



Trazabilidad en el sector agrícola: una revisión para el periodo 2017 – 2022¹

Traceability in the agricultural sector: A review for the period 2017 – 2022

Andrés Mauricio Hualpa Zúñiga², Jorge Eliécer Rangel Díaz²

¹ Recepción: 26 de julio, 2022. Aceptación: 4 de noviembre, 2022. Este trabajo forma parte del proyecto de investigación doctoral “Modelo de integración lean & green en sistemas de trazabilidad agrícola en la región del Tequendama”. Doctorado en Agrociencias. Universidad de La Salle, Bogotá, Colombia.

² Universidad de La Salle, Bogotá, Colombia. amhualpa@unisalle.edu.co (autor para la correspondencia, <https://orcid.org/0000-0002-5232-6526>); jorangel@unisalle.edu.co (<https://orcid.org/0000-0001-7746-8232>).

Resumen

Introducción. La trazabilidad se considera en los sistemas empresariales como una herramienta de seguimiento y control enfocada en la medición y recolección de datos para la asignación eficiente de recursos. El sector agrícola no es ajeno a esta práctica porque al igual que otros sistemas industriales, integra necesidades de control a nivel de cultivo, abastecimiento de insumos, transformación, transporte y comercialización de productos. **Objetivo.** Identificar objetos y alcances de seguimiento, unidades de análisis y adopción de tendencias de trazabilidad en la cadena de suministro agrícola, para referenciar el desarrollo de estudios y publicaciones recientes que integran esta función de control en este sector. **Desarrollo.** La metodología aplicada se desarrolló a través de la búsqueda, selección y análisis de artículos en repositorios científicos como Science Direct y AGRIS, para identificar tendencias de trazabilidad agrícola en los años 2017 al 2022. Se reconocieron tendencias de aplicación e integración de los sistemas de trazabilidad en el sector agrícola entorno a distintos enfoques, entre ellos, la digitalización y seguridad de la información, la medición de la productividad agrícola y el impacto ambiental dentro del concepto de sostenibilidad. Se presentan en las conclusiones las líneas de investigación, así como las brechas de conocimiento para futuros trabajos. **Conclusiones.** Los resultados de la revisión en los últimos seis años enmarcan tendencias de trazabilidad en el seguimiento digital de procesos de cultivo, la medición de la productividad y el impacto ambiental. El grado de intervención directa en el productor representa la mayor proporción en la categoría del alcance logístico de trazabilidad. Por lo anterior, se recomienda a futuro el desarrollo de sistemas de trazabilidad que realicen seguimiento de indicadores de productividad, impacto ambiental y social de manera convergente, así como la participación integrada de actores del sector agrícola, entre ellos productores, asesores técnicos y entidades gubernamentales.

Palabras clave: medición, trazabilidad de productos, cadena de suministro, tecnología, datos de producción.

Abstract

Introduction. Traceability is regarded in business systems as a monitoring and control tool that is centered on measuring and gathering data for efficient resource allocation. The agricultural sector is no stranger to this practice because, like other industrial systems, it integrates control needs at the level of cultivation, supply of



inputs, transformation, transportation, and marketing of products. **Objective.** To identify objects and scopes of monitoring, analysis units, and adoption of traceability trends in the agricultural supply chain, in order to reference the development of recent studies and publications that integrate this control function in this sector. **Development.** The applied methodology was developed through the search, selection, and analysis of articles in scientific repositories such as Science Direct and AGRIS, to identify trends in agricultural traceability in the years 2017 to 2022. Application and integration trends of traceability systems were recognized in the agricultural sector around different approaches, including digitization and information security, measurement of agricultural productivity and environmental impact mainly within the concept of sustainability. Lines of research are presented in its conclusions, as well as the knowledge gaps for future work. **Conclusions.** The results of the review in the last six years frame traceability trends mainly in the digital monitoring of cultivation processes, the measurement of productivity, and the environmental impact. The degree of direct intervention in the producer represents the highest proportion in the category of the logistic scope of traceability. Therefore, it is recommended in the future the development of traceability systems that monitor productivity, environmental, and social impact indicators in a convergent manner, as well as the integrated participations of actors in the agricultural sector, including producers, technical advisors, and government entities.

Keywords: measurement, product traceability, supply chains, technology, production data.

Introducción

En la medida que se han ampliado las exigencias conforme a la seguridad alimentaria a nivel mundial, se presentan cambios en los procesos de trazabilidad agrícola que van más allá de la inocuidad de alimentos. Autores e instituciones que han publicado estudios asociados a este tema, coinciden en que la trazabilidad es una necesidad de control que debe asegurar la calidad de los productos alimenticios. De acuerdo con la definición establecida en la norma ISO 9000:2015, se entiende por trazabilidad como: “*la capacidad para seguir la historia, aplicación o localización de todo aquello que está bajo consideración*” (International Organization for Standardization [ISO], 2015).

La definición de trazabilidad también es adoptada en la normativa ISO 22005:07, así como en el Codex Alimentario, en los que se establece el concepto como: “*la capacidad para seguir el movimiento de un alimento a través de etapas especificadas de producción, transformación y distribución*”, que determinan los estándares de gestión de la inocuidad de los alimentos (Food and Agricultural Organization of the United Nations & World Health Organization, 2013; ISO, 2007). La anterior definición limita su alcance a la inocuidad del producto, pues genera vacíos en torno a las especificaciones de control en etapas primarias de cultivo, trazabilidad documental del proceso, aplicación de control de la información y la trazabilidad comercial que relaciona a diferentes actores de la cadena.

Estudios de revisión complementan el concepto de trazabilidad como una herramienta que garantiza la seguridad y calidad de los alimentos. Se asocian estos dos factores como elementos que redundan en la confianza de los consumidores (Min Aung & Seok Chang, 2014). También integra enfoques como la identificación única de bienes, la transparencia e interoperabilidad de la información, la producción interna y/o subcontratación y los requisitos de calidad e inocuidad que conlleva en su implementación a varios actores intermedios al cultivo y el consumidor final (Rinsberg, 2014).

En el ámbito tecnológico, se identifica un avance en la adopción de aplicaciones en cadenas agroalimentarias tales como códigos de barra, códigos QR, sensores inalámbricos, comunicación de campo cercano (NFC), sistemas de información geográfica (GIS), sistemas de posicionamiento global (GPS) e identificación por radiofrecuencia (RFID) (Cruz et al., 2018). También se integra el control visual, plataformas soportadas en internet de las cosas (IoT), minería de datos (Data Mining), cadenas de bloques (BlockChain), entre otras.

Los nuevos alcances no se encuentran referenciados de manera “conjunta” en artículos de revisión en los últimos seis años. Esto genera vacíos y rezagos para el desarrollo de sistemas de trazabilidad efectivos y actualizados, frente a un evolucionado proceso de adopción de tecnologías en medición y control que se desarrolla de manera acelerada al día de hoy. Este trabajo presenta a la comunidad científica una revisión en la que se identifican objetos y alcances de seguimiento, unidades de análisis y adopción de tendencias de trazabilidad en la cadena de suministro agrícola, para referenciar el desarrollo de estudios y publicaciones recientes que integran esta función de control en este sector.

Trazabilidad agrícola

Este trabajo integra publicaciones originales tomadas como referencia de las bases de datos AGRIS y Science Direct. A partir de ello, se aplicaron tratamientos de identificación, tamizaje, elegibilidad e inclusión de referencias, se comenzó con 293 y se terminó con 64 artículos. En la identificación se abordaron los términos de búsqueda relacionados con “Agricultural” y “Traceability”, los cuales fueron validados con el tesauro de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Se utilizó el operador booleano AND para normalizar la búsqueda. Entre los tratamientos de identificación y tamizaje, se aplicó como criterios de inclusión artículos publicados entre los años 2017 hasta el presente, para obtener un análisis más reciente que permita caracterizar la adopción de tecnologías vigentes en trazabilidad. También se incluyeron artículos que se relacionan con el área de “Agricultural and Biological Sciences” y publicaciones asociadas a “Computer and Electronics in Agriculture”. Luego, entre los tratamientos de tamizaje y elegibilidad, se descartaron los artículos relacionados con actividades pecuarias, para centrar la revisión de forma exclusiva a las actividades agrícolas. Tras lectura de los resúmenes y resultados se seleccionaron 64 artículos que fueron el total de incluidos en la revisión (Figura 1).

