

Obtención de un nuevo cultivar de cacao (*Theobroma cacao* L.) en Colombia “CNCH 12”

Obtaining a new cocoa cultivar (*Theobroma cacao* L.) in Colombia “CNCH 12”

Alejandro Gil^{1*}; Alexander Jaimes¹; Fabio N. Vega¹; Helí Martínez¹
Hernando Bautista¹; Jhorman E. Urrego¹; Luis Eduardo Calderón Becerra¹
Óscar D. Hincapié¹; Pablo E. Hernández¹; Tatiana Inés Restrepo Quiroz¹; Nelson Ardila Díaz²

Recibido para publicación: 01 de febrero de 2024 - Aceptado para publicación: 04 de abril de 2024

RESUMEN

El cultivo de cacao juega un papel importante en el desarrollo rural colombiano. Además de ser identificado como un potencial sustituto de cultivos ilícitos, el cacao brinda sustento a unas 65,000 familias en Colombia. No obstante, la baja productividad del cultivo indica que su potencial es aún limitado. El objetivo de esta investigación fue el de evaluar el genotipo de cacao CNCh12, previamente seleccionado en el programa de mejoramiento genético con el que cuenta la Compañía Nacional de Chocolates y compararlo con un testigo comercial, el clon CCN51. Para ambos materiales se evaluaron las variables de interés como son: productividad (Kg/Ha/Año), compatibilidad sexual, resistencia a *M. royeri*, características físicas, químicas y funcionales del grano y parámetros morfológicos y perfil sensorial del licor de cacao. Los resultados indican que el cultivar CNCh12 es altamente productivo, autocompatible y moderadamente resistente a la Moniliasis. Este genotipo presenta además características de interés que permiten satisfacer las demandas para la industria chocolatera por sus atributos físicos, químicos y funcionales, asimismo, por su calidad sensorial fina en sabor y aroma. De esta manera Compañía Nacional de Chocolates se consolida como la primera empresa privada en desarrollar materiales vegetales avalados en el Registro Nacional de Cultivares Comerciales del Instituto colombiano agropecuario-ICA, fortaleciendo así la diversidad genética que posee el país.

Palabras clave: Clones de cacao, fitomejoramiento, genotipos, *Moniliophthora royeri*.

ABSTRACT

Cocoa cultivation plays an important role in Colombian rural development. In addition to being identified as a potential substitute for illicit crops, cocoa provides a livelihood for some 65,000 families in Colombia. However, the low productivity of the crop indicates that its potential is still limited. The objective of this research was to evaluate the cocoa cultivar CNCh12, previously selected by Compañía Nacional de Chocolates' breeding program, and to compare its traits with a commercial cultivar, the CCN51 clon. For both cacao cultivars the next variables were measured: productivity (Kg/Ha/year), sexual compatibility, resistance to *M. royeri*, beans characteristics (physical, chemical and functional), morphological traits, and the flavor of cocoa liquor. The results indicate that the cultivar CNCh12 is highly productive, self-compatible, and with moderate resistance to Frosty Pod. This genotype also has fine and flavor attributes and functional traits that satisfy the chocolate industry needs. In this way, Compañía Nacional de Chocolates consolidates its position as the first private company to develop plant materials endorsed by the National Registry of Commercial Crops of the Instituto Colombiano Agropecuario-ICA, thus strengthening the genetic diversity that the country possesses.

Key words: Cocoa clones, breeding, genotypes, *Moniliophthora royeri*.

Cómo citar

Gil, A., Jaimes, A., Vega, F.N., Martínez, H., Bautista, H., Urrego, J. E., Caldera Becerra, L.E., Hincapié, Ó. D., Hernández, P.E. y Restrepo Quiroz, T.I. Ardila Díaz, N. 2024. Obtención de un nuevo cultivar de cacao (*Theobroma cacao* L.) en Colombia “CNCH 12”. Temas Agrarios 29(1): 82-99. <https://doi.org/10.21897/gg0cg694>

¹Compañía Nacional de Chocolates, Colombia.

²Ingeniero Agronomo, pensionado

Autor para correspondencia: Alejandro Gil Aguirre

Email: agil@chocolates.com.co



INTRODUCCIÓN

En Colombia, el cacao es cultivado por más de 65.000 familias que, con un promedio de tres hectáreas de cacao (MADR, 2020), producen la principal materia prima de la industria chocolatera del país. Además de ser considerado como uno de los centros de origen del cacao (Motamayor *et al.*, 2002; Thomas *et al.*, 2012), Colombia ostenta la distinción como productor de cacao fino y de aroma, reconocimiento otorgado a solo el 6% del grano producido a nivel mundial (ICCO, 2019), lo que le brinda al cacao colombiano una ventaja competitiva respecto a otros países productores. De igual forma, la agroindustria cacaotera colombiana presenta grandes oportunidades de desarrollo económico en el país, ya que este cultivo ha sido priorizado en el marco del post-conflicto social, dado su potencial para sustituir cultivos ilícitos, por esta razón, el denominado “cultivo de la paz” juega un rol protagónico en el desarrollo rural colombiano.

Colombia posee condiciones ideales para el cultivo del cacao. La Unidad de Planificación Rural Agropecuaria (UPRA) afirma que el país cuenta con unas 7.3 millones de hectáreas con alta aptitud para la siembra del cacao (UPRA, 2020), condición que, al ser combinada con adecuadas variedades de cacao y prácticas de manejo, podría soportar rendimientos de alrededor de 1.500 kilogramos de cacao/hectárea/año (V. A. Perea *et al.*, 2013). Sin embargo, la productividad del territorio colombiano es baja, debido a que, en el año 2023, el país produjo 62.152 toneladas de cacao en unas 180,000 hectáreas (MADR, 2020), lo que revela una productividad promedio de 345 kilogramos/hectárea/año, cifra inferior al potencial productivo del cultivo. Como referente, países latinoamericanos

como Brasil, República Dominicana y Perú que producen en promedio 370, 450 y 730 kilogramos/hectárea/año, respectivamente (FAOStat, 2020).

El aumento de la productividad del cultivo de cacao es una importante estrategia para conducir al mejoramiento de vida de miles de agricultores. De hecho, ha sido identificado como uno de los grandes desafíos de esta cadena productiva en Colombia (MADR, 2020), entre otros retos. Bajo estas circunstancias, el desarrollo de nuevos genotipos de cacao con elevada productividad, tolerancia a enfermedades, autocompatibles¹ y de alto perfil sensorial se ha planteado como una importante estrategia para incrementar los ingresos de cacaocultores y garantizar el suministro de esta materia prima para la industria chocolatera en Colombia (Castellanos *et al.*, 2007; Consejo Nacional Cacaotero, 2008; Guiltinan y Maximova, 2017). Pese a la importancia del mejoramiento genético del cacao, las características de esta especie vegetal hacen que este proceso sea lento y dispendioso, lo cual limita la oferta de cultivares disponibles para los agricultores.

