Cienc. Tecnol. Agropecuaria, 21 (3): e1309
DOI: https://doi.org/10.21930/rcta.vol21_num3_art:1309 ISSN: 0122-8706 ISSNe: 2500-5308

Manejo de sistemas productivos

Artículo de investigación científica y tecnológica

Sostenibilidad ambiental de la producción de quinua *Chenopodium quinoa* Willd.) en los valles interandinos del Perú

Rember Emilio Pinedo Taco[1]*, Luz Rayda Gómez Pando[1], Alberto Marcial Julca Otiniano[1]

[1] Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, Perú

* Autor de correspondencia: Universidad Nacional Agraria La Molina. Avenida La Molina s/n. Facultad de agronomía, Departamento de Fitotecnia, tercer piso-La Molina. Apartado postal 12-056, Lima, Perú. rpinedo@lamolina.edu.pe.

Recibido: 12 de febrero de 2019
Aceptado: 22 de enero de 2020
Publicado: 12 de junio de 2020

Editor temático: Luis Fernando Chávez Oliveros (Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria [AGROSAVIA])

Para citar este artículo: Pinedo-Taco, R., Gómez-Pando, L., & Julca-Otiniano, A. (2020). Sostenibilidad ambiental de la producción de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) en los valles interandinos del Perú. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, *21*(3), e1309. https://doi.org/10.21930/rcta.vol21_num3_art:1309

CC BY NC SA

Resumen

En los últimos diez años, la producción de quinua en el Perú se ha intensificado, pasando de las prácticas tradicionales a sistemas de producción tecnificada en función de la demanda del mercado, lo que ha ocasionado cambios en términos económicos, sociales y, principalmente, ambientales. El objetivo de la investigación fue determinar los índices de sostenibilidad ambiental en tres comunidades productoras de quinua de la zona altoandina del departamento de Ayacucho, Perú. Bajo el enfoque metodológico de análisis multicriterio, se construyó una escala en porcentaje de valoración de sostenibilidad, siendo el valor cero (0) no sostenible y 100 el umbral máximo de sostenibilidad. Para ello, se aplicaron encuestas con preguntas estructuradas en la dimensión ambiental. Los sistemas de producción de quinua alcanzan un Indicador Ambiental (IA) de 49,43 % o un rango de sostenibilidad baja. La variable de mayor contribución fue el riesgo de erosión (51,28 %), seguido del manejo de biodiversidad (48,68 %) y la conservación de la vida del suelo (48,32 %).

Palabras clave: *Chenopodium quinoa*, conservación de suelos, desarrollo sostenible, fertilidad del suelo, sistemas de producción

Environmental sustainability of quinoa production *Chenopodium quinoa* in the inter-Andean valleys of Peru

Abstract

In the last ten years, the production of quinoa in Peru has intensified, going from traditional practices to technified production systems based on market demand, which has caused changes in economic, social, and mainly environmental terms. The aim of the study was to establish the environmental sustainability indexes in three quinoa-producing communities in the high Andean area of the department of Ayacucho, Peru. Under the methodological approach of multi-criteria analysis, a scale was created in sustainability percentage assessment, being a value of zero (0) not sustainable, and a value of 100 percent the maximum sustainability threshold. For this, surveys with structured questions in the environmental dimension were applied. Quinoa production systems achieve an Environmental Indicator (EI) of 49.43 % or a low sustainability range. The variable with the highest contribution was the risk of erosion (51.28 %), followed by the management of biodiversity (48.68 %) and the conservation of soil life (48.32 %).

Keywords: *Chenopodium quinoa*, production systems, soil fertility, soil conservation, sustainable development

Introducción

Hasta antes de la declaratoria del Año Internacional de la Quinua, las zonas tradicionales de producción de la quinua estaban concentradas en el altiplano y los valles interandinos bajo sistemas de producción también predominantemente tradicionales (Gómez & Aguilar 2016, Pinedo et al., 2017a, 2018; Soto et al., 2012; Tapia et al., 2014). Estos sistemas de producción tradicionales se caracterizan por el uso de mano de obra familiar, herramientas tradicionales, con nula o escasa dependencia de insumos externos, en asociación espacial y temporal con otros cultivos de panllevar para asegurar una canasta alimenticia diversificada (Fairlie-Reinoso, 2016; Nicholls & Altieri, 2012; Pinedo et al., 2017a). Actualmente, en el Perú la quinua se cultiva desde el nivel del mar hasta los 4.000 m s.n.m., en cuatro zonas agroecológicas: altiplano, valles interandinos, yunga marítima y costa (Apaza et al., 2013; Gómez & Aguilar, 2016; Tapia et al., 2014). Además, la tecnología usada en su cultivo es variable, desde sistemas tradicionales hasta métodos altamente tecnificados (Gómez & Aguilar, 2016).

Principalmente en la última década, las prácticas de producción tradicional fueron reemplazadas parcial o totalmente con tecnologías propias de cultivos intensivos (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura [IICA], 2015; Pinedo et al., 2018), ocasionando la reducción del número de variedades nativas de quinua y de otros cultivos de seguridad alimentaria propios de la región altoandina (Soto et al., 2012). Por lo tanto, de una producción diversificada y de coexistencia con el entorno natural, se pasa a modelos de producción más tecnificados y denominados *orgánicos* y *convencionales*, en sistemas de monocultivo y sistemas alternativos (IICA, 2015; Pinedo et al., 2018).

Las estadísticas oficiales del Ministerio de Agricultura y Riego sostienen que, en el Perú, la producción de quinua a nivel nacional se incrementó significativamente de 35.195 t en el 2005 a 105.665 t en el 2014. A nivel del departamento de Ayacucho, la producción de quinua se incrementó de 1.559 t en el 2005 a 16.700 t en el 2016, con un crecimiento de 838 % (Mercado, 2018); mientras que en Ayacucho —la zona de estudio— la producción de quinua se incrementó en 939 %, pasando de 244 ha a 2.536 ha en la campaña 2003-2013 (Dirección Regional Agraria Ayacucho [DRAA], 2016), se observa en la zona de estudio 40 % de los sistemas de producción orgánicos, 45 % tradicionales, 34 % alternativos o mixtos y 4,37 % tradicionales (Pinedo et al., 2017a). Actualmente, se fomenta la producción orgánica; sin embargo, el mercado acepta quinua de sistemas de producción convencional que depende de insumos químicos, fertilizantes y mecanización intensiva, principalmente para el consumo nacional (IICA, 2015; Pinedo et al., 2018).

