

Artículo

Del grano al conocimiento: Un análisis bibliométrico de la investigación sobre *Theobroma cacao* L. vinculada a Ecuador

From bean to knowledge: A bibliometric analysis of research on *Theobroma cacao* L. linked to Ecuador

Robinson J. Herrera-Feijoo ^{1,*}, Juan Antonio Torres-Rodríguez ² y Mercedes Susana Carranza-Patiño ³

¹ Facultad de Ciencias Pecuarias y Biológicas, Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Av. Quito km 1.5 vía a Santo Domingo, Quevedo 120501, Ecuador; <https://orcid.org/0000-0003-3205-2350>

² Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Av. Quito km 1.5 vía a Santo Domingo, Quevedo 120501, Ecuador; <https://orcid.org/0000-0003-3326-4371>; jatorres@uteq.edu.ec

³ Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Av. Quito km 1.5 vía a Santo Domingo, Quevedo 120501, Ecuador; <https://orcid.org/0000-0002-0917-0415>; mcarranza@uteq.edu.ec

* Correspondencia: herreraf2@uteq.edu.ec

 <https://doi.org/10.70881/mcj/v3/n3/83>

Cita: Herrera-Feijoo, R. J., Torres-Rodríguez, J. A., & Carranza-Patiño, M. S. (2025). Del grano al conocimiento: Un análisis bibliométrico de la investigación sobre *Theobroma cacao* L. vinculada a Ecuador. *Multidisciplinary Collaborative Journal*, 3(3), 192-224. <https://doi.org/10.70881/mcj/v3/n3/83>

Recibido: 09/07/2025

Revisado: 02/08/2025

Aceptado: 12/09/2025

Publicado: 29/09/2025

Copyright: © 2025 por los autores. Este artículo es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos y condiciones de la **Licencia Creative Commons, Atribución-NoComercial 4.0 Internacional. (CC BY-NC)**.

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>

Resumen: El cacao (*Theobroma cacao* L.) constituye un pilar económico, ecológico y cultural en Ecuador, reconocido internacionalmente por su cacao fino de aroma y la emblemática variedad Nacional. En este estudio, se realizó un análisis bibliométrico de 319 documentos científicos indexados en Scopus (1995–2025) mediante el uso del protocolo PRISMA. Los resultados revelan un crecimiento exponencial de la producción científica desde 2015, concentrando el 86,6 % de las publicaciones en la última década. La investigación se articula en torno a cinco ejes temáticos: (1) variedades destacando el clon CCN-51 y el cacao fino de aroma, (2) aspectos ambientales incluyendo cambio climático, agroforestería y contaminación por cadmio, (3) procesos tecnológicos con énfasis en fermentación y bioeconomía, (4) dimensión social abordando sostenibilidad, sistemas chakras y gobernanza y (5) sanidad vegetal centrada en el biocontrol de *Moniliophthora roreri*. Las instituciones con mayor producción son la ESPOL, la UTEQ y la UTM, mientras que las colaboraciones internacionales más activas se dan con España, Estados Unidos, Francia y Colombia. Entre los artículos más influyentes se destacan aquellos sobre acumulación de cadmio en granos, domesticación del cacao en la Amazonía ecuatoriana hace 5.300 años, caracterización genética del CCN-51 y el papel de la microbiota en la fermentación. El análisis de coocurrencia de palabras clave identificó cuatro clústeres emergentes: paisajes agroforestales y resiliencia ecosistémica, microbiología y fermentación, dinámica edáfica y contaminación por cadmio, y agroecología con enfoque socioeconómico. En general, la investigación cacaoera en Ecuador ha transitado hacia enfoques interdisciplinarios que integran biotecnología, conservación del germoplasma, sostenibilidad ambiental y justicia social, consolidando al país como referente global en innovación y transición hacia sistemas productivos resilientes y circularmente sostenibles.

Palabras clave: Cacao, Cadmio, CCN-51, Moniliasis, Agroforestería

Resumen: Cocoa (*Theobroma cacao* L.) is an economic, ecological and cultural pillar in Ecuador, internationally recognised for its fine aroma cocoa

and the emblematic Nacional variety. In this study, a bibliometric analysis of 319 scientific documents indexed in Scopus (1995–2025) was carried out using the PRISMA protocol. The results reveal exponential growth in scientific production since 2015, with 86.6% of publications concentrated in the last decade. The research is structured around five thematic areas: (1) varieties, highlighting the CCN-51 clone and fine aroma cocoa, (2) environmental aspects, including climate change, agroforestry, and cadmium contamination, (3) technological processes, with an emphasis on fermentation and bioeconomy, (4) social dimensions, addressing sustainability, chakra systems, and governance, and (5) plant health, focusing on the biocontrol of *Moniliophthora roreri*. The institutions with the highest output are ESPOL, UTEQ and UTM, while the most active international collaborations are with Spain, the United States, France and Colombia. Among the most influential articles are those on cadmium accumulation in grains, the domestication of cocoa in the Ecuadorian Amazon 5,300 years ago, the genetic characterisation of CCN-51, and the role of microbiota in fermentation. Keyword co-occurrence analysis identified four emerging clusters: agroforestry landscapes and ecosystem resilience, microbiology and fermentation, soil dynamics and cadmium contamination, and agroecology with a socio-economic focus. In general, cocoa research in Ecuador has shifted towards interdisciplinary approaches that integrate biotechnology, germplasm conservation, environmental sustainability, and social justice, consolidating the country as a global benchmark in innovation and transition towards resilient and circularly sustainable production systems

Keywords: Cocoa, Cadmium, CCN-51, Moniliasis, Agroforestry

1. Introduction

El cacao (*Theobroma cacao* L.) constituye un cultivo de relevancia global cuya importancia trasciende dimensiones económicas, ecológicas y culturales. Su origen en las regiones tropicales de América le confiere un valor histórico singular que se ha proyectado como alimento, recurso comercial y símbolo cultural a lo largo de los siglos (Kongor et al., 2024; Lanaud et al., 2024). En la actualidad, el cacao sostiene una industria internacional del chocolate que moviliza miles de millones de dólares, genera empleo en países productores y consumidores y configura cadenas de valor de gran impacto (Charry et al., 2025).

El mercado mundial se concentra en África Occidental, América Latina y el sudeste asiático, mientras que Europa y Norteamérica dominan la demanda y consolidan la importancia del comercio internacional. Este comercio se caracteriza por un crecimiento sostenido y por la diversificación hacia productos especializados como el cacao fino de aroma, que representa un segmento de alto valor (Olarte-Libreros et al., 2025). Sin embargo, el cultivo enfrenta amenazas críticas derivadas de enfermedades devastadoras como el vástago hinchado, la escoba de bruja y la moniliasis, a lo que se suman los efectos del cambio climático que alteran los patrones de productividad y comprometen la resiliencia agrícola (De Oliveira Santos et al., 2025; Lander et al., 2025). La investigación científica sobre *T. cacao* ha experimentado un desarrollo sostenido en las últimas décadas que evidencia la amplitud de intereses en torno al cultivo. Los primeros estudios se centraron en aspectos agronómicos básicos relacionados con el manejo y la productividad, mientras que la genética y la genómica permitieron comprender la diversidad varietal y la resistencia a enfermedades (Argout et al., 2011; Duguma et al., 2001). A estos avances se sumaron investigaciones en fitoquímica, que revelaron compuestos bioactivos con aplicaciones en salud e industria, y en patología,

que consolidaron un campo esencial para enfrentar limitaciones productivas (Etaware, 2021).

De manera paralela, la socioeconomía del cacao ha adquirido importancia por su impacto en el desarrollo rural y por su relación con condiciones laborales y ambientales en regiones productoras (Heredia-R et al., 2024). Esta dimensión resalta la necesidad de investigaciones interdisciplinarias que integren productividad, calidad y sostenibilidad para enfrentar los desafíos actuales del sector (Satama-Bermeo et al., 2025). Algunos análisis bibliométricos han trazado panoramas globales o regionales sobre la evolución científica del cacao, pero aún existe la carencia de estudios específicos que atiendan las particularidades nacionales (De Oliveira Santos et al., 2025).

Ecuador ocupa un lugar estratégico en la historia y en el presente de la producción mundial de cacao, en especial por el reconocimiento internacional de su cacao fino de aroma y la variedad Nacional, asociada a atributos sensoriales de gran valor (León-Bravo & Jaramillo-Villacrés, 2021; Moreno-Miranda et al., 2020). Estas variedades representan un patrimonio genético y cultural que refuerza la identidad agrícola del país, mientras que el sector cacaotero contribuye de manera significativa a la economía y constituye una fuente de ingresos esencial para miles de familias rurales (Middendorp et al., 2020; Purcell et al., 2018; Salazar et al., 2023). La producción nacional también impulsa el desarrollo comunitario y fortalece la balanza comercial, consolidando al Ecuador como referente global en calidad (Ramírez-Blacio et al., 2025)

En los últimos años, Ecuador ha promovido programas de mejoramiento genético, innovaciones en manejo agronómico y sanitario y proyectos orientados a diversificar productos y a optimizar la calidad del grano en mercados especializados (Canchignia-Martinez et al., 2025a; Morales-Rodriguez et al., 2025; Torres-Rodriguez, 2024) . Esta combinación de tradición y modernidad no solo posiciona al país como un actor clave en la cadena de valor internacional, sino que también exige un análisis más profundo de su producción científica. En consecuencia, examinar el desarrollo bibliométrico del cacao ecuatoriano se convierte en una vía esencial para comprender las dinámicas productivas y científicas con proyección global.

La necesidad de un análisis bibliométrico enfocado en el cacao ecuatoriano se justifica por la relevancia estratégica de este cultivo en la economía y en la sostenibilidad ambiental del país (Heredia-R et al., 2024; Tinoco-Jaramillo et al., 2024). Un estudio de este tipo permitiría identificar patrones de colaboración y medir el impacto de las publicaciones, además de mapear prioridades temáticas y vacíos de conocimiento que limitan el desarrollo del sector. Los resultados derivados aportarían insumos valiosos para la formulación de políticas públicas, el diseño de agendas científicas y la toma de decisiones de los diversos actores que conforman la cadena de valor

2. Materiales y Metodos

2.1 Estrategia de búsqueda y limpieza de datos

El presente estudio se estructuró bajo los lineamientos de la declaración PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses) con el propósito de garantizar rigurosidad metodológica, transparencia y reproducibilidad (Page et al., 2021). La búsqueda se llevó a cabo en la base de datos Scopus, utilizando como términos clave *Theobroma cacao* y sus sinónimos cacao y cocoa, en combinación con el término Ecuador* tanto en el título, resumen o palabras clave, así como en la afiliación

de los autores, con el fin de asegurar la vinculación directa de los documentos con el contexto ecuatoriano.

Consecuentemente, se establecieron criterios de inclusión orientados a priorizar la calidad y pertinencia de los documentos recuperados. Se consideraron únicamente artículos científicos originales, capítulos de libro y documentos de conferencia en estado final de publicación, escritos en inglés o español, y comprendidos en el intervalo temporal 1995–2025. De manera complementaria, se aplicaron criterios de exclusión que descartaron revisiones narrativas o sistemáticas, editoriales, comunicaciones breves y actas de congresos sin estado final de publicación, con el fin de evitar sesgos en la representatividad de la muestra analizada.