El cacao es un árbol longevo que puede ser cultivado por más de 40 años (Jagoret *et al.*, 2011). Si bien esta planta puede iniciar producción 18 meses después de sembrado (Almeida y Valle, 2007), el cultivo tarda aproximadamente seis años para alcanzar su potencial productivo (Tahi *et al.*, 2019). Como resultado, los programas de fitomejoramiento pueden tardar varios años antes de que una nueva variedad de cacao esté disponible para los agricultores.

¹Autocompatibilidad se refiere a la capacidad de un genotipo de cacao para fecundarse a sí mismo. Este atributo es importante ya que la ineficiencia en la polinización en cacao ha sido identificada como un factor que afecta el rendimiento del cultivo (Forbes *et al.*, 2019). De igual manera, cultivares autocompatibles permiten el establecimiento de lotes monoclonales, lo que posibilita la estandarización de prácticas de manejo y postcosecha.

Los programas de mejoramiento genético del cacao pueden utilizar diferentes estrategias para generar nuevos cultivares. La colección y conservación de germoplasma ha sido una de las estrategias centrales en programas de fitomejoramiento de cacao a nivel mundial. En particular, en el caso de Colombia (Osorio-Guarín *et al.*, 2017), Brasil (Lopes *et al.*, 2011) y Centroamérica (Phillips Mora *et al.*, 2013), los programas de mejoramiento genético del cacao han iniciado con la selección y preservación de un gran número de genotipos en los denominados bancos de germoplasma. Es importante anotar que por su naturaleza la semilla de cacao no permite un almacenamiento mayor a dos semanas (Lahay *et al.*, 2018). Es por esta razón que una estrategia para la creación de los bancos de germoplasma, sea el uso de árboles de cacao, lo cual tiene un costo alto ya que se requiere de recursos necesarios para su conservación. Una vez establecido el banco de germoplasma, diversas estrategias pueden ser utilizadas por los fitomejoradores. Una de las maneras más rápidas para obtener nuevos cultivares es la selección de materiales promisorios del banco de germoplasma, estrategia denominada “selección masal”, en la cual los investigadores realizan experimentos para comparar el desempeño de los genotipos de interés con variedades que ya están siendo cultivadas (Lopes *et al.*, 2011). Además de la selección de materiales del banco de germoplasma, los fitomejoradores pueden también seleccionar genotipos promisorios ubicados en plantaciones de agricultores. Esta estrategia, denominada selección varietal participativa (V. A. Perea *et al.*, 2013), ha sido de particular importancia en programas de mejoramiento genético en Colombia (Rodríguez-Medina *et al.*, 2019). Este método consiste en que los investigadores caracterizan los árboles de cacao en las fincas de cacaocultores, para posteriormente coleccionar y evaluar los genotipos con mejores atributos en parcelas experimentales. Como

resultado de esta estrategia, cultivares sobresalientes de cacao han sido registrados y liberados a los cacaoteros colombianos, ejemplos de estos cultivares incluye el material TCS01, el cual posee un potencial rendimiento de 3.3 kilogramos/árbol/año y un peso de grano promedio de 3 gramos, rasgos que lo convierten en uno de los materiales más promisorios en el país (A. Perea *et al.*, 2013; Rodríguez-Medina *et al.*, 2019). De la misma manera, nuevos cultivares de cacao han sido registrados en Colombia en los últimos diez años, en particular, los seleccionados por la Federación Nacional de Cacaoteros-Fedecacao (FLE2, FLE3, FSV41, FEC2, FTA2, FSA11, FSA12, FEAR5) y por la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria- Agrosavia (TCS06, TCS13 y TCS 19).

Si bien la diversidad genética del cacao en Colombia se ha fortalecido tras el registro de estos nuevos cultivares, aún se requiere de considerables esfuerzos para obtener materiales resistentes a enfermedades, que sean altamente productivos con características de auto compatibilidad y que conserven las características de un cacao fino y de aroma. En vista de ello, la estrecha oferta de clones de cacao que combinen estos atributos se convierte en un potencial limitante para el crecimiento de la industria chocolatera al igual que para numerosos esfuerzos que buscan hacer del sector cacaotero un motor de desarrollo del campo colombiano. En particular, para los proyectos orientados a: 1) renovar las más de 70.000 hectáreas de cacao que ya cumplieron su ciclo (Baquero, 2018); 2) sustituir las 154.000 hectáreas de cultivos ilícitos (UNODC & SIMCI, 2020) y 3) aumentar el área de cacao en Colombia a 260.000 hectáreas (Programa de Transformación Productiva, 2017).

Buscando incrementar la oferta de cultivares de cacao sobresalientes en Colombia, el

objetivo de esta investigación fue el de evaluar genotipos de cacao previamente seleccionados en el programa de mejoramiento genético con el que cuenta la Compañía Nacional de Chocolates, teniendo en cuenta variables de interés como son: productividad (Kg/Ha/Año), compatibilidad sexual, resistencia a *M. royeri*, características físicas, químicas y funcionales del grano y parámetros morfológicos y perfil sensorial del licor de cacao. Los resultados de esta investigación permitieron que la compañía Nacional de Chocolates fuera el obtentor del registro ante el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA) de un nuevo clon de cacao para el país. De esta manera la Compañía se convierte en la primera empresa privada en desarrollar materiales vegetales avalados en el Registro Nacional de Cultivares Comerciales del ICA².

MATERIALES Y MÉTODOS

Selección de clones promisorios

Gracias a un proceso de selección participativa, se seleccionó un clon de cacao promisorio debido a sus características de autocompatibilidad. Este fue evaluado en dos localidades del departamento de Santander, Colombia, y posteriormente fueron registrados ante el ICA.

Selección Varietal Participativa:

El proceso de selección inició en el año 2000 en la regional de compra de cacao de la Compañía en la ciudad de Bucaramanga. Utilizando la Norma Técnica Colombiana 1252 como referente (ICONTEC, 2013), se detectaron granos de cacao de calidad sobresaliente, se hizo su trazabilidad y se visitaron las fincas de donde provenían pertenecientes a los municipios de San Vicente, El Carmen, Rionegro, El Playón y Lebrija, departamento de Santander.

Para la identificación y preselección de los mejores árboles de cacao, se tuvo en cuenta el criterio de los productores, lo que hace de este un proceso de selección varietal participativo (López et al., 2007). Los parámetros establecidos para la discriminación de los árboles fueron: 1) árboles que a criterio del productor tuvieran una alta productividad; 2) árboles con índice de grano (IG) superior a 1.5; 3) árboles que produjesen un kilogramo de cacao seco con menos de 15 mazorcas (índice de mazorca menor a 15); 4) árboles cuyos frutos que tuviesen más de 40 semillas; 5) árboles que a criterio del productor fueran tolerantes a enfermedades; 6) frutos longitud y diámetro del fruto y 7) grosor de cáscara (mesocarpio).

