

---

# DESAFÍOS TECNOLÓGICOS PARA EL MEJORAMIENTO DE LA TRAZABILIDAD DE CACAO (*THEOBROMA CACAO* L.): REVISIÓN LITERARIA

DOI: <https://doi.org/10.24236/24220493.n6.2019.8>

Jean Carlo Quintero-García

Valentín Murcia-Torrejano

Juan David Caviedes-Morales

Kathryn Yadira Guzmán-Pacheco

David Saavedra-Mora

*Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA) - Regional Huila,  
Centro de Formación Agroindustrial La Angostura,  
SENNOVA, Grupo de Investigación Agroindustrial,*

**Palabras clave:** Manejo de plagas, fermentación, calidad, cadmio.

**Resumen:** Los procesos tecnológicos son el camino de la agricultura convencional hacia una agricultura de precisión, que permite desarrollar constantemente nuevas mejoras en la agricultura y aumentar los rendimientos productivos. El cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.) es un modelo de agricultura sostenible y sustentable que integra sistemas agroforestales ofreciendo servicios ambientales y generando alternativas de transición a cultivos con alta rentabilidad. Frente a esta oportunidad del sector productivo y agroindustrial es necesario conocer los nuevos desafíos en los procesos tecnológicos, que proyecta los sistemas productivos de cacao en un mejoramiento continuo en toda la cadena productiva desde la producción hasta el uso agroindustrial. Bajo este contexto, en este artículo se realizó la recopilación de información, como base tecnológica para la aplicación y adopción de procesos tecnológicos y así lograr tener un sector estratégico en el mercado regional e internacional, sin perder la trazabilidad e inocuidad de los productos relacionados a factores externos (cambios de precios, organización) e internos (manejo integrado de los cultivos y transformación agroindustrial).

## TECHNOLOGICAL CHALLENGES FOR THE IMPROVEMENT OF TRACEABILITY OF COCOA (*THEOBROMA CACAO* L.): LITERARY REVIEW

**Abstract:** Technological processes are the path from conventional agriculture to precision agriculture, which allows the constant development of new improvements in agriculture and the increase of productive yields. Cocoa cultivation (*Theobroma cacao* L.) is a sustainable agriculture model, which integrates agroforestry systems offering environmental services and generating transition alternatives to highly profitable crops. Faced with this opportunity of the productive and agroindustrial sector, it is necessary to know the new challenges in the technological processes, that projects the production systems of cocoa in a continuous improvement throughout the productive chain from production to agroindustrial use.

Under this context, in this document information was collected as a technological basis for the application and adoption of technological processes in order to achieve a strategic sector in the regional and international market, without losing the traceability and safety of the products related to external factors (price and organization changes) and internal ones (integrated crop management and agro-industrial transformation).

**Keywords:** Pest management, fermentation, quality, cadmium.

### Introducción

Los desafíos de la agricultura, según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación (FAO) en la Agenda 2030, se resumen en que los productores aumenten la productividad promoviendo sistemas productivos integrados y haciendo uso de nuevos procesos tecnológicos con el fin de reducir las explotaciones de los suelos agrícolas y resistir a los cambios climáticos, para garantizar la demanda de alimentos, debido al crecimiento de la población y al desarrollo económico mundial. Entre las metas del Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático (PNACC) está la reducción de los riesgos ambientales y los impactos socioeconómicos asociados a la variabilidad y el cambio climático, buscando sistemas productivos adaptados a nuevas herramientas tecnológicas que garanticen la trazabilidad de los cultivos, obteniendo productos diferenciados con alta calidad.

El desarrollo tecnológico no solo comprende la adopción de equipos o maquinaria, sino también la im-

plementación de los resultados obtenidos a partir de investigaciones sobre el mejoramiento genético de nuevas variedades, manejo del cultivo (fertilización, sistemas de riego, podas), beneficio (cosecha, fermentación y secado), así como la refinería y el uso agroindustrial, lo que obedece a los nuevos desafíos que deben enfrentar los productores y la industria en la adopción y adaptación de procesos innovadores (Piñeros *et al.*, 2017; Quiroga *et al.*, 2019) que dinamizan un sector estratégico frente a las necesidades del mercado y permiten la toma de decisiones de los agrónomos y agricultores.

Es de resaltar que el cultivo de cacao juega un papel importante en el mundo, pues está cultivado en cerca de 50 países tropicales desde África y América Latina hasta Asia, con una producción de 4576 millones de toneladas de grano (FOASTAT, 2019; ICCO, 2019); se caracteriza por producir cacao fino de aroma (Swisscontact, 2016), que se encuentra en un área sembrada de 11.748.129 de hectáreas, de las cuales dependen

económicamente entre 40 y 60 millones de personas (ICCO, 2018). En Colombia en el año 2018 la producción de cacao ascendió a las 60.535 toneladas (FEDECACAO, 2018), con un incremento de 13.800 toneladas (10 % más en los últimos cinco años) y un área cosechada de 175.000 hectáreas. Por su parte, el departamento del Huila tiene una producción de 659 kg/ha/año, con un rendimiento por hectárea de 0,6 t/ha (FEDECACAO, 2018). Los municipios de mayor producción durante el 2018 fueron Rivera (762 t/año), Campoalegre (326 t/año) y Tello (320 t/año), con aproximadamente 3.200 familias cacaoteras.

