



Fecha de presentación: diciembre, 2024 Fecha de aceptación: febrero, 2025 Fecha de publicación: abril, 2025

13

## Impacto de la Industria 4.0 en la implementación de estrategias de economía circular en el sector agrícola de Ecuador

Impact of Industry 4.0 on the implementation of circular economy strategies in the agricultural sector of Ecuador

MSc. Samuel Alberto Pazmiño Linares<sup>1</sup>  
samuel.pazminol@ug.edu.ec  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-3702-6653>



MSc. José William Ugalde Vicuña<sup>2</sup>  
jose.ugaldevi@ug.edu.ec  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-1240-7804>



MSc. Stalyn Armando Fierro Torres<sup>3</sup>  
stalyn.fierrot@ug.edu.ec  
**ORCID:** <https://orcid.org/0009-0002-0216-9857>



Mag. Juan Perón Pazmiño Caicedo<sup>4</sup>  
juan.pazminoc@ug.edu.ec  
**ORCID:** <https://orcid.org/0009-0000-8711-9992>



Cita sugerida (APA, séptima edición)

Pazmiño, S.A., Ugalde, J.W., Fierro, S. A. y Pazmiño, J.P. (2025). Impacto de la Industria 4.0 en la implementación de estrategias de economía circular en el sector agrícola de Ecuador. *Revista Mapa*, 13(39), 244 – 266.

<http://revistamapa.org/index.php/es>

1 Docente de la Universidad de Guayaquil, Guayaquil, Ecuador

2 Docente de la Universidad de Guayaquil, Guayaquil, Ecuador

3 Docente de la Universidad de Guayaquil, Guayaquil, Ecuador

4 Docente de la Universidad de Guayaquil, Guayaquil, Ecuador



## RESUMEN

El sector agroindustrial de Ecuador enfrenta el reto de adoptar estrategias sostenibles para optimizar recursos y reducir el impacto ambiental. Este estudio evaluó el impacto de la Industria 4.0 en la implementación de estrategias de economía circular en la provincia del Guayas, considerando percepciones sobre eficiencia de recursos, sostenibilidad, competitividad y regulaciones. El objetivo fue analizar cómo las tecnologías emergentes transforman las prácticas agrícolas hacia modelos sostenibles y competitivos. Se aplicó una metodología de enfoque mixto, con diseño no experimental y transversal. Mediante una encuesta estructurada con escalas de Likert (1 a 10), participaron 93 profesionales del sector agroindustrial, seleccionados por muestreo no probabilístico. Los análisis revelaron correlaciones positivas moderadas y altas entre la eficiencia de recursos ( $r = 0.629$ ), sostenibilidad ( $r = 0.672$ ), competitividad ( $r = 0.699$ ) y el impacto general. Sin embargo, las políticas y regulaciones ( $r = 0.685$ ) necesitan fortalecerse para incentivar la adopción tecnológica. Se concluye que la Industria 4.0 y la economía circular pueden transformar el sector agroindustrial de Ecuador, aumentando la sostenibilidad y competitividad. No obstante, se requiere mejorar el marco regulatorio, la infraestructura y la capacitación tecnológica para maximizar estos beneficios.

**Palabra clave:** agroindustria, competitividad, economía circular, industria 4.0, sostenibilidad

## ABSTRACT

The agroindustrial sector in Ecuador faces the challenge of adopting sustainable strategies to optimize resources and reduce environmental impact. This study evaluated the impact of Industry 4.0 on the implementation of circular economy strategies in the province of Guayas, considering perceptions on resource efficiency, sustainability, competitiveness and regulations. The objective was to analyze how emerging technologies transform agricultural practices towards sustainable and competitive models. A mixed-approach methodology was applied, with a non-experimental and cross-sectional design. Using a structured survey with Likert scales (1 to 10), 93 professionals from the agroindustrial sector participated, selected by non-probabilistic sampling. The analyses revealed moderate and high positive correlations between resource efficiency ( $r = 0.629$ ), sustainability ( $r = 0.672$ ), competitiveness ( $r = 0.699$ ) and overall impact. However, policies and regulations ( $r = 0.685$ ) need to be strengthened to encourage technological adoption. It is concluded that Industry 4.0 and the circular economy can transform Ecuador's agro-industrial sector, increasing sustainability and competitiveness. However, it is necessary to improve the regulatory framework, infrastructure and technological training to maximize these benefits.

**Keywords:** agroindustry, competitiveness, circular economy, Industry 4.0, sustainability



## INTRODUCCIÓN

La Economía Circular Agroindustrial busca reducir, reutilizar y/o reciclar materiales, componentes o productos en ciclos biológicos, a fin de promover desarrollos agroindustriales sostenibles que preserven el capital natural y optimicen el uso de recursos (García et al., 2022). Este enfoque económico orientado al sector agroindustrial busca fortalecer la resiliencia ecológica mediante la optimización de los procesos agrícolas y su vinculación con la producción agroindustrial. La implementación de estrategias de economía circular en la agroindustria se alinea con los objetivos de desarrollo sostenible, promoviendo prácticas que reducen el impacto ambiental y fomentan la sostenibilidad a largo plazo.

A nivel global, la economía circular se ha posicionado como una solución viable para mitigar los efectos negativos del modelo de producción lineal tradicional, el cual se caracteriza por un uso ineficiente de los recursos y una generación excesiva de residuos. Según la Agencia Europea del Medio Ambiente (2019), la economía circular permite conservar materiales y productos en uso durante el mayor tiempo posible, extrayendo la máxima utilidad y reciclándolos al final de su vida útil. Este enfoque no solo incrementa la eficiencia de los recursos, sino que también disminuye la demanda de materia prima, reduciendo la presión sobre los ecosistemas naturales y ayudando a combatir el cambio climático.

La economía circular (EC) se ha consolidado como un enfoque clave para mitigar los impactos negativos de los modelos tradicionales de producción lineal en el medio ambiente. Según Geissdoerfer et al. (2017), este concepto sistémico busca optimizar el uso de recursos naturales, alineándose con el paradigma de sostenibilidad que prioriza la minimización de residuos y emisiones (Khan et al., 2022; NSW, 2018). Este enfoque se enmarca en un sistema regenerativo basado en estrategias como reciclaje, reutilización y reparación, diseñadas para prolongar la vida útil de los productos y minimizar el impacto ambiental (Corona et al., 2019).