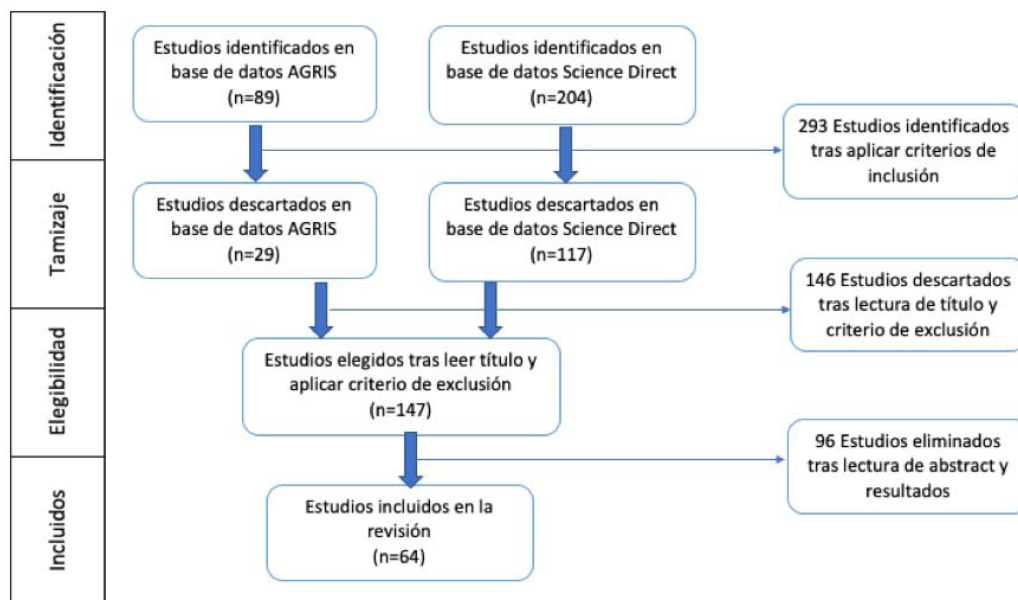


Figura 1. Metodología empleada en la revisión a través de la consulta de bases de datos Agris y Science Direct. Universidad de La Salle, Colombia. 2022.

Figure 1. Methodology used in the review through the consultation of Agris and Science Direct databases. Universidad de La Salle, Colombia, 2022.

De acuerdo con la metodología (Figura 1), se obtuvo el total de artículos incluidos en la revisión para así realizar lectura exhaustiva y análisis de los mismos, se identificaron los objetos, alcances de trazabilidad, unidades de análisis y adopción en la cadena de suministro.

Objetos y alcances de trazabilidad

De acuerdo con los artículos seleccionados, se identificaron y analizaron los propósitos de cada estudio para poder interpretar y clasificar el objeto general de intervención del sistema de trazabilidad en el sector agrícola. Los resultados enmarcaron mayor proporción de publicaciones en categorías de digitalización y la seguridad de los datos, productividad agrícola e impacto ambiental, como elementos con mayor interés de publicación por parte de la comunidad científica (Figura 2).

	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Calidad de productos y certificación	1	1	2	1	1	1
Productividad agrícola		5	2	3	3	7
Digitalización y seguridad de la información		3	1	6	8	4
Sostenibilidad-Impacto Ambiental	1	2		2	9	1

Figura 2. Número de artículos por categoría general de objeto de estudio por año. Universidad de La Salle, Colombia. 2022.

Figure 2. Number of articles by general category of study object per year. Universidad de La Salle, Colombia. 2022.

El número de publicaciones refleja tendencias de crecimiento en participación, en la categoría productividad agrícola en el año 2022 (Figura 2). Sin embargo, al analizar las publicaciones a lo largo de los seis años de manera general, la digitalización y seguridad de la información ha sido el principal referente de interés de publicación por parte de la comunidad científica, con una proporción del 34 %, seguido por la categoría de productividad agrícola e impacto ambiental con un 31 % y 23 %, respectivamente. Cabe destacar que la categoría calidad de los productos y certificación, a pesar de que presentó menor participación en publicaciones, se mantuvo vigente a lo largo de la ventana de tiempo. Los aportes identificados en cada categoría se presentan a continuación.

Digitalización y seguridad de la información

La digitalización y seguridad de la información, refleja la predominancia en el uso de tecnologías de información y manejo de datos, en particular la adopción de cadenas de bloques (BlockChain). Los autores que abordaron los procesos de trazabilidad agrícola con esta tecnología, coincidieron en sustentar las razones de utilizar BlockChain debido a sus bondades en el manejo de altos volúmenes de datos (Chen et al., 2020; Leng et al., 2018; Patel & Shrimali, 2021). Una característica importante de esta integración ha sido la transparencia y libertad de la

información, que ha dado acceso y participación a diferentes actores del sector agrícola. Los alcances comunes de medición con esta tecnología se relacionan con el control de pesticidas, fertilizantes y demás insumos utilizados en cultivos que son de interés para el consumidor de acuerdo con las nuevas tendencias de compra. También se ha resaltado el alcance de generación y seguimiento de contratos inteligentes, intercambio electrónico de datos (Masudin et al., 2021; Qian et al., 2020), el seguimiento de registros transaccionales, etiquetas de trazabilidad y documentos digitales como elementos de soporte de procesos de negociación entre productores, comerciantes, distribuidores y autoridades gubernamentales que hacen parte de la cadena agrícola (Hossein Ronaghi, 2020).

La agricultura inteligente presenta un aporte a esta categoría, mediante la aplicación de elementos de análisis de seguridad, la disponibilidad y precisión de datos necesarios para construir sistemas robustos y eficientes de seguimiento con sensores (Paul et al., 2022; Rettore de Araujo Zonella et al., 2020). Un avance significativo en este ámbito es la aplicación de “machine vision” como tecnología de captura de imágenes que están sujetas a variables de iluminación solar, desenfoque por movimiento, color y luz (Mirbod et al., 2021). Otro uso adicional de las imágenes soportadas por “machine vision”, es la disponibilidad de estas como datos públicos para procesos de control de malezas, detección de frutas y otras aplicaciones con estándares para la creación de algoritmos de rendimiento en tareas de cultivo (Lu & Young, 2020). De manera específica, el control de malezas ha sido objeto objeto de investigación y desarrollo, mediante seguimiento de imágenes con inteligencia artificial para obtener bajos costos de evaluación (Partel et al., 2019). La estimación de tamaño de fruta también se incluyó en este alcance al combinar la visión artificial 3D en ambientes al aire libre (Gongal et al., 2018). La agricultura inteligente y técnicas de aprendizaje artificial han incluido funciones de administración agrícola de seguimiento de datos y riesgos gestionados mediante computación en la nube y Big data (Durrant et al., 2022; Pivoto et al., 2018). Estos datos están asociados a variables de posicionamiento geográfico que son recolectados con drones (Pauschinger & Klauser, 2021).

La digitalización y seguridad de la información, también integra desarrollos vigentes que abordan elementos de entrada para la definición de políticas agrícolas, entre ellas la conversión de la agricultura convencional en agricultura orgánica soportada en la digitalización, lo que da oportunidad de integración a los conceptos de ecología y tecnologías de datos para la generación de sistemas de innovación (Schnebelin et al., 2021). Por ejemplo, con la adopción de tecnologías de digitalización, los procesos de medición de propiedades físicas del suelo por espectroscopía, facilitan la delimitación de zonas de manejo del mismo (Riefolo et al., 2022). Mediante la utilización de módulos soportados en IoT, se identifican las variables de composición según su colorimetría para el monitoreo del agua de aplicación agrícola (Pal et al., 2022). Otro referente de digitalización de procesos agrícolas es la integración de gemelos digitales para propósitos de seguimiento compuestos por elementos de monitoreo, interfaz y análisis compatibles con productos perecederos (Pylianidis et al., 2021). Estudios recientes presentaron en sus resultados la integración de tecnologías analógicas tradicionales y obtuvieron nuevas y mejores opciones de gobernanza basadas en la información (Ehlers et al., 2021). En el campo de las ciencias, el desarrollo de modelos de ecuaciones estructurales y descomposición de series, han sido adaptados en procesos de seguimiento agrícola (Li et al., 2021), así como la articulación de métodos estadísticos en procesos de monitoreo de cultivo para determinar umbrales de alerta temprana de producción, consumo y precios de productos (Xu et al., 2020).