Establecimiento de parcelas demostrativas:

En el año 2004, se estableció una parcela demostrativa en el municipio de San Vicente de Chucuri (Santander) con 32 árboles que presentaron las características más sobresalientes. Un promedio de 7 clones de cada árbol, fueron propagados mediante injertación y fueron ubicados en un diseño de siembra junto al clon IMC67 como polinizador debido a su excelente capacidad como donador de polen (Cadavid-Vélez, 2008). Tres años después de establecida la parcela, una vez los materiales iniciaron producción, se empezó el proceso de evaluación de estos. Además de los parámetros anteriormente descritos, se evaluó el grado de compatibilidad sexual de los clones siguiendo la metodología de Cadavid-Vélez (2008), lo cual permitió la identificación de materiales con capacidad de fecundarse a sí mismos, variable de interés agronómico. Después de cinco años de seguimiento y evaluación (2007-2011), dos genotipos auto compatibles que presentaron las mejores características morfo agronómicas en la parcela demostrativa fueron seleccionados para su posterior evaluación utilizando un testigo comercial. Uno de estos cultivares fue el CNCh12, proveniente del municipio de San Vicente de Chucuri.

²Resolución No. 081657 (16/12/2020) Por la cual se otorga el registro del híbrido de cacao (*Theobroma cacao* L.) CNCh 12, de la empresa Compañía Nacional de Chocolates, en el Registro Nacional de Cultivares Comerciales del ICA, para la subregión natural Caribe (Caribe Seco – Caribe Húmedo).

Establecimiento de pruebas de evaluación agronómica (PEA).

En el año 2011, un ensayo de campo (Pruebas de evaluación agronómica) fue establecido en dos localidades en Santander: La Granja Yarigües, propiedad de Compañía Nacional de Chocolates situada entre los municipios de Barrancabermeja y San Vicente de Chucurí (Santander), con coordenadas 6° 54' 30"N, 73° 44' 08,3" W. La granja cuenta con 263 ha y está ubicada en zona agroecológica, con bosque húmedo tropical (bh-T), aproximadamente 2.986 mm de precipitación, 28 °C de temperatura y a una altura de 110

m.s.n.m. (Figura 1) (Figura 2) y la Finca San José (N 6° 49' 80", W 73° 28' 067"), ubicada en la vereda Santa Rosa, en el municipio de San Vicente de Chucurí (Santander), a 910 msnm, con una temperatura promedio 25°C y una precipitación media anual de 1880 milímetros (mm). Ambas localidades pertenecen a la subregión natural Caribe la cual, de acuerdo a la resolución 67516 de 2020 del ICA, está conformada por los departamentos de Atlántico, Bolívar, Cesar, Córdoba, Guajira, Magdalena, Sucre, Norte de Santander, Distrito del Zulia, Norte de Antioquia y Urabá, Magdalena Medio y Santander.

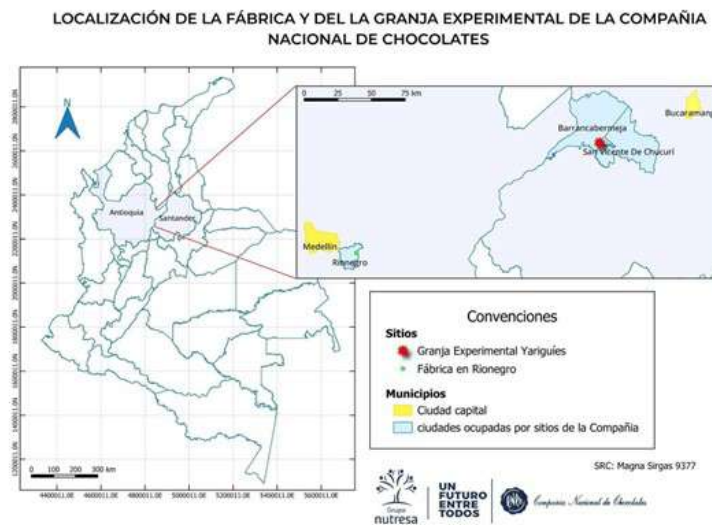


Figura 1. Ubicación en Colombia de la Granja Yarigües

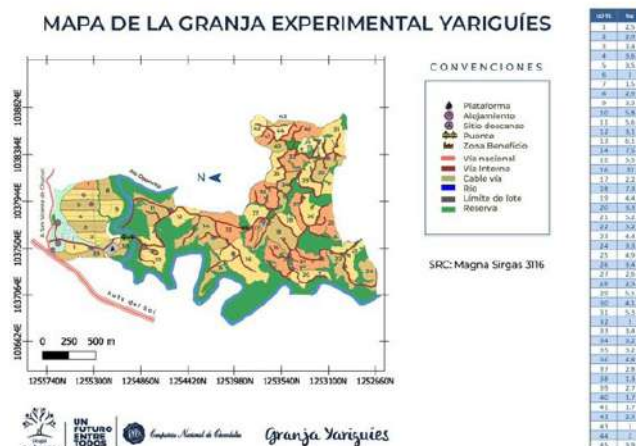


Figura 2. Mapa por lotes de la Granja Yarigües.

En cada localidad se estableció un diseño completamente al azar con un tratamiento (CNCh 12) más un testigo (CCN-51), con cuatro repeticiones y ocho árboles por repetición, para un total de 64 árboles por localidad. El clon CCN 51 se utilizó como testigo debido a su buen comportamiento productivo. Este ha sido empleado en programas de mejoramiento genético como un testigo internacional. (Phillips Mora *et al.*, 2013).

El ensayo fue establecido propagando los clones CNCh12 y CCN51 sobre patrones de dos años que habían sido establecidos en campo a una distancia de siembra de 3,3 x 3,3 m en triángulo. En ambas localidades, el cacao se estableció en un sistema agroforestal. Se utilizó plátano (*Musa sapientum*) como sombrío transitorio en la Granja Yarigués y banano (*Musa paradisiaca*) en la finca San José. Ambas especies se plantaron entre los surcos del cacao, a la misma distancia de éste. Árboles de abarco (*Cariniana pyriformis*) sembrados a una distancia de 6,6 m x 13,2 m como sombra permanente del cacao para la Granja Yarigués. En la finca San José, árboles de Nogal Cafetero (*Cordia alliodora*) fueron utilizados como sombríos permanentes. Respecto a las podas, a los árboles de cacao se les aplicó una poda de formación al inicio del ensayo y una poda de mantenimiento anual. El control de arvenses se realizó cuatro veces al año y el control de enfermedades consistió en la eliminación semanal de los frutos que presentaban alguna sintomatología. La fertilización de los árboles respondió a las necesidades de cada localidad, determinadas por sus respectivos análisis de suelo. En Granja Yarigués, tres aplicaciones anuales fueron realizadas utilizando el fertilizante químico de grado 15 – 4 – 23 + 4% MgO + 2% S + 0.1% B + 0.1% Zn durante los años 2016 (600 gramos), 2017 (600 g) y 2018 (900 g). En el año 2019 se aplicaron 600 g del fertilizante de grado 13 – 6 – 23 – 6% MgO + 3% S +

0.25% B. Por su parte, la fertilización de los cultivares en la finca San José consistió en dos aplicaciones anuales, cada una de 300 g (600 g anuales), del fertilizante químico de grado 17 – 6 – 18 + 2% MgO durante los años 2016 a 2019.

