

Agroecología para la seguridad alimentaria y frente al cambio climático en Perú

Yésica Quispe Conde^a, Bruno Locatelli^{b,c}, Améline Vallet^{d,e}, Raúl Blas Sevillano^a

RESUMEN: Este estudio evalúa la contribución de la agroecología a la seguridad alimentaria y contra el cambio climático en la agricultura familiar en la cuenca Mariño (Perú). Utilizamos como marco analítico los tres principios de la Agricultura Climáticamente Inteligente (CSA). Realizamos encuestas y mediciones en campo, evaluando tres principios, 10 criterios y 12 indicadores. Encontramos que la aplicación de prácticas agroecológicas mejora la autosuficiencia alimentaria e ingresos familiares; asimismo, reduce los antagonismos o incrementa sinergias entre productividad y adaptación o mitigación. Ello sugiere que la agroecología puede ayudar a alcanzar simultáneamente los objetivos (a menudo conflictivos) de la CSA.

Agroecology for food security and against climate change in Peru

ABSTRACT: This study evaluates the contribution of agroecology to food security, resilience and mitigation of climate change in family farming, in the Mariño basin (Peru). We use the three principles of Climate Smart Agriculture (CSA) as an analytical framework. We carry out surveys and measurements in the field, evaluating three principles, 10 criteria and 12 indicators. We found that the application of agroecological practices improves food self-sufficiency and family income and reduces antagonisms or increases synergies between productivity and adaptation or mitigation. This suggests that agroecology can help achieve simultaneously the often-conflicting goals of Climate Smart Agriculture.

PALABRAS CLAVE / KEYWORDS: Agroecología, cambio climático, seguridad alimentaria, adaptación, mitigación / *Adaptation, climate change, agroecology, food security, ecosystem services.*

Clasificación JEL / JEL classification: Q57.

DOI: <https://doi.org/10.7201/earn.2022.01.01>

^a Escuela de Postgrado, Universidad Nacional Agraria de la Molina, Lima, Perú. E-mail: yesiquispe@gmail.com, rblas@lamolina.edu.pe

^b CIRAD, University of Montpellier, Montpellier, France. E-mail: bruno.locatelli@cirad.fr

^c CIFOR, Lima, Perú.

^d Ecologie Systématique Evolution, AgroParisTech, CNRS, Université Paris-Sud, Université Paris Saclay, Orsay, France. E-mail: ameline.vallet@universite-paris-saclay.fr

^e CIRED, AgroParisTech, Cirad, CNRS, EHESS, Ecole des Ponts ParisTech, Université Paris Saclay, Nogent-sur-Marne, France.

Agradecimientos: Los autores agradecen al Centro para la Investigación Forestal Internacional – CIFOR por el financiamiento de la investigación. Asimismo, se agradecen los comentarios de los revisores anónimos de la revista.

Citar como: Quispe, Y., Locatelli, B., Vallet, A. & Blas, R. (2022). “Agroecología para la seguridad alimentaria y frente al cambio climático en el Perú”. *Economía Agraria y Recursos Naturales*, 22(1), 5-29. doi: <https://doi.org/10.7201/earn.2022.01.01>

Dirigir correspondencia a: Yésica Quispe Conde.

Recibido en enero de 2020. Aceptado en noviembre de 2021.

1. Introducción

El cambio climático viene afectando a la seguridad alimentaria a nivel mundial, regional y local. El aumento de la temperatura global, sumado a un cambio en el régimen de precipitaciones y fenómenos meteorológicos extremos (sequías o inundaciones), viene disminuyendo la disponibilidad hídrica, incrementando la prevalencia de parásitos y enfermedades. Todo ello puede resultar en una reducción de la productividad agrícola.

Para el 2050, los modelos económicos proyectan un aumento del 1 al 29 % del precio de los cereales debido al cambio climático, lo que podría poner entre 1 y 183 millones de personas más en riesgo de padecer hambre (Mbow *et al.*, 2019).

Además, el sector agrícola no solo se ve afectado por el cambio climático, sino también contribuye directamente a la emisión de gases de efecto invernadero (GEI). Esto se debe al cambio de uso de suelos por deforestación, uso de fertilizantes y la ganadería de rumiantes (Smith *et al.*, 2014). La agricultura, la silvicultura y otros cambios en el uso de la tierra son responsables del 23 % de las emisiones antropogénicas de dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) y óxido nitroso (N₂O), entre 2007 y 2016 (Jia *et al.*, 2019).

Frente a este contexto, la agricultura enfrenta distintos desafíos: satisfacer las necesidades alimenticias y socioeconómicas sin alterar el funcionamiento de los sistemas naturales, mejorar su resiliencia al cambio climático (adaptación) y reducir las emisiones de GEI (mitigación) (Jarvis *et al.*, 2011).

Estos tres desafíos están en el centro del enfoque de agricultura climáticamente inteligente (CSA, por sus siglas en inglés *Climate-Smart Agriculture*) o agricultura preparada para el cambio climático (Lipper *et al.*, 2017). Fue presentado por la FAO en la Conferencia sobre Agricultura, Seguridad Alimentaria y Cambio Climático en La Haya en 2010 para proporcionar un marco que oriente decisiones y medidas para responder al cambio climático.

La CSA apunta a tres objetivos denominados también principios: (i) la productividad (aumentar o mantener sosteniblemente la productividad agrícola, los ingresos agrícolas y la seguridad alimentaria); (ii) la adaptación (aumentar la resiliencia de los sistemas productivos, reducir la vulnerabilidad y mejorar la capacidad de adaptarse al cambio climático); y (iii) la mitigación (reducir los GEI generados por la agricultura) (Lipper *et al.*, 2014).

Sin embargo, no es fácil alcanzar estos tres principios al mismo tiempo, debido a los numerosos *trade-offs* (compensaciones o antagonismos) entre adaptación, productividad y mitigación (Karlsson *et al.*, 2017). Por ejemplo, muchas prácticas intensivas tienen el potencial de aumentar la productividad en el corto plazo, pero con pérdida de biodiversidad en los suelos o en los cultivos o contaminaciones de agua o suelos, lo que aumenta riesgos y reduce la capacidad adaptativa (Locatelli *et al.*, 2015).

Este enfoque no indica qué prácticas son climáticamente inteligentes. De hecho, la CSA no excluye el uso de productos químicos (herbicidas, insecticidas, fungicidas), organismos genéticamente modificados o monocultivos industriales (biocombustibles, por ejemplo), lo que ha llevado a críticas y controversias (Karlsson *et al.*, 2017; Taylor, 2018).

Por lo visto, la CSA es un concepto reciente que plantea la multifuncionalidad de la agricultura y la necesidad de enfoques holísticos, enfatizando la capacidad de la agricultura para hacer frente al cambio climático. Sin embargo, tiene dificultad para lograr los tres objetivos que resultan interesantes desde la teoría (Saj *et al.*, 2017).

En ese sentido, existen otros enfoques y prácticas que también buscan enfrentar el cambio climático desde la agricultura: agroecología, agricultura de conservación, entre otras. Estos podrían contribuir a alcanzar simultáneamente los tres principios que plantea la CSA.

La agroecología aplica principios ecológicos para diseñar agroecosistemas sostenibles, basados en la diversidad biológica y las interacciones ecológicas o sinergias entre componentes biológicos (Altieri & Nicholls, 2010). El concepto surgió en el año 1920 y ganó importancia en los años 80 y 90 con los trabajos de Altieri (2001); Gliessman (2014); Rabhi (2015), entre otros. Su enfoque inicial en la ciencia ecológica ha reconocido e integrado cada vez más el conocimiento tradicional y local de los agricultores, favoreciendo formas “ecoamigables” de producción, sin agroquímicos e insumos externos. La agroecología se focaliza más en la adaptación y seguridad alimentaria que en mitigación; rara vez se evalúa por sus efectos climáticos (Saj *et al.*, 2017; Torquebiau *et al.*, 2018).

En muchos países, la agricultura familiar es un sector clave para la seguridad alimentaria y genera múltiples beneficios económicos y sociales a nivel local y nacional (Grisa & Sabourin, 2019; Van der Ploeg, 2014).

En América Latina, la agricultura familiar genera entre el 30 y 40 % del PIB agrícola y más del 60 % del empleo rural. Al menos 100 millones de personas dependen de este modelo, que representa más del 80 % de las fincas y es el principal abastecedor de la canasta básica de consumo de alimentos (Salcedo & Guzmán, 2014; Tello & Juárez, 2011).

Enfrentar los desafíos de la agricultura frente al cambio climático, sobre todo en la pequeña agricultura, implica aproximar enfoques que se pueden complementar. Por ello, aplicamos la CSA como enfoque analítico en sistemas productivos de agricultura familiar en la cuenca del Mariño (Perú), donde la agroecología ha sido promovida desde hace más de 20 años por Organizaciones No Gubernamentales (ONG), principalmente.