Además, en el sector agroindustrial, caracterizado por su alta dependencia de recursos naturales, la implementación de prácticas de economía circular es fundamental. Este sector genera grandes volúmenes de residuos, cuya gestión adecuada es esencial para garantizar la sostenibilidad ambiental y la competitividad económica. Según Raudales et al. (2024), los procesos de producción circular optimizan la reutilización de desechos en las diferentes

246

Samuel Alberto Pazmiño Linares  
José William Ugalde Vicuña  
Stalyn Armando Fierro Torres  
Juan Perón Pazmiño Caicedo



etapas productivas, reduciendo costos y fortaleciendo la responsabilidad ambiental empresarial.

### **Estrategias y Beneficios de la Economía Circular**

La EC promueve un cambio radical en los procesos productivos al incluir prácticas como la refabricación, el rediseño y la redistribución (Matiacevich et al., 2022). Estas estrategias no solo reducen la generación de residuos, sino que también garantizan el manejo sostenible de los recursos. Para el sector agroindustrial, esto implica transformar subproductos, como los residuos agrícolas, en insumos para nuevos procesos productivos, mejorando tanto la sostenibilidad como la eficiencia económica (Hernández y Yagui, 2021).

Las tecnologías emergentes asociadas con la Industria 4.0, como el Internet de las Cosas (IoT) y la inteligencia artificial (IA), facilitan la implementación de la economía circular en el sector agroindustrial. Según Batlles-delaFuente et al. (2021), estas tecnologías permiten un control más eficiente de los recursos y una mayor integración de procesos productivos sostenibles. Por ejemplo, el uso de sensores inteligentes y análisis de datos optimiza la gestión de insumos agrícolas, reduciendo el desperdicio y mejorando la productividad.

### **Relevancia del Marco Regulatorio**

Un marco regulatorio sólido es crucial para la adopción de prácticas de economía circular. Según Kirchherr et al. (2017), la colaboración entre los sectores público y privado es esencial para superar las barreras existentes en la implementación de modelos circulares. En este sentido, políticas públicas que promuevan incentivos económicos y la creación de infraestructura adecuada son determinantes para facilitar la transición hacia la circularidad en el sector agroindustrial.

Sin embargo, estudios recientes han identificado desafíos significativos, como la limitada capacitación técnica de los trabajadores agrícolas y la falta de financiamiento para pequeñas y medianas empresas (PME) (Rodríguez et al., 2021). Estas barreras limitan la capacidad de adopción de tecnologías avanzadas y dificultan la transición hacia modelos de producción más sostenibles.

## **Economía Circular y Competitividad**

La economía circular no solo tiene implicaciones ambientales, sino también económicas y sociales. En el contexto agroindustrial, la implementación de estrategias circulares puede aumentar la competitividad de los productos agrícolas en mercados internacionales. Según Hernández y Yagui (2021), las empresas que adoptan prácticas circulares obtienen una ventaja competitiva al alinearse con las crecientes demandas de consumidores conscientes del impacto ambiental de sus compras.

Además, la adopción de modelos circulares en el sector agroindustrial tiene el potencial de diversificar la economía y generar empleo en zonas rurales. Esto, a su vez, contribuye al desarrollo económico local y mejora la calidad de vida de las comunidades rurales (Arango et al., 2020).

## **Innovación y Sostenibilidad**

La innovación es un componente central de la economía circular. Según Li y Wang (2020), la incorporación de tecnología avanzada en los procesos productivos no solo mejora la eficiencia, sino que también fomenta la creación de productos y servicios más sostenibles. En el sector agroindustrial, esto implica la incorporación de tecnologías como drones y sistemas de riego automatizado, que permiten un uso más eficiente de los recursos hídricos y energéticos (Cerón-Muñoz y Barrios, 2019).

Además, el diseño de productos para una economía circular debe considerar su capacidad de ser reciclados o reutilizados. Esto implica un cambio en la forma en que los productos son concebidos, incorporando principios de ecodiseño que promuevan la sostenibilidad desde el inicio del ciclo de vida del producto (Brundage, 2018).

En el contexto de la agroindustria, la implementación de la economía circular ha demostrado ser particularmente relevante. La agricultura, al depender en gran medida de recursos naturales y generar una cantidad significativa de residuos, se beneficia enormemente de los principios de la economía circular. La reutilización de residuos agrícolas como fertilizantes orgánicos o la conversión de subproductos en nuevas materias primas son ejemplos de cómo la economía circular puede transformar los sistemas agrícolas hacia modelos más sostenibles y eficientes (Chafla y Lascano, 2021).

El desarrollo agroindustrial no solo ofrece la posibilidad de diversificar la economía y crear oportunidades de empleo, sino que también tiene un impacto significativo en la modernización del campo y en la mejora de la calidad de vida en las zonas rurales (Arango et al., 2020). En países como Ecuador, donde el sector agrícola juega un papel crucial en la economía, la agroindustria puede ser un motor de desarrollo socioeconómico, promoviendo el bienestar de las comunidades rurales y contribuyendo a la sostenibilidad ambiental.

A nivel local, Ecuador enfrenta desafíos específicos en la implementación de la economía circular en su sector agroindustrial. Aunque el país cuenta con una rica biodiversidad y una amplia base agrícola, la transición hacia un modelo circular requiere superar varios obstáculos, incluyendo la falta de infraestructura adecuada, la necesidad de capacitación y educación de los productores, y la implementación de políticas públicas que promuevan la sostenibilidad y la innovación tecnológica. La agroindustria ecuatoriana, al estar en gran parte compuesta por pequeños y medianos productores, necesita apoyo para adoptar tecnologías avanzadas y prácticas sostenibles que puedan mejorar su competitividad y sostenibilidad (Bravo y Martillo, 2019).

