34	±	0,4

Fuente: Elaboración propia

La figura 22 muestra la distribución del contenido de teobromina/cafeína de los 24 genotipos de cacao evaluados en el departamento de Santander.

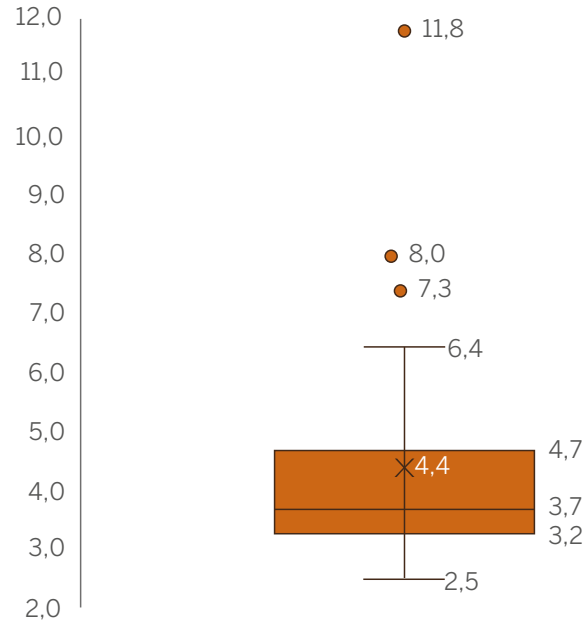


Figura 22. Distribución de genotipos de cacao según la relación de su contenido de teobromina/cafeína.

Fuente: Elaboración propia

Esto permitió realizar la clasificación de los genotipos en cuatro niveles (tabla 34).

Tabla 34. Niveles de relación teobromina/cafeína para clasificar los 24 genotipos de cacao evaluados

Característica	Nivel	
Relación teobromina/cafeína	Alto	4,67 - 6,42
	Medio	3,69 - 4,67
	Bajo	3,23 - 3,69
	Muy bajo	2,51 - 3,23

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo con varios autores, un genotipo de cacao puede clasificarse como de tipo criollo, trinitario o forastero si la relación entre su contenido de teobromina y cafeína es menor a 2,5, entre 2,5 y 9,5 y mayor a 9,5 respectivamente (Amores Puyutaxi et al., 2002; Zambrano et al., 2010). En este sentido, en el análisis realizado se identificaron los genotipos de cacao con un nivel muy bajo en la relación teobromina/cafeína (tabla 35).

Tabla 35. Genotipos de cacao identificados con relación muy baja de teobromina/cafeína

Característica	Genotipo	Valor	Tipo
Relación teobromina/cafeína	TCS 01	2,51	Trinitario
	TCS 05	3,21	Trinitario
	TCS 08	2,69	Trinitario
	TCS 11	2,67	Trinitario
	TCS 20	3,04	Trinitario
	TCS 40	3,02	Trinitario

Fuente: Elaboración propia

Adicionalmente, el análisis realizado permitió identificar como puntos atípicos la relación de teobromina/cafeína de TCS 19 (7,34), TCS 06 (8,03) y TCS 13 (11,78).

Por otro lado, con base en la distribución mostrada en la figura 23 se realizó la clasificación de los genotipos en cuatro niveles de contenido de polifenoles totales medidos en grano seco (tabla 36).

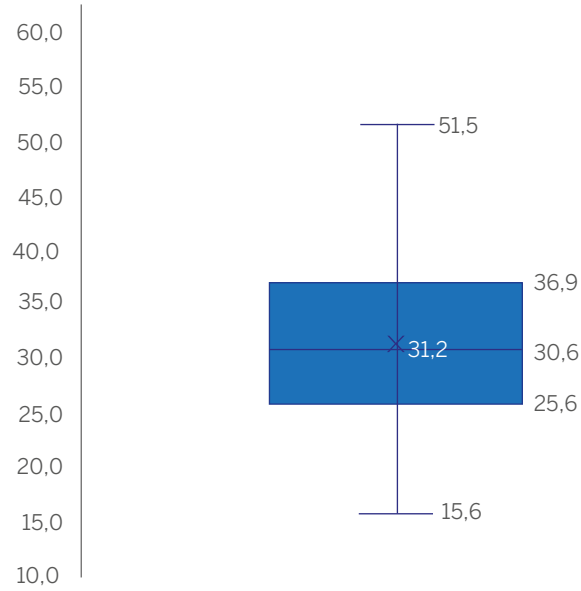


Figura 23. Distribución del contenido de polifenoles totales de los 24 genotipos de cacao evaluados.

Fuente: Elaboración propia

Tabla 36. Niveles de contenido de polifenoles totales para clasificar los 24 genotipos de cacao

Característica	Nivel	mg EAG/g muestra seca
Contenido de polifenoles totales (PT)	Alto	36,9 - 51,53
	Medio	30,65 - 36,9
	Bajo	25,63 - 30,65
	Muy bajo	15,63 - 25,63

Fuente: Elaboración propia

En este caso, se identificaron los genotipos de cacao con un nivel alto de contenido de polifenoles totales (tabla 37).

Tabla 37. Genotipos de cacao con alto contenido de polifenoles totales

Característica	Genotipo	mg EAG/g muestra seca
Contenido de polifenoles totales (PT)	TCS 04	39,02
	TCS 06	36,94
	TCS 13	51,53
	TCS 19	44,54
	TCS 44	37,27
	TCS 47	37,28

Fuente: Elaboración propia

Cuando se comparan los valores de polifenoles totales para los granos fermentados y secos obtenidos en este trabajo (37-51 mg EAG/g muestra seca) con los valores obtenidos por Sierra Prada y Peñaranda Herrera (2013) para 22 genotipos de cacaos regionales colombianos (47 y 74 mg EAG/g muestra seca sin fermentar), se aprecia claramente que los genotipos evaluados en este estudio presentan altos contenidos de polifenoles totales aún después del proceso de fermentación y secado.

Este resultado es remarcable, puesto que varios autores han señalado que el proceso de fermentación del cacao reduce hasta en un 50 % el contenido de polifenoles totales (Misnawi et al., 2002; Tomas-Barberán et al., 2007; Wollgast & Anklam, 2000). Así las cosas, podría considerarse que los genotipos TCS podrían tener una ventaja desde el punto de vista funcional, el cual es muy apreciado en los mercados actuales.

La figura 24 muestra la distribución en el contenido total de los principales monómeros y dímeros de flavan-3-oles (catequinas, epicatequinas y procianidinas B1 y B2) medidos en grano seco de los 24 genotipos evaluados.

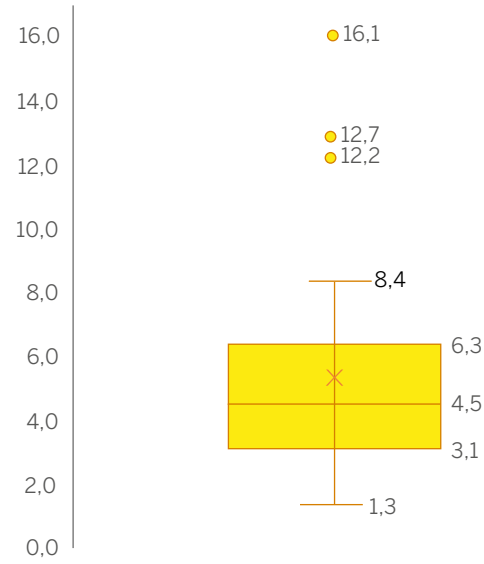


Figura 24. Distribución de genotipos de cacao según su contenido de principales flavan-3-oles.

Fuente: Elaboración propia

Esto permitió clasificar los contenidos en cuatro niveles que se muestran en la tabla 38.

Tabla 38. Límites de contenido de principales flavan-3-oles para clasificar los 24 genotipos de cacao evaluados

Característica	Nivel	
Contenido total de flavan-3-oles	Alto	6,35 - 8,39
	Medio	4,5 - 6,35
	Bajo	3,13 - 4,5
	Muy bajo	1,34 - 3,13

Fuente: Elaboración propia

Igual que en el caso anterior, se identificaron los genotipos con un nivel alto de contenido de monómeros y dímeros medidos en grano seco (tabla 39).

Adicionalmente, el análisis realizado permitió identificar los puntos atípicos del comportamiento observado para todos los genotipos TCS 11, TCS 13 y TCS 19.

Tabla 39. Genotipos de cacao con alto contenido de catequinas, epicatequinas y procianidinas B1 y B2

Característica	Genotipo	Valor
Contenido total de flavan-3-oles	TCS 01	8,3
	TCS 04	8,39
	TCS 06	6,44
	TCS 11	16,10*
	TCS 13	12,71*
	TCS 19	12,21*

Nota: *puntos atípicos.
Fuente: Elaboración propia

La figura 25 muestra la distribución de la capacidad antioxidante por método ORAC medida en grano seco para los 24 genotipos de cacao evaluados en el departamento de Santander.

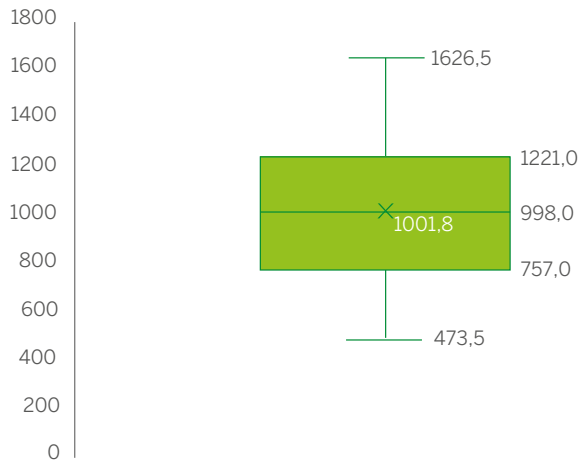


Figura 25. Distribución de la capacidad antioxidante de los 24 genotipos de cacao evaluados.

Fuente: Elaboración propia

Con base en este diagrama, se clasificaron los genotipos en cuatro niveles (tabla 40).

Tabla 40. Límites de capacidad antioxidante para clasificar los 24 genotipos de cacao

Característica	Nivel	TEAC (µmol Tx/g muestra seca)
Capacidad antioxidante por método ORAC	Alto	1221 - 1626,5
	Medio	998 - 1221
	Bajo	757 - 998
	Muy bajo	473,5 - 757

Fuente: Elaboración propia

Se identificaron aquellos genotipos de cacao con nivel alto de capacidad antioxidante (tabla 41). Se esperaba que la capacidad antioxidante de los genotipos de cacao evaluados, como resultado de la fermentación y secado, tuvieran un descenso marcado desde aproximadamente 1100 hasta 400 µmol ácido 6-hidroxi-2,5,7,8-tetrametilcromano-2-carboxílico/g muestra seca y fermentada, tal y como lo muestran Pallares Pallares et al. (2017).

Tabla 41. Genotipos de cacao con nivel alto de capacidad antioxidante

Característica	Genotipo	TEAC (µmol Tx/g muestra seca)
Capacidad antioxidante por método ORAC	TCS 04	1238,5
	TCS 06	1250,5
	TCS 12	1412,5
	TCS 13	1626,5
	TCS 47	1429
	TCS 48	1290,5

Fuente: Elaboración propia

Sin embargo, al comparar la capacidad antioxidante de los 24 genotipos evaluados en el departamento de Santander (1221-1626,5 µmol ácido 6-hidroxi-2,5,7,8-tetrametilcromano-2-carboxílico/g muestra seca y fermentada) con los 21 materiales regionales colombianos más promisorios evaluados por Sierra Prada y Peñaranda Herrera (2013) (1314-1587 µmol Tx/g muestra seca sin fermentar), se concluyó que los 24 genotipos de este estudio presentan una capacidad equivalente a la obtenida por Sierra y Peñaranda para granos sin fermentar, y, por lo tanto, podrían ser una excelente opción para la elaboración de productos chocolateros con características nutracéuticas.

Al realizar la validación de todas las características evaluadas en esta sección, se identificaron los genotipos de cacao con las mejores características químicas y funcionales y se compararon con el CCN 51 (tabla 42).

Tabla 42. Genotipos con mejores características químicas y mayor potencial funcional

Genotipo	Características	Relación teobromina/cafeína	Contenido de polifenoles totales	Contenido de flavan-3-oles	Capacidad antioxidante por método ORAC
TCS 01	2	Muy bajo	Medio	Alto	Muy bajo
TCS 04	3	Medio	Alto	Alto	Alto
TCS 06	3	Atípico	Alto	Alto	Alto
TCS 13	2	Atípico	Alto	Atípico	Alto
TCS 47	2	Medio	Alto	Medio	Alto
CCN 51	0	Alto	Bajo	Muy bajo	Bajo

Fuente: Elaboración propia

Análisis sensorial

Se realizó un análisis de componentes principales (ACP) en el que la proporción de variabilidad y su correlación permitió clasificar en dos grupos a 13 genotipos de cacao evaluados sensorialmente a través de un panel de cata, de acuerdo con la semejanza de los atributos sensoriales percibidos. En la figura 26 se muestra la distribución de los genotipos de acuerdo con sus características sensoriales, donde se destaca un grupo por los sabores de nuez, cacao, frutal y dulce, que se relacionan con la calidad sensorial de cacaos especiales y aromatizados.

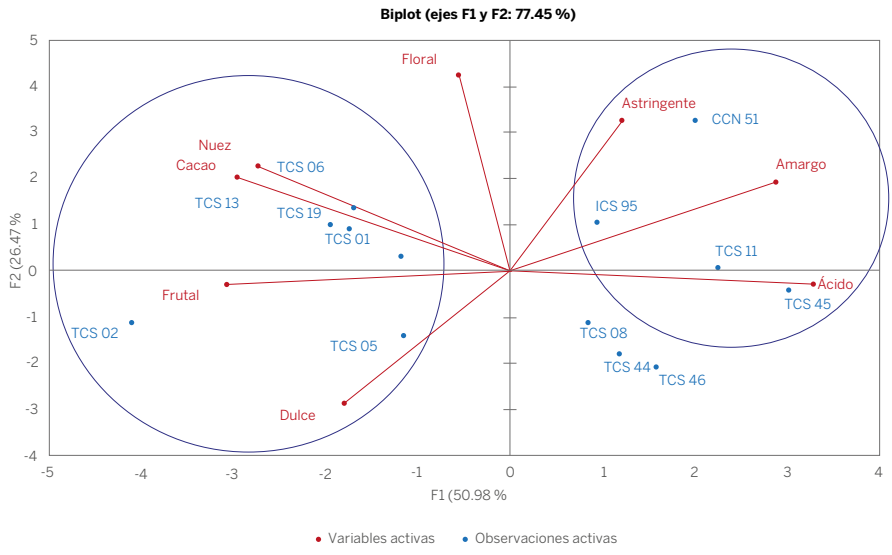


Figura 26. Análisis de componentes principales para los genotipos evaluados sensorialmente.

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 43 se muestra el resumen de los descriptores sensoriales evaluados por el panel conformado por cinco evaluadores, cuyas puntuaciones permiten identificar los perfiles sensoriales de cada uno de los genotipos evaluados.

Tabla 43. Resultados de descriptores sensoriales evaluados

Genotipo	Amargo	Astringente	Ácido	Cacao	Frutal	Floral	Nuez	Dulce
TCS 02	2,25	2,75	2,1	5	4	0	4,5	4
TCS 13	3	3	2	5	2	2	3	2
TCS 19	3	3	3	5	3	2	3	2
TCS 01	3,75	4	2,8	4,2	2,7	1	3,3	3,1
TCS 05	3	3	3	4,1	2,7	0	2,4	3,2
TCS 06	3	3	3	4	4	2	4	1
TCS 08	4	2,25	3,8	3,5	1,7	1	1,4	2,7
TCS 11	4,75	5	4,2	3,1	1,1	0	2,1	2,3
TCS 44	3,5	2	3,5	2,8	1,1	0	1,6	2
TCS 46	3,5	1,75	4,3	2,8	0,9	0	1,6	2,3
TCS 45	4,25	4,25	4,7	2,6	1	0	1,4	1,4
ICS 95	5	4	4	4	2	1	3	2
CCN 51	5	5	4	4	0	3	3	1

Fuente: Elaboración propia

Los genotipos fueron clasificados de acuerdo con los atributos específicos destacados. Algunos estudios han demostrado que la intensidad y la interacción de los sabores floral, frutal, nuez y malta son percibidos en los licores preparados con cacaos finos y de aroma, perfiles sensoriales que se definen por los diferentes orígenes y los genotipos de cacao (Solórzano Chavez et al., 2015).

De los resultados tabulados se infiere que los genotipos que presentan un perfil sensorial en esta categoría y cuentan con atributos de nuez, frutal, floral, cacao y dulce son: TCS 01, TCS 02, TCS 05, TCS 06, TCS 13 y TCS 19 (tabla 44).

Tabla 44. Genotipos con mayor cantidad de atributos sensoriales positivos

Atributos sensoriales destacados					
Genotipo	**Cacao**	**Frutal**	**Floral**	**Nuez**	**Dulce**
TCS 01	4,2	2,7	1	3,3	3,1
TCS 02	5	4	0	4,5	4
TCS 05	3,2	4,1	2,7	0	2,4
TCS 13	5	2	2	3	2
TCS 19	5	3	2	3	2
TCS 06	4	4	2	4	1

Fuente: Elaboración propia

El gráfico radial sensorial (figura 27) permite observar el comportamiento de los atributos destacados en el proceso de cata de licor, en donde se puede observar que los genotipos presentan altos valores de cacao y nuez, acompañados de notas frutales, dulce y floral, así como sus sabores básicos: amargo, astringente y ácido.

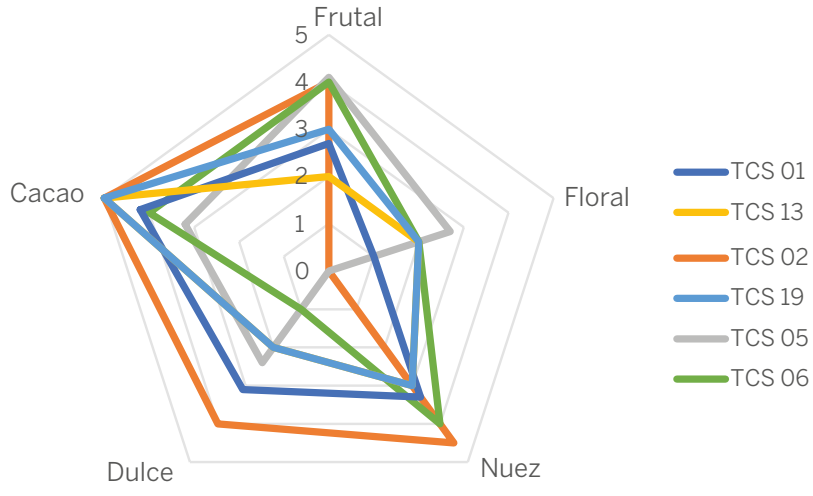


Figura 27. Radial de perfil sensorial con atributos destacados en genotipos evaluados.

Fuente: Elaboración propia

La evaluación de los sabores básicos permite evidenciar un segundo grupo de genotipos que se correlacionan con los sabores amargo, astringente y ácido. Según lo reportado, el perfil sensorial del CCN 51 se destaca por su sabor a cacao moderado con astringencia y amargor alto (Moreno-Martínez et al., 2019). Sin embargo, en los resultados obtenidos en este trabajo se evidenció que los genotipos evaluados tienen intensidad de sabores básicos entre baja y media (TCS 08, TCS 01, TCS 44, TCS 46, TCS 13, TCS 19, TCS 05, TCS 06 y TCS 02) sin reporte de intensidades altas y cuatro de los genotipos presentaron los sabores básicos en amargo, astringente y ácido con intensidad media (TCS 11, TCS 45, CCN 51 e ICS 95).

Es importante mencionar que los valores reportados en este trabajo fueron obtenidos usando granos de cacao seleccionados por presentar un índice de fermentación cercano al 100 %; por lo tanto, podría pensarse que el cambio en el perfil se logró por las reacciones bioquímicas que ocurren durante el proceso de fermentación en el cual se originan los compuestos precursores del sabor y del aroma (Perea-Villamil et al., 2009; Ramos et al., 2013).

En la tabla 45 se muestran los genotipos que se caracterizan por sus sabores básicos en amargo, astringente y ácido con intensidad media.

Tabla 45. Genotipos predominantes en sabores básicos

Sabores básicos			
Genotipo	**Amargo**	**Astringente**	**Ácido**
TCS 11	4,75	5	4,2
TCS 45	4,25	4,25	4,7
ICS 95	5	4	4
CCN 51	5	5	4

Fuente: Elaboración propia

De los genotipos evaluados se escogieron el TCS 19 y TCS 06, cuya percepción de sabores básicos y atributos positivos permitió obtener el perfil sensorial catalogado como bueno. La comparación con dos testigos comerciales se representa por medio de la gráfica radial, en la que se muestra la valoración descriptiva de las intensidades evaluadas.

En la figura 28 se muestra el perfil sensorial de los genotipos TCS 19 y TCS 06 en comparación con los dos testigos comerciales ICS 95 y CCN 51.

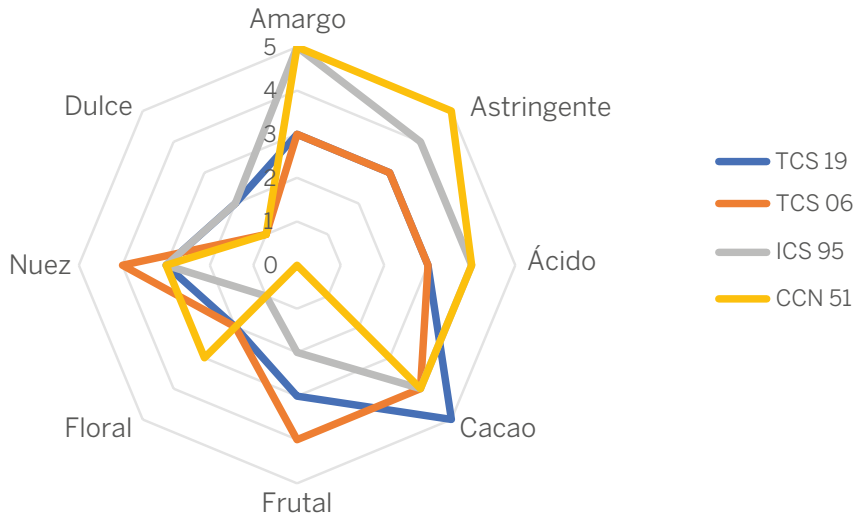


Figura 28. Radial de perfil sensorial comparativo de dos genotipos en estudio con dos testigos comerciales.

Fuente: Elaboración propia

Las variedades TCS 19 y TCS 06 se caracterizan por poseer sabores básicos de intensidad media y su sabor a cacao, frutal y nuez son atributos positivos que se perciben con predominancia media, con notas dulces y floral bajas, lo cual permite obtener un perfil sensorial balanceando y agradable al paladar. Por otro lado, podemos observar que ICS 95 y CCN 51 presentan sabores amargos, astringentes y ácidos con intensidad media, pero con menor percepción de sabores específicos.

Predicción matemática de perfiles sensoriales de los genotipos de cacao evaluados

Normalmente, un análisis de compuestos volátiles de licores de cacao da como resultado la identificación y cuantificación de entre 50 y 70 compuestos volátiles, los cuales necesariamente no son los mismos de muestra a muestra. Esto hace que la predicción o propuesta de un modelo matemático que permita predecir algunos atributos sensoriales sea una tarea compleja. Sin embargo, con el fin de realizar una aproximación a la predicción de los atributos sensoriales, Palencia Blanco (2019) propuso y desarrolló una estrategia en la que se incluye la priorización de 16 compuestos (de aproximadamente 77 identificados: 8 ácidos, 11 alcoholes, 8 aldehídos, 10 cetonas, 19 ésteres, 6 pirazinas y 15 compuestos de otras familias) para predecir los atributos sensoriales del cacao (tabla 46).

Tabla 46. Compuestos volátiles priorizados que explicaron la mayor varianza de los datos

Familia de compuestos	Nº	Compuesto
Ácidos	1	Ácido 3-metilbutanoico
	2	Ácido 2-metilbutanoico
Alcoholes	3	2-heptanol
	4	2-nonanol
	5	2-feniletanol
Aldehídos	6	Benzaldehído
	7	5-metil-2-fenil-2-hexenal
Cetonas	8	2-nonanona
	9	2-heptanona
	10	2-undecanona
Ésteres	11	Octanoato de etilo
	12	2-fenilacetato de etilo
	13	Acetato de 2-feniletilo
	14	Dodecanoato de etilo
Pirazina	15	2,3,5,6-tetrametilpirazina
Otros	16	B-pineno

Fuente: Elaboración propia con base en Palencia Blanco (2019)

Se determinó el valor teórico de cada atributo sensorial (cacao, floral, frutal, nuez, dulce y ácido) empleando los modelos matemáticos de Palencia-Blanco. Los perfiles sensoriales teóricos de los 24 genotipos evaluados en el departamento de Santander se encuentran en las fichas técnicas anexas.

Una vez obtenido el perfil sensorial teórico, se realizó adicionalmente la comparación con el perfil sensorial obtenido por cata de licores de cacao para 13 de los 24 genotipos evaluados. Por ejemplo, para el TCS 05, los modelos lograron predecir adecuadamente los seis atributos sensoriales evaluados (tabla 47). Esta afirmación se basa en el hecho de que en todos los casos los valores teóricos y de cata estuvieron en la misma escala de valoración cualitativa.