Productividad agrícola

La productividad agrícola integra avances en diferentes ámbitos. Las acciones de trazabilidad tienen aplicación en sistemas agrícolas con un alcance amplio en la cadena de suministro e intervienen las variables de rentabilidad, sostenibilidad ambiental, seguridad alimentaria, entrega de bienes y servicios, entre otros (World Bank, 2018; 2020). Estos factores asociados con: gestión de la demanda, planeación de la producción, transporte, inventarios e ineficiencias en cosecha, mitigan desperdicios de productos en diferentes niveles operativos de la cadena de

suministro (Anand & Barua, 2022). Otros estudios han coincidido en que la trazabilidad agrícola fomenta la mejora de procesos de seguimiento y la reducción de costos a partir de la gestión de flujo de información. Por ejemplo, se incluyeron datos relacionados con el estado del tiempo que son determinantes para las decisiones operativas de abastecimiento (Hu et al., 2021; Sengupta et al., 2019; Yang et al., 2018). El análisis de costo agregado por procesos de transporte, manipulación, empaque, almacenamiento, son parámetros de medición de valor para el diseño de sistemas de gestión postcosecha, ya que reducen la tasa de daños en los productos y los costos logísticos (Wang, Hardin, et al., 2022). Para ello, se recomienda la adopción de estrategias de formación de agrupaciones de agricultores para que puedan implementar la trazabilidad de los productos y los procesos (Oberoi & Dinesh, 2019). El alcance de planeación de sistemas logísticos y rutas de recolección de biomasa para generación de energía renovable, mediante sistemas inteligentes operados por unidades de control, plataformas de información y almacenamiento de datos, son también hallazgos de aplicación de mejora de eficiencia en procesos agrícolas (Gebresenbet et al., 2018).

La evaluación de la productividad de cultivos mediante agricultura de precisión, es un ámbito adicional de estudio con amplios referentes que involucra análisis paralelo de la eficiencia de variables técnicas y la capacidad de procesamiento de datos del sistema de información (Xu et al., 2018). El seguimiento de la variable contenido de clorofila en la hoja, ha sido objeto de medición y generación de datos asociados al crecimiento de la planta (Gao, Qiao, et al., 2022). También se han relacionado variables ambientales que generan influencia directa en el rendimiento como: temperatura, humedad ambiental, irradiación solar, humedad del suelo, control de plagas y enfermedades, pérdidas de cosecha, entre otros (Ampatzidis et al., 2020; Mancipe-Castro & Gutierrez-Carvajal, 2021). En el caso específico del control de plagas y enfermedades, se han adoptado tecnologías de visión artificial y técnicas de aprendizaje profundo (deep learning), que exigen para ello la construcción previa de fuentes de datos (Dananjayan et al., 2022). El análisis de suelos y control de riego para disminuir la huella hídrica, determinan variables adicionales de seguimiento que promueven el uso eficiente de estos recursos (Tohidyan Far & Rezaei-Moghaddam, 2018; Villanueva-de la Cruz et al., 2020). La utilización de tecnologías aplicadas en la evaluación de la productividad, basadas en algoritmos de visión artificial, conducen a mejoras en el manejo de inventarios y conteo de productos, desarrollados por parte del productor en la cadena de valor (Gao, Fang, et al., 2022; OGrady et al., 2021). Modelos de aprendizaje automático (machine learning) y medición por espectroscopia, también respaldan procesos de medición de humedad del suelo superficial, lo que genera datos precisos y continuos a nivel espacial (Lu et al., 2022; Wang, Fang, et al., 2022).

Sostenibilidad – impacto ambiental

Los resultados obtenidos en la categoría “sostenibilidad”, integró estudios de seguimiento a variables de equidad social, eficiencia de gobernanza de políticas agrícolas (Park & Li, 2021) y análisis de gastos de consumo contribuido por el sector agrícola como indicador de bienestar (Traore et al., 2021). Se ha identificado que los índices de consumo de productos están asociados a prácticas de comercio internacional (Roux et al., 2021). Otros resultados en esta categoría reflejaron presión sobre ecosistemas y necesidad de regulaciones comerciales que fomenten el consumo sostenible.

De manera específica, en la categoría de sostenibilidad se han presentado estudios orientados al “impacto ambiental”, que reúnen metodologías de seguimiento de diversas variables, entre ellas los cambios de las propiedades biogeofísicas de las cuencas, la eutrofización en sistemas acuáticos por pérdidas excesivas de nitrógeno causadas por agricultura extensiva, precipitación, escorrentía, tiempos de labranza, uso de suelo (Jes Petersen et al., 2021), macronutrientes como fósforo, potasio y nitrógeno, trazabilidad de metales como cobre, molibdeno y zinc (Maguire et al., 2018), índices de contaminación de suelos (Boente et al., 2017), cargas ambientales asociadas a sistema alimentario (dieta), uso hídrico, gases de efecto invernadero (Moberg et al., 2020), sistemas agrícolas de bajo consumo,

conservación y reposición de recursos, entre otros (Kumar Dubey et al., 2021). El aprovechamiento de residuos generados por mantenimiento de cultivo para la generación de biomasa, son alcances que aportan a la regeneración de recursos, ya que son destinados a la producción de combustibles bajo estándares definidos (Bosona et al., 2018).

Con respecto a la medición de indicadores de biodiversidad, las variables de seguimiento están relacionadas con reservas de carbono, umbrales de densidad de bosque (Law et al., 2021), paisajes agrícolas, medidas de conservación de flora y fauna y esquemas agroambientales (Maas et al., 2021). Estos resultados generan valiosos aportes al diseño de sistemas agrícolas de bajo consumo de insumos y la evaluación de la dependencia de estos frente a recursos naturales a través de la valoración de residuos, además, establecen lineamientos para modelos de negocio eco innovadores que contribuyen a una economía circular (Donner et al., 2021). El uso de técnicas de medición de variables es amplio, entre ellas se encuentra la aplicación de cromatografía como instrumento de evaluación sistemática de impacto ambiental en cultivos (Liu et al., 2020). El análisis de contaminantes como biosólidos, pesticidas, fitoestrógenos, entre otros, son controlados mediante buenas prácticas de gestión y conservación para obtener mediciones favorables en la calidad de aguas superficiales y subterráneas (Shahverdi et al., 2022; Smalling et al., 2021).

Certificación y calidad de los productos

El alcance y uso de procesos de trazabilidad también ha sido orientado a la aplicación de actividades de certificación y calidad de productos. Se identificaron resultados que integran técnicas de teoría de juegos para el diseño y desarrollo de software de certificación de origen de café y productos herbales (Castillo Landínez et al., 2019; Wang & Yang, 2019). Las variables trabajadas en estos estudios están asociadas a la medición de ingresos, compensación de costo-beneficio, trazabilidad de producto, entre otros. Esta categoría también integró estudios orientados a inspeccionar la calidad de productos agrícolas alimenticios, residuos que se generan en cultivos y calidad de las semillas al clasificar su tamaño y características morfológicas (Singh Thakur et al., 2022; Zhao & Nakano, 2018), con base en pruebas no destructivas a través del uso de espectro electromagnético, el cual es un parámetro importante para reducir niveles de pérdida.

En términos de control de calidad en cadenas de suministro, se han adoptado acciones de trazabilidad mediante contratos inteligentes que dan soporte con algoritmos a las transacciones (Prashar et al., 2020). La seguridad, transparencia y precisión en el monitoreo de información, son parámetros primarios de aplicación de esta tecnología. Los alcances de seguimiento parten desde el proveedor, para hacer control a problemas frecuentes en seguridad alimentaria (Jin et al., 2021), y culminan con la trazabilidad del producto hasta llegar al consumidor. Entre las variables con mayor seguimiento se destacaron el precio y los niveles de consumo local (Aoudji et al., 2017).

Unidades de análisis

Para identificar unidades de análisis en las principales categorías, se hace uso de la metodología de visualización y evaluación de co-ocurrencia de metadatos derivados de las palabras clave en cada una de las fuentes referenciadas con el software Vosviewer, que representa de manera estructural el dominio científico de tecnologías aplicadas, grupos de intervención, variables de medición, alcances de seguimiento, entre otros.

La categoría digitalización y seguridad de la información se caracterizó por llevar la trazabilidad agrícola a un ámbito de generación, recolección y administración de datos (Figura 3).

