

ARTÍCULO ORIGINAL**Impacto de un modelo integrado de economía circular en la sostenibilidad e indicadores de desarrollo sostenible de una empresa agropecuaria****Impact of an integrated circular economy model on the sustainability and sustainable development indicators of an agricultural company**Abel Rodríguez¹ , Carlos Rodríguez² , Wendy Castañeda³ , Wilson Maco⁴  y Iván Olivares⁴ **RESUMEN**

En el contexto de los desafíos actuales hacia un desarrollo sostenible, la economía circular surge como una alternativa viable para transformar procesos productivos tradicionales. Este estudio evaluó su impacto en una empresa agropecuaria de la región Ancash, mediante un enfoque mixto con análisis cualitativo y cuantitativo de indicadores de sostenibilidad. La muestra fue una empresa agropecuaria dedicada a la siembra de palta y pitahaya durante el periodo 2023-2025, utilizando técnicas como análisis documental, observación directa y simulación. Los resultados indicaron una tasa de supervivencia del 95% en las plantas y una producción anual promedio de 5 kg de fruta, limitada por problemas de suelo y riego. Sin embargo, tras implementar el modelo circular, la tierra productiva mejoró del 35% al 50%, el acceso a agua dulce del 25% al 40%, y el uso de recursos materiales y energéticos del 45% al 60%. Además, se registraron aumentos en el conocimiento del personal (65% a 75%), salud del equipo (60% a 70%), capacidad manufacturera (50% a 65%) y salud financiera (55% a 70%). En conclusión, el modelo contribuyó significativamente al fortalecimiento ambiental, económico y social de la empresa, demostrando su relevancia para avanzar hacia un desarrollo sostenible.

Palabras clave: Gestión; economía circular; sostenibilidad; recursos naturales; sustentable.

ABSTRACT

In the context of the current challenges towards sustainable development, the circular economy emerges as a viable alternative to transform traditional production processes. This study evaluated its impact on an agricultural company in the Ancash region, using a mixed approach with qualitative and quantitative analysis of sustainability indicators. The sample was an agricultural enterprise dedicated to avocado and pitahaya planting during the period 2023-2025, using techniques such as documentary analysis, direct observation and simulation. The results indicated a 95% plant survival rate and an average annual production of 5 kg of fruit, limited by soil and irrigation problems. However, after implementing the circular model, productive land improved from 35% to 50%, access to fresh water from 25% to 40%, and use of material and energy resources from 45% to 60%. In addition, there were increases in staff knowledge (65% to 75%), equipment health (60% to 70%), manufacturing capacity (50% to 65%), and financial health (55% to 70%). In conclusion, the model contributed significantly to the environmental, economic and social strengthening of the company, demonstrating its relevance in moving towards sustainable development.

Keywords: Management; circular economy; sustainability; natural resources; sustainable.

* Autor para correspondencia

¹ Universidad Nacional del Santa, Perú. Email: arodriguez@uns.edu.pe

² Universidad Cesar Vallejo, Perú. Email: crodriguez23@ucvvirtual.edu.pe

³ Programa Nacional de Investigación Científica y Estudios Avanzados, Perú. Email: 2025818022@uns.edu.pe

⁴ Universidad Nacional de Trujillo, Perú. Email: wmaco@unitru.edu.pe, iolivares@unitru.edu.pe

INTRODUCCIÓN

Respecto a la problemática a nivel mundial, se centra en el crecimiento acelerado y su impacto en la sobrepoblación y la continua degradación de recursos esenciales para la sostenibilidad de la vida, alcanzando niveles críticos sobre la seguridad alimentaria (Cheng et al., 2025; Hussain et al., 2025). Durante los últimos dos siglos, la población global ha experimentado un crecimiento exponencial que persiste, con una población mundial actual de 7 800 millones y una proyección de las Naciones Unidas (ONU) de 9 000 millones al 2 050, con un 70% de esta población concentrada en zonas urbanas y con ello el aumento del hambre mundial en todos los niveles (Abbas et al., 2025). Esta realidad implica alimentar a una población en aumento, desencadenando un incremento insostenible en el consumo de recursos y bienes esenciales para la satisfacción de necesidades básicas en las áreas rurales y en las diferentes partes de la sociedad exigen opciones alimentarias saludables y sostenibles (Anyiam et al., 2025; Faggini et al., 2023; Shebanin et al., 2024).

El sistema alimentario enfrenta una insostenibilidad multidimensional, centrado en el cambio climático, la tierra, el agua y el crecimiento demográfico afectando aspectos sinérgicos relacionados a la sociedad, empresa y estado, es por ello por lo que aumenta de manera exponencial la urbanización, la industrialización y la demanda de combustibles y energía han llevado a la sobreexplotación de los recursos naturales (Shittu, 2025). Estos son los principales factores que contribuyen el agotamiento global de los principales recursos naturales, contribuyendo a los conflictos y modifican la sostenibilidad del planeta al tener una disrupción entre la seguridad alimentaria y la contaminación (Azizi y Leandro, 2025; Manh et al., 2023; Syrbek et al., 2025).

