

Economía circular y agua: Soluciones sostenibles para las externalidades del cultivo de espárrago.

Circular Economy and Water: Sustainable Solutions for the Externalities of Asparagus Cultivation.

<https://doi.org/10.47606/ACVEN/PH0370>

Oscar Eduardo Pongo Aguila^{1*}

<https://orcid.org/0000-0002-8052-348X>
opongo@unfv.edu.pe

Luis Fernando Leyva Campoblanco¹

<https://orcid.org/0000-0002-2671-9940>
lleyva@unfv.edu.pe

Palomino Floresmi Flores¹

<https://orcid.org/0000-0001-5946-1942>
fflores@unfv.edu.pe

Celia Amanda Rivas Peña¹

<https://orcid.org/0000-0002-1011-0380>
crivasp@unfv.edu.pe

Irvin Stid Delgado Farfan¹

<https://orcid.org/0000-0002-5849-9137>
idelgadof@unfv.edu.pe

Recibido: 10/07/2025

Aceptado: 01/09/2025

RESUMEN

La investigación tuvo como objetivo determinar la relación entre la aplicación de la economía circular y las externalidades generadas por el uso del agua en el cultivo de espárragos en la región de Ica durante el periodo 2020-2023. El marco teórico se fundamenta en principios y evidencias empíricas sobre economía circular, externalidades y gestión hídrica sostenible. El estudio fue de tipo aplicado, con diseño correlacional y explicativo, tomando como población a trabajadores de instituciones vinculadas al sector agrícola y medioambiental, seleccionando una muestra de 60 participantes. La recolección de datos se efectuó mediante instrumentos que midieron las dimensiones económicas, sociales y ambientales de la economía circular, así como el conocimiento, las prácticas y la actitud respecto al uso del agua. Los resultados mostraron correlaciones positivas moderadas, sin alcanzar significancia estadística, lo que indica asociaciones favorables, pero no concluyentes. Se identificó correlación moderada entre la dimensión económica y la conciencia sobre el uso del agua ($r=0.396$), entre la dimensión social y las prácticas de riego eficientes ($r=0.438$) y entre la dimensión ambiental y la actitud responsable en la gestión del agua ($r=0.503$). La relación global entre economía circular y uso del agua fue de $r=0.578$. Estos hallazgos evidencian la necesidad de incorporar factores adicionales que fortalezcan la gestión hídrica agrícola. En conclusión, la economía circular puede contribuir a reducir externalidades negativas, pero su efectividad depende de estrategias integrales que articulen educación, innovación tecnológica y políticas públicas específicas para el sector agrícola.

Palabras Clave: Economía circular, externalidades, uso del agua, espárrago, sostenibilidad

1. Universidad Nacional Federico Villarreal – Perú

* Autor de correspondencia: opongo@unfv.edu.pe

ABSTRACT

The research aimed to determine the relationship between the application of the circular economy and the externalities generated by water use in asparagus cultivation in the Ica region during the period 2020–2023. The theoretical framework is based on principles and empirical evidence regarding circular economy, externalities, and sustainable water management. The study was applied in nature, with a correlational and explanatory design, targeting a population of workers from institutions linked to the agricultural and environmental sectors, with a sample of 60 participants. Data collection was carried out using instruments that measured the economic, social, and environmental dimensions of the circular economy, as well as knowledge, practices, and attitudes regarding water use. The results showed moderate positive correlations without reaching statistical significance, indicating favorable but inconclusive associations. A moderate correlation was found between the economic dimension and awareness of water use ($r=0.396$), between the social dimension and efficient irrigation practices ($r=0.438$), and between the environmental dimension and responsible attitudes in water management ($r=0.503$). The overall relationship between circular economy and water use was $r=0.578$. These findings highlight the need to incorporate additional factors to strengthen agricultural water management. In conclusion, the circular economy can contribute to reducing negative externalities, but its effectiveness depends on comprehensive strategies that integrate education, technological innovation, and specific public policies for the agricultural sector.

Keywords: circular economy; externalities; water use; asparagus; sustainability

INTRODUCCIÓN

La gestión eficiente del agua constituye uno de los mayores desafíos de la agricultura contemporánea, particularmente en zonas áridas como Ica (Perú), donde el cultivo del espárrago se ha consolidado como una de las principales actividades económicas del país, con relevancia mundial en exportación (Castillo, 2021). La explotación intensiva de este recurso hídrico mediante sistemas de riego ha inducido una presión significativa sobre los recursos hídricos subterráneos acompañada de determinados desafíos en la relación entre productividad agrícola y sostenibilidad ambiental (Esteve-Llorens et al., 2022; Fernández-Escalante et al., 2020) que abordan el hastío por el consumo hídrico, y que invitan a implementar modelos innovadores de producción que garanticen un equilibrio entre eficiencia hídrica, viabilidad económica y mantenimiento del medioambiente.

Así pues, la economía circular se erige como una alternativa sistémica propensa al rediseño de procesos, la reutilización de recursos y la minimización de impactos desfavorables pero que impulsa beneficios económicos y sociales (Murray et al., 2017; Grzymala, 2023). Diferentes estudios destacan las ventajas multidimensionales de la economía circular: disminución de la contaminación y de los gases de efecto invernadero (Avramchikova et al., 2021; Kumawat et al.,

2024), optimización de los recursos y creación de trabajos (Gama et al., 2017; Salles et al., 2024), así como la inclusión social (Clube y Tennant, 2023). Sin embargo, también se identifican barreras de implementación en contextos de países en desarrollo, tales como la falta de incentivos financieros, la debilidad de marcos regulatorios y la lenta aceptación social (Ngan et al., 2019; Wiesmeth, 2020).

El presente estudio analiza la relación entre la aplicación de estrategias de economía circular y la gestión del agua en el cultivo de espárragos en Ica, durante el periodo 2020–2023. La investigación, de tipo aplicada con enfoque correlacional y explicativo, se desarrolló con una muestra de 60 trabajadores seleccionados aleatoriamente de instituciones públicas y privadas relacionadas con el sector agrícola y ambiental, entre ellas el Ministerio de Desarrollo Agrario, el Instituto Nacional de Estadística e Informática y el Ministerio del Ambiente. El instrumento de recolección de datos consistió en un cuestionario estructurado que exploró dimensiones económicas, sociales y ambientales de la economía circular, y las vinculó con indicadores de conciencia, prácticas de riego y responsabilidad en la gestión hídrica.

Los resultados muestran correlaciones positivas moderadas entre las dimensiones económicas, sociales y ambientales de la economía circular y el uso eficiente del agua, aunque dichas relaciones no alcanzaron significancia estadística ($p > 0.05$). En particular, la dimensión económica presentó una correlación moderada ($r = 0.396$) con la conciencia y conocimiento del uso del agua, sugiriendo que los agricultores con mayor nivel de información tienden a obtener mejores resultados económicos, en línea con lo señalado por Richardson y Sham (2022) y Smol et al. (2023). Del mismo modo, la dimensión social evidenció relación moderada con las prácticas de riego ($r = 0.438$), lo que refuerza la importancia de la cooperación comunitaria en la implementación de tecnologías hídricas eficientes, aunque sin pruebas concluyentes (Admeconomia, 2019; de Souza Campos et al., 2023). Por su parte, la dimensión ambiental se asoció moderadamente con la responsabilidad en la gestión del agua ($r = 0.503$), lo que coincide con investigaciones previas que destacan la relevancia de la conciencia ambiental para fomentar prácticas sostenibles (Gómez y Flores, 2015).

Pese a la ausencia de significancia estadística, los hallazgos permiten identificar tendencias consistentes: el conocimiento y la sensibilización de los agricultores respecto al recurso hídrico tienen el potencial de traducirse en mejores resultados económicos y ambientales. Y por último, puede señalarse que existen factores externos -la escasa dotación de subsidios, la carencia de regulaciones y la baja inversión en tecnologías de precisión- que limitan el tránsito de la agricultura peruana hacia la economía circular (Herrera, 2023; Morsetto et al., 2022). La discusión sugiere que la transformación hacia un modelo de producción agrícola sostenible en la región de Ica debe elaborarse desde una visión holística. De una parte, deben reforzarse las políticas públicas para fomentar la optimización del agua y el uso de tecnologías de riego más eficientes (Carranza, 2023).