En el análisis de asociación entre unidades (Figura 3), se identificaron 66 nodos agrupados en catorce clúster para un total de veintidós artículos en esta categoría. El nodo que presentó mayor grado de centralidad fue “cadena de bloques”, con probabilidad de ocurrencia del 9 % en al menos seis referencias. Otros nodos con grado de centralidad representativo fueron: “cadena de suministro (supply chain)”, “seguridad de la información (information security)”,

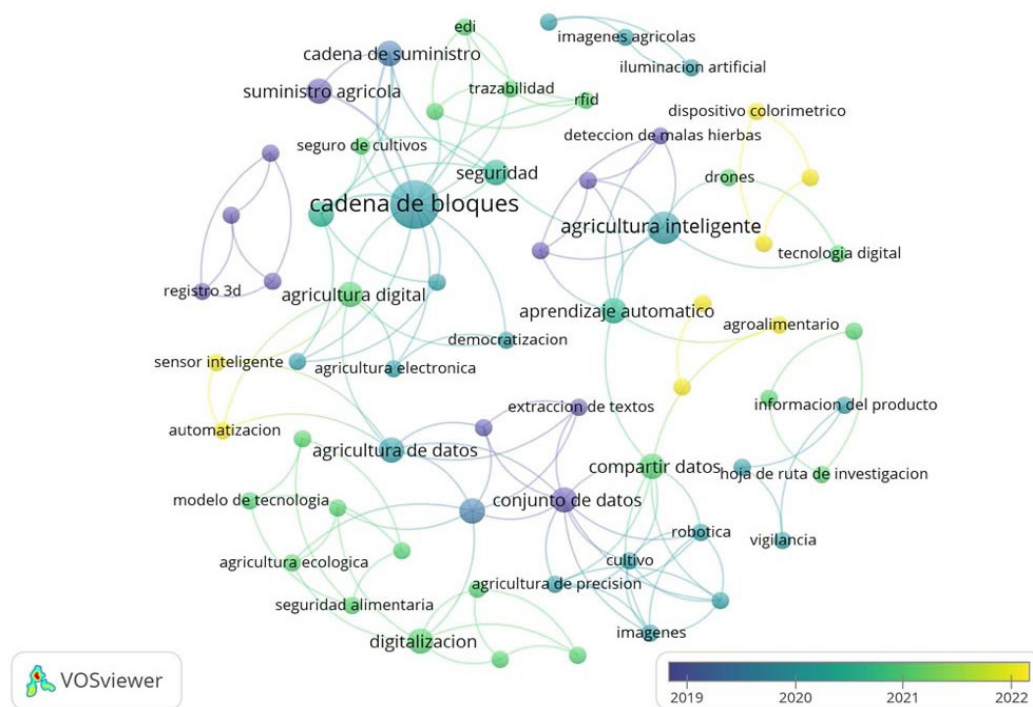


Figura 3. Asociación entre unidades de análisis de la categoría digitalización y seguridad de la información. Universidad de La Salle, Colombia. 2022.

Figure 3. Association between analysis units of the digitization and information security category. Universidad de La Salle, Colombia, 2022.

“contratos inteligentes (smart contract)”, “innovación en agricultura (agricultural innovation)”, “datos compartidos (data sharing)”, “aprendizaje de máquina (machine learning)”, “agricultura inteligente (smart agriculture)”, “visión por computador (computer vision)”, entre otros, con probabilidad de ocurrencia del 3 % cada uno. Para el año 2022 se identificaron tendencias en tecnologías de medición espectral, geo-estadística, transmisión de datos y agricultura digital (digital farming) para trazabilidad agrícola.

Los referentes en productividad agrícola compartieron elementos de tecnología comunes con la categoría anterior. Sin embargo, sus resultados se orientaron a evaluar el rendimiento en procesos de la cadena de abastecimiento (Figura 4).

En el análisis de asociación entre unidades (Figura 4), se identificaron 66 nodos agrupados en quince clúster para un total de veinte artículos. Los nodos que presentaron mayor grado de centralidad fueron “agricultura de precisión (precision agriculture)” y “cadena de suministro”, con probabilidad de ocurrencia del 4,5 % cada uno de ellos en al menos tres referencias. Otros nodos con grado de centralidad representativo fueron “agricultura inteligente (smart agriculture)” y “aprendizaje de máquina”, con probabilidad de ocurrencia del 3 % cada uno.

Para el año 2022 se mantuvieron tendencias de trazabilidad agrícola mediante soporte de tecnologías de identificación por radiofrecuencia, sistema de posicionamiento global, acceso a datos satelitales, medición espectroscópica de metales, posición e identificación de producto. También se reflejaron condiciones de trazabilidad asociados a huella hídrica, control de plagas y enfermedades, análisis de suelos, calidad nutricional, gestión de datos, control de riegos, costos de transporte, entre otros.

La categoría de sostenibilidad-impacto ambiental articuló diversos alcances de medición, por lo cual reflejó alta dispersión en las unidades de análisis (Figura 5).

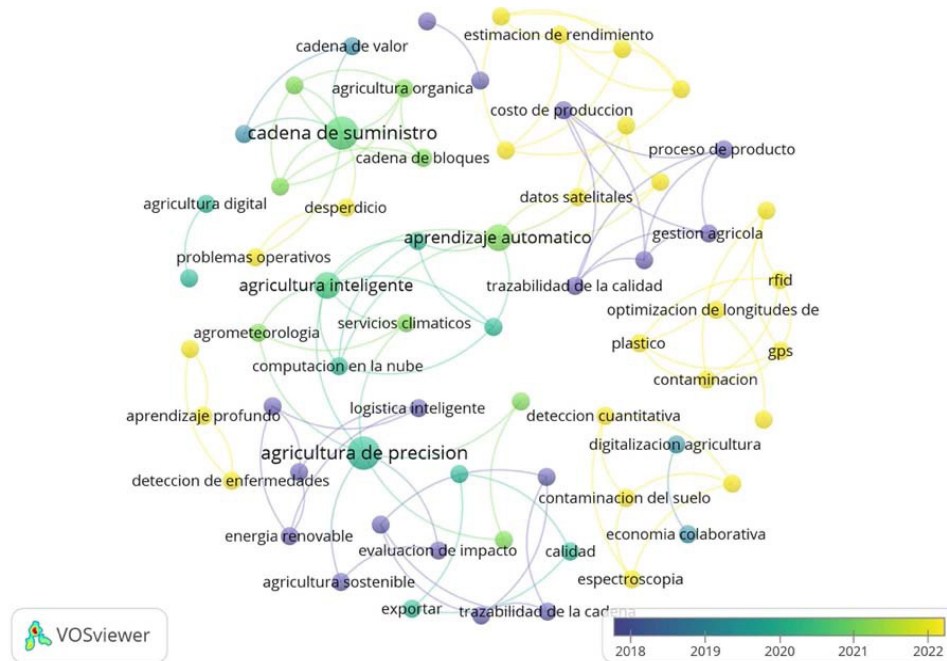


Figura 4. Asociación entre unidades de análisis de la categoría productividad agrícola. Universidad de La Salle, Colombia. 2022.

Figure 4. Association between analysis units of the agricultural productivity category. Universidad de La Salle, Colombia. 2022.

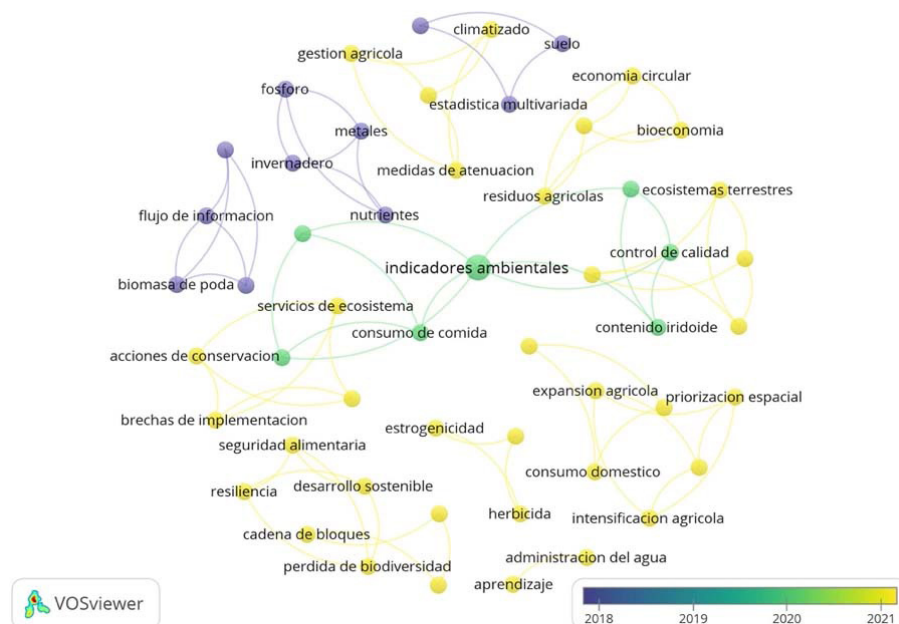


Figura 5. Asociación entre unidades de análisis de la categoría de sostenibilidad impacto ambiental. Universidad de La Salle, Colombia. 2022.