La mejor etapa de bonanza económica para los productores de quinua ocurre durante las campañas agrícolas 2012, 2013, 2014 y hasta el 2015 (Fairlie-Reinoso, 2016; Ministerio de Agricultura y Riego [Minagri], 2017; Pinedo et al., 2018). Los precios altos y un mercado creciente aceleraron el cambio de una agricultura tradicional a una convencional, lo que provocó disminución en los niveles de sostenibilidad, de una fuerte —asociada a la conservación de recursos naturales y prácticas conservacionistas de suelo y ambiente con prácticas ancestrales— a una con uso de técnicas modernas que incluyen el empleo de maquinaria agrícola, empleo excesivo de fertilizantes y pesticidas, priorizando la rentabilidad económica en desmedro de los aspectos ambientales (Fairlie-Reinoso, 2016). La agricultura sostenible se basa en el respeto y el cumplimiento de ciertos estándares de calidad ambiental, para garantizar las condiciones de vida con niveles de convivencia aceptables en las comunidades (Altieri & Nicholls, 2000; Fairlie-Reinoso, 2016; Ruíz et al., 2015). La agricultura depende en gran medida de los servicios proporcionados por los

ecosistemas; por lo tanto, una agricultura sostenible debe reducir al mínimo los impactos ambientales negativos y optimizar la producción, haciendo uso de los recursos naturales de forma eficiente dentro de los límites biofísicos de los agroecosistemas (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], 2014; Sarandón, 2002).

Por las razones expuestas, es necesario analizar los impactos ocasionados por la intensificación del cultivo de quinua en la dimensión ambiental en los valles interandinos de Ayacucho, Perú.

Materiales y métodos

La investigación se realizó en octubre del 2016, correspondiente a la campaña agrícola 2015/2016, en las comunidades de Manallasac, Sachabamba y Kishuarcancha, en el distrito de Chiara, provincia de Huamanga, departamento de Ayacucho, Perú, ubicado a 3.516 m s.n.m, en las coordenadas geográficas 13°16'26,3" LS y 74°12'21,9" LO, ámbito de mayor siembra de quinua (figura 1).

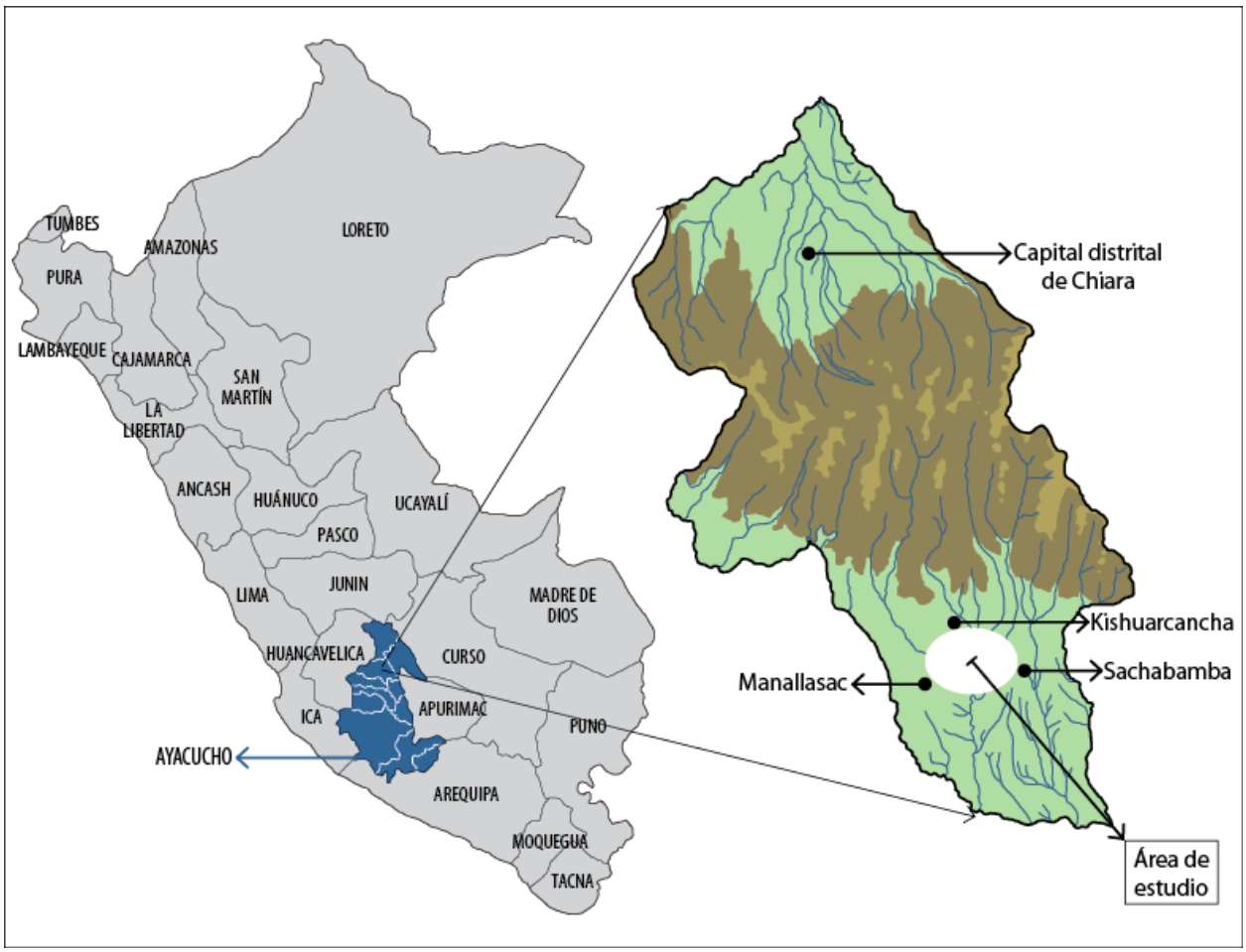

Figura 1. Ubicación del área de estudio en el distrito de Chiara, provincia de Huamanga, departamento de Ayacucho en Perú
Fuente: Elaboración propia

De una población finita de 400 productores de quinua (DRAA, 2016), se identificó una muestra irrestricta aleatoria de 92 familias. Además, mediante el muestreo sistemático de Pinedo et al. (2018), se determinó el número de productores por comunidad (tabla 1).

Tabla 1. Muestra calculada proporcionalmente por comunidad estudiada en los valles interandinos de Ayacucho-Perú

Distritos	N.° de Agricultores			$w_i = N_i / N$	$n_i = nw_i$
Kishuarcancha	N_1	92	W_1	0,20	18
Manallasac	N_2	271	W_2	0,59	55
Sachabamba	N_3	97	W_3	0,21	19
Total	**N**	**460**		**1**	**92**

Nota: N = población; n = muestra; Wi = peso proporcional de la muestra.