De otra parte, se deben intensificar los programas de capacitación que busquen articular la dimensión económica con la parte educativa, promoviendo los cambios culturales en la dirección de la sostenibilidad (Flores et al, 2018; Dovgal et al., 2024). Con ello, la economía circular podría concretar su potencial de ser un marco estratégico para mitigar externalidades negativas como la sobreexplotación de acuíferos y la contaminación vinculada a la agricultura (Pigou, 1920; Coase 1960).

Finalmente, se destaca que la economía circular sería una opción promisoría para reducir las externalidades hídricas del cultivo de espárragos y reforzar la sostenibilidad agrícola en un contexto de fuerte presión sobre los recursos. Para ello, son necesarios estudios de aplicación que favorezcan la recarga de acuíferos, el uso de aguas residuales tratadas y la incorporación de tecnologías de monitoreo sostenido en el tiempo (Fernández-Escalante et al, 2020; Geilfus et al., 2024). Por último, resulta elemental reforzar la cooperación entre el Estado, el sector privado y las comunidades para garantizar una transición agrícola resiliente a los efectos del cambio climático y la seguridad alimentaria en el tiempo

MARCO TEÓRICO

La modificación de los modelos de producción y consumo hacia la sostenibilidad es, sin duda, una de las máximas prioridades de la actual agenda global. En un tiempo en que se hace palpable el agotamiento de los recursos naturales, el cambio climático o el aumento de la presión sobre los ecosistemas, se puede considerar la economía circular (EC) como una alternativa necesaria frente al sistema económico lineal de extraer-producir-consumir-desechar. El nuevo modelo circunscrito a la EC trata de dar el máximo valor a los recursos a lo largo de todo su ciclo de vida, para lo que mitiga el desperdicio y las externalidades negativas a la vez que optimiza el desarrollo económico y social (Grzymala, 2023; Murray et al., 2017). La lógica de la economía circular aboga por un repensar estructural de la gestión de los recursos, haciendo que los materiales deben ser rediseñados, reutilizados, reciclados o remanufacturados. Se pretende que mediante esta lógica, el crecimiento económico pueda desacoplarse del intenso consumo de recursos consumibles y sólo se pueda llegar a un modelo del que se puedan obtener beneficios ambientales, económicos y sociales, a la vez (Gama et al., 2017; Ma et al., 2021). Por el contrario, no se trata simplemente de un ajuste técnico en el que sólo se deben modificar los procedimientos que determinan las pautas de las sociedades en la producción y en el consumo o alterar su forma de entender el vínculo entre las personas y la naturaleza.

Los fundamentos y dimensiones de la economía circular; la literatura científica ha identificado numerosos beneficios de la economía circular que se entrelazan en tres dimensiones primordiales. Desde la dimensión medioambiental, la EC o economía circular permite reducir las emisiones de gases efecto invernadero (GEI), minimizar la presión sobre los recursos naturales y la biodiversidad (Avramchikova et al., 2021; Kumawat et al., 2024). Estos beneficios son especialmente relevantes para el sector agrícola, pues la degradación de los

suelos, sobreexplotación del agua y el uso intensivo de agroquímicos son una grave amenaza para los ecosistemas.

Desde el prisma económico, la EC se expresa en términos de mejora de la eficiencia de los procesos productivos, reducción de costes, desarrollo de nuevos modelos de negocio, generación de empleos verdes (Salles et al., 2024), aspecto este último muy relevante para países como Perú, en el cual la agroexportación está entre los principales motores de la economía, pero que además también en torno a este modelo de negocio, se empiezan a escuchar cada vez más cuestionamientos acerca de la sostenibilidad de las prácticas.

Por último, desde la vertiente social, la economía circular contribuiría a la inclusión y a la equidad generando puestos de trabajo en sectores sostenibles, comunidades fuertes y reduciendo desigualdades (Clube & Tennant, 2023; Ma et al., 2021), de esta manera la EC no sólo se ocupara de los beneficios medioambientales y económicos, sino también de una dimensión ética y social orientada a la justicia intergeneracional.

La ejecución de la economía circular asume considerables obstáculos de tipo estructural. En primer lugar, destaca la adopción lenta de su aplicación en los países en desarrollo, donde la falta de financiamiento, la escasa sensibilización de la ciudadanía y la escasez de incentivos conducentemente emprendido obstaculizan su consolidación (Ngan et al., 2019). En segundo lugar, se observa que los modelos de la EC normalmente hacen distinciones en favor de aquellos aspectos técnicos y económicos y en detrimento de los impactos sociales y culturales, en virtud de lo cual conviene reflexionar acerca de un modelo, el de la EC, mucho más inclusivo (Clube & Tennant, 2023; Murray et al., 2017).

En este motivo, diversos autores han propuesto la necesidad de políticas públicas robustamente diseñadas para fomentar la implantación de prácticas circulares, incentivos financieros en el caso de empresas que están en la senda de la innovación y sistemas regulatorios que incorporen los criterios de sostenibilidad (Giorgi et al., 2022; Wiesmeth, 2020). Asimismo, el paso hacia la EC requiere de innovaciones tecnológicas que permitan optimizar los procesos productivos, disminuir el consumo de recursos y alentar la regeneración de los ecosistemas (Gandolfo & Lupi, 2021).

Otro elemento clave es la educación y la investigación, que permiten implementar los principios del diseño sostenible, desarrollar métricas de evaluación y del ciclo de vida y formar ciudadanos y profesionales que sean conscientes de los retos ambientales (Longo et al., 2024; Zhu et al., 2022). En este sentido, la economía circular tiene que ser entendida no como un modelo de producción, sino atendiendo a un enfoque holístico de transformación cultural global que impulse un cambio en términos de actitudes y valores de la sociedad. El agua como recurso estratégico para el cultivo en el ámbito agrario, el agua es un recurso estratégico cuya gestión es esencial para poder garantizar el rendimiento de los cultivos, la seguridad alimentaria y la sostenibilidad de los ecosistemas. Ante la creciente escasez hídrica provocada por el cambio climático y la sobreexplotación de acuíferos, se hace necesario repensar los sistemas de

riego y fomentar tecnologías que optimicen el uso de los mismos (Bindraban et al., 2010; Faramarzi et al., 2010).

La forma de uso del agua en los cultivos se encuentra marcada por diversos factores, entre los que destacan las condiciones atmosféricas climáticas (temperatura, precipitación y humedad) que determinan el requerimiento de agua de los cultivos (Geilfus et al., 2024; Wang et al., 2023), las características de los suelos (textura, fertilidad) que determinan la disponibilidad de agua (Power, 2015; Teweldebrihan & Dinka, 2024).

El agua como recurso estratégico para el cultivo en el ámbito agrario, el agua es un recurso estratégico cuya gestión es esencial para poder garantizar el rendimiento de los cultivos, la seguridad alimentaria y la sostenibilidad de los ecosistemas. Ante la creciente escasez hídrica provocada por el cambio climático y la sobreexplotación de acuíferos, se hace necesario repensar los sistemas de riego y fomentar tecnologías que optimicen el uso de los mismos (Bindraban et al., 2010; Faramarzi et al., 2010).

La forma de uso del agua en los cultivos se encuentra marcada por diversos factores, entre los que destacan las condiciones atmosféricas climáticas (temperatura, precipitación y humedad) que determinan el requerimiento de agua de los cultivos (Geilfus et al., 2024; Wang et al., 2023), las características de los suelos (textura, fertilidad) que determinan la disponibilidad de agua (Power, 2015; Teweldebrihan & Dinka, 2024).

El tipo de cultivo y su etapa de crecimiento también son determinantes, dado que las necesidades hídricas varían entre especies y entre fases fenológicas (Geilfus et al., 2024). Finalmente, la arquitectura radicular de las plantas influye en su capacidad para acceder a reservas hídricas profundas, lo que resulta esencial en condiciones de sequía (López et al., 2017).

La eficiencia en el uso del agua puede incrementarse mediante estrategias como el riego deficitario, que consiste en aplicar menos agua de la requerida, aprovechando el aporte de aguas subterráneas y la capacidad de las plantas para adaptarse a condiciones de estrés hídrico (Gao et al., 2017; Welde et al., 2019). Asimismo, el riego de precisión, basado en sensores y tecnologías de monitoreo, permite programar la irrigación en función de las condiciones climáticas y de suelo, reduciendo pérdidas y mejorando la sostenibilidad (Adeyemi et al., 2017; Ali & Talukder, 2008).