A nivel de Sudamérica, la emergencia climática está surgiendo como un problema apremiante debido a cuestiones cruciales del mundo real, obligando a la población a reevaluar prácticas en todos los aspectos de sus vidas, donde uno de los factores más relevantes es el impacto de varias industrias en todo el mundo (Bresnahan et al., 2025). En general, las industrias empeoran significativamente la emergencia actual debido al crecimiento poblacional y consumos de sus procesos productivos, aumentando el material particulado y los afluentes gaseosos y líquidos, y la explotación del agua, tierras y otros recursos naturales que interactúan dinámicamente en el sistema (Raza et al., 2025). No obstante, es importante destacar que este sector opera predominantemente bajo un modelo que han adoptado de producción lineal en lugar de circular (Gallego-Schmid et al., 2025). Este enfoque lineal conlleva a la generación de una considerable cantidad de residuos, cuya gestión inadecuada contamina de manera gradual el agua, el suelo y, de manera especialmente relevante, la atmósfera, pues es necesario promover la transición hacia sistemas agropecuarios que adopten un enfoque circular, favoreciendo la optimización de los recursos minimicen el daño ambiental, al tiempo que se logra un aumento en la eficiencia del sistema en su conjunto (Panza

y Peron, 2025). En ese sentido se plantea el problema de investigación ¿Cuál es el impacto de un modelo integrado de economía circular en la sostenibilidad de las empresas agropecuarias?

En cuanto a la literatura científica actual como soporte de las variables se tiene a Mukherjee et al. (2025), quienes afirmaron que la economía circular es un tema emergente que hace sinergia con otros conceptos que contribuyen al desempeño de las organizaciones, en ese mismo sentido McCauley (2025), afirmó que la economía circular es un nuevo modelo que no ha sido explorado completamente, en donde la manufactura de bienes y servicios se enfocan en el consumo tangible e intangibles, haciendo el seguimiento desde su transformación de los residuos que se generan y la sostenibilidad del medio ambiente. Asimismo, la economía circular es un sistema que es consiente que los recursos se agotan debido a su uso excesivo, que son limitados y que se enfocan de una manera sistémica, en donde todos los elementos interactuantes son importantes (Leone et al., 2025).

Por otro lado, Ashby (2023) afirmó que el desarrollo sostenible es un desarrollo que contribuye de forma positiva y significativa a la prosperidad, a las personas y al planeta (3P), estas 3P son capitales esenciales, los cuales son el capital manufacturero y financiero, el capital humano y social, y el capital natural, estos capitales son existencias, es así como estos recursos pueden conservarse, acumularse o reducirse con enfoque al desarrollo sostenible (Li et al., 2025). Estas políticas a menudo se describen como verdes porque se enfocan en limitar el impacto del desarrollo en el medio ambiente en base a la matriz energética de diversos sectores (Kousar et al., 2025).

La importancia del estudio, tuvo una relevancia científica, abordando los desafíos ambientales y económicos de los sectores productivos estratégicos, como la agroindustria y la manufactura, teniendo en cuenta, los aportes teóricos científicos, que se entrelazan con mayor urgencia en la adopción de enfoques sistémicos de la naturaleza imperativa, además, tuvo una relevancia social, considerando la actividad agropecuaria y analizando de manera integral el potencial de dicho enfoque, evaluando cómo su implementación puede no solo optimizar las operaciones agropecuarias, sino también generar beneficios ambientales y socioeconómicos perdurables en las empresas MiPymes.

En ese sentido, se tuvo como objetivo del estudio determinar el impacto de un modelo integrado de economía circular en el desarrollo sostenible de una empresa agropecuaria, Ancash, 2023., para lo cual se estableció objetivos específicos secuenciales, donde se procedió a realizar el diagnóstico de los procesos operativos, seguido por la determinación de los indicadores sostenibles de las empresas agropecuarias y después de ello, se procedió a implementar el modelo integrado de economía circular en una empresa agropecuaria, con la finalidad de evaluar su impacto en los indicadores de sostenibilidad.

En cuanto a la hipótesis del estudio fue, el modelo integrado de economía circular impacta de manera significativa en la sostenibilidad de las empresas agropecuarias.

MATERIALES Y MÉTODOS

La población estuvo conformada por las empresas agropecuarias de la región Áncash, las cuales fueron utilizadas para el modelado del estudio, para ello, se utilizó como muestra una empresa agropecuaria con su diseño técnico estructural del proceso productivo de los cultivos de palta y pitahaya. Se tomaron en cuenta los procesos propios de esta empresa agropecuaria en la región Ancash, con el propósito de mejorar los indicadores de desarrollo sostenible. Asimismo, para la presente investigación, la unidad de análisis fue el eje técnico administrativo de una empresa agropecuaria, asimismo de acuerdo con los objetivos de la investigación se tuvo en cuenta un análisis del sistema productivo de la siembra de los cultivos.

