

Cooperativismo e innovación ecotecnológica como impulsores de sostenibilidad productiva rural

Cooperativism and ecotechnological innovation as drivers of rural productive sustainability

Ec. Ángel Wilkins Álvarez Pincay¹

Universidad Nacional de Tumbes. Tumbes, Perú
aalvarezp@epguntumbes.edu.pe
<https://orcid.org/0000-0002-8677-2372>

Dr. Ghenkis Amílcar Ezcurra Zavaleta²

Universidad Nacional de Tumbes. Tumbes, Perú
gezcurraz@untumbes.edu.pe
<https://org/orcid.org/0000-0002-9894-2180>

Como citar:

Álvarez Pincay, A. W., & Ezcurra Zavaleta, G. A. (2025). Cooperativismo e innovación ecotecnológica como impulsores de sostenibilidad productiva rural. *Revista Pulso Científico*, 3(4), 392–407.
<https://doi.org/10.70577/rps.v3i4.177>

Fecha de recepción: 2025-10-03

Fecha de aceptación: 2025-11-29

Fecha de publicación: 2025-12-30

RESUMEN

El desarrollo productivo rural enfrenta limitaciones tecnológicas, fragmentación organizativa y presiones ambientales que restringen la sostenibilidad económica y ecológica de los territorios agrícolas. En este contexto, el estudio analizó la incidencia del cooperativismo y la innovación ecotecnológica en la sostenibilidad productiva rural. Se empleó un enfoque cuantitativo explicativo con diseño no experimental, utilizando información secundaria procedente de informes técnicos, bases de datos sectoriales y literatura científica especializada. El análisis integró análisis factorial confirmatorio, modelamiento de ecuaciones estructurales mediante mínimos cuadrados parciales y regresión de datos de panel para examinar la interacción entre cooperación organizativa, digitalización rural y productividad verde. Los resultados muestran que más del 90% de los productores cooperativizados reportan mejoras en acceso a tecnología, financiamiento y negociación comercial; además, la digitalización rural incrementa la productividad total de los factores verdes en 1.78% por cada aumento de 1% en digitalización, con mayores efectos en territorios con mayor capital humano. Asimismo, se registran coeficientes negativos cercanos a -0.45 en la intensidad de emisiones agrícolas y efectos umbral que amplifican la eficiencia productiva al superar determinados niveles de digitalización. Estos hallazgos confirman que la interacción entre cooperación organizativa y ecotecnología fortalece la eficiencia agrícola, reduce externalidades ambientales y mejora la resiliencia productiva territorial.

Palabras clave: Cooperativismo, innovación ecotecnológica, sostenibilidad, agricultura, productividad.

ABSTRACT

Rural productive development faces technological limitations, organizational fragmentation, and environmental pressures that restrict the economic and ecological sustainability of agricultural territories. In this context, the study analyzed the impact of cooperatives and ecotechnological innovation on rural productive sustainability. A quantitative, explanatory approach with a non-experimental design was employed, using secondary information from technical reports, sectoral databases, and specialized scientific literature. The analysis integrated confirmatory factor analysis, structural equation modeling using partial least squares, and panel data regression to examine the interaction between organizational cooperation, rural digitalization, and green productivity. The results show that more than 90% of cooperative producers report improvements in access to technology, financing, and commercial negotiation; furthermore, rural digitalization increases total green factor productivity by 1.78% for every 1% increase in digitalization, with greater effects in territories with higher levels of human capital. Furthermore, negative coefficients close to -0.45 were recorded for agricultural emissions intensity, along with threshold effects that amplify productive efficiency upon exceeding certain levels of digitalization. These findings confirm that the interaction between organizational cooperation and ecotechnology strengthens agricultural efficiency, reduces environmental externalities, and improves territorial productive resilience.

Keywords: Cooperativism, ecotechnological innovation, sustainability, agriculture, productivity.

INTRODUCCIÓN

La sostenibilidad productiva en los territorios rurales constituye uno de los desafíos más relevantes para las economías agrarias del siglo XXI, especialmente en contextos donde los pequeños productores enfrentan limitaciones estructurales asociadas al acceso a tecnología, financiamiento, mercados y capacidades organizativas. En este escenario, el cooperativismo ha sido reconocido como una forma organizacional capaz de fortalecer la gobernanza productiva, mejorar la eficiencia económica y promover prácticas agrícolas ambientalmente responsables (Candemir et al., 2021). Diversos estudios recientes sostienen que las cooperativas agrícolas pueden actuar como plataformas institucionales que facilitan la coordinación entre productores, el acceso a innovación tecnológica y la adopción de estrategias productivas sostenibles en entornos rurales (Ibourk et al., 2023).

Desde la perspectiva del desarrollo territorial, las cooperativas agrícolas representan mecanismos de acción colectiva que permiten superar fallas de mercado, reducir asimetrías en las cadenas de valor y generar economías de escala en la producción y comercialización agrícola (Kalogiannidis et al., 2024). En efecto, estas organizaciones contribuyen al fortalecimiento de los sistemas agroalimentarios mediante la provisión de servicios técnicos, transferencia de conocimiento y gestión compartida de recursos productivos, lo que incrementa la capacidad adaptativa de los agricultores frente a cambios climáticos, económicos y tecnológicos (Ma et al., 2023). Además, el cooperativismo favorece procesos de aprendizaje colectivo y difusión de innovaciones que permiten mejorar simultáneamente la productividad agrícola y la sostenibilidad ambiental de los sistemas productivos rurales (Liang et al., 2023).

Paralelamente, la literatura científica reciente destaca que la transición hacia modelos agrícolas sostenibles requiere la incorporación sistemática de innovaciones orientadas a reducir impactos ambientales y mejorar la eficiencia en el uso de recursos naturales (Testa et al., 2022). En este contexto, la ecoinnovación emerge como un enfoque estratégico que integra progreso tecnológico, eficiencia productiva y protección ambiental dentro de los sistemas agroalimentarios (Chaparro-Banegas et al., 2024). La adopción de innovaciones ecotecnológicas permite optimizar procesos productivos, disminuir emisiones contaminantes y mejorar la eficiencia energética, contribuyendo a una transformación estructural de las actividades agrícolas hacia modelos más sostenibles (Urbaniec et al., 2021).

