

<https://doi.org/10.69639/arandu.v12i3.1640>

## Retos y tendencias del Blockchain en cultivos de cacao: un enfoque bibliométrico

*Blockchain challenges and trends in cocoa farming: a bibliometric approach*

**Oscar Xavier Bermeo Almeida**

[obermeoa@unemi.edu.ec](mailto:obermeoa@unemi.edu.ec)

<https://orcid.org/0000-0001-6261-5017>

Universidad Estatal De Milagro

**William Jair Dávila Vargas**

[williamjair94@hotmail.com](mailto:williamjair94@hotmail.com)

<https://orcid.org/0000-0001-9158-1768>

Universidad Agraria Del Ecuador

**Verónica Isabel Guevara Arias**

[veroguear@hotmail.com](mailto:veroguear@hotmail.com)

<https://orcid.org/0000-0003-0856-4997>

Universidad Agraria Del Ecuador

*Artículo recibido: 18 agosto 2025 - Aceptado para publicación: 28 septiembre 2025*

*Conflictos de intereses: Ninguno que declarar.*

### RESUMEN

El cacao es un cultivo estratégico a nivel global por su importancia económica, social y cultural, especialmente en regiones productoras de América Latina y África. Sin embargo, las cadenas de suministro del cacao enfrentan desafíos relacionados con la trazabilidad, la transparencia, la sostenibilidad social y ambiental, y el cumplimiento de regulaciones internacionales como la debida diligencia europea. En este escenario, la tecnología blockchain ha emergido como una herramienta disruptiva capaz de aportar soluciones innovadoras en materia de certificación, comercio justo y digitalización de procesos. El presente artículo busca responder la pregunta ¿Cómo se estructuran y conectan los temas de investigación sobre blockchain en las cadenas de suministro de cacao?, a través de un análisis bibliométrico de red de co ocurrencia de términos de 31 artículos y 163 términos conceptuales definidos por 90 autores. Los resultados obtenidos permitió identificar cuatro clúster relevantes a este estudio: Clúster 1: Sostenibilidad Socioambiental y Gobernanza en Cadenas de Suministro Agrícola. Clúster 2: Tecnologías de registro distribuido y trazabilidad digital en cadenas de cacao Clúster 3: Transformación digital y agricultura inteligente en la cadena de suministro del cacao. Clúster 4: Infraestructura criptográfica y arquitectura de sistemas blockchain en entornos descentralizados. Los hallazgos obtenidos permiten abrir nuevas brechas de investigación para ser exploradas por técnicas cuantitativas robustas como análisis factorial y ecuaciones estructurales.

*Palabras clave:* blockchain, cadena de suministro, cacao, bibliometría, bibliometrix, Python

## ABSTRACT

Cocoa is a strategic crop worldwide due to its economic, social, and cultural importance, especially in producing regions of Latin America and Africa. However, cocoa supply chains face challenges related to traceability, transparency, social and environmental sustainability, and compliance with international regulations such as European due diligence. In this context, blockchain technology has emerged as a disruptive tool capable of providing innovative solutions for certification, fair trade, and process digitalization. This article seeks to answer the question: *How are research topics on blockchain in cocoa supply chains structured and interconnected?* through a bibliometric network analysis of term co-occurrence based on 31 articles and 163 conceptual terms defined by 90 authors. The results made it possible to identify four clusters relevant to this study: Cluster 1: Socio-environmental Sustainability and Governance in Agricultural Supply Chains. Cluster 2: Distributed Ledger Technologies and Digital Traceability in Cocoa Chains. Cluster 3: Digital Transformation and Smart Agriculture in the Cocoa Supply Chain. Cluster 4: Cryptographic Infrastructure and Blockchain System Architecture in Decentralized Environments. The findings open new research avenues to be explored through robust quantitative techniques such as factor analysis and structural equation modeling.

**Keywords:** blockchain, supply chain, cocoa, bibliometrics, bibliometrix, python

Todo el contenido de la Revista Científica Internacional Arandu UTIC publicado en este sitio está disponible bajo licencia Creative Commons Attribution 4.0 International. 

## INTRODUCCIÓN

El cacao se ha consolidado a lo largo de la historia como un cultivo de relevancia estratégica para los países productores, no solo por su impacto económico, sino también por su dimensión cultural y social. En regiones como América Latina y África, millones de familias dependen de esta cadena de valor, que a su vez enfrenta múltiples desafíos relacionados con la sostenibilidad, la transparencia en el comercio y las exigencias de mercados internacionales cada vez más conscientes de la ética en el consumo [1]. La globalización de los sistemas agroalimentarios ha generado presiones adicionales sobre los pequeños productores de cacao, quienes deben cumplir con estándares de calidad, trazabilidad y certificación que garanticen prácticas sostenibles, justas y libres de trabajo infantil [2]. En este contexto, la búsqueda de soluciones innovadoras se ha orientado hacia la adopción de tecnologías digitales emergentes, entre las cuales destaca el Blockchain, una herramienta con potencial transformador en la gestión de cadenas de suministro agrícolas [3].

El Blockchain se caracteriza por ser un sistema descentralizado, transparente e inmutable, que permite registrar y verificar transacciones sin necesidad de intermediarios. Su aplicación en el sector agrícola responde a la necesidad de construir sistemas confiables que aseguren la trazabilidad desde el origen del producto hasta el consumidor final [4]. En el caso del cacao, esta tecnología posibilita certificar prácticas agrícolas sostenibles, validar la procedencia de los granos y fomentar relaciones comerciales más justas [5]. Los contratos inteligentes, los tokens digitales y los sistemas de almacenamiento descentralizado han sido identificados como herramientas que fortalecen la confianza en la cadena de valor, reduciendo la asimetría de información entre productores, intermediarios y consumidores [6]. Estas innovaciones, además, facilitan la integración de otros desarrollos tecnológicos como el Internet de las Cosas (IoT), sensores de calidad y plataformas de datos en la nube, que complementan los procesos de monitoreo y toma de decisiones en tiempo real [7].

No obstante, la literatura también señala que la adopción de Blockchain en la agricultura no está exenta de barreras. Entre los principales obstáculos destacan los altos costos de implementación, la falta de capacitación digital en comunidades rurales, la resistencia cultural a nuevas tecnologías y las limitaciones estructurales en conectividad e infraestructura tecnológica [8]. Adicionalmente, surgen retos técnicos vinculados con la interoperabilidad de sistemas, la complejidad de las arquitecturas distribuidas y la necesidad de desarrollar protocolos que gestionen adecuadamente la comunicación y la seguridad en redes descentralizadas [9]. Estas dificultades se reflejan de manera particular en los contextos de países en desarrollo, donde el cacao es un cultivo central, pero donde también las brechas socioeconómicas condicionan el acceso y la implementación de estas herramientas [5].

La investigación científica ha empezado a documentar y analizar estas tendencias de forma creciente. Los estudios bibliométricos evidencian un notable incremento en publicaciones relacionadas con Blockchain y cadenas agroalimentarias desde 2018, destacando el cacao y el café como casos emblemáticos por la presión internacional hacia la trazabilidad y el comercio justo [10]. Los análisis muestran que los ejes temáticos más frecuentes incluyen: la trazabilidad y transparencia, el uso de contratos inteligentes para transacciones seguras, la integración con tecnologías digitales como IoT, big data y NFTs, y la gobernanza de datos descentralizada [7], [11]. En paralelo, la literatura especializada en agroindustria resalta la importancia de aplicar Blockchain como un catalizador para fortalecer la sostenibilidad, garantizar la seguridad alimentaria y aumentar la competitividad en mercados internacionales [12].

De manera más amplia, la relación entre Blockchain y agricultura se conecta con discusiones globales sobre economía digital, seguridad de la información y nuevas formas de gobernanza. Estudios provenientes de sectores como la energía y la logística han mostrado que esta tecnología no solo aporta a la transparencia, sino también a la eficiencia en procesos complejos y multi-actores [13]. En la cadena del cacao, estas lecciones resultan transferibles, pues se trata igualmente de un sector caracterizado por la multiplicidad de actores y la necesidad de confianza en entornos de intercambio transnacional. Asimismo, las investigaciones alertan que el despliegue de Blockchain debe ser acompañado de políticas públicas, cooperación institucional y marcos regulatorios claros que promuevan su uso ético y sostenible [14].