El modelo se desarrolló en tres etapas, la primera etapa estableció una granja de cría de cuyes, donde se proporcionó una alimentación mixta compuesta por forraje verde hidropónico y alimento balanceado, pues; para ello se cultivó utilizando técnicas hidropónicas, proporcionando un suministro fresco y nutritivo, complementando sus necesidades nutricionales, para obtener carne de calidad y subproductos esenciales; la siguiente etapa se utilizó la biodigestión del estiércol y producción de biogás, biol y biosol, teniendo en cuenta la ecuación 1 de bioquímica simplificada:



En esta reacción, la materia orgánica presente en el estiércol (CH_4O) es descompuesta por microorganismos anaeróbicos en biogás (CH_4) y dióxido de carbono (CO_2). El biogás generado, principalmente metano, se captura y almacena para su uso como fuente de energía. Luego se llevó a cabo el cálculo de la carga orgánica (kg/día), tasa de producción de biogás y el volumen de biogás genera. Para la producción de biol y biosol, cuyos componentes son ricos en nutrientes y son adecuados para su uso como fertilizantes. Puede describirse utilizando la ecuación 2 simplificada.



En esta reacción, la materia orgánica (CH_4O) reacciona con el amoníaco (NH_3) para producir metano, dióxido de carbono, agua y amonio (NH_4^+). En la tercera etapa se procedió con la fertilización de los cultivos y el cierre del ciclo, utilizando el biol y el biosol producido en el biodigestor anaeróbico para aplicar de manera adecuada en los cultivos de paltos, pitahayas y en el forraje verde hidropónico.

En el diseño del proceso, se realizó la optimización del biodigestor, para lo cual se consideró la optimización del diseño y las condiciones de operación del biodigestor para maximizar la producción de

biogás y la descomposición de la materia orgánica, donde se incluyó aspectos como la relación carga/agua, la temperatura y el tiempo de retención hidráulica.

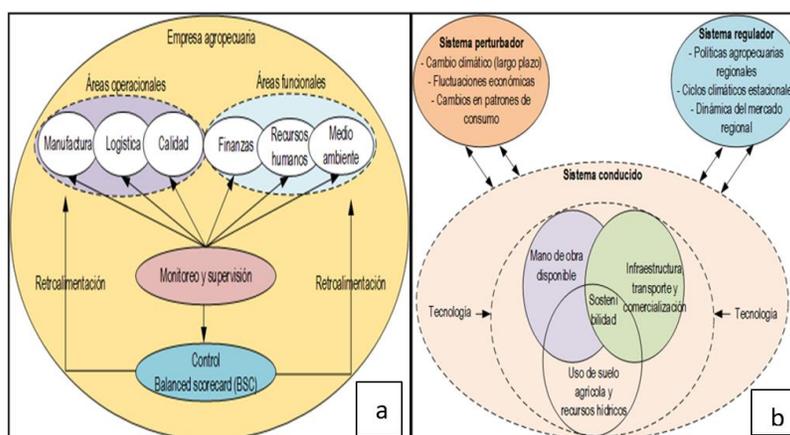
Las técnicas utilizadas fueron la revisión y el análisis documentales, considerando registros físicos relacionados a los recursos recuperados y el manejo operativo de los procesos, entre otros formatos que son utilizados en la organización y que sirvieron para recolectar la información expresados en datos, pues la información se obtuvo de la información de la empresa, la cual fue proporcionado por los encargados de la organización. Asimismo, para los indicadores de desarrollo sostenible se consideró la observación directa, los cuales utilizaron instrumentos como las fichas de control del capital financiero, capital humano, capital natural y capital tecnológico. Respecto al manejo de resultados, se procedió a describir e inferir resultados, teniendo en cuenta la manera secuencial en cada proceso operativo, recolectados de acuerdo a los objetivos planteados, seguido de un análisis inferencial para contrastar la hipótesis planteada, utilizando una prueba T – Student (t), con la finalidad de determinar si existe significancia entre las variables (independiente – dependiente). Para lo cual se utilizó el software R 4.4.3 con su IDE R Studio, tal como se muestra en la tabla 3. $H_0: \beta = 0$; $H_1: \beta > 0$; $\alpha = 0,05$ (3)

RESULTADOS

La empresa agropecuaria al ser parte de un sistema productivo y abierto, tiene una interrelación dinámica entre los diferentes grupos de interés (figura 1), considerando el sistema perturbador, regulador y conducido, donde se tuvo en cuenta el ámbito de la aplicación, siendo el punto integral la sostenibilidad de la empresa, pues para ello, se tuvo en cuenta las variables de cambio climático como precipitaciones, aumento de rayos UV, escasez hídrica, agotamiento del suelo, los cuales afectan a las distintas industrias (minería, textil, curtiembre, cementera, agregados, acero, etc.).

Figura 1

Análisis operativo de la empresa agropecuaria. a) Sistema conducido. b) Sistema conducido para la sostenibilidad.