Externalidades del uso agrícola del agua

El concepto de externalidades es crucial para el entendimiento de los efectos del uso intensivo del agua en la agricultura, al ser los costes y beneficios que afectan a terceras partes sin que aparezcan en los precios de mercado (Bachmann, 2019; McPhillips, 2011). Las externalidades pueden ser positivas (p. ej., la polinización de cultivos por abejas o la mejora de la calidad del aire) o negativas (p. ej., la contaminación por fertilizantes y pesticidas o la sobreexplotación de acuíferos) (Şuster et al., 2013; Riha et al., 2022).

La existencia de externalidades origina fallos de mercado que dan como resultado una ineficiente asignación de recursos, afectando así a la equidad y a la

sostenibilidad ambiental. En este sentido han surgido dos enfoques más clásicos, el primero defendido por Pigou (1920) el cual defendía la intervención estatal por medio de impuestos y subsidios para corregir las distorsiones del mercado; y el segundo defendido por Coase (1960) el cual argumentó que si se definían claramente los derechos de propiedad, las partes podrían acordar solucionadoras sin intervención de la administración. En la práctica, ambos enfoques pueden consecuencia ser complementarios. La economía circular persigue en este sentido la internalización de costes ambientales y sociales a partir de estrategias de reducción de residuos y de eficiencia del uso del agua convirtiendo las externalidades negativas en oportunidades de regeneración (Smol et al., 2023; Velasco-Muñoz et al., 2022).

Las externalidades constituyen un desafío transversal a distintos sectores económicos, desde la agricultura hasta la energía, donde afectan la eficiencia de los mercados y la sostenibilidad de los recursos (Mulder, 2021). internalizarlos

El espárrago (*Asparagus officinalis* L.) se ha convertido en uno de los cultivos más importantes del Perú, no solo por su aporte económico, sino también por su impacto social. Hoy en día, este producto es considerado una de las principales estrellas de la agroexportación peruana, colocando al país como líder mundial en su exportación gracias a la calidad y el volumen de su producción. Su siembra demanda suelos arenosos, bien drenados y con buena capacidad para retener la humedad, características que predominan en las zonas costeras del Perú, lo que convierte a esta región en el escenario ideal para su desarrollo.

No obstante, este cultivo presenta también vulnerabilidades importantes, entre ellas su alta susceptibilidad a enfermedades como la pudrición radicular causada por *Fusarium*, un hongo que afecta las raíces y compromete la sostenibilidad de las plantaciones (Hamel et al., 2005).

En el caso de la región de Ica, donde se concentra gran parte de la producción nacional, las plantaciones se ubican en ecosistemas desérticos caracterizados por una muy baja pluviosidad. Esta situación ha obligado a implementar sistemas de riego altamente tecnificados para garantizar el rendimiento del cultivo. Entre ellos, el riego por goteo se ha consolidado como la técnica predominante, llegando a cubrir más del 74% de las áreas cultivadas con espárrago (Taguchi et al., 2018, 2021). Esta modalidad permite optimizar el uso del agua en zonas donde la disponibilidad hídrica es limitada, aunque no está exenta de generar presiones adicionales sobre los acuíferos.

El auge del espárrago en el Perú se debe a una combinación de factores. En primer lugar, las condiciones climáticas favorables, con temperaturas estables y alta radiación solar durante gran parte del año, han facilitado la obtención de varias cosechas anuales. En segundo lugar, la incorporación de las tecnologías modernas en los procesos de cultivo, riego y postcosecha han facilitado el aumento de la productividad y de la calidad del producto, logrando que sea muy competitivo en los mercados extranjeros. Y en último lugar, la creciente demanda de espárragos a nivel mundial, sobre todo en Estados Unidos, Europa y Asia, ha convertido al espárrago peruano en un producto de alta rentabilidad y ha atraído inversiones y la expansión de las áreas cultivadas (Vázquez-Rowe et al., 2016).

Sin embargo, y este acelerado crecimiento ha traído serias inquietudes en relación con el medio ambiente. La sobreexplotación de aguas subterráneas se ha convertido en uno de los principales problemas de sostenibilidad, ya que los acuíferos de la región de Ica son la principal fuente de abastecimiento hídrico para el riego intensivo de los espárragos. Investigaciones recientes han advertido que el uso excesivo de estas reservas puede llevar no sólo a comprometer la continuidad de la actividad agrícola sino que tiene implicaciones en la seguridad del abastecimiento hídrico de la población local (Esteve-Llorens et al., 2022; Williams & Murray, 2019). Esta situación refleja una paradoja donde, por un lado, el cultivo de espárragos puede generar importantes ingresos económicos y empleo, pero que al mismo tiempo contribuyen a un proceso de agotamiento de los recursos naturales críticos.

El sector espárrago en el Perú va mucho más allá de la simple producción agrícola. A lo largo de los años, se ha consolidado como un verdadero clúster agroexportador, altamente especializado y respaldado por distintas instituciones y actores estratégicos. Entre los más relevantes se encuentran el Instituto Peruano del Espárrago y Hortalizas (IPEH), que representa a toda la industria, y la Asociación Civil Frío Aéreo, responsable de administrar un moderno centro logístico en el aeropuerto Jorge Chávez, desde donde se despacha más del 80% de los envíos de espárragos frescos al extranjero. Gracias a este engranaje institucional, el Perú ha logrado posicionarse como un referente mundial en la producción y exportación de esta hortaliza.

Sin embargo, este modelo no está libre de desafíos. Si bien ha traído divisas, empleo y un importante impulso a la economía regional, también ha generado tensiones en torno a la sostenibilidad. El crecimiento del sector ha venido acompañado de riesgos como la degradación ambiental, el agotamiento de fuentes de agua y las desigualdades en el acceso a este recurso vital. En este contexto, resulta cada vez más urgente apostar por enfoques innovadores, como la economía circular, que permitan optimizar el uso de los recursos, mitigar los impactos negativos y asegurar que el sector agroexportador pueda mantenerse competitivo sin comprometer su sostenibilidad a largo plazo (Gómez & Flores, 2015; Vázquez-Rowe et al., 2016).

En pocos, el cultivo del espárrago en Perú se presenta como un caso notable que muestra la dualidad entre éxito económico y problemas medioambientales. Si bien representa una mejoría en el estatus de un país que va siendo reconocido por sus exportaciones de productos agrícolas, también plantea dudas respecto de la conveniencia de un modelo intensamente dependiente de un recurso tan limitado como el agua. La mejora de la competitividad que la economía circular es capaz de ofrecer o la posibilidad de ofrecer oportunidades alternativas de cultivo a partir de un conjunto de principios de la economía circular puede ser un enfoque estratégico que posibilite equilibrar la necesidad de competitividad con la sostenibilidad, de manera que el espárrago no sea únicamente un motor del desarrollo económico, sino también un cultivo conciliable con el respeto por los ecosistemas y la equidad social.

La economía circular y la gestión hídrica aplicadas al espárrago, en la aplicación de los principios de economía circular (EC) al cultivo de espárragos es una de las alternativas más viables para afrontar el problema generado por el uso intensivo del agua en el sector. La lógica circular parte de un modelo extractivo hacia uno regenerativo donde cada recurso utilizado es bien gestionado y los impactos negativos devienen oportunidades para la sostenibilidad. La EC se convierte en un modelo eficaz en el caso del espárrago para gestionar las externalidades derivadas de la sobreexplotación de acuíferos, la degradación de suelos y la presión sobre los ecosistemas en regiones áridas como Ica.

Dentro de las prácticas más significativas que promueve la EC se encuentran la reutilización de aguas residuales, la recarga artificial de acuíferos, la monitorización en tiempo real y la formación de modo continuado de los agricultores (Eda & Chen, 2010, Fernández-Escalante et al., 2020 y Morsetto et al., 2022). La reutilización de aguas residuales, por ejemplo, se erige como una opción viable para hacer frente a las presiones ejercidas sobre las fuentes subterráneas, a la vez que disminuye el vertido de contaminantes en el medio ambiente. La recarga de acuíferos, a su vez, pone en valor la recuperación de los niveles de agua de zonas intensivamente explotadas para permitir mantener la actividad agrícola; de este modo, la recarga de acuíferos contribuye también a la resiliencia de los ecosistemas.

La utilización de tecnologías de precisión se encuentra en la otra línea que se considera esencial para la gestión hídrica circular. Los sensores de humedad, los sistemas de riego de precisión y las plataformas de monitorización por satélites permiten el control más eficiente del recurso hídrico, al modificar la cantidad de agua aplicada a las necesidades reales de los cultivos. Estas innovaciones, por otra parte, permiten, a su vez, reducir los costos para los productores y reducir las pérdidas por evaporación o filtraciones, aumentando así la eficiencia hídrica y favoreciendo la sostenibilidad a largo plazo.

