



ÍNDICE DE SUSTENTABILIDAD DE LA PRODUCCIÓN DE PAPA (*Solanum tuberosum* L.) EN CUTERVO, PERÚ †

[SUSTAINABILITY INDEX OF THE POTATO (*Solanum tuberosum* L.) PRODUCTION AGROECOSYSTEM IN CUTERVO, PERU]

Roberto Hugo Tirado-Malaver^{1*}, Roberto Tirado-Lara²,
Juan Mendoza-Cortez³, Nayla Fabián-Anastacio¹, Ronald Tirado-Malaver¹
and Ángel Campos-Julca¹

¹Escuela Profesional de Agronomía, Facultad Ingeniería Agrarias, Industria Alimentarias y Ambientales, Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión, Av. Mercedes Indacochea N° 609, Lima, Perú. Email:

acamposj@unifsc.edu.pe, hugotiradomalaver@gmail.com

²Facultad de Agronomía, Universidad Nacional Pedro Rútz Gallo, Av. Juan XXIII N° 391, Lambayeque, Perú. E-mails: tiradolararoberto@gmail.com

³Universidad Nacional Agraria La Molina. Avenida La Molina s/n. Facultad de Agronomía, Departamento Académico de Fitotecnia, tercer piso-La Molina. Lima, Perú. E-mail: jmendoza@lamolina.edu.pe

*Autor por correspondencia

SUMMARY

Background: Potato cultivation in the northern highlands of Peru has intensified due to the high demand of the national market for the nutritional quality of this tuber, however, the conventional system presents critical points in social, economic and environmental terms that limit the profitability of the cultivation, being relevant the identification of these critical points to carry out the intervention and propose strategies to improve said agricultural system. **Objective:** Determine the sustainability index of potato producing farms in the province of Cutervo, Cajamarca, Peru. **Methodology:** 165 questionnaires with structured questions were applied to farmers whose main activity is potato cultivation. Multiple correspondence analysis was used to determine the reliability of these surveys. The values of the economic, social and environmental indicators were found through multidimensional analysis and an ordinal scale from 1 to 5, in which "1" was considered the least sustainable and "5" as a maximum level of sustainability. **Results:** The analysis of internal consistency of data for the 14 indicators and 24 sub-indicators presented Cronbach's alpha coefficients of 0.977 and 0.968 respectively, indicating high reliability and acceptable internal consistency of the evaluated indicators and therefore, the questionnaire presents high reliability. Likewise, the sustainable analysis of the potato agroecosystem in Cutervo reported that the farms are socially and environmentally sustainable, with indexes of 3.39 and 3.11, respectively, while the economic dimension presented critical conditions with a value below the minimum sustainable threshold (2.93) being the critical points: "percentage that causes the incidence of pests and diseases in potatoes", "number of marketing channels", "dependence on external inputs", "application of organic matter", "internal conservation", "situ of native varieties", "degree of damage from the use of pesticides" and "use of pesticides". Regarding the general sustainability index, the potato agroecosystem is not sustainable. **Implications:** Potato producers in the mountains need to reduce environmental impact and increase productivity and profitability. **Conclusion:** The sustainability index of the potato agroecosystem in Cutervo, Peru, reported that the social and environmental dimensions exceeded the critical conditions while the economic dimension presented values below the minimum threshold of sustainability, resulting that the potato production system is not sustainable. Therefore, it is necessary to intervene in the sub-indicators that presented critical points and thus establish strategies to improve the potato agroecosystem in the northern highlands of Peru.

Key words: agroecosystem; dimension; farm; indicator; subindicator.

† Submitted May 6, 2023 – Accepted November 18, 2023. <http://doi.org/10.56369/tsaes.4934>



Copyright © the authors. Work licensed under a CC-BY 4.0 License. <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

ISSN: 1870-0462.

ORCID = Roberto Hugo Tirado-Malaver: <http://orcid.org/0000-0002-4615-5310>

RESUMEN

Antecedentes: El cultivo de papa en la sierra norte del Perú se ha intensificado debido a la alta demanda del mercado nacional por la calidad nutritiva de este tubérculo: sin embargo, el sistema convencional presenta puntos críticos en términos sociales, económicos y ambientales que limitan la rentabilidad del cultivo, siendo relevante la identificación de estos puntos críticos para realizar la intervención y proponer estrategias para mejorar dicho sistema agrícola. **Objetivo:** Determinar el índice de sustentabilidad de las fincas productoras de papa en la provincia de Cutervo, Cajamarca, Perú. **Metodología:** Se aplicaron 165 cuestionarios con preguntas estructuradas a los agricultores cuya actividad principal es el cultivo de papa. El análisis de correspondencia múltiple se usó para determinar la fiabilidad de la encuesta. Se hallaron los valores de los indicadores económicos, sociales y ambientales mediante el análisis multidimensional y escala ordinal de 1 a 5, en el cual “1” se consideró como el menos sustentable y “5” como un nivel máximo de sustentabilidad. **Resultados:** El análisis de consistencia interna de datos para los 14 indicadores y 24 subindicadores presentaron coeficientes de alfa de Cronbach de 0.977 y 0.968 respectivamente, indicando alta confiabilidad y consistencia interna aceptable de los indicadores evaluados y por tanto, el cuestionario presenta alta fiabilidad. Asimismo, el análisis sustentable del agroecosistema de papa en Cutervo, reportó que las fincas son social y ambientalmente sustentables ya que alcanzaron índices de 3.39 y 3.11 respectivamente, en cambio para la dimensión económica presentó condiciones críticas con valor por debajo del umbral mínimo sustentable (2.93) siendo los puntos críticos: “porcentaje que ocasiona la incidencia de plagas y enfermedades en papa”, “número de vías de comercialización”, “dependencia de insumos externo”, “aplicación de materia orgánica”, “conservación *in situ* de las variedades nativas”, “grado de daño del uso de pesticidas” y “uso de pesticidas”. Con respecto al índice de sustentabilidad general, el agroecosistema de papa no es sustentable. **Implicaciones:** Los productores de papa en la sierra requieren reducir el impacto ambiental y aumentar la productividad y rentabilidad. **Conclusión:** El índice de sustentabilidad del agroecosistema de papa en Cutervo, Perú, reportó que la dimensión social y ambiental superaron las condiciones críticas mientras que la dimensión económica presentó valor por debajo del umbral mínimo de sustentabilidad, resultando que el sistema de producción de papa no es sustentable. Por lo tanto, es necesario la intervención en los subindicadores que presentaron puntos críticos y de esta manera establecer estrategias para mejorar el agroecosistema de papa en la sierra norte del Perú.

Palabras clave: agroecosistema; dimensión; finca; indicador; subindicador.

INTRODUCCIÓN

La papa (*Solanum tuberosum* L.) es uno de los cultivos más importantes del mundo debido a su alto contenido de carbohidratos, vitaminas, minerales, aminoácidos esenciales y otros compuestos orgánicos que tienen beneficios en la salud humana, siendo un cultivo alimenticio altamente demandado por los consumidores de todo el mundo (Grados *et al.*, 2020). Además, presenta diversos usos en las industrias alimentarias tal como enlatado, almidón, harina y papas fritas, entre otros (Tirado *et al.*, 2018; Ebrahimian *et al.*, 2022). Alcanzando en el 2022, una producción mundial de 359.1 millones de t (Çalışkan *et al.*, 2023).