Las ecotecnologías aplicadas al sector agrícola incluyen soluciones basadas en bioinsumos, agricultura de precisión, tecnologías digitales, manejo eficiente del agua y sistemas de producción regenerativos, los cuales permiten mejorar el desempeño ambiental de los agroecosistemas (Nsenga Kumwimba et al., 2023). Asimismo, investigaciones recientes demuestran que la digitalización rural y la incorporación de tecnologías inteligentes pueden incrementar la productividad agrícola y mejorar la sostenibilidad de pequeñas explotaciones mediante una gestión más eficiente de información, insumos y procesos productivos (Šermukšnytė-Alešiūnienė & Melnikienė, 2024).

En el ámbito de la innovación agraria, la literatura sostiene que los procesos de innovación sostenible requieren redes colaborativas que articulen actores públicos, privados, científicos y comunitarios dentro de

los territorios rurales (Irungu et al., 2023). Estas redes de innovación permiten acelerar la adopción tecnológica, fortalecer los sistemas de conocimiento agrícola y facilitar la implementación de prácticas productivas sostenibles en diferentes escalas territoriales. De hecho, el desarrollo de sistemas de innovación rural ha sido identificado como un elemento clave para impulsar la transición hacia economías agrícolas resilientes frente al cambio climático y las transformaciones del mercado global (Konfo et al., 2024).

Adicionalmente, el avance de la economía digital y las tecnologías de información está redefiniendo los procesos productivos agrícolas al facilitar la gestión de datos, la trazabilidad de productos y la optimización de decisiones productivas en tiempo real (Lu et al., 2024). Estas transformaciones tecnológicas contribuyen a mejorar la productividad verde total de la agricultura y permiten avanzar hacia sistemas productivos más eficientes desde el punto de vista energético y ambiental (Huang & Wang, 2024). Asimismo, el desarrollo de economías rurales digitalizadas favorece la innovación verde y promueve nuevas dinámicas de sostenibilidad productiva mediante la integración de tecnologías digitales en los procesos agrícolas (Zhang et al., 2024).

En este marco de transformación productiva, la convergencia entre cooperativismo e innovación ecotecnológica adquiere especial relevancia como estrategia para fortalecer la sostenibilidad de los sistemas rurales. Las cooperativas pueden actuar como intermediarias institucionales que facilitan la difusión de innovaciones ambientales, la adopción de tecnologías sostenibles y la articulación de redes productivas locales orientadas al desarrollo territorial (Chaparro-Banegas et al., 2024). De esta manera, el cooperativismo no solo fortalece la capacidad organizativa de los productores rurales, sino que también contribuye a la consolidación de modelos productivos basados en principios de sostenibilidad económica, social y ambiental.

El análisis del cooperativismo y la innovación ecotecnológica como impulsores de sostenibilidad productiva rural representa una línea de investigación relevante para comprender cómo las formas organizativas colectivas pueden facilitar la transición hacia sistemas agrícolas sostenibles, resilientes y tecnológicamente avanzados. El estudio de estas dinámicas permite explorar nuevas estrategias de desarrollo rural orientadas a mejorar la productividad agrícola, preservar los recursos naturales y fortalecer la competitividad de los territorios rurales en un contexto global caracterizado por crecientes exigencias ambientales y tecnológicas.

Cooperativismo y sostenibilidad productiva rural

El cooperativismo rural constituye una forma de organización económica que supera la lógica individual de la producción agraria y se orienta hacia mecanismos de articulación colectiva, reciprocidad y fortalecimiento territorial, especialmente en contextos donde la fragmentación productiva limita la capacidad de negociación de los pequeños productores (Bageneta & Palmisano, 2023). Desde un plano institucional, la economía social y solidaria aporta una arquitectura organizativa basada en reglas, valores y arreglos colectivos que favorecen la redistribución, la cooperación y la reproducción social de las comunidades rurales (Alarcón Conde & Álvarez Rodríguez, 2025).

El fundamento doctrinario del cooperativismo no se restringe al intercambio económico, sino que incorpora un compromiso explícito con el entorno social y territorial mediante el principio de interés por la comunidad, lo cual le otorga una función estratégica en procesos de sostenibilidad local (Hernández Cáceres, 2023). A su vez, la literatura reciente sobre sostenibilidad en la economía social evidencia que las entidades cooperativas han pasado a ser examinadas como organizaciones capaces de generar valor económico, cohesión social y respuestas adaptativas frente a exigencias ambientales crecientes (Mozas-Moral et al., 2025).

En el espacio agroalimentario, la cooperación entre organizaciones ha evolucionado hacia esquemas de integración más complejos, en los que la dimensión empresarial se vincula con la eficiencia comercial, la profesionalización de la gestión y la permanencia de las rentas de los socios en el territorio (Meliá Martí et al., 2024). Esta perspectiva se refuerza con hallazgos que muestran que la consolidación de clústeres cooperativos agrícolas puede amplificar la capacidad territorial de las cooperativas y favorecer dinámicas más estables de especialización productiva y articulación regional (García-García et al., 2024).

La sostenibilidad productiva rural también exige revisar la relación entre cooperación, innovación y desempeño organizacional, ya que la acción colectiva por sí sola no garantiza mejoras productivas si no está acompañada de capacidades de aprendizaje, gestión y adaptación (Briones Peñalver et al., 2023). En esa línea, el cooperativismo agroecológico ha sido examinado como una experiencia que combina consumo responsable, organización solidaria y escalamiento de prácticas sostenibles, aunque su expansión enfrenta tensiones relacionadas con la inclusividad, los cuidados y la gobernanza interna (Homs Ramírez de la Piscina et al., 2024).

