

Perspectivas científicas del agro

Serie de documentos de trabajo

Escaneo científico sobre cacao criollos

Leidy Johanna Cárdenas Solano
Alexis Morales Castañeda
Carlos Alberto Contreras Pedraza





Serie de documentos de trabajo

Perspectivas científicas del agro

Escaneo científico sobre cacao criollo

Autores

Leidy Johanna Cárdenas Solano
Alexis Morales Castañeda
Carlos Alberto Contreras Pedraza

Mosquera, Abril 2025

La elaboración de este documento se deriva de las acciones de monitoreo y seguimiento de información científica, desarrollados por el Departamento de Inteligencia Científica y Tecnológica de la Dirección de Investigación y Desarrollo de Agrosavia.

Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA)

Sede Central. Kilómetro 14 vía Mosquera-Bogotá, Mosquera, Cundinamarca. Código postal 250047, Colombia.

Citación sugerida: Cárdenas-Solano, L.J., Morales-Castañeda, A. & Contreras-Pedraza, C.A. (2025). *Escaneo científico sobre cacao criollos*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA).

DOI: 10.21930/agrosavia.escaneocientifico.2025.2

Línea de atención al cliente: 018000121515

atencionalcliente@agrosavia.co

<http://www.agrosavia.co>



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

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

Tabla de Contenido

Introducción	7
Estrategia de búsqueda.....	10
Indicadores bibliométricos	10
Dinámica de publicaciones	11
Indicadores de producción científica.....	14
Principales representantes según producción bibliográfica	14
Análisis red de interacción entre autores.....	16
Análisis red de interacción entre instituciones.....	19
Análisis red de interacción entre países	20
Análisis de principales fuentes de difusión y consulta	23
Tendencias temáticas y evolución en tópicos de investigación	28
Mapa temático principales tendencias de investigación	29
Análisis propiedades organolépticas de cacao criollo	32
Dinámica de publicaciones	33
Red de coocurrencia de tópicos clave	38
Bibliografía.....	41

Lista de Figuras

Figura 1. Producción de publicaciones científicas	11
Figura 2. Principales autores e instituciones según producción bibliográfica	15
Figura 3. Principales países según producción bibliográfica	15
Figura 4. Red de colaboración entre autores.....	16
Figura 5. Red de colaboración entre países.....	20
Figura 6. Tópicos tendenciales sobre investigaciones relacionadas con cacao criollo .	28
Figura 7. Mapa temático principales tendencias de investigación	30
Figura 8. Producción de publicaciones científicas sobre propiedades organolépticas de cacao criollo	33
Figura 9. Principales autores de publicaciones sobre propiedades organolépticas de cacao criollo	34
Figura 10. Principales instituciones en publicaciones sobre propiedades organolépticas de cacao criollo	35
Figura 11. Principales fuentes de consulta según número de publicaciones sobre propiedades organolépticas de cacao criollo	36
Figura 12. Red de Coocurrencia de tópicos clave sobre propiedades organolépticas de cacao criollo	38

Lista de Tablas

Tabla 1. Indicadores bibliométricos de la producción científica	14
Tabla 2. Principales fuentes de difusión y consulta	23
Tabla 3. Publicaciones más citadas a nivel global.....	25

Autores

Leidy Johanna Cardenas Solano, M.Sc.

Orcid: [0000-0001-5471-7160](https://orcid.org/0000-0001-5471-7160)

Ingeniera Industrial, MSc en Ingeniería Industrial enfocada en la gestión de la tecnología y la innovación, certificada como Ciudadana de Datos por Alianza Caoba y Científica de datos certificada por MinTIC y Correlation One, con conocimientos en ISO 27001:2013. Investigador Junior reconocido por el Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación de Colombia y Analista del Departamento de Inteligencia y Divulgación Científica de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria AGROSAVIA. Formación en Platzi en Transformación Digital y más de 12 años de experiencia en valoración financiera de tecnologías, transferencia tecnológica y formulación de proyectos de I+D+i para el SGR, Minciencias, y CYTED. Docente universitaria, experiencia de investigación en Gestión de la Innovación Tecnológica y el Conocimiento y formulación de proyectos para la consecución de más de 13 mil millones que se ejecutan a través de proyectos financiados con beneficios tributarios. Las principales áreas de investigación comprenden la gestión del conocimiento, la gestión de la innovación, la gestión de la tecnología, la inteligencia competitiva, la vigilancia tecnológica, la cienciometría, el análisis de las cadenas de valor de la agricultura, la hoja de ruta tecnológica, el benchmarking, y la prospectiva tecnológica.

Alexis Morales Castañeda

Orcid: [0000-0003-1246-6513](https://orcid.org/0000-0003-1246-6513)

Ingeniero Agrónomo de la Universidad Nacional de Colombia, con experiencia en vigilancia científica y tecnológica, inteligencia competitiva, análisis de redes de investigación, información de propiedad intelectual y redacción de patentes. Su trabajo se ha enfocado en el análisis de información bibliográfica y procesamiento con software de análisis bibliométrico con el fin de contribuir al análisis de tendencias en investigación, desarrollo e innovación para el sector agropecuario.

Carlos Alberto Contreras Pedraza, M.Sc.Orcid: [0000-0001-7138-2147](https://orcid.org/0000-0001-7138-2147)

Profesional en Ingeniería Industrial, Magíster en Ingeniería Agrícola y estudios en Magister en Ingeniería Industrial de la Universidad Nacional de Colombia. Investigador Master Asociado de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria – AGROSAVIA y Coordinador de Inteligencia Científica de la misma. Experiencia en investigación y ejecución de proyectos en el área de gestión tecnológica, gestión de conocimiento y direccionamiento estratégico de sectores productivos. Ha desarrollado proyectos con la Universidad Nacional de Colombia, el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, AGROSAVIA, La Corporación de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo de la Industria Naval Marítima y Fluvial - COTECMAR, Cámara de Comercio de Cartagena, Universidad Tecnológica de Bolívar, entre otras. Conocimiento y habilidad en el desarrollo de ejercicios de vigilancia tecnológica y comercial, benchmarking, diagnóstico tecnológico, prospectiva, desarrollo de indicadores en CTI, entre otros. Experiencia en estudios estratégicos para cadenas productivas agroindustriales, manejo de bases de datos de información científica y comercial, elaboración y actualización de indicadores de CTI para el sector agropecuario, al igual herramientas informáticas básicas y especializadas en el campo de la vigilancia tecnológica y comercial.

Introducción

La diversidad genética de los cacaos criollos (*Theobroma cacao* L.) constituye un eje estratégico en la conservación de recursos fitogenéticos y en el desarrollo de productos diferenciados en el mercado internacional del cacao fino y de aroma. Los cacaos criollos, clasificados botánicamente como *T. cacao* subsp. *cacao*, representan una de las diez agrupaciones genéticas reconocidas dentro de la especie y, aunque históricamente fueron cultivados por las civilizaciones mesoamericanas, hoy en día son escasos en bancos de germoplasma internacionales, con apenas siete clones formalmente identificados como “verdaderos Criollos” (Lachenaud & Motamayor, 2017; Motamayor et al., 2002). En Colombia, esta línea genética está presente en regiones como Tumaco, donde recientes análisis con marcadores SNP han evidenciado una mezcla genética compleja con ascendencia parcial Criollo, lo que subraya su valor como base para mejoramiento genético y producción de cacaos especiales (Delgadillo-Duran et al., 2024).

Desde el punto de vista sensorial, los criollos han sido ampliamente reconocidos por sus atributos organolépticos superiores, destacándose por un perfil de sabor suave, baja astringencia y complejidad aromática, con notas florales, frutales, nuez y caramelo (Wahyuni et al., 2021; Mestanza et al., 2022). Estos atributos están directamente influenciados por el perfil de metabolitos secundarios presentes en los granos, en particular por los compuestos volátiles que se desarrollan durante la fermentación. Estudios realizados en Venezuela y Costa Rica han identificado hasta 121 compuestos aromáticos en muestras fermentadas de cacao criollo, pertenecientes a familias como ésteres, alcoholes, ácidos y pirazinas, lo que contribuye a la singularidad del producto final (Portillo et al., 2009; Wexler et al., 2025).

Dentro del grupo criollo, los denominados “cacaos blancos” —caracterizados por la ausencia de antocianinas en los granos— han recibido atención especial debido a su valor sensorial. Estos presentan mayor concentración de ácido cafeico aspártico, compuesto estable durante la fermentación y clave en la definición del sabor final (Elwers et al., 2009). Asimismo, investigaciones realizadas en la región amazónica de Perú han optimizado el proceso fermentativo de estos cacaos, logrando altos puntajes en evaluaciones sensoriales con perfiles florales, frutales y dulces (Mestanza et al., 2022). Estudios similares en criollos

venezolanos han corroborado que el tiempo y las condiciones de fermentación son determinantes para conservar e intensificar sus atributos sensoriales distintivos (Portillo et al., 2014).

Desde el enfoque ecofisiológico, recientes investigaciones han mostrado que los clones criollos presentan respuestas diferenciadas frente al estrés abiótico, particularmente a la disponibilidad de luz y agua. En sistemas agroforestales de Belice, el cultivar Criollo mostró menores tasas fotosintéticas y menor estrés fisiológico bajo sombra en comparación con Trinitario, lo que sugiere una adaptación más eficiente a condiciones de baja irradiación (Shiflett et al., 2025). Asimismo, estudios en clones del complejo Nacional x Criollo en Esmeraldas, Ecuador, evidenciaron que el origen genético influye en la respuesta a la sequía: los clones del sur mostraron mayor eficiencia en el transporte de agua y menor impacto en el potencial hídrico foliar, lo cual refuerza el papel de la variabilidad genética en la adaptación a condiciones agroecológicas contrastantes (Almeida et al., 2025).

Finalmente, aunque los atributos varietales son determinantes, estudios recientes han señalado que factores como el terroir, el manejo postcosecha y las prácticas de producción inciden de manera significativa en las propiedades físico-químicas y funcionales del cacao. En investigaciones sobre chocolates oscuros y polvos de cacao, el contenido de compuestos bioactivos como flavonoides, cafeína y capacidad antioxidante fue superior en Criollo en comparación con Forastero y Trinitario, aunque estas diferencias pueden diluirse en función de los procesos industriales aplicados (Parada et al., 2024; Moussoyi Moundanga et al., 2024).

En este contexto, el presente estudio tiene como propósito aportar al conocimiento sobre los cacaos criollos colombianos, haciendo énfasis en su diversidad genética, atributos sensoriales distintivos y potencial adaptativo, con el objetivo de contribuir a su conservación, valorización comercial y aprovechamiento estratégico en la consolidación de Colombia como un referente mundial en la producción de cacaos especiales.

Para ello, se realiza una revisión sustentada en el análisis de indicadores bibliométricos y cienciométricos que permiten identificar patrones de publicación, redes de colaboración, tópicos emergentes y áreas de alta productividad científica. Asimismo, a partir del análisis cualitativo de los resúmenes de artículos seleccionados —tanto recientes como altamente

citados— se caracterizan la evolución temática y las tendencias investigativas en torno a los cacao criollos.

La estrategia metodológica incluyó una consulta estructurada en la base de datos Scopus®, utilizando una ecuación de búsqueda basada en las palabras clave “cocoa”, “cacao”, “chocolate” y “criollo”. Los metadatos recuperados fueron analizados mediante la herramienta *Bibliometrix*® v.4.3.0 (Aria & Cuccurullo, 2017), la cual permitió construir mapas temáticos para evaluar el grado de desarrollo y relevancia de los temas abordados en la literatura científica. Adicionalmente, se empleó el software *VOSviewer*® v.1.6.20 (van Eck & Waltman, 2010) para la identificación y visualización de clústeres temáticos mediante redes de coocurrencia de palabras clave, representadas gráficamente a través de nodos y conexiones que reflejan relaciones semánticas entre conceptos clave.

Estrategia de búsqueda

Para el análisis de cacao criollos se descargó un corpus con 211 registros de la base de datos de Scopus® utilizando la siguiente ecuación de búsqueda, la cual se compone de un conjunto de palabras o términos relevantes conectados mediante operadores booleanos sin ningún tipo de restricción temporal, por tipo de documento y por área temática:

```
(TITLE-ABS-KEY (cocoa OR cacao OR chocolate) AND TITLE-ABS-KEY (criollo OR creole OR "cacao subsp*"))
```

La base de datos Scopus® fue consultada directamente para obtener detalles sobre los documentos seleccionados, incluyendo autores, campos de estudio y número de publicaciones. Esta plataforma recopila y organiza una amplia variedad de fuentes, como revistas científicas, artículos de investigación y revisión, libros, patentes y otros recursos. Esto se logra mediante la extracción de metadatos de títulos, autores, resúmenes y palabras clave. Este proceso es posible gracias al uso de algoritmos de búsqueda y análisis semántico, teniendo en cuenta factores como las palabras clave utilizadas, la relevancia de los documentos, la calidad de las revistas y las citas recibidas (Flórez-Martínez et al., 2023). Estos factores se describen a través de indicadores bibliométricos implementados por Scopus®.