En Perú el cultivo de papa es clave en términos económicos, ambientales y sociales, debido al alto número de horas de mano de obra, generación de empleos directos e indirectos, uso de insumos y servicios, entre otros (Tirado *et al.*, 2021). Según MINAGRI (2022) la producción de papa a nivel nacional fue de 3,1 millones de t, de las cuales Cajamarca es una de las regiones que destaca; ocupando el cuarto lugar en el ranking nacional, siendo Cutervo una de sus provincias que genera mayor producción. No obstante, los pequeños

productores andinos son los principales abastecedores de la producción nacional (Tirado *et al.*, 2021).

Los productores cuya actividad principal es el cultivo de papa en Cutervo, manejan un sistema agrícola convencional, altamente dependiente y demandante de insumos químicos, tal como el uso masivo e indiscriminado de pesticidas químicos para controlar agentes biológicos nocivos en las plantas, que son recurrentes y frecuentes debido a las condiciones climáticas de Cutervo, generando un riesgo en la salud del agricultor y del consumidor e impactando negativamente en el ambiente (Tirado *et al.*, 2019). Además, existen otros problemas, como el uso intensivo del suelo y la falta de conocimiento sobre la adopción de prácticas agrícolas con mínima dependencia de agroquímicos (Mejía-Valvas *et al.*, 2020). Esto dificulta la resiliencia del agroecosistema papa provocando un impacto en el corto, mediano y largo plazo que afectará negativamente la sustentabilidad del cultivo y la calidad de vida del agricultor (Martínez *et al.*, 2022).

Ante esta situación se sugiere evaluar este sistema agrícola con relación a la sustentabilidad, mediante el uso de un conjunto de indicadores que

proporcionen información útil para comprender el estado del sistema productivo (Qin *et al.*, 2022) y de esta forma desarrollar alternativas de manejo que aseguren el uso correcto de los recursos y prácticas agrícolas con mínima dependencia de agroquímicos, económicamente viables y que proporcionen una mejor calidad de vida para los agricultores y sus familias (Villavicencio *et al.*, 2022).

Aunado a lo anterior y ante el incremento poblacional los productores de papa deben buscar alternativas para lograr la suficiencia alimentaria, pues se estima que para el 2050 las necesidades alimentarias serán hasta 70% mayores (van Dijk *et al.*, 2021). Además, el cambio climático está alterando las condiciones ambientales en la agricultura, obligando a los productores de papa a buscar alternativas, como el fortalecimiento del sistema de producción, genotipos mejorados con resistencia a diferentes enfermedades y tolerancia al estrés abiótico (Garza *et al.*, 2022).

Por su parte, la sustentabilidad calcula el estado actual del sistema agrícola medido por indicadores económicos, ambientales y sociales (Abdar *et al.*, 2022). Zarei *et al.* (2021) indican que diversos autores han demostrado que el uso de indicadores permite determinar la sustentabilidad de un sistema agrícola evaluado. Existe una gran diversidad de metodologías que miden la sustentabilidad (Smith *et al.*, 2020), entre ellas, Sarandón (2002) plantea una propuesta metodológica que permite cuantificar el índice de sustentabilidad con el uso de indicadores económicos, ambientales y sociales a través de la colecta de datos mediante cuestionarios con preguntas estructuradas aplicados a los productores de las fincas agrícolas; los resultados que se obtienen permiten construir una representación gráfica donde se resaltan los aspectos positivos y negativos (puntos críticos) sobre los cuales se pueden establecer alternativas de solución para fortalecer el agroecosistema evaluado (Pashkevich *et al.*, 2022). En este contexto, el objetivo de la presente investigación fue determinar el índice de sustentabilidad de las fincas productoras de papa en la provincia de Cutervo, Cajamarca mediante el uso de indicadores de sustentabilidad.

MATERIALES Y MÉTODOS

Lugar de estudio

El presente trabajo de investigación se realizó en las zonas productoras de papa, en la provincia de Cutervo, Cajamarca la cual se encuentra en la Sierra Norte de Perú, con las siguientes coordenadas: 6°22'53" de Latitud Sur y 78°49'06" de Longitud

Oeste y a una altitud de 2617 metros sobre el nivel del mar.

La provincia de Cutervo cuenta con 1738 agricultores paperos, a través de un muestreo aleatorio simple se entrevistó a 165 agricultores responsables de la administración y manejo de la finca agrícola cuya actividad principal es el cultivo de papa. El análisis de sustentabilidad se realizó mediante la metodología multicriterio según Flores y Sarandón (2014) que se basa en el uso de indicadores que analizan las cualidades más importantes del agroecosistema en las tres dimensiones (económico, ambiental y social).

Construcción de indicadores

Los indicadores son herramientas adecuadas y flexibles para evaluar tendencias, establecer diferencias entre fincas y detectar puntos críticos de manejo de recursos para el logro de una agricultura sustentable (Zarei *et al.*, 2021). Los indicadores se construyeron de acuerdo a la metodología propuesta por Sarandón y Flores (2014), siguiendo los lineamientos de Astier *et al.* (2008) y adecuando al modelo empleado por Pinedo *et al.* (2022). Se consideró al indicador como una variable seleccionada y cuantificada que hace clara una tendencia que de otra forma no sería fácilmente detectable (Sarandón, 2002). Estos indicadores estuvieron compuestos, a su vez, por subindicadores que se calcularon de forma aditiva.

Estandarización y ponderación de los indicadores

Para permitir la comparación de las fincas y facilitar el análisis de las múltiples dimensiones de sustentabilidad, los datos fueron estandarizados mediante su transformación a una escala del 1 a 5, tal como proponen Contreras *et al.* (2019), donde el valor de sustentabilidad es: muy crítica (0 a 1.99), crítica (2 a 2.99), débil (3 a 3.99), media (4 a 4.99) y alta (igual a 5). Todos los valores, independientemente de su unidad original, fueron transformados o adecuados a esta escala. Posteriormente, los indicadores fueron ponderados multiplicando el valor de la escala por un coeficiente de acuerdo con la importancia relativa de cada variable con respecto a la sustentabilidad. Este coeficiente multiplicó, tanto el valor de las variables que forman el indicador como el de los indicadores, para construir indicadores de mayor nivel o índices, según lo propuesto por Mejía-Valvas *et al.* (2020).

Asimismo, para calcular la fiabilidad del instrumento diseñado se determinó el alpha de Cronbach a través del análisis de consistencia interna de los datos

ordinales de cada subindicador o variable y su nivel de similitud, los cuales fueron validados a través del análisis de correspondencia múltiple, técnica multivariada de reducción y categorización de variables con respecto a las dimensiones en que se componen, de acuerdo a lo establecido por Cruz y Useche (2021). Los valores del alfa de Cronbach oscilan de 0 a 1, un valor mayor a 0.70 se considera aceptable e indica mayor fiabilidad, en cambio valores menores indican una débil relación entre las variables (Martínez *et al.*, 2021).

Descripción y ponderación de los indicadores elegidos

La aplicación de la metodología para la construcción de indicadores adecuados a los objetivos buscados,

permitió obtener una serie de indicadores estandarizados y ponderados para las tres dimensiones analizadas (Tabla 1): económica, social y ambiental.