El enfoque agroindustrial implica la transformación de materias primas agrícolas en productos de mayor valor agregado, lo que puede aumentar la competitividad y las oportunidades de exportación. Además, la modernización de la agroindustria a través de la adopción de tecnologías emergentes, como las asociadas a la Industria 4.0, puede mejorar significativamente la eficiencia y la productividad de los procesos agrícolas, reduciendo los costos y aumentando los beneficios para los productores. Uno de los factores más críticos en el desarrollo agroindustrial es la seguridad del transporte y la calidad de las redes de comunicación y logística (Moreno, 2019). La eficacia de las actividades de marketing, suministro, optimización y cumplimiento de plazos depende en gran medida de una infraestructura logística robusta y eficiente. En el contexto ecuatoriano, mejorar la infraestructura de transporte y comunicación puede tener un impacto directo en la competitividad de los productos agroindustriales en el mercado global.

Además, la economía circular en la agroindustria requiere un enfoque integrado que considere tanto la gestión de residuos como la optimización de los recursos a lo largo de toda la cadena de valor. Esto incluye la implementación de prácticas de ecodiseño, que permiten la valorización de los residuos y su reintegración en los procesos productivos, reduciendo así el impacto ambiental y promoviendo la sostenibilidad (Bravo y Martillo, 2019).

249

Samuel Alberto Pazmiño Linares  
José William Ugalde Vicuña  
Stalyn Armando Fierro Torres  
Juan Perón Pazmiño Caicedo





La Industria 4.0, caracterizada por la integración de tecnologías digitales avanzadas, juega un papel fundamental en la implementación de estrategias de economía circular en la agroindustria. Las tecnologías emergentes, como el Internet de las Cosas (IoT), la inteligencia artificial (IA), la computación en la nube y los sistemas ciberfísicos (CPS), están transformando la manera en que se gestionan los procesos productivos agrícolas (Modrák y Zsifkovits, 2020). El IoT permite la monitorización y el control en tiempo real de los procesos agrícolas, optimizando el uso de recursos y mejorando la eficiencia. La IA y el Big Data facilitan el análisis de grandes volúmenes de datos, identificando patrones y tendencias que pueden ser utilizados para tomar decisiones informadas y mejorar la productividad. Los CPS integran el mundo físico y digital, permitiendo la creación de plantas virtuales y la simulación avanzada de procesos, lo que facilita la planificación y optimización de la producción (Frank et al., 2019).

La agricultura de precisión, potenciada por las tecnologías de la Industria 4.0, representa un nuevo paradigma en los estudios e investigaciones agroindustriales. Esta técnica permite gestionar de manera eficiente los recursos agrícolas mediante el uso de tecnologías como la geolocalización, los sensores remotos y los drones (Alejandrino et al., 2020; Cerón y Barrios, 2019). La adopción de estas tecnologías puede mejorar significativamente la productividad y sostenibilidad de los sistemas agrícolas, optimizando el uso de insumos y reduciendo el impacto ambiental. Además, la implementación de sistemas de comunicación máquina a máquina (M2M) mediante protocolos como MQTT permite una mejor coordinación y eficiencia en las operaciones agrícolas. Estas tecnologías favorecen la integración de maquinaria autónoma e inteligente, mejorando la precisión y eficiencia de las tareas agrícolas (Alejandrino et al., 2020).

Los gobiernos y las instituciones internacionales juegan un papel crucial en la promoción y financiamiento de iniciativas de economía circular y la adopción de tecnologías de la Industria 4.0. Según Schröder et al. (2020), los gobiernos deben actuar como fuentes de financiación para nuevas iniciativas en infraestructura, educación e investigación y desarrollo (I+D), que son esenciales para impulsar la transición hacia una economía circular. Además, es necesario incentivar al sector privado para movilizar recursos y apoyar la innovación en la agroindustria. El financiamiento público, aunque esencial, no es suficiente por sí solo. Las políticas públicas deben estar orientadas a fomentar la colaboración entre el sector público y privado, promoviendo inversiones en tecnologías emergentes y prácticas sostenibles que contribuyan a la economía circular. Las

250

Samuel Alberto Pazmiño Linares  
José William Ugalde Vicuña  
Stalyn Armando Fierro Torres  
Juan Perón Pazmiño Caicedo



instituciones internacionales de financiamiento del desarrollo también deben ampliar sus carteras de financiación más allá del manejo de residuos, apoyando la innovación y la adopción de tecnologías en pro de la economía circular (Schröder et al., 2020).

Ecuador, con su rica biodiversidad y vasta base agrícola, tiene un gran potencial para implementar estrategias de economía circular en su sector agroindustrial. Sin embargo, existen varios desafíos que deben ser abordados para lograr una transición efectiva. Estos desafíos incluyen la necesidad de mejorar la infraestructura logística y de transporte, la capacitación y educación de los productores agrícolas, y la implementación de políticas públicas que fomenten la sostenibilidad y la innovación tecnológica. La integración de la economía circular con la Industria 4.0 en el sector agroindustrial de Ecuador ofrece numerosas oportunidades para mejorar la eficiencia, reducir el impacto ambiental y aumentar la competitividad en el mercado global. La adopción de tecnologías emergentes puede transformar la manera en que se gestionan los procesos agrícolas, promoviendo prácticas más sostenibles y resilientes. Además, la economía circular puede contribuir a la creación de empleo y al desarrollo económico en las zonas rurales, mejorando la calidad de vida de las comunidades locales.

La Economía Circular Agroindustrial y la Industria 4.0 representan un cambio paradigmático en la manera en que se gestionan los procesos productivos agrícolas. La integración de estas dos estrategias puede mejorar significativamente la sostenibilidad y eficiencia del sector agroindustrial en Ecuador, promoviendo el desarrollo económico y social de las comunidades rurales. La adopción de tecnologías emergentes, junto con la implementación de políticas públicas adecuadas y el financiamiento de iniciativas innovadoras, es crucial para lograr una transición exitosa hacia una economía circular en el sector agroindustrial.