Nota. El gráfico representa el sistema conducido y sistema conducido para la sostenibilidad.

Pues la fuente principal en los valles de Chimbote, Nepeña, Casma y Huarney, proviene del afluente del Río Santa, el cual se encarga de abastecer una extensión total de 136 768 hectáreas, así como el abastecimiento de agua a la población de impacto, siendo el canal IRCHIM el encargado de extraer el caudal del afluente y trasvasar todos los valles de Chimbote – Nepeña y Casma, cuenta con una extensión de 146.5 km. Pues si bien es cierto, los valles de Chincas tienen el recurso hídrico para el cultivo, existen fluctuaciones económicas, patrones de consumo y la dinámica del mercado que afectan a la sostenibilidad de los valles.

Se determinaron los procedimientos de acuerdo a los lineamientos que establecen los ODS en las prácticas que fomenten la resiliencia del ecosistema, la inclusión social y el bienestar económico, iniciando con el análisis del uso de recursos de la microempresa agropecuaria de la región de Ancash, la proximidad al océano Pacífico y la altitud de los Andes, pues las estaciones en Ancash incluyen una crisis en la sostenibilidad de la empresa (tabla 1), lo que resalta la necesidad de mejorar los diferentes indicadores de sostenibilidad como el capital natural, el capital humano y social, capital manufacturero y financiero y la sinergia con el capital tecnológico.

Tabla 1

Indicadores de sostenibilidad de la empresa alineados a los objetivos de desarrollo sostenible

Indicadores sostenibles	Valores cuantificables (%)
Capital natura	
Tierra productiva	35
Agua dulce	25
Recursos materiales y energéticos	45
Capital humano y social	
Nivel de conocimiento	65
Nivel de salud	60
Nivel de cultura	55
Capital manufacturero y financiero	
Capacidad manufacturera	50
Economía dinámica	45
Salud financiera	55
Capital tecnológico	
Software de monitoreo	40
Capacidad de respuesta	50

Nota. Información de los indicadores de sostenibilidad en la empresa.

El modelo implementado buscó optimizar y minimizar el desperdicio, creando un sistema agrícola que no solo produzca bienes, sino que también preservar el bienestar de la comunidad, pues este enfoque permitió que la empresa agropecuaria no solo cumpla con sus objetivos económicos, sino que también juegue un papel activo en la consecución de los ODS, el cual estuvo centrado en un marco estratégico, desde la perspectiva medioambiental y de sostenibilidad, ubicada en la base, que destaca la importancia de reducir el impacto ambiental a través de prácticas circulares como la reutilización de recursos, el

reciclaje y la minimización de residuos, luego, incorpora la perspectiva de aprendizaje y crecimiento, así mismo, se tiene a la perspectiva del cliente realizando productos más sostenibles y responsables, donde la rentabilidad es el resultado de implementar estos principios circulares.

Para llevar a cabo el modelo holístico se incluyó el cuadro integral de gestión estratégica sostenible (CIGES), donde se describe el uso de tecnologías limpias y prácticas (tabla 2), como la rotación de cultivos, la conservación de suelos y el manejo eficiente del agua, pues estos enfoques no solo protegen el medio ambiente, sino que también fortalecen la resiliencia de la empresa ante fluctuaciones en el mercado y cambios climáticos, resaltando la importancia de repensar y rediseñar los sistemas de producción desde la bioeconomía, combinando avances tecnológicos con la sostenibilidad.

Tabla 2

Estrategias para llevar a cabo el modelo de economía circular

Estrategia	Descripción	Indicador	Meta	Plazo
Rediseño de productos	Adaptar productos agropecuarios para usar subproductos biológicos.	% de productos rediseñados	80% de los productos en 2 años	2024-2025
Optimización de procesos	Mejorar procesos para reducir el uso de recursos y residuos.	% de reducción de recursos	Reducción del 20% en 2 años	2024-2025
Implementación de tecnologías	Integrar nuevas tecnologías sostenibles en la producción.	Número de tecnologías implementadas	5 nuevas tecnologías en 2 años	2024-2025
Instalación de sistemas de compostaje	Establecer sistemas para compostar residuos orgánicos.	Número de sistemas instalados	2 sistemas en 1 año	2024
Desarrollo de planta de biogás	Construir una planta para la producción de biogás.	Capacidad de producción de biogás	Producción de 50 m ³ /día	2024
Monitoreo y mejora	Monitorear y optimizar los procesos de compostaje y biogás.	% de mejora en eficiencia	Aumentar la eficiencia en un 30%	2025
Desarrollo de biofertilizantes	Crear y aplicar biofertilizantes a partir de compost y biogás.	Cantidad de biofertilizante producido	Producción de 10 toneladas/año	2024-2025
Aplicación en campos	Aplicar biofertilizantes en los cultivos para evaluar efectividad.	% de cultivos tratados	Tratar el 100% de los cultivos	2025
Evaluación del impacto	Evaluar el impacto de la biofertilización en la productividad de los cultivos.	Incremento en la productividad	Aumento del 20% en productividad	2025

Nota. Basado en los registros de los indicadores

Las actividades estratégicas orientadas a los residuos orgánicos, mediante la instalación de compostaje para la recuperación de los residuos orgánicos y convertirlos en compost, donde se lleva a cabo la recirculación de los residuos, mejorando así la fertilidad del suelo y reduciendo la cantidad de desechos, garantizando que los sistemas de compostaje y biogás operen de manera óptima.

