



Revisión

Importancia, genética y evolución del café en Honduras y el mundo

Genetics, evolution and importance of coffee in Honduras and worldwide

Jean Pierre Enríquez,¹ Rodrigo Fernando Retes-Cálix, Emil Floricia Vásquez-Reyes

Maestría en Agricultura Tropical Sostenible (MATS), Escuela Agrícola Panamericana Zamorano, Tegucigalpa, Honduras

Historia del artículo:

Recibido: 20 octubre 2020

Revisado: 24 octubre 2020

Aceptado: 18 diciembre 2020

Publicado: 22 diciembre 2020

Palabras clave

Café

Domesticación cafetalera

Diseminación del café

Mejoramiento genético

Keywords

Coffee

Coffee dissemination

Coffee domestication

Genetic improvement

RESUMEN. Introducción: El café es uno de los cultivos más importantes mundialmente, posicionándose en el segundo lugar después del petróleo crudo. A partir de 1850, el café se comenzó a expandir con la promoción de los colonos europeos. El café representa una actividad económica importante en Centroamérica, representando alrededor del 10% de la producción mundial. **Métodos:** Se realizó una revisión bibliográfica que se centró en identificar información relacionada con el cultivo de café. **Desarrollo:** Se cree que Etiopía es el lugar de nacimiento original del café. Hay dos especies principales del cultivo de café: *Arabica* y *Robusta*. La filogenia molecular de las especies de café se basa en 28,800 polimorfismos de nucleótido unido definiendo relaciones entre las especies. Por otro lado, la producción de café ha sido un pilar fundamental para la economía de Honduras, posicionándose como el mayor exportador de café de Centroamérica y el quinto en el mundo. **Conclusión:** Por la importancia del café en el mundo y en Honduras, es importante destacar el papel de la biotecnología en el desarrollo de variedades resistentes a diferentes plagas y enfermedades, garantizando una producción sostenible del cultivo.

ABSTRACT. Introduction: Coffee is one of the most important crops worldwide, ranking second after crude oil. In 1850, coffee began to expand with the promotion of European settlers. Coffee represents an important economic activity in Central America, representing around 10% of world production. **Methods:** A bibliographic review was carried out to identify information related to coffee cultivation. **Discussion:** Ethiopia is believed to be the original birthplace of coffee. There are two main species of coffee cultivation: *Arabica* and *Robusta*. The molecular phylogeny of coffee species is based on 28,800 joined nucleotide polymorphisms defining relationships between species. On the other hand, coffee production has been a fundamental pillar for the Honduran economy, positioning itself as the largest coffee exporter in Central America and the fifth in the world. **Conclusion:** Due to the importance of coffee in the world and in Honduras, it is important to highlight the role of biotechnology in the development of varieties resistant to different pests and diseases, guaranteeing a sustainable crop production.

1. Introducción

El café es un medio para las relaciones sociales y la relajación. Su popularidad lo ha convertido en uno de los productos básicos más importantes del mundo (International Coffee Organization [ICO], 2015). El cultivo de café se estudia en diferentes ámbitos como ser agrónomos, genéticos, culturales, económicos y turísticos. La relevancia del cultivo toma importancia en el desarrollo de información y generación de evidencia fructífera para la sociedad, especialmente en aquellos que se dedican al rubro. Una taza

de café es el resultado de la interacción de prácticas de cosecha y postcosecha, clasificación, almacenamiento y transporte, etapas de procesamiento y prácticas de consumo (Yeretian, 2017). El café (*Coffea arabica*) es uno de los cultivos más importantes en el mundo, con gran impacto económico especialmente en países en vías de desarrollo (Villalta & Gatica, 2019). El producto se posiciona en segundo lugar como materia prima, solo detrás del petróleo crudo. Por lo tanto, es fundamental contextualizar su relevancia para la sociedad. Aproximadamente 60 países tropicales y subtropicales producen café extensivamente. Para muchos de estos países, el café es el principal producto

¹ Autor correspondiente: jean.enriquez.2018@alumni.zamorano.edu, Escuela Agrícola Panamericana Zamorano, Tegucigalpa, Honduras

Disponible en <https://doi.org/10.5377/innovare.v9i3.10649>

© 2020 Autores y UNITEC. Este es un artículo de acceso abierto según licencia <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0>

agrícola de exportación. Por ejemplo, la producción de café centroamericana representa alrededor del 10% de la producción mundial del rubro (Geleta et al., 2012).