La modernización de la agroindustria a través de la Economía Circular y la Industria 4.0 no solo beneficiará a los productores y a la economía nacional, sino que también contribuirá a la sostenibilidad ambiental y al bienestar de las futuras generaciones. Es imperativo que los actores clave, incluidos los gobiernos, las instituciones internacionales, el sector privado y las comunidades locales, trabajen juntos para fomentar un entorno propicio para la innovación y el desarrollo sostenible en el sector agroindustrial de Ecuador.

En las últimas décadas, el concepto de economía circular ha emergido como una alternativa fundamental para enfrentar los desafíos ambientales y económicos derivados de los modelos de producción lineales tradicionales. La economía circular (EC) se basa en la idea de que los recursos deben ser utilizados de manera más eficiente, prolongando la vida útil de los productos y promoviendo su reciclaje y reutilización. Este enfoque se contrapone al modelo lineal de "tomar, hacer, desechar", que ha demostrado ser insostenible tanto en términos de recursos naturales como de generación de residuos (Agencia Europea del Medio Ambiente, 2019). En el contexto de una economía

La siguiente tabla comparativa proporciona una visión integral de los factores más relevantes en la implementación de estrategias de economía circular en el sector agrícola de Ecuador, utilizando diversas aplicaciones de inteligencia artificial. Se evalúan factores clave como la eficiencia de recursos, sostenibilidad, competitividad y mercado, y políticas y regulaciones. La tabla destaca cómo diferentes tipos de inteligencia artificial, incluyendo Machine Learning (ML), Deep Learning (DL), Procesamiento de Lenguaje Natural (NLP) y Sistemas Multiagente (MAS), pueden ser aplicados para optimizar procesos agrícolas, mejorar la sostenibilidad y aumentar la competitividad en el mercado global.

**Tabla 1***Factores relevantes y tipos de IA*

Factores	Tipos de IA	Aplicaciones
Eficiencia de Recursos	Machine Learning (ML)	Optimización de recursos hídricos y fertilizantes mediante predicciones precisas.
	Machine Learning (ML)	Análisis de datos para mejorar la eficiencia energética y reducir el desperdicio.
	Machine Learning (ML)	Modelado predictivo para la gestión de cultivos y plagas.
Sostenibilidad	Deep Learning (DL)	Monitoreo ambiental y de biodiversidad para mantener la salud del ecosistema.
	Deep Learning (DL)	Reducción del impacto ambiental a través de análisis de ciclo de vida.
Competitividad y Mercado	Deep Learning (DL)	Optimización de rutas de transporte para reducir emisiones de CO2.
	Procesamiento de Lenguaje Natural (NLP)	Análisis de mercado para identificar oportunidades de exportación de productos sostenibles.
	Procesamiento de Lenguaje Natural (NLP)	Optimización de la cadena de suministro para mejorar la competitividad.

	Procesamiento de Lenguaje Natural (NLP)	Modelado de tendencias del consumidor para productos agrícolas.
	Sistemas Multiagente (MAS)	Evaluación del cumplimiento normativo y optimización de políticas de sostenibilidad.
Políticas y Regulaciones	Sistemas Multiagente (MAS)	Predicción de impactos de políticas gubernamentales en la producción agrícola.
	Sistemas Multiagente (MAS)	Simulación de escenarios para políticas públicas.

Fuente: los autores.

## MÉTODO

En esta investigación se analizó el impacto de la Industria 4.0 en la implementación de estrategias de economía circular en el sector agroindustrial de la provincia del Guayas, Ecuador. Para ello, se adoptó un enfoque mixto que integró elementos cuantitativos y cualitativos, con el objetivo de obtener una comprensión integral del fenómeno. El diseño del estudio fue no experimental y transversal, observando el fenómeno sin manipular variables y recolectando datos en un único momento.

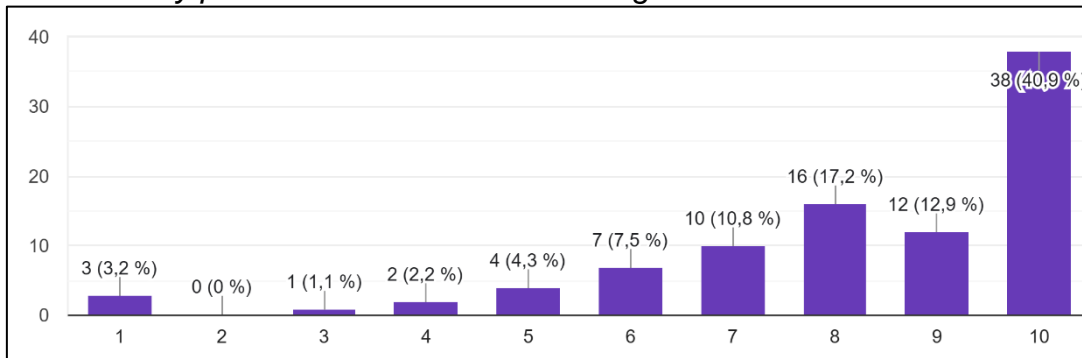
La recolección de información se realizó a través de una encuesta estructurada, diseñada con escalas de Likert de 1 a 10. Este instrumento permitió medir las percepciones de los participantes en cinco dimensiones clave: eficiencia de recursos, sostenibilidad, competitividad y mercado, políticas y regulaciones, e impacto general. La encuesta fue aplicada a 93 profesionales del sector agroindustrial mediante un muestreo no probabilístico por conveniencia, garantizando la participación de agricultores, técnicos agrónomos y otros actores relevantes de la agroindustria. El análisis de los datos se llevó a cabo utilizando herramientas estadísticas descriptivas e inferenciales, como frecuencias, promedios y modelos de regresión. Esto permitió identificar tendencias y correlaciones significativas entre los factores evaluados y el impacto general percibido.