La innovación ecotecnológica, entendida como la incorporación de soluciones técnicas compatibles con la conservación ambiental y la eficiencia productiva, requiere mediaciones institucionales que acerquen el conocimiento científico a las realidades concretas del agro (Tarantini & Landini, 2023). Desde una perspectiva aplicada, el análisis de la adopción de innovaciones tecnológicas sustentables en Buenos Aires muestra que la sostenibilidad del cambio técnico depende del acople entre academia, extensión y sector productivo, y no únicamente de la disponibilidad de tecnologías (Auer et al., 2024).

La adopción de innovaciones en pequeños productores rurales no responde exclusivamente a criterios de rentabilidad, sino también a factores psicosociales, percepciones de riesgo, trayectorias de aprendizaje y confianza en los actores que promueven la innovación (Murtagh, 2025). De forma complementaria, las revisiones sobre políticas públicas agrícolas muestran que la evaluación de impacto debe considerar dimensiones económicas, sociales, institucionales y ambientales, porque la transformación rural no puede valorarse únicamente por sus resultados productivos inmediatos (Álvarez-Gómez et al., 2024).

La sostenibilidad productiva rural también se vincula con cambios institucionales de largo alcance, dado que las reglas formales e informales condicionan la forma en que los productores incorporan innovaciones y reorganizan sus sistemas de producción (Coradini et al., 2024). Asimismo, las experiencias europeas de desarrollo rural con enfoque LEADER han puesto de relieve que la gobernanza territorial, la participación

de actores locales y la construcción de redes de cooperación son determinantes para sostener procesos de desarrollo más equilibrados y persistentes en el tiempo (Hernández-Flores et al., 2024).

Desde la óptica de los modelos de negocio sostenibles, los sistemas productivos rurales pueden reorganizarse mediante estructuras que integren generación de valor económico, aprovechamiento de recursos y reducción de impactos ambientales, tal como se observa en experiencias de agroacuicultura integrada (Rodríguez Giraldo & Franco Borrero, 2024). En paralelo, la discusión sobre conservación ambiental ha incorporado el análisis de costos de oportunidad como una herramienta útil para valorar decisiones productivas y territoriales en escenarios donde la protección de ecosistemas compite con usos agropecuarios alternativos (Gutiérrez et al., 2024).

La sostenibilidad rural no solo depende del desempeño económico de las unidades productivas, sino también de su capacidad para preservar diversidad funcional, articular usos múltiples del territorio y sostener racionalidades productivas no estrictamente mercantiles (Juárez García et al., 2025). Por ello, la multifuncionalidad de la agricultura emerge como una categoría analítica pertinente para comprender sistemas tradicionales que generan simultáneamente alimentos, arraigo territorial, servicios sociales y continuidad cultural (Barrera Betancourth et al., 2023).

La sostenibilidad productiva rural debe entenderse como un proceso que involucra medios de vida, equidad en la participación y continuidad de las actividades económicas de base local, aspectos visibles incluso en sectores como la pesca artesanal, donde la permanencia productiva depende de arreglos comunitarios y políticas integrales (Sánchez-Galán et al., 2025). Del mismo modo, la participación de las mujeres en el sector agropecuario sudamericano confirma que la sostenibilidad rural requiere reconocer de manera más explícita la dimensión de género en el acceso a tierra, trabajo, recursos y toma de decisiones productivas (Restrepo Betancur, 2024).

MATERIALES Y MÉTODOS

En concordancia con el propósito del estudio, se adoptó un enfoque cuantitativo, no experimental y de alcance explicativo, sustentado en información secundaria obtenida de informes técnicos, series estadísticas, reportes institucionales y artículos científicos especializados sobre cooperativismo, innovación ecotecnológica y sostenibilidad productiva rural. La base de datos se estructuró a partir de indicadores comparables de desempeño asociativo, incorporación tecnológica, eficiencia ambiental y productividad rural, organizados en una matriz analítica para su depuración, estandarización y posterior modelización.

Seguidamente, se aplicó un análisis factorial confirmatorio, pertinente para validar la consistencia de los constructos teóricos y comprobar la convergencia entre los indicadores que representan cooperación organizativa, innovación ecotecnológica y sostenibilidad productiva.

Posteriormente, se utilizó el modelamiento de ecuaciones estructurales mediante mínimos cuadrados parciales, por su capacidad para estimar relaciones simultáneas entre variables latentes, identificar efectos directos e indirectos y operar de forma sólida en modelos explicativos vinculados con innovación,

cooperación y sostenibilidad en sistemas agroalimentarios. De forma complementaria, se incorporó regresión de datos de panel con efectos fijos, apropiada para estimar la incidencia temporal y territorial de los factores cooperativos y tecnológicos sobre los resultados de sostenibilidad productiva, controlando heterogeneidad no observable entre unidades de análisis.

La interpretación de resultados se apoyó en estadística descriptiva, pruebas de ajuste del modelo y contraste de coeficientes estructurales, con el fin de asegurar rigor analítico en la explicación del papel que desempeñan el cooperativismo y la innovación ecotecnológica en la sostenibilidad productiva rural. En términos metodológicos, la combinación de análisis factorial confirmatorio, PLS-SEM y regresión de datos de panel ofrece una arquitectura estadística de nivel avanzado, coherente con estándares de investigación para estudios sobre sostenibilidad agraria, transición tecnológica y gobernanza rural.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A partir de la sistematización de indicadores globales del movimiento cooperativo y de estudios cuantitativos recientes sobre digitalización rural, productividad verde y reducción de emisiones, se identificó una estructura de resultados con dos patrones principales. En primer término, el cooperativismo muestra una base institucional de alta escala y fuerte capacidad de movilización económica. En segundo término, la innovación ecotecnológica y la digitalización rural presentan efectos estadísticamente favorables sobre la productividad verde, la eficiencia técnica y la disminución de externalidades ambientales.

