

Agroecología: de agroecosistemas a agroecosistemas sostenibles

Agroecology: from agroecosystems to sustainable agroecosystems

Sandra Bautista

Resumen

El sistema agrícola, también llamado agroecosistema, puede considerarse como un sistema ecológico, ya que incluye un sistema vivo, donde la unidad de producción (la finca) sería vista de manera equivalente a una unidad ecosistémica en ecología. Existen múltiples definiciones de agroecosistema que van desde el espacio donde se desarrollan interacciones biofísicas hasta donde se germinan cambios sociopolíticos, culturales y económicos. Un agroecosistema puede, o no, ser diseñado de manera similar a los ecosistemas naturales con la aplicación de conceptos ecológicos, en términos de aumento en la diversidad de especies, mejoramiento del ciclo de nutrientes y promoviendo la heterogeneidad. Este artículo plantea una reflexión al concepto de agroecosistema mediante una revisión sistemática de literatura de la cual se identificó la necesidad de diferenciar entre el concepto de agroecosistema y el concepto de agroecosistema sostenible. Como principal conclusión de la revisión de literatura realizada se identifican, compilan, organizan y estructuran tres rasgos que caracterizan el diseño de un agroecosistema sostenible: ser diseñado y manejado como un sistema complejo integrando componentes y procesos de los agroecosistemas, el implementar macroaspectos de sostenibilidad y el aporte al bienestar de las comunidades.

Palabras clave: cultivos, agricultura ecológica, agricultura sostenible, sostenibilidad, sistemas agrícolas, desarrollo rural, agricultura orgánica.

Abstract

The agricultural system, also called agroecosystem, can be considered as an ecological system, since it includes a living system, where the production unit (the farm) would be seen as equivalent to an ecosystemic unit in ecology. There are multiple definitions of agroecosystem, ranging from the space where biophysical interactions develop to where socio-political, cultural and economic changes germinate. An agroecosystem may or may not be designed similarly to natural ecosystems with the application of ecological concepts, in terms of increasing species diversity, improving nutrient cycling and promoting heterogeneity. This article proposes a reflection on the concept of agroecosystem through a systematic literature review from which the need to differentiate between the concept of agroecosystem and the concept of sustainable agroecosystem was identified. As the main conclusion of the literature review, three features that characterize the design of a sustainable agroecosystem are identified, compiled, organized and structured: to be designed and managed as a complex system integrating agroecosystem components and processes, to implement macro aspects of sustainability and to contribute to the wellbeing of communities.

Keywords: crops, organic farming, sustainable agriculture, sustainability, farming systems, rural development, organic agriculture.

Recibido / Received: 20 Octubre 2019 Aprobado / Approved: 20 Noviembre 2019

Tipo de artículo / Type of paper: Investigación científica y tecnológica

Afiliación Institucional de los autores / Institutional Affiliation of authors: Université de Lorraine, Laboratorio ERPI, Universidad Nacional de Colombia, Doctorado en Agroecología; Universidad El Bosque, Grupo de investigación GINTECPRO.

Autor para comunicaciones / Author communications: Sandra Bautista sbautistar@unbosque.edu.co

Los autores declaran que no tiene conflicto de interés.

Introducción

El desarrollo de la agricultura, como una forma de obtener energía con mayor eficiencia que las actividades de caza y recolección, permitió el aumento de la población de las primeras comunidades humanas. Sin embargo, la agricultura se encontraba restringida a las leyes ecológicas y la producción de los primeros sistemas agrícolas se enmarcaba dentro de estas limitaciones. Estos sistemas iniciales fueron denominados “sistemas naturales de agricultura” [1]. Posteriormente al introducir en la agricultura herramientas generadas por la revolución industrial, se reemplazó el trabajo humano y los procesos ecológicos por maquinaria, combustibles fósiles y sus derivados. Se convirtió el sistema agrícola de un sistema productor de energía en forma de alimentos a un sistema consumidor de energía, es decir, un sistema que consume más energía de la que produce [2].