Luego de llevar a cabo el diseño del modelo integrado circular, se logró obtener un crecimiento de la población de cuyes de manera lineal, pues de una producción inicial de 390 cuyes, los cuales se dividieron en 39 machos y 351 hembras, se obtuvo un total de 1200 cuyes en un año, generando 0,9 lt/cuy día de agua residual y un caudal 1,08 m³, la biodigestión del estiércol estuvo en relación de 20:80 gas líquido.

Tabla 3

Parámetros utilizados en el desarrollo del modelo integrado

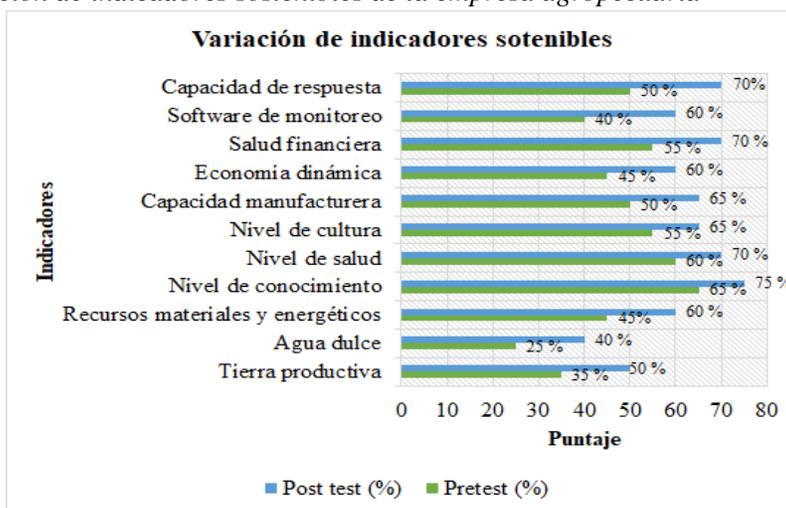
Estiércol (kg/día)	Agua (L/día)	Materia Prima (kg)	Compost (kg)	Biogás Producido (m ³)	Biol (L)	Biosol (%)	Caudal (m ³ /día)	Cumplimiento Normativo (Sí/No)
216	864	1 200	800	60	100	30	1,08	Sí
216	864	1 300	850	65	110	32	1,08	Sí
216	864	1 500	900	70	120	35	1,08	Sí
216	864	1 400	850	68	115	34	1,08	Sí
216	864	1 600	950	75	130	36	1,08	Sí
216	864	1 700	1 000	80	140	38	1,08	Sí
216	864	1 800	1 050	85	150	40	1,08	Sí
216	864	1 500	900	70	120	35	1,08	Sí
216	864	1 600	950	78	135	37	1,08	Sí
216	864	1 700	1 000	80	145	39	1,08	Sí
216	864	1 800	1 050	85	150	41	1,08	Sí
216	864	1 900	1 100	90	160	43	1,08	Sí

Nota. Basado en los registros de los indicadores

Los parámetros obtenidos en el proceso (tabla 3) se llevaron a cabo de acuerdo a la cantidad de los cuyes (1200 cuyes) y el sub producto como el estiércol (compost) 800 kg y el biogás 65 m³, lo cual se procedió a fertilizar los cultivos de la empresa, permitiendo la recuperación del recurso hídrico y la producción de biol y biosol para la biofertilización del suelo, obteniendo mejores rendimientos, aumentando de 8 kg/planta a 15 kg/planta en palto y de 5 kg/planta a 9 kg/planta en pitahaya, asimismo, la rentabilidad (ROI) creció del 22,94% al 30,50%.

Figura 2

Variación de indicadores sostenibles de la empresa agropecuaria



Nota. El gráfico representa la forma de cómo llevar a cabo el desarrollo sostenible de manera estratégica de una empresa.

De acuerdo al análisis realizado sobre los indicadores sostenibles (figura 2), se obtuvo una mejora de 22,94% al 30,50%, lo que indica una mejor utilización de los recursos invertidos, asimismo, el margen de ganancias pasó de 23,80% a 28,00%, reflejando una gestión de costos más eficiente, en cuanto a la rotación también se incrementó de 96,20% a 105,00%, sugiriendo un uso más efectivo de los activos,

esto evidenció una mejora de la rentabilidad financiera (ROE), donde se observó un crecimiento del 45,83% al 55,00%, generando más valor para los accionistas, asimismo, el efecto fiscal mejoró, lo que indica una optimización en las obligaciones tributarias, y el apalancamiento se redujo de 3,20 a 2,50, reflejando una estructura de capital más sólida.