El cacao es un cultivo que se constituye como un modelo de agricultura competitiva para Colombia, destacándose entre los cultivos de café, palma africana y mango (Dinero, 2018), por la asociación con cultivos transitorios y perennes en sistemas agroforestales, y como estrategia de establecimiento para contrarrestar los cultivos ilícitos generados por el conflicto armado (Gardini *et al.*, 2016), por lo que es considerado en Colombia como el cultivo para la paz (Miniambiente, 2018). Sin embargo, la adopción de procesos tecnológicos está limitada en muchas regiones por la falta de la validación y transferencia local en los diferentes cultivos (Annosi *et al.*, 2019).

Es importante que los cultivos de *Theobroma cacao* L. logren la adopción tecnológica para resistir a las variaciones climáticas y evitar que se afecte la productividad y la economía de la región (Ortiz y González, 2017). En este sentido, se realizó recopilación de la información, con los procesos tecnológicos más sobresalientes y los avances técnicos que pueden ser aplicados en el sector cacaotero de Colombia, de modo que lleguen a los productores y sean implementados en sus procesos de beneficio y/o transformación, mejorando las características físicas y sensoriales y, a su vez, incrementando su valor comercial y generando mayores ganancias para el productor.

## Materiales y métodos

Se realizó una revisión literaria utilizando los términos “procesos tecnológicos”, “innovación cacaotera” “trazabilidad en el cacao” en los buscadores Scopus, SciELO y Google Scholar, Web of science para obtener información científica que fuera resultado de investigaciones de universidades, instituciones públicas y privadas y del sector cacaotero. La información se exploró con la experiencia de instructores técnicos en el área, que ha permitido la organización y el análisis de la información según la metodología de Castellanos (2009).

## Resultados y discusión

Para comprender las prácticas en la trazabilidad de cacao en la obtención de productos diferenciados en el mercado con alta calidad, a continuación se agrupan en temas como el manejo integrado del cultivo, la cosecha y postcosecha, y el procesamiento y uso agroindustrial.

### Manejo integrado del cultivo

**a. Propagación y mejoramiento genético:** La conservación de material vegetal de árboles élitos de cacao es un reto para los agricultores cacaoteros, con el fin de mantener altos rendimientos productivos que sean resistentes a plagas y enfermedades y que los granos cumplan con las exigencias de la agroindustria. Actualmente existen cuatro métodos de propagación: 1. Por injerto; 2. Propagación por estacas; 3. Acodos; y 4. Propagación *in vitro*. La propagación por injerto es actualmente la más usada por los productores; sin embargo, esta no garantiza el mejoramiento fitosanitario y genético. Es por ello que se viene adelantando estudios en propagación *in vitro* (Fontanel *et al.*, 2002; Guiltinann *et al.*, 2003; Tan y Furtek, 2003; Chanasig, 2004; Monsalve-González *et al.*, 2005; Fang *et al.*, 2009; Urrea *et al.*, 2011; Ramírez *et al.*, 2018) que permite aumentar la siembra de cacao, corregir las características

genéticas en poco tiempo y garantizar la inocuidad de las plantas (Sodré y Gomes, 2019).

El éxito de la propagación *in vitro* consiste en las fases de la embriogénesis somática, con protocolos de desinfección y selección de yemas axilares, botones flores y preparación de medios. Los medios *in vitro* con mayor éxito, entre un 50 % y un 60 %, son PCG (Primary Callus Grow), SCG (Secondary Callus Growth), INDI (Induction medium), ED (Maturation medium), INDexp (Expression medium), CM2 (Multiplication medium), MM6 (Maturation medium), 2,4,5-Trichlorophenoxyacetic acid (2, 4, 5-T) (1-2) y DKW (Driver y Kinyuki *et al.*, 1984), teniendo en cuenta que se deberán combinar para la formación e inducción de callos, la maduración y el mantenimiento hasta la adaptación en tierra.

**b. Suelos:** Diversos estudios de cacao evidencian el interés de estudiar los suelos en los sistemas productivos de cacao, para comprender la translocación de los nutrientes en el desarrollo fisiológico de las plantas y la calidad de la almendra de cacao (Kongor *et al.*, 2016; Singh *et al.*, 2019). La calidad del grano de cacao está relacionada con la capacidad (propiedades químicas y físicas) y las condiciones del suelo (McBratney *et al.*, 2014). Singh *et al.* (2019) definieron la capacidad del suelo como la presencia o ausencia de la limitación de suelo para la producción del cacao, y lo plantearon con la siguiente pregunta: “¿Este suelo nos permitirá producir cacao?”; y la condición del suelo hace referencia al estado necesario del suelo que permitiría la producción de cacao, y cuál es la condición que requiere, que plantearon en la pregunta: “¿Continuará este suelo apoyando la producción de cacao en el futuro?”.

Entre los aspectos cruciales para buscar soluciones a nivel del suelo está la presencia de cadmio en los granos del cacao como consecuencia de la absorción directa del metal pesado del suelo (Arévalo-Gardini *et al.*, 2017; Zug *et al.*, 2019), que posiblemente se debe a las prácticas de manejo del suelo y de aplicación de

fertilizantes sintetizados e insumos agrícolas (Kabata-Pendias, 1995; Gramlich *et al.*, 2018; Argüello *et al.*, 2019), lo que, como consecuencia, limita la comercialización en los mercados nacional e internacional (Rankin, 2018). Al respecto, algunas alternativas propuestas por Ramtahal *et al.* (2019) son la aplicación de enmiendas orgánicas y el establecimiento de sistemas agroforestales que reducen la acumulación de metales pesados en el suelo (Ramtahal *et al.* 2019) y, por ende, en los granos de cacao.