Análisis De Resultados

- Sección 1: Eficiencia de Recursos

**Figura 1**

*Las tecnologías avanzadas han optimizado el uso de recursos como agua, fertilizantes y pesticidas en las actividades agrícolas.*



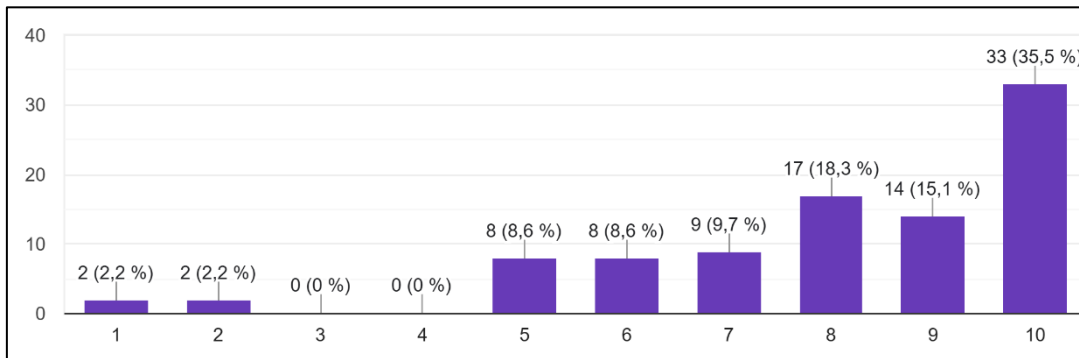
Fuente: Los autores

Los resultados indican que el 40.9% de los encuestados calificaron con un 10 el impacto positivo de las tecnologías avanzadas en la optimización del uso de recursos como agua, fertilizantes y pesticidas en las actividades agrícolas. En conjunto, más del 70% de los participantes calificaron este ítem con 8 o más, lo que demuestra una alta aceptación y percepción positiva de la eficiencia de recursos promovida por la Industria 4.0 en el sector agrícola. Esto sugiere que las tecnologías han tenido un impacto significativo en la gestión eficiente de insumos agrícolas.

- Sección 2: Sostenibilidad

**Figura 2**

*Las estrategias implementadas mediante la Industria 4.0 han reducido el impacto ambiental y promovido la reutilización de residuos agrícolas.*



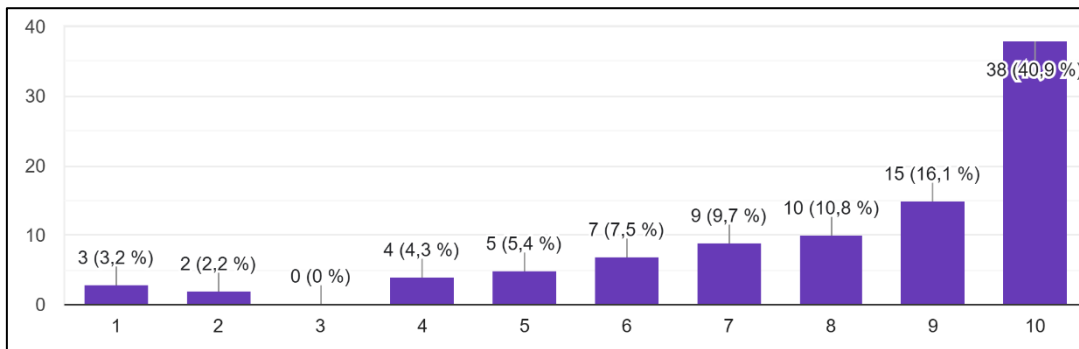
Fuente: los autores

En esta sección, el 35.5% de los encuestados otorgaron la máxima puntuación (10) al impacto de la Industria 4.0 en la reducción del impacto ambiental y la promoción de la reutilización de residuos agrícolas. Además, el 68.9% de los participantes calificaron este ítem con 8 o más, lo que refleja una percepción mayoritaria de que estas estrategias han contribuido de manera importante a la sostenibilidad del sector. Sin embargo, existe una ligera dispersión en las calificaciones más bajas, lo que podría indicar áreas de mejora o diferencias en la implementación tecnológica según las regiones o los recursos disponibles.

- Sección 3: Competitividad y Mercado

**Figura 3**

*La modernización de los procesos agrícolas a través de tecnologías avanzadas ha incrementado la competitividad de los productos agrícolas en los mercados locales e internacionales.*



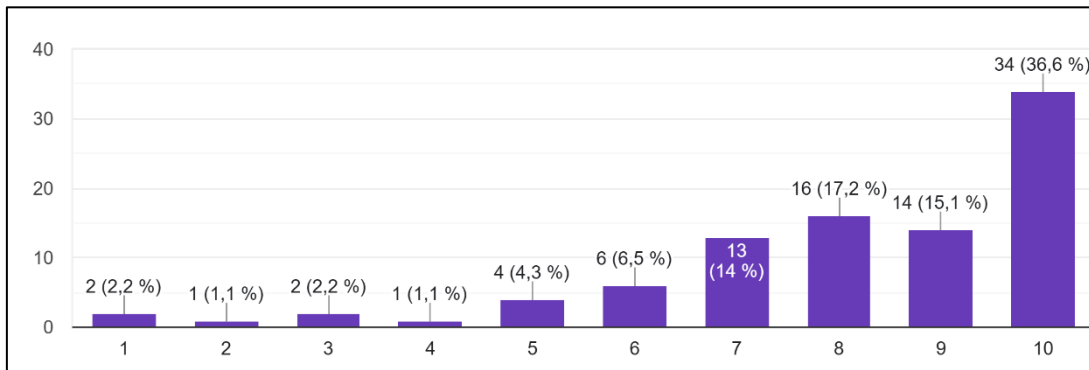
Fuente: los autores

En esta dimensión, el 40.9% calificó con 10 la modernización de los procesos agrícolas mediante tecnologías avanzadas, lo que ha incrementado la competitividad de los productos agrícolas en los mercados locales e internacionales. La puntuación de 8 o más fue seleccionada por más del 68% de los encuestados, lo que refuerza la percepción de que las tecnologías han sido clave para mejorar la posición competitiva del sector agrícola en el mercado.