Figure 5. Association between analysis units of the environmental impact sustainability category. Universidad de La Salle, Colombia. 2022.

En el análisis de asociación entre unidades (Figura 5), se identificaron 55 nodos agrupados en quince clúster para un total de quince artículos. Esto indica que no existió centralidad en las unidades de análisis de esta categoría, dado que agrupó los nodos en la misma cantidad de artículos. Solo el nodo “indicadores ambientales (environmental indicators)” compartió co-ocurrencia en dos referencias con probabilidad del 3,6 %.

Para el año 2022 se identificaron tendencias de trazabilidad asociadas al seguimiento de índices de descomposición de materia, pérdida de biodiversidad (biodiversity loss), administración del agua (water management), bioeconomía, agricultura intensiva (intensive agricultural), servicios de ecosistema (ecosystem services), economía circular, entre otros.

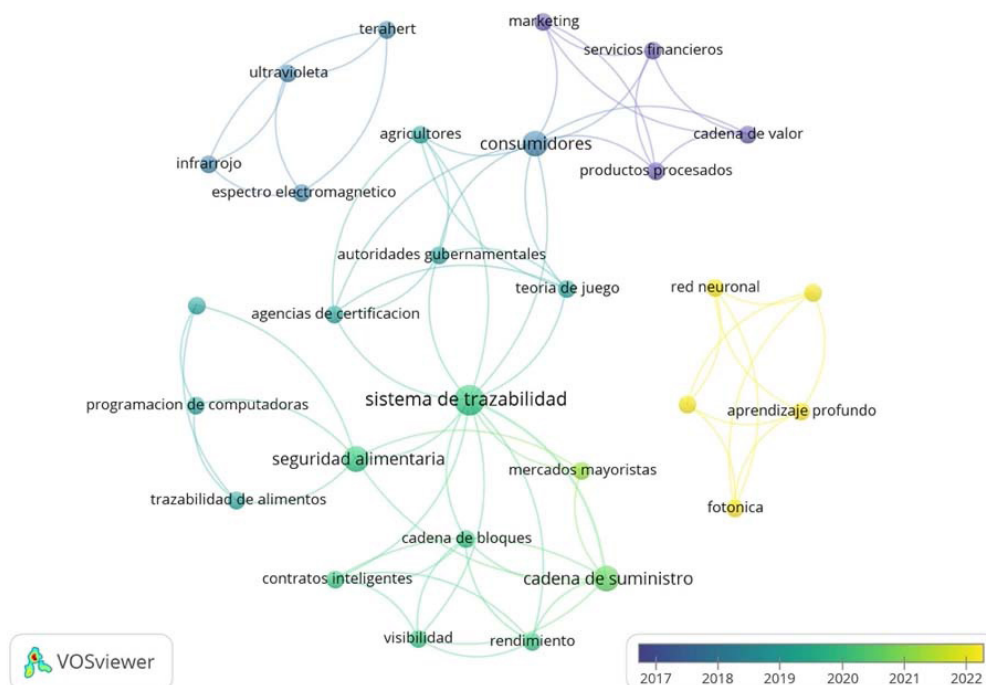


Figura 6. Asociación entre unidades de análisis de la categoría certificación y calidad de producto. Universidad de La Salle, Colombia. 2022.

Figure 6. Association between analysis units of the certification and product quality category. Universidad de La Salle, Colombia. 2022.

Las categorías de certificación y calidad de productos presentaron un grado de asociación entre los conceptos de investigación que integran respectivamente (Figura 6).

En el análisis de asociación entre unidades (Figura 5), se identificaron veintinueve nodos agrupados en seis clúster para un total de siete artículos. El nodo que presentó mayor grado de centralidad fue “sistema de trazabilidad (traceability system)” con una probabilidad de ocurrencia del 10,3 % en al menos tres referencias. Otros nodos con grado de centralidad representativo fueron “consumidores (consumers)”, “cadena de suministro” y “seguridad alimentaria (food safety)” con probabilidad de ocurrencia del 6,8 % cada uno. Para el año 2022 se identificaron tendencias de trazabilidad asociadas a medir servicios financieros (financial services), marketing, cadena de valor (value chain) y productos procesados (product processed).

En la revisión específica de resumen, cuerpo y conclusiones de los artículos incluidos, se identificaron tópicos de investigación en mayor detalle, que describen el alcance de conceptos asociados a las categorías y tendencias de investigación ya referenciadas (Cuadro 1).

Cuadro 1. Unidades de análisis asociadas a trazabilidad agrícola. Universidad de La Salle, Colombia. 2022.

Table 1. Analysis units associated with agricultural traceability. Universidad de La Salle, Colombia. 2022.

Categoría	Unidades de análisis trazabilidad agrícola	
	Palabras clave con mayor grado de co-ocurrencia	Tópicos adicionales identificados en resumen, cuerpo de artículo y conclusiones
Digitalización y seguridad de la información	Blockchain, supply chain, security, smart contract, agricultural supply, agricultural innovation, data sharing, machine learning, smart agriculture, computer vision, data agriculture, digitalization.	Volumen de datos, identificación de producto, flujo logístico, contratos inteligentes, rastreo, control pesticidas, control fertilizantes, salud consumidores, facilidad de uso, transparencia, precisión, democratización agrícola, libertad de información, libertad de información, factores sociodemográficos, visibilidad, equilibrio oferta y demanda, intercambio electrónico de datos, transparencia, puntualidad, inmutabilidad, gestión de reclamos, reporte de beneficios, análisis político, gobernanza basada en la información, agricultura inteligente, umbrales de advertencia, sensores, iluminación solar.
Productividad agrícola	Smart agriculture, machine learning, precision agriculture, supply chain.	Ingresos, servicios financieros, pérdidas de cosecha, almacenamiento, valor nutricional, análisis de suelo, control de riego, control de plagas, unidad de carga y empaque, etiquetado, áreas de plantación, rendimiento, sensores, reducción de costo, flujo de información, precio, implicaciones sociales, grado de mecanización, huella hídrica, control de plagas, control de enfermedades, temperatura, humedad ambiental, humedad de suelo, irradiancia solar, precipitación.
Sostenibilidad impacto ambiental	Environmental indicators.	Dieta, uso de tierras, dosificación, cromatografía, uso de tierra, umbrales de biodiversidad, ecología, agricultura convencional, agricultura orgánica, paisajes agrícolas, medidas de conservación, contaminación, emisiones GEI, huella hídrica, uso de tierra, clima, macronutrientes, valoración de residuos, índice de contaminación de suelo, desempeño logístico, equidad social, eficiencia de gobernanza, gastos de consumo, indicador de bienestar, estándares agrícolas, certificación orgánica.
Calidad de producto y certificación	Traceability system, consumers, supply chain, food safety.	Autenticidad, transparencia, precisión, rastreo, rendimiento, precio, consumo, certificación de origen, contenido de humedad, contenido de cenizas, intensidad de inspección, conciencia de riesgos, costos-ingresos, costo beneficio, registro de datos.

Los tópicos identificados de manera específica fueron también considerados unidades de análisis asociadas a cada categoría general, ya que extienden a mayor detalle el alcance de las palabras clave con mayor grado de co-ocurrencia.

Adopción de tendencias de trazabilidad en la cadena de suministro agrícola

El análisis de artículos incluidos en la revisión, reflejó en todas las categorías de clasificación, la adopción de la función de trazabilidad por parte de los distintos actores a lo largo de la cadena de suministro agrícola, entre ellos proveedores, productores, transportistas, mayorista y minorista, consumidor y autoridad gubernamental. Los resultados del análisis demostraron mayor recurrencia de publicaciones enfocadas al productor, lo que presenta más opciones de consulta científica de acuerdo con los referentes incluidos y los criterios de búsqueda (Cuadro 2).