Sin embargo, la aplicación de estas estrategias no podría descansar en la única iniciativa privada o en la sola gestión de las cooperativas agrarias, sino que estas también requieren de la concurrencia de políticas públicas claras, de incentivos económicos y marcos regulatorios. Así lo demuestran las experiencias internacionales, puesto que la adopción de prácticas circulares en el sector de la agricultura depende en gran medida de la existencia de normativas que incentiven el uso más eficiente del recurso hídrico, así como de subsidios e instrumentos económicos que contribuyan a transitar desde las tecnologías tradicionales hasta las tecnológicas (Richardson y Sham, 2022). En un país como el de Perú, esa dupla adquiere especial importancia para que las pequeñas y medianas productoras puedan acceder a los sistemas de riego de precisión o a tecnologías de tratamiento de aguas y no solo en un país donde las innovaciones se concentran solo en las grandes agroexportadoras.

Por otra parte, la educación ambiental y la participación de las comunidades son aspectos importantes de la educación ambiental y la participación de las comunidades. La educación en los agricultores en prácticas de economía circular asegura una gran eficiencia del agua pero también promueve tener una cultura del

agua responsable en el sentido que espera de la comunidad donde la competencia por el agua es cada día más dura, al incluir a la comunidad en la toma de decisiones, se legitiman políticas y se promueve la gobernanza hídrica (Chávez et al., 2023).

En conclusión, considerar la economía circular como alternativa a la producción de espárragos en el Perú no es una alternativa, sino una estrategia necesaria para equilibrar los recursos hídricos y la productividad. La reutilización, recarga, tecnologías de precisión, y la educación ambiental pueden entrar en consonancia con la posición de líder agroexportador y la conservación del agua. Frente a la escasez de agua y una demanda global creciente, puede ser esta estrategia la mejor salida para asegurar el futuro del espárrago.

Las perspectivas futuras y los retos; en un primer momento, el futuro de la gestión del agua en la agricultura peruana quedará determinado por la capacidad del país de sumar la capacidad de innovar tecnológicamente en el manejo del agua, la cooperación público-privada en educación ambiental en el marco de una economía circular, la cual pasará de ser extractiva y transformarse en una economía regenerativa. En suma, usar nuevas tecnologías de gestión hídrica no debería verse como algo exquisito, sino que sería una condición necesaria para asegurar la sostenibilidad de la producción agrícola. Usar sistemas inteligentes de riego, sensores de humedad, imágenes satelitales, modelos predictivos de consumo de agua, etc. se perfilan como instrumentos pertinentes para anticiparse a una nueva realidad escasa de agua y para gestionar mejor los recursos destinados a este recurso hídrico. Estas tecnologías posibilitan no solo el ahorro del agua, sino también el ahorro de costes de producción, así naciendo un círculo virtuoso entre la sostenibilidad y la competitividad.

No obstante lo anterior, la innovación por sí sola no es suficiente si no está acompañada de mecanismos de cooperación y gobernanza multinivel. La experiencia muestra que la gestión de los recursos hídricos requiere la coordinación entre el Estado, el sector privado, las comunidades locales, y la sociedad civil organizada. La conformación de redes comunitarias de cooperación es un eje básico para encarar los problemas provenientes de la escasez, pues brinda la oportunidad de legitimar decisiones, garantizar un uso equitativo del recurso, y disminuir los conflictos sociales provocados por la competencia por el agua (Smol et al., 2023). En esta línea, la gestión de cuencas hidrográficas como estrategia de largo plazo recae en la conservación de los acuíferos y la protección de los ecosistemas asociados en lugar de propender por la necesidad agrícola del corto plazo (Fernández-Escalante et al., 2020).

Un segundo gran reto guarda relación con la concepción de que la economía circular ha de ser entendida como un modo de transformación cultural más que estrictamente económica, es decir, que la circularidad nos lleva a tener que modificar patrones de consumo, hábitos de producción y formas de relacionamiento con la naturaleza. Esto implica procesos de educación y sensibilización ambiental que incluyan a productores, trabajadores del campo, estudiantes o consumidores de manera que la sostenibilidad ya no sea vista como un deber y ajena a la realidad, sino que pase a formar parte de la propia identidad.

De esta manera, la economía circular ya no pregunta, únicamente, por la reducción de residuos o la reutilización del agua, sino que se materializa en un modo de vida comunitaria que articula de manera integrada objetivos económicos, sociales y medioambientales.

En el caso de la producción de espárragos en Ica, los escenarios futuros dependerán de la capacidad de compatibilizar la competitividad agroexportadora y la preservación de los recursos naturales. Este cultivo, que ha generado grandes beneficios económicos y empleo, también ha sido muy criticado por la extracción continua de acuíferos en la zona más árida del país. Bajo este escenario, la economía circular ofrece la oportunidad de transformar un modelo intensivo en agua en un sistema agrícola resiliente, que incorpore prácticas regenerativas, recarga artificial de acuíferos, uso de aguas residuales tratadas y participación activa de las comunidades locales (Velasco-Muñoz et al., 2022).

Por último, los retos a futuro también deben entenderse en el marco del cambio climático y la seguridad alimentaria global. Las proyecciones climáticas advierten que la disponibilidad de agua será uno de los factores más críticos para la producción de alimentos en las próximas décadas. Por ello, la implementación de un modelo circular en el agro peruano no solo responde a una necesidad local, sino que constituye un aporte al esfuerzo global por garantizar el derecho humano a la alimentación en un planeta que enfrenta crecientes presiones demográficas y ambientales (Carranza, 2023).

En síntesis, las perspectivas futuras para la agricultura peruana, y en particular para el cultivo de espárragos, dependen de la capacidad de asumir la economía circular como un camino hacia la resiliencia y la sostenibilidad. Solo a través de la articulación de innovación, cooperación, educación y transformación cultural será posible asegurar que los beneficios económicos del espárrago se sostengan en el tiempo sin comprometer la disponibilidad de recursos para las generaciones venideras

METODOLOGÍA

Tipo y diseño de investigación, La investigación fue de tipo aplicado, con enfoque correlacional y explicativo.

Población y muestra, se consideró a trabajadores de instituciones públicas y privadas vinculadas al sector agrícola y ambiental en la región de Ica, durante el periodo 2020–2023. La muestra fue de 60 participantes seleccionados aleatoriamente, siguiendo criterios de inclusión (experiencia laboral en el sector) y exclusión (falta de disponibilidad para responder la encuesta).

Técnicas e instrumentos, se aplicó un cuestionario estructurado, validado por juicio de expertos, que evaluó las dimensiones económica, social y ambiental de la economía circular, así como la conciencia, prácticas y actitudes en el uso del agua. La confiabilidad del instrumento se verificó mediante coeficiente alfa de Cronbach.

Procedimiento: La recolección de datos se realizó de manera presencial y virtual, previa coordinación con las instituciones participantes. Los datos obtenidos

fueron procesados estadísticamente con el coeficiente de correlación de Spearman, a través del software SPSS v.25.

Consideraciones éticas, la investigación se desarrolló respetando los principios de la Declaración de Helsinki. Se solicitó consentimiento informado a todos los participantes, garantizando la confidencialidad de la información y el uso exclusivo de los datos con fines académicos. Al tratarse de un estudio sin riesgo, no fue necesaria la aprobación por un comité de ética institucional.

RESULTADOS

H1: La dimensión económica tiene una relación significativa con la conciencia y conocimiento del uso del agua en el cultivo del espárrago en Ica.

La Tabla 1 presenta el análisis de correlación entre las dimensiones "Económica" y "Conciencia y conocimiento del uso del agua" en el contexto del cultivo de espárrago en Ica entre 2020 y 2023. Utilizando el coeficiente de correlación de Spearman, se observa un valor de 0,396 entre ambas dimensiones, lo que indica una correlación positiva moderada entre ellas. Sin embargo, el valor de significancia bilateral ($p=0,233$) sugiere que esta relación no es estadísticamente significativa al nivel de confianza común del 5% ($p<0,05$), por lo que no se puede afirmar con certeza que la relación observada sea aplicable a toda la población en estudio. Con un tamaño de muestra de 60, este análisis sugiere que, si bien existe cierta asociación entre la percepción económica y la conciencia del uso del agua, esta no es suficiente, lo que resulta en una correlación positiva baja, concluyente en el contexto analizado.