Las familias campesinas en la cuenca del Mariño poseen áreas de terreno para cultivo que oscila entre 0,4-2 hectáreas bajo riego. También cuentan con terrenos comunales (laymes) que funcionan como terrenos de cultivos en temporada de lluvias, orientadas principalmente para la producción de papa (IDMA, 2008). Existe una gran atomización de pequeñas áreas de cultivo.

Frente a ello, la adopción de prácticas agroecológicas permite optimizar el uso del terreno para cultivo, mediante la diversificación y el uso de abonos orgánicos provenientes del mismo sistema productivo. Los agricultores que han adoptado la agroecología y que se vinculan con el mercado han desarrollado un círculo virtuoso de mejora continua en la finca (con instalación de reservorios y riego).

Pese a ello, la adopción de la agroecología se ha visto limitada por el mercado: pocos valoran un producto ecológico, mientras que la mayoría de los consumidores no discrimina entre un producto agroecológico y uno convencional.

Este artículo contribuye a explorar el aporte de la agroecología para responder a los desafíos del cambio climático, vinculando explícitamente las prácticas agroecológicas con los tres principios de la CSA.

Aplicamos este marco a los sistemas productivos de agricultura familiar en la cuenca del Mariño (Perú), usando entrevistas semiestructuradas, encuestas y mediciones de campo. Específicamente, respondemos a las siguientes preguntas de investigación: ¿Las fincas más agroecológicas contribuyen más que las fincas menos agroecológicas a los principios de la CSA? ¿Cuál es el efecto de las prácticas agroecológicas en la naturaleza e intensidad de los antagonismos entre los principios de la CSA?

Encontramos que niveles más altos de aplicación de prácticas agroecológicas mejoraron la autosuficiencia alimentaria y los ingresos familiares. También encontramos menos antagonismos entre los indicadores de la CSA en sistemas más agroecológicos, lo que sugiere que la agroecología puede ayudar a alcanzar simultáneamente los objetivos múltiples propuestos por la CSA, convirtiéndose en una estrategia potencial para hacer frente al cambio climático en la pequeña agricultura y para la CSA.

2. Materiales y métodos

2.1. Zona de estudio

La cuenca del Mariño se encuentra en los distritos de Abancay y Tamburco de la provincia de Abancay, región Apurímac, Perú. Está ubicada entre las coordenadas geográficas 72°45'-72°56' de longitud oeste y 13°33'-13°42' de latitud sur, con una superficie de 285 km². Constituye un espacio geográfico diverso en cuanto a geomorfología, clima y ecosistemas, con altitudes que varían desde los 1.718 hasta los 5.350 m. s. n. m. (GORE Apurímac, 2009). De las diez comunidades campesinas de la cuenca se seleccionó la comunidad de Llañucancha para el estudio, por ser una de las comunidades con mayor intervención de proyectos agroecológicos implementados por ONG locales.

La agricultura en los Andes peruanos se caracteriza por la atomización de las unidades productivas (o fincas) pequeñas. El 94,7 % de estas unidades son menores de 5,0 ha, están diversificadas y manejadas por familias (Maletta, 2017), y su producción está orientada principalmente al autoconsumo y el excedente al mercado.

En la cuenca Mariño, las fincas se caracterizan por ser parcelas dispersas con diferentes usos: áreas de producción permanente, áreas de producción temporal, pastizales y áreas con bosques o plantaciones de árboles. En las áreas de producción permanente, generalmente con riego, se produce una variedad de cultivos (papa, maíz, hortalizas, frutas, flores, hierbas aromáticas, etc.). En las áreas de producción temporal, cultivadas en temporada de lluvia, se producen principalmente papa¹ (*Solanum tuberosum*), tarwi² (*Lupinus mutabilis*) y olluco¹ (*Ollucus tuberosus*). Dentro del área de producción permanente, el agricultor dispone de áreas de pastizales para el pastoreo del ganado y de bosques (con árboles nativos y exóticos) que brindan madera de construcción y leña.

El agricultor es poseedor de las áreas de producción permanente, mientras que las áreas de producción temporal son usadas por los miembros de la comunidad de forma rotativa, según las necesidades y las capacidades de las familias. En general, todas las áreas cuentan con cercos vivos de árboles y arbustos, sobre todo las parcelas de producción permanente.

2.2. Enfoque analítico

Para vincular las prácticas agroecológicas con los tres principios de la CSA, nuestro enfoque analítico procede en tres etapas (Gráfico 1). Primero, se evalúa qué tanto las fincas en la zona de estudio aplican prácticas agroecológicas, lo que permite identificar un grupo de fincas con alto nivel de agroecología (o más agroecológicas) y otro con bajo nivel (o menos agroecológicas); segundo, se evalúa la contribución de las fincas de los dos grupos a los principios de la CSA; y tercero, se comparan los dos grupos de fincas. La decisión de analizar solamente las fincas con niveles bajos y altos de agroecología (y no aquellos con niveles medios) se justifica por la búsqueda de diferencias marcadas, además de reducir el tiempo y los recursos necesarios al análisis de todas las fincas.

2.3. Evaluación agroecológica

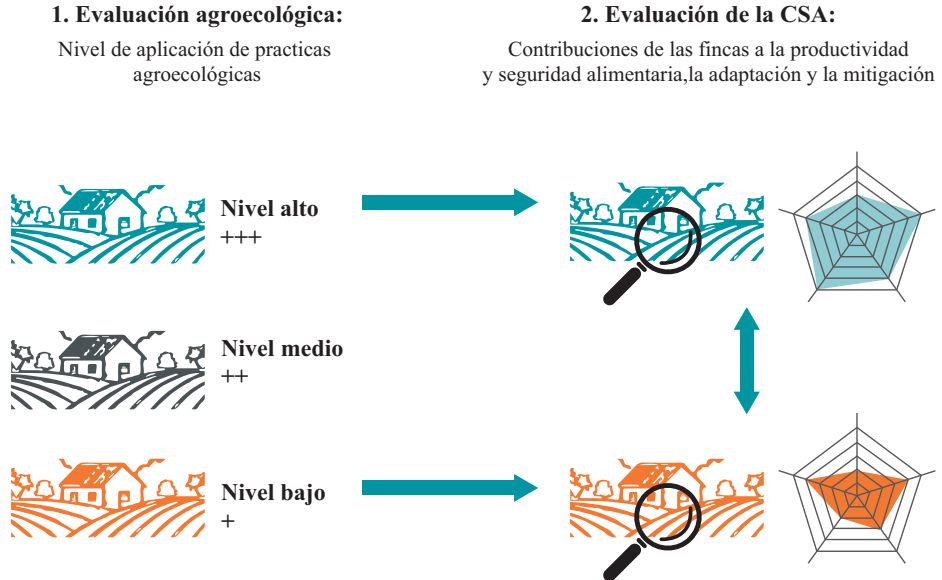
Se aplicó una entrevista a todas las familias de la comunidad de Llañucancha (49 familias) para evaluar su grado de adopción de 16 prácticas agroecológicas en sus fincas: terrazas, árboles en contorno y en cultivos, espacios para especies silvestres, cultivo contra pendiente, *mulch*, estiércol, compost, humus, biol, asociación de cultivos, rotación de cultivos, biocidas, recojo manual de insectos, plantas repelentes, trampas para plagas, policultivos. Estas prácticas agroecológicas fueron seleccionadas por ser promovidas y aplicadas en la pequeña agricultura de la zona andina (IDMA, 2008), donde se realizó el estudio.

¹ Tubérculo andino.

² Grano andino.

GRÁFICO 1

Enfoque del análisis



Fuente: Elaboración propia.

El puntaje asignado a cada práctica dependía de la intensidad con la que estas se aplicaban en la finca, de acuerdo a la siguiente categoría: Nunca = 0 puntos, Pocas veces = 1 punto, A menudo = 2 puntos, Siempre = 3 puntos. La sumatoria de los puntajes permitieron calcular un puntaje total para cada finca. Se seleccionó la tercera parte ($n = 16$) de las fincas con mayor puntaje y la tercera parte con menor puntaje para formar la muestra de 32 fincas sobre las cuales se aplicó el análisis de CSA: 16 con alto puntaje (llamadas “fincas más agroecológicas” en adelante) y 16 con bajo puntaje (llamadas “fincas menos agroecológicas”).

2.4. Evaluación de la CSA

Se construyó un estándar jerárquico PC&I (principios, criterios e indicadores) (Morán *et al.*, 2006) para evaluar los tres objetivos de la CSA. Este consiste en subdividir, jerárquicamente, un objetivo amplio y complejo en parámetros que puedan ser monitoreados y evaluados.