El cultivo de café es uno de los pilares de la economía en países tropicales de América Latina (Quintero & Rosales, 2014; Rahn et al., 2018). Esto genera mayores posibilidades, ya que los agricultores pueden expandir sus oportunidades laborales, con la cadena productiva de café. La cadena de valor de café abarca desde el agricultor al consumidor (Davis et al., 2019). Actualmente existen tendencias de incremento productivo en los principales países productores como ser Brasil, Vietnam e Indonesia y en algunos países hispanoamericanos, como Honduras, Nicaragua y Perú (Ocampo-López & Alvarez-Herrera, 2017). Por lo tanto, es necesario conocer los diferentes factores que pueden influenciar en la producción de café, así como su evolución genética hasta las variedades actuales.

Existen aproximadamente 25 millones de productores de café, con el 70% siendo pequeños agricultores que manejan menos de 10 hectáreas de cultivo (Panhuysen & Pierrot, 2018; Rahn et al., 2018). Los productores de café tienen que adaptarse a gran escala para lograr su permanencia en el mercado durante el siglo XXI (Bianco, 2020). Cabe resaltar, que el 40% del café producido mundialmente, cumple con uno o más estándares de certificación de calidad (Levy et al., 2016). Por lo tanto, es importante articular la historia, evolución y producción del café para potencializar su valor agronómico económico e industrial.

El género *Coffea* pertenece a la familia *Rubiaceae*, con 500 géneros y más de 6,000 especies. La *Coffea arabica* y *Coffea canephora* son las dos especies cultivadas comercialmente. El *Coffea arabica* pertenece al género *Coffea*. El café Robusta (*Coffea canephora*) está asociado con el género *Psilanthus* (Guyeux et al., 2019). La mayoría de los consumidores e incluso muchos representantes del sector cafetero desconocen que existen más especies de café que las mencionadas anteriormente.

El cambio climático genera un impacto profundo en la producción agrícola mundial. La variedad Arábica es uno de los cultivos más afectados y sensibles al clima, por lo que sus plantaciones pueden verse afectadas ante el cambio climático (Davis et al., 2012). Esto genera la necesidad de innovar en las técnicas de producción del cultivo en Honduras y en el mundo. Se necesitan medidas de adaptación para garantizar la supervivencia de la industria cafetalera (Bianco, 2020).

La falta de conocimiento del café en términos de producción e historia genética y evolutiva genera la necesidad de conocer los temas adyacentes al cultivo. Aunque existe evidencia bibliográfica del cultivo del café, se carece de una revisión que articule temáticas importantes de la evaluación del café en la historia. Esto puede generar una visión holística para la sociedad, resaltando información clave sobre la importancia del cultivo. Se ha realizado la

siguiente interrogante para esta revisión: ¿Cuáles son los temas principales a conocer sobre la importancia del café en Honduras y en el mundo? Las respuestas a la interrogante ayudarán a profundizar los efectos positivos de las experiencias a través de la historia del café. Asimismo, ayudará a buscar alternativas sostenibles de producción y comercialización. Por lo tanto, el objetivo de la revisión bibliográfica es describir la información clave del cultivo de café. Adicionalmente, este artículo busca contextualizar la importancia del cultivo para contribuir con su desarrollo sostenible.

2. Métodos

Se realizó una revisión bibliográfica que incluyó publicaciones en inglés y español centradas en el cultivo de café. Las palabras clave utilizadas para la búsqueda fueron: “Café,” “*Coffea arabica*,” “*Coffea canephora*,” “historia del café,” “mercado del café,” y “genética del café”. La revisión se realizó mediante búsquedas de la literatura en motores académicos: Elsevier, Springer Link y Google Académico. Los documentos académicos incluyeron artículos científicos, libros y comunicaciones de entidades del rubro del café. Asimismo, se incluyeron referencias adicionales identificadas durante la revisión de los documentos seleccionados para la bibliografía de la revisión. Cabe mencionar que los documentos seleccionados fueron publicados a partir del 2004. De los 41 documentos revisados, el 83% de las publicaciones fueron publicadas en los últimos 10 años.

3. Desarrollo

3.1. Genética y evolución de la especie

El café pertenece a la familia *Rubiaceae*, la cuarta familia más grande de angiospermas (Denoeud et al., 2014). Es clasificada como una planta arbustiva, originaria de las regiones altas de África central, particularmente del Sureste de Etiopía y Norte de Kenia. Etiopía es considerada el lugar de origen del café (Gebeyehu et al., 2020). El café actual es una hibridación natural de dos formas ancestrales cercanas a las especies *Coffea eugenioides* y *Coffea canephora*, obteniendo como resultado el genoma actual de *Coffea arabica*. El *Coffea arabica* se compone por dos subgenomas poco diferenciados, confiriéndole su carácter de alopoliploide segmental (Romero et al., 2010).