Tabla 3

Prueba de T – Student de muestras emparejadas

Datos	T	Df	p-valor	H ₁	95% de intervalo de confianza de la diferencia		Media
					Inferior	Superior	
Diferencias	13,77	10	3,965*10 ⁻⁸	$\beta > 0$	12,631	∞	14,545

Nota. Prueba basada en los datos utilizando el software R con su IDE R Studio 4.4.3.

Las diferencias emparejadas (tabla 3) entre los resultados de los indicadores sostenibles actuales y finales de la empresa, donde se obtuvo un p-valor muy bajo ($< 0,01$), rechazando la hipótesis nula, indicando que la media de las diferencias es significativamente mayor que 0. Lo cual respalda la fiabilidad de los resultados, es decir que estos resultados evidencian el impacto positivo del modelo de economía circular en el desempeño de la empresa agropecuaria.

DISCUSIÓN

La implementación del modelo de economía circular mejoró significativamente el desarrollo sostenible de una empresa agropecuaria, pues de acuerdo a las herramientas utilizadas, se obtuvo un valor de significancia de 0,000, es decir estos resultados evidencian un impacto positivo del modelo de economía circular en el desempeño de la empresa agropecuaria, la tierra productiva aumentó del 35% al 50%, lo que demuestra una gestión más sostenible de los recursos agrícolas, el acceso a agua dulce también mejoró, pasando del 25% al 40%, lo que indica un uso más eficiente, los recursos materiales y energéticos, logró un incremento del 45% al 60%, reflejando una mejor capacidad para recuperar y utilizar insumos, en cuanto al capital humano y social, el nivel de conocimiento creció del 65% al 75%, y el nivel de salud del 60% al 70%, en ese sentido se coincide con Davidenko et al. (2025), pues los investigadores enmarcaron que el crecimiento económico y el desarrollo sostenible de las empresas de Kazajistán se relacionan con la eficacia de los proyectos sostenibles, lo cual se refuerza con la teoría de Mukherjee et al. (2025), que indican que la economía circular contribuye al desarrollo de las organizaciones.

En cuanto al diagnóstico situacional de los procesos operativos de la empresa agropecuaria, se obtuvo deficiencia para llevar a cabo el monitoreo de los registros de sanidad animal, recursos biológicos recuperados, características de la materia prima y las operaciones para registrar el compostaje/biogás que se utiliza en la biofertilización, pues de acuerdo a las variaciones organizacionales, tales como los

conflictos sociales, políticos y económicos que se evidencian en la región, se tiene otras variables que influyen de manera directa con el desarrollo operativo de los sistemas dinámicos, es así que de acuerdo a las fluctuaciones en los factores ambientales, se genera una situación compleja para tener un posicionamiento estratégico en el cumplimiento de los objetivos sostenibles que se enmarca en la empresa, por ello a través de las variaciones de temperatura diarias con un nivel bajo de 18°C y un nivel máximo de 28°C, con oscilaciones de 3°C, los cuales ocurren 3 veces por semana, afectan el bienestar de los cuyes, el desarrollo de los productos agrícolas como el palto y pitahaya, generando mayor consumo de recursos naturales como los fertilizantes y el agua dulce, en ese sentido, se coincide con Marrucci et al. (2024), pues realizan análisis y controles a diferentes etapas de los procesos del negocio de cerveza, en donde los puntos críticos destaca con un 60% la fase de cultivo y se enmarca en la teoría con Bresnahan et al. (2025), que sostiene que los países y las empresas deben innovar en la agricultura.

En cuanto a la determinación de los datos iniciales, se tuvo en cuenta los registros de producción de campo, producción de cuyes y los registros económicos, los cuales reflejan el capital natural, económico, social y tecnológico, donde se evidencia una mezcla de fortalezas y debilidades que enfrenta la organización, destacándose el capital natural, con un 35% de tierra productiva y un 25% de agua dulce, asimismo, se observa que existe un uso moderado de estos recursos, además, se obtuvo un 45% en recursos materiales y energéticos este indicador refleja que existe margen para optimizar su utilización y minimizar desperdicios, se obtuvo una variación del uso de agua de 25 m³/Ha en enero y diciembre a un máximo de 60 m³/Ha en junio, con un promedio anual de 41 m³/Ha, el consumo de combustible promedio es de 5,5 galones al mes, con picos en los meses de mayor actividad agrícola; los residuos generados tienen un promedio de 1 325 kg al año en ese sentido, se coincide con Islam y Zheng (2025), pues identificaron que el 16% de las emisiones de gases de efecto invernadero en Europa es causado por el sistema alimentario lo cual se contrasta con Panza y Peron (2025), indicando que la gestión inadecuada contamina todo el ecosistema y amenaza la sostenibilidad.

