

Revisión sistemática y análisis de contenido web de la agricultura 4.0 para el mejoramiento del sector cafetero con énfasis en los pequeños productores

Systematic review and web content analysis of agriculture 4.0 for the improvement of the coffee sector with an emphasis on small producers

Resumen

La agricultura 4.0 es un conjunto de tecnologías digitales avanzadas que incluye herramientas como Internet de las Cosas (IoT), Big Data, Inteligencia Artificial (IA) y sensores inteligentes. El término surgió derivado de la Industria 4.0 y es una evolución de la agricultura de precisión; su objetivo principal es mejorar la eficiencia, sostenibilidad y competitividad de las producciones agrícolas, mediante una gestión más precisa y oportuna basada en datos en tiempo real. Para el sector cafetero colombiano, estas tecnologías se encuentran en una fase de implementación muy reciente, por lo que existe la necesidad latente de dar a conocer los beneficios y desafíos que pueden enfrentar los productores al momento de realizar una transición hacia la digitalización agrícola. A través de una revisión de literatura y un análisis de contenido web, este trabajo explora las ventajas que la agricultura 4.0 puede brindar a los pequeños productores de café, destacando cómo su implementación ha mostrado resultados positivos en diversos estudios, en términos de productividad, trazabilidad y calidad del producto. Así mismo, se identifican las barreras que enfrentan los caficultores con la adopción de estas tecnologías, como la falta de infraestructura para la conectividad, capacitación limitada en el uso de las herramientas y escasez de apoyo gubernamental e institucional, que facilite la adquisición y financiamiento para los productores con pequeñas y medianas extensiones cultivadas.

Abstract

Agriculture 4.0 is a set of advanced digital technologies that includes tools such as the Internet of Things (IoT), Big Data, Artificial Intelligence (AI), and smart sensors. The term emerged from Industry 4.0 and is an evolution of precision agriculture. Its main objective is to improve the efficiency, sustainability, and competitiveness of agricultural production through more precise and timely management based on real-time data. For the Colombian coffee sector, these technologies are in the early stages of implementation, making it crucial to raise awareness of the benefits and challenges producers may face when transitioning to digital agriculture. Through a systematic review of literature and web content analysis, this research explores the advantages that Agriculture 4.0 can offer small coffee producers, highlighting how its implementation has shown positive results in various studies, in terms of productivity, traceability, and product quality. Additionally, it identifies the barriers that coffee growers face in adopting these technologies, such as the lack of infrastructure for connectivity, limited training in the use of tools, and insufficient governmental and institutional support to facilitate access to financing for producers with small to medium-sized farms.

Palabras clave

Agricultura 4.0, Revisión sistemática, Café, Agricultura de precisión, Pequeños productores.

Keywords

Agriculture 4.0, Systematic review, Coffee, Precision agriculture, Smallholder farmers.

Solo para uso editorial

Cómo citar: Rodríguez, D. (2025). Revisión sistemática y análisis de contenido web de la agricultura 4.0 para el mejoramiento del sector cafetero con énfasis en los pequeños productores. *Retos Revista de Ciencias de la Administración y Economía*, X(XX), pp. XX-XX. <https://doi.org/>

Recibido: 00/00/00 **Revisado:** 00/00/00 **Aprobado:** 00/00/00 **Publicado:** 00/00/00

1. Introducción

El sector agropecuario en Colombia es un pilar fundamental del país que tiene impacto significativo en la economía, el empleo, la seguridad alimentaria y el medio ambiente. Dentro de este sector, la caficultura ocupa un lugar representativo por el reconocimiento que genera a nivel mundial, derivado del

café de alta calidad que se produce y se exporta. Además, el entorno ha sido muy positivo en el último año, rompiendo el récord de producción con un aumento del 24% comparado con la producción del 2023. Esto a su vez, se ve reflejado en las cifras del PIB, en las que este producto aporta casi un 23% del total del sector agropecuario (Agronegocios, 2024).