Ante este panorama, surge la pertinencia de un enfoque bibliométrico para analizar los retos y tendencias del Blockchain aplicado al cacao. El análisis bibliométrico permite mapear la producción científica, identificar redes de colaboración y clasificar temáticas emergentes en torno a este fenómeno [15]. A través de indicadores como número de publicaciones, citas, redes de coautoría y clústeres temáticos, es posible comprender cómo evoluciona la discusión académica y cuáles son los vacíos de investigación. Además, esta perspectiva metodológica facilita la construcción de agendas de investigación más sólidas, que integren los desafíos técnicos, sociales y económicos vinculados con la implementación de Blockchain en la cadena del cacao [10].

En conclusión, la literatura revisada evidencia que el Blockchain tiene el potencial de redefinir la forma en que se produce, certifica y comercializa el cacao, ofreciendo nuevas oportunidades de transparencia, sostenibilidad e inclusión. Sin embargo, su adopción conlleva múltiples desafíos que deben ser comprendidos desde un enfoque integral. En este sentido, el análisis bibliométrico se convierte en una herramienta estratégica para visibilizar las dinámicas de investigación, evaluar tendencias emergentes y orientar futuras líneas de acción en la intersección entre tecnología, agricultura y sostenibilidad.

### **Transparencia y trazabilidad en la cadena de suministro**

Uno de los principales desafíos en la cadena de valor del cacao es garantizar la trazabilidad y la transparencia en cada etapa del proceso productivo. Desde la siembra y cosecha hasta la

exportación y comercialización, múltiples actores intervienen en un sistema complejo que históricamente ha estado expuesto a problemas de fraude, falsificación, explotación laboral y falta de información verificable [7]. En este sentido, el Blockchain se presenta como una tecnología idónea para ofrecer soluciones innovadoras que permitan registrar y verificar cada transacción de manera inmutable, promoviendo la confianza entre productores, intermediarios y consumidores [12].

El cacao ecuatoriano, ghanés y de otras regiones productoras enfrenta el reto de satisfacer la creciente demanda internacional de productos certificados como orgánicos, sostenibles o de comercio justo. Sin embargo, los métodos tradicionales de certificación resultan costosos y poco accesibles para pequeños agricultores [3]. Aquí es donde el Blockchain puede generar un cambio disruptivo al reducir la dependencia de auditorías externas y permitir que la información sea registrada directamente por los productores y validada de forma descentralizada [6]. De hecho, investigaciones recientes han demostrado que los contratos inteligentes y los sistemas basados en NFTs aplicados al cacao permiten crear un “pasaporte digital” del grano, garantizando que cada lote cuente con un historial completo de prácticas agrícolas, transporte, almacenamiento y certificación.

La literatura especializada señala que la trazabilidad digital en la agricultura no solo aporta a la transparencia comercial, sino también a la construcción de cadenas de valor más éticas y sostenibles [16]. En el caso del cacao, esta trazabilidad puede contribuir a reducir el trabajo infantil, prevenir la corrupción y reforzar las prácticas de comercio justo. El análisis de estudios de caso en Perú y Ghana muestra que la implementación de Blockchain permite crear registros confiables de prácticas sostenibles a nivel comunitario, ofreciendo una alternativa más inclusiva que los costosos esquemas internacionales de certificación. Sin embargo, estas iniciativas también enfrentan desafíos relacionados con los costos de inversión inicial y la necesidad de capacitar a los agricultores en el uso de herramientas digitales [10].

Un aspecto clave de la trazabilidad impulsada por Blockchain es su capacidad de integración con otras tecnologías. Sistemas que combinan Blockchain con el Internet de las Cosas (IoT), sensores inteligentes y almacenamiento descentralizado (como IPFS) han demostrado ser eficaces para monitorear en tiempo real variables críticas del proceso productivo, como la humedad del grano, las condiciones de transporte o la autenticidad de certificados digitales. Estas innovaciones no solo mejoran la transparencia, sino que también fortalecen la calidad del producto y aumentan la competitividad de los productores en mercados internacionales [17], [18].

No obstante, la literatura también advierte de ciertos riesgos y limitaciones. Por ejemplo, la dependencia en datos suministrados por los propios agricultores puede generar inconsistencias o incentivos para manipular información en contextos donde no exista una supervisión adecuada. Asimismo, la interoperabilidad entre plataformas y la necesidad de contar con infraestructuras digitales robustas se mantienen como barreras importantes para lograr una implementación

masiva [7]. Investigaciones basadas en metodologías como DEMATEL han identificado que la falta de compromiso de la gestión organizacional, la escasa conciencia del consumidor y los problemas de seguridad de los sistemas son los principales obstáculos para consolidar cadenas de suministro transparentes en la agricultura.

Finalmente, desde la perspectiva bibliométrica, la trazabilidad y transparencia constituyen uno de los clústeres temáticos con mayor crecimiento en la literatura académica reciente [10], [19]. Las publicaciones analizadas evidencian que la investigación se concentra en demostrar cómo el Blockchain redefine los estándares de certificación, al tiempo que permite a los productores participar en mercados más exigentes sin depender exclusivamente de intermediarios internacionales. Esta línea de investigación se proyecta como un eje central en el futuro de la agroindustria cacaotera, donde la transparencia no es solo una exigencia de los consumidores, sino también una condición para garantizar la sostenibilidad a largo plazo.

### **Innovación tecnológica y adopción en el sector agrícola**

La adopción de Blockchain en la agricultura no puede comprenderse únicamente desde la perspectiva tecnológica; implica también un proceso de transformación social, económica e institucional. En el sector del cacao, donde conviven pequeños agricultores, cooperativas, exportadores y empresas transnacionales, la innovación debe responder a realidades diversas y a menudo marcadas por la desigualdad en el acceso a recursos digitales [1]. La literatura señala que, si bien los beneficios del Blockchain en términos de transparencia, trazabilidad y confianza son ampliamente reconocidos, su implementación enfrenta múltiples barreras relacionadas con la capacitación, la infraestructura tecnológica y los costos de adopción.

Uno de los avances más relevantes identificados en los estudios es la combinación de Blockchain con otras tecnologías emergentes. Investigaciones recientes demuestran que la integración con Internet de las Cosas (IoT), sensores inteligentes y sistemas en la nube mejora significativamente la capacidad de monitoreo y gestión en la cadena de valor del cacao. Estos desarrollos permiten recopilar datos en tiempo real sobre las condiciones de cultivo, almacenamiento y transporte, generando información confiable que se almacena en cadenas de bloques y que puede ser consultada por todos los actores involucrados. Por ejemplo, el uso de drones para identificar el estado de los frutos o de tecnologías como e-nose y e-tongue para evaluar la calidad sensorial del cacao se combina con registros en Blockchain que certifican cada etapa del proceso productivo [10].

A la par de la integración tecnológica, otro aspecto innovador es el uso de contratos inteligentes y tokens digitales para facilitar transacciones seguras y automáticas entre productores y compradores [19]. Estos mecanismos reducen costos de intermediación, agilizan los pagos y garantizan el cumplimiento de acuerdos comerciales sin necesidad de terceros. Asimismo, la tokenización del cacao a través de NFTs ha sido propuesta como una estrategia para crear

representaciones digitales únicas de lotes de producción, lo que abre la puerta a modelos de negocio innovadores en mercados globales [15].

Sin embargo, la adopción de estas innovaciones no está exenta de dificultades. Estudios enfocados en la cadena de suministro agrícola de Ghana han identificado que las principales barreras provienen de la falta de compromiso organizacional, la escasa sensibilización de consumidores y la resistencia cultural al uso de herramientas digitales. Estos hallazgos son consistentes con los resultados de análisis bibliométricos que muestran que, a pesar del crecimiento en la investigación académica, aún existen vacíos importantes en torno a la transferencia de conocimiento y la capacitación digital en comunidades agrícolas.

Otro reto clave en la adopción tecnológica es la viabilidad económica. La implementación de sistemas Blockchain requiere inversiones en infraestructura digital, dispositivos de captura de datos y plataformas de gestión que no siempre se justifican por los ingresos obtenidos en mercados tradicionales. Por esta razón, algunos autores proponen enfoques colaborativos en los que los costos sean compartidos entre productores, cooperativas y actores institucionales, lo que permitiría garantizar un retorno más equitativo de la inversión [14]. De manera complementaria, se recomienda fortalecer la cooperación internacional y el apoyo gubernamental mediante políticas que fomenten la innovación tecnológica en el sector agrícola.