Tabla 1

Evidencia cuantitativa del cooperativismo como soporte de sostenibilidad productiva rural

Indicador	Resultado cuantitativo	Lectura analítica
Población vinculada a cooperativas en el mundo	Más de 12% de la humanidad	Refleja amplia capacidad de articulación social y económica
Número estimado de cooperativas	3 millones	Muestra densidad organizativa suficiente para escalar innovación territorial
Empleo o medios de vida generados por cooperativas	280 millones de personas	Sugiere incidencia estructural en inclusión productiva y estabilidad ocupacional
Facturación conjunta del Top 300 cooperativo	USD 2.79 billones	Indica peso económico y capacidad de inversión sectorial
Participación del sector agricultura en el Top 300 por facturación	35.7%	Confirma centralidad del cooperativismo agrario en la economía cooperativa global
Metaanálisis sobre membresía cooperativa y rendimiento	158 estimaciones, 42 estudios, 19 países en desarrollo	Evidencia base extensa para asociar cooperación con mejora del desempeño productivo
Productores griegos que reportan mayor eficiencia por tecnologías	96.7%	Señala alta valoración del componente tecnológico en la acción cooperativa
Productores griegos que reportan mejores precios por negociación colectiva	95.1%	Expresa fortalecimiento del poder de mercado

Nota. La tabla integra indicadores institucionales globales y hallazgos cuantitativos de estudios sectoriales recientes.

La Tabla 1 permite distinguir que el cooperativismo no opera como un recurso marginal, sino como una infraestructura organizativa de gran escala con capacidad para incidir sobre empleo, acceso a mercados y circulación tecnológica. La cifra de USD 2.79 billones del Top 300 y la participación de 35.7% del sector agrícola muestran que la dimensión agraria ocupa la mayor gravitación dentro del universo cooperativo medido por facturación. Asimismo, el metaanálisis de 158 estimaciones en 19 países en desarrollo aporta una base comparativa amplia para sostener que la afiliación cooperativa mantiene asociación positiva con el rendimiento agropecuario, aun cuando el propio estudio advierte sesgo de publicación favorable a resultados positivos.

A nivel microorganizacional, los porcentajes observados en Grecia superan 84% en todos los mecanismos evaluados y alcanzan 96.7% cuando se examina la incorporación de tecnologías avanzadas. Esta distribución revela una concentración de respuestas en la parte alta de la escala, lo que indica que la percepción favorable del cooperativismo no se limita a una dimensión comercial, sino que también abarca financiamiento, información, tecnología y eficiencia productiva.

Tabla 2

Evidencia econométrica sobre innovación ecotecnológica, digitalización rural y sostenibilidad productiva

Base analítica	Resultado principal	Interpretación para el tema
1602 condados, 2011–2020	Cada aumento de 1% en digitalización rural incrementa 1.78% la AGTFP	La digitalización actúa como acelerador de productividad verde
Heterogeneidad regional	Efecto por 1%: este 2.65%, centro 1.53%, oeste 0.82%	Existen retornos diferenciados por capacidad territorial
Mediación	La actividad emprendedora rural explica 3.34% del efecto total	La digitalización requiere canales organizativos complementarios
Umbrales	Coefficiente sube de 0.0462 a 0.7519 al superar 0.3200 y luego baja a 0.2429 tras 0.7118	El efecto no es lineal; existe tramo óptimo de intensificación digital
29 provincias, 2013–2020	Coefficiente base de economía digital rural sobre intensidad de emisiones: –0.4564	La digitalización rural reduce emisiones agrícolas
Prueba de consistencia	Coefficiente de contraste: –0.5085	El signo reductor se mantiene al cambiar especificaciones
Descomposición de efectos	Efecto ambiental total 40.01%; efecto directo 33.75%; mediación por tecnología verde 6.26%	La reducción de emisiones ocurre por vía directa y tecnológica
Panel provincial, 2011–2022	Construcción de aldea digital mejora AGTFP vía progreso tecnológico verde: 0.105	La inversión digital se traduce en productividad cuando altera la base tecnológica
Mediación	Informatización agrícola: 0.040	Canal técnico-operativo de transmisión
Mediación	Capital humano rural: 0.115	El efecto aumenta cuando existen capacidades locales
Heterogeneidad	Este: 0.151; provincias del sur: 0.170; principales áreas productoras: 0.113	La ventaja es mayor en territorios con mejor entorno de absorción

Nota. AGTFP = productividad total de los factores en su dimensión verde.

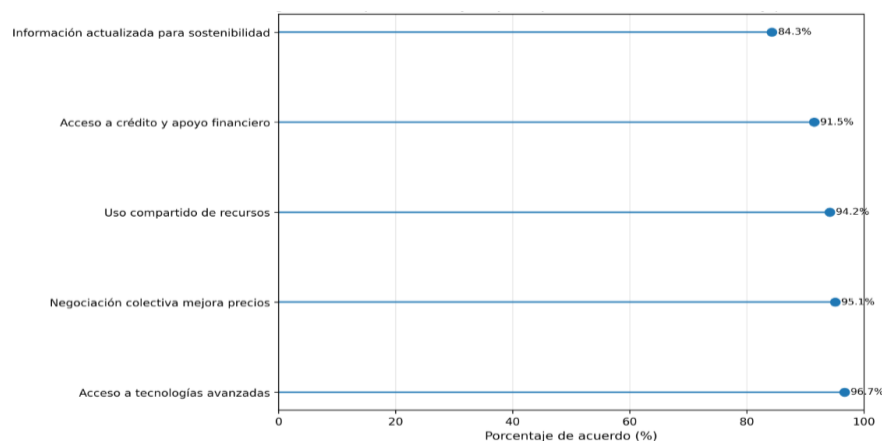
La Tabla 2 exhibe un patrón estadístico convergente: la digitalización rural y las innovaciones ecotecnológicas mejoran la productividad verde y, al mismo tiempo, disminuyen la intensidad ambiental negativa del proceso agroproductivo. El resultado de 1.78% de aumento en AGTFP por cada 1% adicional de digitalización rural es especialmente relevante porque cuantifica una elasticidad positiva y económicamente interpretable.