Finalmente, la ecuación aplicada en Scopus fue la siguiente: (TITLE-ABS-KEY ("Theobroma cacao" OR cacao OR cocoa) AND AFFILCOUNTRY (ecuador*) AND TITLE-ABS-KEY (Ecuador*)) AND PUBYEAR > 1994 AND PUBYEAR < 2026 AND (LIMIT-TO (LANGUAGE , "English") OR LIMIT-TO (LANGUAGE , "Spanish")) AND (LIMIT-TO (DOCTYPE , "ar") OR LIMIT-TO (DOCTYPE , "cp") OR LIMIT-TO (DOCTYPE , "ch")) AND (LIMIT-TO (PUBSTAGE , "final")). Como resultado de este procedimiento, se obtuvieron 319 documentos, los cuales fueron exportados en dos formatos complementarios: CSV empleado para el análisis bibliométrico y BibTeX destinado a la gestión y normalización de citas y referencias.

Con base en lo anterior, los criterios de búsqueda se orientaron a responder las siguientes preguntas de investigación (PI):

PI1. ¿Cómo ha evolucionado temporalmente la producción científica sobre cacao entre 1995 y 2025?

PI2. ¿Qué principales clasificaciones temáticas estructuran la investigación científica sobre cacao?

PI3. ¿Cuáles son las instituciones más relevantes en términos de volumen e impacto de publicaciones sobre cacao?

PI4. ¿Cómo se distribuye geográficamente la producción científica sobre cacao por país de afiliación de los autores?

PI5. ¿Qué patrones presentan las redes de coautoría y colaboración científica en la investigación sobre cacao?

PI6. ¿Qué artículos destacan como los más relevantes o influyentes dentro de los estudios sobre cacao?

PI7. ¿Qué clústeres temáticos emergen a partir del análisis de coocurrencia de palabras clave?

2.2. Interpretación de datos

2.2.1. Evolución temporal de la producción científica (PI1)

El archivo CSV exportado de Scopus fue procesado en Microsoft Excel para obtener el número de documentos publicados por año y sus respectivas citas. Los resultados se agruparon en cuatro periodos definidos con el fin de identificar tendencias temporales. La visualización de la producción anual y por periodos se realizó en RStudio utilizando

los paquetes ggplot2, scales, tidyr y dplyr, generando gráficos de barras y líneas que muestran la dinámica de la producción científica y su impacto en el tiempo.

2.2.2. Clasificación temática (PI2)

La clasificación temática se elaboró a partir de una codificación manual de títulos, resúmenes y palabras clave de los artículos. Los términos se agruparon en cinco categorías principales (variedades, aspectos ambientales, procesos tecnológicos, dimensión social y sanidad vegetal). Los datos fueron organizados y resumidos en Excel.

2.2.3. Instituciones más relevantes (PI3)

La productividad institucional se identificó mediante el campo de afiliación disponible en Scopus. Las instituciones con mayor número de contribuciones fueron seleccionadas y analizadas en relación con su distribución regional. Posteriormente, se elaboró un gráfico de barras en RStudio con el paquete ggplot2 que permite visualizar las instituciones más activas en la investigación sobre cacao.

2.2.4. Distribución geográfica por países (PI4)

El país de afiliación de cada publicación fue extraído mediante el paquete Bibliometrix en RStudio. Los resultados se representaron cartográficamente en ArcMap 10.5, generando un mapa de coropletas que refleja la intensidad de la producción científica por país.

2.2.5. Redes de coautoría y colaboración científica (PI5)

Las redes de colaboración científica se construyeron mediante el módulo de análisis de coautoría de Bibliometrix, considerando vínculos por autor y país de afiliación. Los resultados fueron exportados y visualizados en RStudio a través de un diagrama de cuerdas, empleando los paquetes circlize y RColorBrewer, lo que permitió destacar los principales núcleos y conexiones de colaboración en la investigación sobre cacao.

2.2.6. Artículos más relevantes (PI6)

Los documentos más influyentes se identificaron en función del número total de citas dentro de la base de datos Scopus. Estos artículos se describieron considerando su año de publicación, temática investigada y número de citas. Finalmente, se elaboró un listado jerarquizado que resalta su importancia en la consolidación del campo de estudio.

2.2.7. Análisis de coocurrencia de palabras clave (PI7)

El archivo CSV fue importado al software VOSviewer, seleccionando el análisis de coocurrencia de palabras clave de autor. Se estableció un umbral mínimo de tres ocurrencias por palabra clave. Los clústeres generados se representaron gráficamente para identificar agrupamientos temáticos y frentes de investigación, permitiendo detectar las principales líneas de desarrollo y los temas emergentes en torno al cacao.

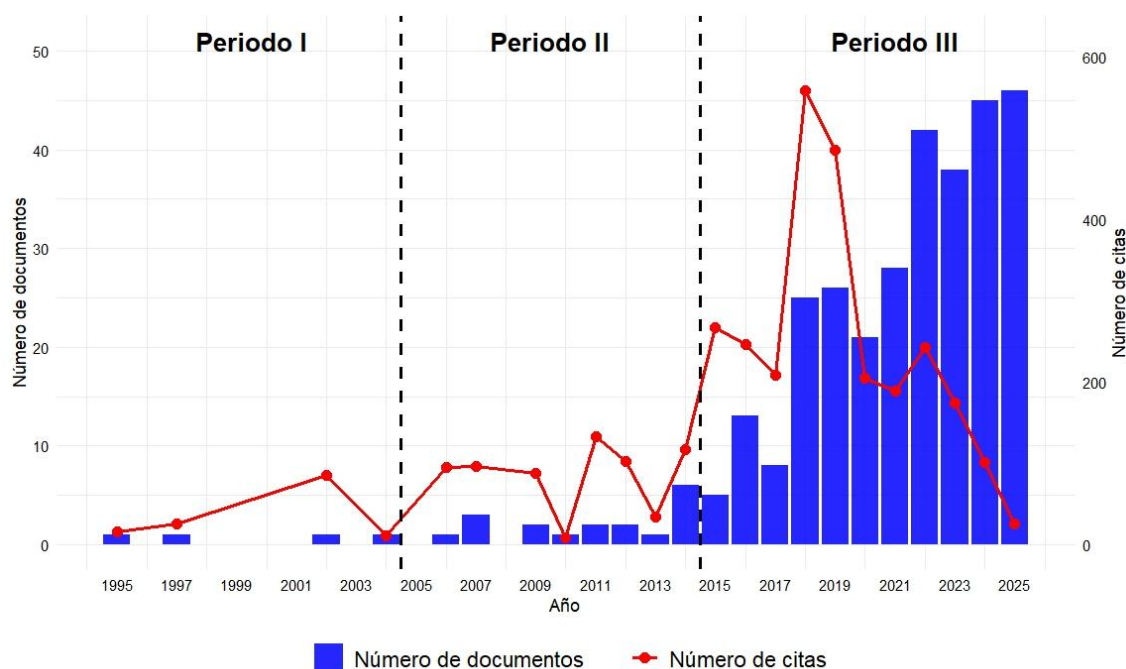
3. Resultados

Evolución temporal de la producción científica (PI1)

La evolución de la producción científica sobre *T. cacao* vinculada al contexto ecuatoriano refleja un crecimiento acelerado y progresivo a lo largo del tiempo, distribuido en tres periodos: Periodo I (1995–2004), Periodo II (2005–2014) y Periodo III (2015–2025) (Figura 1). En el Periodo I se registraron apenas 4 documentos, con un impacto académico incipiente que acumuló 137 citas, lo que sugiere una fase inicial y de baja visibilidad en la comunidad científica. Durante el Periodo II se observa una expansión moderada con 18 publicaciones y 881 citas, evidenciando un aumento sostenido en la atención hacia la investigación del cacao en Ecuador. Finalmente, el Periodo III marca un auge sin precedentes, con 293 documentos que concentran 3384 citas, lo que representa el 86,6% de la producción y el 76,7% de las citas totales, consolidando este intervalo como la etapa de mayor maduración, internacionalización e impacto de la investigación científica en torno al cacao ecuatoriano.

Figura 1.

Dinámica temporal de la literatura científica sobre *T. cacao* vinculada al contexto ecuatoriano



Periodo I (1995–2004)

Durante este periodo inicial, la producción científica se centró en la identificación de factores agronómicos, genéticos y socioculturales determinantes para la productividad y calidad del cacao ecuatoriano. En la dimensión fitosanitaria, se estableció que la estacionalidad climática constituía un mecanismo natural de escape frente a enfermedades críticas como la escoba de bruja (*Crinipellis pernicioso*) y la moniliasis (*Moniliophthora roreri*). El análisis de la producción en distintos sitios reveló que las pérdidas de mazorcas disminuían significativamente durante la estación seca, identificándose genotipos con mayor resiliencia y productividad estacional. Este hallazgo planteó la posibilidad de incorporar la tolerancia asociada a patrones fenológicos en programas de mejoramiento genético (Maddison et al., 1995). En el ámbito de la genética, se documentó la diferenciación entre accesiones locales de *T.*

cacao y materiales híbridos introducidos desde Trinidad, evidenciando un proceso de introgresión genética que comprometía la pureza del germoplasma Nacional. El estudio confirmó la erosión parcial de este recurso fitogenético y resaltó la necesidad de diseñar estrategias de conservación y mejoramiento que aseguraran tanto la variabilidad genética como la preservación del aroma fino característico del cacao ecuatoriano (Lerceteau et al., 1997).

A inicios de la década del 2000, la investigación incorporó enfoques socioecológicos, demostrando que, pese a los procesos de aculturación y la presión de la ganadería extensiva, comunidades indígenas como los Shuar mantenían paisajes más heterogéneos y biodiversos que los colonos mestizos. En estos sistemas, el cacao adquirió un papel estratégico, tanto en la diversificación económica como en la reproducción cultural (Rudel et al., 2002). Finalmente, se consolidaron esfuerzos para rescatar el cacao Nacional mediante la creación de colecciones basadas en atributos organolépticos. Se identificaron árboles con alto rendimiento, resistencia a enfermedades y una marcada expresión del sabor floral Arriba, cuyas progenies demostraron potencial para restituir la calidad diferenciada del cacao ecuatoriano en mercados internacionales especializados (2004).

Periodo II (2005–2014)

Durante este periodo, la investigación avanzó en tres frentes: biocontrol microbiano, diversidad genética y calidad poscosecha. En primer lugar, se identificaron nuevas especies endófitas del género *Trichoderma* capaces de producir metabolitos con efecto inhibitorio sobre *M. rozeri*, lo que abrió perspectivas para el control biológico de la moniliasis (Samuels et al., 2006). En paralelo, se detectó una marcada variabilidad genética en poblaciones del hongo vascular *Ceratocystis. cacaofunesta*, con los aislamientos ecuatorianos mostrando una diversidad comparable a poblaciones silvestres, lo que sitúa al país como un reservorio natural clave para comprender la epidemiología de la marchitez letal (Engelbrecht et al., 2007).

En el ámbito de la genética del cacao, se avanzó en la identificación de los ancestros del Nacional, revelando accesiones con baja introgresión y alto valor para la conservación de este acervo único (Loor et al., 2009). Estos hallazgos fueron reforzados por estudios posteriores que rastrearon el origen silvestre del Nacional en la Amazonía sur, confirmando su migración histórica hacia la costa y destacando el potencial de estos recursos para programas de mejoramiento (Loor Solorzano et al., 2012). De manera complementaria, la caracterización del clon CCN-51 reveló su origen híbrido complejo y su notable heterocigosidad, explicando su alta productividad y resistencia a enfermedades, aunque a costa de una calidad sensorial inferior al cacao de aroma fino (Boza et al., 2014).

En relación con los procesos poscosecha, se caracterizó la dinámica microbiana de fermentaciones tradicionales, evidenciando la sucesión de levaduras, bacterias lácticas y acéticas. Sin embargo, se observó que los procesos cortos e incompletos comprometían el desarrollo de compuestos aromáticos clave, afectando la calidad del grano y del chocolate final (Papalexandratou et al., 2011). Al mismo tiempo, se desarrollaron metodologías multicriterio (AHP y lógica difusa) para la selección de tecnologías de poscosecha adaptadas a pequeños productores, equilibrando calidad, costos y adopción tecnológica (Lenin et al., 2014).