**c. Manejo fitosanitario:** El manejo fitosanitario en los SAF de cacao (*Theobroma cacao* L.) es una práctica que se hace necesaria en los cultivos (Charry y Castro-Llanos *et al.*, 2019); el impacto negativo de las plagas y las enfermedades causan pérdidas del 20 % al 30 % del potencial productivo (Savary *et al.*, 2012; Marelli *et al.*, 2019); y su proliferación está relacionada con diversos factores como las condiciones agroclimáticas, la distribución de árboles de sombrero, el tipo de material vegetal y el manejo del cultivo (Bailey *et al.*, 2018).

La estrategia a adoptar para la reducción de plagas y enfermedades es la aplicación de endófitos bacterianos y fúngicos que mejoran las características de las plantas y reducen significativamente la presencia de agentes patógenos (Von Maltzahn *et al.*, 2018). Kieck *et al.* (2017) mencionan que el manejo de la biodiversidad (poda de la estructura agroforestal) reduce la incidencia de las plagas y enfermedades y es efectiva en la selección de genotipos de cacao altamente tolerantes a enfermedades como *Moniliophthora perniciosa*, *Moniliophthora roreri*, *Phytophthora sp.*, entre otras, y aumenta los rendimientos productivos y la calidad en la almendra de cacao (Sánchez-Mora *et al.*, 2015; Neto *et al.*, 2018; Bailey *et al.*, 2018)

**d. Sistemas agroforestales:** El cacao es de origen amazónico y ha evolucionado como un sotobosque (Rice y Greenberg *et al.*, 2000; Wood y Lass, 2001; Motamayor *et al.*, 2008), creciendo en requerimiento fisiológicos

generales de radiación de 200 a 750  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  (Rada *et al.*, 2005; Daymond *et al.*, 2011; Acheampong *et al.*, 2013; Almeida *et al.*, 2014), y presentando bajo punto de compensación lumínica (Mielke *et al.*, 2005; Asare *et al.*, 2017) y baja tasa fotosintética, entre 1 y 8  $\mu\text{mol (CO}_2\text{) m}^{-2} \text{s}^{-1}$  (Almeida *et al.*, 2014; Daymond *et al.*, 2011).

Los sistemas agroforestales (SAF) constituyen un aspecto primordial en la productividad y la sostenibilidad del cultivo, aunque requieren de un conocimiento preciso desde la selección del componente leñoso y productivo, las condiciones agroclimáticas, las condiciones edafológicas y el diseño de la estructura agroforestal para cada zona de establecimiento del cultivo (Van Der Wolf *et al.*, 2019; De Sousa *et al.*, 2019). Los SAF juegan un papel clave en la reducción de la vulnerabilidad del cambio climático (Verchot *et al.*, 2007; Schroth *et al.*, 2016) ofreciendo servicios ambientales y siendo un sumidero de carbono (Kumar y Nair, 2011; Sharma *et al.*, 2016; Nadège *et al.*, 2018).

## Cosecha y postcosecha

**a. Fermentación:** La fermentación induce reacciones bioquímicas, enzimáticas y microbiológicas que son factores que contribuyen al sabor y aroma del cacao (Rivera Fernández *et al.*, 2012; Afoakwa *et al.*, 2013; Machado Cuellar *et al.*, 2017; Barrientos *et al.*, 2019). Los métodos de fermentación tienen una duración entre 4 y 8 días, dependiendo de la zona, el tipo de fermentador, las condiciones ambientales como la temperatura, la humedad relativa y el viento, el estado de maduración, entre otras (Gutiérrez-Correa, 2012; Kongor *et al.*, 2016); por este motivo se hace necesario caracterizar los tiempos de fermentación, para permitir que las regiones productoras prolonguen o disminuyan el tiempo de fermentación.

Los productores emplean métodos empíricos para determinar el grado de fermentación del cacao (Tan *et al.*, 2019), práctica que se lleva a cabo en cajones de madera de forma lineal y en escalera (Hii *et al.*, 2009;

Cardona Velásquez *et al.*, 2016); sin embargo, los avances tecnológicos para implementar son fermentadores automatizados con sensores de variables como la temperatura, el pH, la acidez y la humedad, garantizando una fermentación homogénea y el ahorro del trabajo en las horas de volteo (Ipanaqué *et al.*, 2017). Según autores como Tan *et al.* (2019b), los fermentadores con sistemas electrónicos de nariz (Sensores, sistema de monitoreo y procesamiento de data) permiten mejorar los perfiles sensoriales y garantizar la calidad en los granos de cacao.

**b. Secado:** En el proceso de secado se completa los procesos bioquímicos, al reducir la acidez y eliminar el contenido de ácido acético (Tinoco y Ospina, 2010), así como disminuir el contenido de humedad en las almendras de cacao con rangos entre 6 % y 7 %. Al no tener condiciones adecuadas se desarrolló hongos y valores inferiores de humedad que afectan la calidad sensorial, lo que genera sabores indeseables en el producto final (Kumar *et al.*, 2016).

En Colombia, existen diversos sistemas de secado; el secado solar al aire libre y el secado solar con techo de película transparente son los más utilizados por los productores, aunque no tienen procesos de estandarización (Puello-Méndez *et al.*, 2017). Estudios realizados por Barrientos *et al.* (2019) demostraron que el secado solar tipo marquesina presentó un impacto significativo en los perfiles sensoriales en los granos de cacao, aumentando el sabor graso con extracto etéreo y el sabor dulce con concentración de glucosa, lo que resulta un método útil para la diferenciación de mercados especiales.