Tabla 47. Perfil sensorial cata *vs*. predicho para el genotipo TCS 05

Atributo	Cata	Predicho
Cacao	3,9	3,00 ± 0,70
Floral	0	0,61
Frutal	2,7	1,55 ± 0,82
Nuez	2	2,09 ± 0,53
Dulce	2,4	2,10 ± 0,68
Ácido	3,3	4,06 ± 0,94
Amargo	3,75	N. C.*
Astringente	3,25	N. C.*

Nota: *N. C.: no calculado.
Fuente: Elaboración propia

Al comparar los perfiles sensoriales de los 13 genotipos evaluados por cata de licores de cacao con los perfiles sensoriales teóricos, el atributo sensorial con mejor predicción fue *cacao* con un 85 % de precisión, seguido por los atributos dulce (69 %), ácido (62 %), floral (62 %), frutal (54 %) y nuez (54 %). Se esperaba que el atributo *cacao* presentara un buen ajuste de los datos, ya que el modelo empleado cuenta con un R^2 de 83 % para este atributo;

sin embargo, se esperaba el mismo comportamiento para los atributos *frutal* y *nuez* con R^2 de 86 % y 83 % respectivamente. Por lo tanto, se concluye que se deberá continuar trabajando en la sintonización de este tipo de modelos con el fin de aumentar su grado de predicción en el futuro, de manera que puedan ser empleados como una herramienta práctica para obtener los perfiles sensoriales de genotipos de cacao.



Conclusiones

De acuerdo con los resultados obtenidos a nivel de variables morfológicas y productivas, se puede concluir que los genotipos TCS 06, TCS 01, TCS 11, TCS 13, TCS 03 y TCS 49 obtuvieron el mejor resultado en cuanto a sus atributos de productividad. Adicionalmente, las variedades TCS 01, TCS 13 y TCS 19 son autocompatibles, sin embargo, teniendo en cuenta las recomendaciones técnicas de otros estudios, TCS 01 y TCS 19 se pueden establecer en campo como monocultivo o monoclonal por su alta eficiencia en la fecundación y se recomienda sembrar TCS 13 en combinación con el TCS 19 para aumentar el rendimiento; TCS 06 es autoincompatible, por lo cual la siembra debe ser combinada con las variedades TCS 01 y TCS 19.

Las anteriores combinaciones permiten aumentar la eficiencia productiva de cada una de las variedades en los cultivos donde sean establecidas. Es importante mencionar que los genotipos TCS 11, TCS 03 y TCS 49 reportan buenos resultados de productividad y calidad en la localidad en estudio y pueden hacer parte de un proceso de investigación para determinar su comportamiento productivo y sanitario en diferentes ambientes agroecológicos.

Desde la óptica de los resultados asociados con los atributos fisicoquímicos, los mejores genotipos fueron TCS 01, TCS 06, TCS 10, TCS 11, TCS 12, TCS 20, TCS 46, TCS 47 y TCS 48, ya que en todos los casos presentaron los valores más altos de contenido de grasa total, la cual es muy apreciada por la industria alimentaria y cosmética. Así mismo, en todos los casos estos mismos genotipos se caracterizaron por poseer los mayores valores de proteína que aportarían un valor alimenticio al producto, pero también son cruciales porque las proteínas están involucradas en reacciones de Maillard que generan compuestos olor-activos que les proporcionan a los granos de cacao tostados sus características de fino y de aroma.

Desde el punto de vista del potencial funcional, los genotipos con mayor contenido de metabolitos con actividad funcional fueron TCS 01, TCS 04, TCS 06, TCS 13 y TCS 47. En todos estos genotipos predominó una baja relación teobromina/cafeína, entonces resulta sensato esperar que la astringencia de los licores obtenidos usando este tipo de materiales sea baja o moderada. Así mismo, estos mismos genotipos tienen los mayores contenidos de polifenoles totales, catequina, epicatequina y procianidinas, lo que los hace atractivos para ser evaluados desde el punto de vista funcional. Finalmente, se confirmó que estos genotipos tienen los valores más altos de capacidad antioxidante, lo cual también confirma en parte su potencial para ser usados en formulaciones chocolateras con características funcionales.

Aunque se deben hacer pruebas que confirmen su funcionalidad, los resultados obtenidos en este trabajo son prometedores y, a nuestro juicio, son la línea base para priorizar los genotipos con mayor potencialidad para desarrollar una nueva industria chocolatera en la que los nuevos productos que se ofertan a los consumidores tengan un valor agregado nutricional que les permitan mejorar su calidad de vida, al tiempo que consumen un producto agradable al gusto.

En cuanto a las muestras evaluadas en perfil sensorial, permitieron obtener dos grupos sensoriales: el primero se caracterizó por la presencia de atributos específicos con intensidad media en cacao y presencia de notas de nuez, frutal, dulce, cacao y floral cuyas notas sensoriales se asocian a cacaos finos y de aroma, lo que conlleva identificar estos perfiles sensoriales en los genotipos TCS 01, TCS 02, TCS 05, TCS 13, TCS 19 y TCS 06. El segundo grupo, compuesto por los materiales TCS 11, TCS 45, ICS 95 y CCN 51, refleja perfiles con intensidades de sabores básicos (amargo, astringente y ácido) de escala media agradables al paladar, lo que demuestra que los granos de cacao bien fermentados permiten obtener sabores amargos y astringentes balanceados.

De lo anterior se concluye que los genotipos evaluados presentan características sensoriales acordes con los estándares de calidad, reconocidos por organizaciones internacionales como la ICCO y que permiten afianzar el reconocimiento de Colombia como país productor de cacao fino y aromatizado.

Finalmente, en este trabajo se presentó por primera vez la predicción matemática de perfiles sensoriales empleando la concentración de compuestos volátiles encontrada en cada genotipo evaluado. Aunque los resultados son prometedores, se debe seguir trabajando en la sintonización del modelo predictivo, puesto que aún tiene dificultades para predecir algunos de los atributos sensoriales.



Glosario

Atributo. Característica sensorial que describe el objeto en análisis. El conjunto de estas integra el perfil de dicho objeto (NTC 3501).

Calidad. Conjunto de rasgos y características de un producto, proceso o servicio que confiere la capacidad de satisfacer necesidades explícitas o implícitas (NTC 3501).

Caracterización física. Parámetros físicos del grano tales como porcentaje de cascarilla y porcentaje de almendra que influyen en los rendimientos de la transformación.

Caracterización morfológica. Descriptores realizados para caracterizar una especie vegetal de acuerdo con sus partes principales, hoja, flor, fruto y tallo, con el fin de identificar cada especie.

Compatibilidad sexual. Proceso desarrollado en las flores de cacao en donde el polen consigue fecundar los óvulos de flores del mismo genotipo.

Compuesto volátil. Cualquier compuesto orgánico que se evapora con facilidad hacia la atmósfera a temperatura ambiente.

Evaluación sensorial. Disciplina científica dedicada a medir, analizar e interpretar las características de los alimentos por medio de los sentidos de la vista, el olfato, el gusto, el tacto y el oído.

Fermentación. Proceso bioquímico en el que hay muerte del embrión del grano de cacao, generación de reacciones bioquímicas dentro del cotiledón, formación de los precursores de sabor y aroma y disminución de los sabores amargos y astringentes.

Genotipos. Cultivares o materiales genéticos colectados o producto de cruzamiento, seleccionados y evaluados con el fin de investigar su comportamiento productivo.

Incidencia de monilia. porcentaje de afectación de la enfermedad causada por la especie *Moniliophthora roreri* desarrollada en el fruto de cacao estimada por hectárea establecida.

Índice de grano. Promedio de peso de grano expresado en gramos, realizado a 100 granos de cacao seco.

Índice de mazorca. Cantidad de mazorcas necesarias para obtener un kilogramo de cacao en seco.

Licor de cacao. Producto obtenido de los granos de cacao por medio de la molienda sin ningún aditivo.

Metabolito funcional. Sustancia resultante del metabolismo de un alimento que cumple una función específica, como mejorar la salud o prevenir enfermedades.

Mucílago. Sustancia viscosa que rodea el grano de cacao y que está compuesta por azúcares.

Panel sensorial. Grupo de evaluadores seleccionados para participar en una prueba sensorial (NTC 3501).

Paseras. Bandejas de madera para la deshidratación o secado de los granos de cacao.

Perfil sensorial o de sabor. Procedimiento por el cual se describe y evalúa el aroma y el sabor de un producto de manera reproducible (NTC 3929).

Perfil sensorial teórico. Conjunto de atributos sensoriales calculados a partir de relaciones matemáticas empleando la composición de compuestos volátiles.

Referencias

Afoakwa, E. O., Paterson, A., Fowler, M., & Ryan, A. (2008). Flavor formation and character in cocoa and chocolate: A critical review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 48*(9), 840-857. https://doi.org/10.1080/10408390701719272

Afoakwa, E. O., Quao, J., Takrama, J., Budu, A. S., & Saalia, F. K. (2013). Chemical composition and physical quality characteristics of Ghanaian cocoa beans as affected by pulp pre-conditioning and fermentation. *Journal of Food Science and Technology, 50*(6), 1097-1105. https://doi.org/10.1007/s13197-011-0446-5

Agus, B. A. P., Mohamad, N. N. & Hussain, N. (2018). Composition of unfermented, unroasted, roasted cocoa beans and cocoa shells from Peninsular Malaysia. *Food Measure, 12*, 2581-2589. https://doi.org/10.1007/s11694-018-9875-4

Alvarado, D., Pérez, J., Velázquez, G., & Velázquez, M. (2017). *Manual de polinizaciones controladas en cacao*. Universidad de San Carlos de Guatemala. https://digi.usac.edu.gt/edigi/files/pdf

Alvarado, J., Villacís, F. E., & Zamora, G. F. (1983). Efecto de la época de cosecha sobre la composición de cotiledones crudos y fermentados de dos variedades de cacao y fracciones de cascarilla. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición, 33*(2), 339-355.

Álvarez, C., Pérez, E., & Lares, M. C. (2007). Caracterización física y química de almendras de cacao fermentadas, secas y tostadas cultivadas en la región de Cuyagua, estado Aragua. *Agronomía Tropical, 57*(4), 249-256.

Amores Puyutaxi, F. M., Espín, S., Jiménez Barragán, J. C., & Saltos Rivera, E. A. (2002). *La aplicación de la relación Theobromina/Cafeina para diferenciar las almendras de cacao nacional, CCN-51 y Ghana (cacao ordinario)*. INIAP. http://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/3494

Aprotosoaie, A. C., Luca, S. V., & Miron, A. (2016). Flavor Chemistry of Cocoa and Cocoa Products - An Overview. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 15*(1), 73-91. https://doi.org/10.1111/1541-4337.12180

AOAC International (2019). *Official methods of analysis of AOAC International.* AOAC.

Aremu, C. Y., Agiang, M. A., & Ayatse, J. O. I. (1995). Nutrient and antinutrient profiles of raw and fermented cocoa beans. *Plant Foods for Human Nutrition, 48*(3), 217-223. https://doi.org/10.1007/BF01088443

Arguello Castellanos, O., Mejía Florez, L. A., Contreras Mayorga, N., & Toloza Ochoa, J. A. (1999). *Manual de caracterización morfoagronómica de clones élite de cacao (Theobroma cacao* L.) *en el nororiente colombiano*. AGROSAVIA. http://bibliotecadigital.agronet.gov.co/bitstream/11348/4148/2/Clones elite de cacao.pdf

Aron, P. M., & Kennedy, J. A. (2008). Flavan-3-ols: Nature, occurrence and biological activity. *Molecular Nutrition and Food Research, 52*(1), 79-104. https://doi.org/10.1002/mnfr.200700137

Aznar, M., López, R., Cacho, J., & Ferreira, V. (2003). Prediction of Aged Red Wine Aroma Properties from Aroma Chemical Composition. Partial Least Squares Regression Models. *Journal of Agricultural and Food Chemistry, 51*(9), 2700-2707. https://doi.org/10.1021/jf026115z

Azpeitia Morales, A., Gasca González, H. A., & Villordo Pineda, E. (2018). Relaciones de parentesco en híbridos F1 de cacao (Thebroma cacao L.) por marcadores moleculares. *Acta Universitaria, 27*(6), 66-77. https://doi.org/10.15174/au.2017.1552

BBC (2021). *Box plots - Higher - Representing data - Edexcel - GCSE Maths Revision - Edexcel - BBC Bitesize*. https://www.bbc.co.uk/bitesize/guides/zc7sb82/revision/7

Belščak, A., Komes, D., Horžić, D., Ganić, K. K., & Karlović, D. (2009). Comparative study of commercially available cocoa products in terms of their bioactive composition. *Food Research International, 42*(5-6), 707-716. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2009.02.018

Bonvehí, J. S. (2005). Investigation of aromatic compounds in roasted cocoa powder. *European Food Research and Technology, 221*(1), 19-29. https://doi.org/10.1007/S00217-005-1147-Y

Bors, W., Heller, W., Michel, C., & Saran, M. (1990). [36] Flavonoids as antioxidants: Determination of radical-scavenging efficiencies. *Methods in Enzymology, 186*, 343-355. https://doi.org/10.1016/0076-6879(90)86128-I

Cadavid-Vález, S. (2007). *Características de compatibilidad sexual de algunos clones de cacao y su aplicación en siembras comerciales*. Compañía Nacional de Chocolates. https://repository.agrosavia.co/handle/20.500.12324/2033#.YWTMwbqHP6U.mendeley

Cadena, T. & Herrera, M. (2008). *Evaluación del efecto del procesamiento del cacao sobre el contenido de polifenoles y su actividad antioxidante* [tesis de grado]. Universidad Industrial de Santander. http://infocafes.com/portal/wp-content/uploads/2017/01/128865.pdf

Cerón Salazar, X., García Muñoz, M. C., Rodríguez Polanco, L., Cubillos Varela, A., Polanco Díaz, E., López Hernández, M. del P., Moreno, J. M., Bayardo Parra, E., & Quiñones Méndez, F. (2020). *Estrategias tecnológicas para el manejo del cultivo y el beneficio del cacao*. AGROSAVIA. https://doi.org/10.21930/agrosavia.institutional.7403572

Chavarro, G., Terreros, J. R., & Ocampo Rojas, F. (1982). Determinación de los genotipos de incompatibilidad o compatibilidad en varios cultivares de cacao (*Theobroma cacao* L.). *Revista ICA, 17*(3),93-99.https://repository.agrosavia.co/handle/20.500.12324/19958#.YWcYu8-0dd8.mendeley

Cocoa of Excellence Technical Committee. (2021a). *Cocoa of Excellence Flavour Wheel*. Bioversity International. https://static1.squarespace.com/static/56680247841abadb3a819e1c/t/612c7082a3377b3143a0a95e/1630302339058/CoEx_flavour_wheel_A4_EN-27Aug21.pdf

Cocoa of Excellence Technical Committee. (2021b). *Cocoa of Excellence Glossary of Terms for Cocoa Bean Flavour Evaluation as Liquor and Chocolate*. Bioversity International. https://static1.squarespace.com/static/56680247841abadb3a819e1c/t/612c73d3bc615f30943feb4a/1630303189763/CoEx-GlossaryOfTerms-A4-EN-29Aug2021.pdf

Cordero, C., Guglielmetti, A., Sgorbini, B., Bicchi, C., Allegrucci, E., Gobino, G., Baroux, L., & Merle, P. (2019). Odorants quantitation in high-quality cocoa by multiple headspace solid phase micro-extraction: Adoption of FID-predicted response factors to extend method capabilities and information potential. *Analytica Chimica Acta, 1052*, 190-201. https://doi.org/10.1016/j.aca.2018.11.043

Correa Álvarez, J., Castro Martínez, S., & Coy, J. (2014). Estado de la moniliasis del cacao causada por *Moniliophthora roreri* en Colombia. *Acta Agronómica, 63*(4), 388-399. https://doi.org/10.15446/acag.v63n4.42747

Cuevas-Glory, L., Ortiz-Vazquez, E., Sauri-Duch, E., & Pino, J. (2013). Characterization of aroma-active compounds in sugar apple (Annona squamosa L.). *Acta Alimentaria, 42*(1), 102-108. https://doi.org/10.1556/AAlim.42.2013.1.10

Culleré, L., Escudero, A., Cacho, J., & Ferreira, V. (2004). Gas Chromatography-Olfactometry and Chemical Quantitative Study of the Aroma of Six Premium Quality Spanish Aged Red Wines. *Journal of Agricultural and Food Chemistry, 52*(6), 1653-1660. https://doi.org/10.1021/jf0350820

Domínguez, R. (1969). El contenido de grasa en almendras de cacao y su influencia en la industria cacaotera venezolana. *Revista de la Facultad de Agronomía, 5*(2), 82-96.

Ducki, S., Miralles-Garcia, J., Zumbé, A., Tornero, A., & Storey, D. M. (2008). Evaluation of solid-phase micro-extraction coupled to gas chromatography-mass spectrometry for the headspace analysis of volatile compounds in cocoa products. *Talanta, 74*(5), 1166-1174. https://doi.org/10.1016/j.talanta.2007.08.034

Federación Nacional de Cacaoteros [Fedecacao]. (2005). *Caracterización fisicoquímica y beneficio del grano de cacao* (*Theobroma cacao* L.) *en Colombia*. Fedecacao. https://repository.agrosavia.co/handle/20.500.12324/2272#.YWX27uCs5hA.mendeley

Feng, Y., Cai, Y., Fu, X., Zheng, L., Xiao, Z., & Zhao, M. (2018). Comparison of aroma-active compounds in broiler broth and native chicken broth by aroma extract dilution analysis (AEDA), odor activity value (OAV) and omission experiment. *Food Chemistry, 265*, 274-280. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.05.043

Frauendorfer, F. & Schieberle, P. (2008). Changes in Key Aroma Compounds of Criollo Cocoa Beans During Roasting. *Journal of Agricultural and Food Chemistry, 56*(21), 10244-10251. https://doi.org/10.1021/jf802098f

Furcal Beriguete, P. (2016). Extracción de nutrientes por los frutos de cacao en dos localidades en Costa Rica. *Agronomía Mesoamericana, 28*(1), 113-129. https://doi.org/10.15517/am.v28i1.23236

Grupo Conacado (2021). *Catálogo de clones*. https://conacado.com.do/wp-content/uploads/2021/02/Catalogo-de-clones-segunda-edicion.pdf

Gutiérrez Brito, E. E., Leiva Rojas, E. I., & Ramírez Pisco, R. (2019). La poda y su efecto en la calidad del grano de cacao (*Theobroma cacao* L.). *Agronomía Costarricense, 43*(2), 167-176. https://doi.org/10.15517/rac.v43i2.38206

Huang, D., Ou, B., Hampsch-Woodill, M., Flanagan, J. A., & Prior, R. L. (2002). High-Throughput Assay of Oxygen Radical Absorbance Capacity (ORAC) Using a Multichannel Liquid Handling System Coupled with a Microplate Fluorescence Reader in 96-Well Format. *Journal of Agricultural and Food Chemistry, 50*(16), 4437-4444. https://doi.org/10.1021/jf0201529

Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación [Icontec]. (2021). NTC 1252:2021. Cacao en grano. Especificaciones y requisitos de calidad.

International Cocoa Organization [ICCO]. (2019). *Fine or Flavour Cocoa*.

Jaimes Suárez, Y. Y., Agudelo Castañeda, G. A., Báez Daza, E. Y., Rengifo Estrada, G. A., & Rojas Molina, J. (2021). *Modelo productivo para el cultivo de cacao (Theobroma cacao* L.) *en el departamento de Santander*. AGROSAVIA. https://doi.org/10.21930/agrosavia.model.7404647

Jalil, A. & Ismail, A. (2008). Polyphenols in Cocoa and Cocoa Products: Is There a Link between Antioxidant Properties and Health? *Molecules, 13*(9), 2190-2219. https://doi.org/10.3390/molecules13092190

Jati, M. & Sari, A. B. T. (2011). Analysis of Pyrazine and Volatile Compounds in Cocoa Beans Using Solid Phase Microextraction. *Pelita Perkebunan (a Coffee and Cocoa Research Journal), 27*(1), 24-35. https://doi.org/10.22302/ICCRI.JUR.PELITAPERKEBUNAN.V27I1.143

Jeong, W.-S. & Kong, A.-N. T. (2004). Biological Properties of Monomeric and Polymeric Catechins: Green Tea Catechins and Procyanidins. *Pharmaceutical Biology, 42*(sup1), 84-93. https://doi.org/10.3109/13880200490893500

Jetti, R. R., Yang, E., Kurnianta, A., Finn, C., & Qian, M. C. (2007). Quantification of Selected Aroma-Active Compounds in Strawberries by Headspace Solid-Phase Microextraction Gas Chromatography and Correlation with Sensory Descriptive Analysis. *Journal of Food Science, 72*(7), S487-S496. https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2007.00445.x

Jinap, S., Wan Rosli, W. I., Russly, A. R., & Nordin, L. M. (1998). Effect of roasting time and temperature on volatile component profiles during nib roasting of cocoa beans (*Theobroma cacao*). *Journal of the Science of Food and Agriculture, 77*(4), 441-448. https://doi.org/10.1002/(sici)1097-0010(199808)77:4<441::aid-jsfa46>3.0.co;2-%23

Kongor, J. E., Hinneh, M., de Walle, D. Van, Afoakwa, E. O., Boeckx, P., & Dewettinck, K. (2016). Factors influencing quality variation in cocoa (*Theobroma cacao*) bean flavour profile - A review. *Food Research International, 82*, 44-52. https://doi.org/10.1016/J.FOODRES.2016.01.012

Lares Amaiz, M., Gutiérrez, R., Pérez, E., & Álvarez, C. (2012). Efecto del tostado sobre las propiedades físicas, fisicoquímicas, composición proximal y perfil de ácidos grasos de la manteca de granos de cacao del estado Miranda, Venezuela. *Revista Científica UDO Agrícola, 12*(2), 439-446. https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4688626&info=resumen&idioma=ENG

Liendo, R., Padilla, F. C., & Quintana, A. (1997). Characterization of cocoa butter extracted from Criollo cultivars of *Theobroma cacao* L. *Food Research International, 30*(9), 727-731. https://doi.org/10.1016/S0963-9969(98)00025-8

López, M. E., Ramírez, O. A., Dubón, A., Ribeiro, T. H. C., Díaz, F. J., & Chalfun-Junior, A. (2021). Sexual compatibility in cacao clones drives arrangements in the field leading to high yield. *Scientia Horticulturae, 287*, 110276. https://doi.org/10.1016/J.SCIENTA.2021.110276

Ministerio de Agricultura [MinAgricultura]. (2021). *Cadena de cacao*. https://sioc.minagricultura.gov.co/Cacao/Documentos/2021-03-31%20Cifras%20Sectoriales.pdf

Misnawi, Selamat, J., Bakar, J., & Saari, N. (2002). Oxidation of polyphenols in unfermented and partly fermented cocoa beans by cocoa polyphenol oxidase and tyrosinase. *Journal of the Science of Food and Agriculture, 82*(5), 559–566. https://doi.org/10.1002/jsfa.1075

Moreno-Martínez, E., Gavanzo-Cárdenas, Ó. M., & Rangel-Silva, F. A. (2019). Evaluación de las características físicas y sensoriales de licor de cacao asociadas a modelos de siembra. *Ciencia y Agricultura, 16*(3), 75-90. https://doi.org/10.19053/01228420.v16.n3.2019.9890

Mundaca-Vidarte, G. (2016). *Análisis de la calidad del grano de cacao mediante imágenes hiperespectrales usando técnicas de visión artificial* [tesis de maestría]. Universidad de Piura. https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/2756/MAS_IME_AUT_013.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Nieburg, O. (2016, May 9). *Premium chocolate 'leg up': How to win fine flavor cocoa status*. Confectionery News. confectionerynews.com/Article/2016/05/10/Everything-you-need-to-know-about-fine-flavor-cocoa

Noguera Muñoz, L. M. (2014). *Caracterización de materiales regionales promisorios de cacao colombiano: física, química; funcional y organoléptica* [tesis de maestría]. Universidad Industrial de Santander.

Ntiamoah, A. & Afrane, G. (2008). Environmental impacts of cocoa production and processing in Ghana: life cycle assessment approach. *Journal of Cleaner Production, 16*(16), 1735-1740. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2007.11.004

Offem, J. O. (1990). Individual variation in the amino acid and chemical composition of defatted cocoa bean meal of three varieties of cocoa (*Theobroma cacao*) from south-eastern Nigeria. *Journal of the Science of Food and Agriculture, 52*(1), 129-135. https://doi.org/10.1002/JSFA.2740520114

Osorio-Guarín, J. A., Berdugo-Cely, J. A., Coronado-Silva, R. A., Baez, E., Jaimes, Y., & Yockteng, R. (2020). Genome-Wide Association Study Reveals Novel Candidate Genes Associated with Productivity and Disease Resistance to Moniliophthora spp. in Cacao (*Theobroma cacao* L.). *G3 Genes|Genomes|Genetics, 10*(5), 1713-1725. https://doi.org/10.1534/g3.120.401153

Osorio G., M. A., Leiva R., E. I., & Ramírez P., R. (2017). Crecimiento de plántulas de cacao (*Theobroma cacao* L.) en diferentes tamaños de contenedor. *Revista de Ciencias Agrícolas, 34*(2), 73-82. https://doi.org/10.22267/rcia.173402.73

Ouyang, X., Yuan, G., Ren, J., Wang, L., Wang, M., Li, Y., Zhang, B., & Zhu, B. (2017). Aromatic compounds and organoleptic features of fermented wolfberry wine: Effects of maceration time. *International Journal of Food Properties, 20*(10), 2234-2248. https://doi.org/10.1080/10942912.2016.1233435

Padilla, F. C., Liendo, R., & Quintana, A. (2000). Characterization of cocoa butter extracted from hybrid cultivars of *Theobroma cacao* L. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición, 50*(2), 200-205.