Tabla 1.
Prueba de hipótesis

Hipótesis	Coeficiente de correlación N	(Bilateral)	Decisión
H1 CE_EC -> WU_AK 60	,396		
H2 CE_SO -> WU_IP 60	,438	,233	No soporte
H4 CE -> WU 60	,503	,669	No soporte
	,578	,121	No soporte

Aunque la correlación no es estadísticamente significativa ($p = 0,233$), sugiere que los agricultores con mayor conocimiento y conciencia sobre el uso del agua obtienen una mayor rentabilidad económica de sus cultivos. Este hallazgo concuerda con estudios que indican que los agricultores pueden aumentar sus ganancias y optimizar sus recursos implementando métodos más sostenibles relacionados con la gestión del agua mediante la educación y la capacitación. (Richardson & Sham, 2022; Smol et al., 2023; Vélez de López, 2014).

Cabe señalar también que la correlación no demuestra causalidad. Según Murray et al., 2017, esto contrasta con lo que señalan los autores: en contextos complejos y en constante cambio, las preocupaciones económicas y ambientales

suelen estar interconectadas. Las políticas públicas que fomentan el uso eficiente del agua en la agricultura y la educación son dos componentes de una estrategia integral para abordar este problema.

H2: La Dimensión Social presenta una relación significativa con las Prácticas de Riego y la Eficiencia en el Uso del Agua en el cultivo de espárrago en Ica.

La Tabla 1 muestra el análisis de correlación entre las dimensiones "Social" y "Prácticas de Riego y Eficiencia del Uso del Agua" en el cultivo de espárragos en Ica durante el período 2020-2023. El coeficiente de correlación de Spearman obtenido es de 0,438, lo que sugiere una correlación positiva moderada entre ambas dimensiones.

Sin embargo, el valor de significancia bilateral ($p = 0,669$) es muy alto, lo que indica que la relación no es estadísticamente significativa al nivel de confianza común del 5% ($p < 0,05$). Con una muestra.

Los datos sugieren que, si bien existe una tendencia positiva entre los factores sociales y las prácticas de riego eficientes, esta no es lo suficientemente fuerte. Por lo tanto, se concluye que existe una correlación positiva moderada concluyente en este contexto. Esto podría indicar que otros factores externos afectan o limitan la asociación directa entre las dos dimensiones en el uso del agua en el cultivo del espárrago.

H3: La Dimensión Ambiental presenta una relación significativa con la Actitud y Responsabilidad en el Manejo del Agua en el cultivo del espárrago en Ica.

La Tabla 2 presenta el análisis de correlación entre las dimensiones "Ambiental" y "Actitud y Responsabilidad en la Gestión del Agua" en el contexto del cultivo de espárrago en Ica entre 2020 y 2023. El coeficiente de correlación de Spearman es de 0,503, lo que indica una correlación positiva moderada entre ambas dimensiones. Sin embargo, el valor de significancia bilateral ($p=0,121$) es superior al umbral de significancia comúnmente aceptado ($p<0,05$), lo que implica que esta relación no es estadísticamente significativa. Con una muestra de 60 observaciones, estos resultados sugieren que, si bien existe una tendencia a que las preocupaciones ambientales se asocien con una mayor actitud y responsabilidad en la gestión del agua, la relación observada no es suficientemente sólida, lo que deja como criterio una correlación positiva moderada como conclusión definitiva en el contexto estudiado.

H4: La economía circular que se presenta en las externalidades establece una relación importante con el uso del agua para el cultivo del espárrago en el valle Ica. En este sentido, se aprecia que el valor de significancia bilateral ($p=0,111$) excede el nivel de confianza habitual ($p<0,05$), sugiriendo que dicha relación no constituye una relación estadísticamente significativa. Con 60 observaciones, los resultados sugieren una tendencia positiva en la relación que pueda establecerse entre economía circular y gestión del agua a pesar de no tener la fortaleza suficiente para poder afirmar que hay una relación bien

establecida. Eso sí, se enmarca dentro de la proximidad estipulada para la correlación positiva moderada. Esto sugiere que otros factores pueden tener el efecto que tendría la economía circular en las externalidades del uso del agua en un sistema agrícola como el del espárrago en el valle Ica.

DISCUSIÓN

En relación a la hipótesis 1 se puede decir que aunque la correlación no es significativa estadísticamente ($p=0,233$) sí sugiere que agricultores con más conocimiento y concienciación sobre la gestión del agua tienen más rentabilidad económica de sus cosechas; este es un hecho que también coincide con algunos estudios que resaltan que el agricultor puede aumentar sus beneficios y gestionar mejor sus recursos si emplean una gestión del agua más sostenible a través de la educación y el aprendizaje (¡Richardson y Sham, 2022; Smol et al., 2023; Vélez de López, 2014); cabe también señalar que la correlación no implica la causalidad. En esto último Murray et al., 2017 contradice el hallazgo ya que, según los señalamientos de los autores, en contextos complejos y en constante cambio, las preocupaciones económicas y ambientales están a menudo entrelazadas. Para la gestión del uso eficiente del agua en la agricultura y la educación existen algunas políticas públicas que constituyen un elemento de política en una estrategia general para abordar este problema. En la línea de investigación futura se deberían reforzar programas de educación y de formación para agricultores incluyendo la gestión económica y sostenible del agua. Quizás la posibilidad de ver el efecto financiero de una mejor gestión del riego podría motivar a los agricultores a mejorar su gestión.

Acciones de conservación. Otra de las áreas a investigar podría ser ver cómo los incentivos económicos y complementos estatales contribuirían para llegar a esta agricultura más sostenible.

Para la hipótesis 2 se conforma que la relación observada no cumple la condición de significación estadística ($p = 0,669$). Los resultados del presente estudio afirman que las variables sociales pueden incidir en la utilización de sistemas de riego más eficientes, pero que la magnitud de la incidencia no es lo suficientemente fuerte como para probar que existe una relación causal entre ambos términos - tal como apunta (Admeconomia, 2019).

Por otro lado, diferentes investigaciones han resaltado el papel y la significancia que tienen los elementos sociales en la gestión del agua, como los que identifican la creación de empleo (Flores et al., 2018). Además, contar con beneficios sociales incluye también la socialización (¡de Souza Campos et al., 2023; Dovgal et al., 2024). Las proyecciones futuras abarcan la necesidad de profundizar en cómo la dinámica social y la colaboración comunitaria son influyentes, también, para la adopción de tecnologías de riego más eficientes. Para ello, cabría diseñar estudios de diseño cualitativo para entender mejor los aspectos sociales y culturales que delimitan u potencian estas actividades, así como crear redes de conocimiento y el intercambio de buenas prácticas entre las comunidades agrícolas, que mejoren la eficiencia en el uso del agua.

El resultado de la prueba en la hipótesis 3 nos muestra que, aunque haya una relación entre las dos variables, el nivel de significancia estadística de 0,121 nos lleva a la conclusión de que no podríamos extraer conclusiones definitivas. Los hallazgos de este estudio respaldan los de otros estudios, que demostraron que el nivel de conciencia ambiental de los agricultores influía en sus perspectivas sobre la gestión del agua. Según la investigación de Minarti et al. (2024), se pueden fomentar prácticas de gestión responsable mediante una comprensión más profunda de los problemas ambientales. Por otro lado, el hecho de que nuestro estudio no encontrara resultados estadísticamente significativos refleja que un mayor conocimiento no necesariamente se traduce en resultados significativos. mediciones.

Las actitudes y las obligaciones en la gestión de los recursos hídricos son, sin dudar, determinante no sólo de factores ambientales, sino también de factores de tipo socioeconómico, de normas que se pueden imponer desde el gobierno o de logros educativos. En este sentido, según Gómez y Flores (2015), lo que contrasta, para lograr una cultura del consumo responsable con el agua, podría integrarse la educación ambiental y la formación en gestión de recursos; es en la necesidad de integrar en una gestión de recursos en Perú el cultivo de producciones agrícolas y la sostenibilidad de las aguas subterráneas. Las técnicas de recarga de acuíferos gestionados están ahí (Eda y Chen, 2010; Fernández - Escalante et al., 2020). El estudio sugiere que las futuras investigaciones deberían centrarse en cómo los programas de educación ambiental pueden traducir las actitudes en comportamientos sostenibles y mensurables. También podría ser interesante valorar el efecto de las políticas y regulaciones ambientales en la gestión del agua o el papel de la tecnología para monitorizar y optimizar los recursos hídricos. El uso de sistemas de monitoreo avanzados podría facilitar contar con datos más precisos para la toma de decisiones.