La heterogeneidad regional muestra además que los mayores retornos se concentran en territorios del este y del sur, lo cual sugiere que la innovación no produce efectos homogéneos, sino que depende de infraestructura, capital humano y madurez institucional. Esa misma lógica se confirma cuando la construcción de aldea digital eleva la AGTFP mediante progreso tecnológico verde con coeficiente 0.105, mientras la informatización agrícola y el capital humano rural operan como mecanismos intermedios con coeficientes de 0.040 y 0.115, respectivamente.

El coeficiente negativo de -0.4564 sobre la intensidad de emisiones agrícolas y el efecto ambiental total de 40.01% indican que la transformación digital no solo incrementa eficiencia, sino que también desplaza el sistema productivo hacia trayectorias de menor carga contaminante. El hecho de que la mediación tecnológica explique 6.26% del efecto muestra que la ecotecnología no es un componente accesorio, sino una vía concreta de transmisión entre digitalización y sostenibilidad rural.

Figura 1

Cooperativismo y mejoras percibidas en sostenibilidad y productividad

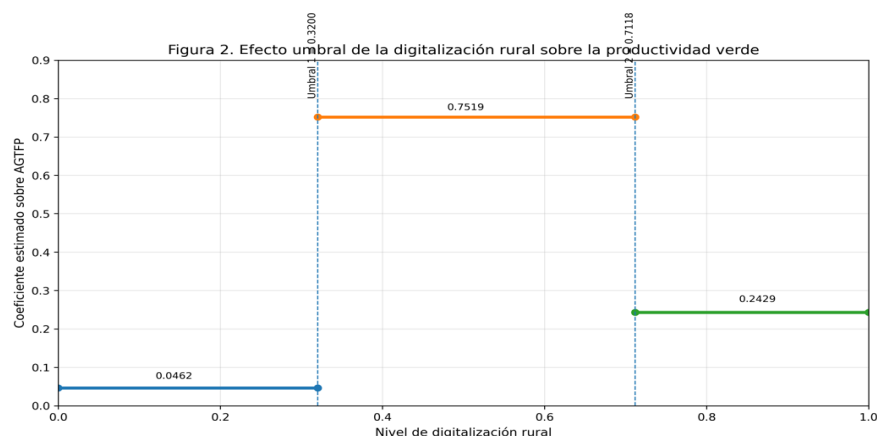


Nota. El gráfico de puntos ordena los mecanismos cooperativos según porcentaje de acuerdo reportado por productores y profesionales

La Figura 1 confirma una distribución altamente concentrada en el extremo superior de la escala, con valores entre 84.3% y 96.7%. Estadísticamente, el rango es estrecho y eso indica baja dispersión relativa entre dimensiones, lo que refuerza la tesis de que el efecto cooperativo es multidimensional y no se restringe a un solo beneficio aislado. El máximo se observa en eficiencia mediante tecnologías avanzadas, mientras el mínimo relativo se ubica en acceso a información, aunque incluso este último permanece en un nivel elevado.

Figura 2

Efecto umbral de la digitalización rural sobre la productividad verde

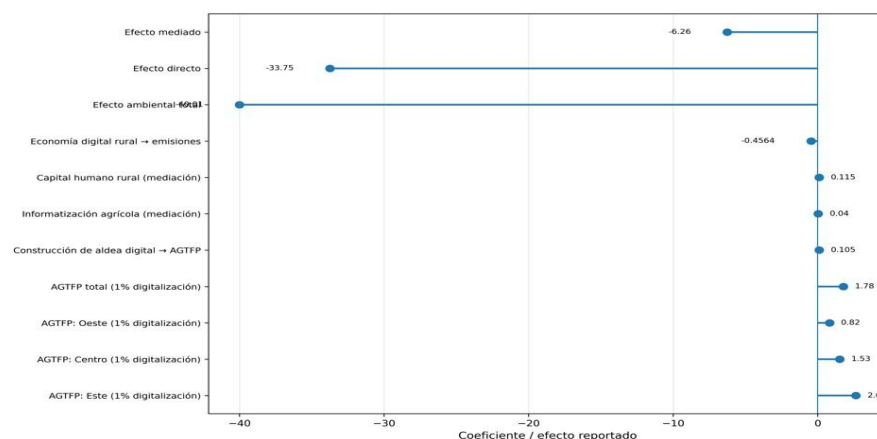


Nota. El gráfico representa los cambios de pendiente del efecto de la digitalización rural Fuente. Elaboración propia con base en Lu et al. (2024).

La Figura 2 permite observar un comportamiento no lineal. Antes del primer umbral, el efecto es bajo, con coeficiente de 0.0462, lo que sugiere una fase inicial de adopción con retornos limitados. Al superar 0.3200, el coeficiente escala a 0.7519, evidenciando un tramo de fuerte aceleración de la productividad verde. Después de 0.7118, el coeficiente desciende a 0.2429, lo que indica atenuación marginal del efecto. Esta forma funcional es consistente con procesos de saturación tecnológica y con la necesidad de complementar la digitalización con capacidades organizativas y humanas.

Figura 3

Efectos comparados de digitalización, mediación y reducción de emisiones



Nota. El gráfico compara magnitudes positivas vinculadas con productividad verde.

La Figura 3 sintetiza el núcleo cuantitativo del estudio. En el cuadrante positivo, la digitalización rural exhibe mayor intensidad explicativa sobre AGTFP en el este que en el centro y el oeste, lo que revela

gradientes territoriales de absorción tecnológica. En el cuadrante negativo, el mayor desplazamiento corresponde al efecto ambiental total de -40.01%, seguido por el efecto directo de -33.75%, mientras la mediación de -6.26% confirma que una fracción relevante del ajuste ambiental ocurre por progreso tecnológico verde. Desde una perspectiva estadística, este patrón respalda la hipótesis de complementariedad entre cooperativismo, capital humano e innovación ecotecnológica para elevar productividad y reducir externalidades.