Dimensión económica (IK)

Se eligieron indicadores que brindaron información necesaria y permitieron detectar tendencias en el ámbito de la zona papera de la provincia de Cutervo. El valor del indicador económico (IK), fue calculado con la siguiente relación matemática:

$$IK = ((A1+A2)/2) + (B1+B2)/2 + C1 + (D1+D2+D3)/3)/4.$$

Tabla 1. Dimensiones, indicadores y sub-indicadores para evaluar la sustentabilidad económica, social y ambiental de las fincas productoras de papa en Cutervo, Cajamarca.

Dimensión	Indicador	Sub-indicador
Económica	A. Riesgo económico	A1.- Diversificación de la producción de un sistema A2: Superficie de producción de autoconsumo
	B. Rentabilidad de la finca	B1.- Productividad B2.- Incidencia de plagas y enfermedades.
	C. Ingreso neto mensual	C1.- El ingreso neto mensual.
	D. Diversificación	D1.- Diversificación para la venta D2.- Número de vías de comercialización. D3.- Dependencia de insumos externos.
Social	A. Satisfacción de las necesidades básicas	A1.- Vivienda. A2.- Acceso a la educación. A3.- Acceso a salud y cobertura sanitaria. A4.- Servicios.
	B. Aceptabilidad del sistema de producción	B1.- Aceptabilidad del sistema de producción.
	C. Integración social	C1.- Integración social.
	D. Conocimiento tecnológico y conciencia ecológica	D1.- Conocimiento tecnológico y conciencia ecológica
Ambiental	A. Conservación de la vida de suelo	A1.- Rotación de cultivos A2.- Aplicación de fertilizantes químicos A3.- Aplicación de materia orgánica
	B. Riesgo de erosión	B1.- Pendiente predominante B2.- Métodos de conservación de suelos
	C. Conservación in situ de las variedades locales de papa nativa.	C1.- Conservación in situ de variedades locales de papa nativa
	D. Grado del daño a la biodiversidad por el uso excesivo de pesticidas	D1.- Grado de daño por uso de pesticidas D2.- Uso de pesticidas D3.- Comunicación con las autoridades locales ante el manejo inadecuado de envases usados de pesticidas.

Dimensión social (IS)

El análisis de la dimensión sociocultural es de suma importancia ya que permite identificar a las fincas productoras de papa según los servicios con que cuentan, el conocimiento sobre el daño al medio ambiente, la importancia de sus recursos naturales, la integración, tecnología que utilizan y aceptación de nuevas tecnologías por las que podrían optar. El indicador que mide el grado de cumplimiento de la dimensión social (IS), se calculó de la siguiente manera:

$$IS = (((A1+A2+A3+A4)/4) + B1 + C1 + D1)/4$$

Dimensión ambiental (IA)

El indicador que mide el grado de cumplimiento de la dimensión ambiental (IA), se calculó de la siguiente manera:

$$IA = (((A1+A2+A3)/3) + (B1+B2)/2 + C1 + (D1+D2+D3)/3))/4.$$

Índice de sustentabilidad general (ISG)

Por último, con los datos de las dimensiones económicas (IK), ambientales (IA) y sociales (IS), valorando las tres dimensiones por igual, de acuerdo al marco conceptual definido previamente, fue calculado el índice de sustentabilidad general (ISG) mediante una simple relación matemática: $ISG = (IK+IA+IS)/3$. El valor de cada dimensión debe ser mayor a 3, para que el sistema de producción de papa en Cutervo se considere sustentable.

Análisis estadístico

El procesamiento de los datos obtenidos de los cuestionarios fue a través del software Microsoft Excel y el análisis de Correspondencia Múltiple estadístico se realizó mediante el software SPSSv22.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Validación de consistencia interna de los datos

El análisis de correspondencia múltiple mostrado en la Tabla 2, describe a la finca de papa de forma completa al visualizar qué variables están más relacionadas y asociadas a la sustentabilidad económica, social y ambiental de acuerdo con lo descrito por De Anda-Montaña *et al.* (2020). Asimismo, la consistencia interna de datos para los

14 indicadores y 24 subindicadores (variables) presentaron coeficientes de alfa de Cronbach de 0.977 y 0.968 respectivamente, indicando alta confiabilidad y consistencia interna aceptable de los indicadores evaluados. Este resultado es corroborado por Martínez *et al.* (2021) quienes indican que el valor de Alfa de Cronbach que se encuentre entre el rango de 0.70 y 0.95 muestra fiabilidad adecuada y explica que las dimensiones están correlacionadas e interdependientes garantizando la pertinencia del análisis y facilitando la relación de los casos; por tanto, el cuestionario presenta alta fiabilidad.

El modelo muestra autovalores que reportan la proporción de la varianza explicada por las dos dimensiones obtenidas a partir del análisis factorial, se muestra que la dimensión 1 (30.327) es más importante que la dimensión 2 (24.035) ya que el valor de inercia es más alto (0.310) en comparación con la segunda (0.250) cabe resaltar que a mayor dependencia entre variables, hay mayor inercia, lo cual significa que los subindicadores reportan mayor dispersión de varianza en la primera dimensión. Asimismo, la Figura 1 muestra las medidas discriminantes de las variables, indicando que la mayoría de los subindicadores presentan mayor concentración en la dimensión 1, siendo estos subindicadores los más representativos para analizar en las fincas y los niveles de sustentabilidad del agroecosistema de producción de papa. Las variables que se encuentran más distantes de la dimensión 1 son los casos atípicos, de acuerdo con lo descrito por Pinedo-Taco *et al.* (2022). En cambio, Valverde y Pinedo (2022) indican que las variables asociadas a la dimensión 1 son más representativas para el análisis productivo y rentable del agroecosistema de producción del cultivo.

Tabla 2. Coeficiente de Alfa de Cronbach para las 24 variables en estudio.

Dimensión	Alfa de Cronbach	Varianza explicada	
		Total	Inercia
		(Autovalores)	
1	0.977	30.327	0.316
2	0.968	24.035	0.250
Total		54.362	0.566
Media	0.973 ^a	27.181	0.283

a. Cálculo de Alfa de Cronbach basado en autovalores promedio.