**c. Almacenamiento:** Las condiciones de almacenamiento son: retirar impurezas y materias extrañas del grano de cacao a través de la implementación de zarandas y/o corrientes de aire (Piza, 2009), y garantizar las condiciones que debe cumplir el espacio para el almacenamiento (Armendáriz, 2012), siendo óptimas

para evitar contaminación física, química o biológica, y cumpliendo con las condiciones descritas en la NTC 5811 (“Buenas prácticas agrícolas”, en la sección “Recolección y beneficio-Requisitos generales”), puesto que en esta fase es importante garantizar el control de tres factores (luz, temperatura y la generación de micotoxinas) que pueden afectar significativamente la calidad e inocuidad del cacao (Martínez, 2013).

### Uso agroindustrial

**a. Uso no alimentario:** En el uso agroindustrial de cacao se aprovecha el 10 % del grano de cacao y un 90 % son subproductos o residuos que pueden ocasionar afectaciones al medio ambiente (Abarca *et al.*, 2010; Ramos *et al.*, 2015). La agroindustria trabaja en el aprovechamiento de los residuos, para dar un valor agregado en la cadena productiva e incrementar sus fuentes de ingreso monetario. Para esto se ha desarrollado investigaciones que buscan la consolidación de nuevos productos como la creación de infusiones a partir de cascarilla (Tapia, 2015), la obtención de papel (Ávila *et al.*, 2018), la extracción de pectina (Mendoza-Vargas *et al.*, 2017), la elaboración de galletas (Santana *et al.*, 2018) y la obtención de manteca de cacao para productos cosméticos (Ordoñez, 2017).

**b. Uso alimentario:** El primer uso agroindustrial tuvo lugar a mediados del siglo XVII cuando se creó la primera mezcla de cacao con leche y edulcorante; desde entonces se ha realizado investigaciones e innovaciones con el objetivo de mejorar la técnica y fortalecer los canales de comercialización junto con la funcionalidad y el aporte saludable (Valenzuela y Valenzuela, 2015), potenciando los atributos sensoriales mediante diferentes métodos y diseños experimentales (Morales *et al.*, 2016).

El grano de cacao (*Theobroma cacao* L.) ha tenido usos medicinales, rituales y alimenticios (Waizel-Haiat, 2012), caracterizándose principalmente como un alimento con propiedades funcionales y efectos saluda-

bles para el organismo humano (Pascual *et al.*, 2009), teniendo en cuenta que en su componente químico el chocolate es rico en antioxidantes (Coronado *et al.*, 2015; Perea-Villamil *et al.*, 2009).

En la modernización de procesos, ambientes y/o cadenas de valor aplicadas a la agroindustria del cacao, el desafío para la industria consiste en la transformación del grano (Fontagro, 2016) en las coberturas o chocolatería fina (Díaz *et al.*, 2012), y el uso de grasa, puesto que dependerá de la dureza, la fusión, la vida útil, el brillo y los procesos de atemperado y cristalización a través de la aplicación de temperaturas (Invenio *et al.*, 2004).

## Conclusiones

La trazabilidad del cacao siempre debe ser un desafío que debe avanzar en la innovación de los procesos, adopción de tecnologías e inclusión de estrategias que garanticen la calidad del grano, logrando posicionarse en mercados competitivos. Por el momento los estudios se quedan cortos en investigaciones de uso agroindustrial y planes de *marketing* que faciliten la diversificación de productos.

## Referencias bibliográficas

- Abarca, D.; Martínez, R.; Muñoz, J. J.; Torres, M. P.; y Vargas, G. (2010). “Residuos de café, cacao y cladodio de tuna: Fuentes promisorias de fibra dietaria”. *Revista Tecnológica-ESPOL*, 23(2).
- Acheampong, K.; Hadley, P.; y Daymond, A. J. (2013). “Photosynthetic activity and early growth of four Cacao genotypes as influenced by different shade regimes under West African dry and wet season conditions”. *Experimental Agriculture*, 49(1): 31-42.
- Afoakwa, E. O.; Quao, J.; Takrama, J.; Budu, A. S.; y Saalia, F. K. (2013). “Chemical composition and physical quality characteristics of Ghanaian cocoa beans as affected by pulp pre-conditioning and fermen-