Cuadro 2. Intervención de trazabilidad en la cadena de suministro agrícola. Universidad de la Salle, Colombia. 2022.

Table 2. Intervention of traceability in the agricultural supply chain. Universidad de La Salle, Colombia. 2022.

Categoría	Digitalización y seguridad de la información							Sostenibilidad impacto ambiental				Productividad agrícola						Certificación y calidad de producto							
Referencia	(Leng et al., 2018)	(Masudin et al., 2021)	(Patel & Shirmali, 2021)	(Qian et al., 2020)	(Ronaghi, 2020)	(Xu et al., 2020)	(Durrant et al., 2022)	(Bosona et al., 2018)	(Donner et al., 2021)	(Park & Li, 2021)	(Roux et al., 2021)	(Traore et al., 2021)	(Gebresenbet et al., 2018)	(O’Grady et al., 2021)	(Oberoi & Dinesh, 2019)	(World Bank, 2018)	(World Bank, 2020)	(Yang et al., 2018)	(Anand & Barua, 2022)	(Wang, Hardin et al., 2022)	(Aoudji et al., 2017)	(Jin et al., 2021)	(Prashar et al., 2020)	(Singh Thakur et al., 2022)	(Wang & Yang, 2019)
a	*													*							*		*		
b	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*		*	*	*	*	*	*	*	*	*			*		*
c		*		*				*					*						*	*					
d			*		*		*			*					*								*		
e	*	*				*		*	*	*	*	*	*	*	*	*	*			*		*	*	*	
f				*														*						*	

(a) Proveedor, (b) productor, (c) transportista, (d) mayorista y minorista, (e) consumidor, (f) autoridad gubernamental. / (a) Supplier, (b) producer, (c) carrier, (d) wholesaler and retailer, (e) consumer, (f) government authority.

Según el alcance de intervención de trazabilidad en la cadena de suministro (Cuadro 2), los referentes que no se incluyeron (39 referentes adicionales) por defecto, intervienen en su alcance directo al productor (b), lo que corresponde al 94 % de las fuentes consultadas. Los demás actores de la cadena cuentan con aplicaciones de trazabilidad de forma aislada. Lo anterior genera la posibilidad de ampliar su alcance a mayor número de actores, para que de manera consolidada compartan datos de interés de trazabilidad y permitan establecer estrategias de seguimiento conjunto. Del total de las fuentes consultadas, el 35 % ampliaron su alcance de seguimiento a dos o más actores, que restringe a máximo tres de los seis analizados.

Los resultados presentaron diferentes avances encaminados a generar mejoras que integran tecnologías de digitalización y seguridad de la información en la agricultura. Se trazaron distintos parámetros asociados al control de la producción, transformación y distribución de productos agrícolas, en los que intervienen recursos que el agricultor busca minimizar, se da prioridad a la aplicación de sistemas de trazabilidad con el objeto de

obtener cultivos más rentables y con mayor rendimiento. También se evidenció una creciente tendencia en estudios relacionados al ámbito de sostenibilidad, aunque se identificaron una mínima proporción de estudios que orientaron sus objetivos de manera conjunta, por ejemplo, estudios que promueven la “adopción tecnológica en sistemas de trazabilidad para incrementar rendimientos de cultivo y que no generen impactos negativos al ambiente y la sociedad”, y determinan así una brecha a trabajar para futuras líneas de investigación. Es probable que el alto volumen de variables de medición y seguimiento, han generado una restricción para la integración de estas categorías, por lo cual se evidenciaron necesidades de generación, recolección y almacenamiento de datos que faciliten la interpretación y análisis de indicadores de trazabilidad agrícola.

Las unidades de análisis más comunes de control fueron la medición de costos, dosificación de insumos, variables propias de cultivos como lo son humedad, radiación, plagas, enfermedades, entre otros. Sin embargo, el manejo de estos datos se enmarcó en puntos extremos de excesiva restricción para acceso a los datos. Por otra parte, existe vulnerabilidad en la seguridad de la información, debido a su disponibilidad fuera de los actores que no hacen parte de la cadena de suministro. La intermediación excesiva de estos actores externos hace que el sector agrícola no sea competitivo y se estanque en malas prácticas que generan pérdidas y desperdicios a pesar de que se aplique control.

La trazabilidad, en todos los casos de estudio, ha demostrado generar beneficios para el agricultor y demás actores de la cadena de suministro, debido a que permite anticipar decisiones. Sin embargo, se presentan diversas brechas que restringen aprovechar el potencial de esta función, ya que se identificó en la revisión un porcentaje inferior de integralidad con otros actores de la cadena. Un avance importante es enfocar estudios que fomenten convergencia de indicadores y parámetros de medición multi-objetivo, que aprovechen la facilidad de recolección y gestión de datos para su posterior análisis según la evolución tecnológica de hoy en día.

Conclusiones

Los objetos y alcances de seguimiento clasificados en cuatro categorías generales establecieron áreas de potencial desarrollo, las que están asociadas a la evolución tecnológica (digitalización y seguridad de datos) que presentan los sistemas de trazabilidad agrícola. De manera específica, se evidenció que los estudios y publicaciones seleccionados en la revisión, integraron la función de control de diversas variables técnicas y tuvieron en común unidades de análisis, entre ellas cadena de bloques, agricultura de precisión, agricultura inteligente, trazabilidad de alimentos, digitalización agrícola, desarrollo sostenible, georreferenciación, control de calidad, seguridad alimentaria y bioeconomía. Estas unidades determinan líneas emergentes de investigación como solución a diferentes necesidades de registro y monitoreo en procesos agrícolas en los que intervienen diferentes actores de la cadena de suministro, en especial el productor. Con base en que en el 94 % de las referencias consultadas se intervino de forma directa sobre el productor, la comunidad científica tiene el reto de ampliar el alcance de medición de manera transversal con los actores en la cadena de suministro agrícola para lograr mayor impacto en sus resultados.

Bajo el concepto de sostenibilidad, se identificó una baja inclusión de estudios de trazabilidad que hagan seguimiento de variables sociales trasversales a los procesos agrícolas, que demarcan una brecha y necesidad de monitoreo integral. Es recomendable extender a nivel técnico y sectorial la adopción de variables sociales, fundamentadas en políticas públicas de las que se deriven programas de intervención en poblaciones rurales. Derivado de ello, las autoridades gubernamentales tienen el reto de diseñar y promover estrategias de convergencia en proyectos agrícolas que integren elementos tecnológicos y de sostenibilidad.

Se sugiere encaminar estudios de trazabilidad que realicen seguimiento integrado con varios actores de la cadena de suministro que mantienen la medición en variables de productividad, impacto ambiental y social.

Referencias

- Ampatzidis, Y., Partel, V., & Costa, L. (2020). Agroviz: Cloud-based application to process, analyze and visualize UAV-collected data for precision agriculture applications utilizing artificial intelligence. *Computers and Electronics in Agriculture*, 174, Article 105457. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105457>
- Anand, S., & Barua, M. K. (2022). Modeling the key factors leading to post-harvest loss and waste of fruits and vegetables in the agri-fresh produce supply chain. *Computers and Electronics in Agriculture*, 198, Article 106936. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2022.106936>
- Aoudji, A. K. N., Avocevou-Ayisso, C., Adégbidi, A., Gbénou, C., & Lebailly, P. (2017). Upgrading opportunities in agricultural value chains: Lessons from the analysis of the consumption of processed pineapple products in southern Benin. *African Journal of Science, Technology, Innovation and Development*, 9(6), 729–737. <https://doi.org/10.1080/20421338.2016.1163472>
- Boente, C., Matanzas, N., Garcia-González, N., Rodriguez-Valdés, E., & Gallego, J. R. (2017). Trace elements of concern affecting urban agriculture in industrialized areas: A multivariate approach. *Chemosphere*, 183, 546–556. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.05.129>
- Bosona, T., Gebresenbet, G., & Olsson, S. -O. (2018). Traceability system for improved utilization of solid biofuel from agricultural prunings. *Sustainability*, 10(2), Article 258. <https://doi.org/10.3390/su10020258>
- Castillo Landínez, S. P., Caicedo Rodríguez, P. E., & Sánchez Gómez, D. F. (2019). Diseño e implementación de un software para la trazabilidad del proceso de beneficio del café. *Ciencia & Tecnología Agropecuaria*, 20(3), 523–536. https://doi.org/10.21930/rcta.vol20_num3_art:1588
- Chen, Y., Li, Y., & Li, C. (2020). Electronic agriculture, blockchain and digital agricultural democratization: Origin, theory and application. *Journal of Cleaner Production*, 268, Article 122071. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122071>
- Cruz, S., Boza, A., & Alemany, M. (2018). Traceability in the Food Supply Chain: Review of the literature from a technological perspective. *Dirección y Organización*, 64, 50–55. <http://hdl.handle.net/10251/121089>
- Dananjayan, S., Tang, Y., Zhuang, J., Hou, C., & Luo, S. (2022). Assessment of state-of-the-art deep learning based citrus disease detection techniques using annotated optical leaf images. *Computers and Electronics in Agriculture*, 193, Article 106658. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2021.106658>
- Donner, M., Verniquet, A., Broeze, J., Kayser, K., & De Vries, H. (2021). Critical success and risk factors for circular business models valorising agricultural waste and by-products. *Resources, Conservation and Recycling*, 165, Article 105236. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.105236>
- Durrant, A., Markovic, M., Matthews, D., May, D., Enright, J., & Leontidis, G. (2022). The role of cross-silo federated learning in facilitating data sharing in the agri-food sector. *Computers and Electronics in Agriculture*, 193, Article 106648. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2021.106648>
- Ehlers, M. -H., Huber, R., & Finger, R. (2021). Agricultural policy in the era of digitalisation. *Food Policy*, 100, Article 102019. <https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2020.102019>