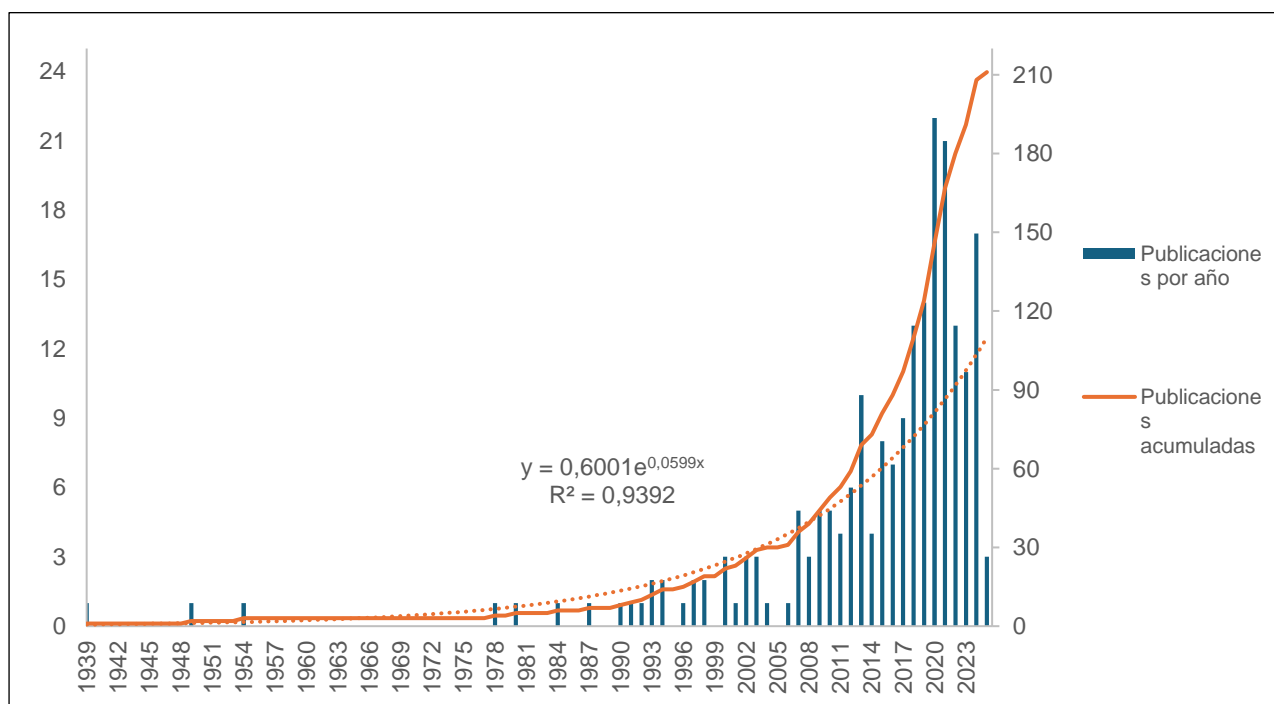
Indicadores bibliométricos

A continuación, se presenta un análisis exhaustivo de la producción científica sobre cacao criollos. Este análisis abarca la dinámica de publicaciones, considerando el crecimiento promedio anual en términos de número de publicaciones, lo cual permite identificar cambios significativos en periodos específicos dentro de la ventana temporal analizada y reflejar posibles variaciones o tendencias emergentes en la generación de conocimiento en este ámbito. Asimismo, se analizan los referentes temáticos de investigación, los tópicos persistentes a lo largo del tiempo y la red de coocurrencia de temas, proporcionando una visión integral de las principales áreas de interés y las conexiones temáticas en este campo.

Dinámica de publicaciones

El análisis de la tendencia en la producción de publicaciones científicas representada en la Figura 1 sobre cacao criollos, refleja un crecimiento exponencial en el interés científico por esta temática. Así lo evidencia la ecuación ajustada $y=0,6001e^{0.0599xy}$, cuyo coeficiente de determinación ($R^2=0.9392$) indica un ajuste altamente preciso al modelo de crecimiento exponencial. Este alto valor de R^2 confirma una fuerte correlación entre los años y el número de publicaciones acumuladas, validando la tendencia exponencial en la evolución de la producción científica.

Figura 1. Producción de publicaciones científicas



Fuente. Elaborado a partir de datos de Scopus®, fecha de actualización de consulta abril de 2025. Software de análisis Excel®

A pesar de que la mayoría de los años el volumen de publicaciones no supera los 30 documentos anuales, se observa un repunte significativo en 2020 y 2021, con 22 y 21 publicaciones respectivamente, los valores más altos del periodo analizado. El primer registro bibliográfico sobre este tema se remonta a 1939, con la publicación del artículo “*The presence of leuco-anthocyanins in Criollo cacao*” (Knapp & Hearne, 1939), en *The*

Analyst, que constituye un hito fundacional en el estudio químico de esta variedad de cacao, al identificar por primera vez la presencia de leucoantocianinas, compuestos relacionados con las propiedades sensoriales y antioxidantes del grano. A pesar de su antigüedad, esta publicación ha tenido un impacto duradero en la comunidad científica, siendo citada en estudios contemporáneos que abordan desde la genómica del cacao hasta su valor nutricional y funcional. Por ejemplo, (Cornejo et al., 2018) utilizaron este artículo como referencia en su estudio genómico del cacao, demostrando que la población Criollo fue objeto de un proceso de domesticación hace aproximadamente 3600 años, acompañado de una fuerte selección sobre genes relacionados con antocianinas y teobromina. Asimismo, investigaciones como las de (Miller et al., 2006; Rusconi et al., 2013; Stahl et al., 2009) han retomado los hallazgos de Knapp y Hearne para profundizar en los contenidos de proantocianidinas, flavonoides y otros compuestos bioactivos presentes en productos derivados del cacao, destacando la importancia de las condiciones de procesamiento sobre la conservación de estas moléculas en alimentos como pasteles, chocolates y bebidas.

Estas citas demuestran que la publicación de 1939 no solo inauguró una línea de investigación clave sobre los compuestos fenólicos del cacao Criollo, sino que también ha servido de fundamento para estudios modernos sobre genética, salud humana y calidad del chocolate, consolidando su vigencia y relevancia dentro del campo.

Respecto al análisis de los periodos de tiempo que se pueden identificar en la Figura 1. Durante los primeros 60 años (1939–1999), la producción científica fue muy escasa y esporádica, con apenas 19 documentos acumulados al cierre del siglo XX.



Esta etapa inicial se caracterizó por una baja visibilidad del tema en la literatura académica, posiblemente por la limitada priorización del cacao criollo como objeto de estudio científico en ese periodo.

A partir del año 2000, se observa un punto de inflexión. En las décadas siguientes, especialmente entre 2010 y 2024, la producción se incrementa drásticamente, pasando de 49 publicaciones acumuladas en 2010 a 208 en 2024, lo que representa un aumento de más del 324 % en apenas 14 años. Este crecimiento coincide con una revalorización del cacao criollo por su calidad sensorial, su diversidad genética y su potencial para mercados especializados, como lo demuestran múltiples estudios recientes.

El año 2020 marca un pico destacado con 22 publicaciones, coincidiendo con una intensificación de los esfuerzos globales por identificar variedades de cacao con atributos diferenciadores en sabor, genética y adaptación climática. Este impulso continúa en los años posteriores, consolidando una tendencia ascendente que responde tanto a la demanda de productos de alta calidad como al interés por conservar los recursos genéticos tradicionales y nativos.

En resumen, el análisis revela que el interés científico por los cacaos criollos ha evolucionado de manera exponencial, con una dinámica de crecimiento que refleja su creciente importancia en el ámbito académico, agroindustrial y de conservación. Este comportamiento permite anticipar un panorama futuro en el que el estudio de los cacaos criollos seguirá ampliándose, con potenciales contribuciones en genética, fisiología, ecología, biotecnología y desarrollo sostenible.



Indicadores de producción científica

De acuerdo con los indicadores bibliométricos presentados en la Tabla 1, la comunidad científica que investiga sobre cacao criollo está conformada por 900 autores, quienes han generado un total de 211 publicaciones durante el período comprendido entre 1939 y 2025. El promedio de 26,25 citas por artículo sugiere un impacto moderado en la literatura científica, lo cual refleja que los estudios publicados han sido reconocidos y referenciados en el campo, contribuyendo significativamente al avance del conocimiento en esta área de investigación.

Tabla 1. Indicadores bibliométricos de la producción científica

Indicadores Bibliométricos	Resultados
Período de análisis	1939-2025
Número de publicaciones	211
Citas promedio por artículo	26,25
Referencias totales	8.928
Antigüedad media de los documentos (años)	10,9
Palabras clave de los autores (DE)	657
Palabras clave adicionales (ID)	964
Número total de autores	900
Co-autores por documento	5,61
Colaboración internacional (%)	45,02%
Número total de revistas y fuentes	124
Tipos de documentos publicados:	
- Artículos	192
- Capítulos de libros	9
- Artículos de conferencias	5
- Revisiones	4

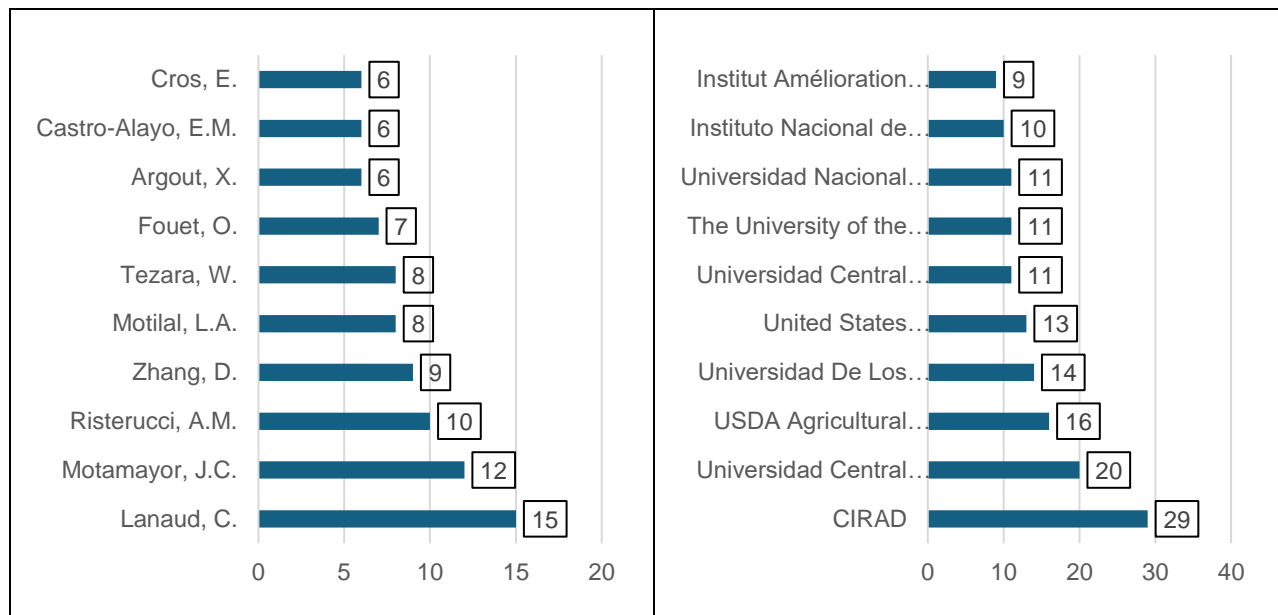
Fuente. Elaboración propia a partir de datos de Scopus®, fecha de actualización de consulta abril de 2025. Software de análisis Bibliometrix 4.4.2®

Principales representantes según producción bibliográfica

El análisis bibliométrico confirma que la investigación sobre cacao criollo ha crecido exponencialmente en las últimas décadas, con el investigador Lanaud, C., la institución

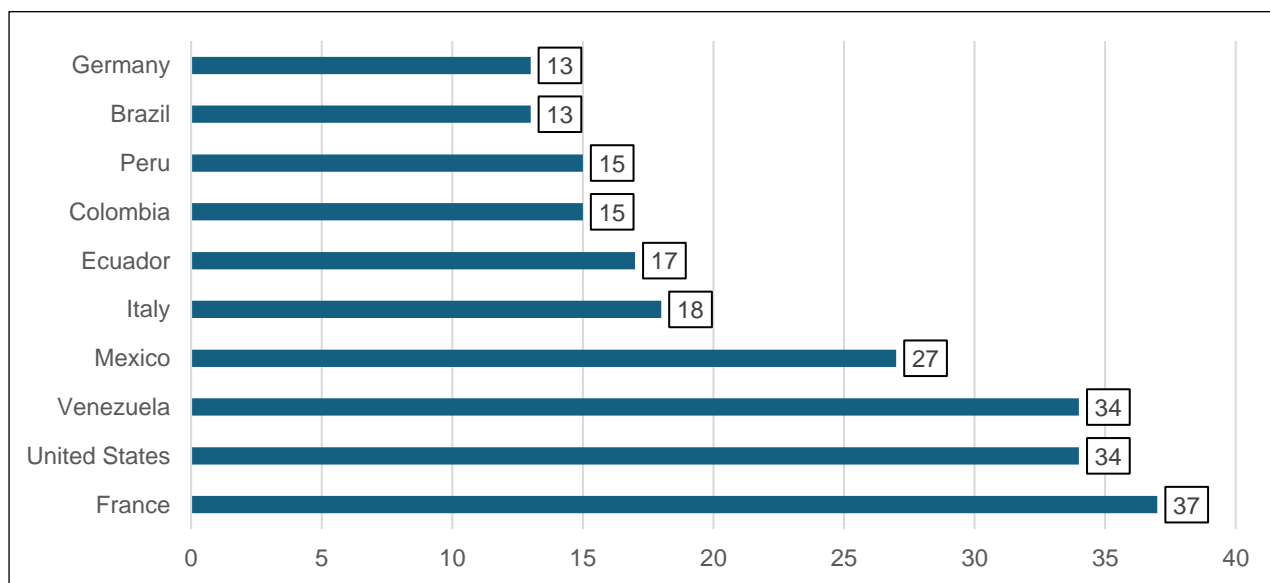
CIRAD y el país Francia como los principales actores en este campo (Ver Figura 2 y Figura 3).