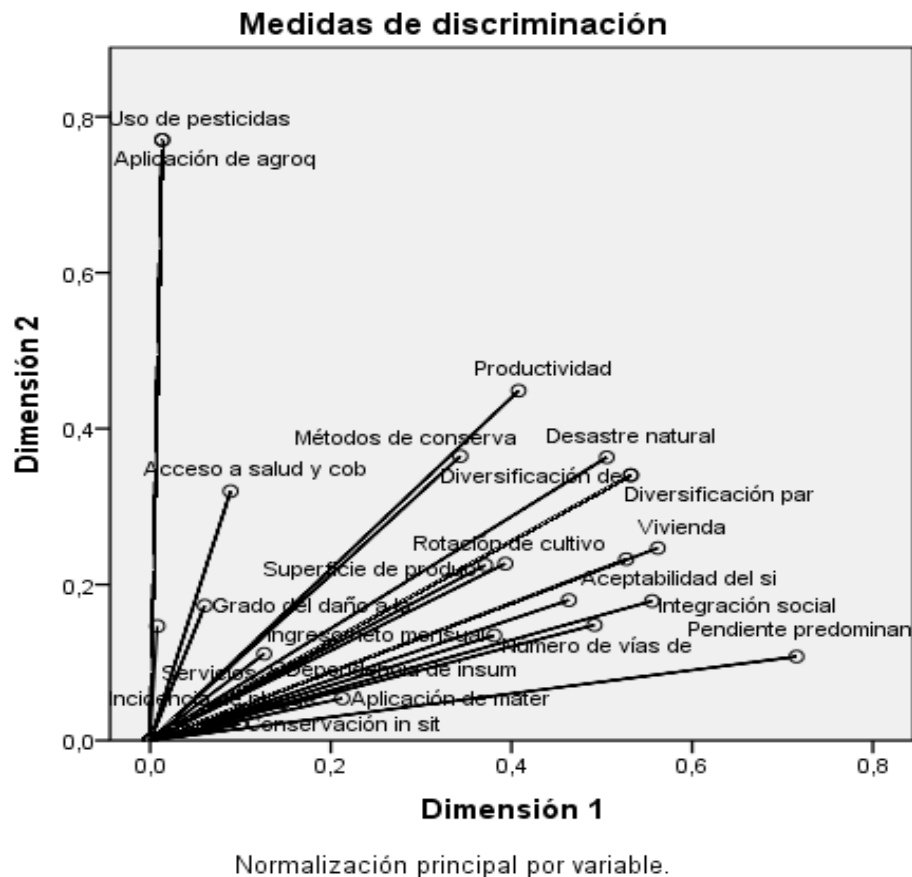


Figura 1. Medidas discriminantes de los subindicadores de sustentabilidad en fincas de papa.

Evaluación de la dimensión económica

Los resultados de la Tabla 3 y Figura 2, expresan un índice de sustentabilidad económica de 2.93 cuyo valor presenta una situación crítica para la sustentabilidad (≤ 3), indica que las fincas no son económicamente sustentables, pues son altamente dependientes de insumos externos, presentan alta incidencia de plagas y enfermedades y tienen pocas vías de comunicación.

El indicador “riesgo económico” presentó en el subindicador, “diversificación de la producción de la finca”, valor superior al umbral mínimo (3.99) ya que en el sistema de producción de papa se produce más de un producto agrícola como trigo, quinua y crianza de animales (ganado vacuno y ovino). Estos resultados se asemejan a lo reportado por Coaquira *et al.* (2019) quienes evaluando la sustentabilidad de papa en la región Jauja, indican que las fincas cuentan con al menos cinco productos para satisfacer el nivel nutricional de la familia.

Tabla 3. Subindicadores de sustentabilidad económica de las fincas de papa en Cutervo, Cajamarca.

Subindicadores	Valor de sustentabilidad
A1. Diversificación de la producción de un sistema	3.89
A2. Superficie de producción de autoconsumo	3.15
B1. Productividad	3.08
B2. Incidencia de plagas y enfermedades en el cultivo de papa	1.96
C1. Ingreso neto mensual	3.42
D1. Diversificación para la venta	2.99
D2. Número de vías de comercialización	1.68
D3. Dependencia de insumos externos	2.12
Índice de sustentabilidad económica (IK)	2.93

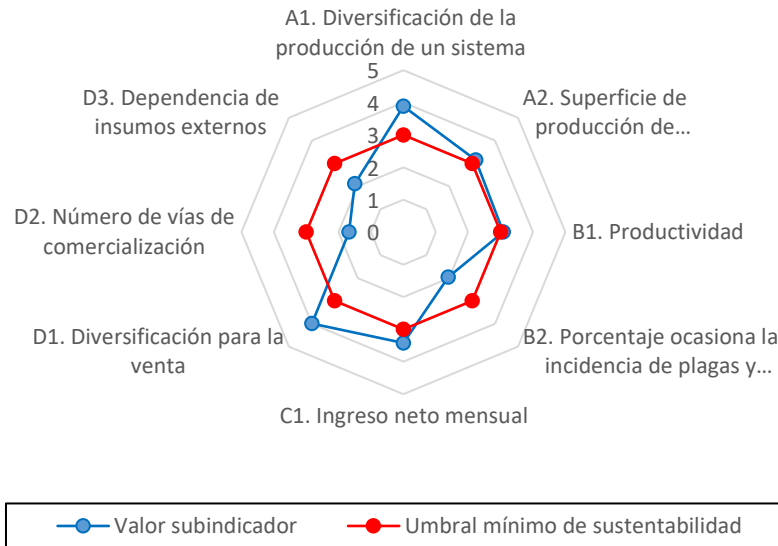


Figura 2. Subindicadores de sustentabilidad económica de las fincas de papa en Cutervo, Cajamarca.

Para el subindicador “superficie de producción para el autoconsumo”, se encontró un valor de 3.15 que supera el umbral crítico de sustentabilidad; al respecto Contreras *et al.* (2019) en su investigación de sustentabilidad de papa en la costa del Perú, constataron que la superficie de producción para el autoconsumo es muy baja debido a que los productores comercializan toda su cosecha. En contraste, en la región donde se realizó el estudio, los agricultores guardan una parte de su cosecha como semilla tubérculo para el siguiente ciclo y la otra parte, la destinan para autoconsumo.

En cuanto al indicador “rentabilidad de la finca”, el subindicador “productividad” muestra un valor que supera al umbral mínimo de sustentabilidad (3.08), ya que estas fincas cuentan con una productividad promedio de 15 a 20 t ha⁻¹. El subindicador “incidencia de plagas y enfermedades” muestra un valor por debajo del umbral mínimo de sustentabilidad (1.96), debido a que los productores señalan una incidencia de plagas y enfermedades del 30 al 40% sobre la producción de papa en sus fincas. Dichos resultados se asemejan a lo reportado para el mismo cultivo por Coaquira *et al.* (2019), Contreras *et al.* (2019) y Villavicencio *et al.* (2022).

En cuanto al indicador “ingreso neto mensual”, las fincas obtuvieron un valor superior al umbral mínimo de sustentabilidad (3.42). Estos resultados se asemejan a lo reportado por Contreras *et al.* (2019) quienes indican que los productores de papa en la

costa del Perú presentan ingresos mensuales altos, probablemente debido a que el sistema de producción en costa permite obtener mayor rendimiento y en consecuencia las ganancias son mayores.

Con respecto al subindicador “diversificación para la venta”, el valor obtenido fue de 3.99 siendo superior al umbral mínimo ya que las fincas en estudio además de producir papa, también cultivan trigo, quinua y hortalizas para la venta. En los sistemas agropecuarios tradiciones de Carhuaz, Martínez *et al.* (2022) indican que los agricultores tienen como objeto asegurar la alimentación de las familias (autosuficiencia alimentaria), por lo que es importante la diversificación de productos agrícolas, en cambio, en la zona baja de Carhuaz, los productores se dedican principalmente a la producción de cultivos para la venta, lo cual les permite generar mayores ganancias para satisfacer las necesidades familiares.

El subindicador “número de vías de comercialización” presentó un valor por debajo del umbral mínimo de sustentabilidad con 1.68. Al respecto, Contreras *et al.* (2019) señalan que el sistema de producción de papa, en la costa también presenta pocas vías de comercialización, por tanto, es necesario implementar más y mejores vías de comercialización para incrementar el ingreso familiar y generar nuevas oportunidades para los productores de papa. En cuanto al subindicador “dependencia de insumos externos”, las fincas

obtuvieron un valor de 2.12, ya que presentan dependencia (entre 61 a 80%) de insumos externos, principalmente de fertilizantes químicos y pesticidas. Este resultado es diferente a lo reportado por Contreras *et al.* (2019), en los sistemas de producción de papa en costa, donde indican que la dependencia de insumos externos es, solamente, del 30 a 40%. En los sistemas agrícolas de papa en Ecuador, Villavicencio *et al.* (2022) señala que la dependencia de insumos externos tuvo un valor más alto en la zona baja que en la zona alta de Carhuaz, ya que la agricultura en esa región es más intensiva y el uso de los insumos externos es mayor.