- Sección 4: Políticas y Regulaciones

**Figura 4**

*Las políticas y regulaciones gubernamentales actuales fomentan la adopción de prácticas sostenibles y el uso de tecnologías avanzadas en el sector agrícola.*



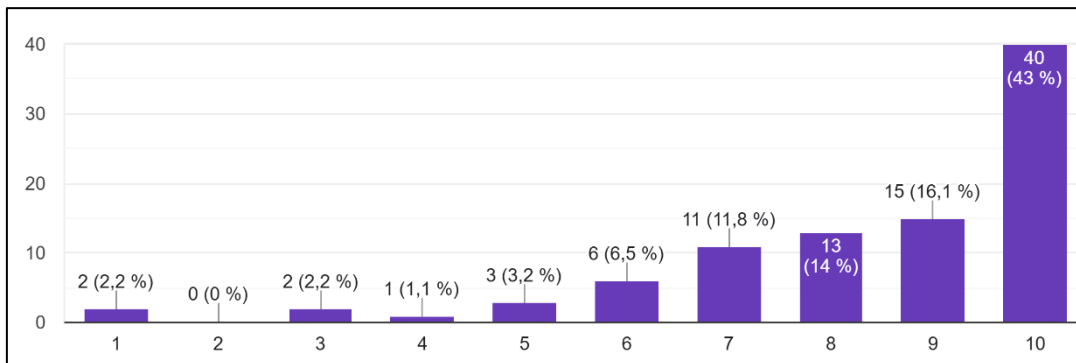
Fuente: los autores

Un 36.6% de los participantes calificaron con 10 la efectividad de las políticas y regulaciones gubernamentales para fomentar la adopción de prácticas sostenibles y tecnologías avanzadas. Además, el 65.6% de los encuestados dieron una calificación de 8 o más. Aunque los resultados son positivos, el porcentaje más bajo en comparación con otras secciones sugiere que hay oportunidades para mejorar el marco regulatorio y los incentivos gubernamentales para fortalecer la transición hacia la sostenibilidad.

- Sección 5: Impacto General (Variable Dependiente)

**Figura 5**

La integración de la Industria 4.0 y las estrategias de economía circular ha transformado significativamente las prácticas agrícolas, mejorando la sostenibilidad y la productividad.



Fuente: los autores

El 43% de los encuestados calificaron con un 10 el impacto de la integración de la Industria 4.0 y las estrategias de economía circular en la transformación de las prácticas agrícolas, mejorando la sostenibilidad y la productividad. Más del 70% otorgaron puntuaciones de 8 o más, lo que confirma una percepción generalizada de los beneficios significativos que estas estrategias han aportado al sector agroindustrial.

- Análisis estadísticos
  - *Estadísticos de Fiabilidad*

El coeficiente de fiabilidad Alfa de Cronbach obtenido fue de 0.917, lo que indica una consistencia interna excelente entre los ítems de la encuesta. Esto significa que las preguntas planteadas son coherentes y miden de manera confiable las dimensiones evaluadas. Este nivel de fiabilidad confirma que el instrumento es adecuado para analizar las percepciones de los profesionales del sector agroindustrial respecto al impacto de la Industria 4.0 en la economía circular.

- Correlaciones

La matriz de correlaciones muestra relaciones significativas entre las diferentes dimensiones evaluadas en la encuesta y la variable dependiente (Impacto General). Todas las correlaciones son significativas al nivel 0.01 (bilateral), lo que indica una relación estadísticamente relevante entre las variables.

**Tabla 2**

*Correlación de Pearson*

Variables	Eficiencia de Recursos	Sostenibilidad	Competitividad y Mercado	Políticas y Regulaciones
Impacto General	,629**	,672**	,699**	,685**

Fuente: los autores

1. Eficiencia de Recursos:

Presenta una correlación moderada con el Impacto General ( $r = 0.629$ ,  $p < 0.01$ ). Esto sugiere que una mayor optimización de recursos se asocia con una percepción positiva del impacto de la Industria 4.0 en la economía circular.

2. Sostenibilidad:

Tiene una correlación positiva moderada con el Impacto General ( $r = 0.672$ ,  $p < 0.01$ ). Esto indica que los esfuerzos en sostenibilidad son percibidos como un factor clave en el éxito de las estrategias tecnológicas y circulares.

3. Competitividad y Mercado:

Muestra una fuerte correlación con el Impacto General ( $r = 0.699$ ,  $p < 0.01$ ). Esto destaca la importancia de la modernización tecnológica en el aumento de la competitividad de los productos agrícolas y su impacto general.

4. Políticas y Regulaciones:

Registra una correlación positiva moderada con el Impacto General ( $r = 0.685$ ,  $p < 0.01$ ). Esto refleja que las políticas gubernamentales y regulaciones son percibidas como un apoyo importante, aunque podrían mejorarse para maximizar su efectividad.

259

Samuel Alberto Pazmiño Linares  
José William Ugalde Vicuña  
Stalyn Armando Fierro Torres  
Juan Perón Pazmiño Caicedo



- **Análisis FODA**

**Tabla 3***Análisis FODA de la economía circular en el sector agrícola de Ecuador.*

<b>Fortalezas</b>	<b>Oportunidades</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>• Alta percepción positiva sobre la eficiencia de recursos gracias a la Industria 4.0, evidenciada por la correlación significativa (<math>r = 0.629</math>).</li><li>• Adopción de prácticas sostenibles con impacto positivo en el medio ambiente (correlación con impacto general: <math>r = 0.672</math>).</li><li>• Incremento de la competitividad en mercados locales e internacionales debido a la modernización tecnológica (<math>r = 0.699</math>).</li><li>• Alta fiabilidad del instrumento de medición, lo que refleja un buen diseño de estrategias basadas en datos confiables.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Disponibilidad de tecnologías emergentes, como IoT, Big Data y sistemas automatizados, para implementar prácticas circulares.</li><li>• Creciente demanda global de productos agrícolas sostenibles.</li><li>• Apoyo de políticas internacionales y programas de financiamiento dirigidos a la transición hacia la economía circular.</li><li>• Potencial para mejorar la infraestructura de transporte y logística en el sector agrícola, fortaleciendo la cadena de suministro.</li></ul>
<b>Debilidades</b>	<b>Amenazas</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>• La correlación moderada de las políticas y regulaciones (<math>r = 0.685</math>) refleja un marco regulatorio insuficiente para impulsar la sostenibilidad.</li><li>• Limitaciones en la capacitación y educación tecnológica de los trabajadores agrícolas.</li><li>• Infraestructura agrícola aún deficiente en algunas zonas rurales de Ecuador.</li><li>• Falta de recursos financieros sostenibles para pequeños y medianos productores.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Competencia internacional en la producción agrícola sostenible.</li><li>• Cambio climático, que puede afectar la estabilidad de los ecosistemas agrícolas.</li><li>• Riesgo de baja adopción de tecnologías debido a costos iniciales elevados.</li><li>• Desafíos en la implementación de políticas públicas eficientes debido a restricciones presupuestarias.</li></ul>