Finalmente, desde una perspectiva socioecológica, se documentó que los sistemas agroforestales con mayor cobertura arbórea en el Chocó ecuatoriano permiten

compatibilizar conservación de biodiversidad y producción agrícola, constituyendo una rara situación de beneficio conjunto para agricultores y ecosistemas tropicales (Waldron et al., 2012). En paralelo, el diseño de microsatélites específicos para *M. royeri* proporcionó herramientas de alto valor para el seguimiento poblacional de este patógeno (Melo et al., 2014).

Periodo III (2015–2025)

En este periodo, la investigación sobre cacao en Ecuador avanzó desde el análisis de contaminantes y sistemas tradicionales de cultivo hacia enfoques integradores que combinan biotecnología, sostenibilidad y bioeconomía circular.

En el inicio de este periodo, los estudios se enfocaron en la contaminación por cadmio y en los aportes de los sistemas agroforestales tradicionales a la sostenibilidad. Investigaciones mostraron la relación entre Cd en almendras y suelos del sur del Ecuador (Chavez et al., 2015), mientras la especiación química permitió discriminar fracciones biodisponibles y aportar bases metodológicas para el manejo del riesgo (Chavez et al., 2016). Paralelamente, se reconoció a las chakras kichwa como sistemas adaptativos al cambio climático y se identificaron cepas de *Trichoderma* con potencial biocontrolador (Galarza et al., 2015; Torres et al., 2015). En el plano tecnológico, la espectroscopía Raman facilitó la diferenciación de variedades fermentadas y la evaluación energética del cacao de exportación mostró ventajas en sistemas tradicionales de manejo (Pérez Neira, 2016; Vargas Jentsch et al., 2016)

Por otra parte, la investigación amplió su mirada hacia la bioacumulación de contaminantes y la resiliencia socioecológica. Estudios en zonas petroleras confirmaron la bioaccesibilidad de Cd en almendras, aumentando la preocupación por la seguridad alimentaria (Barraza et al., 2017a). A su vez, se destacó el rol de los sistemas chakras como modelos bio-sociales que integran biodiversidad, producción y cosmovisión indígena (Coq-Huelva et al., 2017). También se identificaron polifenoles en subproductos con alto poder antioxidante y análisis arqueobotánicos situaron la domesticación del cacao en el Holoceno medio amazónico (Manzano et al., 2017; Zarrillo et al., 2018). De manera complementaria, se reportaron metaloides en fincas amazónicas y se dieron los primeros avances de selección genómica para resistencia a *Moniliophthora* spp. (Barraza et al., 2018; McElroy et al., 2018)

A su vez, el foco se desplazó hacia la interacción entre factores edáficos, calidad organoléptica y servicios ecosistémicos. Una encuesta nacional demostró que la acumulación de Cd depende tanto de propiedades del suelo como de prácticas de manejo agrícola, mientras que el fraccionamiento isotópico emergió como herramienta para rastrear rutas de transferencia en el sistema suelo-planta (Argüello et al., 2019; Barraza et al., 2019). En paralelo, estudios postcosecha caracterizaron la dinámica de compuestos volátiles y precursores de aroma en fermentaciones de cacaos finos y se confirmó que el origen geográfico influye en metilxantinas y flavanoles (Rottiers, Tzompa Sosa, De Winne, et al., 2019a; Samaniego et al., 2020). De forma adicional, se aplicaron redes bayesianas para cuantificar compensaciones entre servicios ecosistémicos en la cuenca del Guayas y revisiones sobre microbiota fermentativa reforzaron estrategias para optimizar la calidad del cacao ecuatoriano (Forio et al., 2020; Ordoñez-Araque et al., 2020).

Finalmente, investigaciones más recientes han evolucionado hacia la biotecnología aplicada y la sostenibilidad socioecológica. Por ejemplo, autores identificaron péptidos antimicrobianos en *Lactiplantibacillus plantarum* aislados de cacao (Tenea & Ortega,

2021), se ampliaron los análisis a elementos traza más allá del Cd (Barraza et al., 2021) y se esclarecieron rutas biosintéticas del aroma floral del cacao Nacional (Colonges et al., 2021). En paralelo, un estudio evaluó el impacto del cambio climático en la distribución potencial de *M. royeri* y en la viabilidad del cultivo de cacao en Ecuador, proyectando escenarios de riesgo para la producción (Plasencia-Vázquez et al., 2022). A nivel socioeconómico, se evaluó la gobernanza de cadenas de suministro, la conservación de germoplasma y la sostenibilidad de la producción indígena (Ceccarelli et al., 2022; León Bravo et al., 2022; Salazar et al., 2023). De manera más reciente, se documentó la sensibilidad de la salud del suelo a la sombra, la viabilidad financiera de chakras amazónicas y la tensión entre productividad y calidad en sistemas de Ecuador, Colombia y Perú (Charry et al., 2025; Luna & Barcellos-Paula, 2024; Visscher et al., 2024). Además, se han reportado comunidades endofíticas (Alvarez-Romero et al., 2025), vertebrados en gradientes de recuperación (Romero-Bonilla et al., 2025) y patógenos emergentes (Canchignia-Martinez et al., 2025b), junto con innovaciones en metabolómica y genómica (Molina et al., 2025), así como la valorización de subproductos orientados a bioenergía y biomateriales consolidando al cacao ecuatoriano como un referente internacional de innovación y sostenibilidad (Guzmán-Armenteros et al., 2025; Romero-Bonilla et al., 2025).

Clasificación temática (PI2)

En la tabla 1 se muestra la clasificación temática de las publicaciones científicas en cacao, organizada en cinco ejes principales que integran aspectos varietales, ambientales, tecnológicos, sociales y de sanidad vegetal. En el ámbito de las variedades, se destacan los estudios sobre el clon CCN-51 y el cacao fino de aroma, enfocados en su desempeño agronómico, calidad sensorial y relevancia en los mercados internacionales (Boza et al., 2014; Colonges et al., 2021; Rottiers, Tzompa Sosa, Lemarcq, et al., 2019; Vásquez-Cortez et al., 2025). A nivel ambiental, se han priorizado temáticas como el cambio climático, el secuestro de carbono, los sistemas agroforestales y la presencia de metales pesados en los suelos, reflejando la preocupación por la sostenibilidad y resiliencia del cultivo frente a presiones globales y locales (Alcívar Intriago et al., 2024; Carrillo Zenteno et al., 2025; Oñate et al., 2025; Torres et al., 2015).

De forma complementaria, los procesos tecnológicos han sido objeto de creciente interés, con énfasis en la fermentación, la bioeconomía energética y la valorización de subproductos como rutas para optimizar la cadena de valor (Acosta et al., 2018; Morales-Rodriguez et al., 2024, 2025; Silva-Alvarado et al., 2023). La dimensión social, por su parte, aborda la sostenibilidad, los factores socioeconómicos y la relevancia del sistema chakra, resaltando la centralidad de los pequeños productores y su cosmovisión en la gestión del cacao (Coq-Huelva et al., 2017; Huera-Lucero et al., 2025; Luna & Barcellos-Paula, 2024; Torres et al., 2015). Finalmente, la sanidad vegetal constituye un eje clave, con investigaciones sobre patógenos y estrategias de biocontrol que buscan mitigar las principales enfermedades y garantizar la productividad en un contexto de transición hacia sistemas más sostenibles (Estrela Junior et al., 2022; Galarza et al., 2015; Plasencia-Vázquez et al., 2022; Torres-Rodriguez, 2024).

Tabla 1.

Clasificación temática de las publicaciones científicas en cacao

Clasificación temática	Términos clave	Frecuencia
------------------------	----------------	------------

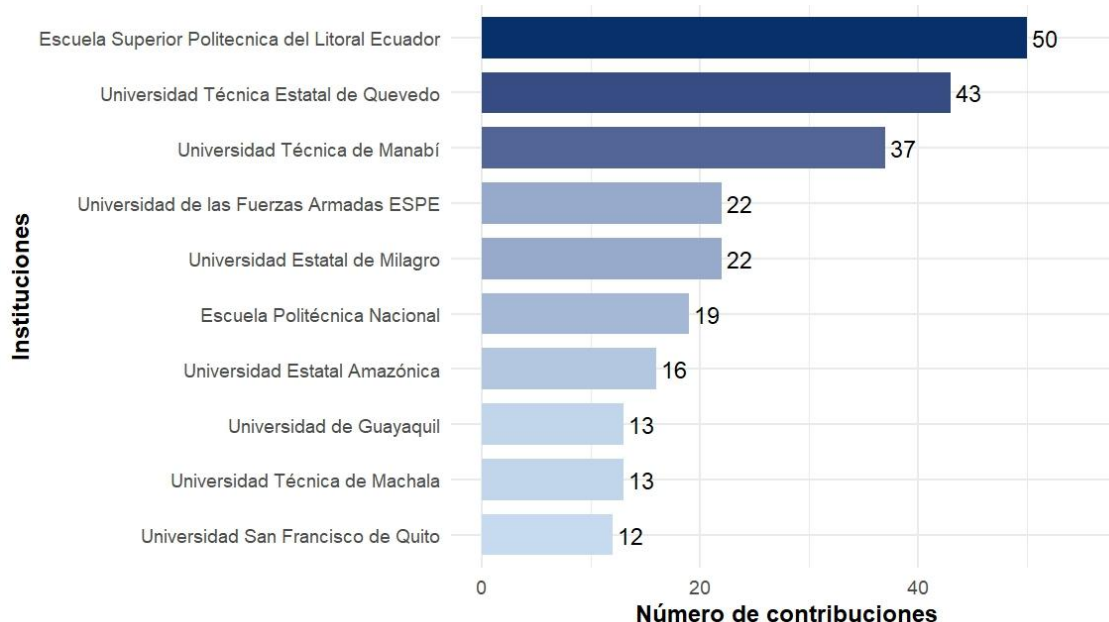
Variedades	CCN-51, fino de aroma	49
Aspectos ambientales	cambio climático, secuestro de carbono, agroforestería, cadmio y metales	63
Procesos tecnológicos	fermentación, energía y bioeconomía	34
Dimensión social	sostenibilidad, socioeconómico, chakra	44
Sanidad vegetal	patógenos y biocontrol	34

Instituciones más relevantes (PI3)

El análisis institucional de la producción científica sobre *T. cacao* en el contexto ecuatoriano revela una fuerte concentración en universidades nacionales (Figura 2). Encabeza el ranking la Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL), con 50 publicaciones, consolidando su liderazgo en la investigación vinculada al cacao. Le siguen la Universidad Técnica Estatal de Quevedo (UTEQ) con 43 contribuciones y la Universidad Técnica de Manabí (UTM) con 37, ambas con un papel estratégico en el desarrollo de la agenda académica y productiva del sector. En un segundo nivel de productividad destacan la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE y la Universidad Estatal de Milagro (UNEMI), con 22 documentos cada una, seguidas por la Escuela Politécnica Nacional (EPN) con 19 y la Universidad Estatal Amazónica (UEA) con 16. Finalmente, la Universidad de Guayaquil y la Universidad Técnica de Machala aportan 13 publicaciones cada una, mientras que la Universidad San Francisco de Quito (USFQ) contribuye con 12, evidenciando que, aunque la producción se concentra en un núcleo de instituciones públicas, existe también participación relevante de universidades privadas en esta línea de investigación.

Figura 2.