Fuente: Elaboración propia

Las variables e indicadores se seleccionaron considerando su fácil identificación, costo, interpretación (tabla 2) y posible réplica para otras investigaciones (Abraham et al., 2014; Nicholls & Altieri, 2012; Pinedo et al., 2017b; Sarandón, 2002). Para establecer los requisitos que permitieran calificar el grado de sostenibilidad del cultivo de quinua, se tomó como base el concepto de *sustentabilidad fuerte*, es decir, la que considera los recursos naturales como insustituibles por el capital hecho por el hombre (Pearce & Atkinson, 1993). Es decir, aparte de ser económicamente viable, así como cultural y socialmente aceptable, debe ser ecológicamente adecuada, conservando los recursos naturales y preservando la integridad del ambiente (Sarandón, 2002).

Tabla 2. Caracterización, definición e interpretación de subindicadores de la dimensión ambiental

Nombre	Definición	Interpretación
Rotación de cultivos	Sucesión recurrente y regular de diferentes cultivos en el mismo terreno a lo largo del tiempo.	Aumenta la disponibilidad de los nutrientes, mejora la estructura del suelo y su actividad biológica, y reduce la incidencia de plagas. Se mide en la frecuencia de las rotaciones.
Diversificación de cultivos	Una misma parcela con dos o más especies de cultivos.	Provee al suelo de una protección contra los agentes climáticos y disminuye el riesgo de erosión. Se mide en N.° de especies/parcela/campaña.
Incorporación de materia orgánica	Aplicación de enmienda orgánica en los suelos.	Mejora la fertilidad física, química y biológica del suelo. Suministra nutrientes para las plantas. Se mide en la cantidad aplicada (t/ha).
Preparación de terreno	Labores o técnicas realizadas para acondicionar el suelo para el establecimiento del cultivo.	Afectan la estructura del suelo y el grado de compactación, la fertilidad natural, la diversidad de la flora y fauna del suelo y otros. Se mide en tipo intensidad de labranza de suelos.
Sistema de producción	Tradicional, orgánica, mixta y convencional que se practica en la zona de estudio, con menor o mayor grado de dependencia de insumos externos.	Determinan el grado de dependencia o autonomía de insumos externos.
Pendiente predominante	Declive del terreno y la inclinación, respecto a la horizontal. Se puede medir en grados o porcentaje.	Influye en el proceso erosivo, puesto que, mientras más pronunciada sea la pendiente, la velocidad del agua de escorrentía será mayor. Se mide en porcentaje.
Cobertura vegetal	Tiempo de permanencia de cobertura vegetal (cultivo, rastrojo, vegetación natural o espontánea).	Protege de la fuerza de impacto de las gotas de lluvia, disminuyendo la separación de las partículas de los agregados del suelo, que es el primer paso en el proceso de la erosión. Se mide en N.° de días con cobertura vegetal por año.
Conservación de variedades nativas de quinua	Mantenimiento de variedades nativas de quinua.	La agricultura moderna y el mercado promueven la sustitución de variedades nativas por variedades mejoradas, lo que influye en el grado de erosión genética. Se mide en el N.° de variedades nativas empleadas.
Gestión de plagas	Medidas de control para disminuir la población de plagas que afectan el cultivo de quinua.	Conocimiento, experiencia, observación e integración de técnicas múltiples para la gestión racional de plagas y enfermedades. Se mide en función del tipo de control empleado.
Manejo de semilla de calidad	Clases y categoría de semillas.	Principal insumo para garantizar alta productividad. Se mide en función de la calidad y origen de la semilla.

Fuente: Elaboración propia

Se elaboraron escalas de evaluación para cada subindicador (tabla 3) con la finalidad de determinar el nivel de sostenibilidad, a través de los valores dados al indicador y al subindicador. Los valores asignados en porcentaje varían entre 100 %, el valor óptimo, y 0 %, el valor mínimo (Abraham et al., 2014), siendo el 50 % el umbral mínimo de sostenibilidad (Sarandón, 2002).

Tabla 3. Indicadores y subindicadores, y escala de valoración de sostenibilidad ambiental en porcentaje

Indicador	Subindicador	Escala del subindicador	Valor (%)
A. Conservación de la vida de suelo (COVISU)	A1. Rotación de cultivos (ROCUL)	Rota cada año con leguminosas	100
		Rota cada año con cereales	75
		Repite el mismo cultivo con una siembra sucesiva	50
		Repite el mismo cultivo con dos siembras consecutivas	25
		No realiza rotación	0
	A2. Diversificación de cultivos (DICUL)	Más de 5 cultivos	100
		Hasta 4 cultivos asociados/parcela	75
		Tres cultivos	50
		Dos cultivos	25
		Monocultivo	0
	A3. Aplicación de materia orgánica (MAOR)	Más de 5 t/ha	100
		Hasta 3 t/ha	75
		Hasta 2 t/ha	50
		Hasta 1 t/ha	25
		No incorpora MO	0
	A4. Preparación del terreno (PRETE)	Labranza mínima manual	100
		Labranza con tracción animal	75
		Labranza mixta (manual y tracción animal)	50
		Labranza con tractor de rastra una pasada	25
		Labranza tractor de rastra y surcado por más de dos pasadas	0
B. Riesgo de erosión (RIESER)	B1. Pendiente predominante (PEPRE)	De 0 al 5%	100
		De 5 al 15%	75
		De 15 al 30%	50
		De 30 al 45%	25
		Mayor a 45%	0
	B2. Cobertura vegetal/parcela (COVEG)	Cobertura todo el año con instalación de forrajes	100
		Cobertura con cultivos y con rastrojos	75
		Cobertura todo el año/dos cultivos consecutivos	50
		Cobertura parcial solo durante el cultivo de quinua	25
		Sin cobertura vegetal todo el año	0
C. Manejo de la Biodiversidad (MABDV)	C1. Conservación de variedades nativas de quinua (CONVA)	Mayor a 5 variedades nativas	100
		De 4 a 5 variedades nativas	75
		De 2 a 3 variedades nativas	50
		Conserva una variedad nativa	25
		No conserva ninguna variedad nativa	0
	C2. Manejo de plagas /enfermedades. (MAPLA)	Control por regulación natural de agroecosistema	100
		Con biocidas artesanalmente preparadas	75
		Insecticidas biológicos	50
		Manejo Integrado de Plagas (MIP)	25
		Control químico	0
	C3. Uso de semilla de calidad (USECA)	Propia seleccionada	100
		Semilla no certificada	75
		Certificada, categoría autorizada	50
		Certificada, categoría certificada	25
		De origen desconocido sin seleccionar	0