- tation". *Journal of food science and technology*, 50(6): 1097-1105.
- Almeida, A. F.; Gomes, F. P.; Araujo, R. P.; Santos R. C.; y Valle, R. R. (2014). Leaf gas exchange in species of the *Theobroma* genus. *Photosynthetica*, 52(1): 16-21, 2014.
- Annosi, M. C.; Brunetta, F.; Monti, A.; y Nat, F. (2019). "Is the trend your friend? An analysis of technology 4.0 investment decisions in agricultural SMEs". *Computers in Industry*, 109: 59-71.
- Arévalo-Gardini, E.; Arévalo-Hernández, C. O.; Baligar, V. C.; y He, Z. L. (2017). "Heavy metal accumulation in leaves and beans of cacao (*Theobroma cacao* L.) in major cacao growing regions in Peru". *Science of the Total Environment*, 605: 792-800.
- Argüello, D.; Chávez, E.; Laurysen, F.; Vanderschueren, R.; Smolders, E.; y Montalvo, D. (2019). "Soil properties and agronomic factors affecting cadmium concentrations in cacao beans: A nationwide survey in Ecuador". *Science of the total environment*, 649: 120-127.
- Armendáriz, J. L. (2012). *Seguridad e higiene en la manipulación de alimentos*. Editorial Paraninfo.
- Asare, R.; Asare, R. A.; Asante, W. A.; Markussen, B. O.; y Ræbild, A. (2017). "Influences of shading and fertilization on on-farm yields of cocoa in Ghana". *Experimental Agriculture*, 53(3): 416-431.
- Ávila, A. J. Á.; Pacheco, K. Y. G.; y García, J. C. (2018). "Obtención de papel a partir del endocarpio seco del cacao". *Revista de Investigaciones Agroempresariales*, 3: 97-102.
- Bailey, B. A.; Evans, H. C.; Phillips-Mora, W.; Ali, S. S.; y Meinhardt, L. W. (2018). "*Moniliophthora roreri*, causal agent of cacao frosty pod rot". *Molecular plant pathology*, 19(7); 1580-1594.
- Barrientos, L. D. P.; Oquendo, J. D. T.; Garzón, M. A. G.; y Álvarez, O. L. M. (2019). "Effect of the solar drying process on the sensory and chemical quality of cocoa (*Theobroma cacao* L.) cultivated in Antioquia, Colombia". *Food research international*, 115: 259-267.
- Bunn, C.; Lundy, M.; Läderach, P.; y Castro, F. (2018). "Los impactos del cambio climático en cacao". *Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT)*. Calicó. 26 p.
- Cardona Velásquez, L. M.; Rodríguez-Sandoval, E.; y Marleny Cadena Chamorro, E. (2016). "Diagnóstico de las prácticas de beneficio del cacao en el departamento de Arauca". *Revista Lasallista de Investigación*, 13(1): 94-104.
- Cerda Bustillos, R.; Orozco Aguilar, L.; Carreño Rocabado, G.; Ordóñez, J. C.; Amores Contreras, F. M.; Albán, C.; y Somarriba Chávez, E. (2019). "Tropical agroforestry and ecosystem services: trade-off analysis for better design strategies". *Agroforestry for sustainable agriculture*.
- Chanatásig, V. (2004). *Inducción de la embriogénesis somática en clones superiores de cacao (Theobroma cacao L.), con resistencia a enfermedades fungosas*. Tesis de Maestría. Costa Rica: CATIE. pp. 86.
- Charry, A. y Castro-Llanos, F. (2019). *Colombian cacao, forests and peace initiative - Estudio de línea base de la cadena del cacao en Colombia*. 57 p.
- Codini, M.; Vélez, F. D.; Ghirardi, M.; y Villavicencio, I. (2004). "Obtención y utilización de la manteca de cacao". *Invenio*, 7(12): 143-148.
- Coronado, M.; Vega León, S.; Gutiérrez, R.; Vázquez, M.; y Radilla, C. (2015). "Antioxidantes: perspectiva actual para la salud humana". *Revista chilena de nutrición*, 42(2): 206-212.

- Daymond, A. J.; Tricker, P. J.; y Hadley, P. (2011). "Genotypic variation in photosynthesis in cacao is correlated with stomatal conductance and leaf nitrogen". *Biologia Plantarum*, 55(1): 99-104.
- De Sousa, K.; Van Zonneveld, M.; Holmgren, M.; Kindt, R.; y Ordoñez, J. C. (2019). "The future of coffee and cocoa agroforestry in a warmer Mesoamerica". *Scientific Reports*, 9(1): 8828.
- Díaz, S.; Pinoargote, M.; y Castillo, P. (2012). *Análisis de las características organolépticas del chocolate a partir de cacao CCN-51 tratado enzimáticamente y tostado a diferentes temperaturas*.
- Dinero (30 de 08 de 2018). "¿Cuáles cultivos tienen mayor potencial en Colombia?". Obtenido de: <https://www.dinero.com/edicion-impresa/pais/articulo/que-cultivos-son-rentables-en-colombia-en-2018/261447>.
- Fang, J.; Wetten, A.; Adu, R.; Wilkinson, M.; y Rodríguez, C. (2009). "Use of secondary somatic embryos promotes genetic fidelity in cryopreservation of cocoa (*Theobroma cacao* L.)". *Agricultural and Food Science*, 18: 152-159.
- Federación Nacional de Cacaoteros-FEDECACAO. (2019). *Informe de ejecución plan de ingresos, inversiones y gastos del fondo nacional del cacao durante el cuarto trimestre y consolidado vigencia 2018*. Obtenido de [https://www.fedecacao.com.co/portal/images/INFORME\\_2018.pdf](https://www.fedecacao.com.co/portal/images/INFORME_2018.pdf)
- FONTAGRO (2017). "Innovación Tecnológica en Cacao Andino". Recuperado de: <https://www.fontagro.org/proyecto/innovacion-tecnologica-en-cacao-andino/>.
- Fontanel, A.; Gire-Bobin, S.; Labbé, G., Favereau, P.; Álvarez, M.; Rutte, S.; y Pétiard, V. (2002). "In vitro multiplication and plant regeneration of *Theobroma cacao* L. via stable embryogenic calli". 10 IAPTC Congress. *Plant Biotechnology*, 23-28.
- Gockowski, J.; Afari-Sefa, V.; Sarpong, D. B.; Osei-Asare, Y. B.; y Agyeman, N. F. (2013). "Improving the productivity and income of Ghanaian cocoa farmers while maintaining environmental services: what role for certification?". *International Journal of Agricultural Sustainability*, 11(4): 331-346.
- Gramlich, A.; Tandy, S.; Gauggel, C.; López, M.; Perla, D.; Gonzalez, V.; y Schulin, R. (2018). "Soil cadmium uptake by cocoa in Honduras". *Science of The Total Environment*, 612: 370-378.
- Gutiérrez-Correa, M. (2012). "Efecto de la frecuencia de remoción y tiempo de fermentación en cajón cuadrado sobre la temperatura y el índice de fermentación del cacao (*Theobroma cacao* L.)". *Revista Científica UDO Agrícola*, 12(4), 914-918.
- Hii, C. L.; Law, C. L.; y Cloke, M. (2009). "Modeling using a new thin layer drying model and product quality of cocoa". *Journal of Food Engineering*, 90(2): 191-198.
- Instituto Colombiano Agropecuario (2013). "El ICA apoya Plan Nacional de Renovación de Cacao". *ICA Comunica*, Recuperado de: <https://www.ica.gov.co/periodico-virtual/prensa/2013/el-ica-apoya-plan-nacional-de-renovacion-de-cacao.aspx>.
- Ipanaqué, W.; Castillo, J.; Robles, H.; y Belupú, I. (2017). "Desarrollo e implementación de un prototipo de acero inoxidable para evaluar el proceso de fermentación de granos de cacao". *International Symposium on Cocoa Research* (ISCR). Recuperado de: <https://www.icco.org/component/search/?searchword=Desarrollo%20e%20impleme&searchphrase=all&Itemid=106>.
- Kabata-Pendias, A. (1995). "Agricultural problems related to excessive trace metal contents of soils". In: *Heavy metals* (pp. 3-18). Springer, Berlin, Heidelberg.