Fuente: los autores

- Estrategias FO-FA-DO-DA

FO (Fortalezas-Oportunidades): Maximizar

- Aprovechar la percepción positiva de la eficiencia de recursos para promover tecnologías como IoT y Big Data en prácticas agrícolas sostenibles.
- Impulsar la competitividad y sostenibilidad mediante la exportación de productos certificados como sostenibles.
- Desarrollar programas de formación y educación tecnológica basados en la experiencia positiva reportada en sostenibilidad.

FA (Fortalezas-Amenazas): Defender

- Utilizar la modernización tecnológica como un diferenciador para competir en mercados internacionales.
- Implementar prácticas de agricultura regenerativa para mitigar los impactos del cambio climático.
- Crear alianzas público-privadas que fortalezcan la inversión en tecnologías agrícolas avanzadas.

DO (Debilidades-Oportunidades): Mejorar

- Desarrollar un marco regulatorio más sólido que fomente la adopción de prácticas circulares, aprovechando los programas de financiamiento internacional.
- Invertir en infraestructura agrícola y logística con enfoque en sostenibilidad y modernización tecnológica.
- Fortalecer la educación y capacitación tecnológica de los productores para mejorar la adopción de la Industria 4.0.

DA (Debilidades-Amenazas): Reducir Riesgos

- Implementar subsidios para pequeños y medianos productores que faciliten la transición hacia la economía circular.
- Promover políticas que reduzcan el costo de adopción de tecnologías emergentes, mitigando el riesgo de baja aceptación.
- Diseñar estrategias locales que permitan la resiliencia ante los efectos del cambio climático, fortaleciendo la productividad agrícola sostenible.

## DISCUSIÓN

Los resultados de esta investigación revelaron que la Industria 4.0 ha tenido un impacto significativo en la implementación de estrategias de economía circular en el sector agroindustrial de Ecuador. La alta percepción positiva sobre la eficiencia de recursos, reflejada en una correlación moderada con el impacto general ( $r = 0.629$ ), demuestra que las tecnologías avanzadas, como IoT y sensores inteligentes, han optimizado el uso de insumos agrícolas. Este hallazgo está alineado con las afirmaciones de Bravo Alay y Martillo Fernández (2019), quienes señalaron que la economía circular y la Industria 4.0 pueden transformar los sistemas productivos mediante el rediseño y la reutilización de recursos.

Por otro lado, la sostenibilidad mostró una correlación positiva moderada con el impacto general ( $r = 0.672$ ). Este resultado refuerza la idea planteada por Chafra-Martínez y Lascano-Vaca (2021), quienes destacaron que la economía circular es clave para reducir el impacto ambiental y fomentar prácticas sostenibles, especialmente en sectores que dependen de recursos naturales como la agricultura. Además, la reutilización de residuos agrícolas, mencionada por estos autores, fue percibida como una contribución directa de las estrategias circulares apoyadas por tecnologías de la Industria 4.0.

En términos de competitividad, la correlación alta con el impacto general ( $r = 0.699$ ) subraya la importancia de la modernización tecnológica para posicionar los productos agrícolas en mercados locales e internacionales. Este hallazgo está en línea con los estudios de Modrák y Zsifkovits (2020), quienes afirmaron que la adopción de tecnologías avanzadas aumenta la eficiencia en la cadena de suministro y mejora la competitividad de los productos agrícolas sostenibles.

262

Samuel Alberto Pazmiño Linares  
José William Ugalde Vicuña  
Stalyn Armando Fierro Torres  
Juan Perón Pazmiño Caicedo



Sin embargo, la correlación moderada de las políticas y regulaciones ( $r = 0.685$ ) destaca las limitaciones en el marco regulatorio para fomentar la adopción de estas tecnologías. Esto coincide con Schröder et al. (2020), quienes señalaron que los gobiernos deben fortalecer las políticas públicas e incentivar la colaboración público-privada para garantizar una transición efectiva hacia la economía circular.

## CONCLUSIONES

El presente estudio demuestra que la integración de la Industria 4.0 y las estrategias de economía circular tiene un impacto significativo en el sector agroindustrial de Ecuador, especialmente en la provincia del Guayas. Los resultados reflejan que las tecnologías emergentes, como el Internet de las Cosas y los sistemas automatizados, han optimizado la eficiencia en el uso de recursos agrícolas, lo cual se traduce en una percepción positiva sobre su contribución a la productividad del sector.

Asimismo, se identificó que la sostenibilidad es un componente esencial en la transición hacia modelos más responsables y eficientes. La implementación de prácticas sostenibles y la reutilización de residuos agrícolas han contribuido a reducir el impacto ambiental y a promover la conservación de los recursos naturales, consolidando un enfoque más respetuoso con el entorno.

En términos de competitividad, se observa que la modernización tecnológica está fortaleciendo la posición del sector agroindustrial en los mercados locales e internacionales. Estas innovaciones han mejorado la calidad de los productos agrícolas, optimizado los procesos de producción y ampliado las oportunidades de exportación, lo que beneficia tanto a los productores como a la economía nacional.

Sin embargo, el estudio también pone de manifiesto la necesidad de superar ciertos desafíos. El marco regulatorio actual, aunque tiene aspectos positivos, aún es insuficiente para impulsar la adopción masiva de tecnologías y prácticas sostenibles. Además, persisten limitaciones en la capacitación tecnológica de los trabajadores agrícolas, en la infraestructura del sector y en el acceso a financiamiento para pequeños y medianos productores.