En ese sentido, se tiene tres principios (correspondientes a los objetivos de la CSA), 10 criterios y 12 indicadores, así como verificadores para medir los indicadores (Cuadro 1). El estándar se basó en la conceptualización de la CSA (ver referencias en la introducción) y nuestro conocimiento de la pequeña agricultura

en la región. Se tomó en cuenta la relevancia y representatividad de los criterios e indicadores, la sensibilidad a la medición y la factibilidad de recolección de datos en términos logísticos y de recursos.

CUADRO 1

Estándar de principios (P), criterios (C) e indicadores (I) para evaluar las fincas agroecológicas y verificador usadas para medir los indicadores (columna de la derecha)

| P1: La finca contribuye a la productividad y la seguridad alimenticia | | |
|---|--|--|
| C11: La finca produce suficientes cantidades de productos básicos. | I111: La finca tiene buenos rendimientos de productos básicos. | Rendimiento de productos básicos (maíz, patata y tarwi) (kg/ha). |
| C12: La finca permite un consumo continuo y seguro de alimentos. | I121: Los productos básicos se producen en cantidad suficiente. | Producción anual de productos básicos por familia (kg/año). N.º de campañas de productos básicos. |
| | I122: La producción asegura el consumo de la familia. | Origen de los alimentos que consume la familia (si los alimentos provienen en su mayoría de la finca o de compra externa). |
| C13: La finca permite generación continua y segura de ingresos. | I131: Hay diversidad de productos para venta. | Ingresos mensuales por venta de productos de la finca (crianzas, cultivos o todos productos). |
| C14: Tiempo para otras actividades: la finca permite a los agricultores tener otras actividades generadoras de ingresos. | I141: El tiempo necesario para la actividad agrícola es bajo. | Tiempo dedicado al trabajo en la finca (que mide el opuesto del tiempo disponible para otras actividades). N.º de actividades no agrícolas. |
| P2: La finca es resiliente a las variaciones climáticas y contribuye a la adaptación | | |
| C21. La producción es diversificada para más resiliencia. | I211: Hay diversidad de productos (que aumenta la probabilidad que unos estén disponibles durante problemas climáticos). | Número de productos cultivados, Número de tipos de crianzas. |
| C22. La producción es protegida contra variaciones climáticas. | I221: Prácticas de adaptación disminuyen el impacto del cambio climático en la producción. | Número de prácticas de adaptación al cambio climático. |
| C23. La finca protege los suelos y regula el agua, lo que reduce la vulnerabilidad de la finca misma y de la cuenca a las variaciones climáticas. | I231: La finca protege sus suelos de la erosión hídrica. | Índice de erodabilidad del suelo. |
| | I232: Los suelos tienen buena capacidad de retención de agua y buena infiltración de agua en suelos. | Porcentaje de materia orgánica en el suelo. |
| P3. La finca contribuye a la mitigación del cambio climático | | |
| C31: La finca secuestra carbono en suelos agrícolas. | I311: Los suelos de las parcelas agrícolas contienen mucho carbono. | Carbono total en suelos agrícolas (tC/ha). |
| C32: La finca secuestra carbono en árboles de parcelas agrícolas | I321: Los árboles de la finca contienen mucho carbono | Densidad de carbono en árboles aislados y en árboles de cercos en área agrícola permanente (tC/ha). |
| C33: La finca secuestra carbono en bosques de la finca. | I331: Los bosques de la finca contienen mucho carbono. | Carbono total en bosques (tC) y por hectárea de la finca (tC/ha). |

Fuente: Elaboración propia.

En las fincas seleccionadas, se evaluaron los 12 indicadores (Cuadro 1) en dos escalas: fincas y parcelas (Gráfico 2). En este estudio las fincas se definen en el sentido de sistema de producción familiar compuesto por los miembros de la familia, los terrenos, los animales, los edificios y otros capitales naturales o físicos (Barrantes *et al.*, 2017). Las parcelas se definen como porciones de terreno contiguos y homogéneos en términos de uso.

Dependiendo del indicador, se utilizaron diferentes métodos procedentes de las ciencias sociales (una encuesta estructurada de identificación de prácticas y una entrevista semiestructurada con 64 ítems), de la edafología (análisis físico y químico de suelos) y de la ecología (mediciones de árboles, ecuaciones alométricas, teledetección). Las encuestas y entrevistas se realizaron durante un mes y medio, y el trabajo de campo durante tres meses, entre finales de 2016 y los primeros meses de 2017.

GRÁFICO 2

Métodos y escala de evaluación de los indicadores de criterios (C) de evaluar los tres principios (P) de la CSA



Fuente: Elaboración propia.

Para evaluar los indicadores relacionados con carbono en árboles (criterios C32 y C33), se usaron metodologías estándares basadas en mediciones de diámetros de árboles a la altura del pecho (MacDicken, 1997), aplicadas a ecuaciones alométricas reportadas en la literatura para estimar el carbono del árbol (Chave *et al.*, 2005; Chave *et al.*, 2014; Del Valle *et al.*, 2011; Henry *et al.*, 2011). Se restringió la estimación al carbono total contenido en la parte aérea de los árboles de más de 5 cm de diámetro. No se incluyó el carbono de las raíces de los árboles, porque está generalmente correlacionado al carbono de la biomasa aérea. Se consideraron árboles aislados en parcelas de producción permanente, en cercos de parcelas y en bosques (bajo: nativos y alto: exóticos). La medición del diámetro en árboles aislados se realizó en todas las fincas.

Para los cercos y bosques no fue posible medir todos los árboles por su gran número; por tanto, se estimó un valor promedio del carbono aéreo de los árboles por metro de cerco o hectárea de bosques, midiendo los diámetros en 45 segmentos de cercos vivos de 10 m lineales (26 en cercos delgados entre 3 y 10 m de ancho, y 19 en cercos gruesos de 10 a 20 m de ancho) y en 18 cuadrantes de bosques de 20 x 20 m (10 cuadrantes de bosques alto, 8 de bosque bajo). Los números de cuadrantes y segmentos resultaron de la búsqueda de un error aceptable.

Con estas mediciones y con ecuaciones alométricas se calcularon valores promedios para el carbono en cercos (49 kg/m en cercos delgados con un intervalo de 27 a 72, 91 kg/m en cercos gruesos con un intervalo de 24 a 158) y en bosques (93 tC/ha en bosques bajos con un intervalo de 79 a 108, 154 tC/ha en bosques altos con un intervalo de 119 a 188). Estos valores se multiplicaron por las longitudes de cercos vivos delgados y gruesos o las superficies de bosques bajos y altos, medidas obtenidas de las imágenes satélites para cada finca.

2.5. Agregación y comparación entre fincas más y menos agroecológicas

Después de comparar los valores de los verificadores (que miden indicadores) entre fincas más y menos agroecológicas con pruebas t de Student y Kruskal -Wallis, agregamos los valores de los indicadores para evaluar los criterios. La agregación se hizo, primero, con una normalización de todos los indicadores (normalización basada en la unidad para traer todos los valores entre 0 y 1); y segundo, con el cálculo del promedio de los indicadores que componen un criterio. No hemos aplicado pesos en el cálculo del promedio por la subjetividad en la definición de los pesos. Por lo tanto, consideramos que todos los indicadores seleccionados contribuyen de la misma manera al criterio.

El mismo proceso se aplicó para pasar de los criterios a los principios. Se representaron los valores promedios de los principios y criterios en gráfico de radar para comparar visualmente el desempeño de las fincas más y menos agroecológicas en cuanto a la CSA.

Finalmente, se realizó un análisis de sinergias y antagonismos entre criterios de CSA con las fincas más y menos agroecológicas de manera separada. La idea era ver

si había más sinergias entre los objetivos de la CSA en las fincas más agroecológicas que en las menos agroecológicas. Se calcularon correlaciones de Pearson entre criterios y se identificaron sinergias (o antagonismos) con correlaciones positivas (o negativas) significativas a $p < 0,05$.

3. Resultados

3.1. Diferencias básicas entre fincas más o menos agroecológicas

Las 49 fincas analizadas en la primera fase lograron puntajes de adopción de prácticas agroecológicas entre 9 y 34 de 48 (puntaje máximo posible), lo que muestra que no hay fincas consideradas total o nulamente agroecológicas. Las 16 fincas menos agroecológicas tuvieron puntajes entre 9 y 15, y las 16 fincas más agroecológicas tuvieron puntajes entre 21 y 34.