Figura 2. Principales autores e instituciones según producción bibliográfica



Fuente. Elaborado a partir de datos de Scopus®, fecha de actualización de consulta abril de 2025. Software de análisis Excel®

Figura 3. Principales países según producción bibliográfica

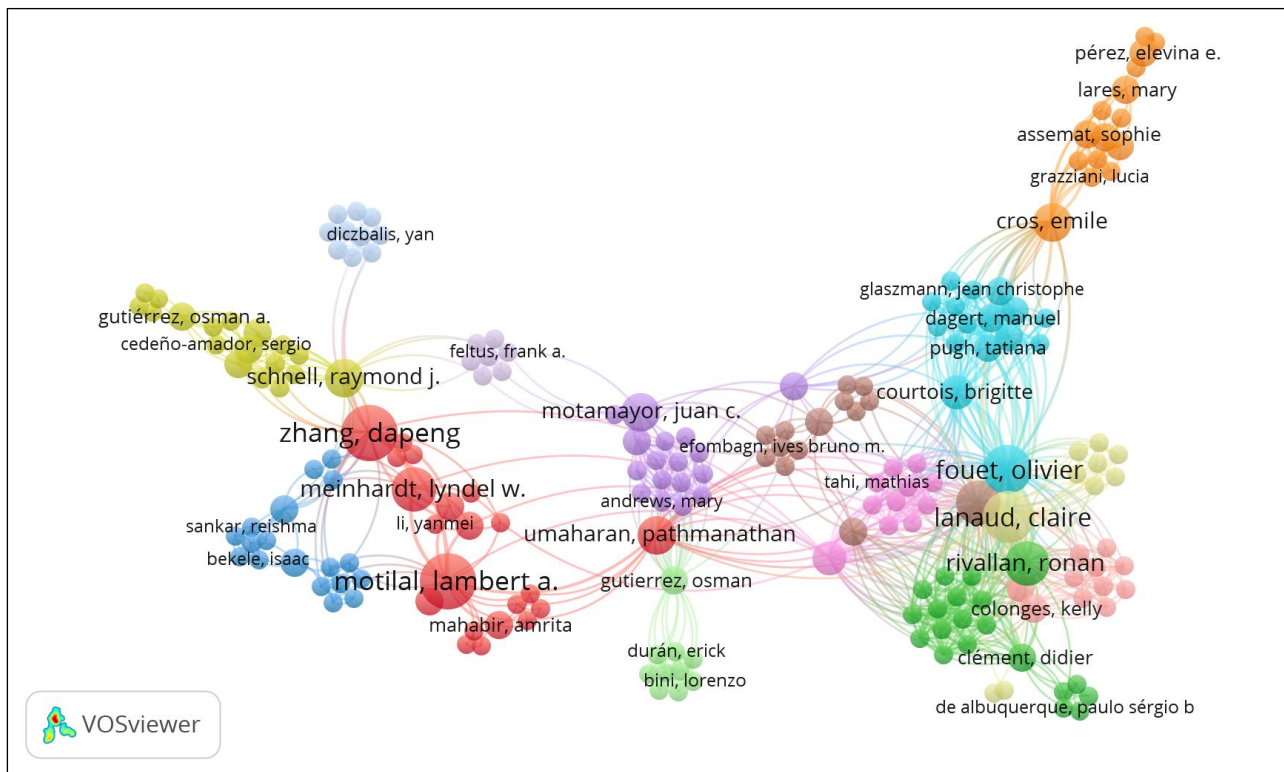


Fuente. Elaboración propia a partir de datos de Scopus®, fecha de actualización de consulta abril de 2025. Software de análisis Bibliometrix 4.4.2®

Análisis red de interacción entre autores

El gráfico de red generado con VOSviewer® muestra la estructura de colaboración científica entre autores que investigan sobre cacao criollos (Figura 4). Esta red evidencia un alto grado de interconexión académica, conformada por 198 autores agrupados en 14 clústeres de colaboración, con un total de 1318 enlaces de coautoría. Esto indica un entramado denso de interacciones, donde los investigadores no solo producen conocimiento de manera individual, sino que conforman comunidades de práctica consolidadas.

Figura 4. Red de colaboración entre autores



Fuente. Elaboración propia a partir de datos de Scopus®. Información recuperada en abril de 2025. Software de procesamiento VOSviewer® 1.6.20

Cada clúster representa un grupo de investigadores que han colaborado estrechamente, compartiendo líneas temáticas comunes. Destacan figuras como Motamayor, Juan C., Fouet, Olivier, Zhang, Dapeng, Motilal, Lambert A., y Lanaud, Claire, quienes actúan como nodos centrales o "puentes" de colaboración entre grupos, al tener múltiples conexiones

con otros autores fuera de su clúster inmediato. Esto sugiere que cumplen un rol articulador clave en la diseminación de conocimiento y en la integración de enfoques científicos complementarios.

Por otro lado, se observa también la presencia de nodos más periféricos que, aunque con menor grado de conectividad, contribuyen a la expansión de la red mediante aportes especializados o regionales. La variedad de colores denota la diversidad temática y geográfica dentro del campo, reflejando una red verdaderamente internacional.

Respecto al análisis detallado de los investigadores, Lanaud cuenta con la mayor producción científica, con un total de 15 publicaciones. Con base en sus cinco publicaciones más recientes, las líneas de investigación desarrolladas por el grupo liderado por Lanaud et al. se enfocan en los siguientes ejes temáticos:

1. **Conservación y caracterización de diversidad genética local:** A través de estudios como el realizado en la Amazonía ecuatoriana, se evidencia un fuerte interés en la recolección, evaluación genética y conservación de accesiones nativas de *Theobroma cacao*, con énfasis en variedades de aroma fino como Nacional y Criollo. Estos esfuerzos no solo buscan preservar recursos fitogenéticos, sino también brindar herramientas para el mejoramiento varietal adaptado a escenarios de cambio climático (Fouet et al., 2022a).
2. **Resistencia a enfermedades:** En el contexto africano, particularmente en Costa de Marfil, se ha evaluado la estructura genética de accesiones afectadas por el *Cocoa Swollen Shoot Virus Disease* (CSSVD), con el fin de identificar fuentes potenciales de resistencia y contribuir a la selección de materiales tolerantes mediante análisis de diversidad genética y estructura poblacional (Guiraud et al., 2018).
3. **Genómica estructural y funcional del cacao Criollo:** Se han producido avances significativos en la calidad de los ensamblajes genómicos de cultivares Criollo, como la versión 2.0 del genoma B97-61/B2, mejorando la resolución estructural y funcional para estudios de genómica comparativa, expresión génica y mapeo de caracteres complejos (Argout et al., 2017).

4. **Sistemas de incompatibilidad sexual en cacao:** Otra línea relevante está centrada en la identificación de loci y genes asociados a la auto-incompatibilidad, clave en la determinación de la capacidad de fructificación. Se han desarrollado marcadores diagnósticos para predecir la autocompatibilidad, lo cual tiene un impacto directo en la eficiencia reproductiva de los cultivares Criollo y Amelonado (Lanaud et al., 2017).
5. **Desarrollo de herramientas genéticas para mejoramiento asistido:** Finalmente, se ha trabajado en la generación y mapeo de nuevos marcadores genéticos (SNPs y SSRs) derivados de transcritos expresados, así como en la construcción de mapas de alta densidad, fundamentales para acelerar los procesos de selección en programas de mejoramiento genético del cacao (Allegre et al., 2012).

Estas líneas de investigación reflejan un enfoque integral que articula conservación, genómica funcional, fitomejoramiento y sostenibilidad productiva del cacao, con énfasis particular en los cultivares de alto valor como el Criollo. Se debe tener en cuenta que, convencionalmente, *T. cacao* L. ha sido clasificado en tres grupos principales: Forastero, Criollo y Trinitario (Borja Fajardo et al., 2022), siendo este último un híbrido entre los dos primeros grupos genéticos (Scollo et al., 2020). El Forastero es responsable de aproximadamente el 95 % de la producción mundial total, debido a su alta productividad y resistencia a enfermedades y plagas (Jaramillo Flores, 2019). Según su calidad, las variedades Criollo y Trinitario suelen producir “cacao fino o de aroma”, mientras que los clones Forastero generalmente producen cacao a granel, básico u ordinario, con algunas excepciones (Devy et al., 2019).

Además, su publicación más citada, con 269 citas, explora el origen y la domesticación del cacao Criollo cultivado por los mayas (Motamayor et al., 2002a). Este estudio fue pionero en distinguir entre individuos *Ancient Criollo* y *Modern Criollo* mediante análisis de RFLP y microsatélites, revelando que los *Ancient Criollo* conforman un grupo genéticamente homogéneo con altos niveles de homocigosidad y baja diversidad genética. Los hallazgos sugieren que el Criollo no constituye una subespecie separada, sino que probablemente proviene de un reducido grupo de individuos originarios de Sudamérica, diseminados hacia Centroamérica por acción humana.

Análisis red de interacción entre instituciones

En cuanto a las instituciones, CIRAD (Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement) se posiciona como el actor con mayor número de publicaciones científicas en el campo del cacao criollo, con un total de 29 documentos registrados en la base de datos analizada (ver Figura 2b). Las cinco publicaciones más recientes vinculadas a CIRAD —publicadas entre 2020 y 2022— reflejan un enfoque diversificado en la conservación de la diversidad genética, la resistencia a enfermedades y la mejora de cultivares finos de aroma.



Por ejemplo, el estudio de (Fouet et al., 2022a) destaca la recolección de accesiones nativas de cacao en la Amazonía ecuatoriana, identificando un punto crítico de diversidad genética y ofreciendo nuevos recursos para programas de mejoramiento varietal adaptados al cambio climático. En la misma línea, (Ceccarelli et al., 2022) analizan el estado de conservación y uso de los recursos genéticos del cacao en seis países latinoamericanos, subrayando la necesidad de mejorar los sistemas de trazabilidad y evaluación genética.

Otros trabajos recientes como el de (Lagneaux et al., 2021) abordan la diversidad de especies del género *Theobroma* en sistemas agroforestales de pequeños productores en la Amazonía peruana, alertando sobre la pérdida de agrobiodiversidad debido al fomento

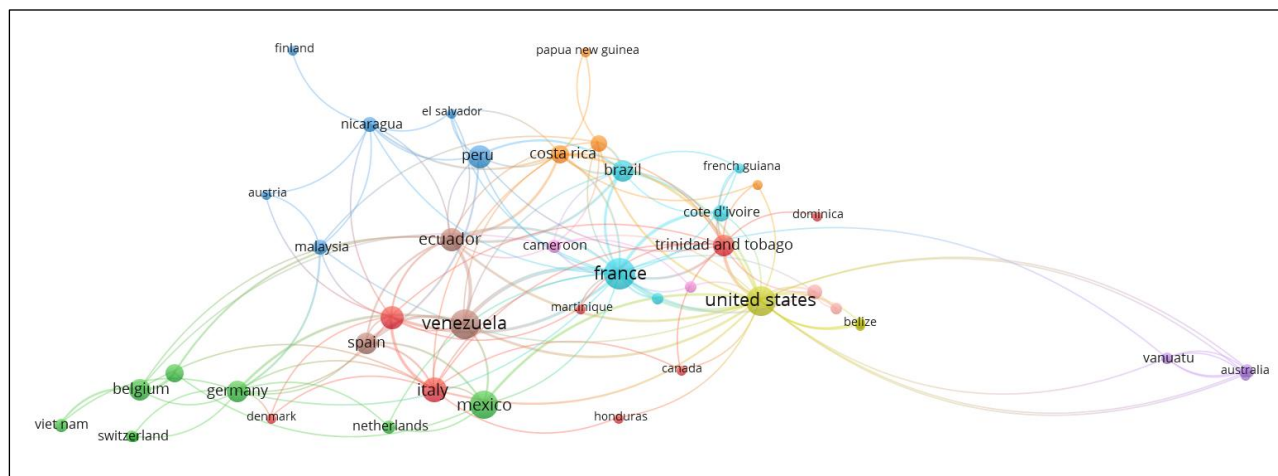
de variedades industriales. Asimismo, investigaciones como la de (Adenet et al., 2020) y (Mournet et al., 2020) han contribuido a entender tanto la diversidad genética del cacao en Martinica como los determinantes genéticos de la resistencia al hongo *Moniliophthora perniciosa* en *Theobroma grandiflorum*, especie relacionada con el cacao.