Instituciones con mayor número de contribuciones



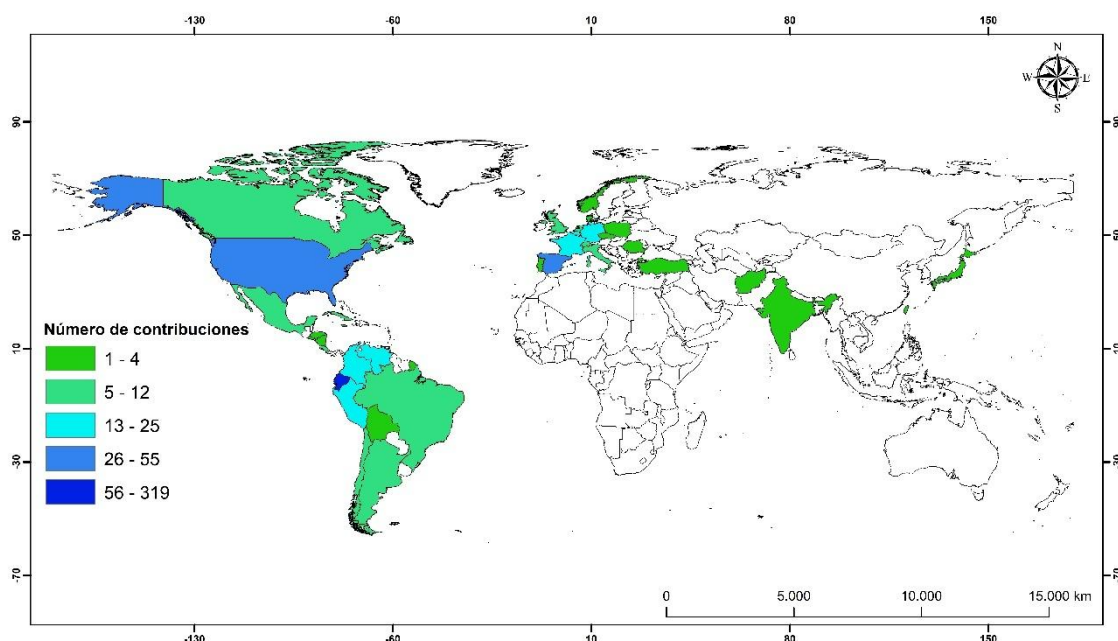
Distribución geográfica por países (PI4)

A escala global, la investigación sobre *T. cacao* vinculada al contexto ecuatoriano reúne aportes de 38 países distribuidos en todos los continentes (Figura 3). América concentra

la mayor proporción de contribuciones, con Ecuador como epicentro absoluto de la producción (319 documentos), seguido por Estados Unidos (43), España (55), Colombia (19), Perú (15) y Venezuela (14), lo que refleja una fuerte colaboración regional y transcontinental. Europa se posiciona como el segundo polo de generación científica, destacando países como España (55), Francia (25), Bélgica (17) y Alemania (16), además de Italia, Países Bajos y Reino Unido, que consolidan una presencia relevante en el tema. En menor medida, Asia aporta con países como India y Japón (2 documentos cada uno), junto con contribuciones puntuales de Turquía y Taiwán, lo que evidencia un interés emergente. Por su parte, África y Oceanía presentan participaciones marginales, limitadas a casos aislados en regiones como Afganistán o French Guiana. En conjunto, estos resultados muestran que, aunque la investigación sobre cacao con enfoque ecuatoriano es predominantemente liderada por el propio país, existe una red internacional de colaboración que asegura su visibilidad e impacto en la agenda científica global

Figura 3.

Distribución geográfica de la producción científica por país



Redes de coautoría y colaboración científica (PI5)

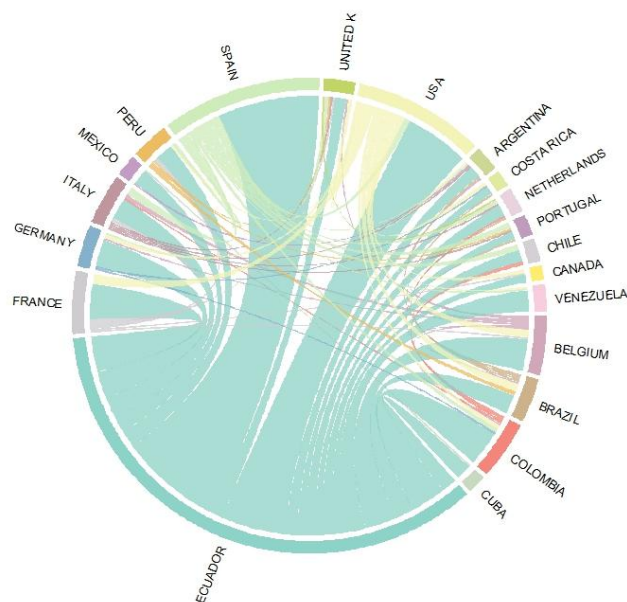
El análisis de la red internacional de colaboraciones en investigaciones sobre *T. cacao* vinculadas al Ecuador permitió identificar un entramado de 38 países conectados mediante múltiples pares de cooperación (Figura 4). Dentro de esta estructura, Ecuador se consolidó como el nodo principal, con 232 vínculos que representan el núcleo de la red y reflejan su papel central en la articulación científica global. Le siguen España (24 vínculos) y Estados Unidos (23) como los principales socios estratégicos, acompañados por Francia (11), Bélgica (8), Alemania (6) e Italia (6), que conforman un segundo nivel de relevancia.

En cuanto a las colaboraciones bilaterales más intensas, destacan los ejes Ecuador-España (52 registros), Ecuador-Estados Unidos (33), Ecuador-Colombia (18) y Ecuador-Francia (18), seguidos por Ecuador-Bélgica (16) y Ecuador-Alemania (14). Estos resultados muestran que la investigación sobre cacao en Ecuador no solo está

fuertemente anclada en la producción nacional, sino que también se proyecta hacia una red internacional dominada por alianzas estratégicas con Europa y América del Norte. En conjunto, este patrón revela una cooperación académica altamente centralizada en Ecuador, cuya posición de nodo articulador potencia la visibilidad global de la investigación cacaotera.

Figura 4.

Red internacional de coautoría por países



Artículos más relevantes (PI6)

La Tabla 2 reúne los artículos más influyentes sobre *T. cacao* vinculados al contexto ecuatoriano y sintetiza sus principales aportes. Entre los documentos destacan aquellos enfocados en la contaminación por cadmio destacan como los más influyentes en la literatura cacaotera ecuatoriana. En este contexto, Chavez et al. (2015) evidenciaron que los suelos superficiales del sur del país superan los límites críticos de la USEPA y que el metal se concentra principalmente en los granos. De manera complementaria, Argüello et al. (2019) confirmaron a escala nacional que el 45% de las muestras exceden el umbral de $0,6 \text{ mg kg}^{-1}$, atribuyendo la mayor absorción a pH ácido, bajos niveles de carbono orgánico y manganeso oxalato-extractable, mientras que la edad del cultivo atenúa la acumulación. Asimismo, Barraza et al. (2017, 2018) demostraron que tanto las actividades petroleras como procesos naturales, como el volcanismo, intensifican la presencia de cadmio y otros metaloides en suelos amazónicos, encontrando que hasta el 50% de los granos superan los límites europeos y que la fracción bioaccesible puede alcanzar el 90%, lo que incrementa los riesgos para la salud humana.

En el ámbito de la historia y domesticación, Zarrillo et al. (2018) demostraron, mediante análisis arqueológicos y genéticos, que el uso del cacao en Ecuador se remonta a hace 5.300 años, constituyendo la evidencia más antigua de domesticación en Sudamérica y redefiniendo su centro de origen. En paralelo, Rudel et al. (2002) documentaron que las comunidades Shuar, pese a la aculturación, conservaron paisajes más diversos que los colonos mestizos, integrando el cacao como alternativa económica y cultural frente a la expansión ganadera.

Respecto a la genética y calidad, Boza et al. (2014) caracterizaron el clon CCN-51, evidenciando su origen híbrido complejo y destacando su alta productividad y resistencia, aunque en detrimento de la calidad organoléptica del cacao Nacional. En la postcosecha, diversos investigadores demostraron que fermentaciones cortas o incompletas reducen la generación de aromas finos, mientras que procesos controlados favorecen la formación de compuestos florales y frutales, consolidando la importancia de integrar genética y manejo poscosecha en la producción de cacao premium (Papalexandratou et al. (2011) y Rottiers et al. (2019))

Finalmente, en el campo de la sanidad vegetal, Samuels et al. (2006) describieron dos especies nuevas de *Trichoderma* asociadas al cacao (*T. theobromicola* y *T. paucisporum*), con capacidad de inhibir el desarrollo de *M. royeri*, agente causal de la moniliasis. Este hallazgo abrió nuevas perspectivas para el biocontrol basado en endófitos, reforzando el potencial de estrategias sostenibles para la protección del cultivo.

Tabla 2.

Top 10 artículos más citados.

Autores	Titulo	Citas
Chavez et al. (2015)	Concentration of cadmium in cacao beans and its relationship with soil cadmium in southern Ecuador	152
Argüello et al. (2019)	Soil properties and agronomic factors affecting cadmium concentrations in cacao beans: A nationwide survey in Ecuador	148
Zarrillo et al. (2018)	The use and domestication of <i>Theobroma cacao</i> during the mid-Holocene in the upper Amazon	147
Papalexandratou et al. (2011)	Species diversity, community dynamics, and metabolite kinetics of the microbiota associated with traditional ecuadorian spontaneous cocoa bean fermentations	132
Boza et al. (2014)	Genetic characterization of the cacao cultivar CCN 51: Its impact and significance on global cacao improvement and production	95
Samuels et al. (2006)	<i>Trichoderma theobromicola</i> and <i>T. paucisporum</i> : two new species isolated from cacao in South America	95
Rottiers et al. (2019)	Dynamics of volatile compounds and flavor precursors during spontaneous fermentation of fine flavor Trinitario cocoa beans	87
Rudel et al. (2002)	Ecologically noble Amerindians? Cattle ranching and cash cropping among Shuar and colonists in Ecuador	85
Barraza et al. (2017)	Cadmium bioaccumulation and gastric bioaccessibility in cacao: A field study in areas impacted by oil activities in Ecuador	80
Barraza et al. (2018)	Distribution, contents and health risk assessment of metal(loid)s in small-scale farms in the Ecuadorian Amazon: An insight into impacts of oil activities	67

Análisis de coocurrencia de palabras clave (PI7)

En la Figura 5 se presenta el mapa de co-ocurrencia de palabras clave asociado a la investigación sobre *T. cacao* en Ecuador. El análisis incluyó 68 ítems, agrupados en 4 clústeres y conectados mediante 957 enlaces, con una fuerza total de asociación de 2.563.

Clúster 1 (rojo): Paisajes agroforestales y resiliencia ecosistémica

Este clúster concentra investigaciones que exploran la interacción entre el cacao y los ecosistemas tropicales, destacando el papel de los sistemas agroforestales como motores de sostenibilidad socioecológica. Se evidencia que la integración de árboles en los cultivos de cacao mejora la fertilidad del suelo, incrementa la diversidad biológica y favorece la regulación de macroinvertebrados y microorganismos, aspectos clave para la salud edáfica (Alcívar Intriago et al., 2024; Huera-Lucero et al., 2025). Asimismo, los paisajes agroforestales se perfilan como reservorios de biodiversidad vegetal y animal, albergando especies de flora y fauna equivalentes a las de bosques primarios (Haro-Carrión et al., 2009; Waldron et al., 2012), con aportes significativos al secuestro de carbono y la mitigación del cambio climático. En términos de sostenibilidad productiva, se resalta que estos sistemas no solo mantienen rendimientos estables, sino que también optimizan el uso de energía y recursos, reduciendo la vulnerabilidad de los pequeños productores frente a escenarios de variabilidad climática (Caicedo-Vargas et al., 2023; Rivera-Parra & Peña-Loyola, 2020; Vizquete-Montero et al., 2024). Además, el cacao en contextos agroforestales emerge como un recurso estratégico para la seguridad alimentaria y los ingresos rurales, reforzando tanto la adaptación como la resiliencia de las comunidades amazónicas y andinas (Castañeda-Ccori et al., 2020; Portalanza et al., 2019).