Caracterización y evaluación.

El seguimiento al comportamiento de los clones CNCh12 y CCN51 fue realizado durante un periodo de tres años (2016-2019) en ambas localidades. Durante este periodo se evaluaron componentes de rendimiento y productividad, parámetros morfológicos, compatibilidad sexual, evaluación de la respuesta a Moniliasis (*M. roreri*), características físicas, químicas y funcionales del grano y el perfil sensorial.

Los resultados obtenidos fueron analizados utilizando estadística descriptiva (media, desviación estándar). En el caso de los parámetros relacionados a componentes de rendimiento y productividad y resistencia a *M. roreri*, los datos fueron analizados a través de un ANOVA y una prueba de comparación de medias de Scott Knott a través del software InfoStat v. 2018.

Componentes de rendimiento y productividad

Para determinar las características de rendimiento de los tratamientos se realizaron dos caracterizaciones por localidad (enero y mayo de 2018) en las que se evaluó el índice de grano (IG) y índice de mazorca (IM), variables que permitieron la estimación del rendimiento de cada clon en kilogramos/hectárea/año (Tabla 1). Para cuantificar el número de frutos producidos por cada árbol se realizaron cosechas mensuales durante los tres años de evaluación. Asimismo, cada semana se registraron los frutos enfermos (*M. roreri* y *Phytophthora* spp.) y los afectados por ardillas (*Sciurus vulgaris*) y pájaros carpinteros (Picidae).

Tabla 1. Fórmulas empleadas para calcular parámetros de rendimiento.

Parámetro	Fórmula
Índice de grano (IG)	$IG = \text{Peso } 100 \text{ almendras} / 100$
Índice de mazorca (IM)	$IM = 1000 / \text{NUSE} * IG$
Número de frutos/árbol/año	-
Rendimiento	$\text{Rendimiento} = \text{Frutos sanos} / \text{árbol} * 1000 / IM$

*NUSE = Número de semillas/fruto

Evaluación de compatibilidad sexual

La compatibilidad sexual se determinó a través de tres pruebas realizadas en campo a los tres cultivares de cacao en ambas localidades durante los meses de junio y septiembre de 2018 y mayo de 2019. El grado de autocompatibilidad se evaluó en base al porcentaje de fecundación (cuajamiento) de flores polinizadas con polen del mismo clon. Un total de 40 flores por cultivar fueron polinizadas manualmente siguiendo las recomendaciones de (Cadavid-Vélez, 2008). Los datos de cuajamiento fueron registrados a los 3, 15 y 30 días después de la polinización. Se tomó como referencia el porcentaje de cuajamiento a los 15 días, clasificando un genotipo como autocompatible cuando este alcanzó un porcentaje superior al 30% (Aránzazu et al., 2009).

Evaluación de la respuesta a *Moniliophthora roreri*

El nivel de resistencia a *M. roreri* fue evaluado mediante inoculaciones artificiales realizadas en el mes de enero de 2020. El inóculo de la enfermedad se preparó utilizando la metodología descrita por Phillips-Mora et al. (2005) con algunas modificaciones. Se colectaron en campo frutos enfermos sintomáticos en estado de mancha café y se sometieron a cámara húmeda, posteriormente, el micelio se dispuso en un recipiente adicionando 100 ml de agua destilada y 100 µl de Tween 20, se mezcló y se diluyó hasta lograr la concentración de 1.2×10^5 esporas/ml. Posteriormente, se inocularon 20 frutos

de 65 a 70 días de fecundados utilizando la técnica de discos de papel filtro propuesta por (Martínez Botello, 2015). Para ello, se demarcó un área de 2x2 cm en la región ecuatorial del fruto y se dispuso el disco impregnado con la solución de esporas. Se cubrió con vinipel la zona inoculada y la totalidad del fruto con bolsa transparente que contenía papel humedecido. La evaluación cualitativa se realizó semanalmente a partir de los ocho días de la inoculación (presencia de síntomas) y la evaluación final se realizó a la novena semana. Las variables evaluadas fueron: Incidencia (cada semana a partir de los 8 días después de la inoculación) y severidad externa e interna (semana 9 de evaluación), tal como se describe a continuación:

- **Incidencia (IMr):** Porcentaje de frutos enfermos con relación al total de frutos inoculados.
- **Severidad externa (SE):** Se define como la presencia de signos y el nivel de daño externo del fruto causado por el hongo (Cuéllar et al., 2015). Se midió mediante la escala propuesta por Sánchez et al. (1987) donde: grado 0= fruto sano, 1= puntos aceitosos, 2= hinchazón y/o maduración prematura, 3= mancha (necrosis), 4= micelio hasta un 25% de la mancha necrótica, 5= micelio que cubre más del 25% de la mancha necrótica.
- **Severidad interna (SI):** Porcentaje de necrosis interna observada en el fruto cuando está cortado longitudinalmente (Cuéllar et al., 2015), medida con relación a la escala desarrollada por Sánchez et al. (1987) grado 0= 0% área

necrosada, 1= 1-20% área necrosada, 2= 21-40% área necrosada, 3= 41-60% área necrosada, 4= 61-80% área necrosada, 5= >80% área necrosada.

El tipo de reacción a *M. royeri* de los genotipos evaluados se clasificó por la media de los valores de SI a partir de la escala adaptada de Phillips-Mora et al. (2005) en la cual un clon puede ser catalogado como resistente (media de 0 – 1.25), moderadamente resistente (1.26 -2.50), moderadamente susceptible (2.51 – 3.75) y susceptible (3.76 – 5.0).

Caracterización física y química del grano

La caracterización física y química se realizó en los laboratorios del Centro de Investigación de Desarrollo y Calidad – CIDCA- de Compañía Nacional de Chocolates y del Centro de Investigación en Ciencia y Tecnología de Alimentos–CICTA–de la Universidad Industrial de Santander. Para la caracterización física y química del cacao, un kilogramo de cacao seco y fermentado de cada uno de los clones fue enviado a los laboratorios. El origen del cacao fue de la Granja Yariguíes, lugar en donde el cacao fue fermentado y secado. El proceso de fermentación se llevó a cabo en cajones de madera tipo escalera. El periodo total de fermentación tuvo una duración de seis días, tiempo en el cual se realizaron tres volteos cada 48 horas. El secado se realizó en un secadero tipo elba durante una semana. La caracterización fue realizada siguiendo los métodos descritos a continuación:

- Los parámetros de humedad, cenizas, proteína, fibra cruda y grasa se midieron usando los métodos descritos en la AOAC: 931.04, 972.15, 970.22, 930.20 y 963.15, respectivamente.
- Los carbohidratos totales y el valor calórico fueron calculados matemáticamente según la resolución 333 de 2011 del Ministerio de Protección Social.