Por tanto, la combinación de la Industria 4.0 y la economía circular ofrece una oportunidad estratégica para transformar el sector agroindustrial de Ecuador hacia un modelo más eficiente, sostenible y competitivo. No obstante, es fundamental abordar las barreras identificadas, como el fortalecimiento de

263

Samuel Alberto Pazmiño Linares  
José William Ugalde Vicuña  
Stalyn Armando Fierro Torres  
Juan Perón Pazmiño Caicedo



políticas públicas y la mejora de las capacidades locales, para garantizar la sostenibilidad y el éxito a largo plazo de estas iniciativas. Este estudio proporciona una base sólida para la toma de decisiones y el diseño de estrategias integrales que impulsen el desarrollo del sector agroindustrial en el país.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agencia Europea del Medio Ambiente. (2019). El medio ambiente europeo: estado y perspectivas 2020. Luxemburgo. Recuperado de [https://www.eea.europa.eu/publications/soer-2020/chapter-09\\_soer2020-waste-and-resources/view](https://www.eea.europa.eu/publications/soer-2020/chapter-09_soer2020-waste-and-resources/view)
- Alejandrino, A., Pérez, J., y Smith, R. (2020). Agricultura de precisión y tecnologías emergentes en la industria agrícola. *Revista de Innovación Tecnológica*, 12(4), 45-58.
- Arango, M., Herrera, L., & Rivera, C. (2020). Desarrollo agroindustrial y su impacto en las zonas rurales. *Journal of Rural Development*, 15(2), 123-135.
- Batlles-de-laFuente, A., Belmonte-Ureña, L. J., Plaza-Úbeda, J. A., & Abad-Segura, E. (2021). Sustainable Business Model in the Product-Service System: Analysis of Global Research and Associated EU Legislation. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(19), 10123. <https://doi.org/10.3390/ijerph181910123>
- Bravo Alay, K. V., y Martillo Fernández, K. E. (2019). Economía circular y la industria 4.0 como estrategia del Comercio Internacional en el Ecuador. Tesis de pregrado, Universidad de Guayaquil. Recuperado de <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/45780>
- Brundage, M. P., Bernstein, W. Z., Hoffenson, S., Chang, Q., Nishi, H., Kliks, T., & Morris, K. C. (2018). Analyzing environmental sustainability methods for use earlier in the product lifecycle. *Journal of Cleaner Production*, 187, 431–441. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.03.187>
- Cerón-Muñoz, H., & Barrios, J. (2019). Uso de drones en la agricultura de precisión. *Revista AgroTecnología*, 8(3), 89-101.
- Chafla-Martínez, P., y Lascano-Vaca, M. (2021). Entendiendo la economía circular desde una visión ecuatoriana y latinoamericana. *CIENCIA UNEMI*,

14(36), 73-86. <https://doi.org/10.29076/iss-n.2528-7737vol14iss36.2021pp73-86p>

Corona, B., Shen, L., Reike, D., Rosales, J., & Worrell, E. (2019). Towards sustainable development through the circular economy—A review and critical assessment on current circularity metrics. *Resources, Conservation and Recycling*, 151, 104498. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.104498>

Frank, A. G., Dalenogare, L. S., y Ayala, N. F. (2019). Industry 4.0 technologies: Implementation patterns in manufacturing companies. *International Journal of Production Economics*, 210, 15-26.

García, R., López, J., y Pérez, M. (2022). La economía circular en el sector agroindustrial. *Journal of Sustainable Agriculture*, 11(1), 22-34.

Geissdoerfer, M., Savaget, P., Bocken, N., & Hultink, E. (2017). The Circular Economy – A new sustainability paradigm? *Journal of Cleaner Production*, 143, 757-768. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.12.048>

Hernández, J., & Yagui, V. (2021). Análisis de información y factores de desempeño ambiental y de economía circular en empresas peruanas. *Comuni@cción: Revista de Investigación en Comunicación y Desarrollo*, 12(1), 37-52. <https://doi.org/10.33595/2226-1478.12.1.481>

Khan, K., Wie, C., & Khuschid, A. (2022). Circular economy: The silver bullet for emissions? *Journal of Cleaner Production*, 379(2), 134819. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.134819>

Kirchherr, J., Reike, D., & Hekkert, M. (2017). Conceptualizing the circular economy: An analysis of 114 definitions. *Resources, Conservation and Recycling*, 127, 221-232. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.09.005>

Li, C., & Wang, S. (2022). Digital Optimization, Green R&D Collaboration, and Green Technological Innovation in Manufacturing Enterprises. *Sustainability*, 14(19), 12106. <https://doi.org/10.3390/su141912106>

Matiacevich, S., Soto Madrid, D., & Gutiérrez Cutiño, M. (2022). Economía circular: Obtención y encapsulación de compuestos polifenólicos provenientes de desechos agroindustriales. *RIVAR*, 10(28), 77-100. <https://doi.org/10.35588/rivar.v10i28.5343>



- Modrák, V., y Zsifkovits, H. (2020). Implementing Industry 4.0 in Agriculture: Opportunities and Challenges. *Journal of Industrial Engineering and Management*, 13(2), 356-367.
- Moreno, J. (2019). Seguridad del transporte y redes de comunicación en el desarrollo agroindustrial. *Transportation and Logistics Journal*, 17(5), 77-89.
- NSW Environment Protection Authority. (2018). Too Good to Waste: Discussion paper on a circular economy approach for NSW. NSW Government. <https://bit.ly/3ZnxuKQ>
- Raudales-García, E. V., Acosta-Tzin, J. V., & Aguilar-Hernández, P. A. (2024). Economía circular: una revisión bibliométrica y sistemática. *Región Científica*, 3(1), 2024192. <https://doi.org/10.58763/rc2024192>
- Rodríguez, D., Mosquera, X., & Vega, A. (2021). Análisis de la aplicación del modelo de economía circular en las empresas del Ecuador. *REMCA*, 4(3), 127-137. <http://remca.umet.edu.ec/index.php/REMCA/article/view/478>
- Schröder, P., Smith, L., y Meran, P. (2020). The role of governments in promoting circular economy practices. *Circular Economy Journal*, 5(3), 45-60.