A pesar de su relevancia, la producción de este fruto enfrenta grandes desafíos en torno a las variables que impactan el precio y los resultados de la cosecha. Particularmente los pequeños productores deben lidiar con condiciones climáticas desfavorables, plagas, fluctuaciones en los precios, escasez de mano de obra y labores que requieren un desgaste físico importante, derivado de la falta de incorporación de tecnologías en sus procesos. Ante este panorama, es de vital importancia explorar nuevas herramientas para mejorar la eficiencia y sostenibilidad del sector.

La agricultura 4.0 surge como una solución para estas problemáticas, basándose en el uso de tecnologías avanzadas como Inteligencia Artificial, Internet de las Cosas, Big Data, sensores y automatización (Liu et al., 2021). Sin embargo, la digitalización del agro se ve frenada debido a los altos costos de implementación, la dificultad de acceso a infraestructura apta y la escasa educación en su uso. En pequeños productores estas barreras son mucho más notorias y los procesos se siguen ejecutando de formas empíricas, sin acceso a datos precisos que les permitan tomar decisiones informadas y reducir la variabilidad por cambios climáticos o plagas.

Por esta razón, surge la necesidad de conocer el estado actual de la agricultura 4.0 en el cultivo de café, tanto a nivel nacional como internacional, identificando qué tecnologías se usan, su viabilidad y los obstáculos asociados a su adopción. Asimismo, se busca analizar qué oportunidades tienen los pequeños caficultores para poner en marcha la digitalización de sus cultivos y qué soluciones pueden facilitar su implementación en el país.

La modernización del sector cafetero mediante tecnologías de Agricultura 4.0 podría generar resultados positivos en términos de competitividad, rentabilidad y sostenibilidad, beneficiando a más de 500.000 familias caficultoras que dependen de esta actividad en el país (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2023).

En este contexto, la presente investigación tiene como objetivo realizar una revisión de literatura y análisis de contenido web con el objetivo de conocer los beneficios del uso de la agricultura 4.0 para el mejoramiento del cultivo de café en pequeños productores. Esta se compone de: (i) Planteamiento del problema detectado (ii) Objetivos propuestos (iii) Marco de referencia del tema a tratar (iv) Metodología (v) Revisión de literatura y análisis de contenido web (vi) Resultados (vii) Artículo publicable (viii) Conclusiones y (ix) Recomendaciones.

2. Materiales y método

Este estudio se desarrollará mediante una revisión sistemática de literatura y un análisis de contenido web. La metodología se estructura en las siguientes fases:

2.1. Revisión Sistemática de Literatura

La revisión sistemática de la literatura es un componente esencial para la investigación; su importancia radica en que no sólo se limita a una búsqueda bibliográfica, sino que sigue un proceso estructurado y transparente que garantiza que la información recopilada sea relevante, actual y de alta calidad.

Esta fase tiene como objetivo recopilar, analizar y sintetizar la información científica existente sobre la aplicación de la agricultura 4.0 en el sector cafetero. Para ello, inicialmente se definen los criterios de búsqueda mediante palabras clave relacionadas con el tema de interés, esto con el fin de garantizar que los artículos que arroje la búsqueda aborden las tecnologías y prácticas más relevantes. Se seleccionan las bases de datos de Scopus y Web of Science para obtener la literatura académica relevante y de alta calidad. El filtrado y selección de artículos se aplica con criterios de inclusión y exclusión como relevancia, actualidad y calidad de las publicaciones.

Los datos obtenidos se organizan en función de las tecnologías utilizadas en la Agricultura 4.0, los beneficios reportados para los pequeños productores de café y los desafíos identificados en la implementación. Los hallazgos se caracterizan según su aplicabilidad en pequeños productores y su impacto en la eficiencia productiva y sostenibilidad del cultivo de café.

El estado del arte resultante de la revisión sistemática actúa como base para la elaboración de las

conclusiones y recomendaciones de la investigación. Además, constituye una referencia clave para investigadores futuros, ya que resalta las brechas existentes en el conocimiento y señala las áreas que aún requieren más investigación. En el contexto de la Agricultura 4.0, donde las tecnologías están en constante evolución, la revisión sistemática juega un papel esencial en orientar futuras investigaciones y en mejorar la comprensión de los efectos de estas tecnologías en el sector agrícola, particularmente en el cultivo de café.