- Food and Agricultural Organization, & World Health Organization. (2013). *Codex Alimentarius Commission: Procedural Manual* (21th ed.). Retrieved February 18th, 2022 from <https://www.fao.org/3/i3243e/i3243e.pdf>
- Gao, F., Fang, W., Sun, X., Wu, Z., Zhao, G., Li, G., Li, R., Fu, L., & Zhang, Q. (2022). A novel apple fruit detection and counting methodology based on deep learning and trunk tracking in modern orchard. *Computers and Electronics in Agriculture*, 197, Article 107000. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2022.107000>
- Gao, D., Qiao, L., An, L., Sun, H., Li, M., Zhao, R., Tang, W., & Song, D. (2022). Diagnosis of maize chlorophyll content based on hybrid preprocessing and wavelengths optimization. *Computers and Electronics in Agriculture*, 197, Article 106934. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2022.106934>
- Gebresenbet, G., Bosona, T., Olsson, S. -O., & Garcia, D. (2018). Smart system for the optimization of logistics performance of the pruning biomass value chain. *Applied Sciences*, 8(7), Article 1162. <https://doi.org/10.3390/app8071162>
- Gongal, A., Karkee, M., & Amatya, S. (2018). Apple fruit size estimation using a 3D machine vision system. *Information Processing in Agriculture*, 5(4), 498–503. <https://doi.org/10.1016/j.inpa.2018.06.002>
- Hossein Ronaghi, M. (2020). A blockchain maturity model in agricultural supply chain. *Information Processing in Agriculture*, 8(3), 398–408. <https://doi.org/10.1016/j.inpa.2020.10.004>
- Hu, S., Huang, S., Huang, J., & Su, J. (2021). Blockchain and edge computing technology enabling organic agricultural supply chain: A framework solution to trust crisis. *Computers and Industrial Engineering*, 153, Article 107079. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2020.107079>
- International Organization for Standardization. (2007). *ISO/TC 176/SC 1 22005:2007, Traceability in the feed and food chain: General principles and basic requirements for system design and implementation*. Retrieved February 18th, 2022 from <https://www.iso.org/standard/36297.html>
- International Organization for Standardization. (2015). *ISO 9000:2015, Quality management systems — Fundamentals and vocabulary*. Retrieved February 18th, 2022 from <https://www.iso.org/standard/45481.html>
- Jes Petersen, R., Blicher-Mathiesen, G., Rolighed, J., Estrup Andersen, H., & Kronvang, B. (2021). Three decades of regulation of agricultural nitrogen losses: Experiences from the Danish Agricultural Monitoring Program. *Science of The Total Environment*, 787, Article 147619. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.147619>
- Jin, C. -Y., Levi, R., Liang, Q., Renegar, N., & Zhou, J. -H. (2021). Food safety inspection and the adoption of traceability in aquatic wholesale markets: A game-theoretic model and empirical evidence. *Journal of Integrative Agriculture*, 20(10), 2807–2819. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(21\)63624-9](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(21)63624-9)
- Kumar Dubey, P., Singh, A., Chaurasia, R., Kumar Pandey, K., Bundela, A., Kant Dubey, R., & Chirakkuzhyil Abhilash, P. (2021). Planet friendly agriculture: Farming for people and the planet. *Current Research in Environmental Sustainability*, 3, Article 100041. <https://doi.org/10.1016/j.crsust.2021.100041>
- Law, E. A., Macchi, L., Baumann, M., Decarre, J., Gavier-Pizarro, G., Levers, C., Mastrangelo, M. E., Murray, F., Müller, D., Piquer-Rodríguez, M., Torres, R., Wilson, K. A., & Kuemmerle, T. (2021). Fading opportunities for mitigating agriculture-environment trade-offs in a south American deforestation hotspot. *Impacto ambiental*, 262, Article 109310. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2021.109310>
- Leng, K., Bi, Y., Jing, L., Fu, H. -C., & Van Nieuwenhuysse, I. (2018). Research on agricultural supply chain system with double chain architecture based on blockchain technology. *Future Generation Computer Systems*, 86, 641–649. <https://doi.org/10.1016/j.future.2018.04.061>

- Li, L., Paudel, K. P., & Guo, J. (2021). Understanding Chinese farmers' participation behavior regarding vegetable traceability systems. *Food Control*, 130, Article 108325. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2021.108325>
- Liu, L., Zuo, Z. -T., Xu, F. -R., & Wang, Y. -Z. (2020). Study on quality response to environmental factors and geographical traceability of wild *Gentiana rigescens* Franch. *Frontiers in Plant Science*, 11, Article 1128. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.01128>
- Lu, W., Luo, H., He, L., Duan, W., Tao, Y., Wang, X., & Li, S. (2022). Detection of heavy metals in vegetable soil based on THz spectroscopy. *Computers and Electronics in Agriculture*, 197, Article 106923. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2022.106923>
- Lu, Y., & Young, S. (2020). A survey of public datasets for computer vision tasks in precision agriculture. *Computers and Electronics in Agriculture*, 178, Article 105760. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105760>
- Maas, B., Fabian, Y., Kross, S. M., & Richter, A. (2021). Divergent farmer and scientist perceptions of agricultural biodiversity, ecosystem services and decision-making. *Biological Conservation*, 256, Article 109065. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2021.109065>
- Maguire, T. J., Wellen, C., Stammler, K. L., & Mundle, S. O. C. (2018). Increased nutrient concentrations in Lake Erie tributaries influenced by greenhouse agriculture. *Science of the Total Environment*, 633, 433–440. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.03.188>
- Mancipe-Castro, L., & Gutierrez-Carvajal, R. E. (2021). Prediction of environment variables in precision agriculture using a sparse model as data fusion strategy. *Information Processing in Agriculture*, 9(2), 171–183. <https://doi.org/10.1016/j.inpa.2021.06.007>
- Masudin, I., Ramadhani, A., & Palupi Restuputri, D. (2021). Traceability system model of Indonesian food cold-chain industry: A Covid-19 pandemic perspective. *Cleaner Engineering and Technology*, 4, Article 100238. <https://doi.org/10.1016/j.clet.2021.100238>
- Min Aung, M., & Seok Chang, Y. (2014). Traceability in a food supply chain: Safety and quality perspectives. *Food Control*, 39, 172–84. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2013.11.007>
- Mirbod, O., Choi, D., Thomas, R., & He, L. (2021). Overcurrent-driven LEDs for consistent image colour and brightness in agricultural machine vision applications. *Computers and Electronics in Agriculture*, 187, Article 106266. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2021.106266>
- Moberg, E., Karlsson Potter, H., Wood, A., Hansson, P. -A., & Rööf, E. (2020). Benchmarking the Swedish diet relative to global and national environmental targets-Identification of indicator limitations and data gaps. *Sustainability*, 12(4), Article 1407. <https://doi.org/10.3390/su12041407>
- Oberoi, H., & Dinesh, M. R. (2019). Trends and innovations in value chain management of tropical fruits. *Journal of Horticultural Sciences*, 14(2), 87–97. <https://doi.org/10.24154/jhs.2019.v14i02.002>
- O'Grady, M., Langton, D., Salinari, F., Daly, P., & O'Hare, G. (2021). Service design for climate-smart agriculture. *Information Processing in Agriculture*, 8(2), 328–340. <https://doi.org/10.1016/j.inpa.2020.07.003>
- Pal, A., Kumar Dubeya, S., & Goelb, S. (2022). IoT enabled microfluidic colorimetric detection platform for continuous monitoring of nitrite and phosphate in soil. *Computers and Electronics in Agriculture*, 195, Article 106856. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2022.106856>