En los próximos años, se espera que la producción científica de CIRAD continúe en ascenso, con énfasis en herramientas genómicas, mapeo de QTLs y conservación participativa in situ, consolidando su papel como líder en investigación genética y fitosanitaria del cacao.

Análisis red de interacción entre países

El gráfico de red generado con VOSviewer® muestra la estructura de colaboración científica entre países que investigan sobre cacao criollos (Figura 5). Esta red evidencia un ecosistema internacional de cooperación robusto, conformado por 48 países agrupados en 10 clústeres de colaboración, con un total de 147 enlaces de coautoría entre naciones.

Figura 5. Red de colaboración entre países



Fuente. Elaboración propia a partir de datos de Scopus®. Información recuperada en abril de 2025. Software de procesamiento VOSviewer® 1.6.20

Entre los grupos más destacados, sobresalen el clúster rojo y el clúster verde, que agrupan el mayor número de países con colaboraciones activas. En el clúster rojo, se encuentra Colombia, junto a países como Canadá, Dinamarca, Dominica, Honduras, Italia y Trinidad y Tobago, evidenciando la participación de América Latina, el Caribe y Europa del norte y

sur en una red integradora. Este clúster parece articular tanto países productores de cacao como centros de investigación avanzados en genética vegetal y biotecnología.

El clúster verde, por su parte, incluye a países europeos como Alemania, Bélgica, Suiza y los Países Bajos, con conexiones a países de Asia como Vietnam y Malasia, sugiriendo un foco en análisis de calidad, química sensorial, y desarrollo tecnológico aplicable a productos derivados del cacao.

El nodo central de Estados Unidos actúa como articulador clave en la red, conectando con múltiples clústeres y facilitando interacciones entre regiones distantes, como Oceanía (Australia y Vanuatu), África occidental (Côte d'Ivoire) y el Caribe. Asimismo, países como Francia, Ecuador, Venezuela, México y Perú emergen como centros regionales importantes, consolidando el papel de América Latina como un eje fundamental en la investigación sobre cacao criollos.

Finalmente, y de acuerdo con los resultados de la Figura 2, el país con mayor número de publicaciones científicas dentro de la base de datos Scopus® es Francia, que lidera ampliamente la investigación con 37 publicaciones, seguido por Estados Unidos y Venezuela, ambos con 34 documentos, y México, con 27 publicaciones. Estos cuatro países concentran la mayor parte de la producción científica en el área, lo que sugiere una fuerte inversión en el estudio del cacao criollo desde distintas perspectivas, incluyendo genética, diversidad, calidad sensorial y conservación. La presencia destacada de países latinoamericanos como Venezuela, México, Ecuador, Colombia y Perú resalta también el interés regional por conservar y valorizar estos recursos genéticos nativos, mientras que las contribuciones de países europeos y norteamericanos evidencian un sólido respaldo





institucional, tecnológico y financiero al desarrollo científico en torno al cacao de alta calidad.

Las investigaciones más recientes publicadas por autores de Francia, y quienes trabajan fuertemente en colaboración con Colombia, han abordado diversos aspectos de la diversidad genética, la calidad y la conservación de cacaos criollos y de aroma, con un enfoque especial en Latinoamérica.

En 2024, se publicó el estudio “Exploring the Diversity and Ancestry of Fine-Aroma Cacao from Tumaco, Colombia”, el cual caracterizó genéticamente 25 accesiones locales utilizando más de 350,000 SNPs. La investigación reveló que los materiales de Tumaco presentan una estructura genética híbrida con ancestrías combinadas de los grupos Nacional, Iquitos, Amelonado y Criollo, aportando información clave para los programas de mejoramiento de cacao en la región Pacífica colombiana (Delgadillo-Duran et al., 2024).

También en 2024, dos artículos liderados por investigadores franceses exploraron el impacto de la variedad de cacao en la calidad comercial, fisicoquímica y funcional de los granos y polvos de cacao producidos en la República del Congo. Aunque se trabajó con las variedades Criollo, Forastero y Trinitario, los hallazgos sugieren que factores como el tostado y el procesamiento tienen un mayor efecto sobre las propiedades del cacao que la variedad genética por sí sola (Moussoyi Moundanga et al., 2024b, 2024a).

En 2022, el artículo “Collection of native *Theobroma cacao* L. accessions from the Ecuadorian Amazon” destacó una expedición participativa que permitió recolectar 283 accesiones nativas, muchas con señales de ancestría criolla. Este trabajo fortaleció el conocimiento sobre la estructura genética del cacao y proporcionó nuevos recursos genéticos para programas de mejoramiento varietal adaptados al cambio climático (Fouet et al., 2022b).

Finalmente, otra publicación del mismo año, “Conservation and use of genetic resources of cacao (*Theobroma cacao* L.) by gene banks and nurseries in six Latin American countries”, presentó un diagnóstico detallado del estado de los bancos de germoplasma, viveros y programas de mejoramiento en países como Perú, Ecuador, Nicaragua y Honduras. Este trabajo identificó debilidades en trazabilidad, caracterización y transferencia tecnológica, proponiendo estrategias de inversión para fortalecer el uso sostenible de la diversidad genética del cacao (Ceccarelli et al., 2022).

En conjunto, estos estudios reflejan la activa participación de instituciones francesas en proyectos de investigación colaborativa, particularmente con Colombia y otros países de América Latina, con el objetivo común de preservar, valorizar y mejorar los cacao de calidad diferenciada.

Análisis de principales fuentes de difusión y consulta

Además, utilizando el software de análisis Bibliometrix®, se identificaron las principales fuentes de difusión y consulta de las investigaciones analizadas, las cuales se detallan en la Tabla 2. Estas fuentes representan canales clave para la divulgación científica, facilitando la accesibilidad del conocimiento y potenciando su impacto en la comunidad académica y en sectores aplicados.

Tabla 2. Principales fuentes de difusión y consulta

Publicación	Breve descripción
Foods (9 artículos)	Revista de acceso abierto revisada por pares, publicada por MDPI desde 2012. Cubre diversos aspectos de la ciencia de los alimentos, incluyendo química, microbiología, nutrición y tecnología alimentaria.
Journal of Agricultural and Food Chemistry (8 artículos)	Publicada semanalmente por la American Chemical Society desde 1953. Se centra en la química y bioquímica relacionadas con la agricultura y los alimentos, incluyendo estudios sobre composición, seguridad y efectos del procesamiento de alimentos.
Tree Genetics and Genomes (8 artículos)	Revista internacional revisada por pares que ofrece cobertura integral de la genética y genómica de árboles

Publicación	Breve descripción
	forestales y hortícolas, incluyendo estudios sobre diversidad genética, mapeo de genes y mejoramiento genético.
Food Research International (7 artículos)	Publicada por Elsevier, esta revista mensual revisada por pares cubre diversos aspectos de la ciencia de los alimentos, incluyendo química, toxicología, ingeniería y calidad alimentaria.
Genetic Resources and Crop Evolution (7 artículos)	Dedicada a todos los aspectos de la investigación sobre recursos genéticos de plantas, incluyendo estudios taxonómicos, morfológicos, fisiológicos, bioquímicos y genéticos, así como la gestión de bancos de germoplasma.
Heliyon (7 artículos)	Revista de acceso abierto de Cell Press que publica investigaciones científicamente precisas y valiosas en todas las áreas de las ciencias físicas, aplicadas, de la vida, sociales y médicas. Acepta estudios con resultados negativos o nulos y réplicas.
Revista de la Facultad de Agronomía (6 artículos)	Publicada por la Universidad del Zulia, Venezuela. Difunde artículos científicos, notas técnicas y comunicaciones en el campo de la agronomía vegetal y animal, con énfasis en la región latinoamericana.
Theoretical and Applied Genetics (6 artículos)	Revista revisada por pares publicada por Springer que abarca áreas clave de la genética moderna de plantas, genómica y biotecnología, con impacto significativo en el mejoramiento vegetal.
BMC Genomics (4 artículos)	Revista de acceso abierto revisada por pares que considera artículos sobre todos los aspectos de la genética, genómica y proteómica.
Botanical Sciences (4 artículos)	Revista internacional revisada por pares que publica artículos científicos en ciencias de las plantas.

Fuente. Elaboración propia a partir de datos de Scopus®, fecha de actualización de consulta abril 2025. Software de análisis Bibliometrix 4.4.2®

Estas publicaciones son fuentes clave para investigadores interesados en la genética, mejoramiento, conservación y calidad del cacao criollo y de aroma, así como en temas relacionados con la ciencia de los alimentos y la agronomía.

En la Tabla 3 se identifican las publicaciones más citadas dentro del corpus de la producción científica recuperada con la ecuación de búsqueda definida en el alcance de este escaneo científico.

Tabla 3. Publicaciones más citadas a nivel global

Publicación	Descripción	Citas
Flavor Chemistry of Cocoa and Cocoa Products—An Overview (Aprotosoaie et al., 2016)	Revisión sobre la química del sabor en el cacao, incluyendo compuestos volátiles y no volátiles, influencias del genotipo, postcosecha y procesamiento en el perfil aromático del chocolate.	352
Cacao domestication I: the origin of the cacao cultivated by the Mayas (Motamayor et al., 2002b)	Estudio genético que revela el origen del cacao Criollo y su divergencia respecto a otras variedades, apoyando su origen en América Central con vínculos con poblaciones sudamericanas.	269
The genome sequence of the most widely cultivated cacao type and its use to identify candidate genes regulating pod color (Motamayor et al., 2013)	Ensamblaje genómico de la variedad Matina 1-6 y análisis de genes candidatos relacionados con el color de la mazorca, destacando el gen TcMYB113.	209
Changes in Key Aroma Compounds of Criollo Cocoa Beans During Roasting (Frauendorfer & Schieberle, 2008)	Análisis del perfil aromático del cacao Criollo antes y después del tostado, destacando los cambios en compuestos como los aldehídos de Strecker y lactonas.	205

Publicación	Descripción	Citas
A high-density linkage map of <i>Theobroma cacao</i> L. (Risterucci et al., 2000)	Mapa genético de alta densidad utilizando múltiples tipos de marcadores moleculares, útil para programas de mejoramiento genético.	200
Ecophysiology of the cacao tree (Almeida & Valle, 2007)	Revisión del desarrollo fisiológico del cacao, incluyendo tolerancia al estrés abiótico, fisiología floral y requerimientos de luz y agua en función del rendimiento.	187
Determination of theobromine, theophylline and caffeine in cocoa samples by a high-performance liquid chromatographic method with on-line sample cleanup in a switching-column system (Brunetto et al., 2007)	Desarrollo de un método cromatográfico para cuantificar alcaloides clave en muestras de cacao y su relación con el tipo genético y el proceso de fermentación.	159
Relationship between Procyanidin and Flavor Contents of Cocoa Liquors from Different Origins (Counet et al., 2004)	Estudio del contenido de prociandinas y compuestos de sabor en licor de cacao de distintas variedades y su relación con la fermentación y la calidad sensorial.	142
Genetic fingerprinting of <i>Theobroma</i> clones using randomly amplified polymorphic DNA markers (Wilde et al., 1992)	Aplicación de marcadores RAPD para diferenciar genéticamente clones de cacao Criollo, Forastero y Trinitario, con utilidad en programas de conservación y mejoramiento.	141
Formation of aromatic compounds precursors during fermentation of Criollo and Forastero cocoa (Castro-Alayo et al., 2019)	Revisión del proceso de formación de precursores de aroma durante la fermentación del cacao Criollo y Forastero, subrayando su importancia en el perfil sensorial final.	100

Fuente. Elaboración propia a partir de datos de Scopus®, fecha de actualización de consulta marzo 2025. Software de análisis Bibliometrix 4.4.2®

Las publicaciones más citadas a nivel global, según la Tabla 3, reflejan un enfoque consolidado en la caracterización genética, la composición química del aroma y sabor, y los procesos fisiológicos y bioquímicos del cacao, especialmente del tipo Criollo. Estas investigaciones han contribuido significativamente a entender la diversidad genética del cacao, su domesticación, así como los factores que inciden en la formación de compuestos aromáticos clave durante la fermentación y el tostado.

Particularmente, los estudios con mayor número de citas se centran en:

- El análisis del perfil sensorial y químico del cacao y el chocolate,
- La domesticación del cacao Criollo y su origen mesoamericano,
- El desarrollo de mapas genéticos y genomas de referencia para apoyar programas de mejoramiento,
- Y el impacto de los procesos postcosecha como la fermentación y el tostado en la calidad del grano.