Discusión

Los resultados obtenidos permiten interpretar que el cooperativismo y la innovación ecotecnológica constituyen factores estructurales que interactúan de manera sinérgica en la configuración de sistemas productivos rurales más sostenibles. En términos organizativos, la evidencia muestra que las estructuras cooperativas facilitan procesos de coordinación económica, circulación de conocimiento técnico y acceso a recursos productivos, lo cual coincide con lo planteado por Candemir et al. (2021), quienes sostienen que las cooperativas agrícolas funcionan como mecanismos institucionales capaces de mejorar simultáneamente la sostenibilidad económica y organizativa de las unidades productivas rurales. En este mismo sentido, los hallazgos del presente estudio, donde más del 90% de los productores reportan mejoras en acceso a tecnología, financiamiento y negociación comercial, refuerzan la interpretación de que la cooperación organizada reduce las limitaciones estructurales propias de la agricultura a pequeña escala.

Desde una perspectiva productiva, los resultados también se alinean con lo reportado por Ma et al. (2023), quienes identificaron en su metaanálisis una asociación positiva entre membresía cooperativa y rendimiento agrícola en países en desarrollo. Los patrones estadísticos observados en esta investigación sugieren que la cooperación productiva no solo incrementa la eficiencia económica, sino que también fortalece la capacidad de los productores para adoptar innovaciones tecnológicas orientadas a la sostenibilidad. De forma complementaria, Liang et al. (2023) señalan que las cooperativas actúan como plataformas de difusión tecnológica que permiten acelerar la transición hacia prácticas agrícolas ambientalmente responsables, lo cual coincide con los elevados niveles de adopción tecnológica reportados por los productores cooperativizados en este estudio.

En relación con la innovación tecnológica, los resultados evidencian que la digitalización rural y la incorporación de soluciones ecotecnológicas generan impactos positivos sobre la productividad verde del sistema agrícola. El incremento estimado de 1.78% en la productividad total de los factores verdes por cada aumento de 1% en digitalización rural coincide con las conclusiones de Huang y Wang (2024), quienes demostraron que la innovación tecnológica aplicada a la agricultura mejora simultáneamente la eficiencia productiva y el desempeño ambiental. Asimismo, los efectos positivos identificados en este estudio refuerzan el argumento planteado por Testa et al. (2022), quienes sostienen que la sostenibilidad en los sistemas agroalimentarios depende en gran medida de la capacidad de integrar innovación tecnológica con estrategias organizativas y productivas orientadas a la reducción de impactos ambientales.

Otro hallazgo relevante del análisis corresponde al efecto reductor de la digitalización sobre la intensidad de emisiones agrícolas, evidenciado por coeficientes negativos cercanos a -0.45 . Este resultado coincide con lo señalado por Zhang et al. (2024), quienes identificaron que el desarrollo de economías digitales rurales contribuye a disminuir las emisiones asociadas a la producción agrícola mediante mejoras en eficiencia energética, gestión de insumos y optimización de procesos productivos. De manera similar, Lu et al. (2024) argumentan que la digitalización rural permite incrementar la productividad total de los factores verdes al facilitar la gestión inteligente de recursos y mejorar la toma de decisiones en las explotaciones agrícolas.

Adicionalmente, el comportamiento no lineal observado en la relación entre digitalización y productividad verde confirma la existencia de umbrales tecnológicos que condicionan la magnitud del impacto productivo. Este patrón es consistente con lo señalado por Šermukšnytė-Alešiūnienė y Melnikienė (2024), quienes indican que los beneficios de la digitalización en pequeñas explotaciones agrícolas tienden a intensificarse una vez superados ciertos niveles de adopción tecnológica y capital humano. En este contexto, los resultados obtenidos sugieren que la innovación ecotecnológica produce efectos más significativos en territorios donde existen condiciones institucionales y organizativas que facilitan la absorción del cambio tecnológico.

Los hallazgos del estudio permiten sostener que la sostenibilidad productiva rural emerge de la interacción entre tres dimensiones fundamentales: cooperación organizativa, innovación tecnológica y capacidades territoriales de aprendizaje. En esta línea, Irungu et al. (2023) destacan que las redes de innovación rural desempeñan un papel clave en la articulación de actores públicos, privados y comunitarios para promover transformaciones sostenibles en los sistemas agroalimentarios. De igual manera, Chaparro-Banegas et al. (2024) argumentan que la ecoinnovación en el sector agroalimentario representa una vía estratégica para integrar progreso tecnológico, competitividad económica y sostenibilidad ambiental.

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos permiten inferir que el cooperativismo constituye un factor estructural relevante en la consolidación de sistemas productivos rurales sostenibles, en la medida en que las organizaciones asociativas facilitan la agregación de capacidades productivas, tecnológicas y financieras entre los actores rurales. El análisis estadístico evidencia que los mecanismos cooperativos asociados a acceso a tecnología, negociación colectiva, uso compartido de recursos y acceso a financiamiento presentan niveles de aceptación superiores al 84%, con valores cercanos al 96% en variables relacionadas con incorporación tecnológica. Esta concentración de frecuencias en el extremo superior de la escala indica una fuerte asociación entre la estructura cooperativa y el fortalecimiento de la eficiencia productiva, lo cual sugiere que las economías de escala organizativa contribuyen a mejorar simultáneamente la competitividad agrícola y la estabilidad económica de los productores rurales.

De manera complementaria, los resultados econométricos muestran que la innovación ecotecnológica y los procesos de digitalización rural presentan efectos estadísticamente significativos sobre la productividad total de los factores en su dimensión ambiental. Los coeficientes estimados indican que incrementos marginales en los niveles de digitalización se traducen en aumentos proporcionales en la productividad verde del

sistema agrícola, con elasticidades positivas que reflejan una relación funcional entre progreso tecnológico y eficiencia productiva sostenible. Asimismo, los modelos estimados evidencian una reducción significativa en la intensidad de emisiones asociadas a la actividad agrícola, lo cual confirma que la incorporación de tecnologías digitales y soluciones ecotecnológicas no solo incrementa el rendimiento productivo, sino que también favorece procesos de optimización en el uso de insumos, energía y recursos naturales.