2.2. Análisis de Contenido Web

El análisis de contenido web constituye una fase complementaria a la revisión sistemática de la literatura, en la cual se examinan fuentes digitales relacionadas con la implementación de tecnologías de la Agricultura 4.0 en el sector cafetero. Dado que la información disponible en línea varía en calidad y relevancia, este análisis se realiza mediante un enfoque meticuloso para asegurar que los resultados sean relevantes, fiables y actualizados.

En esta fase se examinan fuentes digitales como páginas web de organismos gubernamentales, asociaciones cafeteras, blogs especializados y documentos técnicos que aborden la implementación de tecnologías en la caficultura. Para filtrar las fuentes digitales de calidad se priorizan sitios web de entidades oficiales y expertos en el sector agrícola con contenido enfocado hacia tecnologías utilizadas, impacto en la producción y casos de éxito.

Además, se contrastarán los resultados con la literatura académica revisada anteriormente para garantizar la fiabilidad de la información. Este proceso de contraste permite validar los hallazgos obtenidos en los estudios académicos con la información práctica y actualizada que se encuentra en las fuentes web, lo que brinda una visión más completa y diversa.

2.3. Beneficios y Oportunidades de Mejora

Con base en la revisión de literatura y el análisis de contenido web, se identificarán los beneficios clave de la digitalización agrícola en los cafetales y los desafíos para su implementación en pequeños productores.

Mediante los hallazgos anteriores, se desarrollará una matriz de beneficios y barreras que permitirá visualizar de manera clara y estructurada los impactos positivos y las dificultades a superar para la adopción de la Agricultura 4.0 en el sector cafetero. Esta matriz servirá como herramienta para los productores, los formuladores de políticas públicas y los investigadores, permitiendo una comprensión rápida de las principales ventajas y desafíos asociados con la digitalización agrícola.

3. Resultados y discusión

3.1. Contraste entre literatura y contenido web

La investigación realizada ha permitido analizar la importancia de la Agricultura 4.0 en el sector cafetero a partir de dos enfoques complementarios: la revisión de literatura científica y el análisis de contenido web.

Mediante la revisión de literatura se pudo identificar que la digitalización agrícola es una tendencia global con múltiples beneficios en términos de productividad, competitividad y eficiencia. Por otro lado, el análisis web permitió identificar cómo está siendo aplicada la tecnología digital en el sector cafetero, con iniciativas como el proyecto Agro 4.0, en el que se quiso impulsar la adopción de herramientas digitales.

Si bien ambos enfoques abordan la digitalización del agro, la literatura académica se centra en el impacto estructural de la agricultura 4.0, incluyendo sus efectos en sostenibilidad, economía y seguridad alimentaria. En cambio, los contenidos web reflejan casos concretos de implementación, iniciativas gubernamentales y noticias del sector.

A continuación, se presenta una matriz comparativa de la información obtenida a través de los análisis realizados:

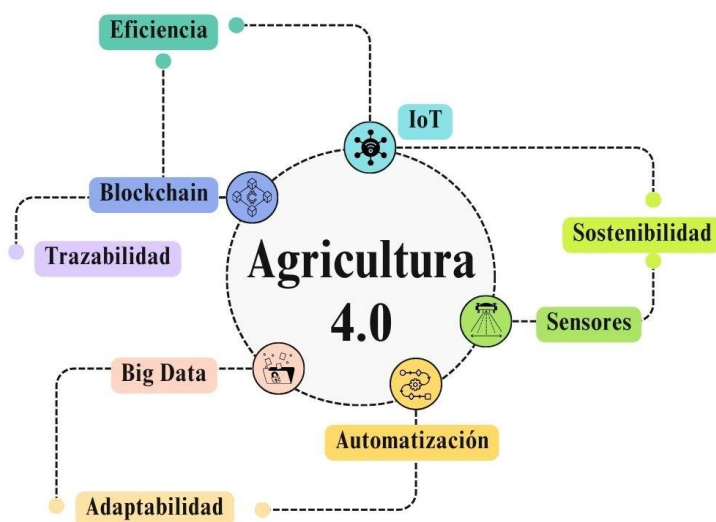
| Aspecto | Literatura Científica | Contenido Web |
|----------------------------|---|--|
| Enfoque principal | Teórico, con análisis estructural del impacto de la Agricultura 4.0. | Práctico, con casos concretos de implementación en los países. |
| Tecnologías clave | Big Data, IoT, Blockchain, IA y Automatización. | Sensores, trazabilidad mediante Blockchain y uso de drones. |
| Aspectos resaltados | Eficiencia de recursos, impacto ambiental, análisis a nivel global, barreras de implementación. | Productividad, reducción de costos, análisis a nivel particular. |