Clúster 2 (verde): Microbiología del cacao y procesos de fermentación

Este clúster reúne estudios que profundizan en el papel de los microorganismos en el cultivo y la poscosecha del cacao, destacando su influencia tanto en la sanidad vegetal como en la calidad sensorial de los granos. Se ha documentado que levaduras, bacterias lácticas y hongos endófitos conforman comunidades dinámicas durante la fermentación, modulando la producción de compuestos volátiles, antioxidantes y precursores de aroma que determinan el perfil de chocolates de aroma fino (Chóez-Guaranda et al., 2024; Mayra et al., 2024; Morales-Rodríguez et al., 2024; Moreno-Rojas et al., 2023; Rottiers, Tzompa Sosa, De Winne, et al., 2019b). Al mismo tiempo, especies de *Trichoderma* y microorganismos antagonistas muestran un potencial significativo en el control biológico de patógenos como *M. royeri* y *C. cacaofunesta*, reduciendo la incidencia de enfermedades mediante mecanismos de competencia, antibiosis y resistencia inducida (Espinoza-Lozano et al., 2022; Maddison et al., 1995; Maridueña-Zavala et al., 2016; Serrano et al., 2021). También se destacan innovaciones en el uso de consorcios microbianos nativos, bioformulados y tecnologías semiautomatizadas de fermentación, que mejoran la homogeneidad del proceso y optimizan la calidad físico-química de los granos (Burbano-Cachiguango et al., 2023; Falconí et al., 2023). Desde una perspectiva aplicada, el uso de extractos vegetales y microorganismos eficientes ha demostrado ser una estrategia complementaria para mitigar la acumulación de cadmio en los granos, mientras que el aprovechamiento de subproductos del cacao para la producción de biomasa y bioinsumos revela un potencial en economía circular (Acosta et al., 2018; Alvarez-Barreto et al., 2021; Cortez et al., 2024; Silva-Alvarado et al., 2023).

Clúster 3 (azul): Contaminación por cadmio y dinámica edáfica

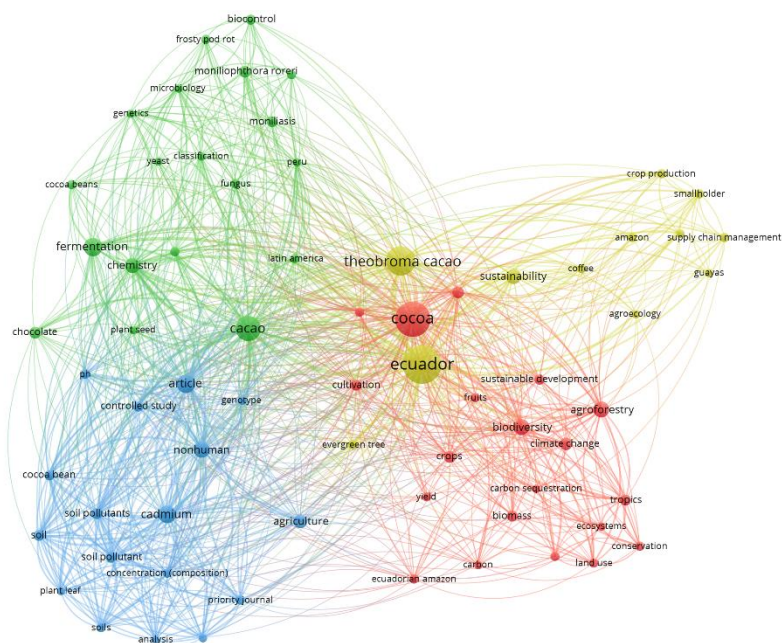
Este clúster integra estudios que abordan la problemática del cadmio en sistemas cacaoteros, uno de los principales retos para la sostenibilidad y la comercialización internacional del cacao ecuatoriano. Se ha evidenciado que los suelos amazónicos y costeros presentan concentraciones de cadmio que superan los límites críticos establecidos por regulaciones internacionales, lo que se traduce en una elevada acumulación del metal en los granos (Argüello et al., 2019; Barraza et al., 2017b; Chavez et al., 2015). Los análisis muestran que factores como el pH ácido, la baja materia orgánica y la dinámica de fraccionamiento edáfico influyen directamente en la biodisponibilidad y absorción del metal. Asimismo, se han identificado diferencias genotípicas en la capacidad de acumulación de cadmio, lo que abre la posibilidad de estrategias de mejoramiento genético (Gutiérrez et al., 2022; Morales-Rodriguez et al., 2025; Romero-Estévez et al., 2019). Paralelamente, se han propuesto alternativas de mitigación que incluyen el uso de enmiendas edáficas, microorganismos eficientes, extractos vegetales, enzimas y agentes de fermentación, con resultados promisorios en la reducción de los niveles en almendras y derivados de cacao (Argüello et al., 2023). Otras aproximaciones innovadoras incluyen la fitorremediación, el empleo de nanopartículas para inmovilizar metales y el análisis isotópico para rastrear las fuentes de contaminación (Barraza et al., 2019; Carrillo Zenteno et al., 2025; Oñate et al., 2025). Finalmente, los estudios también han documentado la coexistencia de otros metales pesados (Ni, Pb, metaloides) que, junto con el cadmio, incrementan los riesgos ambientales y de salud pública (Oñate et al., 2025).

Clúster 4 (amarillo): Agroecología y sostenibilidad de sistemas productivos

Este clúster reúne investigaciones centradas en la sostenibilidad integral de la cadena de valor del cacao, con un enfoque en los sistemas agroecológicos y en la resiliencia socioeconómica de los productores (Caicedo-Vargas et al., 2023; Vizuete-Montero et al., 2024). Se destaca que los sistemas tradicionales, como las chakras amazónicas, aportan no solo a la conservación de la biodiversidad y los servicios ecosistémicos, sino también a la seguridad alimentaria y al fortalecimiento cultural de comunidades indígenas y campesinas (Coq-Huelva et al., 2017; Luna & Barcellos-Paula, 2024; Torres et al., 2015). A nivel económico, los estudios muestran que la dependencia de mercados internacionales y las regulaciones no arancelarias, como las relacionadas con cadmio, generan costos adicionales que afectan principalmente a los pequeños productores; sin embargo, estrategias de diversificación productiva, certificaciones de calidad y modelos de comercialización alternativos se perfilan como mecanismos de adaptación (Burgos Villamar et al., 2025; Pohlmann et al., 2023; Vázquez-deCastro et al., 2024). Desde una perspectiva social, se evidencian avances en el empoderamiento de mujeres campesinas y en la consolidación de formas de emprendimiento indígena asociadas al *sumak kawsay*, que refuerzan la dimensión comunitaria del cacao (Coral Guerrero, 2018; Williams Goodrich, 2019). Asimismo, la innovación en bioeconomía como el aprovechamiento de subproductos (biocarbón, mucílago para bebidas fermentadas, biomasa energética) demuestra el potencial del cacao como motor de economía circular (Bastidas et al., 2022; Romero-Bonilla et al., 2025).

Figura 5.

Red de coocurrencia de palabras clave



5. Conclusiones

La producción científica sobre *Theobroma cacao* vinculada a Ecuador ha mostrado una trayectoria ascendente, principalmente en la última década (2015–2025) como un campo con internacionalización. Los estudios se han enfocado principalmente en contaminantes como el cadmio y en los aportes de sistemas agroforestales tradicionales, hacia aproximaciones integradoras que combinan biotecnología, sostenibilidad y bioeconomía circular. Este proceso se refleja en una arquitectura temática organizada en cinco ejes variedades, aspectos ambientales, procesos tecnológicos, dimensión social y sanidad vegetal que articulan calidad, productividad y resiliencia en el cultivo de cacao.

De manera complementaria, los análisis de redes de coautoría y colaboración muestran que Ecuador es el nodo principal de producción y articulación internacional, con fuertes alianzas estratégicas con España y Estados Unidos, y una participación de Asia, África y Oceanía. Las prioridades emergentes incluyen la mitigación de metales pesados, la adaptación al cambio climático, la optimización poscosecha, la valorización de subproductos y la sostenibilidad socioeconómica de pequeños productores.

Contribución de los autores: Conceptualización, RJ-H-F. y JA-T-R.; metodología, RJ-H-F. y JA-T-R.; software, RJ-H-F.; validación, MS-C-P.; análisis formal, RJ-H-F. y JA-T-R.; investigación, RJ-H-F. y JA-T-R.; recursos, JA-T-R. y MS-C-P.; redacción del borrador original, RJ-H-F. y JA-T-R.; redacción, revisión y edición, RJ-H-F., JA-T-R. y MS-C-P.; visualización, RJ-H-F.; supervisión, RJ-H-F. y JA-T-R. Todos los autores han leído y aceptado la versión publicada del manuscrito.

Financiamiento: Esta investigación no ha recibido financiación externa

Agradecimientos: A la Universidad Técnica Estatal de Quevedo y a todos los investigadores ecuatorianos enfocados en la investigación de cacao a nivel nacional.

Declaración de disponibilidad de datos: Los datos están disponibles previa solicitud a los autores de correspondencia: herreraf2@uteq.edu.ec

Conflicto de interés: Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses

Bibliografía

- Acosta, N., De Vrieze, J., Sandoval, V., Sinche, D., Wierinck, I., & Rabaey, K. (2018). Cocoa residues as viable biomass for renewable energy production through anaerobic digestion. *Bioresource Technology*, 265, 568-572. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2018.05.100>
- Alcívar Intriago, F. E., Mero Vera, K. P., & Velez Guerrero, Y. R. (2024). Harnessing microbes: A new approach to carbon sequestration in cocoa agroforestry. *Visions for Sustainability*, 22, 10895, 1-12 Paginazione. <https://doi.org/10.13135/2384-8677/10895>
- Alvarez-Barreto, J. F., Larrea, F., Pinos C, M. C., Benalcázar, J., Oña, D., Viteri, D. A., Leon, M., & Almeida-Streitwieser D, D. (2021). Chemical Pretreatments on Residual Cocoa Pod Shell Biomass for Bioethanol Production. *Bionatura*, 6(1), 1490-1500. <https://doi.org/10.21931/RB/2020.06.01.9>
- Alvarez-Romero, P. I., Román-Robalino, D. A., Salazar-Castañeda, E. P., Suárez-Cedillo, S. E., Hinojosa-Sánchez, L. A., Ferreira, A. F. T. A. F. E., & Gualpaca-Calva, M. A. (2025). Diversity and Composition of Endophytic Fungal Communities Associated with Cocoa (*Theobroma cacao* L.) Fruits in the Northern Ecuadorian Amazon. *International Journal of Plant Biology*, 16(1), 17. <https://doi.org/10.3390/ijpb16010017>
- Argout, X., Salse, J., Aury, J.-M., Guiltinan, M. J., Droc, G., Gouzy, J., Allegre, M., Chaparro, C., Legavre, T., Maximova, S. N., Abrouk, M., Murat, F., Fouet, O., Poulain, J., Ruiz, M., Roguet, Y., Rodier-Goud, M., Barbosa-Neto, J. F., Sabot, F., ... Lanaud, C. (2011). The genome of *Theobroma cacao*. *Nature Genetics*, 43(2), 101-108. <https://doi.org/10.1038/ng.736>
- Argüello, D., Chavez, E., Gutierrez, E., Pittomvils, M., Dekeyrel, J., Blommaert, H., & Smolders, E. (2023). Soil amendments to reduce cadmium in cacao (*Theobroma*