Fuente: Adaptada de Pinedo et al. (2017b)

La escala de 0 a 100 (en porcentaje) es una modificación de la propuesta metodológica de Sarandón (2002), quien plantea una escala de 0 a 4, siendo 0 el menos sustentable y 4 el más sustentable. El valor de cada indicador se halló mediante una media ponderada entre la frecuencia de respuestas de los productores sobre el total para cada rango establecido y el porcentaje de sostenibilidad asignado. A su vez, para hallar el valor (%) de cada subindicador se aplicó un promedio simple con la media ponderada de cada indicador (Abraham et al., 2014). Para definir el nivel de sostenibilidad por rangos, se elaboró una escala (tabla 4)

que permite ubicar los valores de sostenibilidad (Abraham et al., 2014; Meza & Julca, 2015; Pinedo et al., 2018).

Tabla 4. Escalas de sostenibilidad ambiental en porcentajes

Escala de sostenibilidad (%)	Nivel de sostenibilidad
0 a 24,9	Nivel crítico, sistema de producción insostenible
25 a 49,9	Nivel bajo de sostenibilidad
50 a 74,9	Nivel medio de sostenibilidad
75 a 99,9	Nivel intermedio de sostenibilidad
100 %	Nivel óptimo de sostenibilidad

Fuente: Elaboración propia

Resultados y discusión

El incremento de la superficie cultivada de quinua en el Perú ha modificado el escenario socioeconómico y ambiental en el altiplano y zona altoandina del país (Bazile & Baudron, 2014; IICA, 2015; Pinedo et al., 2018). En pocos años los sistemas de producción pasaron de constituir una agricultura de autoconsumo o producción familiar, de subsistencia diversificada, a sistemas de monocultivo con alta dependencia de insumos externos (Gómez & Aguilar 2016; Pinedo et al., 2018). Aun cuando actualmente el 40 % de la producción se produce para el mercado orgánico, la intensificación del cultivo ha modificado las cédulas de cultivo tradicional que tenían a la papa *Solanum tuberosum* L. (Solanaceae) como cultivo de cabecera, seguido de otros tubérculos como la oca *Oxalis tuberosa* Molina (Oxalidaceae), olluco *Ullucus tuberosus* Caldas (Basellaceae), granos andinos como el tarwi *Lupinus mutabilis* Sweet (Fabaceae) (IICA, 2015; Medrano & Torrico, 2015; Mercado, 2018; Pinedo et al., 2018).

Para conocer el nivel de sostenibilidad, la forma más adecuada de medir los impactos generados por la intensificación del cultivo es a través de indicadores económicos, sociales y ambientales (Sarandón, 2002). En el presente trabajo se utilizaron los indicadores de conservación de la vida del suelo, riesgo de erosión y manejo de la biodiversidad, así como nueve subindicadores que han servido para encontrar el valor del indicador ambiental (IA). El uso de indicadores facilita la medición, la interpretación y réplica (Sarandón, Zuluaga, Cieza, Gómez, Janjetic, & Negrete, 2006). De acuerdo con la propuesta metodológica de Sarandón (2002) y las adecuaciones que realizaron Pinedo et al. (2018) y Meza y Julca (2015), el umbral mínimo de sostenibilidad se obtiene cuando los subindicadores alcanzan el 50 % de acuerdo con la escala establecida.

Los valores ponderados de los subindicadores que se encuentran por encima del umbral mínimo de sostenibilidad (UMS) son los siguientes: i) *rotación de cultivos* (ROCUL), ii) *manejo de materia orgánica* (MAORG), iii) *pendiente predominante* (PEPRE) y iv) *manejo de plagas* (MAPLA), con 82,07 %, 77,45 %, 64,13 % y 51,21 %, respectivamente, que alcanzan el nivel intermedio y nivel medio de sostenibilidad.

Los subindicadores *conservación de variedades* (CONVA), *uso de semillas de calidad* (USECA), *preparación de terreno* (PRETE), *diversificación de cultivos* (DICUL) y *cobertura vegetal* (COVEG), que tuvieron valores de 48,91 %, 45,92 %, 18,70 %, 15,10 % y 38,41 %, respectivamente, no alcanzaron niveles de

sostenibilidad por encontrarse por debajo del UMS (tabla 5). Las variables de mayor influencia en la insostenibilidad fueron DICUL y PRETE con 15,10 % y 18,70 %, respectivamente. De hecho, los nuevos modelos de producción orgánica y convencional han provocado el desplazamiento de las variedades locales por ser predominantemente cultivos que practican el monocultivo y con uso intensivo del suelo. En sistemas de monocultivo, las prácticas tradicionales de policultivos —siembra de diversas variedades nativas en una sola parcela— fueron desplazadas por modelos que promueven sistemas de cultivo univarietal (Pinedo et al., 2018). Por ejemplo, en el Perú la producción y certificación orgánica no acepta mezclas varietales debido a las exigencias del mercado (IICA, 2015; Mercado, 2018).

Tabla 5. Valores ponderados de niveles de sostenibilidad ambiental en la producción de quinua en los valles interandinos de Ayacucho, Perú

Indicador	Subindicador	Resultados				Sostenibilidad por Subindicador (%)
		Escala de valores	Frecuencia	% del total	Escala sostenibilidad	
COVISU	A1. ROCUL	No realiza rotación	1	1	0	82,07
		Repite el mismo cultivo dos siembras consecutivas	1	1	25	
		Repite el mismo cultivo una siembra	9	10	50	
		Rota cada año con cereales	41	44	75	
		Rota cada año leguminosas	40	44	100	
	A2. DICUL	Monocultivo	60	65	0	15,10
		Dos cultivos bajo nivel asociación	25	28	33	
		Hasta 3 cultivos asociados	4	4	66	
		Hasta 4 cultivos asociados por parcela	3	3	100	
	A3. MAORG	No incorpora MO	1	1	0	77,45
		Hasta 1 t	16	17	25	
		Hasta 2 t	6	7	50	
		Hasta 3 t	19	21	75	
		Mayor a 5 t	50	54	100	
	A4. PRETE	Tractor de rastra surcado, dos pasadas	50	55	0	18,70
		Tractor de rastra, una pasada	36	39	33	
		Yunta	2	2	66	
		Labranza, desterronado manual	4	4	100	
RIESER	B1. PEPRE	Mayor a 45 %	1	1	0	64,13
		30 a 45 %	4	4	25	
		15 a 30 %	32	35	50	
		5 a 15 %	52	57	75	
		0 a 5 %	3	3	100	
	B2. COVEG	Cobertura parcial durante el cultivo	40	44	0	38,42
		Cobertura todo el año con dos cultivos consecutivos	1	1	33	
		Cobertura durante el cultivo y con rastrojos	47	51	66	
		Cobertura todo el año, cultivo, rastrojos	4	4	100	
MABDV	C1. CONVA	**1 variedad nativa de quinua**	**10**	**13**	**0**	48,913
		2 a 3 variedades nativas de quinua	74	78	50	
		5 a 9 variedades nativas de quinua	8	9	100	
	C2. MAPLA	Control químico	16	17	0	51,21
		MIP	35	39	33	
		Biocidas industriales	16	17	66	
		Biocidas naturales	25	27	100	
	C3. USECA	Semilla origen desconocido	4	4	0	45,92
		Semilla certificada	29	32	25	
		Semilla autorizada	42	46	50	
		Semilla no certificada	12	13	75	
		Semilla propia seleccionada	5	5	100	