- El análisis de la cascarilla y la determinación de granos bien fermentados, insuficientemente fermentados y pizarrosos se realizó siguiendo lo establecido en NTC 1252/2003 Cacao en grano.
- La cuantificación de ácidos grasos (FAMES) se determinó mediante cromatografía de gases GC/FID.
- La cuantificación de los componentes antioxidantes se hizo utilizando un sistema HPLC con la aplicación de dos detectores: detector de arreglo de diodos (DAD) y detector de fluorescencia (FLD), operando en línea.

Caracterización del perfil sensorial

Las pruebas sensoriales se llevaron a cabo en el laboratorio de análisis sensorial de la Compañía Nacional de Chocolates, con 10 jueces entrenados en catación de licor de cacao. Un total de un kilogramo de cacao seco y fermentado, proveniente de la Granja Yariguíes, fue utilizado para producir el licor de cacao analizado. Se utilizó una escala de 0 - 10 para calificar la intensidad de los diferentes atributos. Los atributos analizados fueron: notas a chocolate, acidez, astringencia, amargor, notas dulces, notas frutales, notas florales, notas a nueces, notas a madera, notas a especias, notas verdosas, notas extrañas y calidad general. Dichos atributos fueron seleccionados ya que están armonizados a los requerimientos de calidad del grano de cacao publicados por la ICCO 2016. El análisis aplicado fue un perfil de sabor descriptivo basado en la NTC 3929 de 1996 y el manual de catación de cacao Perú 2014. Los datos fueron recolectados por medio del software Fizz Acquisition versión 2.5 y calculados por Fizz Calculation 2.51. Las muestras fueron entregadas a los jueces a una temperatura entre 45 °C - 50 °C, en recipientes desechables de 0,5 oz con tapa, los valores medios de las calificaciones

asignadas por los panelistas se presentan en gráficos radiales.

Parámetros morfológicos

La caracterización morfológica fue realizada para el clon CNCh12 siguiendo el protocolo descrito por Restrepo y Urrego (2018). Un total de 60 descriptores fueron utilizados de los cuales uno correspondió a la arquitectura del árbol, 14 de la hoja, 12 para la flor, 27 del fruto y 6 de la semilla. Para esta caracterización, un total de 15 hojas, 20 flores, 5 frutos y 25 semillas fueron evaluadas en cada uno de los tres materiales, en ambas localidades.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Componentes de antocompatibilidad, rendimiento y productividad

Los resultados de la evaluación de las variables índice grano, índice mazorca y compatibilidad sexual se presentan en la Tabla 2. Las pruebas de compatibilidad sexual demuestran que los dos genotipos se clasifican como autocompatibles (AC) con un 64,9 % para el CNCh 12 y un 63 % para el CCN-51 (A. Perea *et al.*, 2013).

Tabla 2. Características de rendimiento de los genotipos CNCh12 y CCN-51.

Variable	CNCh12		CCN51	
	GY	SJ	GY	SJ
Compatibilidad	AC		AC	
Índice grano	1,52 ± 0,32	1,95 ± 0,18	1,40 ± 0,30	1,57 ± 0,18
Índice mazorca	18 ± 2	16 ± 6	15 ± 3	14 ± 6

En la tabla 3 se observan los agrupamientos de la comparación de medias para la variable frutos sanos/árbol/año para los tres años de evaluación en las dos localidades. Medias con una misma letra no son significativamente diferentes ($p < 0,05$). La letra minúscula compara dentro de los años y la letra

mayúscula compara entre tratamientos. Se puede observar que el genotipo CNCh12 presenta diferencias significativas entre años en ambas localidades, siendo los años 2 y 3 los de mayor producción. Así mismo, hubo diferencias significativas entre el CNCh12 y el testigo comercial en la Granja Yarigués.

Tabla 3. Comparación de medias (M) del número de frutos sanos/árbol/año.

GY				SJ			
Año	CNCh12	CCN51	M	Año	CNCh12	CCN51	M
2	65	33	49 a	3	54	41	47 a
3	67	29	48 a	2	35	30	33 b
1	41	25	33 b	1	34	29	32 b
M	58 A	29 B		M	41 A	34 A	

En la tabla 4 se presenta la comparación de medias para el rendimiento entre los años de evaluación y entre los tratamientos. El cultivar que presentó el mayor rendimiento promedio en los primeros tres años de producción fue el CNCh12, encontrando diferencias

significativas entre los años de evaluación, siendo el año dos el de mayor rendimiento en la Granja Yarigués y el año tres en la Finca San José, asimismo, hubo diferencias entre el CNCh12 y el testigo en la Granja Yarigués.

Tabla 4. Comparación de medias (M) para la variable de rendimiento (Kg/ha/año).

GY				SJ			
	CNCh12	CCN51	M		CNCh12	CCN51	M
2	3,6	2,2	2.9 a	3	3,3	2,9	3.1 a
3	3,7	1,9	2.8 a	2	2,2	2,1	2.2 b
1	2,3	1,6	1.9 b	1	2,1	2,1	2.1 b
M	3.2 A	1.9 B		M	2.5 A	2.4 A	

Evaluación de la respuesta a *Moniliophthora roreri*

En la tabla 5 se presentan los resultados arrojados por el software estadístico InfoStat v. 2018 para la evaluación de la respuesta a *Monilia*. Medias con una misma letra no son significativamente diferentes ($p < 0,05$), la letra minúscula compara dentro de las repeticiones y la letra mayúscula compara entre tratamientos.

El tipo de reacción a *M. roreri* se clasificó por la media de los valores de severidad interna

(SI) a partir de la escala adaptada de Phillips-Mora *et al.*, 2005. De acuerdo a los resultados obtenidos, ambos genotipos se clasifican como moderadamente resistente (MR) y no presentaron diferencias significativas respecto al testigo comercial.

Caracterización física y química del grano

La tabla 6 contiene la información de los análisis descriptivos para las características físicas, químicas y funcionales del grano de cacao.

Tabla 5. Comparación de medias (M) para la evaluación de la respuesta a *Monilia*.

Repetición	SI		M	Repetición
	CNCh 12	CCN 51		
1	2,60	2,20	2,40 a	1
3	2,44	1,93	2,20 a	3
2	0,75	2,44W	1,59 a	2
M	1,94 A	2,19 A		M

Tabla 6. Características fisicoquímicas y funcionales por 100 granos.