Palencia-Blanco, C., Gualdrón-Zambrano, A., Guarín-Henao, I., Ojeda-Galeano, Y., Villamizar-Jaimes, A., Zárate-Caicedo, D. A., Coronado-Silva, R. A., Rodríguez-Silva, L., & López-Giraldo, L. J. (2020). Proposal for a semi-quantitative method for the determination of volatile compounds in cocoa liquors. *Respuestas, 25*(1), 60-69. https://doi.org/10.22463/0122820x.2406

Palencia Blanco, C. G. (2019). *Desarrollo de modelos matemáticos para la predicción de perfiles sensoriales de licores de cacao a partir de caracterización química*. Universidad Industrial de Santander.

Palencia, G. E., Arguello, A., Diaz, N., Agudelo, G. A., Rengifo, G. A., López, J. G., Gómez, R., Calle, L. M., Mantilla, J., & Coronado, R. (2011). *Mejoramiento genético del cultivo de cacao mediante la selección varietal y propagación de genotipos sobresalientes, con participación comunitaria en fincas de agricultores en las principales regiones productoras de Colombia*. AGROSAVIA.

Pallares-Pallares, A., Perea-Villamil, J. A., & López-Giraldo, L. J. (2016). Impacto de las condiciones de beneficio sobre los compuestos precursores de aroma en granos de cacao (*Theobroma cacao* L.) del clon CCN-51. *Respuestas, 21*(1), 120-133. https://doi.org/10.22463/0122820X.726

Pallares, A., Estupiñán A, M. R., Perea Villamil, J. A., & López Giraldo, L. J. (2017). Impacto de la fermentación y secado sobre el contenido de polifenoles y capacidad antioxidante del clon de cacao CCN-51. *Revista ION, 29*(2), 7-21. https://doi.org/10.18273/revion.v29n2-2016001

Pang, X., Guo, X., Qin, Z., Yao, Y., Hu, X., & Wu, J. (2012). Identification of Aroma-Active Compounds in Jiashi Muskmelon Juice by GC-O-MS and OAV Calculation. *Journal of Agricultural and Food Chemistry, 60*(17), 4179-4185. https://doi.org/10.1021/jf300149m

Pedan, V., Weber, C., Do, T., Fischer, N., Reich, E., & Rohn, S. (2018). HPTLC fingerprint profile analysis of cocoa proanthocyanidins depending on origin and genotype. *Food Chemistry, 267*, 277-287. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.08.109

Perea-Villamil, J. A., Cadena-Cala, T., & Herrera-Ardila, J. (2009). El cacao y sus productos como fuente de antioxidantes: efecto del procesamiento. *Revista de la Universidad Industrial de Santander. Salud, 41*(2), 128-134. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0121-08072009000200003&lng=en&nrm=iso&tlng=

Perea, J., Ramírez, O., & Villamizar Jaimes, A. (2011). Caracterización fisicoquímica de materiales regionales de cacao colombiano. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial, 9*(1), 35-42.

Perea Villamil, A., Martínez Guerrero, N., Aranzazu Hernández, F., Cadena Cala, T., & Barbosa, F. (2017). *Características de calidad del cacao de Colombia: catálogo de 26 cultivares* (2ª ed.). Universidad Industrial de Santander.

Phillips-Mora, W., Arciniegas-Leal, A., Mata-Quirós, A., & Motamayor, J.-C. (2013). *Catalogue of cacao clones selected by CATIE for commercial plantings*. [Technical Series, Technical Manual nº 105]. Tropical Agricultural Research and Higher Education Center (CATIE).

Qian, M. C., & Wang, Y. (2005). Seasonal Variation of Volatile Composition and Odor Activity Value of 'Marion' (*Rubus* spp. hyb) and 'Thornless Evergreen' (R. *laciniatus* L.) Blackberries. *Journal of Food Science, 70*(1), C13-C20. https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2005.tb09013.x

Quintana Fuentes, L. F., García Jerez, A., & Moreno Martínez, E. (2018). Perfil sensorial de cuatro modelos de siembra de cacao en Colombia. *Entramado, 14*(2), 256-268. https://doi.org/10.18041/1900-3803/entramado.2.4756

Quintana Fuentes, L. F., Gómez Castelblanco, S., García Jerez, A., & Martínez Guerrero, N. (2015). Caracterización de tres índices de cosecha de cacao de los clones CCN51, ICS60 e ICS 95, en la montaña santandereana, Colombia. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental, 6*(1), 252-265. https://doi.org/10.22490/21456453.1284

Ramos, G., González, N., Zambrano, A., & Gómez, Á. (2013). Olores y sabores de cacaos (*Theobroma cacao* L.) venezolanos obtenidos usando un panel de catación entrenado. *Revista Científica UDO Agrícola, 13*(1), 114-127.

Rodriguez-Campos, J., Escalona-Buendía, H. B., Orozco-Avila, I., Lugo-Cervantes, E., & Jaramillo-Flores, M. E. (2011). Dynamics of volatile and non-volatile compounds in cocoa (*Theobroma cacao* L.) during fermentation and drying processes using principal components analysis. *Food Research International, 44*(1), 250-258. https://doi.org/10.1016/J.FOODRES.2010.10.028

Rodríguez-Lozano, R. (2020). Efecto de la aplicación de bioreguladores para el control de *Moniliophthora roreri* y *Phytophthora palmivora* en cacao CCN-51 (*Theobroma cacao*). *Killkana Técnica, 4*(2), 13-20. https://doi.org/10.26871/KILLKANATECNICA.V4I2.280

Sánchez-Mora, F. D., Medina-Jara, S. M., Díaz-Coronel, G. T., Ramos-Remache, R. A., Vera-Chang, J. F., Vásquez-Morán, V. F., Troya-Mera, F. A., Garcés-Fiallos, F. R., & Onofre-Nodari, R. (2015). Potencial sanitario y productivo de 12 clones de cacao en Ecuador. *Revista Fitotecnia Mexicana, 38*(3), 265-274. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-73802015000300005&lng=es&nrm=iso&tlng=es

Sánchez Campuzano, V. A. (2007). *Caracterización organoléptica del cacao* (*Theobroma cacao* L.), *para la selección de árboles con perfiles de sabor de interés comercial* [tesis de grado]. Universidad Técnica Estatal de Quevedo.

Sánchez Mora, F. D. & Garcés Fiallos, F. R. (2012). *Moniliophthora roreri* (Cif y Par) Evans et al. in the crop of cocoa. *Scientia Agropecuaria, 3*(3), 249-258. https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2012.03.06

Santander Muñoz, M., Rodríguez Cortina, J., Vaillant, F. E., & Escobar Parra, S. (2020). An overview of the physical and biochemical transformation of cocoa seeds to beans and to chocolate: Flavor formation. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 60*(10), 1593-1613. https://doi.org/10.1080/10408398.2019.1581726

Schumacher, A. B., Brandelli, A., Macedo, F. C., Pieta, L., Klug, T. V., & De Jong, E. V. (2010). Chemical and sensory evaluation of dark chocolate with addition of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Journal of Food Science and Technology, 47*(2), 202-206. https://doi.org/10.1007/s13197-010-0029-x

Sierra Prada, L. & Peñaranda Herrera, J. (2013). *Evaluación de la actividad antioxidante, contenido de polifenoles y metilxantinas en materiales de cacao colombianos*. Universidad Industrial de Santander.

Solórzano Chavez, E., Nicklin, C., Amores Puyutaxi, F., Jiménez Barragan, J., & Barzola Miranda, S. (2015). Comparación sensorial del cacao (*Theobroma cacao* L.) nacional fino de aroma cultivado en diferentes zonas del Ecuador. *Ciencia y Tecnología, 8*(1), 37-47. https://doi.org/10.18779/cyt.v8i1.105

Tao, L., Tao, F., & Wanchao, C. (2017). Identification of volatile flavour components of *Tuber melanosporum* using simultaneous distillation-extraction. *Czech Journal of Food Sciences, 35*(6), 483-487. https://doi.org/10.17221/31/2017-CJFS

Teneda Llerena, W. F., Guamán Guevara, M. D., & Oyaque Mora, S. M. (2019). Exploración de la intención de consumo de la cascarilla de cacao (*Theobroma cacao* L.) como infusión: caso Tungurahua-Ecuador. *Cuadernos de Contabilidad, 20*(50), 1-14. https://doi.org/10.11144/JAVERIANA.CC20-50.EICC

Tomas-Barberán, F. A., Cienfuegos-Jovellanos, E., Marín, A., Muguerza, B., Gil-Izquierdo, A., Cerdá, B., Zafrilla, P., Morillas, J., Mulero, J., Ibarra, A., Pasamar, M. A., Ramón, D., & Espín, J. C. (2007). A New Process to Develop a Cocoa Powder with Higher Flavonoid Monomer Content and Enhanced Bioavailability in Healthy Humans. *Journal of Agricultural and Food Chemistry, 55*(10), 3926-3935. https://doi.org/10.1021/jf070121j

Toro-Uribe, S., Godoy-Chivatá, J., Villamizar-Jaimes, A. R., Perea-Flores, M. de J., & López-Giraldo, L. J. (2020). Insight of Polyphenol Oxidase Enzyme Inhibition and Total Polyphenol Recovery from Cocoa Beans. *Antioxidants, 9*(6), 458. https://doi.org/10.3390/antiox9060458

Toro-Uribe, S., López-Giraldo, L. J., Alvarez-Rivera, G., Ibáñez, E., & Herrero, M. (2019). Insight of Stability of Procyanidins in Free and Liposomal Form under an in Vitro Digestion Model: Study of Bioaccessibility, Kinetic Release Profile, Degradation, and Antioxidant Activity. *Journal of Agricultural and Food Chemistry, 67*(7), 1990-2003. https://doi.org/10.1021/acs.jafc.9b00351

Toro-Uribe, S., Montero, L., López-Giraldo, L., Ibáñez, E., & Herrero, M. (2018). Characterization of secondary metabolites from green cocoa beans using focusing-modulated comprehensive two-dimensional liquid chromatography coupled to tandem mass spectrometry. *Analytica Chimica Acta, 1036*, 204-213. https://doi.org/10.1016/j.aca.2018.06.068

Unión Internacional para la Protección de las Obtenciones Vegetales [UPOV]. (2011). *Directrices para la ejecución del examen de la distinción, la homogeneidad y la estabilidad.* UPOV. https://www.upov.int/edocs/mdocs/upov/es/tc/47/tg_cacao_proj_4.pdf

Villamil C., J. E., Sierra A., L. J., Olarte L., Y., Mosquera E., A. T., Fajardo C., J. D., Pinzón, E. H., & Martínez O., J. W. (2016). Integración de prácticas culturales y control biológico para el manejo de *Moniliophthora roreri* Cif & Par. *Revista de Ciencias Agrícolas, 32*(2), 13. https://doi.org/10.22267/rcia.153202.9

Wollgast, J. & Anklam, E. (2000). Review on polyphenols in *Theobroma cacao*: changes in composition during the manufacture of chocolate and methodology for identification and quantification. *Food Research International, 33*(6), 423-447. https://doi.org/10.1016/S0963-9969(00)00068-5

Zambrano, A., Romero, C., Gómez, Á., Ramos, G., Lacruz, C., Brunetto, M. del R., Máximo, G., Gutiérrez, L., & Delgado, Y. (2010). Evaluación química de precursores de aroma y sabor del cacao criollo merideño durante la fermentación en dos condiciones edafoclimáticas. *Agronomía Tropical, 60*(2), 211-219. http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0002-192X2010000200010&lng=es&nrm=iso&tlng=es



Anexos

A continuación se presentan las fichas técnicas con las características morfológicas, agronómicas, físicas, químicas, funcionales y sensoriales de los 24 genotipos de cacao evaluados en el departamento de Santander.

En cada ficha técnica se presentan las características morfológicas y agronómicas en forma tabulada acompañadas de su respectiva imagen para árbol, hoja, flor, fruto y almendra. También se presentan las características físicas, químicas y funcionales en forma tabulada, expresadas como el promedio más o menos la desviación estándar. Adicionalmente, se presenta el perfil sensorial de cata para 13 de los 24 genotipos de cacao evaluados y el perfil sensorial predicho para todos los genotipos.



Foto: Andrés Agudelo Castañeda

TCS 01

Origen: Coper (Boyacá)
Seleccionado por:
Gildardo Efraín Palencia C.
Genaro Andrés Agudelo
Año de colecta: 2006
Pedigrí: selección natural participativa
Productividad/árbol/año (kg): 3,33
Índice de mazorca (IM): 9
Índice de grano (IG): 2,72 ± 0,2
Compatibilidad: autocompatible (AC)
Incidencia de monilia: 17,3 %

Hojas



Foto: Carol Castro

Longitud (cm):	30
Ancho (cm):	13
Tamaño:	Mediano
Forma de la base:	Aguda
Intensidad del color verde:	Oscuro
Forma del ápice:	Acuminado
Color de la hoja joven:	Rojo oscuro

Flor



Foto: Carol Castro

Pigmentación antociánica del pedicelo:	Fuerte
Pigmentación antociánica del sépalo:	Fuerte
Color de la lígula:	Amarillo
Pigmentación antociánica del estaminodio:	Media
Longitud del sépalo (mm):	8,67
Ancho del sépalo (mm):	2,77
Longitud del sépalo:	Larga
Anchura del sépalo (mm):	Ancho

Fruto

Forma:	Oblonga
Constricción basal:	Ausente
Forma del ápice:	Agudo
Superficia:	Muy rugoso
Profundidad de los surcos:	Media
Color:	Anaranjado
Peso (g):	1.048
Diámetro (cm):	13
Longitud (cm):	32
Número de almendras:	38
Peso húmedo almendras (g):	310
Grosor del exocarpio:	Medio



Foto: Carol Castro

Almendras



Foto: Carol Castro

Longitud (cm):	3,5
Ancho (cm):	1,8
Ancho (cm):	1,3
Color:	Rosa - rojo oscuro
% almendra:	87,29
% cascarilla:	9,5 a 12,71
Forma en sección longitudinal:	Elíptica
pH:	3,7
° Brix:	16

Cont. de ácidos grasos

% palmítico (C 16:0):	27,52 ± 0,34
% esteárico (C 18:0):	36,38 ± 0,09
% oleico (C 18:1):	32,01 ± 0,29

Características fisicoquímicas

% humedad:	4,79 ± 0,18
% ceniza:	2,71 ± 0,02
% grasa:	57,03 ± 0,12
% fibra cruda:	12,77 ± 0,41
% proteína:	3,09 ± 0,06
% carbohidratos:	22,72 ± 0,14
Acidez:	1,14 ± 0,10

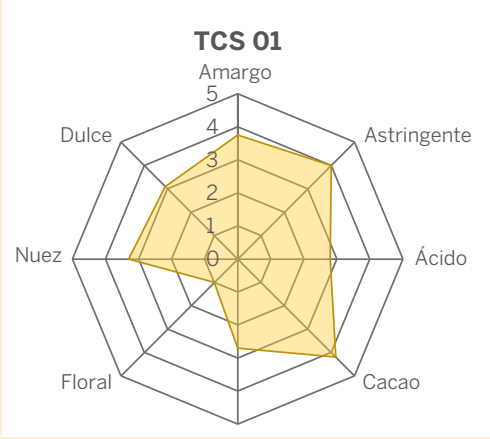
Sustancias funcionales

Polifenoles totales (mg EAG/g muestra seca):	35,62 ± 1,39
Teobromina (mg/g muestra seca):	9,28 ± 0,16
Cafeina (mg/g muestra seca):	3,73 ± 0,27
Teobromina/ cafeina:	2,51 ± 0,22
Catequina (mg/g muestra seca):	0,51 ± 0,02
Epicatequina (mg/g muestra seca):	7,07 ± 0,26
Procianidinas (B1 + B2) (mg procianidina/g muestra seca):	0,73 ± 0,05

Actividad antioxidante

Método ORAC TEAC (µmol Tx/g):	732,25 ± 25,75
Método ABTS TEAC (µmol Tx/g):	127,75 ± 14,35
Método DPPH TEAC (µmol Tx/g):	49,75 ± 11,35

Perfil sensorial



Muestra con sabor amargo medio acompañado de notas afrutadas de frutos cítricos y amarillos, finaliza con notas ligeras de frutos deshidratados acompañado del sabor a cacao y notas de nuez. Muestra con perfil balanceado.

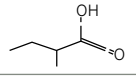
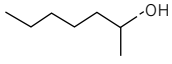
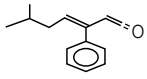
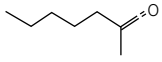
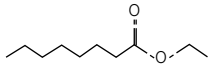
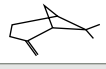
Perfil sensorial experimental *vs.* predicho

Atributo	Cata	Predicho
Cacao	**4,2**	3,36 ± 0,45
Floral	1,0	0,15
Frutal	2,7	1,97 ± 0,56
Nuez	3,3	2,38 ± 0,54
Dulce	3,1	2,45 ± 0,4
Ácido	2,8	3,57 ± 0,53
Amargo	3,75	N. C.*
Astringente	4,0	N. C.*

Los colores representan la escala cualitativa **ausente (0-1)**, **bajo (1-3)** y **medio (3-6)**.

* N. C.: no calculado.

Compuestos volátiles

Familia de compuestos	N°	Compuesto	Concentración (mg/kg)	Percepción sensorial*
Ácidos 	1	Ácido 3-metilbutanoico	6,25 ± 2,65	Rancio, queso
	2	Ácido 2-metilbutanoico	3,8 ± 1,8	Rancio, queso
Alcoholes 	3	2-heptanol	1,55 ± 0,75	Cítrico
	4	2-nonanol	2,7 ± 1,4	Dulce
	5	2-feniletanol	14,2 ± 3,8	Floral
Aldehídos 	6	Benzaldehido	12,2 ± 0,5	Amargo
	7	5-metil-2-fenil-2-hexenal	0,3 ± 0,1	Cacao, dulce, ron
Cetonas 	8	2-nonanona	0,8 ± 0,1	N. D.
	9	2-heptatona	0,2	Frutal
	10	2-undecanona	0	N. D.
Ésteres 	11	Octanoato de etilo	2,15 ± 0,75	Floral, frutal
	12	2-fenilacetato	2,65 ± 0,05	Floral
	13	Acetato de 2-feniletilo	30,7 ± 10,7	Floral
	14	Dodecanonato de etilo	4,6 ± 3,5	Floral, coñac
Pirazina 	15	2,3,5,6-tetrametilpirazina	20,2 ± 9,8	Madera, pino, verde
Otros 	16	B-pineno	0,15 ± 0,05	Nuez

*Percepción sensorial de compuesto puro

TCS 02



Foto: Jiner Niño

Origen: San Vicente (Santander)
Seleccionado por:
Orlando Arguello Castellanos,
Luis Antonio Mejía, Nelson Contreras
Año de colecta: 1998
Pedigrí: selección natural
Productividad/árbol/año (kg): 1,6
Índice de mazorca (IM): 12 ± 2
Índice de grano (IG): 1,89 ± 0,2
Compatibilidad: autoincompatible (AI)
Incidencia de monilia: 14,8 %

Hojas



Foto: Carol Castro

Longitud (cm):	28-30
Ancho (cm):	11-13
Tamaño:	Pequeño
Forma de la base:	Redondeada
Intensidad del color verde:	Oscuro
Forma de ápice:	Acuminada
Color de la hoja joven:	Rojo claro

Flor



Foto: Carol Castro

Pigmentación antociánica del pedicelo:	Deficiente
Pigmentación antociánica del sépalo:	Deficiente
Color dela lígula:	Amarillo crema
Pigmentación antociánica del estaminodio:	Fuerte
Longitud del sépalo (mm):	8,4
Ancho del sépalo (mm):	2,3
Longitud del sépalo:	Larga
Anchura del sépalo (mm):	Media

Fruto

Forma:	Oblonga
Constricción basal:	Moderada
Forma del ápice:	Entallado
Superficie:	Moderadamente rugosa
Profundidad de los surcos:	Profunda
Color:	Amarillo
Peso (g):	851
Diámetro (cm):	8,9
Longitud (cm):	27
Número de almendras:	28
Peso húmedo almendras (g):	203
Grosor del exocarpio:	Medio



Foto: Carol Castro

Almendras



Foto: Carol Castro

Longitud (cm):	2,9
Ancho (cm):	1,5
Ancho (cm):	1,1
Color:	Púrpura
% almendra:	86,43
% cascarilla:	13,57
Forma en sección longitudinal:	Elíptica
pH:	3,8
° Brix:	18

Cont. de ácidos grasos

% palmítico (C 16:0):	27,65 ± 1,18
% esteárico (C 18:0):	36,72 ± 0,33
% oleico (C 18:1):	30,95 ± 1,02

Características fisicoquímicas

% humedad:	5,07 ± 0,22
% ceniza:	2,72 ± 0,14
% grasa:	55,36 ± 1,28
% fibra cruda:	12,62 ± 0,13
% proteína:	2,89 ± 0,44
% carbohidratos:	24,22 ± 0,82
Acidez:	1,49 ± 0,38

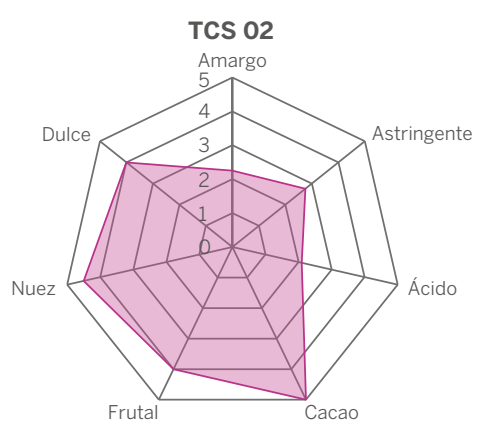
Sustancias funcionales

Polifenoles totales (mg EAG/g muestra seca):	32,01 ± 7,21
Teobromina (mg/g muestra seca):	8,94 ± 1,42
Cafeina (mg/g muestra seca):	1,93 ± 0,16
Teobromina/ cafeina:	4,73 ± 1,12
Catequina (mg/g muestra seca):	0,36
Epicatequina (mg/g muestra seca):	5,08 ± 1,81
Procianidinas (B1 + B2) (mg procianidina/g muestra seca):	0,62 ± 0,28

Actividad antioxidante

Método ORAC TEAC (µmol Tx/g):	473,50 ± 165,5
Método ABTS TEAC (µmol Tx/g):	163,10 ± 0,3
Método DPPH TEAC (µmol Tx/g):	219,30 ± 82

Perfil sensorial



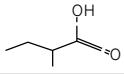
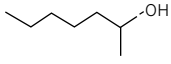
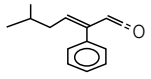
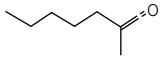
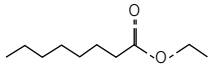
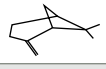
Muestra con notas altas de cacao, acompañada de notas de cardamomo, frutos rojos y nuez. Muestra balanceada y explosiva en boca

Perfil sensorial experimental *vs.* predicho

Atributo	Cata	Predicho
Cacao	5	3,83 ± 1,19
Floral	0	0,42 ± 0,24
Frutal	4	2,56 ± 1,53
Nuez	4,5	2,94 ± 1,61
Dulce	4	2,87 ± 1,01
Ácido	2,1	3,02 ± 1,27
Amargo	3	N. C.*
Astringente	2,75	N. C.*

Los colores representan la escala cualitativa **ausente (0-1)**, **bajo (1-3)** y **medio (3-6)**.
* N. C.: no calculado.