En la Figura 2, se observa que el sistema de producción de papa tiene que mejorar en cuanto al manejo y control de plagas y enfermedades, el número de vías de comercialización y la dependencia de insumos externos, ya que están poniendo en riesgo la sustentabilidad de las fincas. En ese sentido, es necesaria la intervención e implementación de programas de manejo integrado de plagas y enfermedades entre otras estrategias que permitan reducir el uso de pesticidas e insumos químicos por productos amigables con el medio ambiente y prácticas para incrementar el rendimiento del cultivo. En este sentido, Pinedo *et al.* (2018) señalan que se requiere incorporar tecnologías apropiadas para incrementar la productividad y rentabilidad del cultivo. Asimismo, los sistemas de producción de papa deben reducir al mínimo los niveles de daño económico ocasionado por plagas, minimizar los gastos en su control con el empleo de variedades de alta resistencia y perfeccionar el manejo integrado del cultivo. También, ampliar la diversidad de especies vegetales y animales en la finca, desarrollar productos orgánicos a partir de materiales de la finca, usar agentes biológicos y abonos orgánicos para reducir la aplicación de pesticidas y fertilizantes químicos, puede contribuir a generar mayores ingresos y satisfacer las necesidades de las familias de los productores de papa en Cutervo, Cajamarca. Al respecto, Martínez *et al.* (2022) mencionan que los agricultores no saben cómo identificar nuevas iniciativas comerciales o estrategias de subsistencia para agregar valor a sus productos agrícolas, pues sus hogares dependen en gran medida de la producción lechera y de los cultivos de papa.

Para Sarandón (2002) y Aquino *et al.* (2021), un sistema será económicamente sustentable si puede generar autosuficiencia alimentaria, tener altos ingresos, disminuir el riesgo económico, aumentar la rentabilidad y satisfacer las necesidades familiares.

Evaluación de la dimensión social

En la Tabla 4 y Figura 3 se observa que los indicadores del sistema de producción de papa presentan valores entre 1.79 y 4.44 y con un IS de 3.39 por lo que se considera un sistema socialmente sustentable. Estos resultados se deben a que las variables del indicador “satisfacción de las necesidades básicas” (A1, A2, A3, A4), el indicador “aceptabilidad del sistema de producción” e “integración social”, tuvieron valores mayores a 3. Los resultados coinciden con lo obtenido por Coaquira *et al.* (2019) quienes indican que 91.23% de las fincas productoras de papa en Jauja, fueron socialmente sustentables.

La Figura 3, muestra que el agroecosistema de producción de papa mantiene un punto crítico que puede poner en riesgo la sustentabilidad de las fincas, específicamente en términos de falta de conocimiento y conciencia ecológica por parte de los productores, por tanto es necesario realizar actividades para sensibilizar a los agricultores sobre las consecuencias que tiene el uso masivo y excesivo de plaguicidas para su salud, su familia y el medio ambiente, así como potencializar el uso de insumos naturales u orgánicos.

Evaluación de la dimensión ambiental

Los resultados presentados en el Tabla 5 y Figura 4, muestran valores que oscilan entre 2.09 a 3.79, con un índice de sustentabilidad de 3.11 cuyo valor se encuentra por encima del umbral mínimo, lo que indica que es un sistema ambientalmente sustentable debido a que la mayoría de las fincas realizan prácticas agroecológicas que favorezcan el cuidado del medio ambiente. Estos resultados son semejantes

Tabla 4. Subindicadores de sustentabilidad social de las fincas de papa en Cutervo, Cajamarca.

Subindicadores	Valor de sustentabilidad
A1. Vivienda	3.08
A2. Acceso a la educación	3.26
A3. Acceso a salud y cobertura sanitaria	4.44
A4. Servicios	4.12
B1. Aceptabilidad del sistema de producción	3.80
C1. Integración social	4.26
D1. Conocimiento y conciencia ecológica	1.79
Índice de sustentabilidad social (IS)	3.39

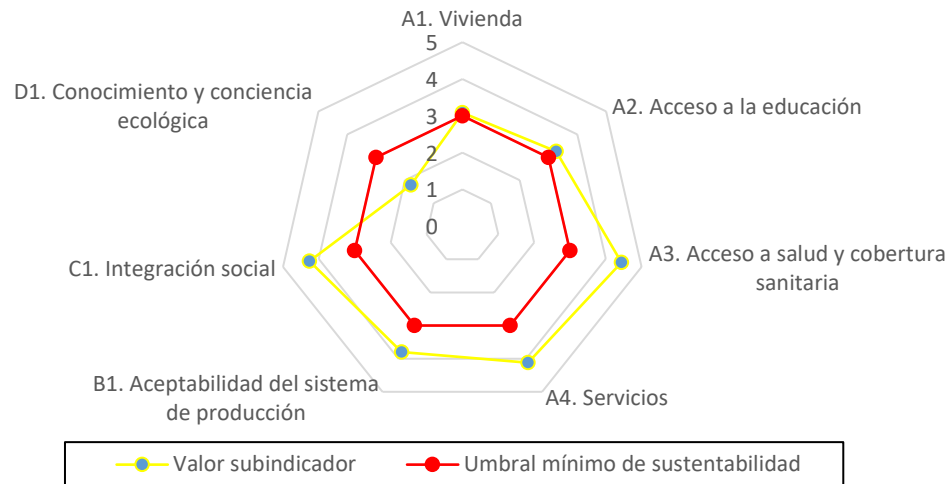


Figura 3. Subindicadores de sustentabilidad social de las fincas de papa en Cutervo, Cajamarca.

a lo encontrado por Coaquira *et al.* (2019) quienes reportan que las fincas de papa en Jauja, Junín, fueron ambientalmente sustentables.

Dentro del indicador “conservación de la vida del suelo”, el sub indicador “rotación de cultivos” presentó un valor superior al umbral mínimo (<3) con 3.21, lo cual se debe a que la rotación de cultivos práctica tradicional en la sierra norte en donde los agricultores rotan el cultivo de papa con algún cereal y pastos durante varios años, hasta descartar la presencia de hongos fitopatógenos, nemátodos u otras plagas, además de permitir un adecuado desarrollo microbiológico en el suelo. Martínez *et al.* (2022) reportan que los productores de papa, también realizan prácticas de rotación. En cuanto al subindicador “aplicación de fertilizantes químicos” las fincas presentaron un valor que supera el umbral mínimo de sustentabilidad, significa que los productores de papa en Cutervo, Cajamarca, realizan la aplicación de los fertilizantes químicos tomando en cuenta los daños y costos, y en la mayoría de los casos utilizan en forma racional. Al respecto Mejía-Valvas *et al.* (2020) señalan que los agricultores en los sistemas agrícolas de Ancash, Perú, realizan prácticas de conservación como la aplicación de guano de corral, rotación de cultivos y siembra del contorno de la finca para el mejoramiento del suelo.