Características		CNCh 12	CCN 51
Físicas	% humedad	5,23	5,29
	% cascarrilla	15,70	15,92
	% almendra	84,3	84,08
	Granos bien fermentados*	100	90,00
	Granos insuficientemente fermentados*	0	6,00
	Granos pizarrosos*	0	4,00
Químicas	% cenizas	2,61	2,18
	% grasa	55,95	54,94
	% proteína	12,76	12,83
	% fibra cruda	3,33	4,00
	% carbohidratos totales	23,47	24,78
	Calorías (kcal/100 gr)	648,43	644,87

Continuación Tabla 6. Características fisicoquímicas y funcionales por 100 granos.

Funcionales	Polifenoles totales GAE (mg/g)	48,76	77,05
	Teobromina (mg/kg)	10,78	10,24
	Cafeína (mg/kg)	2,33	1,59
	Teobromina/Cafeína	4,63	6,45
	Catequinas (mg/kg)	0,12	0,21
	Epicatequinas (mg/kg)	0,61	0,96

Caracterización del perfil sensorial

En la figura 3 se presentan los descriptores del perfil de sabor del licor de cacao.

Parámetros morfológicos

En la tabla 7 se observan los valores medios de las variables morfológicas cuantitativas y cualitativas con relación a los 60 descriptores evaluados para planta, hoja, flor, fruto y semilla.

Los resultados de esta investigación demuestran que el CNCh12 posee atributos agronómicos e industriales que los posicionan como clones superiores a los materiales actualmente disponibles para los cacaocultores colombianos. Si bien no es posible validar los resultados del clon con otras investigaciones, los resultados del testigo comercial permiten corroborar la validez y consistencia de los resultados del

presente estudio. Al revisar la caracterización del CCN51 realizada por Perea et al. (2013), se puede observar que los resultados de compatibilidad sexual, el índice de mazorca (IM), índice de grano (IG) y la reacción a *Monilia* son similares a los del presente estudio. En cuanto a la compatibilidad sexual, ambos trabajos confirman la autocompatibilidad del clon CCN51, característica que también fue confirmada por Cadavid-Vélez (2008). En cuanto al índice de mazorca y el índice de grano, los resultados del trabajo de Perea et al. (2013) (IM = 15 e IG = 1,6) son bastante similares a los obtenidos en esta investigación (IM = 14 e IG = 1,6). De la misma manera, estos autores clasificaron al clon testigo como “moderadamente resistente” a *M. royeri*, lo cual coincide con los resultados de este trabajo. De esta manera, se puede afirmar que los resultados de resistencia a Moniliasis del clon CNCh12, los cuales determinaron que el clon es “moderadamente resistente”, son legítimos.

**Figura 3.** Perfil sensorial de los cultivares evaluados

Tabla 7. Descriptores morfológicos del clon CNCh12

	Descriptores morfológicos	CNCh 12
Planta y hoja	Arquitectura	Erecta
	Longitud de lámina foliar (cm)	31,57 ± 2,36
	Anchura de lámina foliar (cm)	11,03 ± 0,85
	Longitud base hasta punto más ancho	17,48 ± 1,89
	Relación largo—anchura de la hoja	1,82 ± 0,19
	Longitud del peciolo	23,35 ± 3,34
	Forma de la hoja	Oblonga
	Color del peciolo	Verde
	Color de la hoja	Verde característico
	Forma de la base de la hoja	Obtusa
	Forma del ápice la hoja	Acuminado corto
	Pulvino de la hoja	Presente
	Textura de la hoja	Coriácea
	Color de los brotes terminales	Rojo brillante
	Tricomas en brotes terminales	Presentes
Flor	Color del pedúnculo	Rojizo
	Antocianina en sépalos	Ligera
	Antocianina en estaminodios	Intensa
	Antocianina en filamentos del estambre	Ausente
	Color de la flor	Rosada
	Orientación de sépalos	Reflexe
	Antocianina en la parte superior del ovario	Ausente
	Antocianina en el limbo del pétalo	Presente
	Longitud del estaminodio (mm)	5,74 ± 0,36
	Longitud del ovario (mm)	1,34 ± 0,13
	Longitud del estilo (mm)	2,40 ± 0,14
	Número de óvulos por ovario	45,80 ± 3,27

Fruto	Cualitativos	Color del fruto inmaduro	Verde rojizo
		Color del fruto maduro	Amarillo naranja
		Forma del ápice del fruto	Agudo
		Constricción basal del fruto	Intermedio
		Forma del fruto	Elíptico
		Rugosidad del fruto	Ligera
		Intensidad antocianina en lomos del fruto inmaduro	Ligera
		Intensidad antocianina en lomos del fruto maduro	Ligera
		Intensidad antocianina en surco del fruto inmaduro	Ligera
		Intensidad antocianina en surco del fruto maduro	Ligera
		Separación entre pares de lomos	Fusionados
	Cuantitativos	Longitud fruto (cm)	18,72 ± 1,83
		Peso mazorca (g)	755,64 ± 198,50
		Anchura fruto (cm)	9,79 ± 0,83
		Relación longitud - anchura fruto	1,92 ± 0,21
		Diámetro interno fruto (mm)	65,80 ± 5,25
		Grosor surco primario (mm)	12,36 ± 1,85
		Grosor surco secundario (mm)	13, 23 ± 2,32
		Grosor caballete (mm)	16,25 ± 2,20
		Profundidad surco primario (mm)	1,78 ± 0,47
		Profundidad surco secundario (mm)	0,60 ± 0,52
		Número semillas íntegras/fruto	35 ± 6
		Número semillas vanas/fruto	2 ± 1
		Masa húmeda (g)/ 100 semillas	430,30 ± 82,99
		Masa seca (g)/ 100 semillas	73,24 ± 25,01
		Masa seca (calculada) (g)/ fruto	60,85
		Granos / mazorca	37

Semilla	Forma de la semilla en sección longitudinal	Ovada
	Forma de la semilla en sección transversal	Aplanada
	Color predominante de los cotiledones	Morado
	Longitud semilla (mm)	29,05 ± 2,97
	Diámetro semilla (mm)	15,06 ± 1,61
	Grosor semilla (mm)	8,99 ± 2, 59