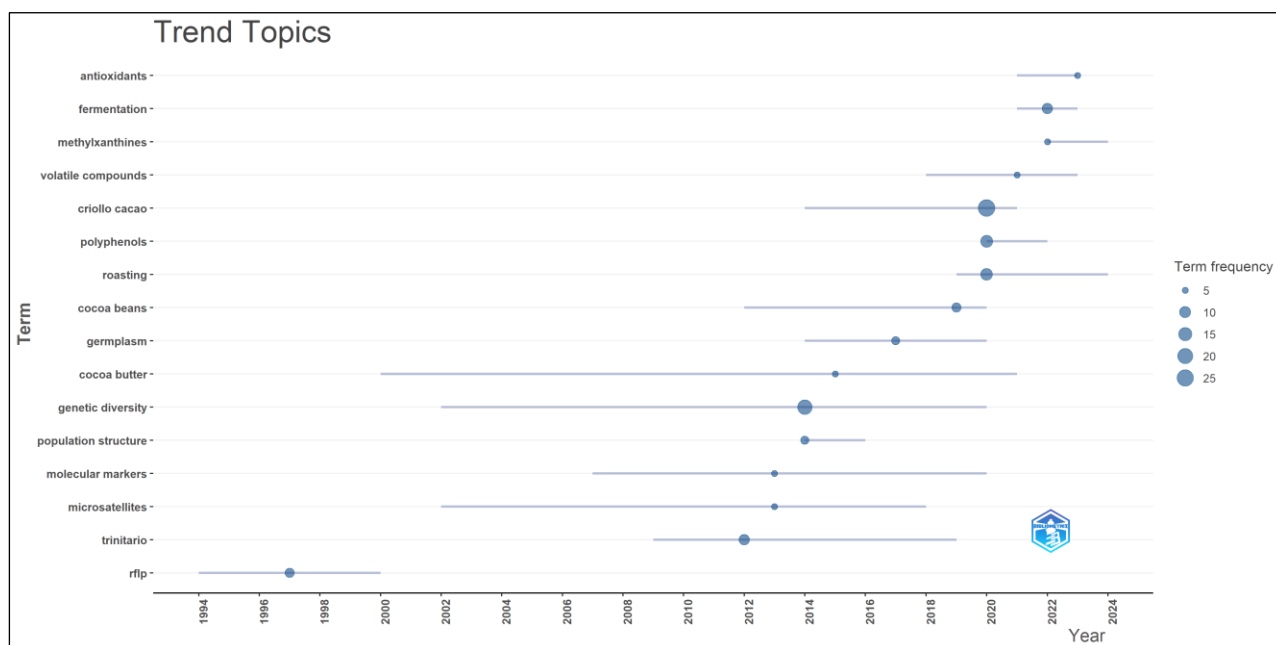
Este patrón sugiere que la comunidad científica ha priorizado líneas de investigación que combinan herramientas moleculares, cromatográficas y sensoriales, con un alto impacto en la valorización del cacao fino de aroma y en el desarrollo de estrategias para su conservación y mejoramiento.



Tendencias temáticas y evolución en tópicos de investigación

Los tópicos tendenciales son aquellos que han tenido una mayor continuidad en su ocurrencia a lo largo de la ventana de tiempo. En la Figura 6 se muestra la evolución temporal de los términos más frecuentes en investigaciones científicas relacionadas con cacao criollo.

Figura 6. Tópicos tendenciales sobre investigaciones relacionadas con cacao criollos



Fuente. Elaboración propia a partir de datos de Scopus®, fecha de actualización de consulta abril de 2025. Software de análisis Bibliometrix 4.4.2®

A partir de esta figura se pueden extraer los siguientes puntos clave:

1. Los tópicos con mayor continuidad en el tiempo y frecuencia de aparición han sido "criollo cacao" (26 menciones), "genetic diversity" (18 menciones) y "polyphenols" (12 menciones). Esto sugiere un interés sostenido en aspectos relacionados con la caracterización genética y compuestos bioactivos del cacao, particularmente de variedades finas como el Criollo.
2. El tema "criollo cacao" se posiciona como el más frecuente y actual, con un aumento marcado de publicaciones entre 2014 y 2021. Esto refuerza su relevancia en

investigaciones asociadas a calidad sensorial, genética y conservación de germoplasma.

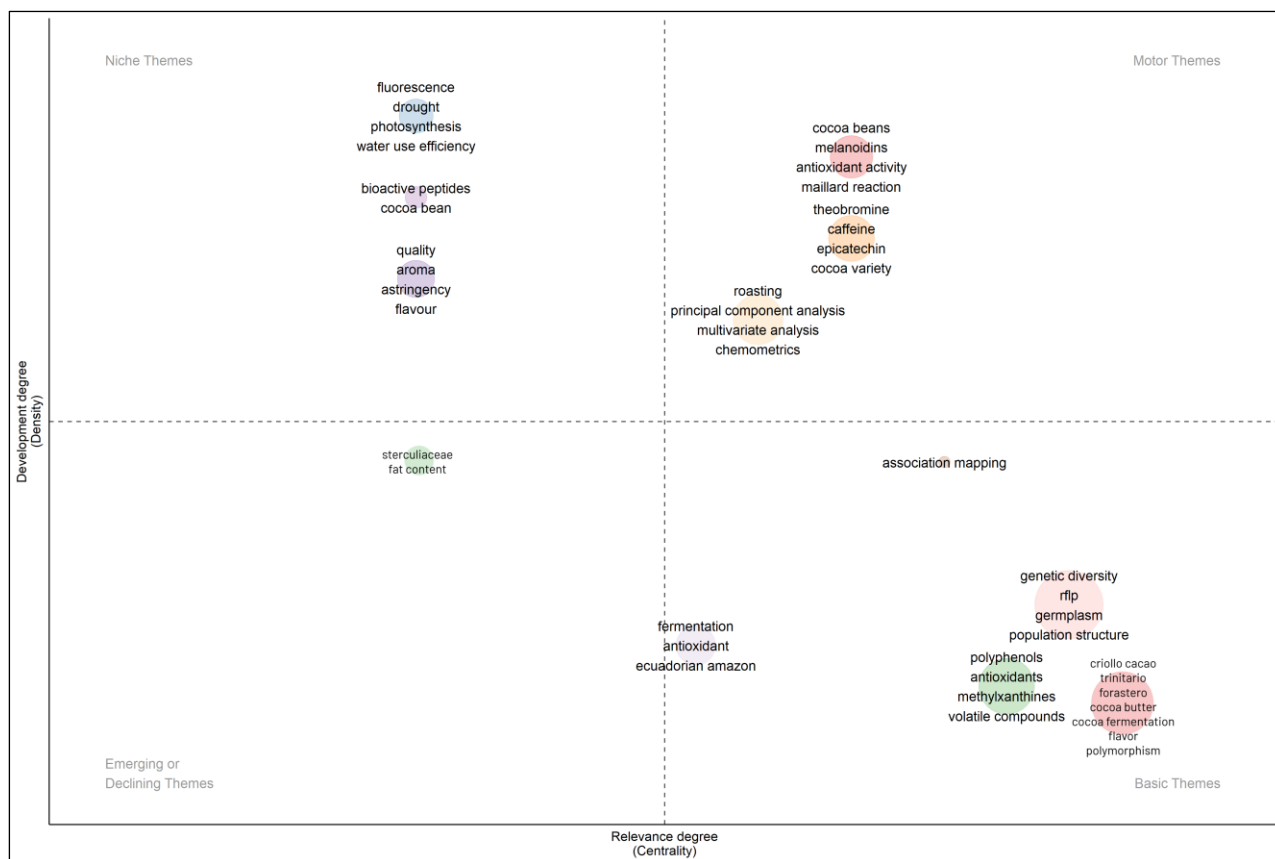
3. Tópicos clásicos como “rflp”, “microsatellites” y “molecular markers” tuvieron su auge entre los años 1994 y 2013, lo que refleja su rol histórico en los estudios pioneros de genética del cacao, aunque han sido desplazados en los últimos años por enfoques más actuales y aplicados.
4. Términos emergentes como “fermentation”, “volatile compounds”, “methylxanthines” y “antioxidants” han ganado protagonismo desde 2020 en adelante, lo cual muestra un giro hacia temas funcionales, nutricionales y de calidad en el procesamiento postcosecha del cacao.
5. “Roasting” y “polyphenols” también destacan por su alta frecuencia reciente, apuntando al interés creciente en la transformación de compuestos precursores de aroma y su impacto en el perfil sensorial y antioxidante del chocolate.

En conjunto, la tendencia temática refleja una transición desde enfoques genéticos clásicos hacia investigaciones aplicadas a calidad sensorial, funcionalidad y aprovechamiento agroindustrial, lo cual coincide con el auge del mercado de cacao finos y de origen en los últimos años. Esta evolución sugiere que la comunidad científica está integrando conocimientos moleculares con aspectos agronómicos, tecnológicos y de valor agregado, respondiendo tanto a desafíos de conservación como a las demandas del mercado global.

Mapa temático principales tendencias de investigación

La Figura 7 presenta el mapa temático que clasifica los principales tópicos de investigación en función de dos dimensiones clave: **relevancia** (centralidad), que mide la importancia de un tema dentro del campo y su conexión con otros tópicos, y **desarrollo** (densidad), que indica el grado de avance y especialización del conocimiento generado en torno a ese tema. Estas dimensiones permiten categorizar los clústeres en cuatro grupos, según su nivel de relevancia y desarrollo (Aria et al., 2022; Giannakos et al., 2020):

Figura 7. Mapa temático principales tendencias de investigación



Fuente. Elaboración propia a partir de datos de Scopus®, fecha de actualización de consulta abril de 2025. Software de análisis Bibliometrix 4.4.2®

Cuadrante Superior Derecho: Temas Motores (Alta Centralidad y Alta Densidad): Este cuadrante agrupa los tópicos con un alto nivel de desarrollo y relevancia en el área de investigación. Estos temas son considerados motores de la disciplina, ya que lideran tanto el avance científico como el desarrollo de nuevas tecnologías y aplicaciones. La alta densidad sugiere un conocimiento consolidado, mientras que su alta centralidad indica su fuerte conexión con múltiples áreas de estudio. Representan el núcleo activo de la investigación científica actual.

- **Cocoa beans, melanoidins, antioxidant activity, maillard reaction, theobromine, caffeine, epicatechin, cocoa variety:** Asociados principalmente al procesamiento del cacao, su perfil químico y sus beneficios funcionales, estos temas reflejan un fuerte enfoque en compuestos bioactivos y su comportamiento durante

la transformación del grano (como el tostado). Tienen aplicación directa en la calidad del chocolate y su potencial nutracéutico.

Cuadrante Inferior Derecho: Temas Base o Transversales (Alta Centralidad y Baja Densidad): Este cuadrante incluye temas de alta relevancia que aún no han alcanzado un desarrollo suficiente para ser considerados motores. Su alta centralidad refleja su conexión con diversas áreas del conocimiento, mientras que su baja densidad sugiere oportunidades para profundizar en su estudio. Representan oportunidades clave para futuros desarrollos.

- **Criollo cacao, trinitario, forastero, cocoa butter, cocoa fermentation, flavor, polymorphism, polyphenols, antioxidants, methylxanthines, volatile compounds, fermentation, germplasm, rfp, genetic diversity, population structure, molecular markers, microsatellites:** Este conjunto engloba tanto temas genéticos como de calidad sensorial y funcional. Reflejan los pilares sobre los que se construye la investigación en cacao, desde el estudio de su diversidad genética hasta la caracterización de sus atributos diferenciales de sabor y salud.

Cuadrante Superior Izquierdo: Temas de Nicho o Altamente Especializados (Alta Densidad y Baja Centralidad): Este cuadrante incluye temas con un alto grado de especialización, aunque su relevancia general dentro del campo es limitada. Se enfocan en problemas específicos que requieren conocimientos profundos y pueden tener aplicaciones en áreas más especializadas o contextos muy particulares.

- **Fluorescence, drought, photosynthesis, water use efficiency, bioactive peptides, cocoa bean (en contexto técnico), quality, aroma, astringency, flavour:** Estos temas suelen estar vinculados a estudios agronómicos o fisiológicos específicos (e.g., respuesta al estrés hídrico, fotosíntesis) o a evaluaciones sensoriales detalladas, con aplicaciones muy focalizadas.

Cuadrante Inferior Izquierdo: Temas Emergentes o en Declive (Baja Centralidad y Baja Densidad): En este cuadrante se agrupan temas cuya importancia y desarrollo aún son bajos, lo que puede deberse a que se trata de tópicos relativamente nuevos o de áreas que han perdido relevancia en la comunidad científica. Algunos de estos temas están comenzando a desarrollarse en respuesta a nuevas demandas globales, mientras que

otros reflejan una disminución en el interés de investigación, posiblemente al ser integrados en enfoques más avanzados o específicos:

- **Sterculiaceae, fat content, ecuadorian amazon, antioxidant (como término aislado):** Algunos, como *fat content* o *sterculiaceae*, parecen tener menor actualidad, posiblemente integrados en conceptos más amplios o superados por nuevas técnicas. Otros, como *Ecuadorian Amazon*, apuntan a estudios de contexto geográfico o de bioprospección aún incipientes.