Desde una perspectiva analítica más amplia, los resultados permiten sostener que la sostenibilidad productiva rural emerge de la interacción dinámica entre innovación tecnológica, estructuras organizativas cooperativas y capacidades territoriales de absorción del conocimiento. El comportamiento no lineal observado en los efectos de la digitalización sugiere la existencia de umbrales tecnológicos a partir de los cuales los beneficios productivos y ambientales se intensifican, lo que indica que la transformación tecnológica de los sistemas agrícolas requiere niveles mínimos de infraestructura, capital humano y articulación institucional para generar impactos significativos. En consecuencia, la convergencia entre cooperativismo e innovación ecotecnológica configura un mecanismo estratégico para impulsar procesos de desarrollo rural sostenible, caracterizados por mayores niveles de productividad agrícola, eficiencia ambiental y resiliencia territorial frente a los desafíos económicos y ecológicos del sistema agroproductivo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alarcón Conde, M. Á., & Álvarez Rodríguez, J. F. (2025). La economía social y solidaria desde la perspectiva del institucionalismo económico. CIRIEC-España, Revista de Economía Pública, Social y Cooperativa, 114, 383–410. <https://doi.org/10.7203/CIRIEC-E.114.30402>
- Álvarez-Gómez, H.-A., Escobar-Sierra, M., & Polanco, J.-A. (2024). Dimensiones de evaluación de impacto de políticas públicas agrícolas: una revisión sistemática de literatura. Cuadernos de Desarrollo Rural, 21. <https://doi.org/10.11144/Javeriana.cdr21.eipp>
- Auer, A., Mikkelsen, C. A., & Laterra, P. (2024). Adopción de innovaciones tecnológicas sustentables agropecuarias en la provincia de Buenos Aires (Argentina): desacoples entre la visión de la academia, la extensión y el sector productivo. Cuadernos de Desarrollo Rural, 21. <https://doi.org/10.11144/Javeriana.cdr21.aits>
- Bageneta, J. M., & Palmisano, T. (2023). Reflexiones acerca del pensamiento cooperativista de Alexander Chayanov a partir de dos casos de estudio en Argentina. Cuadernos de Desarrollo Rural, 20. <https://doi.org/10.11144/Javeriana.cdr20.rapc>
- Barrera Betancourth, M., Vélez Vargas, L. D., & Muriel Ruiz, S. B. (2023). Índice de multifuncionalidad de la agricultura y racionalidad económica de sistemas de producción tradicionales. Cuadernos de Desarrollo Rural, 20. <https://doi.org/10.11144/Javeriana.cdr20.imar>
- Briones Peñalver, A. J., de Nieves Nieto, C., & Bernal-Conesa, J. A. (2023). Análisis de la RSC en los agronegocios de Costa Rica: su influencia en la Cooperación, Innovación y Desarrollo. Cuadernos de Desarrollo Rural, 20. <https://doi.org/10.11144/Javeriana.cdr20.accr>

- Candemir, A., Duvaléix, S., & Latruffe, L. (2021). Agricultural cooperatives and farm sustainability: A literature review. *Journal of Economic Surveys*, 35(4), 1118–1144. <https://doi.org/10.1111/joes.12417>
- Chaparro-Banegas, N., Sánchez-García, M., Calafat-Marzal, C., & Roig-Tierno, N. (2024). Transforming the agri-food sector through eco-innovation: A path to sustainability and technological progress. *Business Strategy and the Environment*, 33(8), 9075–9097. <https://doi.org/10.1002/bse.3968>
- Coradini, N. A. B., Viana, J. G. A., & Dalla Valle, C. (2024). El cambio institucional como factor endógeno del desarrollo: análisis de los sistemas ganaderos del sur de Brasil. *Cuadernos de Desarrollo Rural*, 21. <https://doi.org/10.11144/Javeriana.cdr21.iced>
- García-García, F., Sanguinet, E., Sánchez, V., & Roco, L. (2024). La relación entre cooperativas de gran tamaño y la consolidación de clústeres cooperativos en el cooperativismo agrícola en Chile: un análisis espacial exploratorio. *EURE*, 50(151). <https://doi.org/10.7764/EURE.50.151.08>
- Gutiérrez, J., Avendaño Arias, J. A., Marin Salazar, Y. A., Rojas Rojas, A. L., Torres Garcia, C., & Rojas Rojas, D. L. (2024). Costos de oportunidad como estrategia de conservación ambiental: un análisis bibliométrico. *Cuadernos de Desarrollo Rural*, 21. <https://doi.org/10.11144/Javeriana.cdr21.coec>
- Hernández Cáceres, D. (2023). El principio cooperativo de interés por la comunidad en la legislación. El Fondo de Educación y Promoción como principal instrumento para su implementación. *REVESCO. Revista de Estudios Cooperativos*, 144, e87970. <https://doi.org/10.5209/reve.87970>
- Hernández-Flores, J. Á., Gallego-Moreno, F. J., Díaz-Puente, J.-M., & Bettoni, M. (2024). Contribuciones de los programas de desarrollo rural con enfoque LEADER a la gobernanza territorial. El caso de la Alcarria Conquense, España (1991-2021). *Estudios Demográficos y Urbanos*, 39(3), e2229. <https://doi.org/10.24201/edu.v39i3.2229>
- Homs Ramírez de la Piscina, P., Sama Acedo, S., & Berná Serna, D. (2024). La sostenibilidad del cooperativismo agroecológico: desafíos de los supermercados cooperativos y otros modelos de crecimiento en Cataluña. *REVESCO. Revista de Estudios Cooperativos*, 149, e97856. <https://doi.org/10.5209/reve.97856>
- Huang, W., & Wang, X. (2024). Technological innovation, agricultural productivity and environmental sustainability. *Sustainability*, 16(19), 8480. <https://doi.org/10.3390/su16198480>
- Ibourk, A., Amaghous, J., & Boutti, R. (2023). Agricultural cooperatives' sustainability and rural development policies. *Sustainability*, 15(4), 3460. <https://doi.org/10.3390/su15043460>
- Irungu, R., Liu, Z., Liu, X., & Wanjiru, A. (2023). Rural innovation networks and sustainable development goals. *Sustainability*, 15(17), 13221. <https://doi.org/10.3390/su151713221>
- Juárez García, A., Schmook, B. I., Gerritsen, P. R. W., Casas Fernández, A., & van der Wal, J. C. (2025). Agricultura familiar y transformaciones socioproductivas en el sistema rural-urbano del municipio de