Hay pocos estudios que contribuyen al conocimiento fundamental del café en términos de la biología, evolución del genoma, especiación o adaptación a factores de estreses bióticos y abióticos en su cultivo (Gómez et al., 2016; Hamon et al., 2017). Hasta el 2011, los cafetos eran clasificados en el género *Coffea*, como parientes cercanos del género *Psilanthus* en la familia *Rubiaceae*. Hamon et al.

(2017) indicaron que la separación de los géneros de *Coffea* y *Psilanthus* se llevó a cabo hace 12 millones de años. Su distinción se fundamentó en la morfología de sus flores y en su distribución geográfica (Guyeux et al., 2019). Esto evidenció la importancia de incrementar los conocimientos del cultivo de café para incentivar su desarrollo productivo y genético.

Se han descrito más de 130 especies pertenecientes al género *Coffea*. Sin embargo, sólo dos especies son aprovechadas comercialmente (Campos et al., 2017). Estas especies principales son *Coffea arabica* (Arabica) y *Coffea canephora* (Robusta) (Esquivel y Jiménez, 2012). La especie Arabica es alotetraploide ($2n=4\times=44$) y autógama en su mayoría, mientras que la especie Robusta es diploide ($2n=2\times=22$) y alógamo. Es importante resaltar que la diversificación en el subgénero *Coffea* posiblemente ocurrió en la segunda mitad del Pleistoceno medio (450,000-100,000 años antes del presente). Por otra parte, la especiación allopolyploid de *C. arabica* se desarrolla desde tiempos históricos (Romero et al., 2010).

Aproximadamente el 60% de la producción mundial de café proviene de *C. arabica* frente al 40% de *C. canephora* (Privat et al., 2011). Estas proporciones se caracterizan por la alta uniformidad genética, producto de varios factores como ser tipo de reproducción autógamo y el modo particular de dispersión a partir de su centro de origen (Romero et al., 2010). Además, ambas especies son difíciles de mejorar de manera convencional. Se necesita un mínimo de 20 años, para producir una nueva variedad y contribuir a la industria cafetalera y a la sostenibilidad agrícola.

Las herramientas biotecnológicas como la transformación genética, la micropropagación y la embriogénesis somática han sido ampliamente estudiadas, con el fin de proporcionar resultados prácticos para la mejora de café (Campos et al., 2017). Dichos conocimientos han logrado favorecer las técnicas de producción adaptando las variedades comerciales a diferentes climatologías, alturas e incluso asociaciones, con otros cultivos para aprovechar el terreno destinado a las plantaciones cafetaleras. Estudios sobre la genética de café brinda un abanico de oportunidades para la investigación aplicada en la sostenibilidad.

El café ha sido el centro de numerosos estudios filogenéticos y de diversidad genética. Los estudios se han basado en datos de secuenciación de regiones plástidas y nucleares brindando un marco sólido de su historia evolutiva (Razafinarivo et al., 2013). Sin embargo, varios estudios han demostrado que la diversidad genética del *C. arábica* es baja en comparación con la del *C. robusta*, debido a su estrecha base genética asociada con autogamia, historia evolutiva y domesticación (Geleta et al., 2012). Esta limitada base genética muestra el bajo desarrollo genotípico en resistencia, para hacerle frente a problemas del cultivo.

El mejoramiento de la resistencia a plagas y

enfermedades es una prioridad para la producción de café, especialmente por los factores económicos y sostenibles. Por lo tanto, se está trabajando en el cruce de *C. arábica* con otras especies, en particular *C. robusta*, con la selección de genotipos de interés del acervo genético del *C. arabica* (Villain et al., 2010). Las técnicas de marcadores moleculares, como el ADN polimórfico amplificado aleatoriamente (RAPD) y el polimorfismo de longitud de fragmentos amplificados (AFLP), se han utilizado en el análisis genético del café (Vieira et al., 2010). La detección y cuantificación de la variación genética en especies de cultivos es importante para la conservación de recursos genéticos y el fitomejoramiento.