La literatura también subraya que la innovación en la agricultura basada en Blockchain requiere marcos regulatorios claros. La ausencia de normativas específicas para el uso de contratos inteligentes, criptomonedas o certificaciones digitales genera incertidumbre entre los actores del sector [6]. En este sentido, algunos estudios sugieren que la estandarización internacional de protocolos de trazabilidad digital puede constituir un factor decisivo para acelerar la adopción del Blockchain en el cacao. De no existir tales regulaciones, la fragmentación de sistemas podría limitar el potencial de esta tecnología, reproduciendo desigualdades en lugar de resolverlas [20].

Desde el punto de vista bibliométrico, la innovación tecnológica asociada al Blockchain en la agricultura se ha convertido en uno de los campos de mayor expansión en los últimos años [19]. Los clústeres temáticos identificados agrupan investigaciones sobre: (i) aplicaciones de IoT y almacenamiento descentralizado, (ii) contratos inteligentes y NFTs como mecanismos de certificación, (iii) uso de Blockchain para sostenibilidad en cadenas agroalimentarias, y (iv) barreras de adopción en contextos rurales. Este panorama evidencia que la innovación tecnológica no se limita a resolver problemas de trazabilidad, sino que está redefiniendo los modelos de negocio, la organización de las cadenas productivas y las formas de interacción entre productores y consumidores.

### **Gobernanza de datos y sistemas descentralizados**

Uno de los aspectos más relevantes que plantea la aplicación del Blockchain en el cacao es la transformación de la gobernanza de los datos en la cadena de suministro. Tradicionalmente, la

información sobre producción, certificación y comercialización ha estado concentrada en manos de intermediarios o instituciones externas, lo que generaba asimetrías de información y limitaba la capacidad de decisión de los productores [10]. Con la introducción de sistemas descentralizados, la información se distribuye de manera equitativa entre todos los actores de la cadena, garantizando que cada transacción quede registrada en un libro contable inmutable accesible para todos. Esta descentralización constituye un cambio estructural en la forma en que se gestionan los flujos de información y el control de las cadenas agroalimentarias.

La gobernanza de datos basada en Blockchain se fundamenta en tres principios clave: descentralización, transparencia y seguridad. En primer lugar, la descentralización elimina la dependencia de servidores centrales y transfiere el poder de control a una red de nodos distribuidos, lo que reduce el riesgo de manipulación de datos y de corrupción. En segundo lugar, la transparencia permite que todos los participantes puedan verificar la autenticidad de la información, lo cual fortalece la confianza en los procesos de certificación y comercio justo. En tercer lugar, la seguridad se garantiza mediante algoritmos criptográficos avanzados y mecanismos de consenso que dificultan la alteración de registros sin autorización [9], [17].

En el caso del cacao, la gobernanza descentralizada de datos tiene implicaciones directas en la certificación de prácticas agrícolas sostenibles. A través del Blockchain, es posible registrar de manera confiable los datos sobre el uso de insumos, las condiciones ambientales y los procesos de cosecha, generando evidencia verificable de cumplimiento de estándares de sostenibilidad. Además, la combinación con sistemas de almacenamiento descentralizado como IPFS y con contratos inteligentes facilita el acceso inmediato a documentos de certificación, reduciendo la dependencia de intermediarios y agencias certificadoras [12], [21]. De esta forma, la descentralización no solo mejora la eficiencia, sino que también democratiza el acceso a la información y empodera a los pequeños productores.

Sin embargo, la literatura también advierte que la gobernanza descentralizada presenta retos técnicos y organizacionales. Uno de los principales problemas es la complejidad de comunicación entre capas de red, especialmente en contextos donde múltiples nodos realizan solicitudes concurrentes. Protocolos como DeCAF o CoCoA han sido propuestos para gestionar la comunicación en escenarios descentralizados de mensajería grupal, pero aún enfrentan desafíos relacionados con la escalabilidad y la seguridad. En la cadena del cacao, donde participan miles de productores dispersos geográficamente, estas limitaciones pueden traducirse en dificultades para garantizar una sincronización adecuada de la información [18].

Otro aspecto crítico es la gobernanza institucional de las plataformas Blockchain. Aunque la descentralización promete independencia de actores centrales, en la práctica muchas iniciativas son impulsadas por consorcios empresariales o instituciones internacionales que establecen reglas de participación y control. Esto plantea la necesidad de diseñar modelos híbridos de gobernanza, donde la tecnología descentralizada conviva con marcos regulatorios y estructuras institucionales

que garanticen la inclusión y la sostenibilidad. De lo contrario, existe el riesgo de que el Blockchain reproduzca las mismas asimetrías de poder que pretende resolver.

La gobernanza de datos en el cacao también se conecta con discusiones más amplias sobre. En un contexto global en el que los datos son considerados un recurso estratégico, resulta fundamental garantizar que los pequeños productores no pierdan el control de la información que generan [8]. Investigaciones recientes alertan sobre la posibilidad de que, sin regulaciones claras, los datos almacenados en Blockchain sean utilizados por grandes empresas para obtener ventajas competitivas sin que los agricultores reciban beneficios proporcionales. Por ello, se plantea la necesidad de marcos normativos que aseguren la propiedad y el acceso equitativo a los datos, evitando nuevas formas de dependencia digital.

Desde el punto de vista bibliométrico, la gobernanza descentralizada aparece como un clúster emergente en la literatura científica sobre Blockchain en agricultura. Los estudios analizados se concentran en tres líneas principales: (i) el diseño de protocolos eficientes para la gestión de nodos y transacciones concurrentes; (ii) la integración de sistemas descentralizados de almacenamiento y certificación; y (iii) el debate sobre los modelos de gobernanza institucional y regulatoria que deben acompañar la implementación del Blockchain en contextos rurales. Este enfoque evidencia que la gobernanza de datos no es únicamente un problema técnico, sino también un desafío social y político [10].

### **Estudios de bibliometría en estudios de blockChain y cultivos de cacao**

En los últimos años, la bibliometría se ha consolidado como una herramienta esencial para mapear el desarrollo científico de tecnologías emergentes como el blockchain, particularmente en su aplicación al sector agrícola. Si bien los estudios que vinculan directamente blockchain con los cultivos de cacao aún son incipientes, existen contribuciones significativas dentro de eventos académicos y conferencias sobre tecnologías digitales que abordan esta convergencia temática. Por ejemplo, en los resúmenes recopilados recientemente se incluye un análisis bibliométrico sobre la revista *Big Data and Society* (2014–2021), el cual evidencia cómo las ciencias sociales han comenzado a interactuar activamente con la investigación en big data y blockchain, sentando las bases metodológicas para futuras aplicaciones agroindustriales [17].

Dentro del mismo cuerpo de trabajos, se destaca también un estudio sobre el uso de técnicas de deep learning para la detección de mazorcas de cacao en entornos naturales, lo cual representa un aporte significativo al campo de la agricultura de precisión mediante inteligencia artificial [17]. Este tipo de investigaciones puede ser complementado con sistemas basados en blockchain para mejorar la trazabilidad, certificación de origen y sostenibilidad de la producción cacaotera, especialmente en regiones como América Latina y África Occidental.

A su vez, revisiones sobre contratos inteligentes y mecanismos de consenso en blockchain, aunque centradas principalmente en aplicaciones financieras, abren una oportunidad para adaptar estos modelos a cadenas productivas agrícolas, contribuyendo a una gestión más transparente y

eficiente de los cultivos. De este modo, los estudios bibliométricos no solo permiten visualizar las tendencias de investigación, sino también anticipar los posibles cruces interdisciplinarios entre tecnología, agricultura y sostenibilidad.

### **Aplicaciones de la metodología PRISMA en revisiones de literatura en blockChain y cultivos de cacao**

La metodología PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses) se ha consolidado como un recurso fundamental para garantizar transparencia, rigor y replicabilidad en revisiones sistemáticas de literatura. En el contexto de la intersección entre Blockchain y los cultivos de cacao, su aplicación permite organizar de forma estructurada la información disponible, reduciendo sesgos y delimitando con precisión las tendencias de investigación. En primer lugar, el uso de PRISMA facilita la identificación de bases de datos relevantes y la selección de artículos mediante criterios de inclusión y exclusión explícitos, lo que es especialmente útil para un campo emergente donde las publicaciones abarcan desde avances tecnológicos hasta estudios de sostenibilidad agrícola [22]. Asimismo, la metodología contribuye a sistematizar resultados en torno a temáticas clave como trazabilidad en cadenas de suministro, transparencia en transacciones y certificación de cacao orgánico, aspectos que requieren claridad en la comparación de evidencias entre distintos estudios [23]. Otro aporte significativo es la posibilidad de representar visualmente el proceso de cribado de documentos mediante diagramas de flujo, herramienta que otorga confiabilidad a la revisión y refuerza la reproducibilidad de los hallazgos [24]. Además, en investigaciones donde confluyen disciplinas heterogéneas, como economía agrícola, informática y gestión de cadenas productivas, PRISMA actúa como un marco integrador para armonizar resultados dispersos y ofrecer una visión sintética de las contribuciones más relevantes [25]. En consecuencia, la adopción de esta metodología no solo optimiza la calidad de las revisiones en el ámbito académico, sino que también genera insumos de valor práctico para el diseño de políticas públicas, la innovación empresarial y el fortalecimiento de la competitividad en el sector cacaotero vinculado a tecnologías Blockchain.