CUADRO 3

VARIABLES SOCIOESTRUCTURALES DE LAS FINCAS ANALIZADAS

| Variables socio estructurales | Nivel de aplicación de prácticas agroecológicas | Descriptivos | | | Significancia |
|-------------------------------|---|--------------|---------|------------|---|
| | | Promedio | Mediana | Error tipo | |
| N.º de personas / familia | Menos agroecológicas | 6,25 | 6,5 | 0,698 | Prueba T (0,570 > 0,05) |
| | Más agroecológicas | 6,75 | 7,00 | 0,052 | |
| Área productiva permanente | Menos agroecológicas | 0,8469 | 0,7400 | 0,13849 | Prueba T (0,002 < 0,05) |
| | Más agroecológicas | 1,5888 | 1,6650 | 0,17392 | |
| Área en terreno comunal | Menos agroecológicas | 1,3381 | 0,9400 | 0,34092 | Prueba de Kruskal-Wallis (0,662 > 0,05) |
| | Más agroecológicas | 1,2963 | 1,2850 | 0,24742 | |
| Área bosque bajo | Menos agroecológicas | 0,5306 | 0,0000 | 0,32536 | Prueba de Kruskal-Wallis (0,286 > 0,05) |
| | Más agroecológicas | 0,0869 | 0,2100 | 0,27575 | |
| Área bosque alto | Menos agroecológicas | 0,5875 | 0,3200 | 0,17554 | Prueba de Kruskal-Wallis (0,287 > 0,05) |
| | Más agroecológicas | 1,6388 | 0,6400 | 0,58047 | |
| Área total | Menos agroecológicas | 3,3031 | 2,8700 | 0,48589 | Prueba de Kruskal-Wallis (0,042 < 0,05) |
| | Más agroecológicas | 5,3694 | 4,0850 | 0,85696 | |

Fuente: Elaboración propia.

En la muestra de 32 fincas seleccionadas para el análisis de CSA, las familias estaban integradas por un promedio de 6,5 personas, sin diferencia significativa

entre las fincas más o menos agroecológicas. La finca familiar tenía en promedio una superficie total de 4,3 ha, con diferencias significativas entre las fincas más agroecológicas (5,4 ha) y las menos (3,3 ha). La diferencia resultó de una superficie mayor de áreas de producción permanente (1,6 y 0,8 ha respectivamente), mientras que las superficies de bosques o de áreas productivas temporales no difirieron significativamente entre los dos grupos.

3.2. Productividad y seguridad alimentaria

Los rendimientos de cultivos básicos para la alimentación de las familias campesinas (papa, maíz y tarwi) no mostraron diferencias significativas entre fincas más agroecológicas y otras, a pesar de que los promedios fueron un poco más altos en las fincas más agroecológicas (Gráfico 3, bajo el indicador I111).

Se observó más cantidad total de los tres cultivos básicos producida por la familia y más cosechas de papa por año en fincas más agroecológicas (Gráfico 3, indicador I121). Una diferencia notable entre grupos se refirió a la autosuficiencia alimentaria: todas las familias con fincas más agroecológicas reportaron que la mayoría de su consumo alimenticio provenían de su finca, mientras que en las familias con fincas menos agroecológicas solo el solo el 19 % de alimentos proviene de la finca (Gráfico 3, indicador I122).

La venta de productos de la finca (productos vegetales y animales, entre otros) generó ingresos significativamente mayores para familias con más prácticas agroecológicas que para familias con menos prácticas (Gráfico 3, indicador I131). No se observaron diferencias significativas entre los dos grupos en cuanto al tiempo dedicado a la finca o el número de actividades no agrícolas; en ambos grupos, las familias realizaron algunas actividades fuera de la finca, permitiéndoles diversificar sus ingresos (Gráfico 3, indicador I141). Sin embargo, se notó que las familias con más prácticas agroecológicas tenían, en promedio, menos actividades no agrícolas y pasaban más tiempo en su finca.

3.3. Adaptación frente al cambio climático

Se encontró que las fincas más agroecológicas poseían significativamente más diversidad de cultivos en comparación con las menos agroecológicas, mientras que el número de especies animales no mostró diferencia significativa (Gráfico 3, I211).

En las fincas más agroecológicas se implementaban más medidas para adaptarse a la variabilidad climática (Gráfico 3, I221). Prácticas como el almacenamiento de agua en pequeños reservorios, riego tecnificado, siembra escalonada, uso de variedades locales y árboles en contorno pueden incrementar la capacidad de resiliencia frente a los riesgos climáticos.

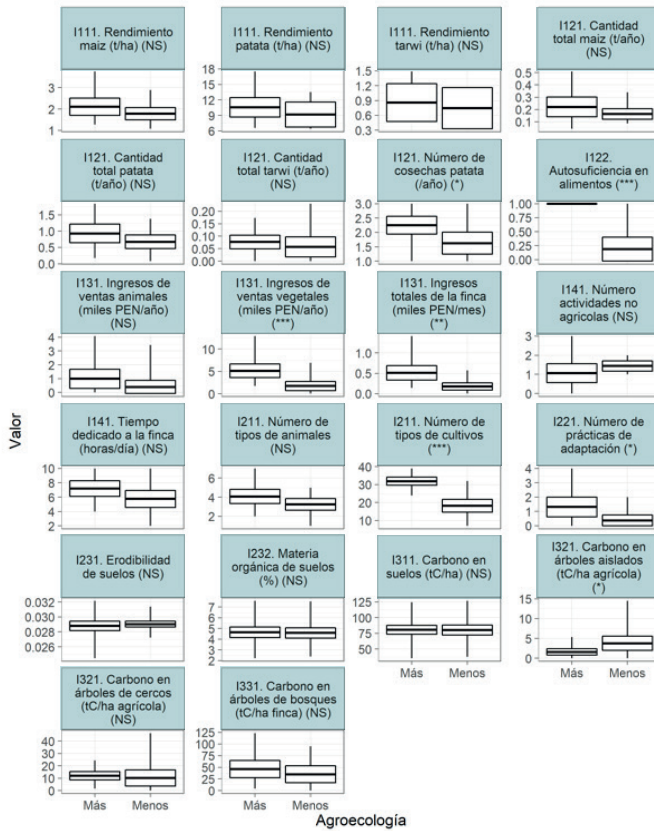
En cuanto la adaptación para la cuenca (regulación del agua y suelo para la cuenca), no se notaron diferencias en los valores del índice de erodabilidad del suelo y de la materia orgánica del suelo (Gráfico 3, I221 y I222).

3.4. Mitigación del cambio climático

El carbono almacenado en suelos, tanto en parcelas de fincas más agroecológicas como en las menos agroecológicas, se encontró en un rango de 35–130 tC/ha, sin diferencia significativa entre grupos (Gráfico 3, I311). Hubo significativamente más carbono en árboles aislados de fincas menos agroecológicas (3,8 tC/ha) que de fincas más agroecológicas (1,6 tC/ha).

GRÁFICO 3

Comparación entre fincas más agroecológicas (izquierda en cada diagrama de caja) y menos agroecológicas (derecha)



Nota: para cada variable, se da la referencia del indicador (p. ej., I111) así que el nivel de significancia de la diferencia entre fincas más y menos agroecológicas (*** $p < 0,001$, ** $p < 0,01$, * $p < 0,05$, NS no significativa). La caja representa el intervalo de confianza del promedio, la barra horizontal el promedio observado y la barra vertical el rango de los valores.

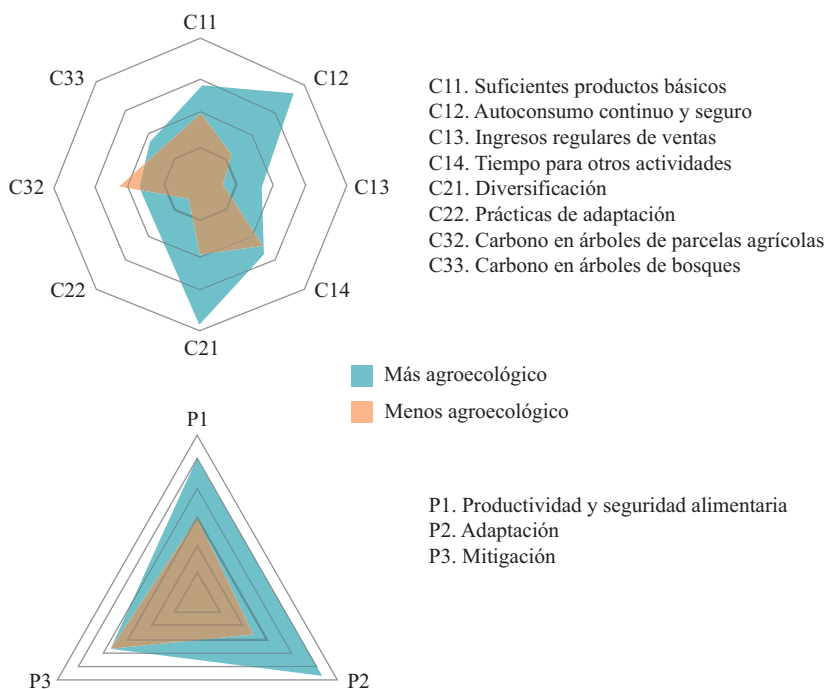
Fuente: Elaboración propia.