Nota: conservación de la salud del suelo (COVISU); riesgo de erosión del suelo (RIESER); manejo de la biodiversidad (MABDV).

Fuente: Elaboración propia

En el indicador de la *conservación de la vida del suelo* (A), el subindicador ROCUL alcanzó un 82,7 %, como el mayor valor, y corresponde al rango de nivel óptimo de sostenibilidad. Este valor muestra que las prácticas desde las tradicionales y las que fueron introducidas recientemente (orgánico, mixto y convencional) realizan la rotación de cultivos con base en cuatro cultivos importantes: papa, quinua,

haba *Vicia faba* L. (Fabaceae) y forrajes. Al respecto, Altieri y Nicholls (2000) afirman que la rotación de cultivos mejora la fertilidad de los suelos y puede disminuir su erosión en función del cultivo y las prácticas agrícolas empleadas. Estas técnicas de conservación de suelos ofrecen un medio para mejorar la productividad mientras protegen el suelo y mitigan el cambio climático (FAO, 2014).

Los subindicadores *incorporación de materia orgánica* (77,45 %) y *gestión de plagas* (51,21 %) se ubican en el rango de nivel medio de sostenibilidad. La figura 2, tipo ameba, permite comparar los puntos o indicadores relevantes que aportan a la sostenibilidad del sistema y los puntos críticos que no contribuyen a la sostenibilidad ambiental (Abraham et al., 2014). Los puntos críticos que requieren urgente atención son los indicadores *diversificación de cultivos* y *preparación de terrenos* que alcanzaron valores de 15,1 % y 18,70 %, respectivamente, considerados como sostenibilidad crítica; ambos subindicadores reflejan valores muy bajos de sostenibilidad, debido a que el mercado se basa en quinuas estandarizadas de un solo color, una sola variedad y uso de semilla de variedades mejoradas, desplazando las variedades nativas (IICA, 2015; Mercado, 2018; Pinedo et al., 2018; Soto et al., 2012).

Con respecto a la preparación de terreno, en la zona de estudio las técnicas de preparación tradicional de tierras mediante herramientas tradicionales fueron desplazadas por la introducción y el incremento del uso de maquinaria agrícola (Medrano & Torrico, 2015; Pinedo et al., 2017a, 2018), gracias a la alta demanda de quinua en el mercado (Mercado, 2018). El uso de la maquinaria en la preparación de terrenos logra reducir costos y número de jornales cuando la preparación es manual con herramientas tradicionales; sin embargo, sus efectos adversos o desventajas se reflejan en el deterioro gradual de la estructura del suelo, debido a la compactación por el peso de las maquinarias y aperos agrícolas, además de la erosión de los suelos en terrenos de pendiente moderada a fuerte (Altieri & Nicholls, 2000).

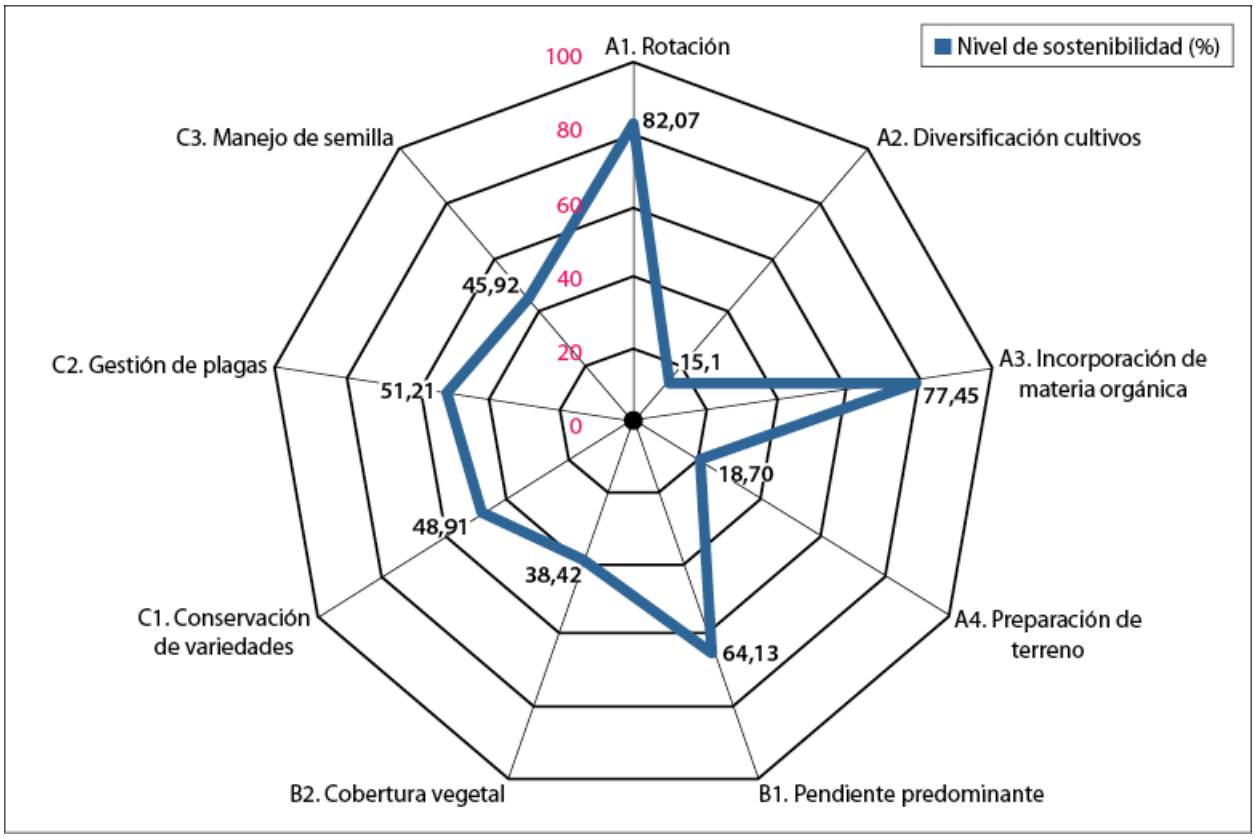

Figura 2. Representación de los valores de los subindicadores de la dimensión ambiental en la zona común de producción de quinua (Manallasaq, Sachabamba y Kishuarcancha-Huamanga), Ayacucho, Perú (2016)
Fuente: Elaboración propia