Compuestos volátiles

Familia de compuestos	N°	Compuesto	Concentración (mg/kg)	Percepción sensorial*
Ácidos 	1	Ácido 3-metilbutanoico	1,4 ± 0,9	Rancio, queso
	2	Ácido 2-metilbutanoico	2,65 ± 1,55	Rancio, queso
Alcoholes 	3	2-heptanol	0,85 ± 0,05	Cítrico
	4	2-nonanol	1,7 ± 0,2	Dulce
	5	2-feniletanol	18 ± 10,4	Floral
Aldehídos 	6	Benzaldehido	12,55 ± 4,95	Amargo
	7	5-metil-2-fenil-2-hexenal	0,3	Cacao, dulce, ron
Cetonas 	8	2-nonanona	0,55 ± 0,05	N. D.
	9	2-heptatona	0,15 ± 0,05	Frutal
	10	2-undecanona	0	N. D.
Ésteres 	11	Octanoato de etilo	3,3 ± 0,7	Floral, frutal
	12	2-fenilacetato	2,65 ± 0,05	Floral
	13	Acetato de 2-feniletilo	44,85 ± 33,45	Floral
	14	Dodecanonato de etilo	3,75 ± 2,95	Floral, coñac
Pirazina 	15	2,3,5,6-tetrametilpirazina	27,15 ± 23,65	Madera, pino, verde
Otros 	16	B-pineno	0,1	Nuez

*Percepción sensorial de compuesto puro



Foto: Jiner Niño Solano

TCS 03

Origen: C. I. La Suiza (AGROSAVIA)
Seleccionado por:
Gildardo Efraín Palencia C.
Año de colecta: 2005
Pedigrí: SCC 61 × ICS 95
Productividad/árbol/año (kg): 1,8
Índice de mazorca (IM): 15 ± 2
Índice de grano (IG): 1,74 ± 0,2
Compatibilidad: autoincompatible (AI)
Incidencia de monilia: 8,6 %

Hojas



Foto: Carol Castro

Longitud (cm):	30-34
Ancho (cm):	12,5
Tamaño:	Mediano
Forma de la base:	Obtusa
Intensidad del color verde:	Medio
Forma del ápice:	Acuminada
Color de la hoja joven:	Rojo oscuro

Flor



Foto: Carol Castro

Pigmentación antociánica del pedicelo:	Fuerte
Pigmentación antociánica del sépalo:	Medio
Color de la lígula:	Amarillo
Pigmentación antociánica del estaminodio:	Medio
Longitud del sépalo (mm):	9,5
Ancho del sépalo (mm):	2,6
Longitud del sépalo:	Larga
Anchura del sépalo (mm):	Medio

Fruto

Forma:	Oblonga
Constricción basal:	Ausente o muy débil
Forma del ápice:	Entallado
Superficie:	Moderadamente rugosa
Profundidad de los surcos:	Poco profundo
Color:	Rojo medio
Peso (g):	834
Diámetro (cm):	9
Longitud (cm):	30,8
Número de almendras:	31
Peso húmedo almendras (g):	147
Grosor del exocarpio:	Medio



Foto: Carol Castro

Almendras



Foto: Carol Castro

Longitud (cm):	2,5
Ancho (cm):	1,4
Grosor (cm):	1,1
Color:	Rosa - púrpura
% almendra:	88,37
% cascarilla:	11,63
Forma en sección longitudinal:	Ovado
pH:	3,3
° Brix:	18

Cont. de ácidos grasos

% palmítico (C 16:0):	29,45 ± 0,74
% esteárico (C 18:0):	33,73 ± 0,45
% oleico (C 18:1):	32,64 ± 0,23

Características fisicoquímicas

% humedad:	5,42 ± 0,19
% ceniza:	3,27 ± 0,07
% grasa:	54,68 ± 0,47
% fibra cruda:	12,52 ± 0,48
% proteína:	3,79 ± 0,66
% carbohidratos:	24,12 ± 0,26
Acidez:	1,25 ± 0,26

Sustancias funcionales

Polifenoles totales (mg EAG/g muestra seca):	29,29 ± 0,46
Teobromina (mg/g muestra seca):	911,56 ± 1,43
Cafeina (mg/g muestra seca):	3,65 ± 1,17
Teobromina/ cafeina:	3,39 ± 0,69
Catequina (mg/g muestra seca):	1,66 ± 0,16
Epicatequina (mg/g muestra seca):	1,88 ± 0,43
Procianidinas (B1 + B2) (mg procianidina/g muestra seca):	1,06

Actividad antioxidante

Método ORAC TEAC (µmol Tx/g):	895,00 ± 237
Método ABTS TEAC (µmol Tx/g):	170,55 ± 54,65
Método DPPH TEAC (µmol Tx/g):	144,75 ± 18,65



Foto: Lucero Rodríguez



Foto: Eliana Báez Daza

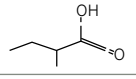
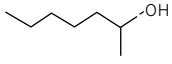
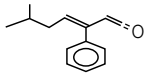
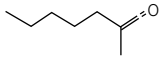
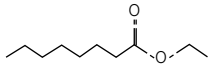
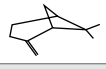
Perfil sensorial experimental *vs.* predicho

Atributo	Predicho
Cacao	2,95 ± 0,21
Floral	0,44
Frutal	1,43 ± 0,25
Nuez	1,74 ± 0,2
Dulce	2,11 ± 0,2
Ácido	3,98 ± 0,27
Amargo	N. C.*
Astringente	N. C.*

Los colores representan la escala cualitativa **ausente (0-1)**, **bajo (1-3)** y **medio (3-6)**.

* N. C.: no calculado.

Compuestos volátiles

Familia de compuestos	N°	Compuesto	Concentración (mg/kg)	Percepción sensorial*
Ácidos 	1	Ácido 3-metilbutanoico	3,35 ± 1,75	Rancio, queso
	2	Ácido 2-metilbutanoico	1,75 ± 1,05	Rancio, queso
Alcoholes 	3	2 -heptanol	0,25 ± 0,05	Cítrico
	4	2-nonanol	0,85 ± 0,25	Dulce
	5	2-feniletanol	10,45 ± 2,65	Floral
Aldehídos 	6	Benzaldehido	6,5 ± 0,3	Amargo
	7	5 -metil-2-fenil-2-hexenal	0,2	Cacao, dulce, ron
Cetonas 	8	2-nonanona	0,3	N. D.
	9	2-heptatona	0,1	Frutal
	10	2-undecanona	0	N. D.
Ésteres 	11	Octanoato de etilo	3,8 ± 0,8	Floral, frutal
	12	2-fenilacetato	2,45 ± 0,75	Floral
	13	Acetato de 2-feniletilo	22,15 ± 4,65	Floral
	14	Dodecanonato de etilo	0,8	Floral, coñac
Pirazina 	15	2,3,5,6-tetrametilpirazina	7,35 ± 3,75	Madera, pino, verde
Otros 	16	B-pineno	0,1	Nuez

*Percepción sensorial de compuesto puro



Foto: Eliana Báez Daza

TCS 04

Origen: Villa Rica (Tolima)
Seleccionado por:
Gildardo Efraín Palencia C.
Genaro Andrés Agudelo C.
Año de colecta: 2011
Pedigrí: selección natural participativa
Productividad/árbol/año (kg): 1,34
Índice de mazorca (IM): 13 ± 2
Índice de grano (IG): 1,84 ± 0,2
Compatibilidad: autocompatible (AC)
Incidencia de monilia: 14,6 %

Hojas



Foto: Carol Castro

Longitud (cm):	31-32
Ancho (cm):	12
Tamaño:	Pequeño
Forma de la base:	Cordiforme
Intensidad del color verde:	Oscuro
Forma de ápice:	Acuminado
Color de la hoja joven:	Rojo oscuro

Flor



Foto: Eliana Báez Daza

Pigmentación antociánica del pedicelo:	Fuerte
Pigmentación antociánica del sépalo:	Deficiente
Color dela lígula:	Amarillo crema
Pigmentación antociánica del estaminodio:	Medio
Longitud del sépalo (mm):	10,5
Ancho del sépalo (mm):	2,7
Longitud del sépalo:	Larga
Anchura del sépalo (mm):	Ancho

Fruto

Forma:	Elíptica
Constricción basal:	Moderado
Forma del ápice:	Obtuso
Superficie:	Lisa o ligeramente rugosa
Profundidad de los surcos:	Poco profundos
Color:	Rojo medio
Peso (g):	1.053
Diámetro (cm):	9,9
Longitud (cm):	24,6
Número de almendras:	36
Peso húmedo almendras (g):	188
Grosor del exocarpio:	Grueso



Foto: Eliana Báez Daza

Almendras



Foto: Eliana Báez Daza

Longitud (cm):	2,9
Ancho (cm):	1,5
Ancho (cm):	1,0
Color:	Púrpura
% almendra:	85,56
% cascarilla:	14,44
Forma en sección longitudinal:	Elíptica
pH:	3,8
° Brix:	15

Cont. de ácidos grasos

% palmítico (C 16:0):	28,91 ± 0,85
% esteárico (C 18:0):	33,82 ± 0,20
% oleico (C 18:1):	32,78 ± 0,94

Características fisicoquímicas

% humedad:	5,47 ± 0,31
% ceniza:	2,61 ± 0,08
% grasa:	52,39 ± 0,38
% fibra cruda:	12,63 ± 0,21
% proteína:	2,51 ± 0,28
% carbohidratos:	26,90 ± 0,40
Acidez:	1,28 ± 0,09

Sustancias funcionales

Polifenoles totales (mg EAG/g muestra seca):	39,02 ± 2,04
Teobromina (mg/g muestra seca):	10,87 ± 0,52
Cafeina (mg/g muestra seca):	2,54 ± 0,47
Teobromina/ cafeina:	4,40 ± 0,60
Catequina (mg/g muestra seca):	3,78 ± 0,41
Epicatequina (mg/g muestra seca):	4,61 ± 0,12
Procianidinas (B1 + B2) (mg procianidina/g muestra seca):	N. D.

Actividad antioxidante

Método ORAC TEAC (µmol Tx/g):	1238,50 ± 55,5
Método ABTS TEAC (µmol Tx/g):	168,86 ± 7,96
Método DPPH TEAC (µmol Tx/g):	169,94 ± 45,16



Foto: Eliana Báez Daza



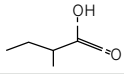
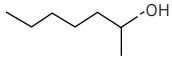
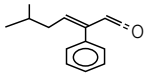
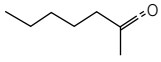
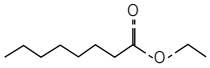
Foto: Lucero Rodríguez

Perfil sensorial experimental *vs.* predicho

Atributo	Predicho
Cacao	2,53 ± 0,018
Floral	0
Frutal	0,93 ± 0,024
Nuez	1,36 ± 0,024
Dulce	1,72 ± 0,019
Ácido	4,51 ± 0,025
Amargo	N. C.*
Astringente	N. C.*

Los colores representan la escala cualitativa **ausente (0-1)**, **bajo (1-3)** y **medio (3-6)**.
* N. C.: no calculado.

Compuestos volátiles

Familia de compuestos	N°	Compuesto	Concentración (mg/kg)	Percepción sensorial*
Ácidos 	1	Ácido 3-metilbutanoico	4,35 ± 1,35	Rancio, queso
	2	Ácido 2-metilbutanoico	2,9 ± 1,2	Rancio, queso
Alcoholes 	3	2-heptanol	1,7 ± 0,5	Cítrico
	4	2-nonanol	1,5 ± 0,2	Dulce
	5	2-feniletanol	3,45 ± 0,05	Floral
Aldehídos 	6	Benzaldehido	3,05 ± 0,05	Amargo
	7	5 -metil-2-fenil-2-hexenal	0,3 ± 0,2	Cacao, dulce, ron
Cetonas 	8	2-nonanona	0,7 ± 0,2	N. D.
	9	2-heptatona	0,2 ± 0,1	Frutal
	10	2-undecanona	0	N. D.
Ésteres 	11	Octanoato de etilo	3,35 ± 0,45	Floral, frutal
	12	2-fenilacetato	1,4 ± 0,2	Floral
	13	Acetato de 2 - feniletilo	8,45 ± 0,45	Floral
	14	Dodecanonato de etilo	0,9 ± 0,1	Floral, coñac
Pirazina 	15	2,3,5,6-tetrametilpirazina	6,45 ± 1,35	Madera, pino, verde
Otros 	16	B-pineno	0,15 ± 0,05	Nuez

*Percepción sensorial de compuesto puro



Foto: Jiner Niño Solano

TCS 05

Origen: Coper (Boyacá)
Seleccionado por:
Gildardo Efraín Palencia C.
Genaro Andrés Agudelo C.
Año de colecta: 2011
Pedigrí: selección natural participativa
Productividad/árbol/año (kg): 1,04
Índice de mazorca (IM): 18 ± 1
Índice de grano (IG): 1,77 ± 0,2
Compatibilidad: autocompatible (AC)
Incidencia de monilia: 11,5 %

Hojas



Foto: Carol Castro

Longitud (cm):	29-32
Ancho (cm):	12-13
Tamaño:	Pequeño
Forma de la base:	Aguda
Intensidad del color verde:	Oscuro
Forma del ápice:	Acuminada
Color de la hoja joven:	Café

Flor

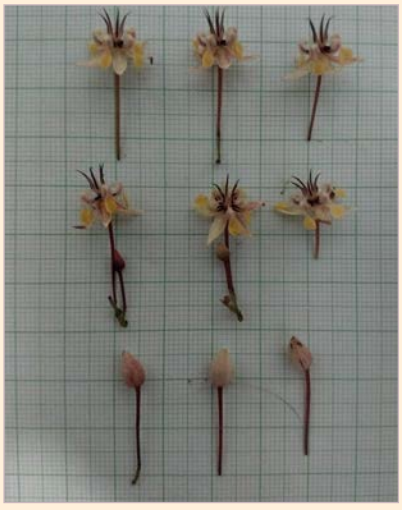


Foto: Eliana Báez Daza

Pigmentación antociánica del pedicelo:	Fuerte
Pigmentación antociánica del sépalo:	Medio
Color de la lígula:	Amarillo
Pigmentación antociánica del estaminodio:	Media
Longitud del sépalo (mm):	8,2
Ancho del sépalo (mm):	2,6
Longitud del sépalo:	Larga
Anchura del sépalo (mm):	Ancho

Fruto

Forma:	Oblonga
Constricción basal:	Débil
Forma del ápice:	Agudo
Superficie:	Moderadamente rugosa
Profundidad de los surcos:	Media
Color:	Rojo medio
Peso (g):	900
Diámetro (cm):	9,1
Longitud (cm):	28
Número de almendras:	33
Peso húmedo almendras (g):	152
Grosor del exocarpio:	Medio



Foto: Carol Castro

Almendras



Foto: Eliana Báez Daza

Longitud (cm):	2,8
Ancho (cm):	1,5
Grosor (cm):	1,1
Color:	Rosada-crema
% almendra:	87,13
% cascarilla:	12,87
Forma en sección longitudinal:	Elíptica
pH:	3,3
° Brix:	18

Cont. de ácidos grasos

% palmítico (C 16:0):	26,95 ± 1,26
% esteárico (C 18:0):	35,61 ± 0,31
% oleico (C 18:1):	33,23 ± 0,58

Características fisicoquímicas

% humedad:	6,66 ± 1,15
% ceniza:	3,35 ± 0,32
% grasa:	52,31 ± 0,41
% fibra cruda:	13,32 ± 0,69
% proteína:	3,05 ± 0,71
% carbohidratos:	24,43 ± 1,79
Valor calórico (kcal/100 g):	621,50 ± 7,95
Acidez:	1,14 ± 0,04

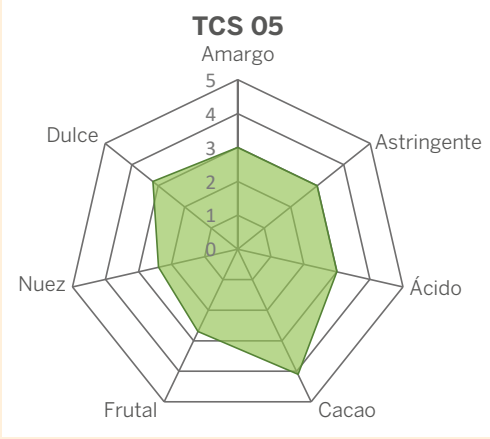
Sustancias funcionales

Polifenoles totales (mg EAG/g muestra seca):	24,57 ± 5,81
Teobromina (mg/g muestra seca):	11,02 ± 3,80
Cafeina (mg/g muestra seca):	3,76 ± 0,66
Teobromina/ cafeina:	3,21 ± 1,57
Catequina (mg/g muestra seca):	1,85 ± 0,37
Epicatequina (mg/g muestra seca):	2,53 ± 0,81
Procianidinas (B1 + B2) (mg procianidina/g muestra seca):	0,45 ± 0,45

Actividad antioxidante

Método ORAC TEAC (µmol Tx/g):	817,00 ± 17
Método ABTS TEAC (µmol Tx/g):	191,55 ± 184,35
Método DPPH TEAC (µmol Tx/g):	116,25 ± 46,15

Perfil sensorial



En un primer momento la muestra presenta notas de cacao predominantes acompañadas de notas frutales, cítricos y notas florales de flor de naranjo. En la mitad de la cata resalta el sabor de nuez, cardamomo y notas herbales.

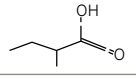
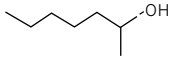
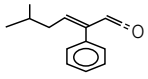
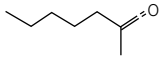
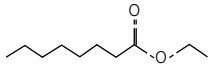
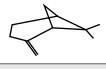
Perfil sensorial experimental *vs.* predicho

Atributo	Cata	Predicho
Cacao	3,9	3,00 ± 0,70
Floral	0	0,61
Frutal	2,7	1,55 ± 0,82
Nuez	2	2,09 ± 0,53
Dulce	2,4	2,10 ± 0,68
Ácido	3,3	4,06 ± 0,94
Amargo	3,75	N. C.*
Astringente	3,25	N. C.*

Los colores representan la escala cualitativa **ausente (0-1)**, **bajo (1-3)** y **medio (3-6)**.

* N. C.: no calculado.

Compuestos volátiles

Familia de compuestos	N°	Compuesto	Concentración (mg/kg)	Percepción sensorial*
Ácidos 	1	Ácido 3-metilbutanoico	1,5 ± 0,7	Rancio, queso
	2	Ácido 2-metilbutanoico	1,7	Rancio, queso
Alcoholes 	3	2-heptanol	1,4	Cítrico
	4	2-nonanol	1,9 ± 0,2	Dulce
	5	2-feniletanol	10,3 ± 6,9	Floral
Aldehídos 	6	Benzaldehido	12,1	Amargo
	7	5-metil-2-fenil-2-hexenal	0,35 ± 0,15	Cacao, dulce, ron
Cetonas 	8	2-nonanona	0,45 ± 0,15	N. D.
	9	2-heptatona	0,2	Frutal
	10	2-undecanona	0,1	N. D.
Ésteres 	11	Octanoato de etilo	3,0	Floral, frutal
	12	2-fenilacetato	5,45 ± 2,25	Floral
	13	Acetato de 2-feniletilo	46,1	Floral
	14	Dodecanonato de etilo	19,7 ± 14,4	Floral, coñac
Pirazina 	15	2,3,5,6-tetrametilpirazina	9,7 ± 6,1	Madera, pino, verde
Otros 	16	B-pineno	0,1	Nuez

*Percepción sensorial de compuesto puro



Foto: Eliana Báez Daza

TCS 06

Origen: Coper (Boyacá)
Seleccionado por:
Gildardo Efraín Palencia C.
Genaro Andrés Agudelo C.
Año de colecta: 2008
Pedigrí: selección varietal participativa
Productividad/árbol/año (kg): 2
Índice de mazorca (IM): 12 ± 2
Índice de grano (IG): 1,79 ± 0,2
Compatibilidad: autoincompatible (AI)
Incidencia de monilia: 2 %

Hojas



Foto: Carol Castro

Longitud (cm):	30
Ancho (cm):	12
Tamaño:	Pequeño
Forma de la base:	Cordiforme
Intensidad del color verde:	Oscuro
Forma de ápice:	Acuminado
Color de la hoja joven:	Rojo oscuro

Flor



Foto: Carol Castro

Pigmentación antociánica del pedicelo:	Deficiente
Pigmentación antociánica del sépalo:	Deficiente
Color dela lígula:	Amarillo
Pigmentación antociánica del estaminodio:	Media
Longitud del sépalo (mm):	7,93
Ancho del sépalo (mm):	2,32
Longitud del sépalo:	Media
Anchura del sépalo (mm):	Media

Fruto

Forma:	Oblonga
Constricción basal:	Moderado
Forma del ápice:	Agudo
Superficie:	Rugosa
Profundidad de los surcos:	Ausente o muy poco profunda
Color:	Anaranjado
Peso (g):	1.028
Diámetro (cm):	9,81
Longitud (cm):	27,6
Número de almendras:	41-42
Peso húmedo almendras (g):	246
Grosor del exocarpio:	Delgado



Foto: Eliana Báez Daza

Almendras



Foto: Eliana Báez Daza

Longitud (cm):	2,49
Ancho (cm):	1,52
Ancho (cm):	1
Color:	Púrpura y rojo oscuro
% almendra:	87,27
% cascarilla:	12,73
Forma en sección longitudinal:	Elíptica
pH:	3,9
° Brix:	17

Cont. de ácidos grasos

% palmítico (C 16:0):	28,97 ± 0,53
% esteárico (C 18:0):	35,03 ± 0,23
% oleico (C 18:1):	31,59 ± 0,35

Características fisicoquímicas

% humedad:	3,98 ± 0,06
% ceniza:	2,77 ± 0,02
% grasa:	55,49 ± 0,35
% fibra cruda:	12,49 ± 0,09
% proteína:	3,18 ± 0,10
% carbohidratos:	25,28 ± 0,52
Acidez:	1,38 ± 0,21

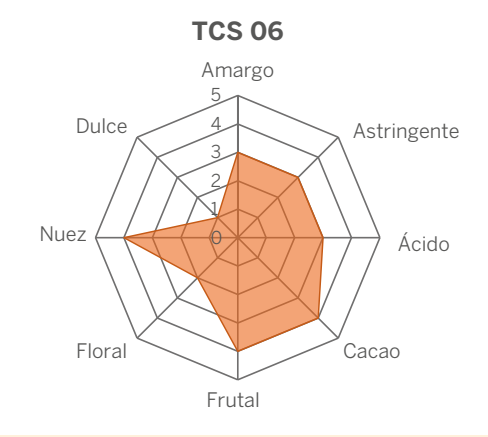
Sustancias funcionales

Polifenoles totales (mg EAG/g muestra seca):	36,94 ± 0,97
Teobromina (mg/g muestra seca):	12,89 ± 0,18
Cafeina (mg/g muestra seca):	1,61 ± 0,01
Teobromina/ cafeina:	8,03 ± 0,09
Catequina (mg/g muestra seca):	1,23 ± 0,06
Epicatequina (mg/g muestra seca):	5,21 ± 0,59
Procianidinas (B1 + B2) (mg procianidina/g muestra seca):	N. D.

Actividad antioxidante

Método ORAC TEAC (µmol Tx/g):	1250,50 ± 24,5
Método ABTS TEAC (µmol Tx/g):	362,50 ± 5,49
Método DPPH TEAC (µmol Tx/g):	241,32 ± 11,83

Perfil sensorial



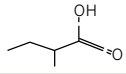
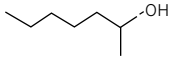
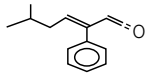
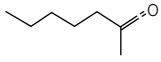
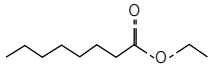
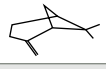
La muestra presenta un buen sabor a cacao desde el inicio de la cata hasta el final, acompañado de notas frutales (frutos cítricos) y agridulces, finaliza con notas de nuez y almendras, lo cual hace que la muestra sea redonda y balanceada.

Perfil sensorial experimental *vs.* predicho

Atributo	Cata	Predicho
Cacao	4	2,25
Floral	2	0
Frutal	4	0,57
Nuez	4	1,08
Dulce	1	1,46
Ácido	3	4,86
Amargo	3	N. C.*
Astringente	3	N. C.*

Los colores representan la escala cualitativa **ausente (0-1)**, **bajo (1-3)** y **medio (3-6)**.
* N. C.: no calculado.

Compuestos volátiles

Familia de compuestos	N°	Compuesto	Concentración (mg/kg)	Percepción sensorial*
Ácidos 	1	Ácido 3-metilbutanoico	19,3	Rancio, queso
	2	Ácido 2-metilbutanoico	0,1	Rancio, queso
Alcoholes 	3	2-heptanol	1,1	Cítrico
	4	2-nonanol	4,3	Dulce
	5	2-feniletanol	1,5	Floral
Aldehídos 	6	Benzaldehido	0,4	Amargo
	7	5 -metil-2-fenil-2-hexenal	0	Cacao, dulce, ron
Cetonas 	8	2-nonanona	0,7	N. D.
	9	2-heptatona	0,027	Frutal
	10	2-undecanona	0	N. D.
Ésteres 	11	Octanoato de etilo	2	Floral, frutal
	12	2-fenilacetato	22,6	Floral
	13	Acetato de 2-feniletilo	1,1	Floral
	14	Dodecanonato de etilo	0	Floral, coñac
Pirazina 	15	2,3,5,6-tetrametilpirazina	2,1	Madera, pino, verde
Otros 	16	B-pineno	0	Nuez

*Percepción sensorial de compuesto puro



Foto: Jiner Niño Solano

TCS 08

Origen: Muzo (Boyacá)
Seleccionado por:
Gildardo Efraín Palencia C.
Genaro Andrés Agudelo C.
Año de colecta: 2011
Pedigrí: selección natural participativa
Productividad/árbol/año (kg): 0,94
Índice de mazorca (IM): 17 ± 1
Índice de grano (IG): 1,76 ± 0,2
Compatibilidad: autocompatible (AC)
Incidencia de monilia: 13,9 %

Hojas



Foto: Carol Castro

Longitud (cm):	26-28
Ancho (cm):	10-11
Tamaño:	Pequeño
Forma de la base:	Redondeada
Intensidad del color verde:	Oscuro
Forma del ápice:	Acuminada
Color de la hoja joven:	Café

Flor



Foto: Carol Castro

Pigmentación antociánica del pedicelo:	Fuerte
Pigmentación antociánica del sépalo:	Ausente
Color de la lígula:	Amarillo
Pigmentación antociánica del estaminodio:	Deficiente
Longitud del sépalo (mm):	9,4
Ancho del sépalo (mm):	2,5
Longitud del sépalo:	Larga
Anchura del sépalo (mm):	Media

Fruto

Forma:	Elíptica
Constricción basal:	Ausente
Forma del ápice:	Obtuso
Superficie:	Muy rugosa
Profundidad de los surcos:	Ausente o muy poco profunda
Color:	Amarillo
Peso (g):	737
Diámetro (cm):	8,9
Longitud (cm):	24,6
Número de almendras:	33
Peso húmedo almendras (g):	87
Grosor del exocarpio:	Grueso



Foto: Eliana Báez Daza

Almendras



Foto: Eliana Báez Daza

Longitud (cm):	2,3
Ancho (cm):	1,5
Grosor (cm):	1,1
Color:	Rojo oscuro-crema
% almendra:	87,68
% cascarilla:	12,33
Forma en sección longitudinal:	Elíptica
pH:	4
° Brix:	15

Cont. de ácidos grasos

% palmítico (C 16:0):	28,14 ± 0,91
% esteárico (C 18:0):	35,70 ± 0,52
% oleico (C 18:1):	32,26 ± 0,22

Características fisicoquímicas

% humedad:	5,39 ± 0,29
% ceniza:	3,24 ± 0,04
% grasa:	53,67 ± 0,55
% fibra cruda:	12,48 ± 0,05
% proteína:	5,12 ± 1,32
% carbohidratos:	25,22 ± 0,27
Acidez:	1,38 ± 0,16

Sustancias funcionales

Polifenoles totales (mg EAG/g muestra seca):	24,95 ± 3,72
Teobromina (mg/g muestra seca):	9,31 ± 0,84
Cafeina (mg/g muestra seca):	3,46 ± 0,14
Teobromina/ cafeina:	2,69 ± 0,14
Catequina (mg/g muestra seca):	1,96
Epicatequina (mg/g muestra seca):	2,61 ± 0,59
Procianidinas (B1 + B2) (mg procianidina/g muestra seca):	N. D.