3.5. Principios y criterios de la CSA

La agregación de los indicadores medidos mostró que las fincas más agroecológicas superaron las menos agroecológicas en casi todos los criterios (Gráfico 4). Las fincas más agroecológicas obtuvieron evaluaciones particularmente más altas en C12 (autoconsumo continuo y seguro), C13 (ingresos regulares de venta) y C21 (diversificación). En cuanto a los principios, las fincas más agroecológicas tuvieron mejor desempeño que las menos agroecológicas en P1 (productividad y seguridad alimentaria) y P2 (adaptación), pero no en P3 (mitigación).

GRÁFICO 4

Radar comparando el valor promedio para fincas más agroecológicas y menos agroecológicas de las evaluaciones de criterios (arriba) y principios (abajo) de la CSA



Nota: se incluyen solamente los criterios analizados a nivel de fincas y no los medidos en suelos de parcelas seleccionadas (C23 y C31).

Fuente: Elaboración propia.

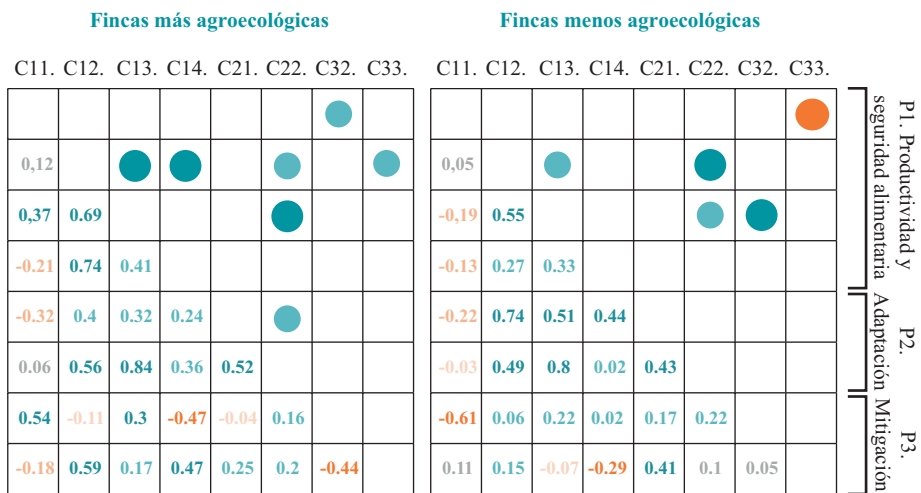
3.6. Análisis de trade-offs

Las correlaciones significativas (simbolizadas con círculos en el Gráfico 5) entre criterios de la CSA mostraron que con las fincas más agroecológicas había solamente correlaciones positivas, es decir, sinergias entre contribuciones de las fincas a la CSA.

Las sinergias se observaron entre criterios del mismo principio: productividad o seguridad alimentaria (por ejemplo, entre C12 y C13 o C14) o adaptación (entre C21 y C22). También se observaron entre productividad y adaptación (entre C12 o C13 y C22) o entre productividad y mitigación (C11-C31 y C12-C32). En el caso de las fincas menos agroecológicas, se observaron menos sinergias (y solo dentro de productividad o entre productividad y adaptación). También se identificó un caso de antagonismo entre productividad y mitigación: en las fincas menos agroecológicas, más productos básicos se relacionó con menos carbono en árboles de parcelas agrícolas.

GRÁFICO 5

Correlación entre los criterios usados para evaluar la CSA dentro del grupo de fincas más agroecológicas (izquierda) y menos agroecológicas (derecha)



C11. Suficientes productos básicos; C12. Autoconsumo continuo y seguro; C13. Ingresos regulares de ventas; C14. Tiempo para otras actividades; C21. Diversificación ; C22. Prácticas de adaptación; C32. Carbono en árboles de parcelas agrícolas; C33. Carbono en árboles de bosques.

Nota: los coeficientes de correlación aparecen como valores numéricos en el triángulo inferior y como símbolos en el triángulo superior si la correlación es significativa a $p < 0,05$ (círculos verdes para correlaciones positivas y naranjas para negativas). Se incluyen solamente los criterios analizados a nivel de fincas y no los medidos en suelos de parcelas seleccionadas (C23 y C31).

Fuente: Elaboración propia.

4. Discusión

En esta investigación se ha propuesto un estándar jerárquico para analizar la contribución de la agroecología utilizando como marco analítico la CSA y los tres objetivos que propone.

Encontramos que niveles más altos de aplicación de prácticas agroecológicas mejoraron la autosuficiencia alimentaria y los ingresos familiares. También encontramos menos antagonismo entre los indicadores de la CSA en sistemas más agroecológicos, lo que sugiere que la agroecología puede ayudar a alcanzar simultáneamente los objetivos múltiples y, a menudo, conflictivos de la CSA en la pequeña agricultura familiar en la cuenca del Mariño.

4.1. Productividad y seguridad alimentaria

Los resultados muestran que familias con fincas más agroecológicas tienen mayor autosuficiencia alimentaria e ingresos en comparación con las familias con fincas menos agroecológicas. Este resultado se puede explicar por las prácticas agroecológicas y también por otros factores que influyen en la producción, como la estructura de la finca (área de producción permanente y temporal), acceso al agua para riego, así como la distribución temporal de la producción en las áreas disponibles para cultivo.

En relación a las prácticas agroecológicas, la diversificación (cultivos y animales), rotación, asociación de cultivos y policultivos diversos (hortalizas, tubérculos, granos, plantas aromáticas, frutales, flores, forraje, plantas medicinales y especies silvestres) son prácticas que favorecen una producción diversa y continua en la finca. Dentro de esta diversidad hay productos que tienen una alta demanda en el mercado local y que son importantes para la economía familiar, como las hortalizas, plantas aromáticas, plantas medicinales, flores, frutales, especies silvestres (que crecen dentro de la finca), y otros cultivos menores. Córdova *et al.* (2018) encontró que la biodiversidad cultivada y asociada es 20 % mayor en sistemas agroforestales que en sistemas convencionales de pequeña agricultura en los Andes de Ecuador, lo que contribuye a la mejora de los medios de vida, como la autosuficiencia alimentaria e ingresos. Por tanto, la práctica de diversificación de cultivos, que se aplica en sistemas agroforestales como agroecológicos, contribuye a la seguridad alimentaria e ingresos.

También otros factores explican una mayor autosuficiencia alimentaria e ingresos. Estos están relacionados con la dimensión de la finca y el acceso a agua para riego. La producción en la finca no depende únicamente de las prácticas agroecológicas, sino también del área disponible para la producción permanente en el año. Esto se evidencia en los cultivos de papa, maíz y tarwi, productos básicos en la alimentación andina. El rendimiento de cultivos básicos es similar en fincas más o menos agroecológicas porque aplican la misma tecnología, los mismos insumos (estiércol, semillas) y, por lo general, destinan parcelas específicas de similares

dimensiones para estos cultivos. Así también, la producción permanente depende del riego continuo.

Se ha encontrado que fincas más agroecológicas tienen a menudo dos cosechas en las parcelas de producción permanente y una en la parcela de producción temporal. Las menos agroecológicas tienen una cosecha en las parcelas de producción permanente y una en la parcela de producción temporal, lo que reduce las posibilidades de cosechas múltiples. Fincas de pequeñas dimensiones limitan una producción continua y en cantidad.

Unidades productivas pequeñas y dispersas (fincas pequeñas) caracterizan a la pequeña agricultura en la cuenca del Mariño. Por ello, las labores en la finca se realizan principalmente con mano de obra familiar. Los resultados muestran que no hay diferencia significativa entre el número de integrantes por familia en los grupos de fincas comparadas ni en el tiempo que destinan a la actividad productiva.

Encontramos que algunos de los integrantes de la familia (sobre todo el esposo o hijo) realizan otras actividades no agrícolas. Este hecho se explica por la dimensión de la finca. Al ser pequeñas, las familias se organizan para realizar labores en la finca y aprovechar oportunidades de trabajo fuera de ella; esto permite diversificar sus ingresos. Planteamos como un criterio que las fincas agroecológicas permiten a los agricultores tener tiempo para otras actividades generadoras de ingresos. Sin embargo, este criterio no se puede atribuir a las prácticas agroecológicas, sino a la dimensión de la finca.

Por otro lado, resultados encontrados por Navarro (2014) demuestran que sistemas productivos integrales basados en prácticas de conservación y uso sostenible de la biodiversidad, permiten la autosuficiencia alimentaria y fomentan una mayor estabilidad económica y ambiental, en comparación con sistemas productivos no integrales. La diversificación es una práctica en común entre la agroecología y los sistemas productivos integrales; por ello, consideramos que la diversificación tiene un impacto positivo en la mejora de los medios de vida, aspecto que también se ha encontrado en nuestro estudio.