Tanto la literatura como los contenidos web destacan la necesidad de políticas públicas, financiamiento accesible y educación tecnológica para que los productores adopten estas herramientas. La combinación de ambos enfoques ha permitido obtener una visión integral de la digitalización del agro.

3.2. Beneficios de la digitalización de la caficultura

El proceso de digitalización del agro ha demostrado ser un factor clave para mejorar la eficiencia, sostenibilidad y rentabilidad en el sector. Particularmente en el contexto colombiano, la implementación de tecnologías emergentes ha traído beneficios significativos para la caficultura, por lo que, a partir del estudio realizado, se identificaron las principales ventajas que tiene la digitalización de los cultivos cafeteros y la relación que guardan con las tecnologías más destacadas de la agricultura 4.0.

Mediante el siguiente diagrama se puede entender de forma visual cómo las tecnologías de la A4.0 impactan y generan beneficios clave en la producción cafetera. El concepto central abarca las herramientas más reconocidas y estudiadas en la actualidad; la combinación de las mismas da como resultado una agricultura encaminada hacia la digitalización y el desarrollo del sector productivo.



De esta manera, se puede observar que la interacción entre IoT, Big Data, Blockchain, sensores y automatización genera sinergias que optimizan los procesos agrícolas, mejoran la sostenibilidad y transparencia, y permiten a los caficultores enfrentar los desafíos cambiantes del entorno global y del mercado.

3.2.1. Eficiencia

La tecnología más usada actualmente son los sensores, que mediante IoT y Big Data, monitorean en tiempo real los cultivos y ayudan a tomar decisiones informadas frente a controles de enfermedades y plagas, así como de las condiciones del suelo, la gestión del riego y las fertilizaciones.

De esta manera, los productores se benefician al poder evaluar la salud de sus plantas con un margen de anticipación que limita los insumos desperdiciados y el incremento inesperado en los costos. Aunque no necesariamente aumenta el volumen de la producción, el impacto positivo se ve reflejado en términos de eficiencia, con una maximización de los resultados usando el mismo nivel de insumos y evitando que los agricultores se enfrenten a pérdidas por desconocimiento del estado de sus campos.

Además, la combinación entre IoT y Blockchain asegura la trazabilidad de los productos agrícolas, permitiendo a los caficultores garantizar la calidad y el origen del café que producen. Cada paso del proceso de producción, desde la siembra hasta la venta, puede ser registrado digitalmente y rastreado por los consumidores. Según Giraldo (2020), Blockchain facilita la transparencia en la cadena de suministro, lo que mejora la confianza de los consumidores y facilita el cumplimiento de los estándares internacionales de calidad y sostenibilidad.

3.2.2. *Sostenibilidad*

Derivado de la adecuada gestión de los recursos no renovables y de insumos como los agroquímicos, la sostenibilidad ambiental se ve favorecida gracias a la precisión mejorada en las dosis de productos que se aplican para cuidar la salud de las plantas. Ajustar las dosis de acuerdo con las necesidades exactas de los cultivos, evita la aplicación uniforme, excesiva o inútil y, a su vez, disminuye la contaminación del suelo y del agua con fertilizantes o plaguicidas que pueden afectar los ecosistemas locales, por ejemplo, contaminando las fuentes de agua cercanas o alterando la biodiversidad de las zonas aledañas.