- cacao L.): A comprehensive field study in Ecuador. *Chemosphere*, 324, 138318. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2023.138318>
- Argüello, D., Chavez, E., Lauryssen, F., Vanderschueren, R., Smolders, E., & 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. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.08.292>
- Barraza, F., Maurice, L., Uzu, G., Becerra, S., López, F., Ochoa-Herrera, V., Ruales, J., & Schreck, E. (2018). Distribution, contents and health risk assessment of metal(loid)s in small-scale farms in the Ecuadorian Amazon: An insight into impacts of oil activities. *Science of The Total Environment*, 622-623, 106-120. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.11.246>
- Barraza, F., Moore, R. E. T., Rehkämper, M., Schreck, E., Lefeuvre, G., Kreissig, K., Coles, B. J., & Maurice, L. (2019). Cadmium isotope fractionation in the soil – cacao systems of Ecuador: A pilot field study. *RSC Advances*, 9(58), 34011-34022. <https://doi.org/10.1039/C9RA05516A>
- Barraza, F., Schreck, E., Lévêque, T., Uzu, G., López, F., Ruales, J., Prunier, J., Marquet, A., & Maurice, L. (2017a). Cadmium bioaccumulation and gastric bioaccessibility in cacao: A field study in areas impacted by oil activities in Ecuador. *Environmental Pollution*, 229, 950-963. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.07.080>
- Barraza, F., Schreck, E., Lévêque, T., Uzu, G., López, F., Ruales, J., Prunier, J., Marquet, A., & Maurice, L. (2017b). Cadmium bioaccumulation and gastric bioaccessibility in cacao: A field study in areas impacted by oil activities in Ecuador. *Environmental Pollution*, 229, 950-963. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.07.080>
- Barraza, F., Schreck, E., Uzu, G., Lévêque, T., Zouiten, C., Boidot, M., & Maurice, L. (2021). Beyond cadmium accumulation: Distribution of other trace elements in

- soils and cacao beans in Ecuador. *Environmental Research*, 192, 110241. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.110241>
- Bastidas, J. V., Melo, W. A. B., & Briones-Bitar, J. (2022). Sustainability of the Cocoa Industry: Cocoa Waste Mucilage Use to Produce Fermented Beverages. Case Study in Los Ríos Province. *International Journal of Sustainable Development and Planning*, 17(4), 1147-1152. <https://doi.org/10.18280/ijstdp.170412>
- Boza, E. J., Motamayor, J. C., Amores, F. M., Cedeño-Amador, S., Tondo, C. L., Livingstone, D. S., Schnell, R. J., & 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. <https://doi.org/10.21273/JASHS.139.2.219>
- Burbano-Cachiguango, R. A., Abreu-Naranjo, R., Caicedo-Vargas, C. E., Ramírez-Romero, C. A., Calero-Cárdenas, A. S., Llumiyinga-Marcillo, E. M., & Ruiz-Urigüen, M. (2023). Effect of a semi-automated fermentation system on the physical and chemical characteristics of *Theobroma cacao* L. grown in the northern Ecuadorian Amazon. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 17(1), 337-345. <https://doi.org/10.1007/s11694-022-01620-x>
- Burgos Villamar, I. S., Solís Granda, L. E., Guevara Viejó, J. F., & Valenzuela Cobos, J. D. (2025). Analysis of the Impact of Information Behavior on the Marketing and Fertilization Strategies of Small Cocoa Producers in the Provinces of Guayas and Los Ríos in Ecuador. *Agriculture*, 15(8), 858. <https://doi.org/10.3390/agriculture15080858>
- Caicedo-Vargas, C., Pérez-Neira, D., Abad-González, J., & Gallar, D. (2023). Agroecology as a means to improve energy metabolism and economic management in smallholder cocoa farmers in the Ecuadorian Amazon. *Sustainable Production and Consumption*, 41, 201-212. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2023.08.005>

- Canchignia-Martinez, H. F., Cedeño-Moreira, A. V., Flores, F. J., & Garcés-Fiallos, F. R. (2025a). Morphological, molecular and pathogenetic characterization of *Lasiodiplodia laeliocattleyae* associated with dieback and pod rot on cacao in Ecuador. *Physiological and Molecular Plant Pathology*, *136*, 102572. <https://doi.org/10.1016/j.pmpp.2025.102572>
- Canchignia-Martinez, H. F., Cedeño-Moreira, A. V., Flores, F. J., & Garcés-Fiallos, F. R. (2025b). Morphological, molecular and pathogenetic characterization of *Lasiodiplodia laeliocattleyae* associated with dieback and pod rot on cacao in Ecuador. *Physiological and Molecular Plant Pathology*, *136*, 102572. <https://doi.org/10.1016/j.pmpp.2025.102572>
- Carrillo Zenteno, M. D., Orosco Maldonado, M. P., Peña Jordan, A. K., Martínez Buñay, L. M., Peña Salazar, K. E., & García-Orellana, Y. (2025). Evaluación de arvenses como fitorremediadoras de suelos cacaoteros contaminados con cadmio. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, *41*. <https://doi.org/10.20937/RICA.55140>
- Castañeda-Ccori, J., Bilhaut, A.-G., Mazé, A., & Fernández-Manjarrés, J. (2020). Unveiling Cacao Agroforestry Sustainability through the Socio-Ecological Systems Diagnostic Framework: The Case of Four Amazonian Rural Communities in Ecuador. *Sustainability*, *12*(15), 5934. <https://doi.org/10.3390/su12155934>
- Ceccarelli, V., Lastra, S., Loor Solórzano, R. G., Chacón, W. W., Nolasco, M., Sotomayor Cantos, I. A., Plaza Avellán, L. F., López, D. A., Fernández Anchundia, F. M., Dessauw, D., Orozco-Aguilar, L., & Thomas, E. (2022). Conservation and use of genetic resources of cacao (*Theobroma cacao* L.) by gene banks and nurseries in six Latin American countries. *Genetic Resources and Crop Evolution*, *69*(3), 1283-1302. <https://doi.org/10.1007/s10722-021-01304-3>
- Charry, A., Perea, C., Ramírez, K., Zambrano, G., Yovera, F., Santos, A., Jiménez, T., Romero, M., Lundy, M., Quintero, M., & Pulleman, M. (2025). The bittersweet

- economics of different cacao production systems in Colombia, Ecuador and Peru. *Agricultural Systems*, 224, 104235. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2024.104235>
- Chavez, E., He, Z. L., Stoffella, P. J., Mylavarapu, R. S., Li, Y. C., & Baligar, V. C. (2016). Chemical speciation of cadmium: An approach to evaluate plant-available cadmium in Ecuadorian soils under cacao production. *Chemosphere*, 150, 57-62. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2016.02.013>
- Chavez, E., He, Z. L., Stoffella, P. J., Mylavarapu, R. S., Li, Y. C., Moyano, B., & Baligar, V. C. (2015). Concentration of cadmium in cacao beans and its relationship with soil cadmium in southern Ecuador. *Science of The Total Environment*, 533, 205-214. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.06.106>
- Chóez-Guaranda, I., Maridueña-Zavala, M., Quevedo, A., Quijano-Avilés, M., Manzano, P., & Cevallos-Cevallos, J. M. (2024). Changes in GC-MS metabolite profile, antioxidant capacity and anthocyanins content during fermentation of fine-flavor cacao beans from Ecuador. *PLOS ONE*, 19(3), e0298909. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0298909>
- Colonges, K., Jimenez, J.-C., Saltos, A., Seguíne, E., Loo Solorzano, R. G., Fouet, O., Argout, X., Assemat, S., Davrieux, F., Cros, E., Boulanger, R., & Lanaud, C. (2021). Two Main Biosynthesis Pathways Involved in the Synthesis of the Floral Aroma of the Nacional Cocoa Variety. *Frontiers in Plant Science*, 12, 681979. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.681979>
- Coq-Huelva, D., Higuchi, A., Alfalla-Luque, R., Burgos-Morán, R., & Arias-Gutiérrez, R. (2017). Co-Evolution and Bio-Social Construction: The Kichwa Agroforestry Systems (Chakras) in the Ecuadorian Amazonia. *Sustainability*, 9(10), 1920. <https://doi.org/10.3390/su9101920>
- Coral Guerrero, C. A. (2018). Emprendimiento indígena, ¿Una dimensión económica del «Sumak Kawsay»? *REVESCO. Revista de Estudios Cooperativos*, 129, 123-141. <https://doi.org/10.5209/REVE.62849>

- Cortez, L. H. V., Vásquez, K. E. A., Flor, F. G. I., Chang, J. F. V., Maddela, N. R., & Prasad, R. (2024). Banana and apple extracts with efficient microorganisms and their effect on cadmium reduction in cocoa beans (*Theobroma cacao* L.). *Discover Food*, 4(1), 163. <https://doi.org/10.1007/s44187-024-00205-5>
- De Oliveira Santos, T. L., Araújo Tavares Da Silva, F. L., Araújo Dionízio Da Silva, D., & Efraim, P. (2025). Exploring the Research Evolution of Cacao Diseases Over the Past Two Decades: A Review. *Plant Pathology*, 74(6), 1470-1494. <https://doi.org/10.1111/ppa.14121>
- Duguma, B., Gockowski, J., & Bakala, J. (2001). Smallholder Cacao (*Theobroma cacao* Linn.) cultivation in agroforestry systems of West and Central Africa: Challenges and opportunities. *Agroforestry Systems*, 51(3), 177-188. <https://doi.org/10.1023/A:1010747224249>
- Engelbrecht, C. J. B., Harrington, T. C., Alfnas, A. C., & Suarez, C. (2007). Genetic variation in populations of the cacao wilt pathogen, *Ceratocystis cacaofunesta*. *Plant Pathology*, 56(6), 923-933. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3059.2007.01735.x>
- Espinoza-Lozano, F., Amaya-Márquez, D., Pinto, C. M., Villavicencio-Vásquez, M., Sosa Del Castillo, D., & Pérez-Martínez, S. (2022). Multiple Introductions of *Moniliophthora roreri* from the Amazon to the Pacific Region in Ecuador and Shared High Azoxystrobin Sensitivity. *Agronomy*, 12(5), 1119. <https://doi.org/10.3390/agronomy12051119>
- Estrela Junior, A. D. S., Solís, K., Pimenta Neto, A. A., Vera, D. I., Garzón, I., Peñaherrera, S., Diorato, V. S., Gramacho, K. P., & Laranjeira, D. (2022). Effect of antagonistic yeasts from cacao tissues on controlling growth and sporulation of *Moniliophthora roreri*. *Biological Control*, 172, 104956. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2022.104956>
- Etaware, P. M. (2021). The effects of the phytochemistry of cocoa on the food chemistry of chocolate(s) and how disease resistance in cocoa can be improved using