- Kieck, J. S.; Zug, K. L.; Yupanqui, H. H.; Aliaga, R. G.; y Cierjacks, A. (2016). "Plant diversity effects on crop yield, pathogen incidence, and secondary metabolism on cacao farms in Peruvian Amazonia". *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 222: 223-234.
- Kongor, J. E.; Hinneh, M.; Van de Walle, D.; Afoakwa, E. O.; Boeckx, P.; y Dewettinck, K. (2016). "Factors influencing quality variation in cocoa (*Theobroma cacao*) bean flavour profile - a review". *Food Research International*, 82, 44-52.
- Kongor, J. E.; Hinneh, M.; Van de Walle, D.; Afoakwa, E. O.; Boeckx, P.; y Dewettinck, K. (2016). "Factors influencing quality variation in cocoa (*Theobroma cacao*) bean flavour profile - a review". *Food Research International*, 82: 44-52.
- Kumar, B. M. y Nair P. K. R. (2011). "Carbon sequestration potential of agroforestry systems - opportunities and challenges". *Springer*, Dordrecht
- Kumar, M.; Sansaniwal, S. K.; y Khatak, P. (2016). "Progress in solar dryers for drying various commodities". *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 55: 346-360.
- Machado Cuellar, L.; Ordoñez Espinosa, C. M.; Sánchez, A.; Katherine, Y.; Guaca Cruz, L.; y Suárez Salazar, J. C. (2018). "Organoleptic quality assessment of *Theobroma cacao* L. in cocoa farms in northern Huila, Colombia". *Acta Agronómica*, 67(1): 46-52.
- Mancini, A.; Frontoni, E.; y Zingaretti, P. (2019, May). "Challenges of multi/hyper spectral images in precision agriculture applications". En: *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 275, No. 1, p. 012001). IOP Publishing.
- Marelli, J. P.; Guest, D.; Bailey, B. A.; Evans, H. C.; Brown, J. K.; Junaid, M.; y Puig, A. S. (2019). "Chocolate under Threat from Old and New Cacao Diseases". *Phytopathology*, 109(8): 1331-1343.
- Martínez, R. M. G. (2013). "Contaminación de los alimentos durante los procesos de origen y almacenamiento". *Aldaba: revista del Centro Asociado a la UNED de Melilla*, (36): 51-64.
- McBratney, A.; Field, D. J.; y Koch, A. (2014). "The dimensions of soil security". *Geoderma*, 213: 203-213.
- Mendoza-Vargas, L.; Jiménez-Forero, J.; y Ramírez-Niño, M. (2017). "Evaluación de la pectina extraída enzimáticamente a partir de las cáscaras del fruto de cacao (*Theobroma cacao* L.). *Revista UDCA Actualidad & Divulgación Científica*, 20(1): 131-138.
- Mielke, M. S.; De Almeida, A.-A. F.; y Gomes, F.P. (2005). "Photosynthetic traits of five neotropical rainforest tree species: interactions between light response curves and leaf to air vapour pressure deficit". *Braz. Arch. Biol. Technol*, 48: 815-824.
- MinAgricultura (2018). "Iniciativa Cacao, Bosques y Paz". *Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural*. Colombia. Recuperado de: <https://www.minagricultura.gov.co/noticias/Paginas/MinAgricultura-se-une-a-iniciativa-Cacao,-Bosques-y-Paz.aspx>
- Monsalve-González, L. S.; García-Rojas, C. Y.; y Sigarroa-Rieche, A. (2005). "Obtención de embriones somáticos primarios de *Theobroma cacao* en clones de interés regional para el departamento Norte de Santander, Colombia". *Respuestas*, 10(1): 21-29.
- Morales, O.; Borda, A.; Argandoña Martínez, J. A.; Farach Cardaña, R.; García Naranjo Loayza, L. F.; Galdós, M. L.; y Judith, K. (2015). "La Alianza Cacao Perú y la cadena productiva del cacao fino de aroma".
- Morales, W.; Vallejo, C.; Sinche, P. D.; Torres, Y.; Vera, J.; y Anzules, E. D. (2016). "Mejoramiento de las características físico-químicas y sensoriales del cacao CCN51 a través de la adición de una enzima y levadura durante el proceso de fermentación". *Revista Amazónica Ciencia y Tecnología*, 5(2): 169-181.