- Centro, Tabasco, en el sur de México. Cuadernos de Desarrollo Rural, 22. <https://doi.org/10.11144/Javeriana.cdr22.afts>
- Kalogiannidis, S., Karafolas, S., & Chatzitheodoridis, F. (2024). The key role of cooperatives in sustainable agriculture and agrifood security. *Sustainability*, 16(16), 7202. <https://doi.org/10.3390/su16167202>
- Konfo, T., Chabi, A., Gero, A., Lagnika, C., Avlessi, F., Biao, G., & Sohounhloue, C. (2024). Climate-smart innovations in agrifood systems and sustainable agricultural development. *Journal of Agriculture and Food Research*, 15, 100985. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2024.100985>
- Liang, Q., Ma, K., & Liu, W. (2023). Farmer cooperatives and environmentally sustainable agricultural development. *Annals of Public and Cooperative Economics*, 94(3), 741–759. <https://doi.org/10.1111/apce.12444>
- Lu, S., Zhuang, J., Sun, Z., & Huang, M. (2024). Rural digitalization and agricultural green productivity. *Heliyon*, 10(15), e35296. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e35296>
- Ma, W., Hong, S., Reed, W., Duan, J., & Lu, P. (2023). Yield effects of agricultural cooperative membership in developing countries: A meta-analysis. *Annals of Public and Cooperative Economics*, 94(3), 761–780. <https://doi.org/10.1111/apce.12411>
- Meliá Martí, E., Juliá Igual, J. F., & Lajara Camilleri, N. (2024). Las cooperativas agroalimentarias de segundo grado de nueva generación. Un estudio de casos. *REVESCO. Revista de Estudios Cooperativos*, 148, e97857. <https://doi.org/10.5209/reve.97857>
- Mozas-Moral, A., Puentes-Poyatos, R., & Bernal-Jurado, E. (2025). Situación de la investigación en sostenibilidad en la Economía Social: Tendencias y líneas de investigación. *CIRIEC-España, Revista de Economía Pública, Social y Cooperativa*, 114, 223–253. <https://doi.org/10.7203/CIRIEC-E.114.30336>
- Murtagh, S. (2025). Factores psicosociales en la adopción de innovaciones: análisis de cuatro propuestas en pequeños productores de Formosa, Argentina. *Cuadernos de Desarrollo Rural*, 22. <https://doi.org/10.11144/Javeriana.cdr22.fpai>
- Nsenga Kumwimba, M., Zhu, B., Stefanakis, A., Ajibade, F., Dzakupasu, M., Soana, E., Wang, T., Arif, M., Muyembe, D., & Agboola, T. (2023). Advances in ecotechnological methods for diffuse nutrient pollution control. *Frontiers in Environmental Science*, 11, 1199923. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2023.1199923>
- Restrepo Betancur, F. (2024). Participación femenina en el sector agropecuario en Sudamérica en las dos últimas décadas. *Mundo Agrario*, 25(58), e241. <https://doi.org/10.24215/15155994e241>
- Rodríguez Giraldo, J. J., & Franco Borrero, N. (2024). Análisis de dos sistemas de agro acuicultura integrada en Colombia bajo el enfoque de arquetipos de modelo de negocio sostenible. *Cuadernos de Desarrollo Rural*, 21. <https://doi.org/10.11144/Javeriana.cdr21.adsa>

- Sánchez-Galán, E., Pile, E., Ábrego, J., Gutiérrez, M., & Chang, A. (2025). Sostenibilidad de la pesca artesanal en la comunidad rural de Río Congo, Darién. Cuadernos de Desarrollo Rural, 22. <https://doi.org/10.11144/Javeriana.cdr22.spac>
- Šermukšnytė-Alešiūnienė, K., & Melnikienė, R. (2024). The effects of digitalization on the sustainability of small farms. Sustainability, 16(10), 4076. <https://doi.org/10.3390/su16104076>
- Tarantini, E. S., & Landini, F. P. (2023). El rol del investigador agropecuario en el marco de procesos de innovación agropecuaria: tensión entre prácticas reales e ideales. Cuadernos de Desarrollo Rural, 20. <https://doi.org/10.11144/Javeriana.cdr20.eria>
- Testa, S., Nielsen, K., Vallentin, S., & Ciccullo, F. (2022). Sustainability-oriented innovation in the agri-food system. Technological Forecasting and Social Change, 179, 121653. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2022.121653>
- Urbaniec, M., Kuzma, E., & Szopik-Depczyńska, K. (2021). Eco-innovation and sustainable development in agriculture and food systems. Sustainability, 13(14), 7936. <https://doi.org/10.3390/su13147936>
- Zhang, H., Guo, K., Liu, Z., Ji, Z., & Yu, J. (2024). Rural digital economy and agricultural carbon emissions. Frontiers in Environmental Science, 12, 1372500. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2024.1372500>

Conflicto de intereses:

Los autores declaran que no existe conflicto de interés posible.

Financiamiento:

No existió asistencia financiera de partes externas al presente artículo.

Nota:

El artículo no es producto de una publicación anterior.