Por lo tanto, el presente artículo busca responder la pregunta ¿Cómo se estructuran y conectan los temas de investigación sobre blockchain en las cadenas de suministro de cacao, según la red de co-ocurrencia de términos? La pregunta es pertinente porque la literatura muestra un campo en rápida expansión, pero fragmentado en sub agendas tecnológicas, socioeconómicas y de gobernanza, cuya articulación no es evidente sin un mapeo relacional. En primer lugar, múltiples trabajos señalan que las cadenas agroalimentarias y específicamente las del cacao enfrentan déficits de transparencia, trazabilidad y seguridad que derivan en riesgos de contaminación, corrupción o trabajo infantil, motivando el interés por soluciones basadas en blockchain para registrar y auditar flujos de producto y datos. En segundo lugar, la literatura describe una base tecnocientífica heterogénea que persigue autenticación de origen, automatización de verificaciones y alineamiento entre eficiencia económica y prácticas éticas,

pero con enfoques y terminologías dispares. En tercer lugar, varios resúmenes resaltan la dimensión social en particular, los desafíos de pequeños productores y economías emergentes donde la adopción tecnológica enfrenta barreras de costo, capacidades y estandarización, lo que sugiere tensiones entre promesas de trazabilidad y realidad operativa en territorio. Finalmente, el corpus evidencia una concentración geográfica de casos y análisis en África (Ghana, entre otros) y estudios de proceso en Brasil, lo que introduce clústeres regionales y temáticos que conviene contrastar.

Dado este panorama, un análisis de co-ocurrencia de términos es el método idóneo para: (i) identificar clústeres, (ii) medir la influencia y el rol de términos-puente que conectan tecnología con sostenibilidad y cumplimiento, y (iii) detectar vacíos o islas temáticas donde faltan conexiones. Por lo tanto, el análisis de la red de co-ocurrencia términos, permitirá ordenar el campo, revelar interdependencias entre agendas técnicas y sociales, y priorizar líneas de investigación con mayor potencial de impacto en la cadena del cacao.

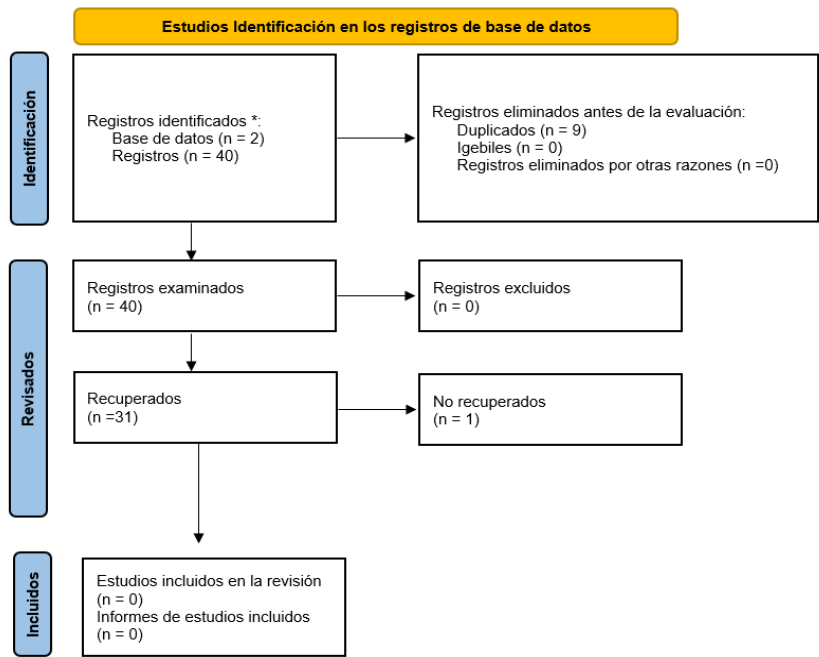
### METODOLOGÍA

#### Selección de los documentos

La selección del documento está basada en las buenas prácticas de la metodología primas, en la Figura 1, se muestra el desarrollo del flujograma de selección de las fuentes de base de datos y la selección de los documentos. A partir de la definición de las bases de datos bibliográficas Scopus y Web Of Science se diseñaron las respectivas ecuaciones de búsqueda logrado extraer 40 artículos Ver tabla 1.

Tabla 1

*Flujograma de selección de documentos planteado por la metodología PRISMA*

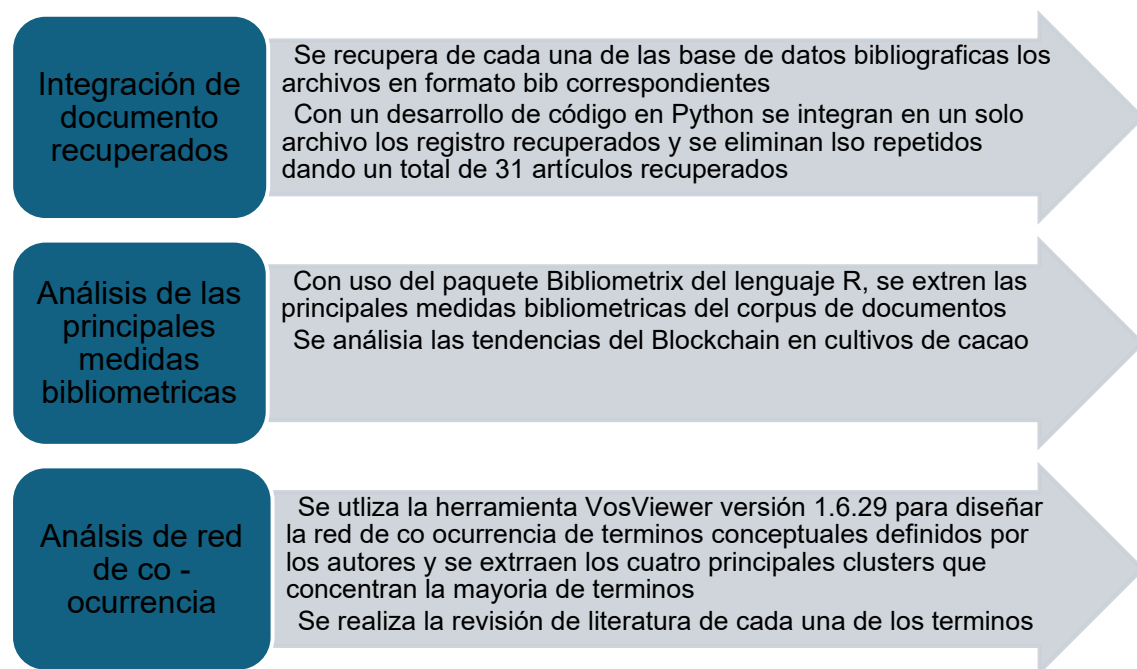


**Tabla 2***Ecuaciones de búsqueda*

| Base de datos                   | Ecuaciones de búsqueda                                                                                  | Documentos<br>Recuperados |
|---------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|
| Scopus                          | TITLE-ABS-KEY ( "blockchain" AND ( "Theobroma cacao" OR cacao OR cocoa OR "Theobroma cacao" ) )         | 27                        |
| Web Of Science                  | "blockchain" (All Field) And (cacao OR cocoa OR "Theobroma cacao" or "Theobroma cacao") (All Field) And | 13                        |
| Total de documentos Recuperados |                                                                                                         | 40                        |

**Análisis de corpus de documentos**

Para desarrollar el análisis bibliométrico de red de co- ocurrencia de términos conceptuales se plantea el siguiente flujo de trabajo:

**Gráfico 1***Flujo De Trabajo***RESULTADOS****Análisis de las principales medidas bibliométricas**

El análisis bibliométrico realizado sobre el tema "Blockchain en cultivos de cacao" abarca el periodo comprendido entre 2019 y 2025 Ver figura 2, e integra un total de 31 documentos distribuidos en 25 fuentes académicas, incluyendo revistas científicas, capítulos de libros y actas

de congresos. La tasa de crecimiento anual del número de publicaciones es negativa ( $-6,53\%$ ), lo cual sugiere una desaceleración reciente en la producción científica, posiblemente asociada a la transición de esta línea temática desde la exploración inicial hacia una fase de consolidación conceptual y tecnológica.