- Park, A., & Li, H. (2021). The effect of blockchain technology on supply chain sustainability performances. *Sustainability*, 13(4), Article 1726. <https://doi.org/10.3390/su13041726>
- Partel, V., Charan Kakarla, S., & Ampatzidis, Y. (2019). Development and evaluation of a low-cost and smart technology for precision weed management utilizing artificial intelligence. *Computers and Electronics in Agriculture*, 157, 339–350. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.12.048>
- Patel, H., & Shrimali, B. (2021). *AgriOnBlock: Secured data harvesting for agriculture sector using blockchain technology*. ICT Express. <https://doi.org/10.1016/j.ict.2021.07.003>
- Paul, K., Chatterjee, S. S., Pai, P., Varshney, A., Juikar, S., Prasad, V., Bhadra, B., & Dasgupta, S. (2022). Viable smart sensors and their application in data driven agriculture. *Computers and Electronics in Agriculture*, 198, Article 107096. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2022.107096>
- Pauschinger, D., & Klauser, F. R. (2021). The introduction of digital technologies into agriculture: Space, materiality and the public–private interacting forms of authority and expertise. *Journal of Rural Studies*, 91, 217–227. <https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2021.06.015>
- Pivoto, D., Dabdab Waquil, P., Talamini, E., Spanhol Finocchio, C. P., Dalla Corte, V. F., & de Vargas Moraes, G. (2018). Scientific development of smart farming technologies and their application in Brazil. *Information Processing in Agriculture*, 5(1), 21–32. <https://doi.org/10.1016/j.inpa.2017.12.002>
- Prashar, D., Jha, N., Jha, S., Lee, Y., & Prasad Joshi, G. (2020). Blockchain based traceability and visibility for agricultural products: A decentralized way of ensuring food safety in India. *Sustainability*, 12(8), Article 3497. <http://doi.org/10.3390/su12083497>
- Pylianidis, C., Osinga, S., & Athanasiadis, I. N. (2021). Introducing digital twins to agriculture. *Computers and Electronics in Agriculture*, 184, Article 105942. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105942>
- Qian, J., Wu, W., Yu, Q., Ruiz-García, L., Xiang, Y., Jiang, L., Shi, Y., Duan, Y., & Yang, P. (2020). Filling the trust gap of food safety in food trade between the EU and China. *Food and Energy Security*, 9(4), Article e249. <https://doi.org/10.1002/fes3.249>
- Rettore de Araujo Zonella, R. A., da Silva, E., & Pessoa Albini, L. (2020). Security challenges to smart agriculture: Current state, key issues, and future directions. *Array*, 8, Article 100048. <https://doi.org/10.1016/j.array.2020.100048>
- Riefolo, C., Belmonte, A., Quarto, R., Quarto, F., Ruggieri, S., & Castrignanò, A. (2022). Potential of GPR data fusion with hyperspectral data for precision agriculture of the future. *Computers and Electronics in Agriculture*, 199, Article 107109. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2022.107109>
- Rinsberg, H. (2014). Perspectives on food traceability: a systematic literature review. *Supply Chain Management*, 19(5/6), 558–576. <https://doi.org/10.1108/SCM-01-2014-0026>
- Roux, N., Kastner, T., Erb, K. -H., & Haberl, H. (2021). Does agricultural trade reduce pressure on land ecosystems? Decomposing drivers of the embodied human appropriation of net primary production. *Ecological Economics*, 181, Article 106915. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2020.106915>
- Schnebelin, E., Labarthe, P., & Touzard, J. -M. (2021). How digitalisation interacts with ecologisation? Perspectives from actors of the French Agricultural Innovation System. *Journal of Rural Studies*, 86, 599–610. <https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2021.07.023>

- Sengupta, T., Narayanamurthy, G., Moser, R., & Kumar Hota, P. (2019). Sharing app for farm mechanization: Gold Farm's digitized access based solution for financially constrained farmers. *Computers in Industry*, 109, 195–203. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2019.04.017>
- Shahverdi, K., Alamiyan-Harandi, F., & Maestre, J. M. (2022). Double Q-PI architecture for smart model-free control of canals. *Computers and Electronics in Agriculture*, 197, Article 106940. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2022.106940>
- Singh Thakur, P., Tiwari, B., Kumar, A., Gedam, B., Bhatia, V., Krejcar, O., Dobrovolny, M., Nebhen, J., & Prakash, S. (2022). Deep transfer learning based photonics sensor for assessment of seed-quality. *Computers and Electronics in Agriculture*, 196, Article 106891. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2022.106891>
- Smalling, K. L., Devereux, O. H., Gordon, S. E., Phillips, P. J., Blazer, V. S., Hladick, M. L., Kolpin, D. W., Meyer, M. T., Sperry, A. J., & Wagner, T. (2021). Environmental and anthropogenic drivers of contaminants in agricultural watersheds with implications for land management. *Science of the Total Environment*, 774, Article 145687. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.145687>
- Tohidyan Far, S., & Rezaei-Moghaddam, K. (2018). Impacts of the precision agricultural technologies in Iran: An analysis experts' perception & their determinants. *Information Processing in Agriculture*, 5(1), 173–184. <https://doi.org/10.1016/j.inpa.2017.09.001>
- Traore, O., Wei, C., & Rehman, A. (2021). Investigating the performance of agricultural sector on well-being: New evidence from Burkina Faso. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 21(4), 232–241. <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2021.08.006>
- Villanueva-de la Cruz, N., Soto-Estrada, A., Arvizu-Barrón, E., Asiain-Hoyos, A., & Leos-Rodríguez, J. A. (2020). System of traceability in the Supply Chain of Malanga in Veracruz. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 23(3), Article 81. <https://www.revista.ccba.uady.mx/ojs/index.php/TSA/article/view/2937/1470>
- Wang, L., Fang, S., Pei, Z., Wu, D., Zhu, Y., & Zhuo, W. (2022). Developing machine learning models with multisource inputs for improved land surface soil moisture in China. *Computers and Electronics in Agriculture*, 192, Article 106623. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2021.106623>
- Wang, T., Hardin IV, R. G., Ward, J. K., Wanjura, J. D., & Barnes, E. M. (2022). A smart cotton module tracking and monitoring system for handling logistics and cover damage. *Computers and Electronics in Agriculture*, 193, Article 106620. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2021.106620>
- Wang, M. -C., & Yang, C. -Y. (2019). Analysing the traceability system in herbal product industry by game theory. *Agricultural Economics*, 65(2), 74–81. <https://doi.org/10.17221/102/2018-AGRICECON>
- World Bank. (2018). *The role of digital identification in agriculture*. Open Knowledge Repository of the Worl Bank. <http://hdl.handle.net/10986/31216>
- World Bank. (2020). *Indonesia agro-value chain assessment: Issues and options in promoting digital agriculture*. Open Knowledge Repository of the Worl Bank. <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/34069>
- Xu, S. -W., Wang, Y., Wang, S. -W., & Li, J. -Z. (2020). Research and application of real-time monitoring and early warning thresholds for multi-temporal agricultural products information. *Journal of Integrative Agriculture*, 19(10), 2582–2596. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(20\)63368-8](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(20)63368-8)
- Xu, Y., Zhang, B., & Zhang, L. (2018). A technical efficiency evaluation system for vegetable production in China. *Information Processing in Agriculture*, 5(3), 345–353. <https://doi.org/10.1016/j.inpa.2018.05.001>

- Yang, F., Wang, K., Han, Y., & Qiao, Z. (2018). A cloud-based digital farm management system for vegetable production process management and quality traceability. *Sustainability*, 10(11), Article 4007. <https://doi.org/10.3390/su10114007>
- Zhao, T., & Nakano, A. (2018). Agricultural product authenticity and geographical origin traceability: Use of nondestructive measurement. *Japan Agricultural Research Quarterly*, 52(2), 115–122. <https://doi.org/10.6090/jarq.52.115>