Los sensores están en el corazón de muchas de las tecnologías agrícolas modernas. Usados para medir diversos parámetros, permiten monitorear y ajustar las condiciones de cultivo con una precisión que anteriormente no era posible. El IoT permite conectar estos sensores y dispositivos digitales, para facilitar la gestión de la información que recopilan. Ambas herramientas son fundamentales para garantizar que los recursos como el agua y los fertilizantes sean utilizados de manera eficiente, lo que contribuye a una agricultura más sostenible y rentable. Según Adrian & Teran (n.d.), el uso de sensores conectados al IoT en la agricultura permite monitorear condiciones como la humedad y la temperatura, lo que optimiza el uso de recursos y previene el desperdicio. Esto también significa un beneficio adicional para la competitividad de los pequeños cafeteros, quienes se encuentran abordando un mercado que cada vez reclama con mayor rigor el cumplimiento de estándares ambientales. Los consumidores conscientes presentan mayor predilección por productos que demuestran un compromiso con el medio ambiente y a nivel internacional, esto puede traducirse en precios más altos y mayor demanda en clientes que valoran la sostenibilidad.

3.2.3. *Trazabilidad*

Mediante Blockchain, los cafeteros pueden garantizar la calidad y el origen de su producto a lo largo de toda la cadena de suministro. Esto significa que, mediante el registro digital de cada etapa del proceso de producción y distribución, se puede garantizar la autenticidad y la calidad del café, lo que es especialmente importante para el mercado global, que exige altos estándares de calidad y transparencia en la producción. Los productores pueden registrar detalles como origen del grano, prácticas de cultivo usadas, métodos de cosecha y todos los tratamientos posteriores de transformación.

La trazabilidad permite obtener beneficios económicos al garantizar que los consumidores reciban productos certificados y también fomenta las prácticas agrícolas sostenibles, ya que, al registrar cada etapa del proceso productivo, se vuelve necesario aportar técnicas de cultivo responsables y cumplir con normativas ambientales.

3.2.4. *Adaptabilidad*

El acceso a información detallada sobre el clima, el suelo y las condiciones de los cultivos permite que los pequeños productores de café puedan anticiparse a eventos que afecten el bienestar de sus plantas y que ajusten las prácticas agrícolas en consecuencia. Esta capacidad mejora la adaptación ante factores externos que pueden influir negativamente en la productividad, como las variaciones climáticas y las plagas.

En este punto, el Big Data juega un papel muy relevante por la facilidad que brinda en la recolección y análisis de grandes cantidades de datos generados por sensores y dispositivos en el campo. Según Impacto TIC (2023), el análisis de datos a gran escala ayuda a adaptarse rápidamente a condiciones cambiantes, lo que es crucial para garantizar la sostenibilidad a largo plazo. Además, la combinación de esta digitalización con el uso de robots y drones mejora la eficiencia en tareas como la cosecha, la siembra, y la revisión de los cultivos. La automatización reduce la necesidad de intervención manual y asegura que los cultivos reciban el mantenimiento adecuado en todo momento. Rodríguez et al. (2021) indican que la automatización facilita la adaptabilidad de los caficultores frente a condiciones imprevistas, como cambios climáticos repentinos o la aparición de plagas.

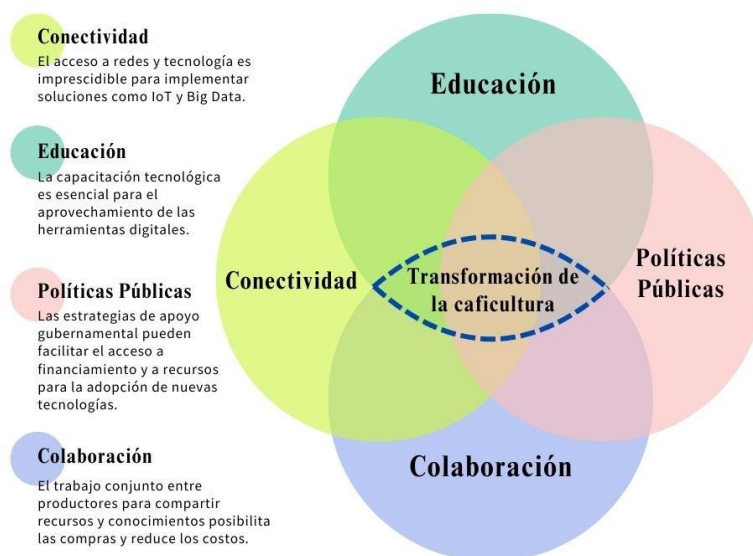
También es importante tener en cuenta que el café es un producto que varía mucho de precio, especialmente si se comercializa sin pasar por un proceso de transformación como el tueste. Por esta razón, el hecho de que los caficultores puedan tomar decisiones y minimizar riesgos con antelación, reduce de forma significativa el estrés económico causado por eventos impredecibles y permite asegurar una producción más estable a lo largo del tiempo.