Con respecto al subindicador “pendiente predominante”, las fincas presentaron valores mayores al valor crítico de sustentabilidad, pues las parcelas de papa se encuentran en terrenos con poca pendiente entre el 15 al 35%, donde se puede realizar la preparación del suelo de forma mecanizada o con yunta. Estos resultados coinciden con lo reportado

por Pinedo-Taco *et al.* (2022) quienes indican que los suelos agrícolas de la sierra de Ayacucho presentan pendientes predominantes que varían de 5 a 30%, lo que facilita el uso intensivo de maquinaria agrícola en la preparación de los suelos. Por otro lado, Romero *et al.* (2020) investigando la sustentabilidad de la agricultura familiar en Oxapampa, Perú, reportan que la agricultura que se realiza en zonas de

Tabla 5. Subindicadores de sustentabilidad ambiental de las fincas de papa en Cutervo, Cajamarca.

Subindicadores	Valor de sustentabilidad
A1. Rotación de cultivos	3.21
A2. Aplicación de fertilizantes químicos	3.44
A3. Aplicación de materia orgánica	2.78
B1. Pendiente predominante	3.20
B2. Métodos de conservación de suelos	3.12
C1. Conservación in situ de las variedades nativas	3.22
D1. Grado de daño por uso de pesticidas	2.09
D2. Uso de pesticidas	2.86
D3. Comunicación con las autoridades locales ante el manejo inadecuado de envases usados de pesticidas	3.79
Índice de sustentabilidad ambiental (IA)	3.11

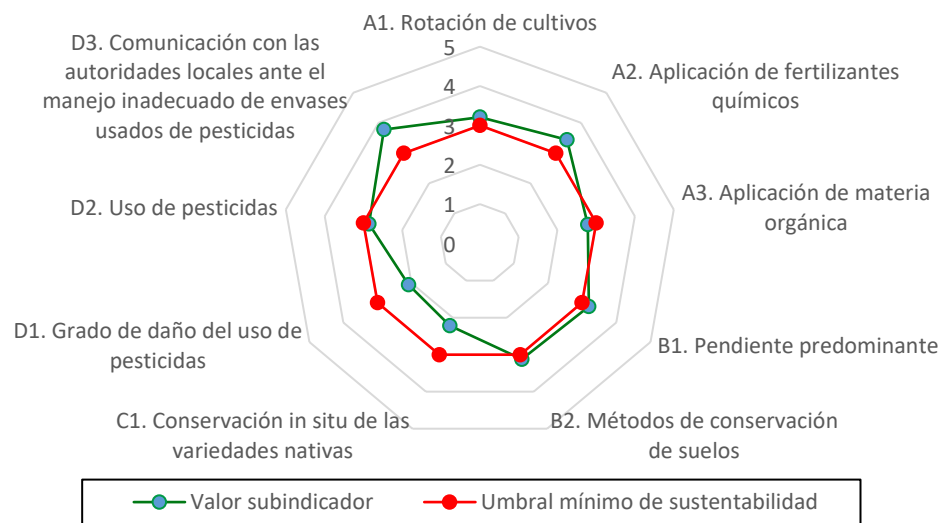


Figura 4. Subindicadores de sustentabilidad ambiental de las fincas de papa en Cutervo, Cajamarca.

ladera, con pendientes altas, no permite el uso de maquinaria para la preparación del terreno pues existe riesgo de volcaduras.

En la variable “conservación in situ de las variedades nativas de papa”, se encontró que las fincas presentaron un valor por encima del umbral mínimo de sustentabilidad, relacionado probablemente con que los agricultores conservan “in situ” las variedades locales de papa nativa, las cuales las utilizan para su autoconsumo. En ese sentido, es importante realizar la conservación de la biodiversidad de plantas nativas, criollas y silvestres de papa, para utilizarlas cuando existan problemas climáticos ya que este material genético tiene mayor resiliencia que las variedades comerciales, además de poseer cualidades benéficas para la salud. Estos resultados son corroborados por Martínez *et al.* (2022) quienes afirman que centrar la producción de papa en unas pocas variedades tiene un efecto negativo en la biodiversidad de productos en la región, tomando en cuenta que los Andes presenta un clima variable que permite a los agricultores mantener diferentes cultivos y variedades según la temporada, por lo que la alta variabilidad y biodiversidad podría mejorarse a través de programas de diversificación de cultivos que ampliarían las estrategias de subsistencia de los productores. En este sentido Pinedo *et al.* (2018) evaluando la sustentabilidad del cultivo de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) en Ayacucho, Perú, constataron la pérdida de ecotipos locales de este cultivo debido a la adopción y uso continuo de

variedades mejoradas con alta demanda en el mercado.

Para los subindicadores “Grado de daño por uso de pesticidas” y “uso de pesticidas”, las fincas presentaron valores menores al umbral mínimo de sustentabilidad ya que los productores de papa utilizan diversos pesticidas sin tomar en cuenta los efectos que pueden causar a su salud, la salud de su propia familia y el medio ambiente. Este problema se debe a la aplicación excesiva de pesticidas, sin ningún criterio técnico y sin el uso del equipo de protección personal y vestimenta adecuada, siendo necesario, por tanto, promover prácticas agroecológicas que puedan mitigar o disminuir dicho problema. En el trabajo realizado sobre el sistema de producción de quinua en Ayacucho, Perú. Pinedo *et al.* (2018) reportan alta dependencia en el uso de agroquímicos que existe en el sistema convencional, mientras que en el sistema orgánico se utilizan biocidas naturales para el control de plagas y enfermedades. Al respecto, Romero *et al.* (2020), evaluando el sistema de cultivo de granadilla en Oxapampa, Perú, indican que el inadecuado uso de fertilizantes sintéticos, plaguicidas o herbicidas podría afectar la vida microbiológica del suelo y disminuir la calidad del mismo. Sin embargo, los autores destacan que es una necesidad el uso de agroquímicos ya que evita pérdidas económicas por el ataque de plagas y malezas.

Por último, el subindicador “Comunicación con las autoridades locales ante el manejo inadecuado de envases de pesticidas” superó el umbral mínimo de sustentabilidad. Este resultado indica que los

agricultores reportan a las autoridades locales el un mal manejo de envases usados de pesticidas de fincas cercanas. Este resultado es corroborado por Martínez *et al.* (2022) quienes indican que la mayoría de productores de papa en los Andes cuentan con un manejo adecuado de envases usados de pesticidas, lo que evita que al estar expuestos al ambiente provoquen daños al ecosistema y representan un peligro para los humanos y animales.

Sustentabilidad general de las fincas

En la Tabla 6 y Figura 5, se observa que el sistema de producción de papa es social y ambientalmente sustentable superando el umbral mínimo de sustentabilidad (>3). En cuanto a la sustentabilidad económica, los resultados presentaron valores por debajo del umbral mínimo de sustentabilidad (2.93), es decir, el sistema de producción de papa no es sustentable económicamente. Es necesario utilizar estrategias en los subindicadores que presentaron puntos críticos para mejorar el agroecosistema de papa en la sierra norte del Perú.