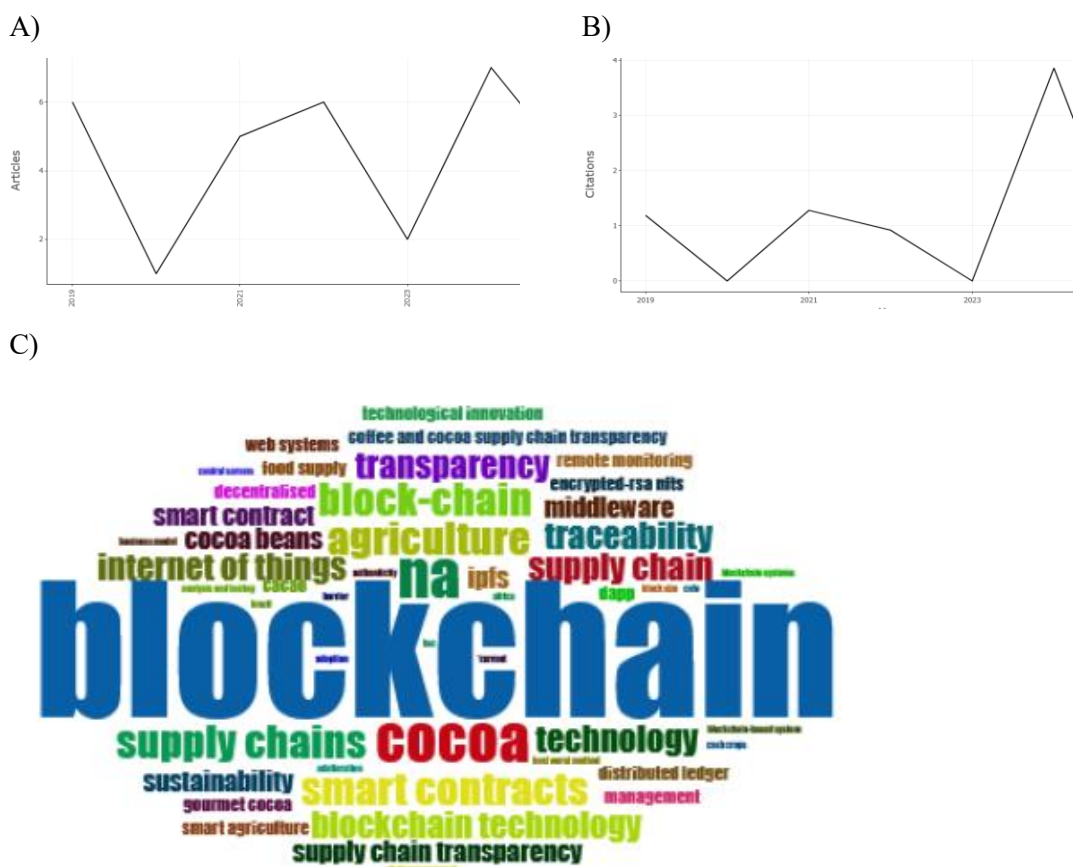
La edad promedio de los documentos analizados es de 2,9 años Ver Figura 3A, lo que refleja una vigencia temática moderada y coherente con el auge de la tecnología blockchain en sectores agroindustriales. En cuanto al impacto académico, los artículos presentan una media de 5,097 citas por documento, lo que evidencia un nivel de reconocimiento intermedio Ver Figura 3B, esperable en campos interdisciplinarios emergentes que aún construyen una base teórica y aplicada sólida. A su vez, el conjunto de publicaciones revisadas incluye 559 referencias, lo que refuerza el carácter exploratorio y fundamentado de las investigaciones seleccionadas.

Desde una perspectiva terminológica, se identificaron 132 descriptores en Keywords Plus (ID) y 163 palabras clave proporcionadas por los autores (DE), lo que denota una alta diversidad conceptual y un campo marcado por la convergencia de enfoques técnicos, sociales, económicos y logísticos. Esta dispersión léxica es típica de temas en expansión y favorece el análisis de co-ocurrencia de términos para la identificación de clústeres temáticos, tendencias emergentes y vacíos de conocimiento Ver Figura 3C.

En conjunto, los datos evidencian que la investigación sobre blockchain en las cadenas de suministro del cacao se caracteriza por un enfoque reciente, colaborativo, temáticamente amplio y aún en construcción. Las tendencias actuales indican un interés por la trazabilidad, la sostenibilidad y la eficiencia logística, mientras que los retos observados incluyen la falta de estandarización terminológica, la escasa articulación internacional y la necesidad de avanzar hacia publicaciones de mayor impacto y profundidad teórica. Estos hallazgos refuerzan la pertinencia del presente estudio para mapear el estado del arte y guiar futuras investigaciones en este campo.

## Gráfico 2

Medidas bibliométricas extraídas del conjunto de documentos



A) Producción científica anual. B) Citas promedio por año. C) Nube de palabras

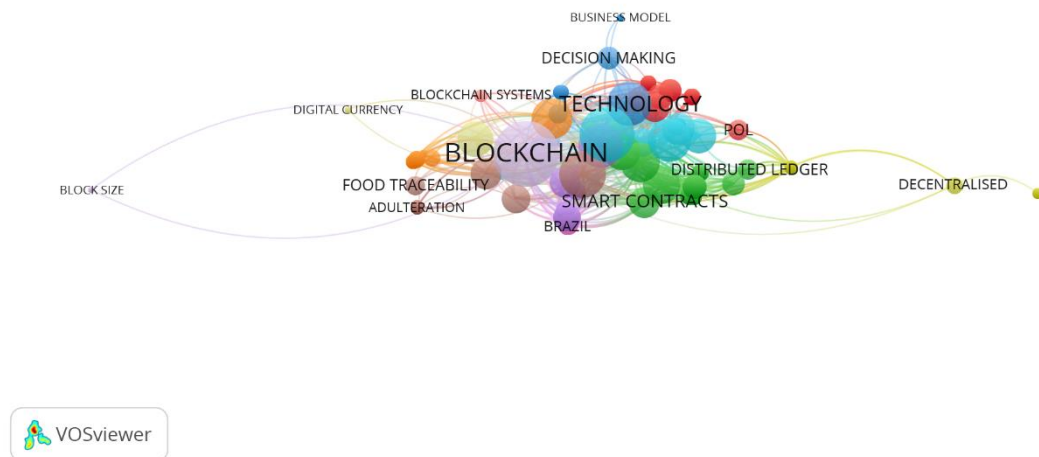
### Análisis de red de co – ocurrencia de términos

A partir del procesamiento de los 31 artículos seleccionados se logró extraer 163 términos conceptuales definidos por 90 autores Ver Figura 4, a través del análisis de red de coocurrencia de términos se logra definir cuatro clústeres que concentran la mayor parte de los términos, a los cuales, al primer clúster se lo denomino: Sostenibilidad Socioambiental y Gobernanza en Cadenas de Suministro Agrícola. El segundo clúster toma como nombre: Tecnologías de registro

distribuido y trazabilidad digital en cadenas de cacao. El tercer clúster se lo nombre: Transformación digital y agricultura inteligente en la cadena de suministro del cacao, y al último clúster se lo denomino: Infraestructura criptográfica y arquitectura de sistemas blockchain en entornos descentralizados. A continuación, se realiza un definición y revisión de la literatura de cada uno de estos grupos.

#### Grafico 4

*Red de co ocurrencia de términos*



#### Clúster 1: Sostenibilidad Socioambiental y Gobernanza en Cadenas de Suministro Agrícola

Este clúster articula una red de términos centrada en los retos de implementación de blockchain desde una perspectiva sostenible y social, particularmente en sistemas de producción agrícola como el cacao. Las decisiones sobre tecnologías digitales no se limitan a aspectos técnicos, sino que deben considerar impactos ambientales, sociales, laborales y metodológicos, sobre todo en cadenas con fuerte participación de productores pequeños y en países en desarrollo Ver Figura 5A.