- CRISPR/Cas9 technology. *Food Chemistry: Molecular Sciences*, 3, 100043. <https://doi.org/10.1016/j.fochms.2021.100043>
- Falconí, C. E., Yáñez-Mendizábal, V., Haro, R. J., & Claudio, D. R. (2023). Inoculum of a Native Microbial Starter Cocktail to Optimize Fine-Aroma Cocoa (*Theobroma cacao*) Bean Fermentation. *Agronomy*, 13(10), 2572. <https://doi.org/10.3390/agronomy13102572>
- Forio, M. A. E., Villa-Cox, G., Van Echelpoel, W., Ryckebusch, H., Lock, K., Spanoghe, P., Deknock, A., De Troyer, N., Nolivos-Alvarez, I., Dominguez-Granda, L., Speelman, S., & Goethals, P. L. M. (2020). Bayesian Belief Network models as trade-off tools of ecosystem services in the Guayas River Basin in Ecuador. *Ecosystem Services*, 44, 101124. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2020.101124>
- Galarza, L., Akagi, Y., Takao, K., Kim, C. S., Maekawa, N., Itai, A., Peralta, E., Santos, E., & Kodama, M. (2015). Characterization of *Trichoderma* species isolated in Ecuador and their antagonistic activities against phytopathogenic fungi from Ecuador and Japan. *Journal of General Plant Pathology*, 81(3), 201-210. <https://doi.org/10.1007/s10327-015-0587-x>
- Gutiérrez, E., Chávez, E., Gamage, K. H. H., Argüello, D., Galkaduwa, M. B., & Hettiarachchi, G. M. (2022). Cadmium fractionation in soils affected by organic matter application: Transfer of cadmium to cacao (*Theobroma cacao* L.) tissues. *Frontiers in Environmental Science*, 10, 954521. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2022.954521>
- Guzmán-Armenteros, T. M., Guerra, L. S., Ruales, J., & Ramos-Guerrero, L. (2025). Ecuadorian Cacao Mucilage as a Novel Culture Medium Ingredient: Unveiling Its Potential for Microbial Growth and Biotechnological Applications. *Foods*, 14(2), 261. <https://doi.org/10.3390/foods14020261>
- Haro-Carrión, X., Lozada, T., Navarrete, H., & De Koning, G. H. J. (2009). Conservation of Vascular Epiphyte Diversity in Shade Cacao Plantations in the Chocó Region

- of Ecuador. *Biotropica*, 41(4), 520-529. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7429.2009.00510.x>
- Heredia-R, M., Blanco-Gutiérrez, I., Esteve, P., Puhl, L., & Morales-Opazo, C. (2024). Assessment of sustainability in cocoa farms in Ecuador: Application of a multidimensional indicator-based framework. *International Journal of Agricultural Sustainability*, 22(1), 2379863. <https://doi.org/10.1080/14735903.2024.2379863>
- Huera-Lucero, T., Torres, B., Bravo-Medina, C., García-Nogales, B., Vicente, L., & López-Piñeiro, A. (2025). Comparative Analysis of Soil Biological Activity and Macroinvertebrate Diversity in Amazonian Chakra Agroforestry and Tropical Rainforests in Ecuador. *Agriculture*, 15(8), 830. <https://doi.org/10.3390/agriculture15080830>
- Kongor, J. E., Owusu, M., & Oduro-Yeboah, C. (2024). Cocoa production in the 2020s: Challenges and solutions. *CABI Agriculture and Bioscience*, 5(1), 102. <https://doi.org/10.1186/s43170-024-00310-6>
- Lanaud, C., Vignes, H., Utge, J., Valette, G., Rhoné, B., Garcia Caputi, M., Angarita Nieto, N. S., Fouet, O., Gaikwad, N., Zarrillo, S., Powis, T. G., Cyphers, A., Valdez, F., Olivera Nunez, S. Q., Speller, C., Blake, M., Valdez, F. J., Raymond, S., Rowe, S. M., ... Argout, X. (2024). A revisited history of cacao domestication in pre-Columbian times revealed by archaeogenomic approaches. *Scientific Reports*, 14(1), 2972. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-53010-6>
- Lander, T. A., Atta-Boateng, A., Toledo-Hernández, M., Wood, A., Malhi, Y., Solé, M., Tschardtke, T., & Wanger, T. C. (2025). Global chocolate supply is limited by low pollination and high temperatures. *Communications Earth & Environment*, 6(1), 97. <https://doi.org/10.1038/s43247-025-02072-z>
- Lenin, V.-M., Baviera-Puig, A., & García-Álvarez-Coque, J.-M. (2014). *Multi-Criteria Methodology: AHP and Fuzzy Logic in the Selection of Post-Harvest Technology for Smallholder Cocoa Production*. <https://doi.org/10.22004/AG.ECON.167907>

- León Bravo, V., Jaramillo Villacrés, M., & Silva, M. E. (2022). Analysing competing logics towards sustainable supplier management. *Supply Chain Management: An International Journal*, 27(7), 49-63. <https://doi.org/10.1108/SCM-07-2020-0354>
- León-Bravo, V., & Jaramillo-Villacrés, M. (2021). Sustainability of Chocolate Production in Ecuador: Drivers, Barriers, and Local Factors. *Latin American Business Review*, 22(4), 323-357. <https://doi.org/10.1080/10978526.2021.1920837>
- Lerceteau, E., Flipo, S., Quiroz, J., Soria, J., Pétiard, V., & Cruzilat, D. (1997). Genetic differentiation among Ecuadorian *Theobroma cacao* L. accessions using DNA and morphological analyses. *Euphytica*, 95(1), 77-87. <https://doi.org/10.1023/A:1002993415875>
- Loor, R. G., Risterucci, A. M., Courtois, B., Fouet, O., Jeanneau, M., Rosenquist, E., Amores, F., Vasco, A., Medina, M., & Lanaud, C. (2009). Tracing the native ancestors of the modern *Theobroma cacao* L. population in Ecuador. *Tree Genetics & Genomes*, 5(3), 421-433. <https://doi.org/10.1007/s11295-008-0196-3>
- Loor Solorzano, R. G., Fouet, O., Lemainque, A., Pavek, S., Boccara, M., Argout, X., Amores, F., Courtois, B., Risterucci, A. M., & Lanaud, C. (2012). Insight into the Wild Origin, Migration and Domestication History of the Fine Flavour Nacional *Theobroma cacao* L. Variety from Ecuador. *PLoS ONE*, 7(11), e48438. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0048438>
- Luna, M., & Barcellos-Paula, L. (2024). Structured Equations to Assess the Socioeconomic and Business Factors Influencing the Financial Sustainability of Traditional Amazonian Chakra in the Ecuadorian Amazon. *Sustainability*, 16(6), 2480. <https://doi.org/10.3390/su16062480>
- Maddison, A. C., Macias, G., Moreira, C., Arias, R., & Neira, R. (1995). Cocoa production in Ecuador in relation to dry-season escape from pod rot caused by *Crinipellis perniciosa* and *Moniliophthora roreri*. *Plant Pathology*, 44(6), 982-998. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3059.1995.tb02657.x>

- Manzano, P., Quijano, M., Barragn, A., Viteri, R., Chez, I., Hernández, J., & Valle, O. (2017). Polyphenols extracted from *Theobroma cacao* waste and its utility as antioxidant for food-grade vegetal oil. *Emirates Journal of Food and Agriculture*, 29(1), 45. <https://doi.org/10.9755/ejfa.2016-04-388>
- Maridueña-Zavala, M. G., Villavicencio-Vásquez, M. E., Cevallos-Cevallos, J. M., & Peralta, E. L. (2016). Molecular and morphological characterization of *Moniliophthora roreri* isolates from cacao in Ecuador. *Canadian Journal of Plant Pathology*, 38(4), 460-469. <https://doi.org/10.1080/07060661.2016.1261372>
- Mayra, O. C., Manosalvas-Quiroz, L.-A., Mosquera, N. P., & Samaniego, I. (2024). Effect of fermentation parameters on the antioxidant activity of Ecuadorian cocoa (*Theobroma cacao* L.). *AIMS Agriculture and Food*, 9(3), 872-886. <https://doi.org/10.3934/agrfood.2024047>
- McElroy, M. S., Navarro, A. J. R., Mustiga, G., Stack, C., Gezan, S., Peña, G., Sarabia, W., Saquicela, D., Sotomayor, I., Douglas, G. M., Migicovsky, Z., Amores, F., Tarqui, O., Myles, S., & Motamayor, J. C. (2018). Prediction of Cacao (*Theobroma cacao*) Resistance to *Moniliophthora* spp. Diseases via Genome-Wide Association Analysis and Genomic Selection. *Frontiers in Plant Science*, 9, 343. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.00343>
- Melo, B. L. B., De Souza, J. T., Santos, R. M. F., Rehner, S. A., Solis, K. H., Suarez, C., Hebbbar, P. K., Lemos, L. S. L., & Gramacho, K. P. (2014). Development of microsatellites for the cacao frosty pod rot pathogen, *M oniliophthora roreri* . *Forest Pathology*, 44(4), 320-324. <https://doi.org/10.1111/efp.12103>
- Middendorp, R. S., Boever, O., Rueda, X., & Lambin, E. F. (2020). Improving smallholder livelihoods and ecosystems through direct trade relations: High-quality cocoa producers in Ecuador. *Business Strategy & Development*, 3(2), 165-184. <https://doi.org/10.1002/bsd2.86>
- Molina, D., Angamarca, E., Marinescu, G. C., Popescu, R. G., & Tenea, G. N. (2025). Integrating Metabolomics and Genomics to Uncover Antimicrobial Compounds in

- Lactiplantibacillus plantarum UTNGt2, a Cacao-Originating Probiotic from Ecuador. *Antibiotics*, 14(2), 123. <https://doi.org/10.3390/antibiotics14020123>
- Morales-Rodriguez, W. J., Morante-Carriel, J., Carranza-Patiño, M., Ormaza-Vásquez, D., Ayuso-Yuste, M. C., & Bernalte-García, M. J. (2025). Fermentation with Pectin Trans-Eliminase to Reduce Cadmium Levels in Nacional and CCN-51 Cocoa Bean Genotypes. *Plants*, 14(16), 2553. <https://doi.org/10.3390/plants14162553>
- Morales-Rodriguez, W. J., Morante-Carriel, J., Herrera-Feijoo, R. J., Ayuso-Yuste, M. C., & Bernalte-García, M. J. (2024). Effect of addition of yeasts and enzymes during fermentation on physicochemical quality of fine aroma cocoa beans. *Journal of Agriculture and Food Research*, 16, 101126. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2024.101126>
- Moreno-Miranda, C., Molina, I., Miranda, Z., Moreno, R., & Moreno, P. (2020). La cadena de valor de cacao en Ecuador: Una propuesta de estrategias para coadyuvar a la sostenibilidad. *Bioagro*, 32(3), 205-214.
- Moreno-Rojas, J. M., Yadira Erazo Solorzano, C., Tuárez García, D. A., Pereira-Caro, G., Ordóñez Díaz, J. L., Muñoz–Redondo, J. M., & Rodríguez-Solana, R. (2023). Impact of the pre-drying process on the volatile profile of on-farm processed Ecuadorian bulk and fine-flavour cocoa varieties. *Food Research International*, 169, 112938. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2023.112938>
- Olarte-Libreros, M. M., Rojas-Mora, J. E., Guerrero-Sierra, H. F., Niño, C., & De La Peña, N. (2025). Effects of International Shocks on Cocoa Global Production. *Economies*, 13(2), 48. <https://doi.org/10.3390/economies13020048>
- Oñate, A., Staël, C., Bolaños-Guerrón, D., Pozo, C., Vera, D., Torres, E., Naranjo, C., Perugachi, M., Loayza, A., Pincay, J., Carrillo, M., & Cumbal, L. (2025). Nanoparticles for treatment of cadmium-contaminated cocoa-growing soils and beans: Performance on metal immobilization and removal. *Heliyon*, 11(4), e40519. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e40519>

- Ordoñez-Araque, R. H., Landines-Vera, E. F., Urresto-Villegas, J. C., & Caicedo-Jaramillo, C. F. (2020). Microorganisms during cocoa fermentation: Systematic review. *Foods and Raw Materials*, 155-162. <https://doi.org/10.21603/2308-4057-2020-1-155-162>
- Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., Shamseer, L., Tetzlaff, J. M., Akl, E. A., & Brennan, S. E. (2021). The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews. *bmj*, 372.
- Papalexandratou, Z., Falony, G., Romanens, E., Jimenez, J. C., Amores, F., Daniel, H.-M., & De Vuyst, L. (2011). Species Diversity, Community Dynamics, and Metabolite Kinetics of the Microbiota Associated with Traditional Ecuadorian Spontaneous Cocoa Bean Fermentations. *Applied and Environmental Microbiology*, 77(21), 7698-7714. <https://doi.org/10.1128/AEM.05523-11>
- Pérez Neira, D. (2016). Energy sustainability of Ecuadorian cacao export and its contribution to climate change. A case study through product life cycle assessment. *Journal of Cleaner Production*, 112, 2560-2568. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.11.003>
- Plasencia-Vázquez, A. H., Vilchez-Ponce, C. R., Ferrer-Sánchez, Y., & Veloz-Portillo, C. E. (2022). Efecto del cambio climático sobre la distribución potencial del hongo *Moniliophthora roreri* y el cultivo de cacao (*Theobroma cacao*) en Ecuador continental. *REVISTA TERRA LATINOAMERICANA*, 40. <https://doi.org/10.28940/terra.v40i0.1151>
- Pohlmann, A., Grijalva, D., Noboa, F., & Andrango, J. (2023). Paragons of sustainability: Transforming luxury markets through value-in-impact. Insights from an Ecuadorian artisan chocolate case study. *Journal of Research in Marketing and Entrepreneurship*, 25(1), 103-126. <https://doi.org/10.1108/JRME-01-2022-0009>
- Portalanza, D., Barral, M. P., Villa-Cox, G., Ferreira-Estafanous, S., Herrera, P., Durigon, A., & Ferraz, S. (2019). Mapping ecosystem services in a rural landscape dominated by cacao crop: A case study for Los Rios province, Ecuador.