3.2. Domesticación y diseminación

El café se expande en el continente americano en el siglo XVII, con la oportunidad de generar ingresos económicos en el rubro agrícola (Rice, 2003). Veinte años después, en 1870, se documentó por primera vez el *C. Liberica* en la región americana. Sin embargo, sus cualidades organolépticas no cumplieron con los requisitos de sabor del consumidor de aquella época (Crwell, 2009). Esto evidencia los roles claves del productor y consumidor en el éxito del cultivo desde sus inicios.

Las primeras exportaciones de café fueron registradas a partir de 1880, con un valor de 12 mil libras esterlinas. Sin embargo, existió una fuerte crisis internacional del café entre 1900 y 1920. El café se reactivó económicamente a partir de 1930. En 1961 surgieron las primeras cooperativas para enfrentar a intermediarios, lográndose expandir y alcanzar el 80% de las exportaciones 10 años más tarde (Cahuapaza, 2016). Esto dio lugar al inicio de una revolucionaria ola cafetalera en todas las Américas, con presencia importante en el agro y en el desarrollo sostenible de los países.

Un punto clave es el café orgánico en la historia de su domesticación. El café orgánico se ha posicionado en el mercado mundial. Es cultivado, manejado y procesado bajo principios y normas de producción amigable con el medio ambiente y la responsabilidad social. La producción orgánica resulta una alternativa viable que genera rangos de productividad bastante cercanos a la producción convencional (Schnabel et al., 2018). Por otro lado, Ocampo-López & Alvarez-Herrera (2017) han mencionado la importancia de realizar análisis de las estrategias de adaptación a la variabilidad y cambio climático en sistemas cafeteros de países latinoamericanos que presentan tendencias crecientes en la producción de café arábica. Entre los países se encuentran Brasil, Honduras, Nicaragua y Perú. Con dichos análisis, se estaría proporcionando alternativas de potencialización en la producción mediante patrones de sostenibilidad accesibles para pequeños y grandes productores.

Achar et al. (2015) encontraron que *Coffea canephora* exhibe un sistema de raíces deficiente y sensible al estrés por sequía afectando el crecimiento y la producción del cultivo. Los autores analizaron 13 marcadores RAPD (“Random Amplification of Polymorphic DNA”) putativos asociados con rasgos de la raíz, documentando una variación fenotípica del 6,86%. Se encontró dos marcadores de microsatélites vinculados a la longitud de la raíz (CPCM13400) y la relación raíz a brote (CM211300). Además, 25 marcadores fueron asociados con más de un rasgo, así como una cantidad menor de marcadores se asoció positivamente con rasgos fisiológicos. Esto fue viable para ser utilizado en la selección de rasgos asistidos por marcadores. Esto evidencia la importancia de aplicar las ciencias tecnológicas en el desarrollo del cultivo, con promoción de la investigación e innovación, sin olvidar los principios de sostenibilidad.

La sequía es el principal estrés ambiental que afecta a la producción de café, especialmente a *C. robusta* debido a sus raíces poco profundas. Las tendencias de cultivo se realizan en condiciones de escasez de agua, experimentando así el estrés en varias fenologías de cultivos que afectan el crecimiento y desarrollo (DaMatta et al., 2004). La genómica funcional evidenció que el aumento en la cantidad de proteína RBCS1 (subunidad pequeña de Rubisco) podría contribuir a la función antioxidante de la fotorrespiración en plantas de *Coffea canephora* con estrés hídrico (Marraccini et al., 2011). Esto resultados posibilitan vías de solución desde lo productivo, ambiental hasta lo económico. Estos factores deben ser articulados para contribuir a la sostenibilidad de la producción de café en el mundo. Los avances en el desarrollo de especies resistentes deben ser administrados adecuadamente para que la tecnología contribuya a la resiliencia, sin ser un contrapunto para el productor a largo plazo.

3.3. Caracterización molecular

Existe una agrupación denominada clado, que contiene un antepasado común y todos los descendientes vivos y extintos. Guyeux et al. (2019) descubrieron que las dos principales especies cultivadas de café (*Arábica* y *Robusta*) no se agruparon en el mismo clado, diferenciándose en su patrón de evolución genética. Los métodos actuales de secuenciación han permitido obtener genomas completos de cloroplasto, evidenciando la evolución del cultivo de café.

Según Hamon et al. (2017), la filogenia molecular de las especies de café se basa en 28,800 polimorfismos de nucleótidos unidos que definen distintas relaciones entre las especies. Sin embargo, no proporciona una respuesta definitiva a la clasificación botánica. La filogenia molecular basada en la alineación completa del genoma admite dos clados principales: uno únicamente con especies de *Coffea* y el otro con todos los *Psilanthus* incluyendo un *Coffea*

(Guyeux et al., 2019).