El Clúster 1: Sostenibilidad socioambiental y gobernanza en cadenas de suministro agrícola se centra en la manera en que las innovaciones tecnológicas, en particular el uso del blockchain, fortalecen la transparencia y la trazabilidad en los procesos productivos, respondiendo a la creciente demanda de prácticas responsables con el ambiente y las comunidades. Diversos estudios destacan que la incorporación de blockchain permite mejorar la rendición de cuentas y enfrentar problemas como la baja responsabilidad social y el desempeño ambiental deficiente en cadenas agrícolas complejas [9]. Además, su integración junto con otras tecnologías emergentes, como la inteligencia artificial y el Internet de las Cosas, impulsa modelos de gobernanza más resilientes y colaborativos, capaces de atender los desafíos de sostenibilidad global [13]. En países en vías de desarrollo, la trazabilidad digital constituye una herramienta clave para que pequeños productores accedan a mercados internacionales, ya que facilita la verificación de certificaciones ambientales y sociales, elevando su competitividad [10]. Este enfoque es particularmente relevante para mejorar los medios de vida de agricultores de pequeña escala, quienes

históricamente han enfrentado vulnerabilidad económica y exclusión de cadenas de valor de alto valor agregado [26]. La literatura también señala que los marcos de gobernanza apoyados en blockchain permiten articular la innovación con políticas de sostenibilidad, configurando ecosistemas donde la eficiencia productiva se vincula con la responsabilidad ambiental y social. En conjunto, este clúster evidencia que la sostenibilidad socioambiental y la gobernanza no son solo elementos de control, sino motores de transformación que garantizan la legitimidad y sostenibilidad de las cadenas de suministro agrícola [9].

## **Clúster 2: Tecnologías de registro distribuido y trazabilidad digital en cadenas de cacao**

Este clúster articula el eje tecnológico-operativo del uso de blockchain y sistemas distribuidos en la cadena de suministro del cacao. Su núcleo gira en torno a la infraestructura digital (DLT, IPFS, contratos inteligentes), la garantía de transparencia y trazabilidad, y el uso de activos digitales como NFTs para codificar certificaciones, derechos o procesos logísticos. La presencia de términos como *coffee and cocoa supply chain transparency*, *fair trade*, y *end consumers* refuerza su alineación con sistemas de trazabilidad exigidos por los mercados internacionales y regulaciones como la EUDR Ver Figura 5B.

El segundo clúster identifica a las tecnologías de registro distribuido, en particular *blockchain*, como ejes transformadores en la trazabilidad digital de las cadenas de cacao. Estas tecnologías permiten registrar de manera segura procesos críticos como el secado y fermentación de granos, garantizando control de datos climáticos (lluvia, humedad, radiación) y actuando como plataforma para aplicaciones descentralizadas que mejoran la calidad del producto final [5]. En este sentido, proyectos aplicados al contexto brasileño han utilizado contratos inteligentes para catalogar información valiosa del proceso de fermentación, lo que contribuye a la recuperación de la competitividad frente a crisis históricas como la enfermedad de la “escoba de bruja” [6].

A nivel experimental, se han desarrollado sistemas que no solo protegen la información agrícola frente a manipulaciones o distorsiones, sino que además extienden su aplicación a la manufactura, distribución y consumo, reforzando así la confianza entre productores, comercializadores y consumidores [20]. En paralelo, se han propuesto marcos jerárquicos de habilitadores que incorporan la transparencia, la seguridad de blockchain y el rastreo de componentes como factores decisivos para mejorar la sostenibilidad en países emergentes [9]. Finalmente, la combinación de blockchain con contratos inteligentes, NFTs e IPFS en el sector café-cacao demuestra su potencial para asegurar la integridad de los datos, incrementar la transparencia y fomentar la equidad en las cadenas de suministro agroalimentarias [12].

En conjunto, este clúster refleja cómo la digitalización mediante tecnologías de registro distribuido no solo responde a necesidades de trazabilidad, sino que configura un nuevo paradigma en la gestión sostenible y confiable del cacao.

### **Clúster 3: Transformación digital y agricultura inteligente en la cadena de suministro del cacao**

Este clúster destaca el componente de innovación tecnológica aplicada a la cadena de suministro del cacao, en particular a través de soluciones que integran agricultura inteligente (smart farming), toma de decisiones basada en datos (model-driven, informed decision-making), y la digitalización de la documentación y gestión operativa. A su vez, plantea una visión en la que el blockchain no se implementa de forma aislada, sino como parte de un ecosistema digital más amplio que incluye desde la sensorización de cultivos hasta plataformas basadas en la nube, realidad virtual y análisis predictivo Ver Figura 5C.

La transformación digital en la agricultura, y particularmente en el sector cacaotero, se ha consolidado como un eje estratégico para optimizar la productividad, la trazabilidad y la sostenibilidad de la cadena de suministro. El uso de modelos específicos para fincas y sistemas inteligentes ha permitido recopilar, procesar y proteger datos agrícolas en tiempo real, lo cual fortalece la toma de decisiones y la eficiencia en el manejo de recursos [20]. Estas innovaciones incluyen sensores, hardware de redes, algoritmos de control y sistemas de memoria capaces de soportar transacciones y encriptar información desde la producción hasta el consumo final, garantizando seguridad y transparencia en cada etapa del proceso.

El papel de las tecnologías emergentes, como el blockchain aplicado a la agricultura inteligente, resulta esencial para mitigar riesgos asociados a prácticas poco éticas y mejorar la trazabilidad de los productos agrícolas, incluido el cacao [21]. Además, el uso de drones y satélites ha mostrado un gran potencial para monitorear cultivos y apoyar a pequeños productores frente a problemáticas sociales como explotación o exclusión financiera, contribuyendo a fortalecer la sostenibilidad social del sector [26].

En conjunto, estos avances evidencian cómo la agricultura inteligente, sustentada en tecnologías digitales, no solo impulsa la eficiencia y la transparencia en las cadenas de valor del cacao, sino que también abre la puerta a un ecosistema productivo más resiliente, inclusivo y sostenible.

### **Clúster 4: Infraestructura criptográfica y arquitectura de sistemas blockchain en entornos descentralizados**

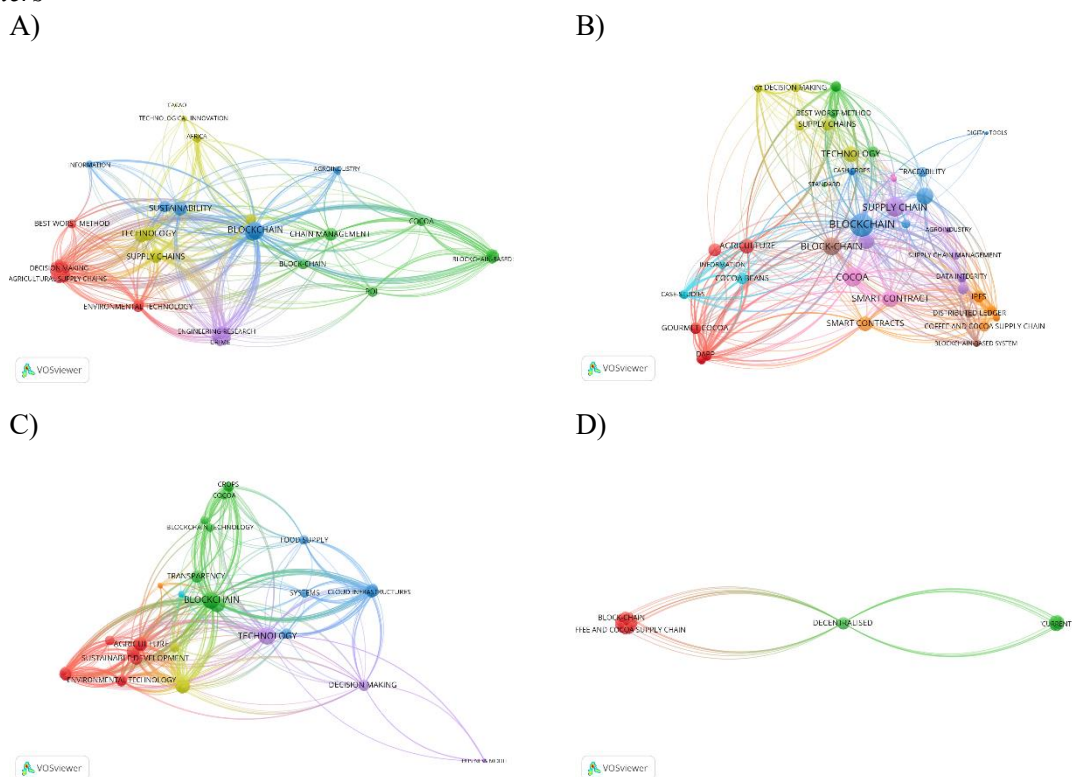
Este clúster representa el núcleo técnico y criptográfico de las soluciones blockchain aplicadas a la trazabilidad y gestión de datos en la cadena del cacao. A diferencia de otros clústeres más orientados a la adopción o aplicación agrícola, este agrupa investigaciones que abordan los mecanismos de funcionamiento interno de los sistemas distribuidos: su estructura de red, niveles de seguridad, procesos de tokenización y manejo de concurrencia. Es clave para garantizar que las aplicaciones blockchain sean robustas, seguras, escalables y eficientes, especialmente en entornos agrícolas donde las condiciones tecnológicas son variables y las infraestructuras pueden ser poco confiables Ver Figura 5D.