Respecto a la implementación del modelo de economía circular utilizó herramientas de recirculación, para establecer los registros de sanidad animal, recuperación de recursos biológicos, información de características de la materia prima, elaboración de compostaje/biogás y un sistema integrado de operaciones para el manejo integrado de la producción de palto, pitahaya, forraje verde hidropónico y la cría de animales menores, siendo responsable con el medio ambiente, llevando a cabo la preparación de las materias primas, los cuales fueron recogidos y almacenados del estiércol fresco de cuy, mezclándolo con materiales carbonosos como paja o aserrín en una proporción, para lo cual se diseñó un biorreactor anaeróbico, así como un sistema de agitación para mantener la homogeneidad de la mezcla, logrando

recuperar el recurso hídrico y la biofertilización de biol y biosol para la mejora de la tierra productiva, logrando obtener un rendimiento de los cultivos de 8 kg/planta a 15 kg/planta en el palto y 5 kg/planta a 9 kg/planta de pitahaya, alineándose así con Vásquez et al. (2025) quienes explicaron los desafíos que se presentan en las cadenas alimentarias en ausencia de una correcta implantación de la economía circular en las empresas. La evaluación de los indicadores de economía circular revela mejoras significativas en el desempeño financiero de la empresa, pues la rentabilidad económica (ROI) aumentó del 22,94% al 30,50%, asimismo, el valor de significancia es $3,965 \times 10^{-8}$, es decir que estos resultados evidencian el impacto positivo del modelo de economía circular en el desempeño de la empresa agropecuaria, se coincide con Davidenko et al. (2025) que resalta la eficiencia verde con el desarrollo económico.

CONCLUSIONES

La implementación de un modelo de economía circular resultó en un aumento promedio del 14,54% en los indicadores de desarrollo sostenible de la empresa agropecuaria, evidenciando mejoras en la eficiencia operativa y en el bienestar socioeconómico, logrando que la tierra productiva incremente de 35% al 50%, reflejando una gestión más sostenible de los recursos agrícolas; el acceso a agua dulce pasó del 25% al 40%, indicando un uso más eficiente; y el aprovechamiento de recursos materiales y energéticos aumentó del 45% al 60%, demostrando una mayor capacidad de recuperación y reutilización de insumos, incorporando herramientas de recirculación mediante la alimentación de un biodigestor con restos de producción de palto y pitahaya, mezclados con estiércol fresco de cuy y materiales carbonosos como paja o aserrín, siendo tratado en un biorreactor anaeróbico diseñado con un sistema de agitación para mantener su homogeneidad, permitiendo la recuperación del recurso hídrico y la producción de biol y biosol para la biofertilización del suelo, obteniendo mejores rendimientos, aumentando de 8 kg/planta a 15 kg/planta en palto y de 5 kg/planta a 9 kg/planta en pitahaya, asimismo, la rentabilidad (ROI) creció del 22,94% al 30,50%, con un valor de significancia de $3,965 \times 10^{-8}$, evidenciado un impacto positivo del modelo de economía circular en el desempeño ambiental, productivo y financiero de la empresa, resaltando su valor estratégico para el desarrollo sostenible.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abbas, S., Haider, A., Kousar, S., Lu, H., Lu, S., Liu, F., Li, H., Miao, C., Feng, W., Aha-mad, M. I., Mehmood, M. S., & Zulqarnain, R. M. (2025). Climate variability, population growth, and globalization impacting food security in Pakistan. *Scientific Reports*, 15(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-025-88916-2>
- Anyiam, P. N., Phongthai, S., Grossmann, L., Jung, Y. H., Sai-Ut, S., Onsaard, E., & Rawdkuen, S. (2025). Potential plant proteins for functional food ingredients: Composition, utilization and its challenges. *NFS Journal*, 38. <https://doi.org/10.1016/j.nfs.2025.100216>
- Ashby Michael F. (2023). Materials and Sustainable Development (Second Edition). In M. F. Ashby (Ed.), *Materials and Sustainable Development (Second Edition)* (pp. 1–565). *Butterworth Heinemann*. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-323-98361-7.15003-1>
- Azizi, M. A., & Leandro, J. (2025). Factors Affecting Transboundary Water Disputes: Nile, Indus, and Euphrates Tigris River Basins. *Water (Switzerland)*, 17(4). <https://doi.org/10.3390/w17040525>
- Bresnahan, K. A., Ferber, J. M., Carrato, J. T., Stoddard, T. J., Palad, P. V., & Richani, M. (2025). Closed-loop systems for plants expressing animal proteins: a modernized framework to safeguard the future of agricultural innovation. *Frontiers in Plant Science*, 16. <https://doi.org/10.3389/fpls.2025.1426290>
- Cheng, P., Zhang, Y., Liu, K., Kong, X., Wu, S., Yan, H., & Jiang, P. (2025). Continuing the continuous harvests of food production: from the perspective of the interrelationships among cultivated land quantity, quality, and grain yield. *Humanities and Social Sciences Communications*, 12(1). <https://doi.org/10.1057/s41599-024-04342-1>
- Davidenko, L., Titkov, A., Sherimova, N., & Beisembina, A. (2025). Economic Aspects of Sustainable Development: Eco-Branding in Manufacturing Enterprises from Kazakhstan. *Sustainability (Switzerland)*, 17(1). <https://doi.org/10.3390/su17010036>
- Faggini, M., Cosimato, S., & Parziale, A. (2023). The way towards food sustainability: some insights for pasta supply chain. *Economia Politica*, 40(2), 679–702. <https://doi.org/10.1007/s40888-021-00247-3>
- Gallego-Schmid, A., Vásquez-Ibarra, L., Guerrero, A. B., Henninger, C. E., & Rebolledo-Leiva, R. (2025). Circular economy in a recently transitioned high income country in Latin America and the Caribbean: Barriers, drivers, strengths, opportunities, key stakeholders and priorities in Chile. *Journal of Cleaner Production*, 486. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.144429>
- Hussain, M. A., Li, L., Kalu, A., Wu, X., & Naumovski, N. (2025). Sustainable Food Security and Nutritional Challenges. *Sustainability (Switzerland)*, 17(3). <https://doi.org/10.3390/su17030874>
- Islam, M. Z., & Zheng, L. (2025). Why is it necessary to integrate circular economy practi-ces for agri-food sustainability from a global perspective? *Sustainable Development*, 33(1), 600–620. <https://doi.org/10.1002/sd.3135>
- Kousar, S., Alvi, A., Kausar, N., Garg, H., Kadry, S., & Kim, J. (2025). Fuzzy multi-objective optimization model to design a sustainable closed-loop manufacturing system. *PeerJ Computer Science*, 11. <https://doi.org/10.7717/PEERJ-CS.2591>
- Leone, F., Sugni, M., Marzorati, S., Rizzato, S., Ferrari, L., Tremolada, P., & Ferrante, V. (2025). Sea urchin waste as valuable alternative source of calcium in laying hens' diet. *PLoS ONE*, 20(3 March). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0314981>