Estas tendencias de clasificación requieren esfuerzos adicionales para lograr identificar una filogenia más específica. Con dichos esfuerzos, será posible desarrollar variedades que se acoplen a las necesidades de una región en específico. El desarrollo de la secuenciación de alto rendimiento y bajo costo ha permitido obtener datos de secuencias nucleares y plástidas (Guyeux et al., 2019). Esto tiene el potencial para contribuir en el desarrollo de variedades resistentes. Por otro lado, estudios con muestras significativas (Maurin et al., 2007; Davis et al., 2011), han documentado agrupaciones geográficas para la especie *Mascarene* y monofilia para un linaje adaptado en la parte seca de la costa occidental de Madagascar (Davis et al., 2005). Estos resultados pueden ser relevantes para la construcción de mapeos genéticos del café que a futuro puede traducirse en grandes avances genéticos.

Los genomas de *C. arabica* y sus dos ancestros diploides estrechamente relacionados (*Coffea canephora* y *Coffea eugenioides*) se han liberado debido al desarrollo de la secuenciación de próxima generación (Huang et al., 2020). Este fenómeno de pérdida de genes está vinculado con un sesgo de fraccionamiento (Thomas et al., 2010). Es muy probable que la pérdida de genes se deba a la eliminación masiva de ADN inducida por recombinación intracromosómica (Woodhouse et al., 2010). Denoed et al. (2014) han indicado que *C. canephora* es la primera especie de café completamente secuenciada por las tecnologías de próxima generación. Esto promueve las tecnologías de próxima generación en las aplicaciones de sostenibilidad y aprovechamiento de los recursos ya disponibles.

3.4. Comercialización mundial y en territorio hondureño

El comercio internacional del café genera más de \$ 90 billones, brindando sustento para más de 100 millones de personas en el mundo (DaMatta & Ramalho, 2006). Los pequeños agricultores producen más del 70% de café mundial, con gran diversidad biológica en 85 países (Toledo & Moguel, 2012). Los países cafetaleros se encuentran localizados en Latinoamérica, Asia y África, generando un comercio mundial del cultivo.

Se estima que la producción mundial de café fue de 169.3 millones de sacos durante el 2019-2020. Comparando con años anteriores, se evidencia que la producción tendrá una baja de 5.3 millones. Sin embargo, la demanda global de café aumenta año tras año y se aproxima a una cifra récord de 166.4 millones de sacos (United States Department of Agriculture Foreign Agricultural Service [USDA], 2019). Esto genera desafío de producción para el área agrícola y es donde las tecnologías vanguardistas como la genética y biotecnología tienen el potencial de aportar en la consolidación de los avances productivos.

En Honduras la producción de café ha sido un pilar

fundamental para la economía. Actualmente, el país se ha convertido en el mayor exportador de café en Centroamérica y el quinto a nivel mundial. Durante la cosecha del 2016-2017, se exportó 9.5 millones de quintales oro a más de 60 países. Esto generó un aporte en las divisas del sector cafetalero de \$1,328 millones, que correspondió al 5% del Producto Interno Bruto (PIB) y un aporte del 30% del PIB agrícola para el año documentado (Instituto Hondureño del Café [IHCAFE], 2018). No cabe duda la importancia económica del cultivo para Honduras. Por lo tanto, es necesario innovar en la investigación aplicada, para mejorar los rendimientos de café hondureño.

La tendencia del consumo de café va en aumento, con aspectos diferenciados y especiales en el mundo. Esto obliga a los productores a incrementar controles de calidad en los procesos, con el objetivo de obtener un precio diferenciado de café convencional. En los últimos años, la categoría de cafés certificados y especiales de Honduras pasó de tener una participación mínima en la producción y exportación, a ocupar el interés de un gran segmento del mercado. Durante la cosecha del 2015-2016, se exportó 1.2 millones de sacos de café oro diferenciado que correspondió al 19% del total de sacos exportados (Instituto Hondureño del Café [IHCAFE], 2017). Estas estadísticas muestran el resultado de la aplicabilidad de mejoras continuas no solo en el ámbito agronómico, sino a través de toda la cadena productiva, con mejores oportunidades de mercado y competitividad mundial.