Análisis propiedades organolépticas de cacao criollos

Para el presente análisis, se descargaron 67 registros de publicaciones científicas de la base de datos Scopus® utilizando la siguiente ecuación de búsqueda sin especificar un periodo de consulta de dado el bajo volumen de información disponible:

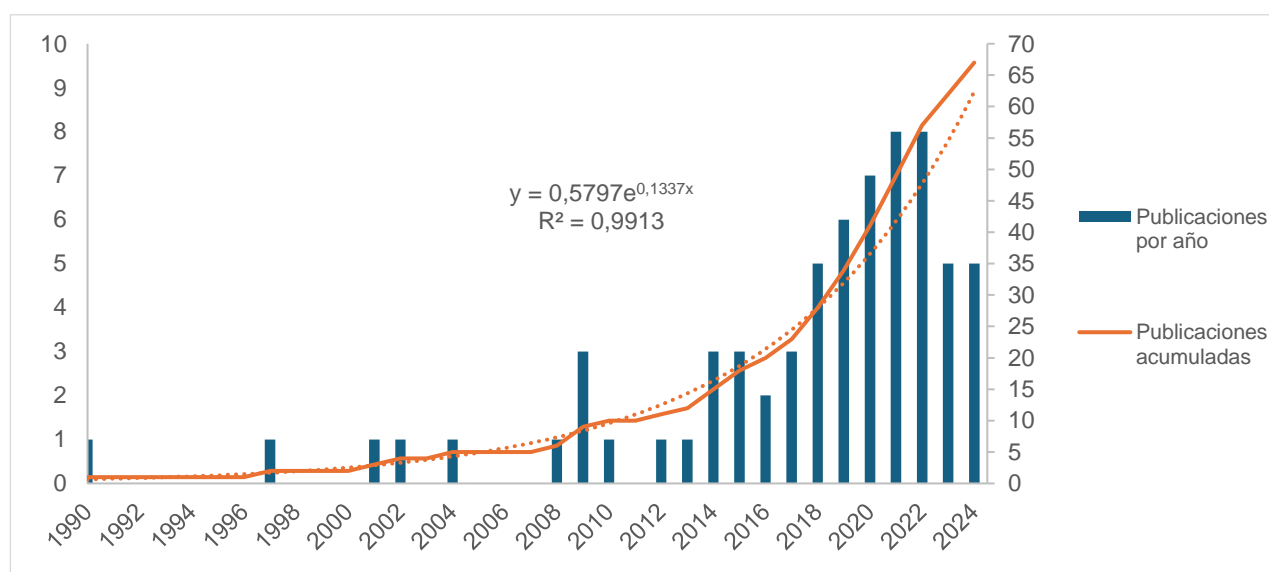
```
TITLE-ABS-KEY ( ( cocoa OR cacao ) AND criollo AND ( aroma  
OR flavor OR tast* OR odor OR sensory OR organoleptic* ) )
```



Dinámica de publicaciones

En el periodo analizado, el conjunto de publicaciones experimentó un crecimiento promedio anual del 5%, pasando de 1 publicación en 1990 a 5 en 2024, con la mayor producción científica en los años 2021 y 2022 con un promedio de 8 publicaciones (Figura 8). En la figura 2 se pueden apreciar los autores, instituciones y fuentes de consultas más importantes identificados en el corpus de registros. El total de citas para todos los documentos fue de 2098 con un promedio de 31 citas por documento.

Figura 8. Producción de publicaciones científicas sobre propiedades organolépticas de cacaos criollos

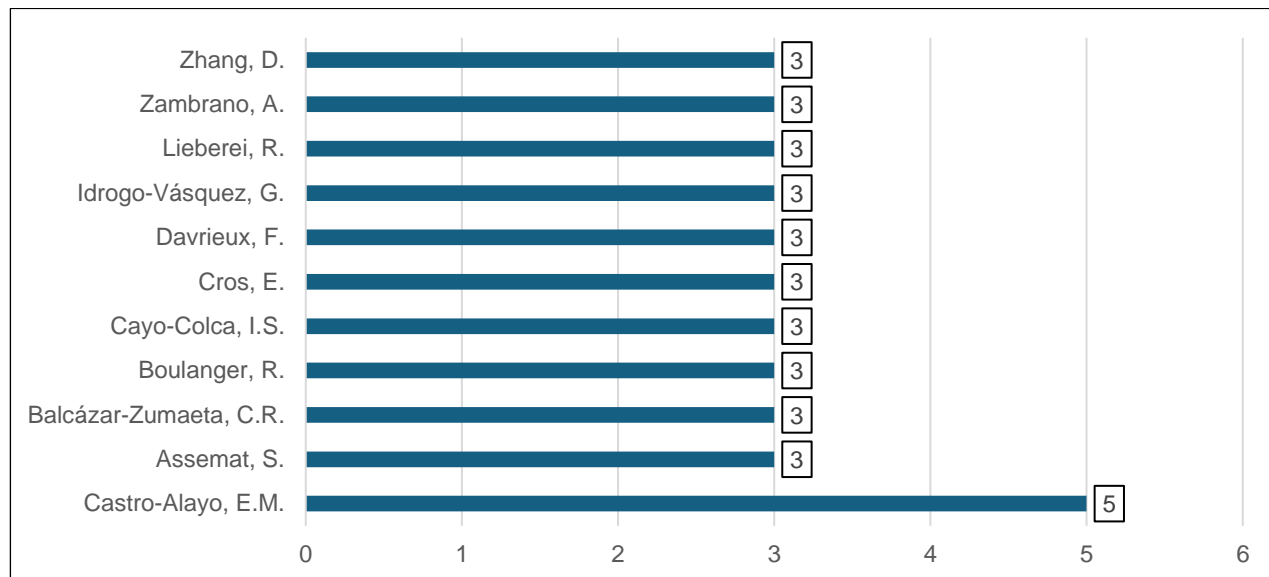


Fuente. Elaboración propia a partir de datos de Scopus®. Información recuperada en abril de 2025. Software de procesamiento Excel®

Principales autores, fuentes de consulta e instituciones

El análisis bibliométrico realizado a partir de los datos recuperados de Scopus® en abril de 2025 permite identificar a los principales actores en la producción científica enfocada en aspectos bioquímicos, tecnológicos y sensoriales del procesamiento del grano de cacao criollo, según tres dimensiones: autores más productivos, instituciones con mayor volumen de publicaciones, y fuentes de consulta más frecuentemente utilizadas.

Figura 9. Principales autores de publicaciones sobre propiedades organolépticas de cacao criollos

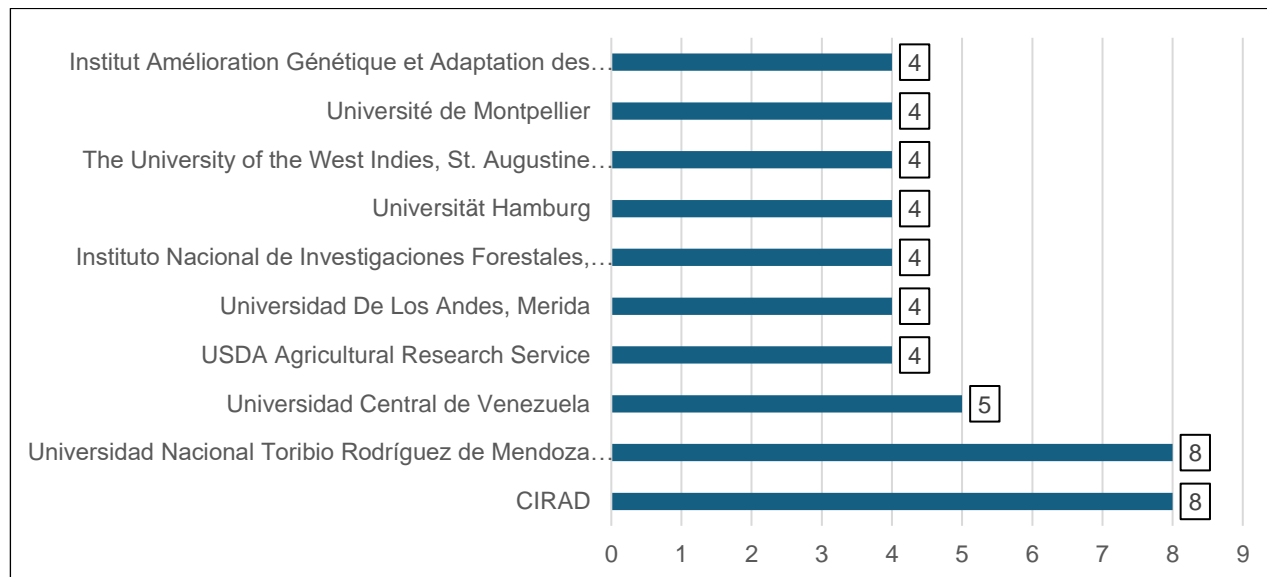


Fuente. Elaboración propia a partir de datos de Scopus®. Información recuperada en abril de 2025. Software de procesamiento Excel®

Según la Figura 9, el investigador Castro-Alayo, E.M. destaca como el autor con mayor número de publicaciones identificadas en el análisis bibliométrico, con cinco artículos indexados en Scopus relacionados con el estudio del cacao, particularmente enfocados en aspectos bioquímicos, tecnológicos y sensoriales del procesamiento del grano. Su contribución se caracteriza por una fuerte orientación a la fermentación del cacao Criollo, la formación de precursores aromáticos y el impacto de diversas variables en la calidad sensorial del producto final. Las investigaciones lideradas o coautoradas por Castro-Alayo evidencian una línea de trabajo consolidada que se articula en torno a:

- Fermentación optimizada del cacao Criollo, con énfasis en el uso de cultivos iniciadores para mejorar el perfil funcional y aromático.
- Estudios multivariados para discriminar fases del proceso fermentativo y vincularlo con atributos sensoriales.
- Evaluación de compuestos volátiles, aminoácidos y antioxidantes como marcadores clave de calidad en el cacao y sus derivados.
- Aplicaciones tecnológicas en alimentos funcionales como el chocolate enriquecido con aceites saludables.

Figura 10. Principales instituciones en publicaciones sobre propiedades organolépticas de cacao criollos



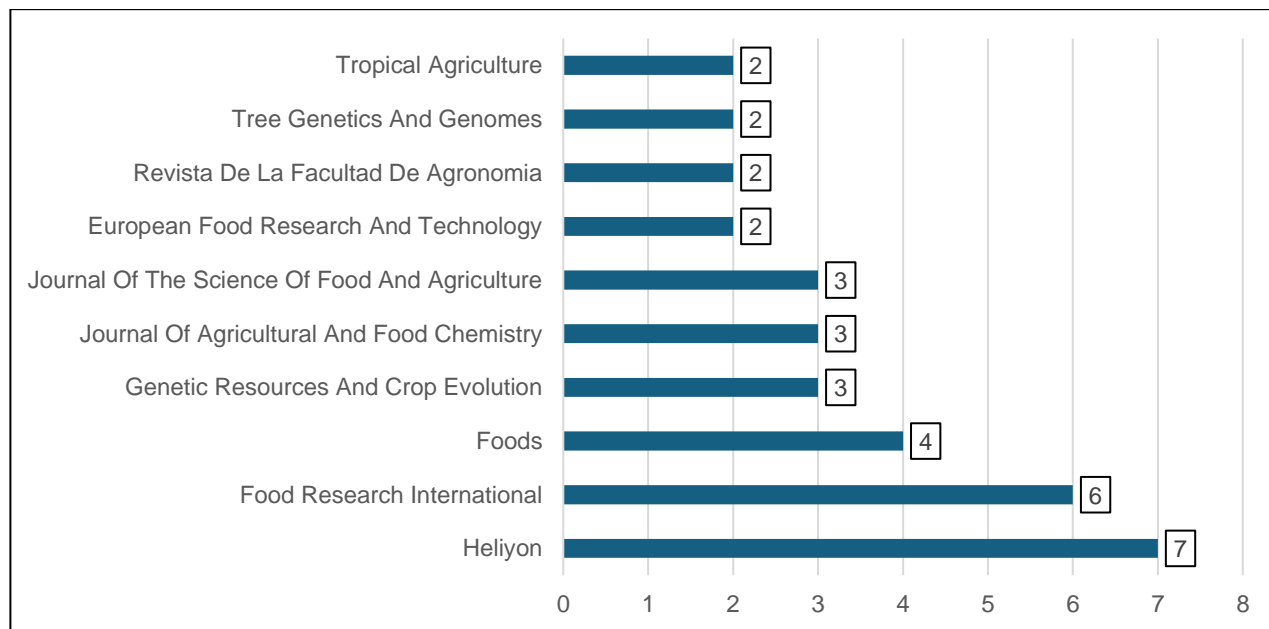
Fuente. Elaboración propia a partir de datos de Scopus®. Información recuperada en abril de 2025. Software de procesamiento Excel®

Respecto a las instituciones que concentran el mayor número de documentos científicos relacionados con las propiedades sensoriales, químicas y genéticas del cacao criollo (Figura 10), CIRAD (Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement) se consolida como una de las instituciones con mayor producción científica (8 publicaciones) en este campo. Sus investigaciones abordan temas clave como:

- Evaluación de compuestos volátiles y precursores aromáticos en granos de cacao criollo.
- Estandarización de procesos de fermentación y secado para maximizar la calidad sensorial.
- Aplicación de tecnologías rápidas como espectroscopía de infrarrojo cercano (NIR) para evaluar compuestos funcionales (grasa, teobromina, cafeína y epicatequina) en granos no fermentados (Álvarez et al., 2012).
- Estudio del impacto del tratamiento poscosecha sobre la formación del aroma en cacao criollos venezolanos (Portillo et al., 2009; Portillo et al., 2014).
- Participación en iniciativas de conservación de diversidad genética en regiones como la Amazonía ecuatoriana (Fouet et al., 2022a) y programas de mejoramiento varietal (Ceccarelli et al., 2022).