El clúster 4 agrupa estudios que exploran la infraestructura criptográfica y la arquitectura de sistemas blockchain orientados a contextos descentralizados. Uno de los aportes clave se centra en el Continuous Group Key Agreement (CGKA), un protocolo que permite a un conjunto dinámico de participantes establecer claves seguras de manera continua y escalable. Este mecanismo resulta esencial en entornos donde los nodos se unen o abandonan frecuentemente, garantizando la confidencialidad y resiliencia de las comunicaciones distribuidas [8].

Por otra parte, se destaca un marco que integra blockchain con técnicas de aprendizaje automático para mejorar la seguridad y la eficiencia de sistemas descentralizados. Dicho enfoque propone una arquitectura en la que los registros distribuidos se combinan con modelos predictivos, lo que facilita la detección temprana de anomalías y la optimización del flujo de datos en redes abiertas. Este tipo de infraestructura no solo fortalece la confianza en sistemas blockchain, sino que además impulsa su aplicabilidad en sectores estratégicos como la cadena de suministro y los servicios financieros [19].

En conjunto, los aportes del clúster evidencian cómo la combinación de métodos criptográficos avanzados y diseños arquitectónicos robustos está configurando un nuevo horizonte para los sistemas blockchain, con mayor seguridad, escalabilidad y adaptabilidad en entornos descentralizados.

## Grafico 5 Clusters



Note: A) Cluster 1: Sostenibilidad Socioambiental y Gobernanza en Cadenas de Suministro Agrícola. B) Cluster 2: Tecnologías de registro distribuido y trazabilidad digital en cadenas de cacao C) Transformación digital y agricultura inteligente en la cadena de suministro del cacao. D) Infraestructura criptográfica y arquitectura de sistemas blockchain en entornos descentralizados.

## DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos permiten evidenciar que la investigación en torno al uso de blockchain en cultivos de cacao se encuentra en una fase de consolidación, caracterizada por un crecimiento moderado y una diversificación conceptual significativa. La desaceleración en la tasa de crecimiento de publicaciones ( $-6,53\%$ ) no necesariamente refleja un desinterés académico, sino más bien la transición de un campo exploratorio hacia la búsqueda de modelos y aplicaciones más consistentes. En este sentido, la edad promedio de los documentos (2,9 años) y la media de citas por artículo (5,097) sugieren un posicionamiento intermedio, propio de áreas interdisciplinarias emergentes donde la adopción tecnológica aún está en construcción.

Un aspecto relevante es la amplitud terminológica, reflejada en la alta dispersión de descriptores (132 ID y 163 DE), lo cual denota un campo en expansión y con múltiples aristas de investigación. Esta diversidad, aunque evidencia riqueza conceptual, también revela una falta de estandarización que dificulta la consolidación de una agenda común. El análisis de co-ocurrencia y la formación de cuatro clústeres temáticos permitieron ordenar esta dispersión, evidenciando que los estudios se agrupan en torno a sostenibilidad socioambiental, tecnologías de trazabilidad, transformación digital y arquitecturas criptográficas. Cada uno de estos ejes representa dimensiones complementarias que, en conjunto, ofrecen una visión integral de los retos y oportunidades del blockchain en la cadena de suministro del cacao.

En términos de aplicación práctica, los hallazgos sugieren que la implementación de blockchain no debe entenderse únicamente como una solución tecnológica, sino como una estrategia transversal que abarca aspectos sociales, ambientales, económicos y técnicos. Mientras que los clústeres 1, 2 y 3 se orientan hacia la gobernanza, la trazabilidad y la digitalización agrícola, el clúster 4 introduce el componente técnico-criptográfico que garantiza la robustez y escalabilidad de los sistemas. Este último es crucial, ya que sin una infraestructura criptográfica sólida, los avances en sostenibilidad y trazabilidad corren el riesgo de ser vulnerables o insostenibles en el tiempo.

Finalmente, la discusión resalta que el principal desafío del campo no se limita al diseño de nuevas aplicaciones, sino a la articulación entre innovación tecnológica y sostenibilidad integral. La falta de colaboración internacional, sumada a la escasa producción de artículos de alto impacto, evidencia la necesidad de fortalecer redes académicas y de investigación que potencien la adopción del blockchain en el cacao desde una perspectiva global. El estudio, en consecuencia, no solo contribuye a mapear el estado del arte, sino que también sienta las bases para orientar futuras investigaciones hacia enfoques más integradores, robustos y alineados con las exigencias de mercados internacionales y con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS).

## CONCLUSIONES

El análisis bibliométrico desarrollado sobre la aplicación de blockchain en las cadenas de suministro del cacao permite concluir que se trata de un campo emergente en consolidación, caracterizado por una notable diversidad temática y conceptual. A pesar de la disminución en la tasa de crecimiento anual de publicaciones, los indicadores muestran que la investigación mantiene un nivel de vigencia e impacto intermedio, lo cual refleja que la temática ha superado la fase inicial de exploración y avanza hacia una etapa de maduración metodológica y práctica.

Los cuatro clústeres identificados –sostenibilidad socioambiental y gobernanza, tecnologías de registro distribuido y trazabilidad digital, transformación digital y agricultura inteligente, e infraestructura criptográfica y arquitecturas descentralizadas– evidencian la amplitud de enfoques y la convergencia de perspectivas sociales, técnicas y económicas. Esta segmentación temático-conceptual no solo permite ordenar un campo en rápida expansión, sino que también visibiliza los vacíos de investigación y las oportunidades para articular agendas más sólidas.

Asimismo, los resultados muestran que la incorporación de blockchain en el sector cacaotero no debe entenderse únicamente como una innovación tecnológica, sino como un proceso integral que abarca dimensiones de sostenibilidad, transparencia, gobernanza y seguridad. En este sentido, la relevancia del componente criptográfico y arquitectónico resulta clave para garantizar la robustez y escalabilidad de los sistemas, evitando que los avances logrados en trazabilidad y digitalización pierdan eficacia ante limitaciones técnicas o de infraestructura.

Finalmente, el estudio confirma que el blockchain posee un alto potencial para redefinir la manera en que se produce, certifica y comercializa el cacao, contribuyendo a cadenas de valor más transparentes, resilientes y sostenibles. Sin embargo, su adopción enfrenta desafíos asociados a la estandarización, la interoperabilidad tecnológica, los costos de implementación y la capacitación de los actores involucrados. Estos retos subrayan la importancia de fortalecer la cooperación internacional, el desarrollo de marcos regulatorios y la integración de políticas públicas que acompañen la transformación digital en la agroindustria. En consecuencia, la investigación futura deberá enfocarse en cerrar estas brechas y en potenciar modelos colaborativos que aseguren una implementación inclusiva y alineada con los Objetivos de Desarrollo Sostenible.