La obtención de cultivares con tolerancia a Moniliasis es de vital importancia para Colombia ya que de acuerdo con Cubillos (2017) y Perea *et al.* (2013), esta enfermedad puede generar daños de alrededor de un 65% de la producción de cacao, convirtiéndola en la principal limitante del cultivo en Colombia. Si bien es posible controlar esta enfermedad mediante el uso de prácticas agronómicas, su implementación genera un incremento de los costos de producción, lo que ha hecho del desarrollo de clones de cacao resistentes a esta enfermedad una alternativa promisoría (Jaimes *et al.*, 2011). A pesar de que algunos cultivares de cacao poseen resistencia a la Moniliasis, algunas de sus características no son de interés para la industria ni para los agricultores. Los únicos tres materiales en Colombia caracterizados por Perea *et al.* (2013) como resistentes a esta enfermedad (ICS95, CAU39 y FEC2) describen a la perfección esta situación. En el caso del clon FEC2, su autoincompatibilidad sexual hace que este material tenga que establecerse en compañía de otro clon donador de polen (V. A. Perea *et al.*, 2013), lo cual aumenta la complejidad del sistema de producción y limita la posibilidad de estandarizar prácticas de manejo agronómico y postcosecha. En cuanto al clon ICS95, si bien este puede establecerse en lotes monoclonales dado su atributo como autocompatible, su bajo índice de grano (peso promedio de una semilla de cacao) hace de este un cultivar indeseado para la industria chocolatera (V. A. Perea *et al.*,

2013). Finalmente, el clon CAU39 presenta una productividad deficiente (alrededor de 900 kg/ha/año), lo que además de su incompatibilidad sexual y su bajo índice de grano hacen de este un material poco deseado, a pesar de su alta resistencia a *M. royeri* (V. A. Perea *et al.*, 2013). Al comparar los datos de componentes de rendimiento y productividad del clon evaluado en este estudio, se puede observar que los resultados son superiores a estos materiales denominados como resistentes a Moniliasis (V. A. Perea *et al.*, 2013).

La oferta cultivares de cacao con atributos de interés que satisfagan las demandas de los agricultores y de la industria chocolatera es uno de los grandes retos de los programas de mejoramiento genético. En Colombia, al igual que en otros países latinoamericanos, el caso del clon CCN51 (Colección Castro Naranjal 51) evoca esta complejidad. CCN51 es un cultivar de cacao ecuatoriano ampliamente distribuido en América Latina debido a su buen comportamiento agronómico (Boza *et al.*, 2014). Además de ser moderadamente resistente al hongo *Moniliophthora royeri*, es autocompatible, tiene buena productividad y un índice de grano medio (V. A. Perea *et al.*, 2013). No obstante, este material no es considerado como fino y de aroma por la Organización Internacional del Cacao (ICCO) (ICCO, 2019). De hecho, la decisión de esta entidad

en 2016 de reducir el porcentaje de cacao peruano considerado como fino y de aroma del 90% al 75% se explica, en parte, porque se “observó que gran parte de la expansión de las plantaciones peruanas se llevó a cabo utilizando árboles del clon CCN51 (ICCO, 2017, p.9). De este modo, el uso de este cultivar ha sido desincentivado por parte de instituciones de fomento cacaotero que ven en el desarrollo del mercado de cacao fino y de aroma una estrategia importante para incrementar el ingreso de los cacaocultores en Colombia (Ríos et al., 2017).

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos en esta investigación permitieron fortalecer la diversidad genética del cacao en Colombia. El cultivar CNCh12, inscrito en el Registro Nacional de Cultivares Comerciales del ICA, es altamente productivo, autocompatible y moderadamente resistente a la Moniliasis. Este material quedó a disposición del sector cacaotero para su comercialización, beneficiando a las 65.000 familias cacaoteras colombianas. Este genotipo presenta también características de interés que permiten satisfacer las demandas para la industria chocolatera por sus atributos físicos, químicos y funcionales, asimismo, por su calidad sensorial fina en sabor y aroma.

CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

AG Elaboración de diseño experimental, establecimiento de ensayos de campo; elaboración de informe final; **AJ** Selección de cultivares de cacao y registro de información en campo; **FV** Selección de cultivares de cacao, registro de información en campo, caracterización inicial y propagación en parcela demostrativa; **HM** Registro de información en campo y caracterización inicial; **HB** Selección de cultivares de cacao, registro de información en campo, caracterización inicial y propagación en parcela demostrativa;

JU Elaboración de protocolos, caracterización en ensayos de campo y análisis de resultados; **OH** ajustes del artículo, revisión de estilo, envío y coordinación a la revista **PH** Selección de cultivares de cacao, registro de información en campo, caracterización inicial y propagación en parcela demostrativa. **LC** Registro de información en campo, caracterización en ensayos de campo y análisis de resultados **TR** Supervisión del proyecto, elaboración de protocolos, caracterización en ensayos de campo, análisis de resultados y elaboración de informe final.

AGRADECIMIENTOS DE LOS AUTORES

Los autores agradecen a sus familias, a la Compañía Nacional de Chocolates y a todos los profesionales, estudiantes y equipo de colaboradores en granjas y productores en campo que hicieron posible esta investigación que duró más de 15 años.

Conflictos de intereses

Los autores declaran que es un trabajo original y no existe conflicto de intereses de ningún tipo en la elaboración y publicación del manuscrito.

REFERENCIAS

- Almeida, A.-A. F. de, y Valle, R. R. 2007.** Ecophysiology of the cacao tree. Brazilian Journal of Plant Physiology, 19(4): 425–448.
- Aránzazu, F., Martínez, N., Rincón, D. A. y Palencia, G. 2009.** Materiales de cacao en Colombia, su compatibilidad sexual y modelos de siembra.
- Baquero, E. 2018.** El cadmio en cacao es un problema de AL: Fedecacao. “Entrevista Vanguardia Liberal.” <https://www.vanguardia.com/economia/nacional/el-cadmio-en-cacao-es-un-problema-de-al-fedecacao-JEVL430944>