4. Conclusión

La búsqueda de la sostenibilidad es un punto clave en la producción y comercialización de café. Sin embargo, no puede ser aislada de los descubrimientos y avances en términos del cultivo de café. Por su importancia en el mundo y en Honduras, se debe destacar el rol de la biotecnología en el desarrollo de variedades de café resistentes a diferentes plagas y enfermedades que permitan a los pequeños y medianos productores optimizar sus recursos. Esto ayudará a garantizar una producción sostenible del cultivo y un aporte a la economía de los pequeños productores. Resulta interesante la funcionalidad multipropósito que se puede encontrar alrededor del café, como la relación de variedades resistentes, producción orgánica. Un claro conocimiento de la historia y hallazgos del café puede contribuir al desarrollo de nuevas tecnologías del cultivo.

5. Contribución de los Autores

Todos los autores participaron en la revisión de la literatura, el análisis de la información y la redacción del manuscrito final.

6. Conflictos de Interés

Los autores declaran que no tienen ningún conflicto de interés.

7. Referencias Bibliográficas

- Achar, D., Awati, M., Udayakumar, M., & Prasad, T. (2015). Identification of putative molecular markers associated with root traits in *Coffea canephora* Pierre ex Froehner. *Molecular Biology International*, 1, 532386. <https://www.hindawi.com/journals/mbi/2015/532386/>
- Bianco, G.B. (2020). Climate change adaptation, coffee, and corporate social responsibility: challenges and opportunities. *International Journal of Corporate Social Responsibility*, 5(1), 1-13. <https://doi.org/10.1186/s40991-020-00048-0>.
- Cahuapaza, J. (2016). Café orgánico, historia, contexto y perspectivas. [Conferencia]. <http://infocafes.com/portal/wp-content/uploads/2016/08/CAFE-ORGANICO-HISTORIA-CONTEXTO-Y-PERSPECTIVAS-JNC-.pdf>
- Campos, N., Panis, B., & Carpentier, S. (2017). Somatic embryogenesis in coffee: the evolution of biotechnology and the integration of omics technologies offer great opportunities. *Frontiers in Plant Science*, 8, 1460. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.01460>.
- Crwell, G. (2009). *Liberian Coffee in Ceylon: The History of the Introduction and Progress of the Cultivation up to April 1878*. General Books LLC.
- DaMatta F. (2004). Exploring drought tolerance in coffee: a physiological approach with some insights for plant breeding. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, 16(1), 1-6. <https://doi.org/10.1590/S1677-04202004000100001>
- DaMatta, F., & Ramalho, J. (2006). Impacts of drought and temperature stress on coffee physiology and production: A review. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, 18, 55-81. <https://doi.org/10.1590/S1677-04202006000100006>.
- Davis, A. P., Gole, T. W., Baena, S., & Moat, J. (2012). The impact of climate change on indigenous arabica coffee (*Coffea arabica*): predicting future trends and identifying priorities. *PLoS one*, 7(11), e47981. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0047981>
- Davis, A., Bridson, D., & Rakotonasolo, F. (2005). A reexamination of *Coffea* subgenus *Baracoffea* and comments on the morphology and classification of *Coffea* and *Psilanthus* (Rubiaceae-Coffeaceae). *Monographs in Systematic Botany*, 104, 399.
- Davis, A., Chadburn, H., Moat, J., O'Sullivan, R., Hargreaves, S., & Lughadha, E. (2019). High extinction risk for wild coffee species and implications for coffee sector sustainability. *Science Advances*, 5(1), eaav3473. <https://doi.org/10.1126/sciadv.aav3473>.
- Davis, A., Tosh, J., Ruch, N., & Fay, M. (2011). Growing coffee: *Psilanthus* (Rubiaceae) subsumed on the basis of molecular and morphological data; implications for the size, morphology, distribution and evolutionary history of *Coffea*. *Botanical Journal of the Linnean Society*, 167(4), 357-377. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8339.2011.01177.x>.
- Denoeud, F., Carretero-Paulet, L., Dereeper, A., Droc, G., Guyot, R., Pietrella, M., Zheng, C., Alberti, A., Anthony, F., Aprea, G., Aury, J.,