3.3. Oportunidades de mejora en la implementación de pequeños productores cafeteros

Para garantizar una adopción efectiva y accesible por parte de todo el sector cafetero es importante identificar las barreras y desafíos que existen en la actualidad. Estos, incluyen inconvenientes relacionados con infraestructura, capacitación, acceso a financiamiento y resistencia cultural, por lo que se deben buscar alternativas para crear entornos favorables que faciliten el acceso y utilización por parte de todos los actores del proceso productivo.

La transformación de la caficultura solo es posible cuando las oportunidades de conectividad, educación, políticas públicas y colaboración se alinean y trabajan de manera conjunta. Si bien cada oportunidad tiene su propio impacto directo, el verdadero cambio en el sector caficultor se produce cuando estas áreas se intersecan y se potencian entre sí.

El gráfico de Venn que se muestra a continuación permite entender cómo las oportunidades de mejora interrelacionadas contribuyen a una transformación integral en el sector caficultor a través de la Agricultura 4.0. La relación entre las oportunidades (conectividad, educación, políticas públicas y colaboración) ilustra cómo cada uno de estos aspectos, por sí mismo, representa un desafío importante, pero cuando se combinan, tienen el potencial de transformar completamente la caficultura.



La transformación del sector agrícola ocurre cuando estas oportunidades se combinan y se refuerzan mutuamente. Esto subraya la idea de que ninguna de estas oportunidades puede funcionar de manera aislada. Por ejemplo, sin la capacitación tecnológica, la conectividad por sí sola no tendría un impacto positivo. La educación habilita a los caficultores para utilizar las redes y tecnologías de comunicación de manera efectiva, facilitando el uso de IoT y Big Data en sus prácticas diarias.

A través de políticas públicas adecuadas se puede mejorar la infraestructura de conectividad en zonas rurales, donde muchos caficultores todavía enfrentan problemas de acceso a internet y redes de comunicación. Y, finalmente, la formación colaborativa entre caficultores y expertos tecnológicos puede ser una vía eficiente para compartir conocimientos y habilidades, permitiendo que los productores aprendan sobre el uso de nuevas herramientas tecnológicas de manera compartida.

A continuación, se describen las principales oportunidades de mejora mencionadas repetitivamente en la literatura y contenido web consultado.

3.3.1. Conectividad

La problemática que más se resaltó en la revisión de contenido realizada fue la limitada conectividad en muchas regiones rurales de Colombia. Para la transición a una era digital del sector agropecuario es esencial el acceso a internet de alta calidad, con el fin de que los productores puedan aprovechar las herramientas digitales como los sensores IoT y las plataformas de análisis de datos.

Sin embargo, donde se encuentra la mayor concentración de pequeños cafeteros es justamente en áreas con escasa cobertura de red y por esta razón, se convierte en una necesidad imprescindible, invertir en infraestructura digital para que los cultivadores puedan adoptar la A4.0 de manera efectiva. De acuerdo con el Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones de Colombia (2023), esta infraestructura digital es esencial para implementar tecnologías como IoT, que son fundamentales para la Agricultura 4.0.

3.3.2. Educación

El sector agropecuario se ha caracterizado por ser un entorno de conocimiento empírico, por lo que los productores aún desconocen muchas de las tecnologías emergentes y cómo pueden beneficiarse de ellas.