Actividad antioxidante

Método ORAC TEAC (µmol Tx/g):	865,50 ± 153,5
Método ABTS TEAC (µmol Tx/g):	177,61 ± 25,81
Método DPPH TEAC (µmol Tx/g):	147,19 ± 18,98

Perfil sensorial



Muestra con sabor amargo medio acompañado de notas afrutadas de frutos cítricos y amarillos, finaliza con notas ligeras de frutos deshidratados acompañado del sabor a cacao y notas de nuez. Muestra con perfil balanceado.

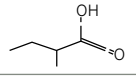
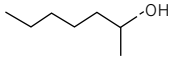
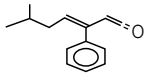
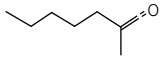
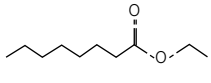
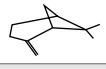
Perfil sensorial experimental *vs.* predicho

Atributo	Cata	Predicho
Cacao	3,5	3,35
Floral	1,0	1,07
Frutal	1,7	1,87
Nuez	1,4	1,91
Dulce	2,7	2,54
Ácido	3,8	3,35
Amargo	4,0	N. C.*
Astringente	2,25	N. C.*

Los colores representan la escala cualitativa **ausente (0-1)**, **bajo (1-3)** y **medio (3-6)**.

* N. C.: no calculado.

Compuestos volátiles

Familia de compuestos	N°	Compuesto	Concentración (mg/kg)	Percepción sensorial*
Ácidos 	1	Ácido 3-metilbutanoico	2,5	Rancio, queso
	2	Ácido 2-metilbutanoico	1,2	Rancio, queso
Alcoholes 	3	2-heptanol	2,3	Cítrico
	4	2-nonanol	5,7	Dulce
	5	2-feniletanol	17,5	Floral
Aldehídos 	6	Benzaldehido	8,6	Amargo
	7	5-metil-2-fenil-2-hexenal	0,3	Cacao, dulce, ron
Cetonas 	8	2-nonanona	0,8	N. D.
	9	2-heptatona	0,2	Frutal
	10	2-undecanona	0	N. D.
Ésteres 	11	Octanoato de etilo	3,4	Floral, frutal
	12	2-fenilacetato	2,9	Floral
	13	Acetato de 2-feniletilo	28,8	Floral
	14	Dodecanonato de etilo	1,0	Floral, coñac
Pirazina 	15	2,3,5,6-tetrametilpirazina	14,3	Madera, pino, verde
Otros 	16	B-pineno	0,2	Nuez

*Percepción sensorial de compuesto puro



Foto: Jiner Niño Solano

TCS 10

Origen: San Pablo de Borbur (Boyacá)
Seleccionado por:
Gildardo Efraín Palencia C.
Genaro Andrés Agudelo C.
Año de colecta: 2011
Pedigrí: selección natural participativa
Productividad/árbol/año (kg): 1,04
Índice de mazorca (IM): 24 ± 2
Índice de grano (IG): 1,87 ± 0,2
Compatibilidad: autocompatible (AC)
Incidencia de monilia: 14,7 %

Hojas



Foto: Carol Castro

Longitud (cm):	30-31
Ancho (cm):	12
Tamaño:	Pequeño
Forma de la base:	Redondeada
Intensidad del color verde:	Oscuro
Forma de ápice:	Apiculado
Color de la hoja joven:	Rojo oscuro

Flor



Foto: Carol Castro

Pigmentación antociánica del pedicelo:	Fuerte
Pigmentación antociánica del sépalo:	Ausente
Color dela lígula:	Crema
Pigmentación antociánica del estaminodio:	Fuerte
Longitud del sépalo (mm):	9,5
Ancho del sépalo (mm):	2,6
Longitud del sépalo:	Larga
Anchura del sépalo (mm):	Ancho

Fruto

Forma:	Oblonga
Constricción basal:	Ausente o muy débil
Forma del ápice:	Obtuso
Superficie:	Lisa o ligeramente rugosa
Profundidad de los surcos:	Profunda
Color:	Amarillo
Peso (g):	651
Diámetro (cm):	8,4
Longitud (cm):	25,9
Número de almendras:	32
Peso húmedo almendras (g):	153
Grosor del exocarpio:	Medio



Foto: Eliana Báez Daza

Almendras



Foto: Eliana Báez Daza

Longitud (cm):	2,5
Ancho (cm):	1,5
Ancho (cm):	1,1
Color:	Rosada-rojo oscuro
% almendra:	88,62
% cascarilla:	11,38
Forma en sección longitudinal:	Ovado
pH:	2,9
° Brix:	13

Cont. de ácidos grasos

% palmítico (C 16:0):	28,64 ± 0,74
% esteárico (C 18:0):	34,68 ± 1,08
% oleico (C 18:1):	32,77 ± 0,29

Características fisicoquímicas

% humedad:	5,72 ± 0,62
% ceniza:	3,18 ± 0,14
% grasa:	54,00 ± 1,11
% fibra cruda:	13,88 ± 0,24
% proteína:	3,62 ± 0,24
% carbohidratos:	23,73 ± 0,38
Acidez:	1,09 ± 0,24

Sustancias funcionales

Polifenoles totales (mg EAG/g muestra seca):	27,44 ± 6,27
Teobromina (mg/g muestra seca):	11,97 ± 2,30
Cafeina (mg/g muestra seca):	3,60 ± 0,34
Teobromina/ cafeina:	3,29 ± 0,33
Catequina (mg/g muestra seca):	0,94
Epicatequina (mg/g muestra seca):	1,56 ± 0,43
Procianidinas (B1 + B2) (mg procianidina/g muestra seca):	0,94

Actividad antioxidante

Método ORAC TEAC (µmol Tx/g):	721,50 ± 84,50
Método ABTS TEAC (µmol Tx/g):	235,31 ± 33,09
Método DPPH TEAC (µmol Tx/g):	141,50 ± 13,30



Foto: Lucero Rodríguez



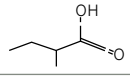
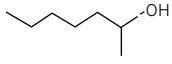
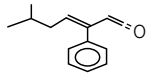
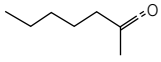
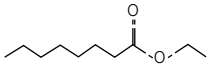
Foto: Lucero Rodríguez

Perfil sensorial experimental *vs.* predicho

Atributo	Predicho
Cacao	2,86
Floral	0
Frutal	1,45
Nuez	2,39
Dulce	1,86
Ácido	4,45
Amargo	N. C.*
Astringente	N. C.*

Los colores representan la escala cualitativa **ausente (0-1)**, **bajo (1-3)** y **medio (3-6)**.
* N. C.: no calculado.

Compuestos volátiles

Familia de compuestos	N°	Compuesto	Concentración (mg/kg)	Percepción sensorial*
Ácidos 	1	Ácido 3-metilbutanoico	0,9	Rancio, queso
	2	Ácido 2-metilbutanoico	0	Rancio, queso
Alcoholes 	3	2-heptanol	0	Cítrico
	4	2-nonanol	2,5	Dulce
	5	2-feniletanol	6,6	Floral
Aldehídos 	6	Benzaldehido	0	Amargo
	7	5-metil-2-fenil-2-hexenal	0	Cacao, dulce, ron
Cetonas 	8	2-nonanona	0,3	N. D.
	9	2-heptatona	0	Frutal
	10	2-undecanona	0,1	N. D.
Ésteres 	11	Octanoato de etilo	0	Floral, frutal
	12	2-fenilacetato	3,7	Floral
	13	Acetato de 2-feniletilo	17	Floral
	14	Dodecanonato de etilo	36,5	Floral, coñac
Pirazina 	15	2,3,5,6-tetrametilpirazina	15,3	Madera, pino, verde
Otros 	16	B-pineno	0	Nuez

*Percepción sensorial de compuesto puro



Foto: Jiner Niño Solano

TCS 11

Origen: Pauna (Boyacá)
Seleccionado por:
Gildardo Efraín Palencia C.
Genaro Andrés Agudelo C.
Año de colecta: 2011
Pedigrí: selección natural participativa
Productividad/árbol/año (kg): 2,09
Índice de mazorca (IM): 11±1
Índice de grano (IG): 2,21 ± 0,3
Compatibilidad: autoincompatible (AI)
Incidencia de monilia: 11,4 %

Hojas



Foto: Carol Castro

Longitud (cm):	33
Ancho (cm):	14
Tamaño:	Mediano
Forma de la base:	Agudo
Intensidad del color verde:	Oscuro
Forma del ápice:	Acuminada
Color de la hoja joven:	Café

Flor



Foto: Eliana Báez Daza

Pigmentación antociánica del pedicelo:	Ausente
Pigmentación antociánica del sépalo:	Ausente
Color de la lígula:	Crema
Pigmentación antociánica del estaminodio:	Fuerte
Longitud del sépalo (mm):	8,6
Ancho del sépalo (mm):	2,6
Longitud del sépalo:	Larga
Anchura del sépalo (mm):	Ancho

Fruto

Forma:	Ovado
Constricción basal:	Ausente o muy débil
Forma del ápice:	Obtuso
Superficie:	Moderadamente rugosa
Profundidad de los surcos:	Profundo
Color:	Amarillo
Peso (g):	984
Diámetro (cm):	9,7
Longitud (cm):	24
Número de almendras:	34
Peso húmedo almendras (g):	243
Grosor del exocarpio:	Medio



Foto: Eliana Báez Daza

Semillas/grano



Foto: Eliana Báez Daza

Longitud (cm):	3,1
Ancho (cm):	1,6
Grosor (cm):	1,0
Color:	Rojo oscuro- púrpura
% almendra:	88,80
% cascarilla:	11,20
Forma en sección longitudinal:	Ovado
pH:	3,3
° Brix:	16

Cont. de ácidos grasos

% palmítico (C 16:0):	28,89 ± 0,50
% esteárico (C 18:0):	34,24 ± 0,48
% oleico (C 18:1):	31,87 ± 0,15

Características fisicoquímicas

% humedad:	4,99 ± 0,84
% ceniza:	2,92 ± 0,24
% grasa:	55,55 ± 0,67
% fibra cruda:	12,74 ± 0,22
% proteína:	2,76 ± 0,35
% carbohidratos:	23,80 ± 1,06
Valor calórico (kcal/100 g):	646,12 ± 0,94
Acidez:	1,40 ± 0,03

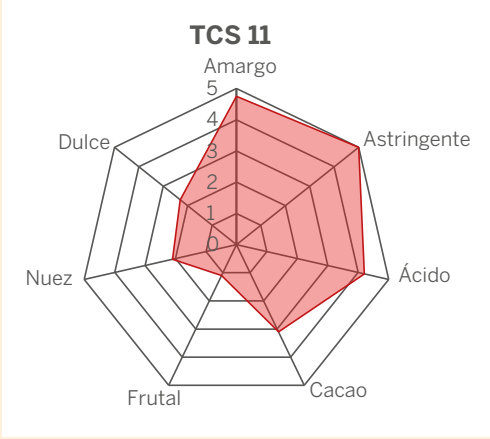
Sustancias funcionales

Polifenoles totales (mg EAG/g muestra seca):	36,77 ± 2,78
Teobromina (mg/g muestra seca):	10,78 ± 0,86
Cafeina (mg/g muestra seca):	4,06 ± 0,46
Teobromina/ cafeina:	2,67 ± 0,09
Catequina (mg/g muestra seca):	0,61 ± 0,05
Epicatequina (mg/g muestra seca):	13,80 ± 3,20
Procianidinas (B1 + B2) (mg procianidina/g muestra seca):	1,69 ± 0,06

Actividad antioxidante

Método ORAC TEAC (µmol Tx/g):	819,75 ± 119,25
Método ABTS TEAC (µmol Tx/g):	365,25 ± 165,05
Método DPPH TEAC (µmol Tx/g):	298,15 ± 1,05

Perfil sensorial



Muestra con notas amargas medias agradables, resalta el sabor a cacao en toda la cata y sabor a chocolate, acompañado de notas frutales cítricas y nuez, haciendo balanceada la muestra.

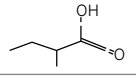
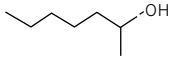
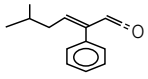
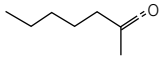
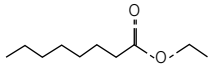
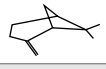
Perfil sensorial experimental *vs.* predicho

Atributo	Cata	Predicho
Cacao	3,1	2,93
Floral	0	0,14
Frutal	1,1	1,41
Nuez	2,1	1,77
Dulce	2,3	2,09
Ácido	4,2	4,01
Amargo	4,75	N. C.*
Astringente	5	N. C.*

Los colores representan la escala cualitativa **ausente (0-1)**, **bajo (1-3)** y **medio (3-6)**.

* N. C.: no calculado.

Compuestos volátiles

Familia de compuestos	No.	Compuesto	Concentración (mg/kg)	Percepción sensorial*
Ácidos 	1	Ácido 3-metilbutanoico	3,6	Rancio, queso
	2	Ácido 2-metilbutanoico	2,4	Rancio, queso
Alcoholes 	3	2-heptanol	0,9	Cítrico
	4	2-nonanol	2,9	Dulce
	5	2-feniletanol	8,9	Floral
Aldehídos 	6	Benzaldehido	8,1	Amargo
	7	5 -metil-2-fenil-2-hexenal	0,2	Cacao, dulce, ron
Cetonas 	8	2-nonanona	0,7	N. D.
	9	2-heptatona	0,1	Frutal
	10	2-undecanona	0	N. D.
Ésteres 	11	Octanoato de etilo	1,7	Floral, frutal
	12	2-fenilacetato	2,1	Floral
	13	Acetato de 2-feniletilo	17,2	Floral
	14	Dodecanonato de etilo	0,9	Floral, coñac
Pirazina 	15	2,3,5,6-tetrametilpirazina	14,1	Madera, pino, verde
Otros 	16	B-pineno	0,1	Nuez

*Percepción sensorial de compuesto puro



Foto: Carol Castro

TCS 12

Origen: Pauna (Boyacá)
Seleccionado por:
Gildardo Efraín Palencia C.
Genaro Andrés Agudelo C.
Año de colecta: 2011
Pedigrí: selección natural participativa
Productividad/árbol/año (kg): 0,87
Índice de mazorca (IM): 15 ± 2
Índice de grano (IG): 1,47 ± 0,3
Compatibilidad: autoincompatible (AI)
Incidencia de monilia: 10,5 %

Hojas


Foto: Carol Castro

Longitud (cm):	31-35
Ancho (cm):	11
Tamaño:	Mediana
Forma de la base:	Agudo
Intensidad del color verde:	Oscuro
Forma de ápice:	Acuminada
Color de la hoja joven:	Café

Flor


Foto: Eliana Báez Daza

Pigmentación antociánica del pedicelo:	Ausente
Pigmentación antociánica del sépalo:	Ausente
Color dela lígula:	Crema
Pigmentación antociánica del estaminodio:	Fuerte
Longitud del sépalo (mm):	11,3
Ancho del sépalo (mm):	2,5
Longitud del sépalo:	Larga
Anchura del sépalo (mm):	Medio

Fruto

Forma:	Elíptica
Constricción basal:	Ausente o muy débil
Forma del ápice:	Agudo
Superficie:	Lisa o ligeramente rugosa
Profundidad de los surcos:	Media profunda
Color:	Amarillo
Peso (g):	854
Diámetro (cm):	10
Longitud (cm):	24
Número de almendras:	41
Peso húmedo almendras (g):	185
Grosor del exocarpio:	Medio



Foto: Eliana Báez Daza

Almendras



Foto: Eliana Báez Daza

Longitud (cm):	2,9
Ancho (cm):	1,3
Ancho (cm):	0,8
Color:	Rojo oscuro- púrpura
% almendra:	86,90
% cascarilla:	13,10
Forma en sección longitudinal:	Elíptica
pH:	3,5
° Brix:	16

Cont. de ácidos grasos

% palmítico (C 16:0):	29,63 ± 0,55
% esteárico (C 18:0):	32,68 ± 0,46
% oleico (C 18:1):	33,11 ± 0,05

Características fisicoquímicas

% humedad:	5,63 ± 0,09
% ceniza:	3,48 ± 0,18
% grasa:	50,30 ± 1,40
% fibra cruda:	13,34 ± 0,50
% proteína:	4,68 ± 1,85
% carbohidratos:	27,26 ± 0,82
Acidez:	1,51 ± 0,07

Sustancias funcionales

Polifenoles totales (mg EAG/g muestra seca):	29,94 ± 6,77
Teobromina (mg/g muestra seca):	12,01 ± 0,69
Cafeina (mg/g muestra seca):	2,78 ± 0,19
Teobromina/ cafeina:	4,36 ± 0,54
Catequina (mg/g muestra seca):	N. D.
Epicatequina (mg/g muestra seca):	3,06 ± 0,20
Procianidinas (B1 + B2) (mg procianidina/g muestra seca):	N. D.

Actividad antioxidante

Método ORAC TEAC (µmol Tx/g):	1412,50 ± 470,5
Método ABTS TEAC (µmol Tx/g):	225,87 ± 56,47
Método DPPH TEAC (µmol Tx/g):	203,69 ± 22,15



Foto: Lucero Rodríguez



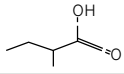
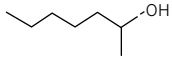
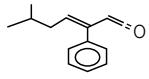
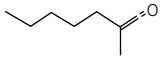
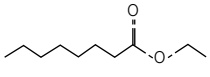
Foto: Lucero Rodríguez

Perfil sensorial experimental *vs.* predicho

Atributo	Predicho
Cacao	3,14
Floral	0
Frutal	1,69
Nuez	2,08
Dulce	2,24
Ácido	3,85
Amargo	N. C.*
Astringente	N. C.*

Los colores representan la escala cualitativa **ausente (0-1)**, **bajo (1-3)** y **medio (3-6)**.
* N. C.: no calculado.

Compuestos volátiles

Familia de compuestos	N°	Compuesto	Concentración (mg/kg)	Percepción sensorial*
Ácidos 	1	Ácido 3-metilbutanoico	8,7	Rancio, queso
	2	Ácido 2-metilbutanoico	5,9	Rancio, queso
Alcoholes 	3	2-heptanol	0,5	Cítrico
	4	2-nonanol	3,2	Dulce
	5	2-feniletanol	8	Floral
Aldehídos 	6	Benzaldehido	15,2	Amargo
	7	5 -metil-2-fenil-2-hexenal	0	Cacao, dulce, ron
Cetonas 	8	2-nonanona	0,2	N. D.
	9	2-heptatona	0,1	Frutal
	10	2-undecanona	0	N. D.
Ésteres 	11	Octanoato de etilo	0,4	Floral, frutal
	12	2-fenilacetato	0,9	Floral
	13	Acetato de 2-feniletilo	33	Floral
	14	Dodecanonato de etilo	0	Floral, coñac
Pirazina 	15	2,3,5,6-tetrametilpirazina	7,7	Madera, pino, verde
Otros 	16	B-pineno	0,5	Nuez

*Percepción sensorial de compuesto puro



Foto: Eliana Báez Daza

TCS 13

Origen: Rionegro (Santander)
Seleccionado por:
Gildardo Efraín Palencia C.
Luis A. Mejía F.
Año de colecta: 1998
Pedigrí: selección natural participativa
Productividad/árbol/año (kg): 1,53
Índice de mazorca (IM): 14 ± 2
Índice de grano (IG): 1,76 ± 0,2
Compatibilidad: autocompatible (AC)
Incidencia de monilia: 7,7 %

Hojas



Foto: Carol Castro

Longitud (cm):	36,6
Ancho (cm):	12,62
Tamaño:	Mediano
Forma de la base:	Redondeada
Intensidad del color verde:	Medio
Forma del ápice:	Acuminada
Color de la hoja joven:	Rojo oscuro

Flor



Foto: Eliana Báez Daza

Pigmentación antociánica del pedicelo:	Fuerte
Pigmentación antociánica del sépalo:	Ausente
Color de la lígula:	Crema
Pigmentación antociánica del estaminodio:	Media
Longitud del sépalo (mm):	8,9
Ancho del sépalo (mm):	2,6
Longitud del sépalo:	Larga
Anchura del sépalo (mm):	Ancha

Fruto

Forma:	Ovado
Constricción basal:	Moderado
Forma del ápice:	Agudo
Superficie:	Lisa o ligeramente rugosa
Profundidad de los surcos:	Ausente o muy poco profunda
Color:	Anaranjado
Peso (g):	1.273,2
Diámetro (cm):	10,2
Longitud (cm):	26,3
Número de almendras:	44
Peso húmedo almendras (g):	200
Grosor del exocarpio:	Grueso



Foto: Carol Castro

Almendras



Foto: Carol Castro

Longitud (cm):	2,7-3,1
Ancho (cm):	1,5
Grosor (cm):	1,0
Color:	Púrpura y rojo oscuro
% almendra:	86,85
% cascarilla:	13,5 ± 2,92
Forma en sección longitudinal:	Ovado
pH:	3,5
° Brix:	17

Cont. de ácidos grasos

% palmítico (C 16:0):	30,83 ± 0,48
% esteárico (C 18:0):	33,98 ± 0,10
% oleico (C 18:1):	30,45 ± 0,63

Características fisicoquímicas

% humedad:	4,95 ± 0,55
% ceniza:	2,69 ± 0,04
% grasa:	55,24 ± 0,7
% fibra cruda:	12,19 ± 0,22
% proteína:	3,07 ± 0,66
% carbohidratos:	24,95 ± 0,11
Acidez:	1,24 ± 0,05

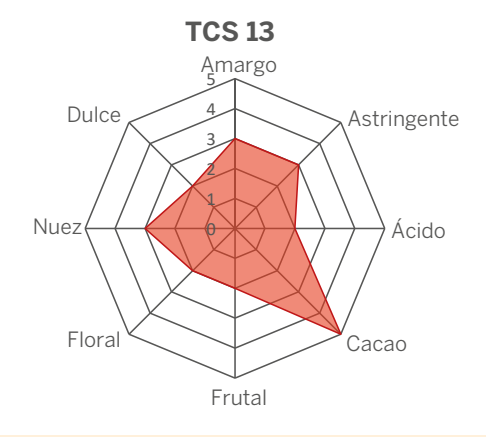
Sustancias funcionales

Polifenoles totales (mg EAG/g muestra seca):	51,53 ± 10,86
Teobromina (mg/g muestra seca):	14,61 ± 0,76
Cafeina (mg/g muestra seca):	1,24 ± 0,06
Teobromina/ cafeina:	11,78 ± 0,04
Catequina (mg/g muestra seca):	1,49 ± 0.37
Epicatequina (mg/g muestra seca):	8,54 ± 2,71
Procianidinas (B1 + B2) (mg procianidina/g muestra seca):	2,69 ± 0,69

Actividad antioxidante

Método ORAC TEAC (µmol Tx/g):	1626,50 ± 260,5
Método ABTS TEAC (µmol Tx/g):	432,12 ± 100,67
Método DPPH TEAC (µmol Tx/g):	362,77 ± 64,09

Perfil sensorial



El perfil es agradable y armonioso debido a la presencia de sabores específicos como notas a nuez, frutal (frutos cítricos) y agridulce, complementado con notas a cacao y notas herbales que permanecen en boca hasta posgusto.

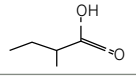
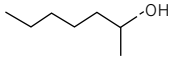
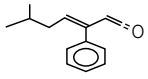
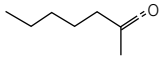
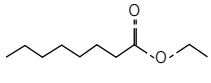
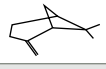
Perfil sensorial experimental *vs.* predicho

Atributo	Cata	Predicho
Cacao	5	3,05
Floral	2	0
Frutal	2	3,05
Nuez	3	2,04
Dulce	2	2,18
Ácido	2	3,91
Amargo	3	N. C.*
Astringente	3	N. C.*

Los colores representan la escala cualitativa **ausente (0-1)**, **bajo (1-3)** y **medio (3-6)**.

* N. C.: no calculado.