- Ecological Indicators*, 107, 105593.
<https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.105593>
- Purcell, T., Martinez-Esguerra, E., & Fernandez, N. (2018). The Value of Rents: Global Commodity Chains and Small Cocoa Producers in Ecuador. *Antipode*, 50(3), 641-661. <https://doi.org/10.1111/anti.12380>
- Ramírez-Blacio, A. M., Contreras-Peña, M. F., Cevallos-Castro, D. A., Sambonino-García, B. D. L., Poveda-Burgos, G. H., & Vera-Garzón, O. C. (2025). Importance and Acceptance of Ecuadorian Cocoa in the European Union Market. *Journal of Ecohumanism*, 4(2). <https://doi.org/10.62754/joe.v4i2.6259>
- Rivera-Parra, J. L., & Peña-Loyola, P. J. (2020). Potential high-quality growing tea regions in Ecuador: An alternative cash crop for Ecuadorian small landholders. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 100(4), 1827-1831. <https://doi.org/10.1002/jsfa.10225>
- Romero-Bonilla, H. I., Jaramillo-Guanolique, A., Zambrano, C., Rios-Hidalgo, M., Solano-Maza, L., Choez-Tobo, C., & Technical University of Machala,. (2025). Cocoa shell biochars for sustainable biodiesel production in Ecuador. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 24(1), 1-14. <https://doi.org/10.24275/rmiq/IE24221>
- Romero-Estévez, D., Yáñez-Jácome, G. S., Simbaña-Farinango, K., & Navarrete, H. (2019). Content and the relationship between cadmium, nickel, and lead concentrations in Ecuadorian cocoa beans from nine provinces. *Food Control*, 106, 106750. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2019.106750>
- Rottiers, H., Tzompa Sosa, D. A., De Winne, A., Ruales, J., De Clippeleer, J., De Leersnyder, I., De Wever, J., Everaert, H., Messens, K., & Dewettinck, K. (2019a). Dynamics of volatile compounds and flavor precursors during spontaneous fermentation of fine flavor Trinitario cocoa beans. *European Food Research and Technology*, 245(9), 1917-1937. <https://doi.org/10.1007/s00217-019-03307-y>

- Rottiers, H., Tzompa Sosa, D. A., De Winne, A., Ruales, J., De Clippeleer, J., De Leersnyder, I., De Wever, J., Everaert, H., Messens, K., & Dewettinck, K. (2019b). Dynamics of volatile compounds and flavor precursors during spontaneous fermentation of fine flavor Trinitario cocoa beans. *European Food Research and Technology*, 245(9), 1917-1937. <https://doi.org/10.1007/s00217-019-03307-y>
- Rottiers, H., Tzompa Sosa, D. A., Lemarcq, V., De Winne, A., De Wever, J., Everaert, H., Bonilla Jaime, J. A., Dewettinck, K., & Messens, K. (2019). A multipronged flavor comparison of Ecuadorian CCN51 and Nacional cocoa cultivars. *European Food Research and Technology*, 245(11), 2459-2478. <https://doi.org/10.1007/s00217-019-03364-3>
- Rudel, T. K., Bates, D., & Machinguiashi, R. (2002). Ecologically Noble Amerindians?: Cattle Ranching and Cash Cropping among Shuar and Colonists in Ecuador. *Latin American Research Review*, 37(1), 144-159. <https://doi.org/10.1017/S0023879100019385>
- Salazar, O. V., Latorre, S., Godoy, M. Z., & Quelal-Vásconez, M. A. (2023). The challenges of a sustainable cocoa value chain: A study of traditional and “fine or flavour” cocoa produced by the kichwas in the ecuadorian Amazon region. *Journal of Rural Studies*, 98, 92-100. <https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2023.01.015>
- Samaniego, I., Espín, S., Quiroz, J., Ortiz, B., Carrillo, W., García-Viguera, C., & Mena, P. (2020). Effect of the growing area on the methylxanthines and flavan-3-ols content in cocoa beans from Ecuador. *Journal of Food Composition and Analysis*, 88, 103448. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2020.103448>
- Samuels, G. J., Suarez, C., Solis, K., Holmes, K. A., Thomas, S. E., Ismaiel, A., & Evans, H. C. (2006). *Trichoderma theobromicola* and *T. paucisporum*: Two new species isolated from cacao in South America. *Mycological Research*, 110(4), 381-392. <https://doi.org/10.1016/j.mycres.2006.01.009>

- Satama-Bermeo, M., García-Espigares, L., Lamotte, L., Ramírez, K., Santos, A., Zambrano, G., & Olschewski, R. (2025). Sustainable cocoa production: A question of taste or survival? Eliciting farmers' preferences with a two-step choice experiment. *Journal of Agriculture and Food Research*, 22, 102051. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2025.102051>
- Serrano, L., Moreno, A. S., Castillo, D. S. D., Bonilla, J., Romero, C. A., Galarza, L. L., & Coronel-León, J. R. (2021). Biosurfactants synthesized by endophytic *Bacillus* strains as control of *Moniliophthora perniciosa* and *Moniliophthora roreri*. *Scientia Agricola*, 78(suppl 1), e20200172. <https://doi.org/10.1590/1678-992x-2020-0172>
- Silva-Alvarado, P. M., Orozco-Crespo, E., Verduga-Alcívar, D. A., Diéguez-Santana, K., Ruiz-Cedeño, S. D. M., & Sablón-Cossío, N. (2023). Prospective of the circular economy in a banana agri-food chain. *Tec Empresarial*, 17(1), 34-52. <https://doi.org/10.18845/te.v17i1.6475>
- Tenea, G. N., & Ortega, C. (2021). Genome Characterization of *Lactiplantibacillus plantarum* Strain UTNGt2 Originated from *Theobroma grandiflorum* (White Cacao) of Ecuadorian Amazon: Antimicrobial Peptides from Safety to Potential Applications. *Antibiotics*, 10(4), 383. <https://doi.org/10.3390/antibiotics10040383>
- Tinoco-Jaramillo, L., Vargas-Tierras, Y., Habibi, N., Caicedo, C., Chanaluisa, A., Paredes-Arcos, F., Viera, W., Almeida, M., & Vásquez-Castillo, W. (2024). Agroforestry Systems of Cocoa (*Theobroma cacao* L.) in the Ecuadorian Amazon. *Forests*, 15(1), 195. <https://doi.org/10.3390/f15010195>
- Torres, B., Maza, O. J., Aguirre, P., Hinojosa, L., & Günter, S. (2015). The Contribution of Traditional Agroforestry to Climate Change Adaptation in the Ecuadorian Amazon: The Chakra System. En W. Leal Filho (Ed.), *Handbook of Climate Change Adaptation* (pp. 1973-1994). Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-38670-1_102

- Torres-Rodriguez, J. A. (2024). Chitosan: Biocontrol of *Moniliophthora roreri* and a Biostimulant of *Theobroma cacao* L. *Journal of Global Innovations in Agricultural Sciences*, 993-1001. <https://doi.org/10.22194/JGIAS/24.1503>
- Vargas Jentzsch, P., Ciobotă, V., Salinas, W., Kampe, B., Aponte, P. M., Rösch, P., Popp, J., & Ramos, L. A. (2016). Distinction of Ecuadorian varieties of fermented cocoa beans using Raman spectroscopy. *Food Chemistry*, 211, 274-280. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.05.017>
- Vásquez-Cortez, L. H., Montoya Ramos, E. A., Cadenas Morales, L. I., Plua Montiel, J. A., Camacho López, C. O., Cobos-Mora, F. J., Rodriguez Cevallos, S. L., & Pazmiño Pérez, Á. M. (2025). Physical, chemical and sensory evaluation of cocoa (*Theobroma cacao* L.) CCN51 fermented with *Saccharomyces cerevisiae* and fruit extract (Manila mango) at different stages of ripeness. *Nutricion Clinica y Dietetica Hospitalaria*, 45(3), 117-128. Scopus. <https://doi.org/10.12873/453vasquez>
- Vázquez-deCastro, J. L., Chávez, E., Espinel, R., Hendrix, S., Smolders, E., & Maertens, M. (2024). The economic costs of cadmium non-tariff measures for smallholder cocoa farmers in Ecuador. *The World Economy*, 47(3), 1147-1166. <https://doi.org/10.1111/twec.13488>
- Visscher, A. M., Chavez, E., Caicedo, C., Tinoco, L., & Pulleman, M. (2024). Biological soil health indicators are sensitive to shade tree management in a young cacao (*Theobroma cacao* L.) production system. *Geoderma Regional*, 37, e00772. <https://doi.org/10.1016/j.geodrs.2024.e00772>
- Vizuite-Montero, M., Carrera-Oscullo, P., Barreno-Silva, N. D. L. M., Sánchez, M., Figueroa-Saavedra, H., & Moya, W. (2024). Agroecological alternatives for small and medium tropical crop farmers in the Ecuadorian Amazon for adaptation to climate change. *Agricultural Systems*, 218, 103998. <https://doi.org/10.1016/j.agry.2024.103998>

- Waldron, A., Justicia, R., Smith, L., & Sanchez, M. (2012). Conservation through Chocolate: A win-win for biodiversity and farmers in Ecuador's lowland tropics. *Conservation Letters*, 5(3), 213-221. <https://doi.org/10.1111/j.1755-263X.2012.00230.x>
- Williams Goodrich, L. (2019). *Sumak kawsay*: Social Empowerment through Participatory User-Centred Design in Ecuador. *International Journal of Art & Design Education*, 38(1), 193-206. <https://doi.org/10.1111/jade.12175>
- Zarrillo, S., Gaikwad, N., Lanaud, C., Powis, T., Viot, C., Lesur, I., Fouet, O., Argout, X., Guichoux, E., Salin, F., Solorzano, R. L., Bouchez, O., Vignes, H., Severts, P., Hurtado, J., Yopez, A., Grivetti, L., Blake, M., & Valdez, F. (2018). The use and domestication of *Theobroma cacao* during the mid-Holocene in the upper Amazon. *Nature Ecology & Evolution*, 2(12), 1879-1888. <https://doi.org/10.1038/s41559-018-0697-x>