4.2. Adaptación frente al cambio climático

En la cuenca Mariño, la variabilidad climática y la ocurrencia de eventos climáticos extremos (intensas lluvias, veranillos, heladas) son ampliamente percibidas por los agricultores, puesto que observan afectación en la producción y por ello cambian su forma de producir. Por ejemplo, se han alterado los periodos tradicionales de siembra, se reportan la aparición de plagas antes no existentes y periodos secos inesperados en lo que normalmente es una época lluviosa, “veranillos” que generan estrés hídrico en las plantas.

Frente a estas amenazas climáticas, en fincas más agroecológicas se aplican significativamente más prácticas de adaptación en comparación con las fincas menos agroecológicas. De este conjunto de prácticas, la diversificación de cultivos y de animales resulta relevante porque no todos los cultivos y crianzas responden de la

misma manera al clima, lo que reduce el riesgo de perder toda la producción (efecto de portafolio). Algunas especies de plantas y animales pueden amortiguar una crisis, ya sea como sustituto o complemento alimenticio. Con relación a ello, sistemas diversificados disminuyen la vulnerabilidad a los eventos climáticos (Altieri & Nicholls, 2013).

Por otro lado, la cuenca del Mariño es vulnerable a la erosión por lluvias intensas, principalmente porque su topografía es de pendiente pronunciada. Los análisis de suelos no muestran diferencias significativas en la erodabilidad de suelos y su capacidad de infiltración de agua entre los dos grupos de fincas evaluadas. Eso se debe, primero, a la variabilidad natural en los suelos; el hecho de que muchos factores no relacionados con el manejo agroecológico influyen sobre las propiedades de los suelos, como la pendiente o la historia de la parcela (hemos incorporado estas variables en el análisis estadístico para ver si se podían observar diferencias entre los dos grupos después de remover el efecto de otros factores, pero sin éxito).

Segundo, como las prácticas agroecológicas se han aplicado en los últimos 20 años, sus efectos sobre los suelos podrán tomar más tiempo antes de poder observarse, considerando el factor climático y topográfico (pendientes pronunciadas y clima frío en la zona de estudio).

Otros estudios observaron que las propiedades fisicoquímicas y biológicas del suelo se recuperan lentamente después de una conversión a agroecología; por ejemplo, Virginia *et al.* (2018) concluyeron que en sistemas de transición agroecológica, donde se aplicaron principios agroecológicos como el incremento de la biodiversidad a través de la rotación de cultivos (utilizando cultivos de cobertura, mezclas de leguminosas y gramíneas), corredores biológicos y sistemas mixtos con ganadería permitieron incrementar el contenido de materia orgánica en los primeros 10 cm del suelo y la densidad aparente fue menor en un periodo de 6,5 años con un clima templado. Aunque también indicaron que es necesario realizar más estudios de este tipo con el fin de confirmar los beneficios del sistema de transición agroecológica en otras condiciones edafo-climáticas.

Por otro lado, en nuestro estudio, los agricultores del grupo de fincas menos agroecológicas también aplican medidas de mejoramiento y protección de suelos, lo que reduce la posibilidad de observar diferencias en los suelos. Por lo tanto, un estudio más detallado debería investigar cómo el manejo agroecológico y otros factores (topografía, tipo de suelos, clima, entre otros) influyen en la mejora de las propiedades de los suelos.

4.3. Mitigación del cambio climático

Las cantidades de carbono almacenadas en los suelos y la vegetación evidencian el potencial del manejo agroecológico de las fincas para la mitigación del cambio climático, a pesar de que no se han encontrado diferencias entre las fincas más o menos agroecológicas.

Los suelos representan un potencial grande (entre 35-150 tC/ha en los 30 primeros centímetros de suelos) y los árboles en el área de producción un potencial menor (promedio de 2,7 tC/ha en árboles aislados y 10,3 tC/ha en cercas vivas). Los bosques, que pueden contener entre 79 y 188 tC por hectárea de bosques, representan un promedio de 40,6 tC por hectárea de la finca. Considerando la superficie total de las fincas agrícolas en la cuenca del Mariño, un manejo agroecológico que aumente el carbono almacenado puede tener una contribución importante a la mitigación a nivel de paisaje.

Los resultados del presente estudio muestran que hay más carbono almacenado en los cercos vivos de fincas más agroecológicas. En estas fincas se plantan y mantienen cercos vivos por los beneficios que generan, tanto para la protección de los suelos y de los cultivos como para la adaptación al cambio climático. Sorprendentemente, se encontró más carbono en los árboles aislados de las áreas de producción de las fincas menos agroecológicas. La explicación es que, en las fincas más agroecológicas, la mayoría de los árboles aislados son más jóvenes porque las familias invierten en la renovación de árboles frutales; por lo tanto, son más pequeños y almacenan menos carbono.

Los valores de carbono en árboles se asemejan a lo registrado en la literatura sobre sistemas productivos que combinan cultivos con árboles. Por ejemplo, en sistemas de agricultura tradicional mexicana se ha registrado 2,1 tC/ha en “millpas con árboles” y 11,8 tC/ha en “taungya” (Roncal *et al.*, 2008). La cantidad de carbono almacenada en sistemas productivos con árboles son muy variables, puesto que es altamente dependiente de las especies arbóreas utilizadas, la densidad de la plantación, la edad de los componentes, las características del sitio (clima, tipo de suelo) y las prácticas de manejo (Nair *et al.*, 2010).

Respecto al carbono en los bosques, se ha encontrado un promedio de 40,6 tC/ha en relación a la superficie de la finca; sin embargo, el bosque como tal, almacena entre 79-188 tC/ha, valores que superan estimaciones de 69,2 tC/ha para bosques andinos, ubicadas entre los 2.850-3.100 m.s.n.m. (Román-Cuesta *et al.*, 2011). Este hallazgo resulta relevante, considerando que en la cuenca Mariño, el bosque también es parte del sistema productivo familiar.

Cabe señalar que hay pocos estudios similares para agroecosistemas andinos que permitan contrastar las cantidades de carbono encontrado. Como el carbono del suelo produce múltiples beneficios además de la mitigación del cambio climático (la reducción de la erosión o el mejoramiento de la infiltración, por ejemplo), se requiere entender mejor cómo el manejo puede aumentar estos beneficios en el contexto de la agroecología y estimular las sinergias para el almacenamiento de carbono y otros beneficios. Igualmente, como los árboles brindan múltiples servicios además de la mitigación del cambio climático (productos diversos, regulación del microclima, polinización, protección de suelos, belleza escénica, por ejemplo), se necesita más investigación sobre estos servicios y sus sinergias a nivel de paisajes agroecológicos.

4.4. Implicaciones del estudio para la CSA

Los resultados evidencian que las fincas más agroecológicas aportan a los tres objetivos del CSA, mostrando un mayor desempeño en cuanto a la productividad, seguridad alimentaria y la adaptación, en comparación con las fincas menos agroecológicas. Parte de estos resultados se deben a la proximidad entre los conceptos de agroecología y de CSA; por ejemplo, en cuanto a la diversidad de cultivos como práctica agroecológica y como adaptación al cambio climático en la CSA.

Los resultados también muestran sinergias a nivel de criterios evaluados para el principio de productividad-seguridad alimentaria y adaptación; así como sinergias y entre los principios de la CSA. Se encontraron más sinergias en fincas más agroecológicas.

En fincas más agroecológicas se encontraron sinergias entre *productividad y adaptación*, ello basado principalmente en la diversificación de cultivos (policultivos) y crianzas de animales, rotación de cultivos y los árboles en la parcela (cercos vivos más árboles aislados). Estas prácticas permiten contar con producción continua y, además, responder a la variabilidad climática.

También se han encontrado sinergias entre *productividad y mitigación*, basadas principalmente en el uso de materia orgánica (estiércol, compost) y manejo del suelo (rotación, asociación, uso de *mulch*). Esto indica que el reciclaje de nutrientes (provenientes de la misma finca) y el manejo de suelos son de relevancia para que una finca contribuya a la mitigación, mediante el almacenamiento de carbono en suelos. Así también, los árboles en la finca (cercos vivos, árboles aislados y bosques) tienen un gran potencial para la mitigación.

En fincas menos agroecológicas existen menos sinergias entre los principios de la CSA, lo cual sugiere la necesidad de diversificar, mejorar las prácticas de manejo de suelo e incorporar árboles en contorno que tengan fines productivos; por ejemplo, el árbol de *Erythrina falcata* (pisonay) como complemento o sustituto alimenticio para los animales en la finca (vacas y cuyes) en periodo de heladas, cuando la alfalfa disminuye su rendimiento y no es suficiente para cubrir las necesidades de consumo de los animales. De la misma forma, el árbol de *Sambucus peruvianus* (sauco) es utilizado como forraje (hojas) y el fruto es apreciado para la industria local.

En la cuenca existen especies de árboles que pueden ser bien aprovechados en las fincas para ser usados como árboles en contorno, que además de contribuir a la adaptación, contribuirían a la productividad-seguridad alimentaria y la mitigación.