Compuestos volátiles

Familia de compuestos	N°	Compuesto	Concentración (mg/kg)	Percepción sensorial*
Ácidos 	1	Ácido 3-metilbutanoico	6,2	Rancio, queso
	2	Ácido 2-metilbutanoico	2,9	Rancio, queso
Alcoholes 	3	2-heptanol	1,9	Cítrico
	4	2-nonanol	7,3	Dulce
	5	2-feniletanol	8,9	Floral
Aldehídos 	6	Benzaldehido	0	Amargo
	7	5-metil-2-fenil-2-hexenal	0,8	Cacao, dulce, ron
Cetonas 	8	2-nonanona	1,4	N. D.
	9	2-heptatona	0,1	Frutal
	10	2-undecanona	0	N. D.
Ésteres 	11	Octanoato de etilo	0	Floral, frutal
	12	2-fenilacetato	2,3	Floral
	13	Acetato de 2-feniletilo	18,9	Floral
	14	Dodecanonato de etilo	4,2	Floral, coñac
Pirazina 	15	2,3,5,6-tetrametilpirazina	22,7	Madera, pino, verde
Otros 	16	B-pineno	0	Nuez

*Percepción sensorial de compuesto puro



Foto: Eliana Báez Daza

TCS 19

Origen: Lebrija (Santander)
Seleccionado por: Gildardo Efraín Palencia C.
Luis A. Mejía
Orlando Argüello
Año de colecta: 1998
Pedigrí: selección natural participativa
Productividad/árbol/año (kg): 1,78
Índice de mazorca (IM): 16 ± 2
Índice de grano (IG): 1,67 ± 0,2
Compatibilidad: autocompatible (AC)
Incidencia de monilia: 8,4 %

Hojas



Foto: Carol Castro

Longitud (cm):	31
Ancho (cm):	10
Tamaño:	Pequeño
Forma de la base:	Cordiforme
Intensidad del color verde:	Oscuro
Forma de ápice:	Acuminada
Color de la hoja joven:	Rojo claro

Flor

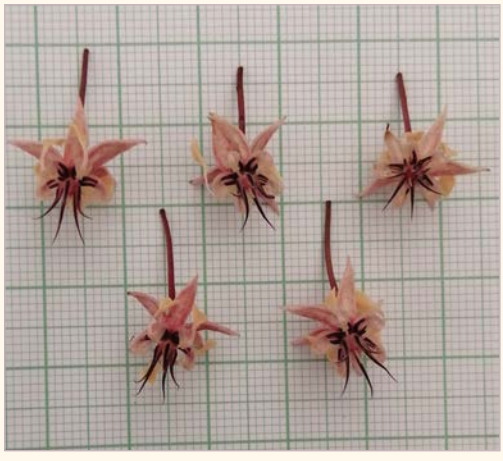


Foto: Carol Castro

Pigmentación antociánica del pedicelo:	Fuerte
Pigmentación antociánica del sépalo:	Media
Color dela lígula:	Amarillo crema
Pigmentación antociánica del estaminodio:	Fuerte
Longitud del sépalo (mm):	8,7
Ancho del sépalo (mm):	2,2
Longitud del sépalo:	Larga
Anchura del sépalo (mm):	Media

Fruto

Forma:	Elíptica
Constricción basal:	Ausente o muy débil
Forma del ápice:	Agudo
Superficie:	Lisa o ligeramente rugosa
Profundidad de los surcos:	Poco profunda
Color:	Anaranjado
Peso (g):	877
Diámetro (cm):	9,8
Longitud (cm):	23
Número de almendras:	36
Peso húmedo almendras (g):	164
Grosor del exocarpio:	Medio



Foto: Eliana Báez Daza

Almendras



Foto: Eliana Báez Daza

Longitud (cm):	2,8
Ancho (cm):	1,4
Ancho (cm):	0,9
Color:	Rojo oscuro y púrpura
% almendra:	87,67
% cascarilla:	12,3 ± 0,2
Forma en sección longitudinal:	Ovado
pH:	3,3
° Brix:	20

Cont. de ácidos grasos

% palmítico (C 16:0):	28,90 ± 0,15
% esteárico (C 18:0):	35,36 ± 0,85
% oleico (C 18:1):	31,11 ± 0,63

Características fisicoquímicas

% humedad:	4,94 ± 0,55
% ceniza:	2,74 ± 0,10
% grasa:	55,17 ± 0,31
% fibra cruda:	12,56 ± 0,48
% proteína:	2,45 ± 0,32
% carbohidratos:	24,62 ± 0,15
Acidez:	1,33 ± 0,05

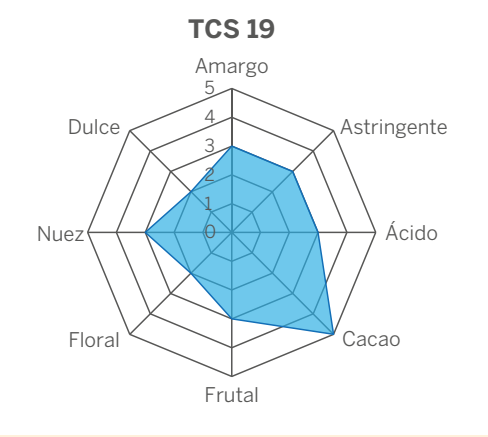
Sustancias funcionales

Polifenoles totales (mg EAG/g muestra seca):	44,54 ± 7,94
Teobromina (mg/g muestra seca):	11,97 ± 0,12
Cafeina (mg/g muestra seca):	1,66 ± 0,21
Teobromina/ cafeina:	7,34 ± 0,84
Catequina (mg/g muestra seca):	1,43 ± 0,23
Epicatequina (mg/g muestra seca):	7,51 ± 3,32
Procianidinas (B1 + B2) (mg procianidina/g muestra seca):	3,27

Actividad antioxidante

Método ORAC TEAC (µmol Tx/g):	1144,50 ± 150,5
Método ABTS TEAC (µmol Tx/g):	402,72 ± 99,86
Método DPPH TEAC (µmol Tx/g):	267,18 ± 81,58

Perfil sensorial



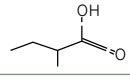
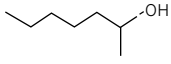
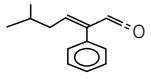
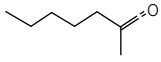
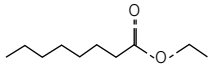
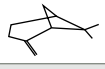
Muestra que presenta un perfil balanceado, caracterizando su sabor a cacao acompañado de sabores específicos como notas lácteas, floral y frutal, lo cual hace que la muestra sea equilibrada y agradable en boca.

Perfil sensorial experimental *vs.* predicho

Atributo	Cata	Predicho
Cacao	5	3,31
Floral	2	0,5
Frutal	3	1,87
Nuez	3	2,16
Dulce	2	2,45
Ácido	3	3,52
Amargo	3	N. C.*
Astringente	3	N. C.*

Los colores representan la escala cualitativa **ausente (0-1)**, **bajo (1-3)** y **medio (3-6)**.
* N. C.: no calculado.

Compuestos volátiles

Familia de compuestos	N°	Compuesto	Concentración (mg/kg)	Percepción sensorial*
Ácidos 	1	Ácido 3-metilbutanoico	6,1	Rancio, queso
	2	Ácido 2-metilbutanoico	3	Rancio, queso
Alcoholes 	3	2-heptanol	3,5	Cítrico
	4	2-nonanol	7,7	Dulce
	5	2-feniletanol	10	Floral
Aldehídos 	6	Benzaldehido	8,9	Amargo
	7	5-metil-2-fenil-2-hexenal	0	Cacao, dulce, ron
Cetonas 	8	2-nonanona	4,5	N. D.
	9	2-heptatona	0,4	Frutal
	10	2-undecanona	0	N. D.
Ésteres 	11	Octanoato de etilo	1,7	Floral, frutal
	12	2-fenilacetato	1,3	Floral
	13	Acetato de 2-feniletilo	23,5	Floral
	14	Dodecanonato de etilo	0	Floral, coñac
Pirazina 	15	2,3,5,6-tetrametilpirazina	27,9	Madera, pino, verde
Otros 	16	B-pineno	0	Nuez

*Percepción sensorial de compuesto puro

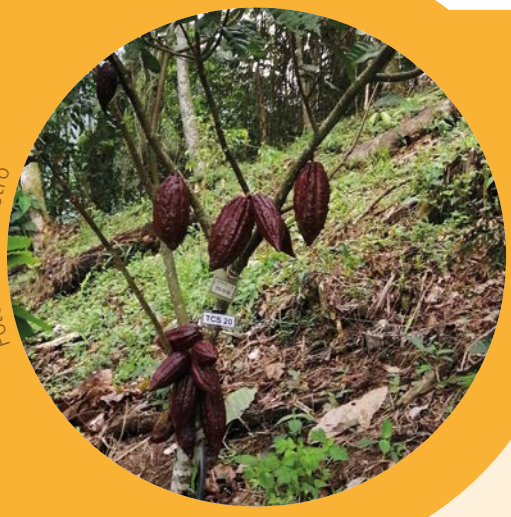


Foto: Carol Castro

TCS 20

Origen: Coper (Boyacá)
Seleccionado por:
Genaro Andrés Agudelo C.
Eliana Yadira Báez Daza
Año de colecta: 2015
Pedigrí: selección natural participativa
Productividad/árbol/año (kg): 1,75
Índice de mazorca (IM): 13 ± 2
Índice de grano (IG): 2,24 ± 0,3
Compatibilidad: autocompatible (AC)
Incidencia de monilia: 17,9 %

Hojas



Foto: Carol Castro

Longitud (cm):	31-32
Ancho (cm):	13
Tamaño:	Pequeño
Forma de la base:	Agudo
Intensidad del color verde:	Oscuro
Forma del ápice:	Acuminada
Color de la hoja joven:	Rojo oscuro

Flor



Foto: Carol Castro

Pigmentación antociánica del pedicelo:	Fuerte
Pigmentación antociánica del sépalo:	Media
Color de la lígula:	Amarillo crema
Pigmentación antociánica del estaminodio:	Media
Longitud del sépalo (mm):	9,4
Ancho del sépalo (mm):	2,8
Longitud del sépalo:	Larga
Anchura del sépalo (mm):	Ancho

Fruto

Forma:	Obovado
Constricción basal:	Ausente o muy débil
Forma del ápice:	Entallado
Superficie:	Muy rugosa
Profundidad de los surcos:	Media
Color:	Rojo-anaranjado
Peso (g):	823
Diámetro (cm):	9,2
Longitud (cm):	24
Número de almendras:	33
Peso húmedo almendras (g):	203
Grosor del exocarpio:	Medio



Foto: Carol Castro

Almendras



Foto: Eliana Báez Daza

Longitud (cm):	2,9
Ancho (cm):	1,6
Grosor (cm):	1,1
Color:	Púrpura-rosa
% almendra:	88,07
% cascarilla:	11,93
Forma en sección longitudinal:	Elíptica
pH:	3,5
° Brix:	17

Cont. de ácidos grasos

% palmítico (C 16:0):	27,04 ± 0,06
% esteárico (C18:0):	36,95 ± 1,16
% oleico (C 18:1):	32,24 ± 0,74

Características fisicoquímicas

% humedad:	4,63 ± 0,25
% ceniza:	2,70
% grasa:	55,61 ± 0,53
% fibra cruda:	12,10 ± 0,04
% proteína:	3,83 ± 1,38
% carbohidratos:	24,98 ± 0,73
Acidez:	1,17 ± 0,05

Sustancias funcionales

Polifenoles totales (mg EAG/g muestra seca):	34,83 ± 6,39
Teobromina (mg/g muestra seca):	10,54 ± 1,39
Cafeina (mg/g muestra seca):	3,55 ± 0,36
Teobromina/ cafeina:	3,04 ± 0,7
Catequina (mg/g muestra seca):	1,09
Epicatequina (mg/g muestra seca):	3,52 ± 0,47
Procianidinas (B1 + B2) (mg procianidina/g muestra seca):	N. D.

Actividad antioxidante

Método ORAC TEAC (µmol Tx/g):	923,50 ± 97,5
Método ABTS TEAC (µmol Tx/g):	417,07 ± 50,84
Método DPPH TEAC (µmol Tx/g):	265,45 ± 28,35

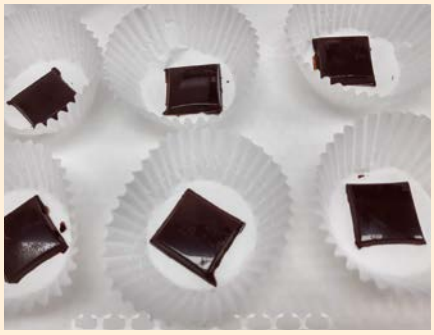


Foto: Eliana Báez Daza



Foto: Lucero Rodríguez

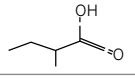
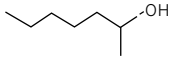
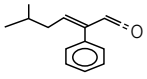
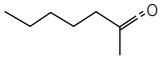
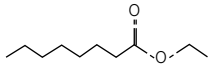
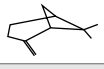
Perfil sensorial experimental *vs.* predicho

Atributo	Predicho
Cacao	4,64
Floral	1,22
Frutal	3,54
Nuez	3,67
Dulce	3,62
Ácido	2,01
Amargo	N. C.*
Astringente	N. C.*

Los colores representan la escala cualitativa **ausente (0-1)**, **bajo (1-3)** y **medio (3-6)**.

* N. C.: no calculado.

Compuestos volátiles

Familia de compuestos	N°	Compuesto	Concentración (mg/kg)	Percepción sensorial*
Ácidos 	1	Ácido 3-metilbutanoico	8	Rancio, queso
	2	Ácido 2-metilbutanoico	4,4	Rancio, queso
Alcoholes 	3	2-heptanol	1,8	Cítrico
	4	2-nonanol	3,5	Dulce
	5	2-feniletanol	32,2	Floral
Aldehídos 	6	Benzaldehido	9,4	Amargo
	7	5-metil-2-fenil-2-hexenal	0	Cacao, dulce, ron
Cetonas 	8	2-nonanona	0,8	N. D.
	9	2-heptatona	0,2	Frutal
	10	2-undecanona	0	N. D.
Ésteres 	11	Octanoato de etilo	3,7	Floral, frutal
	12	2-fenilacetato	1,4	Floral
	13	Acetato de 2-feniletilo	74,6	Floral
	14	Dodecanonato de etilo	0	Floral, coñac
Pirazina 	15	2,3,5,6-tetrametilpirazina	29,7	Madera, pino, verde
Otros 	16	B-pineno	0	Nuez

*Percepción sensorial de compuesto puro



Foto: Carol Castro

TCS 40

Origen: Colombia (Antioquia)
Seleccionado por:
Orlando Arguello
Luis Mejía
Año de colecta: 1994
Pedigrí: selección natural participativa
Productividad/árbol/año (kg): 1,83
Índice de mazorca (IM): 20 ± 1
Índice de grano (IG): 1,27 ± 0,2
Compatibilidad: autocompatible (AC)
Incidencia de monilia: 17,7 %

Hojas



Foto: Carol Castro

Longitud (cm):	31-32
Ancho (cm):	12
Tamaño:	Pequeño
Forma de la base:	Redondeada
Intensidad del color verde:	Oscuro
Forma de ápice:	Acuminada
Color de la hoja joven:	Rojo medio

Flor

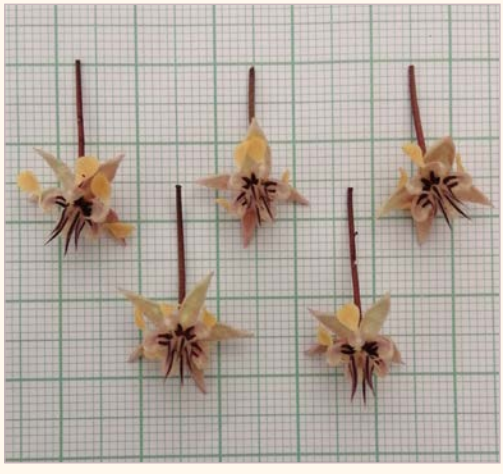


Foto: Carol Castro

Pigmentación antociánica del pedicelo:	Fuerte
Pigmentación antociánica del sépalo:	Media
Color dela lígula:	Amarillo
Pigmentación antociánica del estaminodio:	Media
Longitud del sépalo (mm):	9,9
Ancho del sépalo (mm):	2,7
Longitud del sépalo:	Larga
Anchura del sépalo (mm):	Ancho

Fruto

Forma:	Ovado
Constricción basal:	Moderado
Forma del ápice:	Agudo
Superficie:	Moderadamente rugosa
Profundidad de los surcos:	Poco profundo
Color:	Rojo-anaranjado
Peso (g):	671
Diámetro (cm):	8,7
Longitud (cm):	23
Número de almendras:	39
Peso húmedo almendras (g):	129
Grosor del exocarpio:	Medio



Foto: Eliana Báez Daza

Almendras



Foto: Carol Castro

Longitud (cm):	2,2
Ancho (cm):	1,1
Ancho (cm):	0,8
Color:	Púrpura
% almendra:	87,16
% cascarilla:	12,84
Forma en sección longitudinal:	Elíptica
pH:	3,1
° Brix:	17,5

Cont. de ácidos grasos

% palmítico (C 16:0):	28,18 ± 0,02
% esteárico (C 18:0):	35,76 ± 0,04
% oleico (C 18:1):	31,91 ± 0,08

Características fisicoquímicas

% humedad:	5,35 ± 0,10
% ceniza:	2,80 ± 0,12
% grasa:	53,03 ± 1,56
% fibra cruda:	12,37 ± 0,02
% proteína:	8,23 ± 3,35
% carbohidratos:	26,46 ± 1,57
Acidez:	1,48 ± 0,27

Sustancias funcionales

Polifenoles totales (mg EAG/g muestra seca):	15,63 ± 4,56
Teobromina (mg/g muestra seca):	8,57 ± 2,04
Cafeina (mg/g muestra seca):	2,91 ± 0,89
Teobromina/ cafeina:	3,02 ± 0,22
Catequina (mg/g muestra seca):	N. D.
Epicatequina (mg/g muestra seca):	1,78
Procianidinas (B1 + B2) (mg procianidina/g muestra seca):	N. D.

Actividad antioxidante

Método ORAC TEAC (µmol Tx/g):	559,50 ± 150,50
Método ABTS TEAC (µmol Tx/g):	478,57 ± 240,93
Método DPPH TEAC (µmol Tx/g):	207,21 ± 93,20



Foto: Lucero Rodríguez



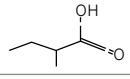
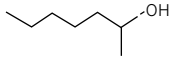
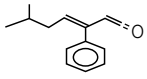
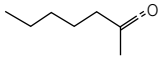
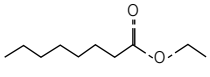
Foto: Eliana Báez Daza

Perfil sensorial experimental *vs.* predicho

Atributo	Predicho
Cacao	4,03
Floral	0,04
Frutal	2,86
Nuez	3,49
Dulce	3,01
Ácido	2,89
Amargo	N. C.*
Astringente	N. C.*

Los colores representan la escala cualitativa **ausente (0-1)**, **bajo (1-3)** y **medio (3-6)**.
* N. C.: no calculado.

Compuestos volátiles

Familia de compuestos	N°	Compuesto	Concentración (mg/kg)	Percepción sensorial*
Ácidos 	1	Ácido 3-metilbutanoico	6,1	Rancio, queso
	2	Ácido 2-metilbutanoico	2,4	Rancio, queso
Alcoholes 	3	2-heptanol	2,4	Cítrico
	4	2-nonanol	2,9	Dulce
	5	2-feniletanol	20,8	Floral
Aldehídos 	6	Benzaldehido	12,7	Amargo
	7	5-metil-2-fenil-2-hexenal	0,2	Cacao, dulce, ron
Cetonas 	8	2-nonanona	0	N. D.
	9	2-heptatona	0,4	Frutal
	10	2-undecanona	0	N. D.
Ésteres 	11	Octanoato de etilo	0	Floral, frutal
	12	2-fenilacetato	2,4	Floral
	13	Acetato de 2-feniletilo	35,2	Floral
	14	Dodecanonato de etilo	1,3	Floral, coñac
Pirazina 	15	2,3,5,6-tetrametilpirazina	55,9	Madera, pino, verde
Otros 	16	B-pineno	0	Nuez

*Percepción sensorial de compuesto puro



Foto: Ever Delgado

TCS 41

Origen: Palmira (Valle)
Seleccionado por:
Gustavo A. Enríquez C.
Año de colecta: 1994
Pedigrí: selección natural
Productividad/árbol/año (kg): 1,77
Índice de mazorca (IM): 18 ± 2
Índice de grano (IG): 1,32 ± 0,1
Compatibilidad: autocompatible (AC)
Incidencia de monilia: 22,3 %

Hojas



Foto: Carol Castro

Longitud (cm):	38,25
Ancho (cm):	13,11
Tamaño:	Grande
Forma de la base:	Redondeada
Intensidad del color verde:	Verde medio
Forma del ápice:	Acuminada
Color de la hoja joven:	Rojo oscuro

Flor



Foto: Carol Castro

Pigmentación antociánica del pedicelo:	Fuerte
Pigmentación antociánica del sépalo:	Fuerte
Color de la lígula:	Amarillo
Pigmentación antociánica del estaminodio:	Fuerte
Longitud del sépalo (mm):	10
Ancho del sépalo (mm):	2,7
Longitud del sépalo:	Larga
Anchura del sépalo (mm):	Ancho

Fruto

Forma:	Oblonga
Constricción basal:	Ausente o muy débil
Forma del ápice:	Agudo
Superficie:	Muy rugosa
Profundidad de los surcos:	Media
Color:	Anaranjado
Peso (g):	553
Diámetro (cm):	8,3
Longitud (cm):	21
Número de almendras:	35
Peso húmedo almendras (g):	138
Grosor del exocarpio:	Medio



Foto: Carol Castro

Almendras



Foto: Carol Castro

Longitud (cm):	2,3
Ancho (cm):	1,4
Grosor (cm):	0,9
Color:	Púrpura-rosado
% almendra:	85,86
% cascarilla:	14,14
Forma en sección longitudinal:	Elíptica
pH:	3,2
° Brix:	15,8

Cont. de ácidos grasos

% palmítico (C 16:0):	28,01 ± 0,35
% esteárico (C 18:0):	35,45 ± 0,11
% oleico (C 18:1):	32,43 ± 0,40

Características fisicoquímicas

% humedad:	4,75 ± 0,30
% ceniza:	2,89 ± 0,12
% grasa:	54,01 ± 0,25
% fibra cruda:	12,73 ± 0,28
% proteína:	4,29 ± 1,16
% carbohidratos:	25,64 ± 0,33
Acidez:	1,01

Sustancias funcionales

Polifenoles totales (mg EAG/g muestra seca):	25,47 ± 0,11
Teobromina (mg/g muestra seca):	11,00 ± 0,99
Cafeina (mg/g muestra seca):	3,27 ± 0,18
Teobromina/ cafeina:	3,36 ± 0,12
Catequina (mg/g muestra seca):	N. D.
Epicatequina (mg/g muestra seca):	3,52 ± 0,54
Procianidinas (B1 + B2) (mg procianidina/g muestra seca):	N. D.

Actividad antioxidante

Método ORAC TEAC (µmol Tx/g):	1012,00 ± 3
Método ABTS TEAC (µmol Tx/g):	264,25 ± 14,22
Método DPPH TEAC (µmol Tx/g):	164,12 ± 33,29





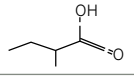
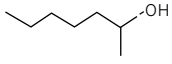
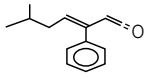
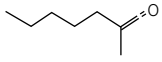
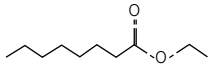
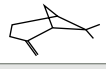
Foto: Lucero Rodríguez

Perfil sensorial experimental *vs.* predicho

Atributo	Predicho
Cacao	5,06
Floral	5,35
Frutal	3,73
Nuez	2,34
Dulce	4,47
Ácido	0,52
Amargo	N. C.*
Astringente	N. C.*

Los colores representan la escala cualitativa **ausente (0-1)**, **bajo (1-3)** y **medio (3-6)**.
* N. C.: no calculado.

Compuestos volátiles

Familia de compuestos	N°	Compuesto	Concentración (mg/kg)	Percepción sensorial*
Ácidos 	1	Ácido 3-metilbutanoico	0	Rancio, queso
	2	Ácido 2-metilbutanoico	3,2	Rancio, queso
Alcoholes 	3	2-heptanol	0	Cítrico
	4	2-nonanol	3,7	Dulce
	5	2-feniletanol	94,8	Floral
Aldehídos 	6	Benzaldehido	0	Amargo
	7	5-metil-2-fenil-2-hexenal	1,3	Cacao, dulce, ron
Cetonas 	8	2-nonanona	0	N. D.
	9	2-heptatona	0	Frutal
	10	2-undecanona	0,3	N. D.
Ésteres 	11	Octanoato de etilo	0	Floral, frutal
	12	2-fenilacetato	1,7	Floral
	13	Acetato de 2-feniletilo	65,4	Floral
	14	Dodecanonato de etilo	2,9	Floral, coñac
Pirazina 	15	2,3,5,6-tetrametilpirazina	10	Madera, pino, verde
Otros 	16	B-pineno	0	Nuez

*Percepción sensorial de compuesto puro



Foto: Genaro Andrés Agudelo

TCS 42

Origen: Vereda Alto Bello (Rionegro)
Seleccionado por: Gildardo Efraín Palencia C.
Genaro Andrés Agudelo C.
Gilberto Moreno
Año de colecta: 2008
Pedigrí: híbrido
Productividad/árbol/año (kg): 1,82
Índice de mazorca (IM): 15 ± 1
Índice de grano (IG): 1,65 ± 0,1
Compatibilidad: autocompatible (AC)
Incidencia de monilia: 12 %

Hojas



Foto: Carol Castro

Longitud (cm):	32,44
Ancho (cm):	12,56
Tamaño:	Mediano
Forma de la base:	Aguda
Intensidad del color verde:	Verde medio
Forma de ápice:	Acuminado
Color de la hoja joven:	Rojo oscuro

Flor



Foto: Carol Castro

Pigmentación antociánica del pedicelo:	Deficiente
Pigmentación antociánica del sépalo:	Deficiente
Color dela lígula:	Amarillo crema
Pigmentación antociánica del estaminodio:	Fuerte
Longitud del sépalo (mm):	8,6
Ancho del sépalo (mm):	2,7
Longitud del sépalo:	Largo
Anchura del sépalo (mm):	Ancho

Fruto

Forma:	Elíptica
Constricción basal:	Fuerte
Forma del ápice:	Agudo
Superficie:	Lisa o ligeramente rugosa
Profundidad de los surcos:	Poco profunda
Color:	Anaranjado
Peso (g):	614
Diámetro (cm):	9
Longitud (cm):	22,5
Número de almendras:	41
Peso húmedo almendras (g):	182
Grosor del exocarpio:	Medio



Foto: Eliana Báez Daza

Almendras



Foto: Eliana Báez Daza

Longitud (cm):	2,4
Ancho (cm):	1,5
Ancho (cm):	0,9
Color:	Púrpura-rojo oscuro
% almendra:	84,79
% cascarilla:	15,21
Forma en sección longitudinal:	Elíptica
pH:	3,5
° Brix:	14,9

Cont. de ácidos grasos

% palmítico (C 16:0):	29,16 ± 2
% esteárico (C 18:0):	33,88 ± 3,15
% oleico (C 18:1):	32,64 ± 1,07

Características fisicoquímicas

% humedad:	4,72 ± 0,37
% ceniza:	2,50 ± 0,04
% grasa:	55,37 ± 0,59
% fibra cruda:	11,73 ± 0,47
% proteína:	4,01 ± 1,16
% carbohidratos:	25,69 ± 0,44
Acidez:	1,40 ± 0,20

Sustancias funcionales

Polifenoles totales (mg EAG/g muestra seca):	17,84 ± 1,48
Teobromina (mg/g muestra seca):	9,38 ± 0,15
Cafeina (mg/g muestra seca):	2,07 ± 0,5
Teobromina/ cafeina:	4,83 ± 1,24
Catequina (mg/g muestra seca):	N. D.
Epicatequina (mg/g muestra seca):	1,43 ± 0,01
Procianidinas (B1 + B2) (mg procianidina/g muestra seca):	N. D.