Los resultados fueron semejantes a los encontrados por Coaquira *et al.* (2019), quienes señalan que el cultivo de papa en dos comunidades de Jauja, Junín

no fueron sustentables. Al respecto Mejía-Valvas *et al.* (2020) mencionan que los sistemas agrícolas son vulnerables debido a que los valores obtenidos para los indicadores son cercanos al umbral mínimo y cualquier cambio negativo en dichos indicadores, afectaría la sustentabilidad de estos sistemas. Igualmente, Contreras *et al.* (2019) evaluando la sustentabilidad de los sistemas de producción de papa en costa, reportaron valores por debajo de la situación crítica de sustentabilidad por lo que estos sistemas no son sustentables, siendo necesario implementar estrategias para mejorar dichos indicadores. Por su parte Aquino *et al.* (2022) indican que los sistemas de producción agrícola en las zonas altoandinas del Perú han sido poco estudiados en cuanto a su grado de sustentabilidad, siendo necesario identificar puntos críticos para implementar estrategias que mejoren el sistema de producción. Al respecto Qin *et al.* (2022), sostienen que el desarrollo de un agroecosistema sustentable es una elección inevitable para mantener la estabilidad social a largo plazo, el constante crecimiento económico y la seguridad ecológica de las zonas de producción agrícola, siendo un aspecto clave para el desarrollo coordinado de la economía, la sociedad y el medio ambiente.

Tabla 6. Indicadores de la sustentabilidad económica, social, ambiental y general de las fincas de papa en Cutervo, Cajamarca.

Dimensiones	Índice de sustentabilidad General (ISG)
Índice de sustentabilidad Económico (IK)	2.93
Índice de sustentabilidad social (IS)	3.39
Índice de sustentabilidad Ambiental (IA)	3.11

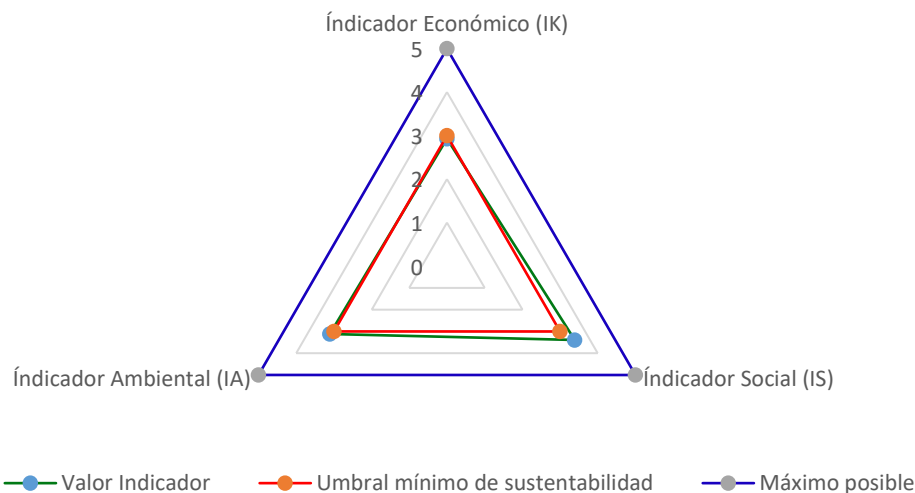


Figura 5. Dimensiones de la sustentabilidad económica, social, ambiental y general de las fincas de papa en Cutervo, Cajamarca.

CONCLUSIONES

El análisis de la sustentabilidad en las fincas de papa en Cutervo, Perú, reporta que éstas son social y ambientalmente sustentables ya que alcanzaron índices de 3.39 y 3.11 respectivamente, en cambio la dimensión económica presentó condiciones críticas con valor por debajo del umbral mínimo sustentable (2.93), siendo los subindicadores identificados como puntos críticos: “incidencia de plagas y enfermedades en papa”, “número de vías de comercialización”, “dependencia de insumos externos”, “aplicación de materia orgánica”, “conservación in situ de las variedades nativas”, “grado de daño por el uso de insumos químicos” y “uso de pesticidas”. Por tanto, el sistema de producción de papa en Cutervo no es sustentable, siendo necesario la intervención en los subindicadores que presentaron puntos críticos y de esta manera establecer estrategias para mejorar dicho agroecosistema.

Agradecimientos

Los autores agradecen a los productores de papa en Cutervo por el apoyo y colaboración.

Funding. To declare that authors did not receive funding.

Conflict of interests. The authors declare and agree with the information presented in the manuscript, and is no conflict of interest to declare on the part of the authors.

Compliance with ethical standards. Informed consent was obtained from potato growers in the survey.

Data availability. We agree that the data obtained in this study will be distributed by the journal.

Author Contribution Statement (CRediT). **R.H. Tirado-Malaver.** Conceptualization, data curation, formal analysis, methodology, validation, writing - original draft, drafting, editing, review and proofreading. **R. Tirado-Lara.** Methodology, validation, drafting. **J. Mendoza-Cortez.** Methodology, writing - proofreading and editing. **N. Fabián-Anastacio.** Writing - proofreading and editing. **R. Tirado-Malaver.** Writing - proofreading and editing. **Á. Campos-Julca.** Drafting - proofreading and editing.

REFERENCIAS

Abdar, Z.K., Amirtaimoori, S., Mehrjerdi, M. R. Z. and Boshraadi, H. M., 2022. A composite

index for assessment of agricultural sustainability: the case of Iran. *Environmental Science and Pollution Research international*, 29(31), pp. 47337–47349. <http://doi.org/10.1007/s11356-022-19154-6>

Allen, W.J., Bufford, J. L., Barnes, A.D., Barratt, B.I.P., Deslippe, J.R., Dickie, I.A., Goldson, S.L., Howlett, B.G., Hulme, P.E., Lavorel, S., O'Brien, S.A., Waller, L.P. and Tylianakis, J.M., 2022. A network perspective for sustainable agroecosystems. *Trends in Plant Science*, 27(8), pp. 769–780. <http://doi.org/10.1016/j.tplants.2022.04.002>

Aquino, V., Gómez, N., Porta, R. y Jiménez, J., 2021. Análisis de Correspondencia Múltiple de Sustentabilidades Unidades Productoras de Tarwi (*Lupinus mutabilis* Sweet) en el valle del Mantaro, Perú. *IDESIA*, 40(1), pp. 15-23. <http://doi.org/10.4067/S0718-34292022000100015>

Astier, M, Masera, O. and Galvan-Miyoshi, Y., 2008. *Evaluación de sustentabilidad. Un enfoque dinámico y multidimensional*. Ed. Mundiprensa. México. 200 p.

Barrantes, C., Siura, S., Castillo, E., Huarcaya, M. and Rado, J., 2018. *Manual para el Análisis de la Sostenibilidad de Sistemas de Producción de la Agricultura Familiar (SPAF)*. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). Lima, Perú. 48 p.

Çalışkan, M.E., Yousaf, M.F., Yavuz, C., Bakar, M.A. and Çalışkan, S., 2023. *Potato Production Worldwide*. 1era Ed. Academic Press, Nebraska. págs. 1-18. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-822925-5.00016-5>

Coaquira, I., Julca, O., Coaquira, R. y Mendoza, J. 2019. Sustentabilidad de las unidades productoras de papa (*Solanum tuberosum* L.), en Jauja, Perú. *Journal of Science and Research: Revista Ciencia e Investigación*, 4(2), pp. 21 – 27. <https://doi.org/10.5281/zenodo.3240674>

Contreras, S., Valenzuela, A. y García, S., 2019. Análisis de la sustentabilidad económica de la producción de papa en la región