- Nadège, M. T.; Louis, Z.; Cédric, C. D.; Louis-Paul, K. B.; Funwi, F. P.; Ingrid, T. T.; y Julliete Mancho, N. (2018). "Carbon storage potential of cacao agroforestry systems of different age and management intensity". *Climate and Development*, 1-12.
- Neto, A. A. P.; Laranjeira, D.; Pires, J. L.; y Luz, EDMN (2018). Selección de progenies de cacao para resistencia a la escoba de bruja". *Patología de plantas tropicales*, 43(5): 381-388.
- Ordóñez Crespo, B. S. (2017). *Plan de negocios para la elaboración y comercialización de cosméticos artesanales* (Bachelor's thesis, Quito: Universidad de las Américas, 2017).
- Ortiz, S. A. R. y González, J. P. (2017). "Selección de tecnologías para la adaptación al cambio climático en el sector cacaoero huilense". *Creceer Empresarial: Journal of Management and Development*, (1).
- Ortiz, S. A. R. y González, J. P. (2017). "Selección de tecnologías para la adaptación al cambio climático en el sector cacaoero huilense". *Creceer Empresarial: Journal of Management and Development*, (1).
- Pascual, V.; Valls, R. M.; y Solà, R. (2009). "Cacao y chocolate: ¿un placer cardiosaludable?". *Clínica e investigación en arteriosclerosis*, 21(4): 198-209.
- Perea-Villamil, J. A.; Cadena-Cala, T.; y 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.
- Piñeros, O. L. L.; Sabogal, W. D. H.; Meneces, W. C. L.; y López, A. F. J. (2017). "Prototipo de automatización del proceso de secado y selección del cacao a través del procesamiento digital de imágenes". *Ciencia e Ingeniería*, 4(1): 14-14.
- Piza, R. P. (2009). *La calidad del cacao*. INIAP Archivo Histórico.
- Puello-Mendez, J.; Castellar, P. M.; Ocana, L. C.; Bossa, L.; Sanjuan, E.; Lambis-Miranda, H. A.; y Villamizar, L. (2017). "Comparative Study of Solar Drying of Cocoa Beans: Two Methods Used in Colombian Rural Areas". *Chemical Engineering Transactions*, 57: 1711-1716.
- Quiroga-Parra, D. J.; Murcia-Zorrilla, C. P.; Hernández, E.; y Torrent-Sellens, J. (2019). "Innovación en México y Colombia: un análisis comparado teórico y empírico". *Revista Venezolana de Gerencia (RVG)*, 24(85): 157-179.
- Rada, F.; Jaimez, R. E.; García-Nunez, C.; Azocar, A.; y Ramírez, M. E. (2005). "Water relations and gas Exchange in *Theobroma cacao* var. *Guasare* under periods of water deficits". *Revista de la Facultad de Agronomía (LUZ)*, 22: 105-112.
- Ramírez, A. M. H.; De la Hoz Vásquez, T.; Osorio, T. M. O.; Garcés, L. A.; y Trujillo, A. I. U. (2018). "Evaluation of the potential of regeneration of different Colombian and commercial genotypes of cocoa (*Theobroma cacao* L.) via somatic embryogenesis". *Scientia Horticulturae*, 229: 148-156.
- Ramos, Á. F.; Ruíz, J. A. P.; y Amaya, A. O. (2015). "Diagnóstico y manejo ambiental del cultivo de cacao, con énfasis en sus recursos hídricos en el municipio de Campoalegre (Huila)". *Ingeniería y Región*, (14), 65-74.
- Ramtahal, G.; Umaharan, P.; Hanuman, A.; Davis, C. y Ali, L. (2019). "La efectividad de las enmiendas del suelo, el biochar y la cal, para mitigar la bioacumulación de cadmio en *Theobroma cacao* L.". *Science of The Total Environment*.
- Rankin, S. (2018). "Hablemos del cadmio en el cacao andino". *Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT)*. Disponible en: <https://blog.ciat.cgiar.org/es/hablemos-del-cadmio-en-el-cacao-andino/>