La quinua alcanza buenos rendimientos cuando se rota después de un cultivo de papa (Gómez & Aguilar, 2016; Pinedo et al., 2017a, 2018; Soto et al., 2012; Tapia et al., 2014). De acuerdo con el estudio realizado por Pinedo et al. (2017a), en la zona de estudio existen cuatro sistemas de producción de quinua: 1) los productores de sistemas tradicionales que realizan rotaciones, 2) los del sistema orgánico para cumplir con las normas de certificación del Servicio Nacional de Sanidad Agraria (SENASA), que obligadamente realizan rotación de cultivos; 3) los sistemas mixtos o alternativos (Bolívar, 2011) como parte del proceso de transición a sistemas sostenibles de manejo racional de los suelos (Nicholls & Altieri, 2012; Sarandón & Flores, 2014); 4) los sistemas convencionales, en los que la rotación de cultivos se practica cuando el sistema presenta problemas de baja productividad o incremento de la incidencia de plagas (IICA, 2015; Medrano & Torrico, 2015; Soto et al., 2012).

La alta demanda del mercado cambió la lógica de producción y perspectiva del agricultor (Bazile & Baudron, 2014; Maletta, 2017) y paulatinamente los viene integrando a un mercado cada vez más competitivo, situación que obliga a los productores (sobre todo de sistemas de agricultura familiar) a adoptar técnicas de cultivo o modelos de producción dependientes de insumos externos (Maletta, 2017; Nicholls & Altieri, 2012), con alta productividad para mejorar su economía familiar. La intensificación de la producción agrícola ejerce presión sobre los sistemas de producción frágiles en los valles interandinos (Medrano & Torrico, 2015). La expansión del cultivo fuera de las zonas tradicionales de producción puede

disminuir la sobreexplotación de los recursos y podría ayudar a estabilizar la sostenibilidad del sistema de cultivo andino como la quinua (Ruiz et al., 2014).

El punto crítico del sistema se refleja en el 15,2 % alcanzado por el indicador DICUL. Debido a la creciente demanda de los granos de quinua en el mercado internacional (IICA, 2015; Pinedo et al., 2018; Mercado, 2018), se han promovido modelos de producción de quinua en limpio o monocultivos, provocando el desplazamiento de las variedades nativas y otros cultivos alimenticios. El predominio del monocultivo es la causa de la pérdida de biodiversidad y la pérdida de prácticas tradicionales diversificadas de manejo de las parcelas (Nicholls & Altieri, 2012; Sarandón & Flores, 2014); estos modelos de monocultivo generan mayor dependencia de insumos externos (Nicholls & Altieri, 2012; Pinedo et al., 2018).

El subindicador MAPLA (51,21 %) se encuentra en un nivel medio de sostenibilidad, que puede considerarse aceptable; sin embargo, requiere mejoras con respecto a la asistencia técnica y capacitación para el manejo integrado de plagas (MIP) y control biológico de plagas, que reducen ostensiblemente la necesidad de usar plaguicidas (Altieri & Nicholls, 2000; Gómez & Aguilar, 2016). Pero estos programas deben responder a las condiciones particulares de un lugar, un área o una región con características propias (Sarandón & Flores, 2014; Zepeda, 2018). Los cultivos intercalados reducen malezas, plagas y enfermedades, mejoran la calidad del suelo y hacen más eficiente el uso del agua y nutrientes, así como incrementan la productividad de la tierra (Altieri & Nicholls, 2000); sin embargo, el manejo sustentable de plagas debería considerar la adopción de tecnologías modernas, respetando los saberes locales y la preservación del medio ambiente (Sarandón & Flores, 2014; Zepeda, 2018).

Con respecto a los indicadores PRETE y PEPRE, en la zona de estudio la pendiente predominante de los suelos varía de 5 % a 30 %. Esta característica favorece el uso intensivo de maquinaria agrícola en la preparación, surcado, siembra y labores de cosecha de la quinua (Pinedo et al., 2017a) y gradualmente deterioran los componentes y la fertilidad de los suelos; según Altieri y Nicholls (2000), las prácticas de acondicionamiento del suelo para las siembras deben contribuir a la conservación de las propiedades físicas, químicas y biológicas de este.

Por su parte, el subindicador CONVA alcanzó 48,1 % de sostenibilidad, un nivel que muestra la tendencia a la desaparición de variedades nativas de quinua, debido a la preferencia del mercado de variedades con granos de alta homogeneidad en tamaño y color (Mercado, 2018; Pinedo et al., 2018). Los agroecosistemas tradicionales andinos con alta diversidad genética, basada en poblaciones de especies silvestres emparentadas a los cultivos, han sido desplazados por el ingreso de variedades mejoradas (Altieri & Nicholls, 2000; Medrano & Torrico, 2015; Pinedo et al., 2018). Esta situación se puede remediar parcialmente con la conservación *ex situ*, que puede ayudar a mantener la riqueza genética (Ruiz et al., 2014). En el Perú, existen ocho bancos de germoplasma donde se conservan alrededor de 6.302 accesiones de quinua (Fairlie-Reinoso, 2016) y constituye un *stock* heterogéneo o patrimonio genético y cultural de la quinua por preservar y usar en programas de mejora genética (Ruiz et al., 2014). En el mercado, actualmente se ofertan 20 variedades comerciales de quinua (Apaza et al., 2013), desarrolladas por el Instituto Nacional de Innovación Agraria y las universidades del Perú (Gómez & Aguilar, 2016; IICA, 2015). Sin embargo, estas variedades de quinua introducidas en zonas fuera de sus regiones tradicionales de cultivo requieren el acompañamiento y asistencia técnica con insumos externos, y pueden no adaptarse a las condiciones locales (Ruiz et al., 2014).