Actividad antioxidante

Método ORAC TEAC (µmol Tx/g):	737,00 ± 89
Método ABTS TEAC (µmol Tx/g):	170,03 ± 41,96
Método DPPH TEAC (µmol Tx/g):	136,16 ± 9,8

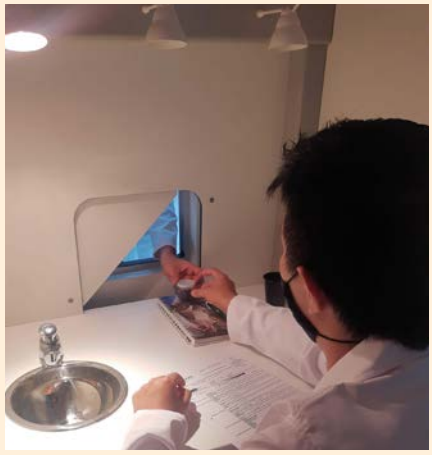


Foto: Eliana Báez Daza

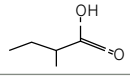
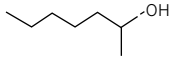
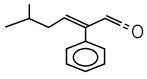
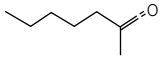
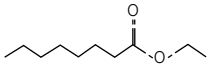


Perfil sensorial experimental *vs.* predicho

Atributo	Predicho
Cacao	2,55
Floral	0,11
Frutal	0,92
Nuez	1,23
Dulce	1,78
Ácido	4,40
Amargo	N. C.*
Astringente	N. C.*

Los colores representan la escala cualitativa **ausente (0-1)**, **bajo (1-3)** y **medio (3-6)**.
* N. C.: no calculado.

Compuestos volátiles

Familia de compuestos	N°	Compuesto	Concentración (mg/kg)	Percepción sensorial*
Ácidos 	1	Ácido 3-metilbutanoico	3,4	Rancio, queso
	2	Ácido 2-metilbutanoico	3,51	Rancio, queso
Alcoholes 	3	2-heptanol	1,2	Cítrico
	4	2-nonanol	2,7	Dulce
	5	2-feniletanol	9,7	Floral
Aldehídos 	6	Benzaldehido	0	Amargo
	7	5-metil-2-fenil-2-hexenal	0,2	Cacao, dulce, ron
Cetonas 	8	2-nonanona	0,8	N. D.
	9	2-heptatona	0	Frutal
	10	2-undecanona	0	N. D.
Ésteres 	11	Octanoato de etilo	0	Floral, frutal
	12	2-fenilacetato	1,7	Floral
	13	Acetato de 2-feniletilo	7,2	Floral
	14	Dodecanonato de etilo	2,3	Floral, coñac
Pirazina 	15	2,3,5,6-tetrametilpirazina	4,4	Madera, pino, verde
Otros 	16	B-pineno	0	Nuez

*Percepción sensorial de compuesto puro

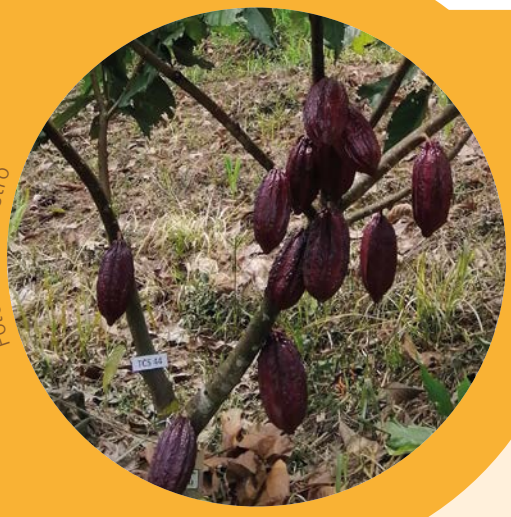


Foto: Carol Castro

TCS 44

Origen: San Vicente (Santander)
Seleccionado por: Corpoica / Fedecacao
Año de colecta: 2007
Pedigrí: selección natural natural
Productividad/árbol/año (kg): 1,7
Índice de mazorca (IM): 14 ± 1
Índice de grano (IG): 1,6 ± 0,2
Compatibilidad: autocompatible (AC)
Incidencia de monilia: 16,5 %

Hojas



Foto: Carol Castro

Longitud (cm):	32,7
Ancho (cm):	11,5
Tamaño:	Mediano
Forma de la base:	Agudo
Intensidad del color verde:	Medio
Forma del ápice:	Acuminado
Color de la hoja joven:	Rojo claro

Flor



Foto: Carol Castro

Pigmentación antociánica del pedicelo:	Deficiente
Pigmentación antociánica del sépalo:	Deficiente
Color de la lígula:	Amarillo crema
Pigmentación antociánica del estaminodio:	Media
Longitud del sépalo (mm):	8,8
Ancho del sépalo (mm):	2,4
Longitud del sépalo:	Largo
Anchura del sépalo (mm):	Medio

Fruto

Forma:	Oblonga
Constricción basal:	Ausente o muy débil
Forma del ápice:	Entallado
Superficie:	Moderadamente rugosa
Profundidad de los surcos:	Media
Color:	Anaranjado
Peso (g):	560
Diámetro (cm):	8,3
Longitud (cm):	22
Número de almendras:	40
Peso húmedo almendras (g):	197
Grosor del exocarpio:	Medio



Foto: Eliana Báez Daza

Almendras



Foto: Eliana Báez Daza

Longitud (cm):	2,7
Ancho (cm):	1,5
Grosor (cm):	1
Color:	Rojo-rosa-crema
% almendra:	86,77
% cascarilla:	13,23
Forma en sección longitudinal:	Ovado
pH:	3,2
° Brix:	17

Cont. de ácidos grasos

% palmítico (C 16:0):	31,12 ± 0,24
% esteárico (C 18:0):	33,28 ± 0,64
% oleico (C 18:1):	32,44 ± 0,50

Características fisicoquímicas

% humedad:	4,71 ± 0,09
% ceniza:	2,79 ± 0,09
% grasa:	53,30 ± 0,86
% fibra cruda:	11,79 ± 0,23
% proteína:	3,38 ± 0,98
% carbohidratos:	27,41 ± 0,66
Acidez:	1,42 ± 0,20

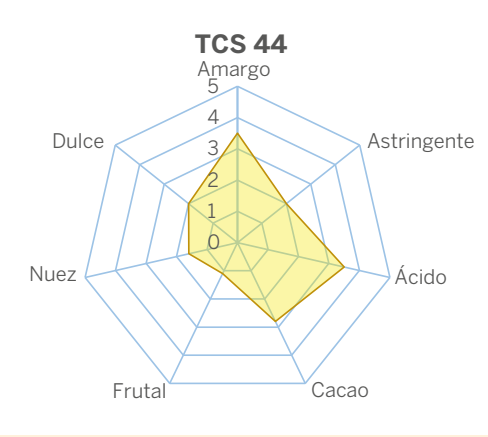
Sustancias funcionales

Polifenoles totales (mg EAG/g muestra seca):	37,27 ± 2,08
Teobromina (mg/g muestra seca):	9,11 ± 0,91
Cafeina (mg/g muestra seca):	2,80 ± 0,39
Teobromina/ cafeina:	3,28 ± 0,28
Catequina (mg/g muestra seca):	0,93 ± 0,5
Epicatequina (mg/g muestra seca):	2,75 ± 1,06
Procianidinas (B1 + B2) (mg procianidina/g muestra seca):	0,74

Actividad antioxidante

Método ORAC TEAC (µmol Tx/g):	1139,33 ± 500,01
Método ABTS TEAC (µmol Tx/g):	460,43 ± 37,11
Método DPPH TEAC (µmol Tx/g):	221,10 ± 19,60

Perfil sensorial



Muestra en la que las notas de cacao permanecen en boca hasta el final de la cata, acompañado de notas de frutos cítricos y uva pasa que llenan el paladar. En la mitad de la cata se percibe notas de nuez y finaliza con notas herbales.

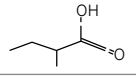
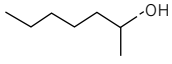
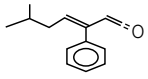
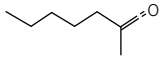
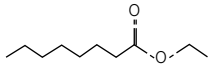
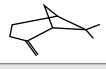
Perfil sensorial experimental *vs.* predicho

Atributo	Cata	Predicho
Cacao	2,8	2,7 ± 0,06
Floral	0	0,07
Frutal	1,1	1,19 ± 0,16
Nuez	1,6	1,86 ± 0,51
Dulce	2	1,80 ± 0,04
Ácido	3,5	4,47 ± 0,14
Amargo	3,5	N. C.*
Astringente	2	N. C.*

Los colores representan la escala cualitativa **ausente (0-1)**, **bajo (1-3)** y **medio (3-6)**.

* N. C.: no calculado.

Compuestos volátiles

Familia de compuestos	N°	Compuesto	Concentración (mg/kg)	Percepción sensorial*
Ácidos 	1	Ácido 3-metilbutanoico	2,35 ± 1,75	Rancio, queso
	2	Ácido 2-metilbutanoico	1,65 ± 1,55	Rancio, queso
Alcoholes 	3	2-heptanol	0,9	Cítrico
	4	2-nonanol	1,85 ± 0,65	Dulce
	5	2-feniletanol	8,55 ± 2,45	Floral
Aldehídos 	6	Benzaldehido	8,4	Amargo
	7	5-metil-2-fenil-2-hexenal	0,4	Cacao, dulce, ron
Cetonas 	8	2-nonanona	0,35 ± 0,05	N. D.
	9	2-heptatona	0,2	Frutal
	10	2-undecanona	0	N. D.
Ésteres 	11	Octanoato de etilo	2,2	Floral, frutal
	12	2-fenilacetato	5,05 ± 2,95	Floral
	13	Acetato de 2-feniletilo	13,65 ± 1,65	Floral
	14	Dodecanonato de etilo	26,7 ± 25,5	Floral, coñac
Pirazina 	15	2,3,5,6-tetrametilpirazina	5,85 ± 2,05	Madera, pino, verde
Otros 	16	B-pineno	0,1	Nuez

*Percepción sensorial de compuesto puro



Foto: Ever Delgado

TCS 45

Origen: San Vicente (Santander)
Seleccionado por: Orlando Arguello Castellanos
Luis Antonio Mejía
Nelson Contreras
Año de colecta: 1998
Pedigrí: selección natural
Productividad/árbol/año (kg): 1,18
Índice de mazorca (IM): 18 ± 1
Índice de grano (IG): 1,48 ± 0,1
Compatibilidad: autocompatible (AC)
Incidencia de monilia: 12,8

Hojas



Foto: Carol Castro

Longitud (cm):	31,65
Ancho (cm):	10,5
Tamaño:	Pequeño
Forma de la base:	Redondeada
Intensidad del color verde:	Medio
Forma de ápice:	Acuminada
Color de la hoja joven:	Rojo claro

Flor



Foto: Carol Castro

Pigmentación antociánica del pedicelo:	Fuerte
Pigmentación antociánica del sépalo:	Media
Color dela lígula:	Amarillo
Pigmentación antociánica del estaminodio:	Media
Longitud del sépalo (mm):	7,5
Ancho del sépalo (mm):	2,4
Longitud del sépalo:	Media
Anchura del sépalo (mm):	Media

Fruto

Forma:	Ovado
Constricción basal:	Ausente o muy débil
Forma del ápice:	Agudo
Superficie:	Muy rugosa
Profundidad de los surcos:	Media
Color:	Anaranjado
Peso (g):	850
Diámetro (cm):	8,6
Longitud (cm):	28
Número de almendras:	46
Peso húmedo almendras (g):	157
Grosor del exocarpio:	Media



Foto: Eliana Báez Daza

Almendras



Foto: Eliana Báez Daza

Longitud (cm):	2,5
Ancho (cm):	1,3
Ancho (cm):	0,9
Color:	Púrpura
% almendra:	87,16
% cascarilla:	12,84
Forma en sección longitudinal:	Ovado
pH:	3,1
° Brix:	19

Cont. de ácidos grasos

% palmítico (C 16:0):	27,74 ± 0,70
% esteárico (C 18:0):	36,06 ± 0,51
% oleico (C 18:1):	31,78 ± 0,22

Características fisicoquímicas

% humedad:	5,01 ± 0,47
% ceniza:	2,95 ± 0,19
% grasa:	53,41 ± 1,61
% fibra cruda:	12,23 ± 0,30
% proteína:	3,44 ± 0,18
% carbohidratos:	26,42 ± 1,59
Acidez:	1,28 ± 0,03

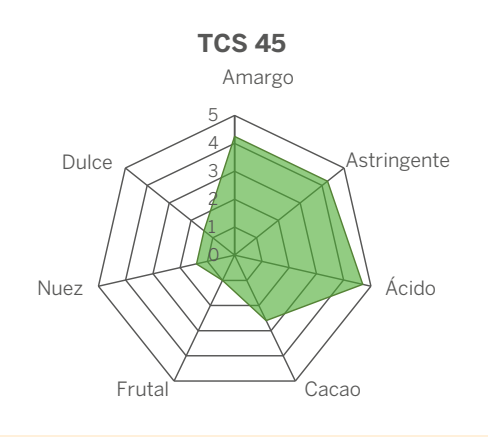
Sustancias funcionales

Polifenoles totales (mg EAG/g muestra seca):	31,36 ± 3,65
Teobromina (mg/g muestra seca):	8,81 ± 3,35
Cafeina (mg/g muestra seca):	2,53 ± 0,10
Teobromina/ cafeina:	3,54 ± 1,46
Catequina (mg/g muestra seca):	1,83
Epicatequina (mg/g muestra seca):	2,62 ± 0,55
Procianidinas (B1 + B2) (mg procianidina/g muestra seca):	N. D.

Actividad antioxidante

Método ORAC TEAC (µmol Tx/g):	1168,50 ± 130,5
Método ABTS TEAC (µmol Tx/g):	241,54 ± 58,28
Método DPPH TEAC (µmol Tx/g):	160,06 ± 44,19

Perfil sensorial



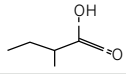
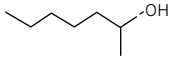
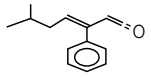
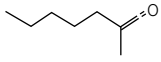
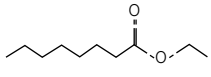
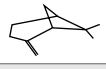
Muestra con perfil de sabores básicos en intensidad media acompañado de notas de cacao y notas leves de frutas y dulce.

Perfil sensorial experimental *vs.* predicho

Atributo	Cata	Predicho
Cacao	2,6	2,38
Floral	0	0
Frutal	1	0,74
Nuez	1,4	1,21
Dulce	1,4	1,58
Ácido	4.7	4,7
Amargo	4,25	N. C.*
Astringente	4,25	N. C.*

Los colores representan la escala cualitativa **ausente (0-1)**, **bajo (1-3)** y **medio (3-6)**.
* N. C.: no calculado.

Compuestos volátiles

Familia de compuestos	N°	Compuesto	Concentración (mg/kg)	Percepción sensorial*
Ácidos 	1	Ácido 3-metilbutanoico	6,5	Rancio, queso
	2	Ácido 2-metilbutanoico	6,2	Rancio, queso
Alcoholes 	3	2-heptanol	0,9	Cítrico
	4	2-nonanol	2	Dulce
	5	2-feniletanol	2,7	Floral
Aldehídos 	6	Benzaldehido	7,8	Amargo
	7	5-metil-2-fenil-2-hexenal	0,1	Cacao, dulce, ron
Cetonas 	8	2-nonanona	2,2	N. D.
	9	2-heptatona	0,3	Frutal
	10	2-undecanona	0	N. D.
Ésteres 	11	Octanoato de etilo	0,8	Floral, frutal
	12	2-fenilacetato	1,2	Floral
	13	Acetato de -feniletilo	3,5	Floral
	14	Dodecanonato de etilo	1,2	Floral, coñac
Pirazina 	15	2,3,5,6-tetrametilpirazina	4,5	Madera, pino, verde
Otros 	16	B-pineno	0	Nuez

*Percepción sensorial de compuesto puro



Foto: Carol Castro

TCS 46

Origen: San Vicente de Chucurí (Colombia)
Seleccionado por: Orlando Arguello Castellanos
Luis Antonio Mejía
Nelson Contreras
Año de colecta: 1998
Pedigrí: selección natural
Productividad/árbol/año (kg): 1,3
Índice de mazorca (IM): 19 ± 1
Índice de grano (IG): 1,24 ± 0,1
Compatibilidad: autocompatible (AC)
Incidencia de monilia: 16,7 %

Hojas



Foto: Carol Castro

Longitud (cm):	32,75
Ancho (cm):	9,51
Tamaño:	Mediano
Forma de la base:	Cordiforme
Intensidad del color verde:	Oscuro
Forma del ápice:	Acuminado
Color de la hoja joven:	Rojo oscuro

Flor



Foto: Carol Castro

Pigmentación antociánica del pedicelo:	Fuerte
Pigmentación antociánica del sépalo:	Medio
Color de la lígula:	Amarillo
Pigmentación antociánica del estaminodio:	Fuerte
Longitud del sépalo (mm):	9,4
Ancho del sépalo (mm):	2,8
Longitud del sépalo:	Largo
Anchura del sépalo (mm):	Ancho

Fruto

Forma:	Ovado
Constricción basal:	Moderado
Forma del ápice:	Entallado
Superficie:	Moderadamente rugosa
Profundidad de los surcos:	Poco profundo
Color:	Anaranjado
Peso (g):	717
Diámetro (cm):	8,9
Longitud (cm):	26
Número de almendras:	41
Peso húmedo almendras (g):	132
Grosor del exocarpio:	Medio



Foto: Eliana Báez Daza

Almendras



Foto: Eliana Báez Daza

Longitud (cm):	2,3
Ancho (cm):	1,2
Grosor (cm):	0,9
Color:	Púrpura
% almendra:	84,68
% cascarilla:	15,32
Forma en sección longitudinal:	Oblonga
pH:	3,2
° Brix:	21

Cont. de ácidos grasos

% palmítico (C 16:0):	28,94 ± 0,53
% esteárico (C 18:0):	35,28 ± 0,41
% oleico (C 18:1):	31,20 ± 0,19

Características fisicoquímicas

% humedad:	6,10 ± 0,18
% ceniza:	3,02 ± 0,35
% grasa:	51,92 ± 0,97
% fibra cruda:	13,08 ± 0,89
% proteína:	4,29 ± 0,20
% carbohidratos:	25,89 ± 1,59
Acidez:	1,38 ± 0,11

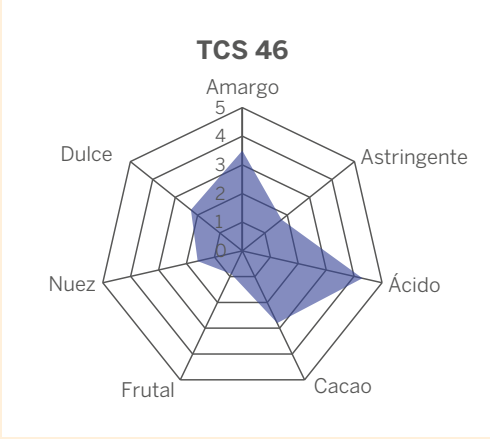
Sustancias funcionales

Polifenoles totales (mg EAG/g muestra seca):	29,86 ± 5,06
Teobromina (mg/g muestra seca):	11,46 ± 1,60
Cafeina (mg/g muestra seca):	2,56 ± 0,17
Teobromina/ cafeina:	4,46 ± 0,46
Catequina (mg/g muestra seca):	0,99
Epicatequina (mg/g muestra seca):	2,58 ± 0,86
Procianidinas (B1 + B2) (mg procianidina/g muestra seca):	0,86

Actividad antioxidante

Método ORAC TEAC (µmol Tx/g):	1111,00 ± 540,94
Método ABTS TEAC (µmol Tx/g):	230,74 ± 39,11
Método DPPH TEAC (µmol Tx/g):	150,15 ± 14,75

Perfil sensorial



Muestra que presenta notas de cacao, notas de frutos rojos y herbales en la mitad de la cata.

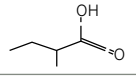
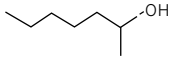
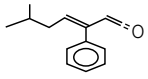
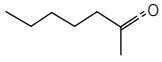
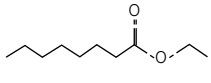
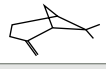
Perfil sensorial experimental *vs.* predicho

Atributo	Cata	Predicho
Cacao	2,8	2,69
Floral	0	0,03
Frutal	0,9	1,11
Nuez	1,6	1,47
Dulce	2,3	1,88
Ácido	4,3	4,28
Amargo	3,5	N. C.*
Astringente	2,33	N. C.*

Los colores representan la escala cualitativa **ausente (0-1)**, **bajo (1-3)** y **medio (3-6)**.

* N. C.: no calculado.

Compuestos volátiles

Familia de compuestos	N°	Compuesto	Concentración (mg/kg)	Percepción sensorial*
Ácidos 	1	Ácido 3-metilbutanoico	4,4	Rancio, queso
	2	Ácido 2-metilbutanoico	3,2	Rancio, queso
Alcoholes 	3	2-heptanol	0,52	Cítrico
	4	2-nonanol	2,4	Dulce
	5	2-feniletanol	6,65	Floral
Aldehídos 	6	Benzaldehido	10,6	Amargo
	7	5-metil-2-fenil-2-hexenal	0	Cacao, dulce, ron
Cetonas 	8	2-nonanona	0,7	N. D.
	9	2-heptatona	0,1	Frutal
	10	2-undecanona	0	N. D.
Ésteres 	11	Octanoato de etilo	1,7	Floral, frutal
	12	2-fenilacetato	1,2	Floral
	13	Acetato de 2-feniletilo	10,7	Floral
	14	Dodecanonato de etilo	0,7	Floral, coñac
Pirazina 	15	2,3,5,6-tetrametilpirazina	8,8	Madera, pino, verde
Otros 	16	B-pineno	0,2	Nuez

*Percepción sensorial de compuesto puro



Foto: Ever Delgado

TCS 47

Origen: Palmira (Valle)
Seleccionado por: Gustavo A. Enríquez C.
Año de colecta: 1994
Pedigrí: selección natural
Productividad/árbol/año (kg): 1,79
Índice de mazorca (IM): 18
Índice de grano (IG): 1,83 ± 0,1
Compatibilidad: autoincompatible (AI)
Incidencia de monilia: 19,9 %

Hojas



Foto: Carol Castro

Longitud (cm):	34,1
Ancho (cm):	12,43
Tamaño:	Mediano
Forma de la base:	Aguda
Intensidad del color verde:	Oscuro
Forma de ápice:	Acuminada
Color de la hoja joven:	Rojo oscuro

Flor



Foto: Carol Castro

Pigmentación antociánica del pedicelo:	Deficiente
Pigmentación antociánica del sépalo:	Ausente
Color dela lígula:	Amarillo
Pigmentación antociánica del estaminodio:	Débil
Longitud del sépalo (mm):	9,7
Ancho del sépalo (mm):	2,7
Longitud del sépalo:	Larga
Anchura del sépalo (mm):	Ancho

Fruto

Forma:	Oblonga
Constricción basal:	Ausente o muy débil
Forma del ápice:	Agudo
Superficie:	Muy rugosa
Profundidad de los surcos:	Media
Color:	Anaranjado y amarillo
Peso (g):	781
Diámetro (cm):	8,8
Longitud (cm):	23
Número de almendras:	29
Peso húmedo almendras (g):	137
Grosor del exocarpio:	Medio



Foto: Eliana Báez Daza

Almendras



Foto: Eliana Báez Daza

Longitud (cm):	2,5
Ancho (cm):	1,4
Ancho (cm):	1,1
Color:	Púrpura
% almendra:	85,38
% cascarilla:	14,62
Forma en sección longitudinal:	Elíptica
pH:	3,1
° Brix:	17

Cont. de ácidos grasos

% palmítico (C 16:0):	27,96 ± 0,62
% esteárico (C 18:0):	35,08 ± 0,32
% oleico (C 18:1):	32,555 ± 0,215

Características fisicoquímicas

% humedad:	4,5 ± 0,1
% ceniza:	2,83 ± 0,07
% grasa:	54,775 ± 0,315
% fibra cruda:	13,245 ± 0,125
% proteína:	2,22 ± 0,01
% carbohidratos:	24,645 ± 0,275
Acidez:	1,045 ± 0,025

Sustancias funcionales

Polifenoles totales (mg EAG/g muestra seca):	37,28 ± 0,32
Teobromina (mg/g muestra seca):	12,71 ± 1,14
Cafeina (mg/g muestra seca):	3,04 ± 0,01
Teobromina/ cafeina:	4,19 ± 0,35
Catequina (mg/g muestra seca):	0,40
Epicatequina (mg/g muestra seca):	4,59 ± 0,52
Procianidinas (B1 + B2) (mg procianidina/g muestra seca):	N. D.