- Rice, R. A. y Greenberg, R. (2000). "Cacao cultivation and the conservation of biological diversity". *AMBIO: A Journal of the Human Environment*, 29(3): 167-174.
- Rivera Fernández, R. D.; Barrera Álvarez, A. E.; Guzmán Cedeño, Á. M.; Medina Quinteros, H. N.; Casanova Ferrín, L. M.; Peña Galeas, M. M.; y Nivelá Morante, P. E. (2012). "Efecto del tipo y tiempo de fermentación en la calidad física y química del cacao (*Theobroma cacao* L.) tipo nacional". *Ciencia y Tecnología*, 5(1): 7-12.
- Sánchez-Mora, F. D.; Medina-Jara, S. M.; Díaz-Coronel, G. T.; Ramos-Remache, R. A.; Vera-Chang, J. F.; Vásquez-Morán, V. F.; y Onofre-Nodari, R. (2015). "Potencial sanitario y productivo de 12 clones de cacao en Ecuador". *Revista fitotecnia mexicana*, 38(3): 265-274.
- Santana, D. P.; Sánchez, J. L. R.; Calle, J.; de Villavicencio, M. N.; Ortega, L. D.; y Llanes, L. H. (2018). "Utilización de la cascarilla de cacao como fuente de fibra dietética y antioxidantes en la elaboración de galletas dulces". *Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 28(3).
- Savary, S.; Ficke, A.; Aubertot, J. N.; y Hollier, C. (2012). "Crop losses due to diseases and their implications for global food production losses and food security". *Food Secur.*, 4(4): 519-537.
- Schroth, G.; Jeusset, A.; Da Silva Gomes, A.; Florence, C. T.; Coelho, N. A. P.; Faria, D.; y Läderach, P. (2016). "Climate friendliness of cocoa agroforests is compatible with productivity increase". *Mitigation and adaptation strategies for global change*, 21(1): 67-80.
- Sharma, R.; Chauhan, S. K.; y Tripathi, A. M. (2016). "Carbon sequestration potential in agroforestry system in India: an analysis for carbon Project". *Agroforestry systems*, 90(4): 631-644.
- Singh, K.; Sanderson, T.; Field, D.; Fidelis, C.; y Yinil, D. (2019). "Soil security for developing and sustaining cocoa production in Papua New Guinea". *Geoderma Regional*, 17. doi.org/10.1016/j.geodrs.2019.e00212.
- Sodré, G. A. y Gomes, A. R. S. (2019). "Cocoa propagation, technologies for production of seedlings". *Revista Brasileira de Fruticultura*, 41(2).
- Swisscontact (2016). *Desarrollo de la cadena de valor del cacao. Transformando el cultivo de cacao en un negocio sostenible para pequeños agricultores*. Obtenido de [https://www.swisscontact.org/fileadmin/user\\_upload/HEAD\\_OFFICE/Documents/Topics\\_Brochures/Folleto\\_Cacao.pdf](https://www.swisscontact.org/fileadmin/user_upload/HEAD_OFFICE/Documents/Topics_Brochures/Folleto_Cacao.pdf).
- Tan, C. L. y Furtek, D. B. (2003). "Development of an in vitro regeneration system for *Theobroma cacao* from mature tissues". *Plant Science*, 164(3): 407-412.
- Tan, J.; Balasubramanian, B.; Sukha, D.; Ramkissoon, S.; y Umaharan, P. (2019). "Sensing fermentation degree of cocoa (*Theobroma cacao* L.) beans by machine learning classification models based electronic nose system". *Journal of Food Process Engineering*.
- Tapia Yáñez, C. A. (2015). *Aprovechamiento de residuos agroindustriales, cascarilla de cacao (*Theobroma cacao* L.) variedad arriba y CCN51 para la elaboración de una infusión* (Bachelor's thesis).
- Tinoco, H. A. y Ospina, D. Y. (2013). "Análisis del proceso de deshidratación de cacao para la disminución del tiempo de secado". *Revista EIA*, 7(13): 53-63.
- Urrea Trujillo, A. I.; Atehortúa Garcés, L.; y Gallego Rúa, A. M. (2011). "Regeneration through somatic embryogenesis of an elite colombian *Theobroma cacao* L. variety". *Revista Colombiana de Biotecnología*, 13(2): 39-50.

- Valenzuela B., Alfonso y Valenzuela B., Rodrigo (2015). "Innovation in the food industry: The history of some innovations and of their innovators". *Revista Chilena de Nutrición*, 42(4), 404-408. Recuperado de: <https://dx.doi.org/10.4067/S0717-75182015000400013>.
- Van Der Wolf, J.; Jassogne, L.; Gram, G. I. L.; y Vaast, P. (2019). "Turning local knowledge on agroforestry into an online decision-support tool for tree selection in smallholder's farms". *Experimental Agriculture*, 55: 50-66.
- Verchot, L. V.; Van Noordwijk, M.; Kandji, S.; Tomich, T.; Ong, C.; Albrecht, A.; y Palm, C. (2007). "Climate change: linking adaptation and mitigation through agroforestry". *Mitigation and adaptation strategies for global change*, 12(5): 901-918.
- Von Maltzahn, G.; Flavell, R. B.; Toledo, G. V.; Djonovic, S.; Márquez, L. M.; Johnston, D. M. y Sadowski, C. (2018). *U.S. Patent Application No. 16/024,050*.
- Waizel-Haiat, S.; Waizel-Bucay, J.; Magaña-Serrano, J. A.; Campos-Bedoya, P.; y San Esteban-Sosa, J. E. (2012). "Cacao y chocolate: seduction and therapeutics". *Anales Médicos de la Asociación Médica del Centro Médico ABC*, 57(3): 236-245.
- Wood, G. A. R. y Lass, R. A. (2001). *Cocoa*, 4th edn. Oxford: Blackwell Science.
- Zug, K. L. M.; Yupanqui, H. A. H.; Meyberg, F.; Cierjacks, J. S.; y Cierjacks, A. (2019). "Cadmium accumulation in peruvian cacao (*Theobroma cacao* L.) and opportunities for mitigation". *Water, Air, & Soil Pollution*, 230(3): 72.