Finalmente, respecto a la hipótesis general, la economía circular es un paradigma que busca reducir la utilización de recursos y, al mismo tiempo, reducir el volumen de residuos. Dado que el uso del agua puede generar efectos e impactos no deseables, como el fenómeno de la erosión del suelo, así como de contaminación del agua, es un paradigma relevante para el sector agrícola. Esta investigación concuerda con la propuesta de Herrera (2023) en el sentido de que las técnicas de economía circular asumen un potencial para ayudar a reducir las externalidades negativas con prácticas como el uso de tecnologías que opten por un uso más eficiente del agua, entre otras. Existen otros factores que pueden afectar la conducta de este vínculo aunque exista correlación entre ellos; no obstante, dada la no significatividad alcanzada por el estudio hace poco probable que esto ocurra, aunque hay que tener en cuenta que los diferentes puntos de vista por parte de los agricultores sobre la economía circular y las prácticas agrícolas que sobre ella se limitan en su postura, modularán sus prácticas de consumo de agua.

Según los hallazgos de la investigación de Gómez y Flores (2015), para que los agricultores adopten con éxito la economía circular, necesitarán un cambio de mentalidad y recibir formación antes de hacerlo.

Estas percepciones son consistentes con los resultados hasta el extremo de que el cultivo de espárragos, si bien económicamente beneficioso, es ineficiente en términos de uso de agua en comparación con otros cultivos, como la uva de mesa. Sin embargo, genera significativamente más empleo por unidad de agua utilizada, lo que pone de relieve la existencia de un equilibrio entre los beneficios económicos y la sostenibilidad de los recursos (Flores et al., 2018; Schwarz & Mathijs, 2017).

Después de reflexionar, podemos señalar que los principios de la economía circular aplicados a la gestión del agua ayudarían a abordar estos desafíos de la sostenibilidad. La economía circular pretende optimizar el uso de los recursos, minimizar residuos y maximizar el valor de la cadena de suministro. Dentro del contexto del agua, esto implica estrategias de reducción del consumo, reciclaje y reutilización de agua, así como mejora en la eficiencia del riego (Carranza, 2023; Chávez et al., 2023; Morseletto et al., 2022).

Las visiones futuras que se pueden desprender de esta investigación apuntan hacia la consolidación de estrategias de economía circular en la gestión del agua agraria, facilitando de este modo una integración en las políticas públicas y marcos regulatorios más sólidos. También es importante facilitar el diseño de incentivos financieros y tecnológicos que permitan la adopción de prácticas de sostenibilidad, así como la mejora de la cooperación entre los sectores público y privado y las comunidades agrícolas. Otras futuras líneas de investigación pueden profundizar en el impacto económico y social de la optimización del agua, en la investigación de modelos de riego de precisión o en el uso de tecnologías más avanzadas para la monitorización del agua. La transición hacia sistemas agrícolas resilientes dependerá de la capacidad de innovación y adaptación del sector, garantizando una producción sostenible que responda a los desafíos del cambio climático y la seguridad alimentaria global.

CONCLUSIONES

Para seguir con la conclusión a la que se arriba en el objetivo general de la investigación, el estudio muestra la existencia de una relación moderada entre la economía circular y las externalidades provocadas por el uso del agua en el cultivo del espárrago en Ica. La falta de significatividad del resultado nos confirma que deben realizarse más investigaciones para entender mejor cómo algunos factores están modulando esta relación, la economía circular tiene el potencial de disminuir las externalidades del agua, pero su correcta implementación puede estar condicionada por los factores del contexto en el cual se ejerce.

El estudio concluye que entre la dimensión económica y la conciencia/conocimiento sobre el uso del agua en el cultivo del espárrago existe una relación moderada, aunque la relación no es estadísticamente significativa, el estudio nos lleva a la conclusión que el poder incrementar el conocimiento sobre el uso del agua puede resultar en una mejora de la rentabilidad del cultivo. Este vínculo nos lleva a concluir que es importante enseñar a los agricultores a usar los

recursos hídricos considerando criterios económicos pero también los elementos técnicos.

En general, existe una correlación moderada entre los factores sociales, los sistemas de riego y la eficiencia con la que se utiliza el agua en el cultivo de espárragos. Por otro lado, dado que este vínculo no cumple con los criterios de significancia estadística, es plausible que haya otros factores en juego. La utilización del agua de manera eficiente requiere no solo la utilización de procedimientos tecnológicos precisos, sino también la existencia de un entorno social que fomente la colaboración y el intercambio de conocimientos.

Se ha identificado una correlación positiva entre los factores del medio ambiente y la actitud y responsabilidad en la gestión del agua, no obstante, esta correlación no es lo suficientemente fuerte como para afirmar que existe una relación concluyente entre ambos. Este hecho da cuenta del hecho de que aun cuando se identifican las preocupaciones ambientales, éstas, no necesariamente se traducen en una dedicación práctica a la gestión del agua de manera adecuada. Resulta necesario asumir que las actitudes y comportamientos son complejos y multifacéticos si pretendemos implementar una estrategia de cambio orientado a una gestión holística.

El estudio en resumen nos revela una correlación moderada entre la aplicación de la economía circular y las externalidades asociadas al uso del agua en el cultivo de espárragos en Ica, aunque la falta de significancia estadística nos hace sugerir que sean necesarias investigaciones adicionales para ponderar cómo están modulando esta relación. La economía circular permite la disminución de las externalidades negativas del uso del agua, aunque su implementación efectiva puede estar mediatizada por múltiples factores contextuales.

Luego de estos resultados, se recomienda un programa que eduque y capacite a los agricultores para usar el agua de manera eficiente, teniendo en cuenta tanto las consideraciones financieras como las ecológicas. Sería útil realizar estudios adicionales con más variables para determinar si existe una correlación entre el conocimiento de los agricultores sobre el uso del agua y su éxito financiero. Además de ayudar a mantener sostenibles los suministros de agua agrícola, esto aumentará la rentabilidad de los cultivos.

Se recomienda que los agricultores construyan redes sociales dentro de sus comunidades para facilitar el intercambio de información y las mejores prácticas sobre la utilización del agua. No solo los programas de capacitación deben poner énfasis en los procedimientos de riego, sino que también deben abarcar componentes sociales y comunitarios. Invertir en la cohesión social puede, a largo plazo, resultar en una mejora significativa en la eficiencia con la que se utiliza el agua en la agricultura, particularmente para cultivos como el espárrago. Dado que los suministros de agua son cada vez más escasos, es posible que este método sea necesario para que los agricultores superen los desafíos que enfrentan actualmente.

Deben llevarse a cabo iniciativas de sensibilización, donde la gestión del agua y el medio ambiente constituyan las preocupaciones principales. Los agricultores tendrían que conocer lo que ocurre con el medio ambiente cuando

realizan actividades agrícolas haciendo que mediante estos programas puedan tener una visión más proactiva y responsable de la agricultura. Esto podría también facilitar también la construcción de una responsabilidad más fuerte como trabajo en familia para asegurar que el sistema de trabajo que finalmente se emplea sería ambientalmente benigno y sostenible.

Se sugiere que se alienten programas de formación y sensibilización dirigidos a los agricultores sobre las ventajas de la economía circular y la gestión del agua. Estas formaciones deberían incluir acciones específicas que puedan aplicarse en la agricultura de espárragos, así como algún ejemplo práctico que muestre resultados positivos. También sería apropiado realizar más investigaciones sobre los factores que contribuyen a mejorar la adopción de las ideas de la economía circular en la agricultura, tanto en el contexto socioeconómico como cultural de los agricultores en Ica. En conjunto, la mejora de la economía circular no solamente contribuiría a la adopción de conceptos que favorecieran una agricultura más sostenible sino también a unas condiciones medioambientales y económicas más favorables en la región.

Se sugiere a los legisladores en el Perú un marco normativo ambicioso que posibilite la transición hacia una economía circular en la agricultura, y en especial en una gestión sostenible del agua, promoción y legislación de incentivos específicos para la implementación de tecnologías de riego eficiente como el riego por goteo, y regulaciones que promuevan la reutilización y el reciclaje del agua asociadas a las estrategias de las 4R (reutilizar, reciclar, reducir y regenerar), que deben ir complementadas de herramientas financieras, subsidios, programas de cofinanciamiento a los agrícolas para la incorporación de procedimientos sostenibles.