Actividad antioxidante

Método ORAC TEAC (µmol Tx/g):	1429 ± 18
Método ABTS TEAC (µmol Tx/g):	463,67 ± 8,89
Método DPPH TEAC (µmol Tx/g):	261,37 ± 12,41



Foto: Lucero Rodríguez



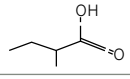
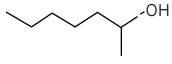
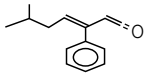
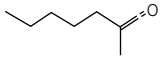
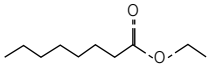
Foto: Eliana Báez Daza

Perfil sensorial experimental *vs.* predicho

Atributo	Predicho
Cacao	3,16
Floral	0,43
Frutal	1,69
Nuez	1,98
Dulce	2,32
Ácido	3,70
Amargo	N. C.*
Astringente	N. C.*

Los colores representan la escala cualitativa **ausente (0-1)**, **bajo (1-3)** y **medio (3-6)**.
* N. C.: no calculado.

Compuestos volátiles

Familia de compuestos	N°	Compuesto	Concentración (mg/kg)	Percepción sensorial*
Ácidos 	1	Ácido 3-metilbutanoico	1,1	Rancio, queso
	2	Ácido 2-metilbutanoico	0	Rancio, queso
Alcoholes 	3	2-heptanol	1,4	Cítrico
	4	2-nonanol	0,9	Dulce
	5	2-feniletanol	14,8	Floral
Aldehídos 	6	Benzaldehido	10	Amargo
	7	5-metil-2-fenil-2-hexenal	0	Cacao, dulce, ron
Cetonas 	8	2-nonanona	0,3	N. D.
	9	2-heptatona	0,3	Frutal
	10	2-undecanona	0	N. D.
Ésteres 	11	Octanoato de etilo	3,7	Floral, frutal
	12	2-fenilacetato	1,9	Floral
	13	Acetato de -feniletilo	20,3	Floral
	14	Dodecanonato de etilo	4	Floral, coñac
Pirazina 	15	2,3,5,6-tetrametilpirazina	18,2	Madera, pino, verde
Otros 	16	B-pineno	0	Nuez

*Percepción sensorial de compuesto puro



Foto: Eliana Báez Daza

TCS 48

Origen: Palmira (Valle)
Seleccionado por: Gustavo A. Enríquez C.
Año de colecta: 1994
Pedigrí: selección natural
Productividad/árbol/año (kg): 1,69
Índice de mazorca (IM): 16 ± 1
Índice de grano (IG): 1,59 ± 0,2
Compatibilidad: autoincompatible (AI)
Incidencia de monilia: 21,4 %

Hojas



Foto: Carol Castro

Longitud (cm):	30,3
Ancho (cm):	11,63
Tamaño:	Pequeño
Forma de la base:	Cordiforme
Intensidad del color verde:	Oscuro
Forma del ápice:	Acuminado
Color de la hoja joven:	Rojo medio

Flor



Foto: Eliana Báez Daza

Pigmentación antociánica del pedicelo:	Fuerte
Pigmentación antociánica del sépalo:	Deficiente
Color de la lígula:	Amarillo
Pigmentación antociánica del estaminodio:	Medio
Longitud del sépalo (mm):	8,7
Ancho del sépalo (mm):	2,5
Longitud del sépalo:	Larga
Anchura del sépalo (mm):	Media

Fruto

Forma:	Elíptica
Constricción basal:	Ausente o muy débil
Forma del ápice:	Agudo
Superficie:	Moderadamente rugosa
Profundidad de los surcos:	Profunda
Color:	Anaranjado
Peso (g):	666
Diámetro (cm):	8,7
Longitud (cm):	22,5
Número de almendras:	40
Peso húmedo almendras (g):	162
Grosor del exocarpio:	Medio



Foto: Carol Castro

Almendras



Foto: Eliana Báez Daza

Longitud (cm):	2,5
Ancho (cm):	1,4
Grosor (cm):	1,0
Color:	Púrpura y rojo
% almendra:	84,93
% cascarilla:	15,07
Forma en sección longitudinal:	Elíptica
pH:	3,3
° Brix:	17

Cont. de ácidos grasos

% palmítico (C 16:0):	26,63 ± 0,11
% esteárico (C 18:0):	35,82 ± 0,11
% oleico (C 18:1):	32,98 ± 0,23

Características fisicoquímicas

% humedad:	4,80 ± 0,01
% ceniza:	2,73 ± 0,02
% grasa:	55,99 ± 1,99
% fibra cruda:	12,99 ± 0,05
% proteína:	2,77 ± 0,24
% carbohidratos:	25,00 ± 0,55
Acidez:	1,13 ± 0,03

Sustancias funcionales

Polifenoles totales (mg EAG/g muestra seca):	32,04 ± 0,21
Teobromina (mg/g muestra seca):	11,66 ± 1,46
Cafeina (mg/g muestra seca):	3,05 ± 0,39
Teobromina/ cafeina:	3,83
Catequina (mg/g muestra seca):	0,35
Epicatequina (mg/g muestra seca):	3,77 ± 0,47
Procianidinas (B1 + B2) (mg procianidina/g muestra seca):	N. D.

Actividad antioxidante

Método ORAC TEAC (µmol Tx/g):	1290,50 ± 20,50
Método ABTS TEAC (µmol Tx/g):	438,19 ± 29,44
Método DPPH TEAC (µmol Tx/g):	232,81 ± 10,57



Foto: Eliana Báez Daza



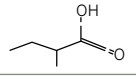
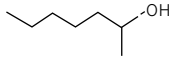
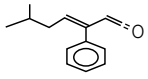
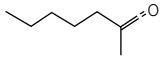
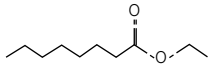
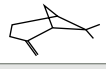
Foto: Lucero Rodríguez

Perfil sensorial experimental *vs.* predicho

Atributo	Predicho
Cacao	3,83
Floral	0,44
Frutal	2,56
Nuez	2,90
Dulce	2,87
Ácido	3,02
Amargo	N. C.*
Astringente	N. C.*

Los colores representan la escala cualitativa **ausente (0-1)**, **bajo (1-3)** y **medio (3-6)**.
* N. C.: no calculado.

Compuestos volátiles

Familia de compuestos	N°	Compuesto	Concentración (mg/kg)	Percepción sensorial*
Ácidos 	1	Ácido 3-metilbutanoico	0	Rancio, queso
	2	Ácido 2-metilbutanoico	2,85	Rancio, queso
Alcoholes 	3	2-heptanol	0	Cítrico
	4	2-nonanol	1,48	Dulce
	5	2-feniletanol	18,86	Floral
Aldehídos 	6	Benzaldehido	11,65	Amargo
	7	5-metil-2-fenil-2-hexenal	0,38	Cacao, dulce, ron
Cetonas 	8	2-nonanona	0,32	N. D.
	9	2-heptatona	0,14	Frutal
	10	2-undecanona	0	N. D.
Ésteres 	11	Octanoato de etilo	1,6	Floral, frutal
	12	2-fenilacetato	1,85	Floral
	13	Acetato de 2-feniletilo	50,19	Floral
	14	Dodecanonato de etilo	7,58	Floral, coñac
Pirazina 	15	2,3,5,6-tetrametilpirazina	18,93	Madera, pino, verde
Otros 	16	B-pineno	0	Nuez

*Percepción sensorial de compuesto puro



Foto: Eliana Báez Daza

TCS 49

Origen: Oiba (Santander)
Seleccionado por:
Yesid Hernández
Año de colecta: 2004
Pedigrí: selección natural
Productividad/árbol/año (kg): 1,73
Índice de mazorca (IM): 13 ± 1
Índice de grano (IG): 1,47 ± 0,1
Compatibilidad: autoincompatible (AI)
Incidencia de monilia: 12,7 %

Hojas



Foto: Carol Castro

Longitud (cm):	33,3
Ancho (cm):	10,97
Tamaño:	Mediano
Forma de la base:	Cordiforme
Intensidad del color verde:	Oscuro
Forma de ápice:	Apiculado
Color de la hoja joven:	Café

Flor



Foto: Eliana Báez Daza

Pigmentación antociánica del pedicelo:	Deficiente
Pigmentación antociánica del sépalo:	Ausente
Color dela lígula:	Amarillo
Pigmentación antociánica del estaminodio:	Media
Longitud del sépalo (mm):	8,8
Ancho del sépalo (mm):	2,4
Longitud del sépalo:	Larga
Anchura del sépalo (mm):	Media

Fruto

Forma:	Oblonga
Constricción basal:	Moderado
Forma del ápice:	Entallado
Superficie:	Lisa o ligeramente rugosa
Profundidad de los surcos:	Poco profunda
Color:	Amarillo
Peso (g):	785
Diámetro (cm):	9
Longitud (cm):	24
Número de almendras:	48
Peso húmedo almendras (g):	228
Grosor del exocarpio:	Media



Foto: Eliana Báez Daza

Almendras



Foto: Eliana Báez Daza

Longitud (cm):	2,6
Ancho (cm):	1,6
Ancho (cm):	1,0
Color:	Púrpura
% almendra:	86,54
% cascarilla:	13,46
Forma en sección longitudinal:	Elíptica
pH:	3,3
° Brix:	17

Cont. de ácidos grasos

% palmítico (C 16:0):	28,51 ± 0,08
% esteárico (C 18:0):	35,07 ± 0,46
% oleico (C 18:1):	32,20 ± 0,29

Características fisicoquímicas

% humedad:	5,40 ± 0,15
% ceniza:	2,78 ± 0,10
% grasa:	53,31 ± 1,08
% fibra cruda:	12,74 ± 0,53
% proteína:	8,21 ± 1,70
% carbohidratos:	25,79 ± 1,37
Acidez:	1,57 ± 0,01

Sustancias funcionales

Polifenoles totales (mg EAG/g muestra seca):	19,81 ± 2,92
Teobromina (mg/g muestra seca):	9,02 ± 0,21
Cafeina (mg/g muestra seca):	2,59 ± 0,02
Teobromina/ cafeina:	3,48 ± 0,11
Catequina (mg/g muestra seca):	N. D.
Epicatequina (mg/g muestra seca):	1,53 ± 0,11
Procianidinas (B1 + B2) (mg procianidina/g muestra seca):	N. D.

Actividad antioxidante

Método ORAC TEAC (µmol Tx/g):	678,50 ± 48,50
Método ABTS TEAC (µmol Tx/g):	591,40 ± 406,01
Método DPPH TEAC (µmol Tx/g):	467,46 ± 341,25





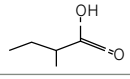
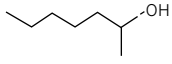
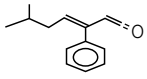
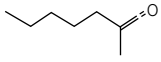
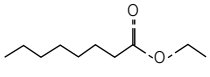
Fotos: Lucero Rodríguez

Perfil sensorial experimental *vs.* predicho

Atributo	Predicho
Cacao	3,12
Floral	0
Frutal	1,69
Nuez	2.26
Dulce	2,,20
Ácido	3,92
Amargo	N. C.*
Astringente	N. C.*

Los colores representan la escala cualitativa **ausente (0-1)**, **bajo (1-3)** y **medio (3-6)**.
* N. C.: no calculado.

Compuestos volátiles

Familia de compuestos	N°	Compuesto	Concentración (mg/kg)	Percepción sensorial*
Ácidos 	1	Ácido 3-metilbutanoico	5,8	Rancio, queso
	2	Ácido 2-metilbutanoico	2,5	Rancio, queso
Alcoholes 	3	2-heptanol	1,6	Cítrico
	4	2-nonanol	0,9	Dulce
	5	2-feniletanol	7,5	Floral
Aldehídos 	6	Benzaldehido	9,2	Amargo
	7	5-metil-2-fenil-2-hexenal	0	Cacao, dulce, ron
Cetonas 	8	2-nonanona	0,9	N. D.
	9	2-heptatona	0,2	Frutal
	10	2-undecanona	0	N. D.
Ésteres 	11	Octanoato de etilo	2,1	Floral, frutal
	12	2-fenilacetato	3	Floral
	13	Acetato de 2-feniletilo	22,4	Floral
	14	Dodecanonato de etilo	0,8	Floral, coñac
Pirazina 	15	2,3,5,6-tetrametilpirazina	23	Madera, pino, verde
Otros 	16	B-pineno	0	Nuez

*Percepción sensorial de compuesto puro



Foto: Ever Delgado

CCN 51

Origen: Ecuador
Seleccionado por: Homero Castro Zurita
Año de colecta: 1965
Pedigrí: ICS 95 × IMC 67
Productividad/árbol/año (kg): 1,6
Índice de mazorca (IM): 16 ± 1
Índice de grano (IG): 1,53 ± 0,1
Compatibilidad: autocompatible (AC)
Incidencia de monilia: 22,5 %

Hojas



Foto: Carol Castro

Longitud (cm):	28,13
Ancho (cm):	10,29
Tamaño:	Pequeña
Forma de la base:	Redondeada
Intensidad del color verde:	Medio
Forma del ápice:	Acuminada
Color de la hoja joven:	Rojo claro

Flor



Foto: Carol Castro

Pigmentación antociánica del pedicelo:	Fuerte
Pigmentación antociánica del sépalo:	Media
Color de la lígula:	Amarillo
Pigmentación antociánica del estaminodio:	Débil
Longitud del sépalo (mm):	10
Ancho del sépalo (mm):	2,9
Longitud del sépalo:	Larga
Anchura del sépalo (mm):	Ancho

Fruto

Forma:	Oblonga
Constricción basal:	Moderado
Forma del ápice:	Agudo
Superficie:	Muy rugosa
Profundidad de los surcos:	Profunda
Color:	Rojo claro y amarillo
Peso (g):	857
Diámetro (cm):	9,2
Longitud (cm):	25
Número de almendras:	47
Peso húmedo almendras (g):	210
Grosor del exocarpio:	Medio



Foto: Eliana Báez Daza

Almendras



Foto: Eliana Báez Daza

Longitud (cm):	2,5
Ancho (cm):	1,2
Grosor (cm):	0,8
Color:	Púrpura y rosa
% almendra:	87,23
% cascarilla:	12,77
Forma en sección longitudinal:	Elíptica
pH:	3,8
° Brix:	18

Cont. de ácidos grasos

% palmítico (C 16:0):	29,32 ± 0,23
% esteárico (C 18:0):	34,19 ± 0,41
% oleico (C 18:1):	31,74 ± 0,53

Características fisicoquímicas

% humedad:	5,23 ± 0,22
% ceniza:	2,44 ± 0,03
% grasa:	55,83 ± 0,11
% fibra cruda:	11,71 ± 0,29
% proteína:	4,26 ± 2,43
% carbohidratos:	24,80 ± 0,07
Acidez:	1,26 ± 0,26

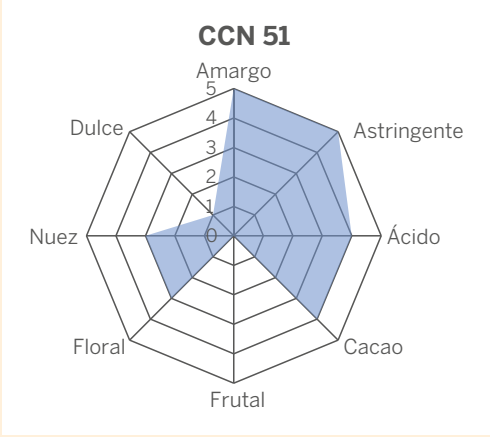
Sustancias funcionales

Polifenoles totales (mg EAG/g muestra seca):	26,13 ± 0,06
Teobromina (mg/g muestra seca):	9,42 ± 2,27
Cafeina (mg/g muestra seca):	1,48 ± 0,04
Teobromina/ cafeina:	6,42 ± 1,69
Catequina (mg/g muestra seca):	N. D.
Epicatequina (mg/g muestra seca):	1,34 ± 0,14
Procianidinas (B1 + B2) (mg procianidina/g muestra seca):	N. D.

Actividad antioxidante

Método ORAC TEAC (µmol Tx/g):	984,00 ± 743,01
Método ABTS TEAC (µmol Tx/g):	320,18 ± 203,96
Método DPPH TEAC (µmol Tx/g):	157,39 ± 148,79

Perfil sensorial



En el perfil se destaca el sabor amargo en toda la cata, acompañado de notas predominantes de cacao y finaliza con notas leves herbales y nuez.

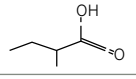
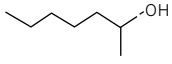
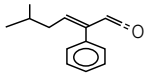
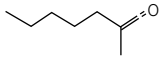
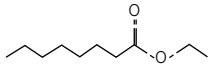
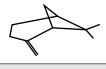
Perfil sensorial experimental *vs.* predicho

Atributo	Cata	Predicho
Cacao	4	6
Floral	3	0,4
Frutal	0	5,6
Nuez	3	6
Dulce	1	4,8
Ácido	4	0,7
Amargo	5	N. C.*
Astringente	5	N. C.*

Los colores representan la escala cualitativa **ausente (0-1)**, **bajo (1-3)** y **medio (3-6)**.

* N. C.: no calculado.

Compuestos volátiles

Familia de compuestos	N°	Compuesto	Concentración (mg/kg)	Percepción sensorial*
Ácidos 	1	Ácido 3-metilbutanoico	5,3	Rancio, queso
	2	Ácido 2-metilbutanoico	1,5	Rancio, queso
Alcoholes 	3	2-heptanol	1,1	Cítrico
	4	2-nonanol	1,4	Dulce
	5	2-feniletanol	19,4	Floral
Aldehídos 	6	Benzaldehido	24	Amargo
	7	5-metil-2-fenil-2-hexenal	0	Cacao, dulce, ron
Cetonas 	8	2-nonanona	0,5	N. D.
	9	2-heptatona	0,1	Frutal
	10	2-undecanona	0	N. D.
Ésteres 	11	Octanoato de etilo	0,5	Floral, frutal
	12	2-fenilacetato	6,7	Floral
	13	Acetato de 2-feniletilo	143,1	Floral
	14	Dodecanonato de etilo	0	Floral, coñac
Pirazina 	15	2,3,5,6-tetrametilpirazina	45,4	Madera, pino, verde
Otros 	16	B-pineno	0,1	Nuez

*Percepción sensorial de compuesto puro



Foto: Carol Castro

ICS 95

Origen: Trinidad
Seleccionado por: J. F. Pound
Año de colecta: 1931
Pedigrí: híbrido de trinitario × criollo
Productividad/árbol/año (kg): 0,8
Índice de mazorca (IM): 19 ± 1
Índice de grano (IG): 1,33 ± 0,1
Compatibilidad: autocompatible (AC)
Incidencia de monilia: 14,2 %

Hojas



Foto: Eliana Báez Daza

Longitud (cm):	29,7
Ancho (cm):	11,78
Tamaño:	Pequeña
Forma de la base:	Aguda
Intensidad del color verde:	Oscuro
Forma de ápice:	Acuminada
Color de la hoja joven:	Rojo medio

Flor



Foto: Carol Castro

Pigmentación antociánica del pedicelo:	Deficiente
Pigmentación antociánica del sépalo:	Ausente
Color dela lígula:	Amarillo
Pigmentación antociánica del estaminodio:	Débil
Longitud del sépalo (mm):	9,7
Ancho del sépalo (mm):	2,9
Longitud del sépalo:	Larga
Anchura del sépalo (mm):	Ancho

Fruto

Forma:	Oblonga
Constricción basal:	Ausente o muy débil
Forma del ápice:	Entallado
Superficie:	Moderadamente rugosa
Profundidad de los surcos:	Poco profunda
Color:	Rojo claro
Peso (g):	724
Diámetro (cm):	8,6
Longitud (cm):	25
Número de almendras:	38
Peso húmedo almendras (g):	117
Grosor del exocarpio:	Medio



Foto: Eliana Báez Daza

Almendras



Foto: Eliana Báez Daza

Longitud (cm):	2,2
Ancho (cm):	1,3
Ancho (cm):	0,9
Color:	Púrpura
% almendra:	85,77
% cascarilla:	14,23
Forma en sección longitudinal:	Elíptica
pH:	3,3
° Brix:	16

Cont. de ácidos grasos

% palmítico (C 16:0):	30,29 ± 0,39
% esteárico (C 18:0):	34,35 ± 1,70
% oleico (C 18:1):	30,98 ± 1,35

Características fisicoquímicas

% humedad:	5,12 ± 0,64
% ceniza:	3,00 ± 0,13
% grasa:	53,53 ± 0,43
% fibra cruda:	13,00 ± 0,33
% proteína:	4,95 ± 2
% carbohidratos:	25,38 ± 0,63
Acidez:	1,41 ± 0,19

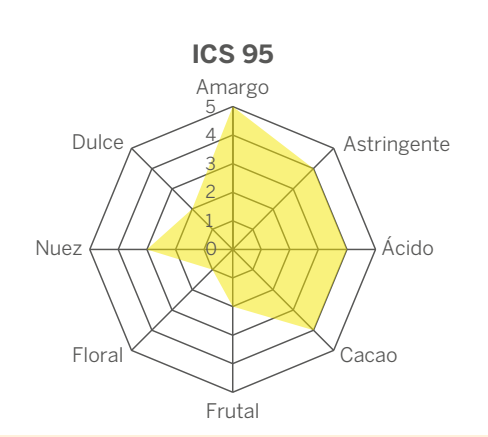
Sustancias funcionales

Polifenoles totales (mg EAG/g muestra seca):	29,12 ± 1,63
Teobromina (mg/g muestra seca):	12,42 ± 1,14
Cafeina (mg/g muestra seca):	3,13 ± 0,34
Teobromina/ cafeina:	4,06 ± 0,80
Catequina (mg/g muestra seca):	N. D.
Epicatequina (mg/g muestra seca):	3,34 ± 0,40
Procianidinas (B1 + B2) (mg procianidina/g muestra seca):	N. D.

Actividad antioxidante

Método ORAC TEAC (µmol Tx/g):	1012,50 ± 46,50
Método ABTS TEAC (µmol Tx/g):	336,83 ± 82,98
Método DPPH TEAC (µmol Tx/g):	177,31 ± 37,90

Perfil sensorial



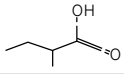
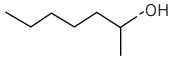
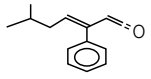
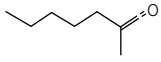
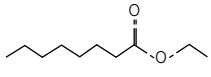
Muestra con un perfil de amargo medio, notas de cacao y herbal acompañado con notas ligeras agridulces y nuez.

Perfil sensorial experimental *vs.* predicho

Atributo	Cata	Predicho
Cacao	4	3,4
Floral	1	0
Frutal	2	2,4
Nuez	3	4,2
Dulce	2	2,1
Ácido	4	4,3
Amargo	5	N. C.*
Astringente	4	N. C.*

Los colores representan la escala cualitativa **ausente (0-1)**, **bajo (1-3)** y **medio (3-6)**.
* N. C.: no calculado.

Compuestos volátiles

Familia de compuestos	N°	Compuesto	Concentración (mg/kg)	Percepción sensorial*
Ácidos 	1	Ácido 3-metilbutanoico	0	Rancio, queso
	2	Ácido 2-metilbutanoico	0,1	Rancio, queso
Alcoholes 	3	2-heptanol	0	Cítrico
	4	2-nonanol	0	Dulce
	5	2-feniletanol	10,6	Floral
Aldehídos 	6	Benzaldehido	0	Amargo
	7	5-metil-2-fenil-2-hexenal	0,5	Cacao, dulce, ron
Cetonas 	8	2-nonanona	1,2	N. D.
	9	2-heptatona	0	Frutal
	10	2-undecanona	0,3	N. D.
Ésteres 	11	Octanoato de etilo	0	Floral, frutal
	12	2-fenilacetato	4,9	Floral
	13	Acetato de 2-feniletilo	29,6	Floral
	14	Dodecanonato de etilo	76,7	Floral, coñac
Pirazina 	15	2,3,5,6-tetrametilpirazina	39,6	Madera, pino, verde
Otros 	16	B-pineno	0	Nuez

*Percepción sensorial de compuesto puro

Impresión y encuadernación:
DGP Editores S.A.S.

Terminó de imprimirse
en junio, Bogotá, D. C., Colombia

En el presente documento se hace una compilación de información producto de resultados de investigación cuyo objetivo principal fue la caracterización agronómica fisicoquímica, funcional y análisis sensorial de 22 genotipos regionales denominados TCS 01, 02, 04, 05, 06, 08, 10, 11, 12, 13, 19, 20, 40, 41, 42, 44, 45, 46, 47, 48 y 49, los cuales son producto de selección natural participativa, y el material TCS 03 que es producto de cruzamiento, así como la evaluación de dos genotipos introducidos y comercialmente distribuidos a nivel nacional ICS 95 y CCN 51. Esta evaluación fue ejecutada por el equipo científico y técnico de AGROSAVIA, en el Centro de Investigación La Suiza y la Universidad Industrial de Santander, desde el Laboratorio de Alimentos del CICTA encontrándose como resultado que los genotipos en estudio presentan un comportamiento productivo y sanitario de interés comercial (TCS 06, 01, 11, 13, 03 y 49), así como un potencial en su composición funcional (TCS 01, 04, 06, 13 y 47) y atributos sensoriales (TCS 01, 02, 05, 13, 19 y 06) además se desarrolló un modelo de predicción de perfiles. Toda la información consignada en este manuscrito sirve como base para investigadores, gremios, industriales, agricultores y comunidad académica, en la evaluación de nuevos genotipos de interés y ratificar a Colombia como país productor de cacao fino y aromatizado reconocido por la International Cocoa Organization (ICCO).

BAC
BIBLIOTECA AGROPECUARIA DE COLOMBIA

CORREO: **bac@agrosavia.co**
TELÉFONO: **(57 1) 422 73 00** EXT. **1257 o 1274**
SKYPE: **biblioteca.agropecuaria**

www.agrosavia.co

Distribución gratuita
Prohibida su venta

AGROSAVIA
Corporación colombiana de investigación agropecuaria