Por otro lado, se ha encontrado antagonismo entre productividad y mitigación; ello es comprensible puesto que las fincas menos agroecológicas tienen menos áreas de producción permanente y, por tanto, la prioridad de uso de la parcela es para la producción y seguridad alimentaria. Este hallazgo muestra que el tamaño del área de producción permanente en las fincas es un factor que también influye en la mitigación.

Como la CSA tiene tres principios con numerosos antagonismos posibles y como no hay prácticas recomendadas particularmente para la CSA. Nuestro estudio en la cuenca Mariño ha contribuido a la discusión sobre la CSA, mostrando que las prácticas agroecológicas pueden promover sinergias positivas entre sus principios.

Al respecto, la agroecología tiene más desarrollados conceptos y prácticas a nivel de agroecosistemas, los cuales pueden ser utilizados por la CSA para discutir y reformular su marco teórico (Saj *et al.*, 2017). Así también, esta aproximación entre la agroecología y la CSA podría constituirse en una estrategia para diseñar fincas agroecológicas más eficientes, planificar el uso de la tierra y gestionar el paisaje en la cuenca para hacer frente al cambio climático.

Al respecto, Locatelli *et al.* (2015) señalan que abordar la adaptación y la mitigación conjunta en las políticas relacionadas con la gestión del paisaje proporciona beneficios, pero también puede tener inconvenientes; sin embargo, señalan que la integración de políticas que consideren los beneficios mutuos (adaptación y mitigación) podría implementarse sobre todo en el sector forestal y agricultura. También, Córdova *et al.* (2018), sostiene que los sistemas productivos agrícolas que combinan un conjunto de prácticas de uso de la tierra, como la agroforestería, diversificación, entre otras, tienen un enorme potencial para mejorar la sostenibilidad de los medios de vida, promover la adaptación y mitigación de los sistemas agrícolas de pequeños agricultores para hacer frente al cambio climático.

5. Conclusiones

La agricultura en el contexto de cambio climático enfrenta desafíos, como los de asegurar la producción alimentaria, mejorar su resiliencia y, a la vez, disminuir su impacto en la emisión de gases de efecto invernadero. Ello es más relevante en Perú, considerando que es un país altamente vulnerable al cambio climático y, además, el abastecimiento de alimentos depende principalmente de la pequeña agricultura familiar. Por ello, se hace necesario incorporar y vincular enfoques que permitan mejorar la gestión de la agricultura. En ese sentido, el vínculo entre la CSA y la agroecología demuestra que niveles altos de aplicación de prácticas agroecológicas contribuyen a mejorar la seguridad alimentaria y hacer frente al cambio climático.

Este estudio proporciona evidencia cualitativa y cuantitativa que sugiere que fincas más agroecológicas aportan al logro de los tres principios de la CSA (productividad, adaptación y mitigación). La aplicación de un conjunto de prácticas agroecológicas, entre ellas la diversificación (cultivos y animales), rotación y asociación de cultivos, y el aprovechamiento espacial y temporal para la producción, brindan mayores oportunidades de mejorar la seguridad alimentaria e ingresos familiares. Incorporar prácticas adaptativas (almacenamiento de agua para riego, riego tecnificado, árboles en la finca, etc.) confieren al sistema productivo familiar mayor capacidad de respuesta frente al cambio climático, contribuyendo así a la adaptación. Así también, prácticas de manejo y conservación de suelos y vegetación hacen que la finca tenga un gran potencial para la mitigación. Además, en fincas más agroecológicas encontramos menos antagonismos y más sinergias positivas entre

productividad y adaptación, productividad y mitigación, aspectos relevantes para el logro simultáneo de los principios de la CSA.

Los resultados de este estudio podrían mejorar iniciativas que promueven la agricultura con enfoque agroecológico en sistemas productivos similares a las analizadas en este estudio; no solo a nivel de finca, sino a nivel de paisaje en la cuenca. Para ello, es necesario promover la aplicación de prácticas agroecológicas que funcionen sinérgicamente para los tres principios de la CSA. En ese sentido, se requiere mayor investigación, que permita complementar y profundizar los hallazgos de este estudio. Por ejemplo, conocer la influencia de prácticas de manejo de suelo y otros factores en el almacenamiento de carbono y regulación de la erosión en agroecosistemas andinos, ampliar el conocimiento sobre la contribución de árboles en la finca -más allá de la mitigación- a otros servicios ecosistémicos y sus sinergias a nivel de paisajes agroecológicos, y evaluar comparativamente sistemas agroecológicos y sistemas convencionales utilizando como marco analítico la CSA.

Finalmente, el marco analítico propuesto en el estudio vincula a la agroecología y la CSA, demostrando que ambos enfoques podrían usarse como una herramienta para evaluar sistemas productivos y gestionar paisajes agrícolas frente al cambio climático.

Referencias

- Altieri, M. (2001). *Agroecología: El Camino hacia una Agricultura Sustentable*. La Plata: Ediciones Científicas Americanas.
- Altieri, M. & Nicholls, C.I. (2010). “Agroecología: potenciando la agricultura campesina para revertir el hambre y la inseguridad alimentaria en el mundo”. *Revista de economía crítica*, 10, 62-74. Obtenido de: <http://www.revistaeconomiacritica.org/sites/default/files/revistas/n10/4.pdf>
- Altieri, M. & Nicholls, C.I. (2013). “Agroecología y resiliencia al cambio climático: Principios y consideraciones metodológicas”. *Agroecología*, 8(1), 7-20. Obtenido de: <https://revistas.um.es/agroecologia/article/view/182921>
- Barrantes, C., Siura, S., Castillo, E., Huarcaya, M. & Rado, J. (2017). *Guía para el análisis de la Sostenibilidad de Sistemas de Producción de la Agricultura Familiar (SPAF)*. Lima: IICA. Obtenido de: <https://repositorio.iica.int/bitstream/handle/11324/7035/BVE18040193e.pdf?sequence=1>
- Boyle, M., Frankenberger, W. & Stolzy, L. (1989). “The influence of organic matter on soil aggregation and water infiltration”. *Journal of production agriculture*, 2, 290-299. <https://dx.doi.org/10.2134/jpa1989.0290>
- Córdova, R., Hogarth, N.J. & Kanninen, M. (2018). “Sustainability of Smallholder Livelihoods in the Ecuadorian Highlands: A Comparison of Agroforestry and Conventional Agriculture Systems in the Indigenous Territory of Kayambi People”. *Land*, 7(2), 45. <https://dx.doi.org/10.3390/land7020045>

- Chave, J., Andalo, C., Brown, S., Cairns, M.A., Chambers, J.Q., Eamus, D., Folster, H., Fromard, F., Higuchi N, Kira, T., Lescure, P., Nelson, B.W., Ogawa, H., Puig, H., Riera, B. & Yamakura, T. (2005). "Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests". *Oecologia*, 145, 87-99. <https://dx.doi.org/10.1007/s00442-005-0100-x>
- Chave, J., Réjou-Méchain, M., Búrquez, A., Chidumayo, E., Colgan, M.S., Delitti, W.B., Duque, A., Eid, T., Fearnside, P.M. & Goodman, R.C. (2014). "Improved allometric models to estimate the aboveground biomass of tropical trees". *Global Change Biology*, 20(10), 3177-3190. <https://dx.doi.org/10.1111/gcb.12629>
- Del Valle, J.I., Restrepo, H.I. & Londoño, M.M. (2011). "Recuperación de la biomasa mediante la sucesión secundaria, Cordillera Central de los Andes, Colombia". *Revista de Biología Tropical*, 59(3), 1337-1358. Obtenido de: <https://www.scielo.sa.cr/pdf/rbt/v59n3/a33v59n3.pdf>
- FAO. (2017). *Carbono Orgánico del Suelo: el potencial oculto. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura*. Roma: FAO. Obtenido de: <http://www.fao.org/3/b-i6937s.pdf>
- Gliessman, S.R. (2014). *Agroecology: The ecology of sustainable food systems*. Boca Raton, Florida: CRC press.
- Grisa, C. & Sabourin, E. (2019). *Agricultura Familiar: de los conceptos a las políticas públicas en América Latina y el Caribe. 2030 – Alimentación, agricultura y desarrollo rural en América Latina y el Caribe*. Santiago de Chile: FAO. Obtenido de: <http://www.fao.org/3/ca5087es/ca5087es.pdf>
- GORE Apurímac. (2009). *Zonificación Económica Ecológica de la Cuenca Mariño*. Gobierno Regional de Apurímac. Apurímac.
- Henry, M., Picard, N., Trotta, C., Manlay, R., Valentini, R., Bernoux, M. & Saint-André, L. (2011). "Estimating tree biomass of sub-Saharan African forests: A review of available allometric equations". *Silva Fennica*, 45(3B), 477-569. <https://dx.doi.org/10.14214/sf.38>
- IDMA. (2008). *Chacra Agroecológica Integral alternativa de desarrollo de familias campesinas*. Lima: Instituto de Desarrollo y Medio Ambiente.
- Jarvis, A., Lau, C., Cook, S., Wollenberg, E., Hansen, J., Bonilla, O. & Challinor, A. (2011). "An integrated adaptation and mitigation framework for developing agricultural research: Synergies and Trade-Offs". *Experimental Agriculture*, 47(2), 185-203. <https://dx.doi.org/10.1017/S0014479711000123>
- Jia, G., Shevliakova, E., Artaxo, P., De Noblet-Ducoudré, N., Houghton, R., House, J., Kitajima, K., Lennard, C., Popp, A., Sirin, A., Sukumar, R. & Verchot, L. (2019). "Land-climate interactions". En Shukla, P.R., Skea, J., Calvo, E., Masson-Delmotte, V., Pörtner, H.O., Roberts, D.C., Zhai, P., Slade, R., Connors, S., van Diemen, R., Ferrat, M., Haughey, E., Luz, S., Neogi, S., Pathak, M., Petzold, J., Portulal, J., Vyas, P., Huntley, E., Kissick, K., Belkacemi, M. & Malley, J. (Eds.): *Climate Change and Land. Special report on climate change*,

- desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems*. The Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (pp. 131-247). Obtenido de: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/4/2019/11/05_Chapter-2.pdf
- Karlsson, L., Nightingale, A., Naess, L.O. & Thompson, J. (2017). 'Triple wins' or 'triple faults'? *Analysing policy discourse on climate-smart agriculture (CSA)*. Working Paper, 197. Copenhagen: CGIAR Research Program on Climate Change, Agriculture and Food Security (CCAFS). Obtenido de: <https://cgspace.cgiar.org/handle/10568/80746>
- Lipper, L., Thornton, P., Campbell, B.M., Baedeker, T., Braimoh, A., Bwalya, M., Caron, P., Cattaneo, A., Garrity, D. & Henry, K. (2014). "Climate-smart agriculture for food security". *Nature climate change*, 4, 1068-1072. <https://dx.doi.org/10.1038/NCLIMATE2437>
- Lipper, L., McCarthy, N., Zilberman, D., Asfaw, S. & Branca, G. (2017). *Climate smart agriculture: Building resilience to climate change*. Roma: Springer.
- Locatelli, B., Pavageau, C., Pramova, E. & Di Gregorio, M. (2015). "Integrating climate change mitigation and adaptation in agriculture and forestry: Opportunities and trade-offs". *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, 6(6), 585-598. <https://dx.doi.org/10.1002/wcc.357>
- MacDicken, K.G. (1997). *A guide to monitoring carbon storage in forestry and agroforestry projects*. Forest carbon monitoring program. Arlington, Virginia: Winrock International Institute for Agricultural Development.
- Maletta, H. (2017). *La Pequeña Agricultura Familiar en el Perú: Una Tipología Microrregionalizada*. Roma: FAO. Obtenido de: <https://ssrn.com/abstract=3121354>
- Mbow, C., Rosenzweig, C., Barioni, L.G., Benton, T.G., Herrero, M., Krishnapillai, M., Liwenga, E., Pradhan, P., Rivera-Ferre, M.G., Sapkota, T., Tubiello, F.N. & Xu, Y. (2019). "Food Security". En Shukla, P.R., Skea, J. Calvo, E., Masson-Delmotte, V. Pörtner, H.O., Roberts, D.C., Zhai, P. Slade, R., Connors, S. van Diemen, R. Ferrat, M., Haughey, E., Luz, S., Neogi, S., Pathak, M., Petzold, J., Portulal, J., Vyas, P., Huntley, E., Kissick, K., Belkacemi, M. & Malley, J. (Eds.): *Climate Change and Land: An IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems*. The Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (pp. 437-550). Obtenido de: <https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/4/2020/02/SRCCL-Chapter-5.pdf>
- Morán, M., Campos, J.J. & Louman, B. (2006). *Uso de Principios, Criterios e Indicadores para monitorear y evaluar las acciones y efectos de políticas en el manejo de los recursos naturales*. Turrialba, Costa Rica: Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, CATIE. Obtenido de: <https://www.researchgate.net/publication/282133581>

- Nair, P.K.R., Nair, V.D., Kumar, B.M. & Showalter, J.M. (2010). "Carbon Sequestration in Agroforestry Systems". *Advances in Agronomy*, 108, 237-307. [https://dx.doi.org/10.1016/S0065-2113\(10\)08005-3](https://dx.doi.org/10.1016/S0065-2113(10)08005-3)
- Navarro, A. (2014). "Fincas Integrales: aportes a los servicios ecosistémicos y a la calidad de vida de las familias". *Leisa Revista de Agroecología*, 30(3), 29 -31. Obtenido de: <http://www.leisa-al.org/web/index.php/volumen-30-numero-3>
- Rabhi, P. (2015). *L'Agroécologie, une éthique de vie: Entretien avec Jacques Caplat*. Arles, Paris: Editions Actes Sud.
- Román-Cuesta, R.M., Salinas, N., Asbjornsen, H., Oliveras, I., Huamán, V., Gutiérrez, Y., Puelles, L., Kala, J., Yabar, D., Rojas, M., Astete, R., Jordan, D.Y. , Silman, M., Mosandl, R., Weber, M., Stimm, B., Gunter, S., Knoker, T. & Malhi, Y. (2011). «Implications of fires on carbon budgets in Andean cloud montane forest: The importance of peat soils and tree resprouting". *Forest Ecology and Management*, 261(11), 1987-1997. <https://dx.doi.org/10.1016/j.foreco.2011.02.025>
- Roncal, S., Soto, L., Castellanos, J., Ramírez, N. & De Jong, B. (2008). "Sistemas agroforestales y almacenamiento de Carbono en comunidades indígenas de Chiapas, México". *Interciencia*, 33(3), 200-206. Obtenido de: <https://www.redalyc.org/pdf/339/33933308.pdf>
- Saj, S., Torquebiau, E., Hainzelin, E., Pages, J. & Maraux, F. (2017). The way forward: An agroecological perspective for Climate-Smart Agriculture. *Agriculture, Ecosystems y Environment*, 250, 20-24. [10.1016/j.agee.2017.09.003](https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.09.003)
- Salcedo, S. & Guzmán, L. (2014). *Agricultura familiar en América Latina y el Caribe: recomendaciones de política*. Santiago de Chile: FAO. Obtenido de: <http://www.fao.org/3/i3788s/i3788s.pdf>
- Sharpley, A.N. & Williams, J.R. (1990). *EPIC Erosion Productivity Impact Calculator: Model documentation*. US Department of Agriculture Technical Bulletin, 1768. Obtenido de: <http://epicapex.tamu.edu/files/2015/05/EpicModelDocumentation.pdf>
- Smith, P., Bustamante, M., Ahammad, H., Clark, H., Dong, H., Elsiddig, E.A., Haberl, H., Harper, R., House, J. & Jafari, M. (2014). "Agriculture, forestry and other land use (AFOLU)". En *Climate change 2014: Mitigation of climate change Contribution of Working Group III to IPCC-AR5*. Cambridge: Cambridge University Press (pp. 811-922). Obtenido de: https://backend.orbit.dtu.dk/ws/portalfiles/portal/103008543/ipcc_wg3_ar5_chapter11.pdf
- Taylor, M. (2018). "Climate-smart agriculture: what is it good for?" *The Journal of Peasant Studies*, 45(1), 89-107. <https://dx.doi.org/10.1080/03066150.2017.1312355>
- Tello, J. & Juárez, V. (2011). *Agricultura familiar agroecológica campesina en la comunidad andina. Una opción para mejorar la seguridad alimentaria y conservar la biodiversidad*. Lima: Secretaría General de la Comunidad Andina. Obtenido de: http://www.comunidadandina.org/StaticFiles/2011610181827revisata_agroecologia.pdf

-
- Torquebiau, E., Rosenzweig, C., Chatrchyan, A.M., Andrieu, N. & Khosla, R. (2018). "Identifying Climate-smart agriculture research needs". *Cahiers Agriculture*, 27(2), 26001. <https://dx.doi.org/10.1051/cagri/2018010>
- Van der Ploeg, J.D. (2014). "Diez cualidades de la agricultura familiar". *LEISA, revista de agroecología*, 29(4), 6-8. Obtenido de: <http://www.leisa-al.org/web/index.php/volumen-29-numero-4/998-diez-cualidades-de-la-agricultura-familiar>
- Virginia, A., Zamora, M., Barbera, A., Castro-Franco, M., Domenech, M., De Gerónimo, E. & Costa, J. (2018). "Industrial agriculture and agroecological transition systems: A comparative analysis of productivity results, organic matter and glyphosate in soil". *Agricultural Systems*, 167, 103-112. <https://dx.doi.org/10.1016/j.agsy.2018.09.005>