- Bento, P., Bernard, M., Bocs, S., Campa, C., Cenci, A., Combes, M., Crouzillat, D., Da Silva, C., Daddiego, L., Bellis, F., & Lashermes, P. (2014). The coffee genome provides insight into the convergent evolution of caffeine biosynthesis. *Science*, 345(6201), 1181-1184. <https://doi.org/10.1126/science.1255274>.
- Esquivel, P., & Jiménez, V. (2012). Functional properties of coffee and coffee by-products. *Food Research International*, 46(2), 488-495. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2011.05.028>.
- Gebeyehu, G., Feleke, D., Molla, M., & Admasu, T. (2020). Effect of habitual consumption of Ethiopian Arabica coffee on the risk of cardiovascular diseases among non-diabetic healthy adults. *Heliyon*, 6(9), e04886. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e04886>.
- Geleta, M., Herrera, I., Monzón, A., & Bryngelsson, T. (2012). Genetic diversity of Arabica coffee (*Coffea arabica* L.) in Nicaragua as estimated by simple sequence repeat markers. *The Scientific World Journal*, 2012(4), 939820. <https://doi.org/10.1100/2012/939820>.
- Gomez, C., Despinoy, M., Hamon, S., Hamon, P., Salmon, D., Akaffou, D., Legnate, H., Kochko, A., Mangeas, M., Poncet, V. (2016). Shift in precipitation regime promotes interspecific hybridization of introduced *Coffea* species. *Ecology and Evolution*, 6(10), 3240-3255. <https://doi.org/10.1002/ece3.2055>.
- Guyeux, C., Charr, J., Tran, H., Furtado, A., Henry, R., Crouzillat, D., Guyot, R., & Hamon, P. (2019). Evaluation of chloroplast genome annotation tools and application to analysis of the evolution of coffee species. *PLoS One*, 14(6), e0216347. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0216347>.
- Hamon, P., Grover, C., Davis, A., Rakotomalala, J., Raharimalala, N., Albert, V., Sreenath, H., Stoffeleng, P., Mitchell, S., Couturona, E., Hamona, S., Kochkoa, A., Crouzillati, D., Rigoreau, M., Sumiratj, U., Akaffou, S., Guyot, R. (2017). Genotyping-by-sequencing provides the first well-resolved phylogeny for coffee (*Coffea*) and insights into the evolution of caffeine content in its species: GBS coffee phylogeny and the evolution of caffeine content. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 109, 351-361. <https://doi.org/10.1016/j.ympev.2017.02.009>.
- Huang, X., Bai, X., Guo, T., Xie, Z., Laimer, M., Du, D., Gbokie, T., Zhang, Z., He, C., Lu, Y., Wu, W., Yi, K. (2020). Genome-Wide Analysis of the PIN Auxin Efflux Carrier Gene Family in Coffee. *Plants*, 9(9), 1061. <https://doi.org/10.3390/plants9091061>.
- Instituto Hondureño del Café [IHCAFE]. (2017). Informe Estadístico Anual 2015 – 2016. <https://www.ihcafe.hn/mdocs-posts/informe-anual-2012-2013/>
- Instituto Hondureño del Café [IHCAFE]. (2018). Revista Cosecha IHCAFE 16 17. <https://www.ihcafe.hn/mdocs-posts/revista-cosecha-ihcafe-16-17/>
- International Coffee Organization [ICO]. (2015). Coffee statistics. http://www.ico.org/trade_statistics.asp
- Levy, D., Reinecke, J., & Manning, S. (2016). The political dynamics of sustainable coffee: Contested value regimes and the transformation of sustainability. *Journal of Management Studies*, 53(3), 364-401. <https://doi.org/10.1111/joms.12144>.
- Marraccini, P., Freire, L., Alves, G., Vieira, N., Vinecky, F., Elbelt, S., Ramos, H., Montagnon, C., Vieira, L., Leroy, T., Pot, D., Silva, V., Rodrigues, G., Andrade, A. (2011). RBCS1 expression in coffee: *Coffea* orthologs, *Coffea arabica* homeologs, and expression variability between genotypes and under drought stress. *BMC Plant Biology*, 11(1), 85. <https://doi.org/10.1186/1471-2229-11-85>.
- Maurin, O., Davis, A., Chester, M., Mvungi, E., Jaufeerally-Fakim, Y., & Fay, M. (2007). Towards a phylogeny for *Coffea* (Rubiaceae): identifying well-supported lineages based on nuclear and plastid DNA sequences. *Annals of Botany*, 100(7), 1565-1583. <https://doi.org/10.1093/aob/mcm257>.
- Ocampo-López, O., & Alvarez-Herrera, L. (2017). Tendencia de la producción y el consumo del café en Colombia. *Apuntes del CENES*, 36(64), 139-165. <https://doi.org/10.19053/01203053.v36.n64.2017.5419>.
- Privat, I., Bardil, A., Gomez, A., Severac, D., Dantec, C., Fuentes, I., Mueller, L., Joët, T., Pot, D., Foucrier, S., Dussert, S., Leroy, T., Journot, L., Kochko, A., Campa, C., Combes, M., Lashermes, P., Bertrand, B. (2011). The 'PUCE CAFE' project: the first 15K coffee microarray, a new tool for discovering candidate genes correlated to agronomic and quality traits. *BMC Genomics*, 12(1), 5. <https://doi.org/10.1186/1471-2164-12-5>.
- Quintero, L. & Rosales, M. (2014). El mercado mundial del café: tendencias recientes, estructura y estrategias de competitividad. *Visión gerencial*, (2), 291-307. <https://www.redalyc.org/pdf/4655/465545897005.pdf>
- Rahn, E., Vaast, P., Läderach, P., van Asten, P., Jassogne, L., & Ghazoul, J. (2018). Exploring adaptation strategies of coffee production to climate change using a process-based model. *Ecological Modelling*, 371, 76-89. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2018.01.009>.
- Razafinarivo, N., Guyot, R., Davis, A., Couturon, E., Hamon, S., Crouzillat, D., Rigoreau, M., Dubreuil-Tranchant, C., Poncet, V., Kochko, A., Rakotomalala, J., Hamon P. (2013). Genetic structure and diversity of coffee (*Coffea*) across Africa and the Indian Ocean islands revealed using microsatellites. *Annals of Botany*, 111(2), 229-248. <https://doi.org/10.1093/aob/mcs283>.
- Rice, R. (2003). Coffee production in a time of crisis: social and environmental connections. *SAIS Review*, 23(1), 221-245. <https://doi.org/10.1353/sais.2003.0028>
- Romero, J., Camayo, G., González, L., Cortina, H., & Herrera, J. (2010). Caracterización citogenética y morfológica de híbridos interespecíficos entre *C. arabica* y las especies diploides *C. liberica* y *C. eugenioides*. *Cenicafé*, 61(3):206-221. [https://www.cenicafe.org/es/publications/arc061\(03\)206-221.pdf](https://www.cenicafe.org/es/publications/arc061(03)206-221.pdf)
- Schnabel, F., de Melo, E., Xu, S., Fisk, I. D., Rouspard, O., & Hagggar, J. (2018). Shade trees: a determinant to the relative success of organic versus conventional coffee production. *Agroforestry systems*, 92(6), 1535-1549. <https://doi.org/10.1007/s10457-017-0100-y>
- Thomas, B., Pedersen, B., & Freeling, M. (2006). Following tetraploidy in an Arabidopsis ancestor, genes were removed preferentially from one homeolog leaving clusters enriched in dose-sensitive genes. *Genome Research*, 16(7), 934-946. <https://doi.org/10.1101/gr.4708406>.
- Toledo, V., & Moguel, P. (2012). Coffee and sustainability: The multiple values of traditional shaded coffee. *Journal of Sustainable Agriculture*, 36(3), 353-377. <https://doi.org/10.1080/10440046.2011.583719>.
- United States Department of Agriculture Foreign Agricultural Service [USDA]. (2019). Coffee: World Markets and Trade 2019/20 Forecast