Estas investigaciones no solo han fortalecido el conocimiento técnico sobre los atributos organolépticos del cacao criollo, sino que también han influido en el desarrollo de estándares internacionales de calidad, trazabilidad y diferenciación para cacaoos finos. Adicional, la colaboración activa entre CIRAD y universidades latinoamericanas como la Universidad Central de Venezuela o la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas, ha contribuido al fortalecimiento de capacidades científicas en regiones productoras de cacao. Su enfoque interdisciplinario, que integra genética, poscosecha, sensorialidad y química de alimentos, refleja una apuesta estratégica por el desarrollo sostenible del cacao criollo de alta calidad.

Figura 11. Principales fuentes de consulta según número de publicaciones sobre propiedades organolépticas de cacaoos criollos



Fuente. Elaboración propia a partir de datos de Scopus®. Información recuperada en abril de 2025. Software de procesamiento Excel®

Finalmente, en la figura 11 se muestra que la revista *Heliyon* destaca como la principal fuente de consulta en el análisis bibliométrico sobre las propiedades organolépticas del cacao criollo, con un total de 7 publicaciones indexadas en este campo. Entre los aportes más citados se encuentra la revisión de (Castro-Alayo et al., 2019), que analiza la formación de precursores de compuestos aromáticos durante la fermentación de granos de cacao Criollo y Forastero, con 100 citas. Otros estudios relevantes publicados en

Heliyon incluyen investigaciones sobre las propiedades antioxidantes y polifenólicas de variedades colombianas (Borja Fajardo et al., 2022), el efecto del volteo en la generación de compuestos volátiles durante la fermentación artesanal (Dulce et al., 2021), y la diferenciación química de chocolates basada en la presencia de 2,5-dicetopiperazinas como posibles marcadores varietales (André et al., 2022).

Así mismo, se han publicado investigaciones centradas en la reducción del tiempo de fermentación mediante el uso de cultivos iniciadores, la incorporación de aceite de sacha inchi en chocolates oscuros, y metodologías integradas para la identificación de materiales regionales sobresalientes a partir de análisis genético, bioquímico y sensorial (Zapata-Alvarez et al., 2024).

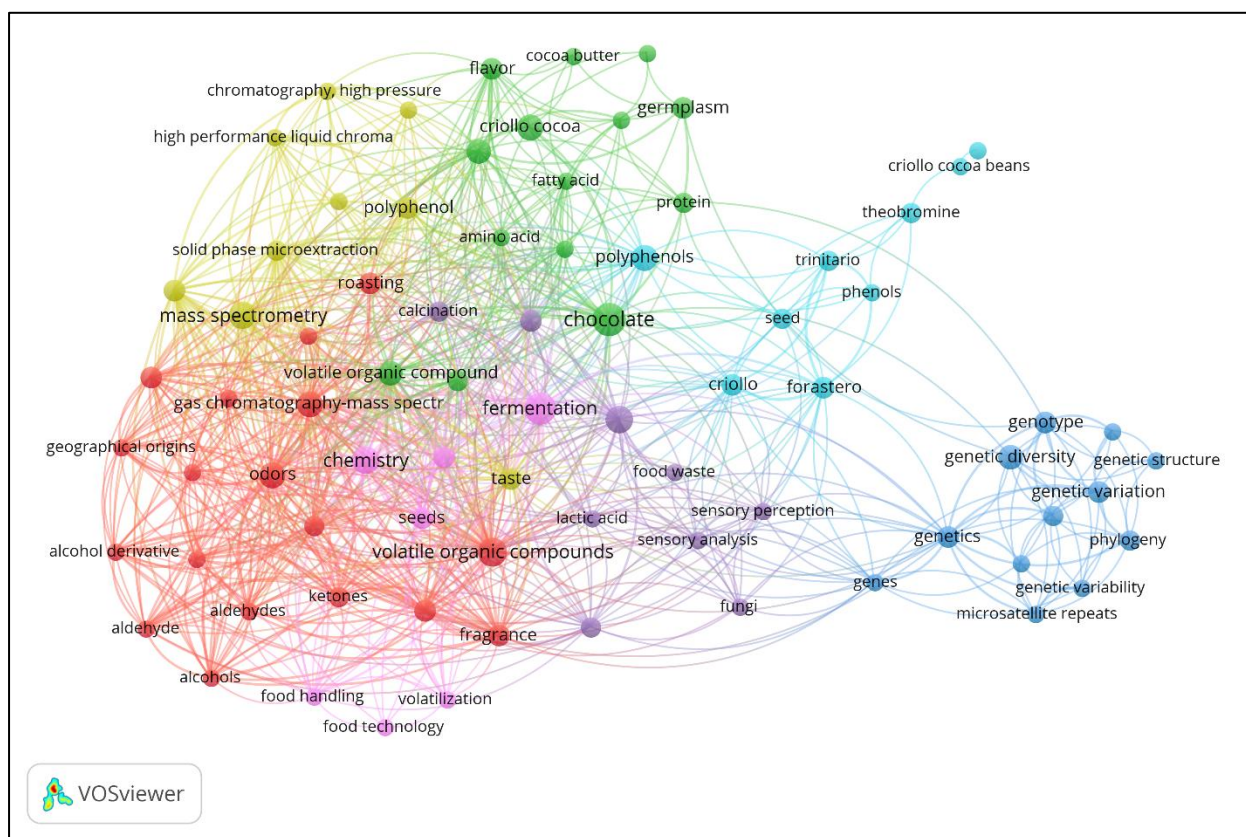
Este conjunto de estudios refleja el enfoque integral de *Heliyon* hacia temas emergentes como la calidad sensorial, la innovación en procesos de fermentación, la trazabilidad genética y la valorización de materiales regionales en el ámbito del cacao fino de aroma.



Red de coocurrencia de tópicos clave

El software VOSviewer® permite generar mapas de visualización de red que se basan en la coocurrencia y frecuencia de palabras claves cuyo agrupamiento conforma clústeres diferenciados por color y que permiten identificar temáticas de investigación con tópicos. En la Figura 12 se puede visualizar la red de coocurrencia de palabras clave la cual comprende 7 clústeres o grupos de interacción.

Figura 12. Red de Coocurrencia de tópicos clave sobre propiedades organolépticas de cacaos criollos



Fuente. Elaboración propia a partir de datos de Scopus®. Información recuperada en abril de 2025. Software de procesamiento Vosviewer®

Clúster 1 Rojo: Caracterización de compuestos volátiles y metodologías analíticas

Este clúster se enfoca en la investigación sobre compuestos volátiles en especial alcoholes, aldehídos y cetonas y otros derivados volátiles como los aceites esenciales todos ellos vinculados con los atributos aromáticos y sensoriales donde los estudios

abordan aspectos de identificación y cuantificación. El uso de técnicas como cromatografía de gases y cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas *spectrometry* refleja la relevancia de métodos instrumentales para aislar y determinar la estructura de compuestos responsables de aromas, destacando la precisión analítica como punto clave. Otras tendencias importantes son la evaluación de percepción olfativa, con investigaciones orientadas a entender cómo se generan y modifican estos olores durante procesos como el tostado, el cual es un paso crítico para moldear las características organolépticas finales de acuerdo a la generación y transformación de compuestos clave; uso de herramientas emergentes como *electronic nose* incorporando sistemas de detección electrónica para medir perfiles aromáticos de manera rápida, consistentemente ligada al análisis industrial y de laboratorio; interés en aceites esenciales y fragancia indicando la importancia de componentes naturales, estudiando su origen, extracción y estabilidad, a fin de optimizar sabores y olores; estudios de variación de compuestos volátiles relacionado con las regiones de procedencia, resaltando cómo el entorno influye en la calidad sensorial.

Clúster 2 Verde: Propiedades organolépticas del chocolate y análisis composicional

Los temas más destacados en este clúster incluyen la composición integral del chocolate, al establecer una correlación entre sus componentes bioquímicos y los atributos organolépticos finales, e incorporando diversas técnicas analíticas para su evaluación. Además, se resalta la importancia de variedades específicas de cacao, dado que su calidad distintiva influye de manera decisiva en el producto final. Por otro lado, se subraya el papel de los compuestos volátiles en la experiencia sensorial, con énfasis en la identificación de los factores responsables de las notas aromáticas deseables, mediante la evaluación detallada de las moléculas que participan en la formación de aromas y sabores únicos. También son relevantes los estudios de proteínas que revelan un interés en la composición nutricional del cacao y el chocolate, explorando cómo estas pueden afectar la textura o la estabilidad del producto, así como el análisis detallado de aminoácidos como precursores de sabor, reconociendo la influencia de estos compuestos en las reacciones de formación de aromas durante el procesamiento.

Clúster 3 Azul: Genética y diversidad de variedades de cacao En este clúster son importantes los temas de investigación relacionados con el abordaje de la variabilidad genética del cacao, examinando cómo las diferencias entre linajes influyen en

características deseables, reforzando el concepto de la amplitud genómica entre distintos cultivares y la importancia de esta variación en la adaptación y calidad del cacao, resaltando la búsqueda de genotipos superiores vinculados a características organolépticas o productivas relevantes en la industria con el fin de obtener perfiles sensoriales específicos y expresión de rasgos de calidad.

Clúster 4 Amarillo Métodos analíticos avanzados y caracterización fisicoquímica El enfoque general en este clúster reúne la aplicación de múltiples plataformas analíticas avanzadas, evidenciando la tendencia a combinar métodos de cromatografía y espectrometría para lograr descripciones fisicoquímicas detalladas. Destaca el interés en métodos de determinación y cuantificación a nivel molecular, tales como la espectrometría de masas, esenciales para identificar compuestos asociados al sabor y aroma, así como el énfasis en componentes bioactivos, explorando su impacto en la calidad y sus posibles beneficios en la salud. Por otro lado, se señala el énfasis en componentes bioactivos como los polifenoles, explorando su impacto en la calidad y sus posibles beneficios en la salud. También es importante el estudio del proceso de tostado y su influencia en la evaluación sensorial enfocada en la palatabilidad y la apreciación gustativa donde se busca relacionar resultados instrumentales con respuestas humanas.

Clúster 5 Antioxidantes y evaluación sensorial Este clúster muestra la convergencia entre la búsqueda de compuestos benéficos para la salud, la reducción de desperdicios y la optimización de la calidad sensorial a través de metodologías de análisis químico y sensorial.

La detección y análisis de compuestos volátiles, junto con el estudio de antioxidantes, evidencian la prioridad en la calidad sensorial y la estabilidad de los alimentos. El empleo de diversas técnicas de análisis químico pone de relieve la necesidad de caracterizar componentes tanto nutricionales como sensoriales.

Finalmente, la percepción y análisis sensorial evidencian la relevancia de combinar mediciones objetivas con la evaluación de la experiencia del consumidor, integrando paneles entrenados y metodologías estadísticas.

Clúster 6 Naranja Variedades de cacao y compuestos bioactivos Las investigaciones en este clúster se centran en sustancias bioactivas como los polifenoles, que desempeñan un papel clave en las características antioxidantes y en el sabor del cacao. Asimismo, se

analizan compuestos específicos como la teobromina, tanto por su función estimulante como por su contribución al perfil amargo, subrayando la importancia de los componentes químicos en la calidad sensorial.

Por otro lado, la atención en variedades como criollo, forastero y trinitario revela un interés en el potencial genético y las diferencias productivas y sensoriales entre cada tipo de cacao. Especial énfasis se hace en la semilla como base para la obtención de compuestos valiosos, y en la exploración de granos de cacao criollo y trinitario para optimizar su rendimiento y calidad gustativa.

En conjunto, estos temas reflejan la tendencia a correlacionar la diversidad varietal del cacao con su perfil químico, sentando las bases para el desarrollo de productos de alta calidad y valor agregado.

Clúster 7 Rosado Procesamiento y fermentación En este clúster el proceso de fermentación de granos de cacao se perfila como un eje fundamental, ya que influye de forma directa en la formación de compuestos determinantes para el sabor y la textura. Además, la química implicada en las etapas de procesado de los mismos contribuye a la generación de nuevas moléculas que pueden optimizar el perfil sensorial de los productos, centrando la atención en fenómenos como la volatilización de compuestos aromáticos y la retención de atributos deseables.

En conjunto, se observa una tendencia a profundizar en variables como tiempo, temperatura y microorganismos para optimizar la fermentación y el procesamiento, protegiendo los atributos sensoriales y eliminando aspectos indeseables.