Según Giraldo (2020), los caficultores necesitan estar capacitados para poder aprovechar al máximo las herramientas digitales. La educación en el uso de sensores, Big Data y las demás tecnologías digitales, facilita su adopción y correcta implementación. La falta de formación es una barrera importante y por ello existe la oportunidad para diseñar programas de capacitación enfocados en el uso de tecnologías digitales, una formación que no sólo se enfoque en lo técnico sino también en que se dé a conocer el impacto positivo que tienen estas herramientas en la productividad y la sostenibilidad de sus negocios.

3.3.3. Políticas públicas y financiamiento

Así como el desconocimiento de las tecnologías de agricultura 4.0 es un impedimento para en el proceso de implementación, el acceso limitado a financiamiento también es una dificultad crítica que no permite la compra de equipos y de inversión en las herramientas digitales.

Las políticas públicas desempeñan un papel clave en la creación de un marco normativo y en el desarrollo de estrategias gubernamentales que apoyen la transición hacia la Agricultura 4.0. Estas pueden incluir incentivos fiscales para la adopción de nuevas tecnologías, programas de financiamiento para pequeñas y medianas empresas caficultoras y la promoción de alianzas entre el sector privado y las instituciones académicas para formar a los agricultores en el uso de nuevas herramientas.

Según Tovar-Quiroz (2023), la creación de proyectos favorables es vital para reducir la brecha de acceso a tecnologías en el sector agrícola, por lo que el desarrollo de políticas públicas que incentiven a los caficultores, como subsidios o líneas de crédito accesibles, puede ser un impulso para la transformación del agro en términos digitales, económicos, productivos y sociales.

7.3.4. Colaboración

La adopción de tecnologías avanzadas puede ser costosa para los pequeños productores que no cuentan con los recursos suficientes de inversión. Para contrarrestar este inconveniente, se pueden promover iniciativas de cooperación entre caficultores, asociaciones, instituciones y empresas, de modo

que se comparta el acceso a equipos y plataformas digitales, distribuyendo los costos y maximizando los beneficios, ya no sólo para un productor sino para un grupo completo.

De acuerdo con Pardo-Pardo & Cuervo-Bejarano (2023), la colaboración facilita el acceso a tecnologías de precisión, ya que los agricultores pueden compartir equipos costosos como sensores de campo y drones, sin tener que pagar en su totalidad el valor de las herramientas digitales. Además, la colaboración mejora la cohesión del sector y permite la creación de redes de apoyo, lo que incrementa la eficiencia y reduce el estrés económico asociado a la transición tecnológica. Así mismo, la cooperación entre el sector público y privado fomenta el desarrollo de nuevas soluciones tecnológicas que pueden adaptarse mejor a las necesidades de los caficultores.

4. Conclusiones

La agricultura 4.0 es un conjunto de herramientas que posibilitan una mejor preparación al enfrentar desafíos constantes de los cultivos como la variabilidad climática, el manejo de plagas, enfermedades y la necesidad de optimizar el uso de recursos limitados. La adopción de tecnologías digitales avanzadas representa una gran oportunidad de crecimiento y desarrollo para el sector cafetero colombiano, en términos de eficiencia, sostenibilidad y competitividad.

A través de sensores IoT, Big Data e Inteligencia Artificial, la gestión de los cultivos se transforma, facilitando el monitoreo constante y proporcionando información en tiempo real sobre las condiciones del suelo y la salud de las plantas. Este acceso a datos precisos es valioso para los agricultores, quienes pueden tomar decisiones oportunas e informadas en cuanto a las aplicaciones de fertilizantes, agroquímicos y hasta de los requerimientos de agua. Como resultado, se reducen los desperdicios y los costos de producción, lo que impacta significativamente a nivel financiero y genera atracción por lo negocios del agro, pero también es favorecedor para el medio ambiente, un aspecto esencial en el contexto global actual, que exige prácticas agrícolas más responsables.