En la figura 3, los datos ponderados de las variables o indicadores muestran que la variable RIESER alcanzó 51,28 % con el mejor valor de sostenibilidad, seguido de las variables MABDV y COVISU.

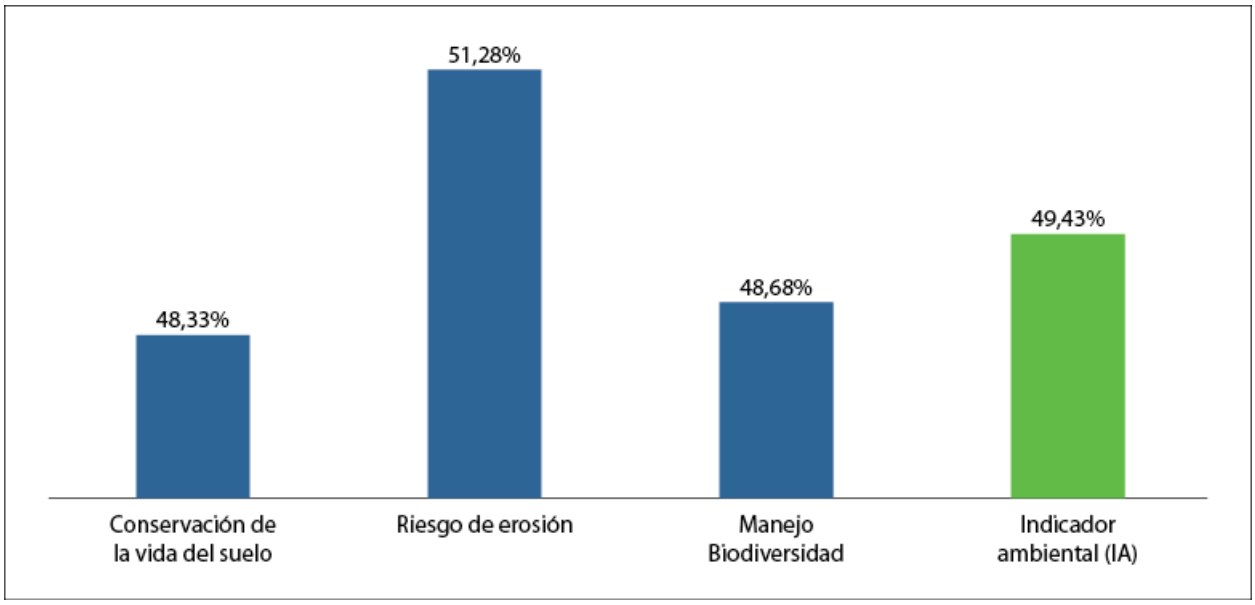

Figura 3. Niveles de sostenibilidad en variables ambientales e IA de la producción de quinua en Chiara, Ayacucho
Fuente: Elaboración propia

De acuerdo con la escala de sostenibilidad, en la dimensión ambiental solo la variable RIESER resulta sostenible por encontrarse por encima de los límites del umbral mínimo establecido, mientras que MABDV y COVISU no alcanzaron tal condición (Sarandón, 2002). Del promedio de valores de los tres indicadores resulta que el IA es de 49,43 % y califica como un nivel bajo de sostenibilidad; al no superar el 50 % (umbral mínimo), resultó ser no sostenible en la dimensión ambiental. De acuerdo con Ruiz et al. (2015), los agroecosistemas de la zona altoandina del Perú son frágiles; la capa arable de los suelos en su gran mayoría es escasa y sujeta a erosión por escorrentía, acción de las lluvias, malas prácticas agronómicas, además de encontrarse suelos agrícolas con fuertes pendientes. Los actuales sistemas de producción para ser sostenibles no solo deben mejorar en la productividad, ser rentables y mejorar las condiciones sociales de los productores, sino que deben manejar los recursos naturales con la menor contaminación ambiental (FAO, 2014; Sarandón, 2002; Sarandón et al., 2006). Por lo tanto, la creciente demanda de alimentos debe considerar la necesidad de preservar las tierras cultivables para la producción agrícola de alimentos y la diversidad genética para salvaguardar la resiliencia de los ecosistemas (Jacobsen, 2003; Ruiz et al., 2014).

Conclusiones

Los sistemas de producción de quinua, bajo los modelos predominantes de producción orgánica, mixta y convencional, no son sostenibles, debido a que el indicador ambiental (IA) no alcanzó el umbral mínimo de sostenibilidad establecido en la propuesta metodológica utilizada.

El indicador *riesgo de erosión* resultó ser el único en superar el umbral mínimo de sostenibilidad, favorecido por las prácticas de rotación de suelos principalmente con especies de leguminosas que incorporan

nitrógeno a los suelos, así como por la incorporación de materia orgánica como resultado de las prácticas tradicionales, y porque los modelos predominantes como la producción de quinua orgánica obligan al uso de abonos orgánicos. Otro factor favorable hallado resultó en el subindicador *pendiente predominante*, porque —en opinión de los productores— la erosión es menor debido a la pendiente moderada de sus tierras. Los subindicadores que presentan valores menores al umbral mínimo fueron la preparación de terrenos por la intensificación del uso de maquinaria agrícola y la diversificación de cultivos por el desplazamiento de sistemas tradicionales de producción y variedades nativas de quinua.

Agradecimientos

Los autores agradecen a los ingenieros Wilbert Villano Tárraga (FAO) y Raúl Salvatierra (Líder en producción de quinua – Manallasac), por el apoyo en los trabajos de campo. Asimismo, a los revisores pares y a los editores de la revista CTA, por sus comentarios, que ayudaron a mejorar este trabajo.

Descargos de responsabilidad

Todos los autores realizaron aportes significativos al documento, están de acuerdo con su publicación y manifiestan que no existen conflictos de interés en este estudio.

Referencias

Abraham, L., Alturria, L., Fonzar, A., & Ceresa. A. (2014). Propuesta de indicadores de sustentabilidad para la producción de vid en Mendoza, Argentina. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Cuyo, 46*(1), 161-180. https://bdigital.uncuyo.edu.ar/objetos_digitales/6453/cp12-alturria.pdf

Altieri, M., & Nicholls, C. (2000). Bases agroecológicas para una agricultura sustentable. En M. Altieri, & C. Nicholls (Eds.), *Agroecología. Teoría y práctica para una agricultura sustentable* (pp. 13-43). http://www.agro.unc.edu.ar/~biblio/AGROECOLOGIA2 %5B1 %5D.pdf

Apaza, V., Estrada, R., Cáceres, G., & Pinedo, R. (2013). *Catálogo de variedades comerciales de quinua en el Perú*. Food and Agriculture Organization (FAO).