Bibliografía

- Adenet, S., Regina, F., Rogers, D., Bharath, S., Argout, X., Rochefort, K., & Cilas, C. (2020). Study of the genetic diversity of cocoa populations (*Theobroma cacao* L.) of Martinique (FWI) and potential for processing and the cocoa industry. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 67(8), 1969–1979. <https://doi.org/10.1007/s10722-020-00953-0>
- Allegre, M., Argout, X., Boccara, M., Fouet, O., Roguet, Y., Berard, A., Thevenin, J. M., Chauveau, A., Rivallan, R., Clement, D., Courtois, B., Gramacho, K., Boland-Auge, A., Tahy, M., Umaharan, P., Brunel, D., & Lanaud, C. (2012). Discovery and mapping of a

- new expressed sequence tag-single nucleotide polymorphism and simple sequence repeat panel for large-scale genetic studies and breeding of *Theobroma cacao* L. *DNA Research*, 19(1), 23–35. <https://doi.org/10.1093/dnares/dsr039>
- Almeida, A.-A. F. de, & Valle, R. R. (2007). Ecophysiology of the cacao tree. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, 19(4), 425–448. <https://doi.org/10.1590/S1677-04202007000400011>
- Álvarez, C., Pérez, E., Cros, E., Lares, M., Assemat, S., Boulanger, R., & Davrieux, F. (2012). The Use of near Infrared Spectroscopy to Determine the Fat, Caffeine, Theobromine and (-)-Epicatechin Contents in Unfermented and Sun-Dried Beans of Criollo Cocoa. *Journal of Near Infrared Spectroscopy*, 20(2), 307–315. <https://doi.org/10.1255/jnirs.990>
- André, A., Casty, B., Ullrich, L., & Chetschik, I. (2022). Use of molecular networking to identify 2,5-diketopiperazines in chocolates as potential markers of bean variety. *Heliyon*, 8(9), e10770. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e10770>
- Aprotosoiaie, A. C., Luca, S. V., & Miron, A. (2016). Flavor Chemistry of Cocoa and Cocoa Products—An Overview. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 15(1), 73–91. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12180>
- Argout, X., Martin, G., Droc, G., Fouet, O., Labadie, K., Rivals, E., Aury, J. M., & Lanaud, C. (2017). The cacao Criollo genome v2.0: an improved version of the genome for genetic and functional genomic studies. *BMC Genomics*, 18(1), 730. <https://doi.org/10.1186/s12864-017-4120-9>
- Aria, M., Cuccurullo, C., D'aniello, L., Misuraca, M., & Spano, M. (2022). Thematic Analysis as a New Culturomic Tool: The Social Media Coverage on COVID-19 Pandemic in Italy. *Sustainability (Switzerland)*, 14(6). <https://doi.org/10.3390/su14063643>
- Borja Fajardo, J. G., Horta Tellez, H. B., Peñaloza Atuesta, G. C., Sandoval Aldana, A. P., & Mendez Arteaga, J. J. (2022). Antioxidant activity, total polyphenol content and methylxanthine ratio in four materials of *Theobroma cacao* L. from Tolima, Colombia. *Heliyon*, 8(5), e09402. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e09402>
- Brunetto, M. del R., Gutiérrez, L., Delgado, Y., Gallignani, M., Zambrano, A., Gómez, Á., Ramos, G., & Romero, C. (2007). Determination of theobromine, theophylline and caffeine in cocoa samples by a high-performance liquid chromatographic method with

- on-line sample cleanup in a switching-column system. *Food Chemistry*, 100(2), 459–467. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.10.007>
- Castro-Alayo, E. M., Idrogo-Vásquez, G., Siche, R., & Cardenas-Toro, F. P. (2019). Formation of aromatic compounds precursors during fermentation of Criollo and Forastero cocoa. *Heliyon*, 5(1), e01157. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e01157>
- 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>
- Cornejo, O. E., Yee, M.-C., Dominguez, V., Andrews, M., Sockell, A., Strandberg, E., Livingstone, D., Stack, C., Romero, A., Umaharan, P., Royaert, S., Tawari, N. R., Ng, P., Gutierrez, O., Phillips, W., Mockaitis, K., Bustamante, C. D., & Motamayor, J. C. (2018). Population genomic analyses of the chocolate tree, *Theobroma cacao* L., provide insights into its domestication process. *Communications Biology*, 1(1), 167. <https://doi.org/10.1038/s42003-018-0168-6>
- Counet, C., Ouwerx, C., Rosoux, D., & Collin, S. (2004). Relationship between Procyanidin and Flavor Contents of Cocoa Liquors from Different Origins. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 52(20), 6243–6249. <https://doi.org/10.1021/jf040105b>
- Delgadillo-Duran, P., Berdugo-Cely, J. A., Mejía-Salazar, J., Pérez-Zúñiga, J. I., & Yockteng, R. (2024). Exploring the Diversity and Ancestry of Fine-Aroma Cacao from Tumaco, Colombia. *Diversity*, 16(12), 754. <https://doi.org/10.3390/d16120754>
- Devy, L., Susilo, A. W., Wachjar, A., & Sobir. (2019). Metabolite profiling of Indonesian cacao using Gas Chromatography-Mass Spectrometry. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 347(1), 012071. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/347/1/012071>
- Dulce, V.-R., Anne, G., Manuel, K., Carlos, A.-A., Jacobo, R.-C., Sergio de Jesús, C.-E., & Eugenia, L.-C. (2021). Cocoa bean turning as a method for redirecting the aroma compound profile in artisanal cocoa fermentation. *Heliyon*, 7(8), e07694. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e07694>

- Flórez-Martínez, D. H., Contreras-Pedraza, C. A., Escobar-Parra, S., & Rodríguez-Cortina, J. (2023). Key Drivers for Non-Centrifugal Sugar Cane Research, Technological Development, and Market Linkage: A Technological Roadmap Approach for Colombia. *Sugar Tech*, 25(2), 373–385. <https://doi.org/10.1007/s12355-022-01200-9>
- Fouet, O., Loor Solorzano, R. G., Rhoné, B., Subía, C., Calderón, D., Fernández, F., Sotomayor, I., Rivallan, R., Colonges, K., Vignes, H., Angamarca, F., Yaguana, B., Costet, P., Argout, X., & Lanaud, C. (2022a). Collection of native *Theobroma cacao* L. accessions from the Ecuadorian Amazon highlights a hotspot of cocoa diversity. *PLANTS, PEOPLE, PLANET*, 4(6), 605–617. <https://doi.org/10.1002/ppp3.10282>
- Fouet, O., Loor Solorzano, R. G., Rhoné, B., Subía, C., Calderón, D., Fernández, F., Sotomayor, I., Rivallan, R., Colonges, K., Vignes, H., Angamarca, F., Yaguana, B., Costet, P., Argout, X., & Lanaud, C. (2022b). Collection of native *Theobroma cacao* L. accessions from the Ecuadorian Amazon highlights a hotspot of cocoa diversity. *PLANTS, PEOPLE, PLANET*, 4(6), 605–617. <https://doi.org/10.1002/ppp3.10282>
- Frauendorfer, F., & Schieberle, P. (2008). Changes in Key Aroma Compounds of Criollo Cocoa Beans During Roasting. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56(21), 10244–10251. <https://doi.org/10.1021/jf802098f>
- Giannakos, M., Papamitsiou, Z., Markopoulos, P., Read, J., & Hourcade, J. P. (2020). Mapping child–computer interaction research through co-word analysis. *International Journal of Child-Computer Interaction*, 23–24. <https://doi.org/10.1016/j.ijcci.2020.100165>
- Guiraud, B. S. H. B., Tahí, M. G., Fouet, O., Trebissou, C. I., Pokou, D., Rivallan, R., Argout, X., Koffi, K. K., Koné, B., Zoro, B. I. A., & Lanaud, C. (2018). Assessment of genetic diversity and structure in cocoa trees (*Theobroma cacao* L.) in Côte d'Ivoire with reference to their susceptibility to Cocoa swollen shoot virus disease (CSSVD). *Tree Genetics & Genomes*, 14(4), 52. <https://doi.org/10.1007/s11295-018-1264-y>
- Jaramillo Flores, M. E. (2019). Cocoa Flavanols: Natural Agents with Attenuating Effects on Metabolic Syndrome Risk Factors. *Nutrients*, 11(4), 751. <https://doi.org/10.3390/nu11040751>
- Knapp, A. W., & Hearne, J. F. (1939). The presence of leuco-anthocyanins in Criollo cacao. *The Analyst*, 64(760), 475. <https://doi.org/10.1039/an9396400475>

- Lagneaux, E., Andreotti, F., & Neher, C. M. (2021). Cacao, copoazu and macambo: Exploring Theobroma diversity in smallholder agroforestry systems of the Peruvian Amazon. *Agroforestry Systems*, 95(7), 1359–1368. <https://doi.org/10.1007/s10457-021-00610-0>
- Lanaud, C., Fouet, O., Legavre, T., Lopes, U., Sounigo, O., Eyango, M. C., Mermaz, B., Da Silva, M. R., Loor Solorzano, R. G., Argout, X., Gyapay, G., Ebaiarrey, H. E., Colonges, K., Sanier, C., Rivallan, R., Mastin, G., Cryer, N., Boccara, M., Verdeil, J.-L., ... Clément, D. (2017). Deciphering the Theobroma cacao self-incompatibility system: from genomics to diagnostic markers for self-compatibility. *Journal of Experimental Botany*, 68(17), 4775–4790. <https://doi.org/10.1093/jxb/erx293>
- Miller, K. B., Stuart, D. A., Smith, N. L., Lee, C. Y., McHale, N. L., Flanagan, J. A., Ou, B., & Hurst, W. J. (2006). Antioxidant Activity and Polyphenol and Procyanidin Contents of Selected Commercially Available Cocoa-Containing and Chocolate Products in the United States. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54(11), 4062–4068. <https://doi.org/10.1021/jf060290o>
- Motamayor, J. C., Mockaitis, K., Schmutz, J., Haiminen, N., III, D. L., Cornejo, O., Findley, S. D., Zheng, P., Utro, F., Royaert, S., Saski, C., Jenkins, J., Podicheti, R., Zhao, M., Scheffler, B. E., Stack, J. C., Feltus, F. A., Mustiga, G. M., Amores, F., ... Kuhn, D. N. (2013). The genome sequence of the most widely cultivated cacao type and its use to identify candidate genes regulating pod color. *Genome Biology*, 14(6), r53. <https://doi.org/10.1186/gb-2013-14-6-r53>
- Motamayor, J. C., Risterucci, A. M., Lopez, P. A., Ortiz, C. F., Moreno, A., & Lanaud, C. (2002a). Cacao domestication I: the origin of the cacao cultivated by the Mayas. *Heredity*, 89(5), 380–386. <https://doi.org/10.1038/sj.hdy.6800156>
- Motamayor, J. C., Risterucci, A. M., Lopez, P. A., Ortiz, C. F., Moreno, A., & Lanaud, C. (2002b). Cacao domestication I: the origin of the cacao cultivated by the Mayas. *Heredity*, 89(5), 380–386. <https://doi.org/10.1038/sj.hdy.6800156>
- Mournet, P., de Albuquerque, P. S. B., Alves, R. M., Silva-Werneck, J. O., Rivallan, R., Marcellino, L. H., & Clément, D. (2020). A reference high-density genetic map of Theobroma grandiflorum (Willd. ex Spreng) and QTL detection for resistance to witches' broom disease (Moniliophthora perniciosa). *Tree Genetics & Genomes*, 16(6), 89. <https://doi.org/10.1007/s11295-020-01479-3>

- Moussoyi Moundanga, S., Petit, J., Ndangui, C. B., Scher, J., & Nzikou, J.-M. (2024a). Impact of cocoa variety on merchant quality and physicochemical characteristics of raw cocoa beans and roasted cocoa mass. *Discover Food*, 4(1), 115. <https://doi.org/10.1007/s44187-024-00188-3>
- Moussoyi Moundanga, S., Petit, J., Ndangui, C. B., Scher, J., & Nzikou, J.-M. (2024b). Impact of cocoa variety on physical and chemical properties, reconstitutability, and flowability of cocoa powders. *Powder Technology*, 447, 120214. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2024.120214>
- Risterucci, A. M., Grivet, L., N'Goran, J. A. K., Pieretti, I., Flament, M. H., & Lanaud, C. (2000). A high-density linkage map of *Theobroma cacao* L. *Theoretical and Applied Genetics*, 101(5–6), 948–955. <https://doi.org/10.1007/s001220051566>
- Rusconi, M., Pinorini, M. T., & Conti, A. (2013). Proanthocyanidins of Cocoa: Bioavailability and Biological Activities. In *Natural Products* (pp. 2311–2332). Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-22144-6_77
- Scollo, E., Neville, D. C. A., Oruna-Concha, M. J., Trotin, M., & Cramer, R. (2020). UHPLC–MS/MS analysis of cocoa bean proteomes from four different genotypes. *Food Chemistry*, 303, 125244. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125244>
- Stahl, L., Miller, K. B., Apgar, J., Sweigart, D. S., Stuart, D. A., McHale, N., Ou, B., Kondo, M., & Hurst, W. J. (2009). Preservation of Cocoa Antioxidant Activity, Total Polyphenols, Flavan-3-ols, and Procyanidin Content in Foods Prepared with Cocoa Powder. *Journal of Food Science*, 74(6). <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2009.01226.x>
- Wilde, J., Waugh, R., & Powell, W. (1992). Genetic fingerprinting of *Theobroma* clones using randomly amplified polymorphic DNA markers. *Theoretical and Applied Genetics*, 83–83(6–7), 871–877. <https://doi.org/10.1007/BF00226710>
- Zapata-Alvarez, A., Bedoya-Vergara, C., Porrás-Barrientos, L. D., Rojas-Mora, J. M., Rodríguez-Cabal, H. A., Gil-Garzon, M. A., Martínez-Alvarez, O. L., Ocampo-Arango, C. M., Ardila-Castañeda, M. P., & Monsalve-F, Z. I. (2024). Molecular, biochemical, and sensorial characterization of cocoa (*Theobroma cacao* L.) beans: A methodological pathway for the identification of new regional materials with outstanding profiles. *Heliyon*, 10(3), e24544. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e24544>



AGROSAVIA

Corporación colombiana de investigación agropecuaria