- Lima. *TAYACAJA*, 1(2).
<http://doi.org/10.46908/rict.v1i2.23>
- Cruz, B. y Useche, L., 2021. Análisis de correspondencias múltiple para describir el comportamiento proambiental del ciudadano de Manabí-Ecuador para el año 2018. *Revista Bases de la Ciencia*, 6(2), pp. 75-94.
https://doi.org/10.33936/rev_bas_de_la_ciencia.v%vi%i.3109.
- De Anda-Montaño, R., Portillo-Molina, R., López-Noriega, M. y Cervantes-Rosas, M. 2020. Elaboración y validación de instrumento para medir prácticas sustentables que crean valor en organizaciones agrícolas. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental. Bogotá - Colombia*, 11(2), pp: 59-70.
<https://doi.org/10.22490/21456453.3375>
- Ebrahimian, F., Denayer, J. and Karimi, K., 2022. Potato peel waste biorefinery for the sustainable production of biofuels, bioplastics, and biosorbents. *Bioresource Technology*, 360, pp. 127609.
<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2022.127609>
- Garza, C.A., Olivares-Sáenz, E., González-Morales, S., Cabrera, M., Juárez-Maldonado, A., González-Fuentes, J.A. Tortella, G. Valdés-Caballero, M.V. and Benavides-Mendoza, A. 2022. Strawberry Biostimulation: From Mechanisms of Action to Plant Growth and Fruit Quality. *Plants*, 11, pp. 3463.
<https://doi.org/10.3390/plants11243463>
- Martínez, M.A., González, N., Lorenzo, S. and Jiménez, A. 2021. Validación de un instrumento para la valoración de la sostenibilidad en sistemas de riego. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 5(1), pp. 535-555.
https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v5i1.250
- Martínez, E., Luna, L., Ramos, H. and Vidal, U. 2022. Potato Farming Systems from a Social-Ecological Perspective: Identifying Key Points to Increase Resilience in a High Andean Productive Landscape. *Sustainability*, 14(5), pp. 2491.
<https://doi.org/10.3390/su14052491>
- Mejía-Valvas, R.L., Gómez-Pando, L. and Pinedo-Taco, R., 2020. Sostenibilidad de las unidades de producción del cultivo de amaranto (*Amaranthus caudatus* L.). *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 7(2), pp. e2483.
<http://doi.org/10.19136/era.a7n2.2483>
- MINAGRI - Ministerio de Agricultura y Riego. (2022). La papa: principales aspectos de la cadena agroproductiva. Recuperado de. <http://agroaldia.minag.gob.pe/biblioteca/download/pdf/agroeconomia/2022/papa>
- Pashkevich, M.D., d'Albertas, F., Aryawan, A.A.K., Buchori, D., Caliman, J.P., Chaves, A.D.G., Hidayat, P., Kreft, H., Naim, M., Razafimahatratra, A., Turner, E.C., Zemp, D.C. and Luke, S.H., 2022. Nine actions to successfully restore tropical agroecosystems. *Trends in Ecology & Evolution*, 37(11), pp. 963-975.
<http://doi.org/10.1016/j.tree.2022.07.007>
- Pinedo-Taco, R., Gómez-Pando, L. and Berens, A. 2022. Production sustainability index of organic quinoa (*Chenopodium Quinoa* WILLD.) in the interandean valleys of Peru. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 25 (2022), pp. #044. <http://dx.doi.org/10.56369/tsaes.3925>
- Pinedo, R., Gómez, L. and Julca, A. 2018. Sostenibilidad de sistemas de producción de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 5(15), pp. 399-409.
<http://dx.doi.org/10.19136/era.a5n15.1734>
- Qin, Y., He, J., Wei, M., and Du, X., 2022. Challenges Threatening Agricultural Sustainability in Central Asia: Status and Prospect. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(10), pp. 6200.
<https://doi.org/10.3390/ijerph19106200>
- Romero, E., Canto, M., Jiménez, J., Blas, R., Vargas, S. and Julca, A. 2019. Sostenibilidad social de un sistema productivo familiar con granadilla (*Passiflora Ligularis* Juss.) en la provincia de Oxapampa, Pasco-Perú. *Agricultura, Sociedad y Desarrollo*, 17(2), pp. 217-232.
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7556628>

- Sarandón, S., Zuluaga, M., Cieza, R., Gómez, C., Janjetic, L. and Negrete, E. 2006. *Evaluación de la sustentabilidad de sistemas agrícolas en fincas de Misiones, Argentina, mediante el uso de indicadores. Agroecología*, 1, pp. 19-28. <https://revistas.um.es/agroecologia/article/view/14/5>
- Sarandón, S.J. 2002. *El desarrollo y uso de indicadores para evaluar la sustentabilidad de los agroecosistemas*. En: Sarandón SJ (ed.). *Agroecología: El camino para una agricultura sustentable*. Ediciones Científicas Americanas. La Plata, Argentina, pp. 393-414.
- Sarandón, S.J. y Flores, C. 2014 *Agroecología: bases teóricas para el diseño y manejo de Agroecosistemas sustentables*. Primera Edición. Universidad Nacional de La Plata. Argentina. 466p.
- Smith, O.M., Cohen, A.L., Reganold, J.P., Jones, M.S., Orpet, R.J., Taylor, J.M., Thurman, J.H., Cornell, K.A., Olsson, R. L., Ge, Y., Kennedy, C. M., & Crowder, D. W. 2020. Landscape context affects the sustainability of organic farming systems. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 117(6), pp. 2870–2878. <https://doi.org/10.1073/pnas.1906909117>
- Tirado M.R., Tirado L.R. y Mendoza C.J. 2018. Interacción genotipo x ambiente en rendimiento de papa (*Solanum tuberosum* L.) con pulpa pigmentada en Cutervo, Perú. *Chilean Journal of Agricultural & Animal Sciences*, 34, pp. 191–198. <https://doi.org/10.4067/S0719-38902018005000502>
- Tirado-Lara, R., Tirado-Malaver, R., Mayta-Huatuco, E. y Amoros-Briones, W. 2020. Identificación de clones de papa con pulpa pigmentada de alto rendimiento comercial y mejor calidad de fritura: Estabilidad y análisis multivariado de la interacción genotipo-ambiente. *Scientia Agropecuaria*, 11, pp. 323 – 334. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2020.03.04>
- Tirado, M.R., Mendoza-Sáenz, J. y Tirado L.R. 2021. Análisis multivariado para caracterizar y tipificar fincas productoras de papa (*Solanum tuberosum* L.) en Cutervo, Cajamarca, Perú. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 24, pp. #106.
- Valverde, C. y Pinedo, R. (2022). Índice de sostenibilidad de la producción de camote (*Ipomoea batatas* Lam.): análisis multivariado. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 25, pp. #128.
- van Dijk, M., Morley, T., Rau, M.L. and Saghai, Y., 2021. A meta-analysis of projected global food demand and population at risk of hunger for the period 2010–2050. *Nat. Food*, 2, pp. 494–501. <https://doi.org/10.5281/zenodo.4911251>.
- Villavicencio, A., Park, C. , Cho, K. , Bae, R., Peñaherrera, D. , Narváez, G., López, V., Camacho, J., Suquillo, J., Yumisaca, F., Asaquibay, C., Nieto, M., Ortega, D., Quimbiamba, V., Torres, C., Naranjo, E., Cuenca, S. and Alvarez, R., 2022. Sustainable Potato Production in the Mountain Area of Ecuador, an Approach to Increase Productivity with Small Scale Farmers. *Agricultural Sciences*, 13, pp. 1080-1090. <https://doi.org/10.4236/as.2022.1310066>
- Zarei, S., Bozorg-Haddad, O., Singh, V.P., and Loáiciga, H.A., 2021. Developing water, energy, and food sustainability performance indicators for agricultural systems. *Scientific reports*, 11(1), pp. 22831. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-02147-9>