- Boza, E. J., Motamayor, J. C., Amores, F. M., Cedeno-Amador, S., Tondo, C. L., Livingstone, D. S., Schnell, R. J. y Gutiérrez, O. A. 2014. Genetic characterization of the cacao cultivar CCN 51: its impact and significance on global cacao improvement and production. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 139(2): 219–229.
- Cadavid-Velez, S. 2008. Características de compatibilidad sexual de algunos clones de cacao y su aplicación en siembras comerciales.
- Castellanos, O. F., Torres, L. M., Fonseca, S. L., Montañez, V. M. y Sanchez, A. 2007. Agenda Prospectiva de Investigación y Desarrollo Tecnológico para la Cadena Productiva de Cacao-Chocolate en Colombia.
- Consejo Nacional Cacaotero. 2008. Acuerdo de Competitividad de la Cadena del Cacao y su Agroindustria (Issue 42).
- Cubillos, G. 2017. Frosty Pod Rot, disease that affects the cocoa (*Theobroma cacao*) crops in Colombia. *Crop Protection*, 96. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2017.01.011>
- Cuéllar, A. S., Daza, M. A. H., León, C. H. R., Tobón, Y. M. S., Guzmán, M. N. N. y Rodríguez, D. F. C. 2015. Reacción a *Moniliophthora roreri* en *Theobroma* spp. en Caquetá, Colombia. *Summa Phytopathologica*, 41: 183–190.
- FAOStat. 2020. Food and Agriculture Organization. <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>
- Forbes, S. J., Mustiga, G., Romero, A., Northfield, T. D., Lambert, S. y Motamayor, J. C. 2019. Supplemental and synchronized pollination may increase yield in cacao. *HortScience*, 54(10): 1718–1727.
- Guilinan, M. y Maximova, S. 2017. Cacao for Peace Research Meeting: Event Report.
- ICCO. 2017. Fine or Flavour Cocoa. <https://www.icco.org/about-cocoa/fine-or-flavour-cocoa.html>
- ICCO, I. C. O. 2019. Fine or Flavour Cocoa. <https://www.icco.org/about-cocoa/fine-or-flavour-cocoa.html>
- ICONTEC. 2013. Norma Técnica Colombiana, NTC 1252. Cacao en Grano. ICONTEC.
- Jagoret, P., Michel-Dounias, I. y Malézieux, E. 2011. Long-term dynamics of cocoa agroforests: a case study in central Cameroon. *Agroforestry Systems*, 81(3): 267–278.
- Jaimes, Y., Aránzazu, F., Rodríguez, E. y Martínez, N. 2011. Behavior of introduced regional clones of *Theobroma cacao* toward the infection *Moniliophthora roreri* in three different regions of Colombia. *Agronomía Colombiana*, 29(2): 361–371.
- Lahay, R. R., Misrun, S. y Sipayung, R. 2018. The storage capacity of cocoa seeds (*Theobroma cacao* L.) through giving polyethylene glycol (PEG) in the various of storage container. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 122(1): 12040.
- Lopes, U. V., Monteiro, W. R., Pires, J. L., Clement, D., Yamada, M. M. y Gramacho, K. P. 2011. Cacao breeding in Bahia, Brazil: strategies and results. *Crop Breeding and Applied Biotechnology*, 11(SPE): 73–81.
- López, A. J., Hernández, L. A. y Iglesias, C. 2007. Selección varietal participativa para el mejoramiento de la yuca con agricultores en la región Caribe colombiana: desarrollo de una metodología. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 8(2): 31–41.

- MADR. 2020.** Cadena de Cacao. <https://sioc.minagricultura.gov.co/Cacao/Documentos/2020-03-31CifrasSectoriales.pdf>
- Martínez Botello, D. H. 2015.** Caracterización de cultivares de cacao (*Theobroma cacao* L) por su respuesta de defensa a *Moniliophthora roreri* y su polimorfismo de SSRs. In Escuela de Posgrados.
- Motamayor, J. C., Risterucci, A. M., Lopez, P. A., Ortiz, C. F., Moreno, A. y Lanaud, C. 2002.** Cacao domestication I: the origin of the cacao cultivated by the Mayas. *Heredity*, 89(5): 380– 386. <https://doi.org/10.1038/sj.hdy.6800156>
- Osorio-Guarín, J. A., Berdugo-Cely, J., Coronado, R. A., Zapata, Y. P., Quintero, C., Gallego- Sánchez, G. y Yockteng, R. 2017.** Colombia a Source of Cacao Genetic Diversity As Revealed by the Population Structure Analysis of Germplasm Bank of *Theobroma cacao* L. *Frontiers in Plant Science*, 8(November), 1–13. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.01994>
- Perea, A., Martinez, N. y Aranzazu, F. 2013.** Características de Calidad del Cacao de Colombia.
- Perea, V. A., Martínez, G. N., Aranzazu, H. F. y Cadena, C. T. 2013.** Características de calidad del cacao de Colombia. Catálogo de 26 cultivares. Federación Nacional de Cacaoteros & Universidad Industrial de Santander.
- Phillips-Mora, W., Castillo, J., Krauss, U., Rodríguez, E. y Wilkinson, M. J. 2005.** Evaluation of cacao (*Theobroma cacao*) clones against seven Colombian isolates of *Moniliophthora roreri* from four pathogen genetic groups. *Plant Pathology*, 54(4): 483–490.
- Phillips Mora, W., Arciniegas Leal, A., Mata Quirós, A. y Motamayor Arias, J. C. 2013.** Catálogo de clones de cacao seleccionados por el CATIE para siembras comerciales. Serie Técnica. Manual Técnico (CATIE). Número 105.
- Programa de Transformación Productiva. 2017.** Evaluación y reformulación estratégica del Plan de Negocios del sector de chocolates, confites, chicles y sus materias primas.
- Restrepo, T. y Urrego, J. 2018.** Protocolo para la caracterización morfológica de árboles élite de cacao (*Theobroma cacao* L.). https://chocolates.com.co/wp-content/uploads/2020/06/Cartilla_Protocolo_Cacao-dic20_VFF.pdf
- Ríos, F., Ruiz, A., Lecaro, J. y C, R. 2017.** Country Strategies for the Specialty Cocoa Market: Successful Policies and Private Sector Initiatives in Peru, Ecuador, Colombia and the Dominican Republic. https://www.swisscontact.org/fileadmin/user_upload/COUNTRIES/Colombia/Documents/Country_Strategies_For_Special_Cocoa.pdf
- Rodríguez-Medina, C., Arana, A. C., Sounigo, O., Argout, X., Alvarado, G. A. y Yockteng, R. 2019.** Cacao breeding in Colombia, past, present and future. *Breeding Science*, 69(3): 373–382. <https://doi.org/10.1270/jsbbs.19011>
- Sánchez, J. A., Brenes, O. E., Phillips, W. y Enríquez, G. A. 1987.** Metodología para la inoculación de mazorcas con el hongo *Monilia roreri* Resúmenes. 10. Conferencia Internacional de Investigación En Cacao 17-23 May 1987 Santo Domingo (R. Dominicana), F01 R429.

- Tahi, M., Trebissou, C., Ribeyre, F., Guiraud, B. S., da Pokou, D. N. y Cilas, C. 2019.** Variation in yield over time in a cacao factorial mating design: changes in heritability and longitudinal data analyses over 13 consecutive years. *Euphytica*, 215(6). <https://doi.org/10.1007/s10681-019-2429-y>
- Thomas, E., van Zonneveld, M., Loo, J., Hodgkin, T., Galluzzi, G. y van Etten, J. 2012.** Present Spatial Diversity Patterns of *Theobroma cacao* L. in the Neotropics Reflect Genetic Differentiation in Pleistocene Refugia Followed by Human-Influenced Dispersal. *PLoS ONE*, 7(10). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0047676>
- UNODC., y SIMCI. 2020.** Colombia-Monitoreo de territorios afectados por cultivos ilícitos 2019. UPRA. (2020). Aptitud cacao (*Theobroma cacao* L.). Sistema de Información Para La Planificación Rural Agropecuaria (SIPRA). <https://sipra.upra.gov.co/>