Adicionalmente, deben incorporarse criterios de sostenibilidad sobre las políticas de cuencas hidrográficas en la gestión de las cuencas priorizando la recarga y conservación de acuíferos en zonas agrícolas intensivas dilatadas como Ica. Los legisladores deben también garantizar la integración de la educación ambiental en los programas nacionales de desarrollo agrario, destacando la importancia de una gestión hídrica responsable para la seguridad alimentaria y la mitigación de los efectos del cambio climático. Finalmente, se sugiere establecer mecanismos de monitoreo y evaluación para medir el impacto de las normativas implementadas, asegurando una mejora continua en la sostenibilidad del sector agrícola.

REFERENCIAS

- Adeyemi, O., Grove, I., Peets, S. y Norton, T. (2017). Sistemas avanzados de monitoreo y gestión para mejorar la sostenibilidad del riego de precisión. *Sustainability* (Suiza), 9(3). <https://doi.org/10.3390/su9030353>
- Admeconomía. (2019, 2 de octubre). *Economía circular: una nueva propuesta para el Perú*. Económico. <https://economica.pe/economia-circular-una-nueva-propuesta-para-el-peru/>

- Ali, MH, y Talukder, MSU (2008). Aumento de la productividad del agua en la producción agrícola: una síntesis. *Gestión del agua agrícola*, 95(11), 1201–1213. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2008.06.008>
- Avramchikova, N., Rozhnov, I., Zelenskaya, T., Maslova, O. y Avramchikov, V. (2021). Circular Economía y “tecnologías verdes”. *E3S Web of Conferences*, 291. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202129102014>
- Bachmann, TM (2019). Contaminación óptima: El enfoque económico del bienestar para corregir los problemas de mercado relacionados. En la *Enciclopedia de Salud Ambiental*. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409548-9.09382-9>
- Bindraban, PS, Jongschaap, REE y van Keulen, H. (2010). Aumento de la eficiencia del uso del agua en la producción agrícola. En *Evaluación y Gestión Ambiental en la Industria Alimentaria: Análisis del Ciclo de Vida y Enfoques Relacionados*. <https://doi.org/10.1016/B978-1-84569-552-1.50002-3>
- Carranza, LBC (2023). Probabilidad de ocurrencia del modelo de economía circular en una empresa que presta el servicio de agua potable en Cajamarca - Perú | Probabilidad de moneda del modelo de economía circular en una empresa prestadora del servicio de agua potable en Cajamar. *Actas de la Multiconferencia Internacional LACCEI sobre Ingeniería, Educación y Tecnología*, julio de 2023.
- Castillo Fernández, ML (2021). La agricultura familiar peruana. Situación Post COVID-19 y Perspectivas | FAO. Fundación Friedrich Ebert. <https://www.fao.org/family-farming/detail/es/c/1601277/>
- Chávez, WO, Sotomayor, LQ, Quispe, JT, Pérez, JKV, Dávila, EP, Talavera, AML, Toribio, R. LT y Esther, M. (2023). Estudio del modelo de economía circular como estrategia para el desarrollo del Perú basado en mapas cognitivos neutrosóficos. *Conjuntos y sistemas neutrosóficos*, 60, 227–233. <https://doi.org/10.5281/zenodo.10224188>
- Clube, RKM y Tennant, M. (2023). ¿Cómo sería una economía circular social centrada en el ser humano? Basado en la propuesta de desarrollo a escala humana de Max-Neef. *Journal of Cleaner Production*, 383. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.135455>
- Coase, RH (1960). El problema del coste social. *Revista de Derecho y Economía*, 3, 1–44. <https://doi.org/10.1086>
- Souza Campos, LM, Karl, AA y Vázquez-Brust, DA (2023). La relación entre la social Inclusión y desempeño de la economía circular: Un análisis de las prácticas sociales de la economía circular y sus contribuciones a los Objetivos de Desarrollo Sostenible. En *Greening of Industry Networks Studies* (Vol. 10). https://doi.org/10.1007/978-3-031-25436-9_3
- Dovgal, O., Potryvaieva, N., Bilichenko, O., Kuzoma, V. y Borko, T. (2024). Desarrollo de la economía circular del sector agrícola: enfoque

- agroecológico. *Ekonomika APK*, 31(4), 10–22.
<https://doi.org/10.32317/ekon.apk/4.2024.10>
- Eda, LEH y Chen, W. (2010). Gestión Integrada de Recursos Hídricos en el Perú. *Procedia Ciencias Ambientales*, 2, 340–348.
<https://doi.org/10.1016/j.proenv.2010.10.039>
- Esteve-Llorens, X., Ita-Nagy, D., Parodi, E., González-García, S., Moreira, MT, Feijoo, G., & Vázquez-Rowe, I. (2022). Huella ambiental de productos agroexportadores críticos en la costa hiperárida peruana: Un estudio de caso para el espárrago verde y la palta. *Science of the Total Environment*, 818. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.151686>
- Faramarzi, M., Yang, H., Schulin, R. y Abbaspour, KC (2010). Modelado del rendimiento del trigo y la productividad hídrica en Irán: Implicaciones de la gestión del agua agrícola para la producción de trigo. *Gestión del agua agrícola*, 97(11), 1861–1875. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2010.07.002>
- Fernández-Escalante, E., Foster, S. y Navarro-Benegas, R. (2020). Evolución y sostenibilidad de Aprovechamiento del agua subterránea de los acuíferos de Ica para la agricultura más rentable del Perú. *Revista de Hidrogeología*, 28(7), 2601–2612. <https://doi.org/10.1007/s10040-020-02203-0>
- Flores, JLR, Arredondo, BER, Cantú Brito, JE, Ríos Arredondo, HE, Erives, SA, Chávez Rivero, JA, Molina, CN y Franco, RC (2018). Análisis de la eficiencia hídrica física, económica y social en frutos de espárrago (*Asparagus officinalis* L.) y uva (*Vitis vinifera*) del DR-037 de Altar-Pitiquito-Caborca, Sonora, México 2014 <https://www.scielo.org.ar/pdf/refca/v50n1/v50n1a08.pdf>.
- Gama, M., Herrmann, C. y Fisher, T. (2017). Economía circular en el sector electrónico: Un enfoque holístico. *Perspectiva. 2016 La electrónica se vuelve ecológica 2016+*, EGG 2016. <https://doi.org/10.1109/EGG.2016.7829848>
- Gandolfo, A., y Lupi, L. (2021). Economía circular: la transición de una empresa focal establecida: ¿Cómo conciliar con éxito la sostenibilidad ambiental y económica? *Estrategia Empresarial y Medio Ambiente*, 30(7), 3297–3308. <https://doi.org/10.1002/bse.2803>
- Gao, X., Bai, Y., Huo, Z., Xu, X., Huang, G., Xia, Y. y Steenhuis, TS (2017). El riego deficitario aumenta la contribución de las aguas subterráneas superficiales al consumo de agua de los cultivos en zonas áridas. *Agricultural Water Management*, 185, 116–125. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2017.02.012>
- Geilfus, C.-M., Zörb, C., Jones, JJ, Wimmer, MA, y Schmöckel, SM (2024). Agua para la agricultura: más cultivo por gota. *Plant Biology*, 26(4), 499–507. <https://doi.org/10.1111/plb.13652>
- Giorgi, S., Lavagna, M., Wang, K., Osmani, M., Liu, G. y Campioli, A. (2022). Impulsores y barreras hacia la economía circular en el sector de la construcción: Entrevistas con las partes interesadas y análisis de las políticas y prácticas de cinco países europeos. *Journal of Cleaner Production*, 336. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.130395>