## REFERENCIAS

- [1] «7th International Conference on Computer Science and Computational Intelligence, CSCI 2022», *Procedia Computer Science*, vol. 216. 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85165663950&partnerID=40&md5=60cd6c246227abb22311363870aa2b60>
- [2] «PhD Symposium, Posters, Demos, and A Web for more inclusive, sustainable and prosperous societies, WEB-for-GOOD 2024 and 1st International Workshop on AI and Web Data Analytics, AIWDA 2024 form the 25th International Conference on Web Information Systems Engineering, WISE 2024», *Lecture Notes in Computer Science*, vol. 15463 LNCS. 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-105000359955&partnerID=40&md5=dfce3cb5cbb63aeda87ab241ae958a29>
- [3] «15th Annual International Conference on Combinatorial Optimization and Applications, COCOA 2021», *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*, vol. 13135 LNCS. 2021. [En línea]. Disponible en: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85121838612&partnerID=40&md5=a97b16ad6595f3cb36f939de104074c4>
- [4] «17th International Conference on Future Networks and Communications / 19th International Conference on Mobile Systems and Pervasive Computing / 12th International Conference on Sustainable Energy Information Technology, FNC/MobiSPC/SEIT 2022», *Procedia Computer Science*, vol. 203. 2022. [En línea]. Disponible en: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85141739460&partnerID=40&md5=a95eba4b997398242224c2f80262dcbc>
- [5] J. Abijaude, P. Sobreira, I. Pinto, y F. Greve, «Combining REST and SNMP for HTTP traffic optimization: A case study on gourmet cocoa drying», *Proceedings - 2021 IEEE Latin-American Conference on Communications, LATINCOM 2021*. 2021. doi: 10.1109/LATINCOM53176.2021.9647852.
- [6] J. Abijaude, P. Sobreira, L. Santiago, y F. Greve, «Improving Data Security with Blockchain and Internet of Things in the Gourmet Cocoa Bean Fermentation Process†», *Sensors*, vol. 22, n.º 8. 2022. doi: 10.3390/s22083029.
- [7] A. A. Arsyad, S. Dadkhah, y M. Köppen, «Correction to: Two-Factor Blockchain for Traceability Cacao Supply Chain (Advances in Intelligent Networking and Collaborative Systems, LNDECT 23, 10.1007/978-3-319-98557-2\_30)», *Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies*, vol. 23. p. E1, 2019. doi: 10.1007/978-3-319-98557-2\_50.
- [8] J. Alwen, B. Auerbach, M. Cueto Noval, K. Klein, G. Pascual-Perez, y K. Pietrzak, «DeCAF: Decentralizable CGKA with Fast Healing», *Lecture Notes in Computer Science*

- (including subseries *Lecture Notes in Artificial Intelligence* and *Lecture Notes in Bioinformatics*), vol. 14974 LNCS. pp. 294-313, 2024. doi: 10.1007/978-3-031-71073-5\_14.
- [9] C. Bai, M. Quayson, y J. Sarkis, «Analysis of Blockchain's enablers for improving sustainable supply chain transparency in Africa cocoa industry», *Journal of Cleaner Production*, vol. 358. 2022. doi: 10.1016/j.jclepro.2022.131896.
- [10] S. K. Kraft y F. Kellner, «Can Blockchain Be a Basis to Ensure Transparency in an Agricultural Supply Chain?», *Sustainability (Switzerland)*, vol. 14, n.º 13. 2022. doi: 10.3390/su14138044.
- [11] M. Quayson, C. Bai, J. Sarkis, y M. A. Hossin, «Evaluating barriers to blockchain technology for sustainable agricultural supply chain: A fuzzy hierarchical group DEMATEL approach», *Operations Management Research*, vol. 17, n.º 2. pp. 728-753, 2024. doi: 10.1007/s12063-024-00443-x.
- [12] V. H. Khanh *et al.*, «Integrating Blockchain, Smart Contracts, NFTs, and IPFS for Enhanced Transparency and Ethical Sourcing in Coffee and Cocoa Supply Chains», *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*, vol. 15256 LNCS. pp. 200-216, 2025. doi: 10.1007/978-981-96-1551-3\_14.
- [13] E. A. Flores-Rosales, L. F. Valdez-Zavaleta, A. Malpartida, y W. C. Algoner, «Systematic Review on How Technological Innovation Can Improve the Cocoa Industry; [Revisión Sistemática sobre cómo la Innovación Tecnológica Puede mejorar la Industria del Cacao]», *Proceedings of the LACCEI international Multi-conference for Engineering, Education and Technology*. 2024. doi: 10.18687/LACCEI2024.1.1.1069.
- [14] C. McVey, C. T. Elliott, A. Cannavan, S. D. Kelly, A. Petchkongkaew, y S. A. Haughey, «Portable spectroscopy for high throughput food authenticity screening: Advancements in technology and integration into digital traceability systems», *TRENDS IN FOOD SCIENCE & TECHNOLOGY*, vol. 118, n.º B. ELSEVIER SCIENCE LONDON, 84 THEOBALDS RD, LONDON WC1X 8RR, ENGLAND, pp. 777-790, diciembre de 2021. doi: 10.1016/j.tifs.2021.11.003.
- [15] R. B. Senou, J. Dégila, E. C. Adjubo, y A. P. M. Djossou, «Blockchain for child labour decrease in cocoa production in West and Central Africa», *IFAC-PapersOnLine*, vol. 52, n.º 13. pp. 2710-2715, 2019. doi: 10.1016/j.ifacol.2019.11.617.
- [16] Q. Ma, I. S. Razo-Zapata, S. de Kinderen, y M. Kaczmarek-Hess, «MOVING Towards Smart Grids», *BUSINESS & INFORMATION SYSTEMS ENGINEERING*. SPRINGER VIEWEG-SPRINGER FACHMEDIEN WIESBADEN GMBH, ABRAHAM-LINCOLN STASSE 46, WIESBADEN, 65189, GERMANY, 23 de enero de 2025. doi: 10.1007/s12599-025-00926-6.

- [17] «2nd International Conference on Digital Technologies and Applications, ICDTA 2023», *Lecture Notes in Networks and Systems*, vol. 669 LNNS. 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85161413927&partnerID=40&md5=e71dfc7994d16738afcdf12a4d5a18a0>
- [18] C. Berk, «Searching for the roots of cryptocurrency throughout history: An analysis of bitcoin», *Evolution of Money, Banking and Financial Crisis: History, Theory and Policy*. 2020. [En línea]. Disponible en: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85113678624&partnerID=40&md5=bda0097d95d92589a233db16940aff8e>
- [19] P. H. T. Trung *et al.*, «Towards Transparent and Ethical Coffee and Cocoa Supply Chains: Integrating Blockchain, Encrypted-RSA NFTs, and IPFS», *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*, vol. 14911 LNCS. pp. 3-17, 2024. doi: 10.1007/978-3-031-68312-1\_1.
- [20] A. A. Arsyad, I. W. Widayat, y M. Köppen, «SUPPORTING FARMING SMART DOCUMENTATION SYSTEM by MODULAR BLOCKCHAIN SOLUTIONS», *Decision Making: Applications in Management and Engineering*, vol. 5, n.º 1. pp. 1-26, 2022. doi: 10.31181/dmame0326022022a.
- [21] S. Musah, T. D. Medeni, y D. Soylu, «Assessment of Role of Innovative Technology through Blockchain Technology in Ghana's Cocoa Beans Food Supply Chains», *3rd International Symposium on Multidisciplinary Studies and Innovative Technologies, ISMSIT 2019 - Proceedings*. 2019. doi: 10.1109/ISMSIT.2019.8932936.
- [22] D. D. Mühl, F. Dos Santos Ramos, y L. Oliveira, «Price transparency and digital traceability: A framework for fairer, more sustainable food supply chains», *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 238, 2025, doi: 10.1016/j.compag.2025.110807.
- [23] I. U. Ajakwe, S. O. Ajakwe, J.-M. Lee, y D.-S. Kim, «Internet-of-Things-blockchain integration in environmental pollution monitoring data management: trends and techniques», *International Journal of Environmental Science and Technology*, 2025, doi: 10.1007/s13762-025-06615-x.
- [24] J. Wanyama *et al.*, «A systematic review of fourth industrial revolution technologies in smart irrigation: Constraints, opportunities, and future prospects for sub-Saharan Africa», *Smart Agricultural Technology*, vol. 7, 2024, doi: 10.1016/j.atech.2024.100412.
- [25] C. C. Ordoñez, G. R. Gonzales, y J. C. Corrales, «Blockchain and agricultural sustainability in South America: a systematic review», *Frontiers in Sustainable Food Systems*, vol. 8, 2024, doi: 10.3389/fsufs.2024.1347116.
- [26] M. Quayson, C. Bai, y J. Sarkis, «Technology for Social Good Foundations: A Perspective from the Smallholder Farmer in Sustainable Supply Chains», *IEEE Transactions on Engineering Management*, vol. 68, n.º 3. pp. 894-898, 2021. doi: 10.1109/TEM.2020.2996003.