La trazabilidad proporcionada por el Blockchain y los sistemas de gestión y analítica de datos, permiten a los productores certificar la calidad de su café a lo largo de toda la cadena de suministro. Esta transparencia no sólo fortalece la confianza del consumidor, sino que además abre puertas a mercados internacionales y promueve la obtención de mejores precios, que para pequeños productores es una ventaja indiscutible.

Los beneficios que brinda la agricultura 4.0 para un cafetero colombiano son muy amplios, sin embargo, no es desconocido que la transición hacia el uso de estas tecnologías enfrente barreras en infraestructura, educación y apoyo gubernamental e institucional. Especialmente en las zonas rurales, donde se encuentra la mayoría de pequeños productores, existe la limitación en el acceso a internet y con ello, a las plataformas digitales necesarias para monitorear los cultivos. Además, la brecha de conocimiento y falta de capacitación son obstáculos que reducen el interés por aprovechar al máximo los desarrollos disponibles, que pueden facilitar y mejorar las producciones agrícolas.

La transformación digital del agro es un proceso en desarrollo que, si se gestiona adecuadamente, puede posicionar al café colombiano como un referente mundial en calidad, sostenibilidad y eficiencia productiva. La clave para su éxito radica en cerrar la brecha digital mediante proyectos que fomenten el acceso a formación, financiamiento y colaboración entre productores, para garantizar que las herramientas tecnológicas sean más accesibles para todos, sin importar el tamaño de las producciones.

Referencias

Agronegocios. (2024). La cosecha histórica de 13,9 millones de sacos de café en 2024 significó \$16 billones. Agronegocios. <https://www.agronegocios.co/agricultura/la-cosecha-historica-de-13-9-millones-de-sacos-de-cafe-en-2024-significo-16-billones-4033004>

Liu, Y., Ma, X., Shu, L., Hancke, G. P., & Abu-Mahfouz, A. M. (2021). From Industry 4.0 to Agriculture 4.0: Current Status, Enabling Technologies, and Research Challenges. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 17(6), 4322–4334. <https://doi.org/10.1109/TII.2020.3003910>

Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. (2023). El café: Producto insignia de Colombia en el mundo. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural de Colombia. <https://www.minagricultura.gov.co/noticias/Paginas/CafeProductoInsigniaColombiaMundo.aspx>

Giraldo, A. (2020). Tan cerca y tan lejos de la agricultura 4.0 en Colombia. Tomado de:

<https://www.eafit.edu.co/investigacion/noticias/Paginas/tan-cerca-y-tan-lejos-de-la-agricultura-4-0-en-colombia.aspx>
Adrian, R., & Teran, Y. (n.d.). UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE GUAYAQUIL CARRERA DE INGENIERÍA DE COMPUTACIÓN Revisión sistemática de literatura sobre el internet de las cosas enfocada a la agricultura de precisión. From <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/27877>

Impacto TIC. (2023). Agricultura 4.0 en Colombia: Oportunidades y desafíos. Tomado de: <https://impactotic.co/tecnologia/agricultura-4-0-en-colombia-oportunidades-y-desafios/>

Rodríguez, J. P., Montoya-Munoz, A. I., Rodriguez-Pabon, C., Hoyos, J., & Corrales, J. C. (2021). IoT-Agro: A smart farming system to Colombian coffee farms. *Computers and Electronics in Agriculture*, 190. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2021.106442>

Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones. (2023). MinTIC invita a los caficultores del país a usar la tecnología para dinamizar la productividad en el campo. Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones de Colombia. <https://mintic.gov.co/portal/inicio/Sala-de-prensa/Noticias/327019:MinTIC-invita-a-los-caficultores-del-pais-a-usar-la-tecnologia-para-dinamizar-la-productividad-en-el-campo>

Tovar-Quiroz, A. D. (2023). Agricultura 4.0: uso de tecnológicas de precisión y aplicación para pequeños productores. *Informador Técnico*, 87(2). <https://doi.org/10.23850/22565035.5536>

Pardo-Pardo, A. M., & Cuervo-Bejarano, W. J. (2023). Assessing the impact of emerging technologies on sustainable fruit production: A systematic review of the literature. *Agronomia Colombiana*, 41(3). <https://doi.org/10.15446/agron.colomb.v41n3.107255>