- Li, J., Zhang, S., Ji, L., & Wang, F. (2025). Facilitating or Inhibiting: Digital Transformation and Carbon Emissions of Manufacturing Enterprises. *Sustainability (Switzerland)*, 17(1). <https://doi.org/10.3390/su17010360>
- Manh, D. V., Minh, N. T., Thao, L. X. T., Long, H. D., Thanh, L. H., Ngo, V. D., & Thom, D. T. (2023). A case study of circular economy from waste. *Vietnam Journal of Science and Technology*, 61(3), 415–428. <https://doi.org/10.15625/2525-2518/16766>
- McCauley, D. (2025). Just circularities: Intersecting livelihoods, technology, and justice in just transition and circular economy. *Journal of Cleaner Production*, 500. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2025.145176>
- Mukherjee, S., Panigrahi, R. R., Sharma, R., & Shrivastava, A. K. (2025). Advancing circular economy performance through blockchain adoption: A study using institutional and resource-based frameworks. *Sustainable Futures*, 9. <https://doi.org/10.1016/j.sftr.2025.100521>
- Panza, L., & Peron, M. (2025). The role of carbon tax in the transition from a linear economy to a circular economy business model in manufacturing. *Journal of Cleaner Production*, 492. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2025.144873>
- Raza, D., Shu, H., Ehsan, M., Fan, H., Abdelrahman, K., Aslam, H., Quddoos, A., Aslam, R. W., Nazeer, M., Fnais, M. S., & Sardar, A. (2025). Evaluation of agriculture land transformations with socioeconomic influences on wheat demand and supply for food sustainability. *Cogent Food and Agriculture*, 11(1). <https://doi.org/10.1080/23311932.2024.2448597>
- Shebanin, V., Drobitko, A., Panfilova, A., & Markova, N. (2024). Development and implementation of energy-saving technologies for growing sunflower hybrids in the south of Ukraine. *Scientific Horizons*, 27(8), 90–99. <https://doi:10.48077/scihor8.2024.90>
- Shittu, E. A. (2025). Performance of Bambara Nuts (*Vigna subterranean* L. Verdc) as Influenced by Genotypes and Weed Control Treatments in the Sudan Savanna Ecology, Nigeria. *Journal of Tropical Crop Science*, 12(1), 195–205. <https://doi.org/10.29244/jtcs.12.01.195-205>
- Syrbek, P., Bimendiyeva, L., Kondybayeva, S., Tlesova, A., & Tolepov, A. (2025). Nexus between Energy Intensity, CO₂ Emissions and Food Security: Asymmetric and Symmetric View from Kazakhstan. *International Journal of Energy Economics and Policy*, 15(2), 616–623. <https://doi.org/10.32479/ijeep.18486>
- Vásquez, J. M., Cequea, M. M., & Schmitt, V. G. H. (2025). Current practices and key challenges associated with the adoption of resilient, circular, and sustainable food supply chain for smallholder farmers to mitigate food loss. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 9. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2025.1484933>