- Gómez, R., & Flores, F. (2015). Agricultura y servicios ecosistémicos: el caso del espárrago en Ica. *Apuntes: Revista de Ciencias Sociales*, 42(77), 9–55. <https://doi.org/10.21678/apuntes.77.738>
- Grzymala, Z. (2023). Economía circular como herramienta de marketing para el desarrollo sostenible. En *Manual de investigación sobre el logro de los Objetivos de Desarrollo Sostenible con marketing sostenible*. <https://doi.org/10.4018/978-1-6684-8681-8.ch015>
- Hamel, C., Vujanovic, V., Jeannotte, R., Nakano-Hylander, A. y St-Arnaud, M. (2005). Retroalimentación negativa en un cultivo perenne: La podredumbre de corona y raíz por *Fusarium* en espárragos se relaciona con cambios en la estructura de la comunidad microbiana del suelo. *Plant and Soil*, 268(1), 75–87. <https://doi.org/10.1007/s11104-004-0228-1>
- Herrera, LA (2023). Tres ensayos sobre los mecanismos de internalización de la contaminación de aguas (externalidades negativas) generadas por la producción agraria [Tesis doctoral, Pontificia Universidad Católica Argentina]. En *Tesis de Doctorado*. Pontificia Universidad Católica Argentina, 2023. <https://repositorio.uca.edu.ar/handle/>
- Kumawat, LR, Saini, KM, Khan, MA, Gayathri, GS, Agnihotri, K., Gayathri, B. y Philip, JM (2024). Hacia un futuro sostenible mediante la integración de los principios de la economía circular en la gestión de residuos plásticos. *Revista de Protección Ambiental y Ecología*, 25(6), 1820-1832.
- Longo, S., Cellura, M., Luu, LQ, Nguyen, TQ, Rincione, R. y Guarino, F. (2024). Economía circular y enfoque de ciclo de vida aplicados a la cadena de suministro de biomasa: Una revisión. *Energías Renovables*, 220. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2023.119598>
- López, J. R., Erickson, J. E., Muñoz, P., Saballos, A., Felderhoff, T. J., & Vermerris, W. (2017, julio). QTLs associated with crown root angle, stomatal conductance, and maturity in sorghum. *The Plant Genome*, 10(2). <https://doi.org/10.3835/plantgenome2016.04.0038>
- Ma, H.-W., Shih, H.-C. y Liao, M.-I. (2021). Economía circular y nuevas direcciones de investigación en Sostenibilidad. En *la Serie Internacional de Investigación de Operaciones y Ciencias de la Gestión* (Vol. 301). https://doi.org/10.1007/978-3-030-58023-0_6
- McPhillips, M. (2011). Revelando externalidades económicas ocultas en grandes proyectos mediante la metodología del valor. 51ª Conferencia Anual de SAVE Internacional 2011, 458–476.
- Minarti, A., Rinanti, A., Fachrul, MF, Tazkiaturrizki y Fadhila, R. (2024). Economía circular para Producción de biodiésel mediante la gestión de aguas residuales con microalgas. En *Ciencias Ambientales e Ingeniería* (Vol. 2024). https://doi.org/10.1007/978-981-97-2371-3_17
- Morseletto, P., Mooren, CE, y Munaretto, S. (2022). Economía Circular del Agua: Definición, Estrategias y Desafíos. *Economía Circular y Sostenibilidad*, 2(4), 1463–1477. <https://doi.org/10.1007/s43615-022-00165-x>

- Mulder, M. (2021). Externalidades en la producción y el consumo en los mercados energéticos. En *Apuntes de Energía* (Vol. 80).
https://doi.org/10.1007/978-3-030-58319-4_8
- Murray, A., Skene, K. y Haynes, K. (2017). La economía circular: una exploración interdisciplinaria del concepto y su aplicación en un contexto global. *Revista de Ética Empresarial*, 140(3), 369–380.
<https://doi.org/10.1007/s10551-015-2693-2>
- Ngan, SL, How, BS, Teng, SY, Promentilla, MAB, Yatim, P., Er, AC y Lam, HL (2019). Priorización de indicadores de sostenibilidad para promover la economía circular: El caso de los países en desarrollo. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 111, 314–331.
<https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.05.001>
- Pigou, AC (1920). *La economía del bienestar* (4.^a ed.). Macmillan and Co.
<https://oll-libertyfund-org.translate.goog/titles/pigou-the-economics-of-welfare? x tr sl=en& x tr tl=es& x tr hl=es& x tr pto=tc>
- Power, JF (2015). Gestión del suelo para el uso eficiente del agua: Fertilidad del suelo. En *Limitaciones del uso eficiente del agua en la producción agrícola*.
<https://doi.org/10.2134/1983.limitationstoefficientwateruse.c27>
- Richardson, C., y Sham, CH (2022). Aplicación de una economía circular a la comunidad del agua: un enfoque holístico Enfoque. *Revista - Asociación Americana de Obras Hidráulicas*, 114(7), 44–52.
<https://doi.org/10.1002/awwa.1960>
- Riha, Z., Dockalikova, I., Tichy, J. y Košťal, D. (2022). Resolviendo las externalidades del transporte, enfoques económicos y sus riesgos. *Open Engineering*, 12(1), 1–10. <https://doi.org/10.1515/eng-2022-0001>
- Salles, A., Cervantes, C. y Bragança, L. (2024). Evaluación de los impactos de la economía circular urbana Prácticas sobre crecimiento económico, sostenibilidad ambiental y beneficios sociales: Análisis de un estudio de caso. En *Apuntes de Ingeniería Civil: Vol. 489 LNCE*.
<https://www.mdpi.com/2075-5309/14/4/979>
- Schwarz, J. y Mathijs, E. (2017). Globalización y la explotación sostenible de las escasas aguas subterráneas en la costa peruana. *Revista de Producción Limpia*, 147, 231–241. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.01.067>
- Smol, M., Mejia, A. y Howarth, M. (2023). Oportunidades de negocio en el sector de agua y aguas residuales mediante el marco ReSOLVE. En *Avances en Ciencia, Tecnología e Innovación*.
https://doi.org/10.1007/978-3-031-18165-8_17
- Șuster, GA, Mateoc, N., Iancu, T. y Mănescu, C. (2013). El papel de las externalidades en la elaboración de análisis coste-beneficio de proyectos financiados con fondos estructurales. *Conferencia Científica Internacional Multidisciplinaria sobre Geogeología Topográfica y Gestión de la Ecología Minera, SGEM*, 2, 155-160.
<https://doi.org/10.5593/SGEM2013/BE5.V2/S21.021>
- Taguchi, T., Kabuno, Y., y Motoki, S. (2018). Desarrollo de un nuevo sistema de producción de cosechas para Espárragos (Método de cultivo de cosecha

- completa de plantas de un año). En *Acta Horticulturae* (Vol. 1223). <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2018.1223.23>
- Taguchi, T., Kato, A. y Motoki, S. (2021). Un nuevo método de cultivo de espárragos para principiantes: Pruebas de campo con el método de cultivo de espárragos de cosecha completa de plantas de un año. En *Acta Horticulturae* (Vol. 1312). <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2021.1312.41>
- Teweldebrihan, MD, y Dinka, MO (2024). El efecto de las prácticas de riego y el consumo de agua mediante cultivos acuícolas. *Revista Global de Ciencias Ambientales y Gestión*, 10(4), 2099–2114. <https://doi.org/10.22034/gjesm.2024.04.36>
- Vázquez-Rowe, I., Kahhat, R., Quispe, I. y Bentín, M. (2016). Perfil ambiental de la producción de espárrago verde en una zona hiperárida de la costa peruana. *Revista de Producción Limpia*, 112, 2505–2517. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.09.076>
- Velasco-Muñoz, JF, Aznar-Sánchez, JA, López-Felices, B., y Román-Sánchez, IM (2022). Economía circular en la agricultura. Un análisis del estado de la investigación basada en el ciclo de vida. *Producción y Consumo Sostenibles*, 34, 257–270. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2022.09.017>
- Vélez de López, MT (2014). Sostenibilidad ambiental: Nuestra última frontera. En F. Badrán Padauí (Ed.), *Sostenibilidad Ambiental: Nustra Ultima Frontera*. Editorial Universitaria. Universidad de Cartagena. <https://hdl.handle.net/11227/4814>
- Wang, Q., Huang, K., Liu, H. y Yu, Y. (2023). Factores que afectan la huella hídrica de la producción agrícola: Una revisión y metaanálisis. *Producción y Consumo Sostenibles*, 36, 207–216. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2023.01.008>
- Welde, K., Gebremariam, HL, y Kahsay, KD (2019). Optimización de los niveles de agua de riego para mejorar el rendimiento y la eficiencia hídrica de las hortalizas: estudio de caso del tomate. *Gestión Sostenible de los Recursos Hídricos*, 5(2), 737–742. <https://doi.org/10.1007/s40899-018-0250-8>
- Wiesmeth, H. (2020). Implementación de la Economía Circular para el Desarrollo Sostenible. En *Implementación de la Economía Circular para el Desarrollo Sostenible*. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-821798-6.09993-2>