Bazile, D., & Baudron, F. (2014). Dinámica de expansión mundial del cultivo de la quinua respecto a su alta biodiversidad. En D. Bazile, et al. (Eds.), *Estado del arte de la quinua en el mundo en 2013* (Capítulo 1.4, pp. 49-64). Food and Agriculture Organization (FAO) & Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement (CIRAD).

Bolívar, H. (2011). Metodologías e indicadores de evaluación de sistemas agrícolas hacia el desarrollo sostenible. *Revista del Centro de Investigación de Ciencias Administrativas y Gerenciales, 8*(1), 1-18.

Dirección Regional Agraria Ayacucho (DRAA). (2016). *Series históricas de siembras y cosechas*. DRAA. http://www.agroayacucho.gob.pe/estadisticas

Fairlie-Reinoso, A. (2016). *La quinua en el Perú: cadena exportadora y políticas de gestión ambiental. Primera Edición*. Instituto de Ciencias de la Naturaleza, Territorio y Energías Renovables (INTE-PUCP).

Gómez, L., & Aguilar, E. (2016). *Guía del cultivo de quinua*. Universidad Nacional Agraria La Molina.

Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). (2015). *Estudio: el mercado y la producción de quinua en el Perú*. IICA. http://repositorio.iica.int/bitstream/11324/2652/1/BVE17038730e.pdf

Jacobsen, S. E. (2003). The worldwide potential for quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Food Reviews International, 19*(1-2), 167-177. http://dx.doi.org/10.1081/FRI120018883.

Maletta, H. (2017). La pequeña agricultura familiar en el Perú. Una tipología microrregionalizada. En *IV Censo Nacional Agropecuario 2012: Investigaciones para la toma de decisiones en políticas públicas*. Libro V. FAO.

Medrano, A., & Torrico, J. (2015). Consecuencias del incremento de la producción de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.), en el Altiplano Sur de Bolivia. *CienciAgro, 1*(1), 29-34.

Mercado, W. (2018). Economía institucional de la cadena productiva de la quinua en Junín, Perú. *Scientia Agropecuaria, 9*(3), 329-342. http://dx.doi.org/10.17268/sci.agropecu.2018.03.04

Meza, Y., & Julca A. (2015) Sustentabilidad de los sistemas de cultivo con yuca (*Manihot esculenta* Crantz) en la subcuenca de Santa Teresa, Cusco. *Ecología Aplicada, 14*(1), 55-63. http://www.scielo.org.pe/pdf/ecol/v14n1/a05v14n1.pdf

Ministerio de Agricultura y Riego (Minagri). (2017). *La quinua, producción y comercio del Perú. Dirección de Estudios Económicos e Información Agraria. Perfil Técnico N.° 2.* Minagri.

Nicholls, C. I., & Altieri, M. A. (2012). Modelos ecológicos y resilientes de producción agrícola para el siglo XXI. *Agroecología, 6*, 28-37. https://revistas.um.es/agroecologia/article/view/160641

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2014). *Building a common vision for sustainable food and agriculture. Principles and approaches*. FAO. http://www.fao.org/3/a-i3940e.pdf

Pearce, D., & Atkinson, G. (1993). Capital theory and measurements of sustainable development: an indicator of "weak" sustainability. *Ecological Economics, 8*(2), 103-108. https://doi.org/10.1016/0921-8009(93)90039-9

Pinedo, R., Gómez, L., & Julca, O. (2017a). Caracterización de sistemas de producción de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) en el distrito de Chiara, Ayacucho. *Aporte Santiaguino, 10*(2), 351-364. https://doi.org/10.32911/as.2017.v10.n2.176

Pinedo, R., Gómez, L., & Julca, O. (2017b). Indicadores de sostenibilidad de sistemas de producción de quinua en Chiara, Ayacucho. *Aporte Santiaguino, 10*(2), 197-210. https://doi.org/10.32911/as.2017.v10.n2.163

Pinedo, R., Gómez, L., & Julca, O. (2018). Sostenibilidad de sistemas de producción de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios, 5*(15), 399-409. http://dx.doi.org/10.19136/era.a5n15.1734

Ruiz, D. M., Martínez, J. P., & Figueroa, A. (2015). Agricultura sostenible en ecosistemas de alta montaña. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial, 13*(1), 129-138. http://www.scielo.org.pe/pdf/ecol/v14n1/a05v14n1.pdf

Ruiz, K., Biondi, S., Oses, R., Acuña-Rodríguez, I., Antognoni, F., Martínez-Mosqueira, E., & Zurita-Silva, A. (2014). Quinoa biodiversity and sustainability for food security under climate change. *Agronomy for Sustainable Development, 34*(2), 349-359. http://dx.doi.org/10.1007/s13593-013-0195-0.

Sarandón, S. J. (2002). El desarrollo y uso de indicadores para evaluar la sustentabilidad de los agroecosistemas. En S. J. Sarandón (Eds.), *Agroecología. El camino hacia una agricultura sustentable* (pp. 393-414). Ediciones Científicas Americanas. https://wp.ufpel.edu.br/consagro/files/2010/10/SARANDON-cap-20-Sustentabilidad.pdf

Sarandón, S. J., Zuluaga, M. S., Cieza, R., Gómez, C., Janjetic, L., & Negrete, E. (2006). Evaluación de la sustentabilidad de sistemas agrícolas de fincas en Misiones, Argentina, mediante el uso de indicadores. *Revista Agroecología, 1*, 19-28. https://revistas.um.es/agroecologia/article/view/14

Sarandón, S. J., & Flores, C. C. (2014). *Agroecología: bases teóricas para el diseño y manejo de agroecosistemas sustentables*. Universidad Nacional de La Plata.

Soto, J., Valdivia, E., Valdivia, R., Cuadros, A., & Bravo, R. (2012). Descripción de sistemas de rotación de cultivos en parcelas de producción de quinua en cuatro zonas (siete distritos) del altiplano peruano. *CienciAgro, 2*(3), 391-402.

Tapia, M., Canahua, A., & Ignacio, S. (2014). *Razas de quinua del Perú*. Asociación Nacional de Productos Ecológicos (Anpe) y Consejo Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación Tecnológica (Concytec).

Zepeda, I. (2018). Manejo sustentable de plagas agrícolas en México. *Agricultura Sociedad y Desarrollo, 15*(1), 99-108. http://doi.org/10.22231/asyd.v15i1.752.