Overview.

- Vieira, E., Von Pinho, É., Carvalho, M., Esselink, D., & Vosman, B. (2010). Development of microsatellite markers for identifying Brazilian *Coffea arabica* varieties. *Genetics and Molecular Biology*, 33(3), 507-514. <https://doi.org/10.1590/S1415-47572010005000055>.
- Villain, L., Aribi, J., Réversat, G., & Anthony, F. (2010). A high-throughput method for early screening of coffee (*Coffea* spp.) genotypes for resistance to root-knot nematodes (*Meloidogyne* spp.). *European Journal of Plant Pathology*, 128(4), 451-458. <https://doi.org/10.1007/s10658-010-9671-4>.
- Villalta, J., & Gatica, A. (2019). Una mirada en el tiempo: mejoramiento genético de café mediante la aplicación de la biotecnología. *Agronomía Mesoamericana*, 30(2), 577-599. <https://doi.org/10.15517/am.v30i2.34173>.
- Woodhouse, M., Schnable, J., Pedersen, B., Lyons, E., Lisch, D., Subramaniam, S., & Freeling, M. (2010). Following tetraploidy in maize, a short deletion mechanism removed genes preferentially from one of the two homologs. *PLoS Biol*, 8, e1000409. <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.1000409>.
- Yeretzian, C. (2017). Coffee. In Buettner (Ed.), *Handbook of odor* (pp. 21-22). Springer.