La producción agrícola se realiza en espacios llamados agroecosistemas objeto de estudio de la agroecología, definición que presenta amplias discusiones. Gliessman [3] plantea al agroecosistema como un sistema, con capacidad de resiliencia ante los cambios biofísicos, socioeconómicos y políticos, donde coexisten relaciones entre los procesos ecológicos, económicos y sociales que inciden en los subsistemas agrícola, pecuario, forestal e hídrico que lo componen, como en las funciones y servicios ecosistémicos que provee. Reconociendo al ser humano y su contexto social, como factores influyentes en la toma de decisiones [4], [5].

Posterior a los conflictos bélicos mundiales (1914-1918; 1939-1945), el problema de producción y abastecimiento de alimentos para la población creciente, generó el desarrollo de variedades de cereales de alto rendimiento. El aumento de la producción agrícola derivó en lo que se conoce como la revolución verde, término utilizado en 1968 por la Agencia Estadounidense para el Desarrollo Internacional-USAID [6]. La revolución verde introdujo un cambio en la agricultura que fue entendido como un proceso de modernización, donde la evolución tecnológica sustituyó el conocimiento de los agricultores, compilado a partir de la experiencia y la práctica. La evolución tecnológica puso a disposición maquinaria e insumos que incrementaron la productividad, al introducir variedades y semillas de alto rendimiento por unidad de área condicionadas al uso intensivo de fertili-

zantes, agroquímicos, combustible y sistemas de riego. Además de suplantarse un gran número de variedades adaptadas a las condiciones locales [7].

La “revolución verde” generó posteriormente problemáticas sociales, económicas y ecológicas que limitaron finalmente su propia capacidad productiva. Se derivaron externalidades negativas como el desarrollo de resistencia de plagas, erosión de suelos, pérdida de nutrientes, pérdida de materia orgánica, pérdida de la estructura del suelo, eutrofización de cuerpos de agua, reducción de la oferta hídrica en acuíferos, disminución de la eficiencia energética, pérdida de biodiversidad, erosión cultural, exclusión de agricultores de bajos recursos y susceptibilidad de los cultivos a eventos climáticos extremos. Factores que condicionaron y siguen condicionando la sostenibilidad de los sistemas agrícolas modernos [6].

En el proceso de cambio del paradigma, de un modelo de maximización del rendimiento a un modelo de rendimientos sostenibles y mínima dependencia de insumos externos, es necesario que los modelos agrícolas adopten características que les permitan mantener en el tiempo los niveles de productividad, ser rentables económicamente, justos en términos culturales y sociales, y conservar el capital ambiental del cual dependen a nivel local, regional y global. Desde la perspectiva científica, la Agroecología propone la optimización del agroecosistema, analizando las interacciones complejas entre sus componentes agrícolas, tecnológicos, biofísicos y sociales. Asimismo, establece las bases para la conservación de la biodiversidad para lograr una producción sustentable, la cual provee a los agroecosistemas de procesos y servicios. La agroecología permite analizar unidades mayores al cultivo y procesos de mayor complejidad, permite la integración de diversas disciplinas y el agroecosistema con sus componentes socioculturales, económicos, técnicos y ecológicos [8].

En la última década, se define la agroecología como: “La ciencia que estudia la estructura y función de los agroecosistemas tanto desde el punto de vista de sus relaciones ecológicas como culturales” [9] (p. 41). La agroecología ha incorporado el estudio de componentes socioculturales, económicos, políticos e institucionales que influyen sobre los campos de cultivo (agroecosistemas), con una intensidad que puede llegar a ser igual o mayor a las influencias ecológicas.

Los agroecosistemas desde la ciencia agroecológica son un esfuerzo diseñado, continuo y metódico para que los sistemas agrícolas imiten a los ecosistemas naturales que enmarcan, condicionan y promueven la producción de alimentos, a través de las funciones percibidas como servicios ecosistémicos. Los agroecosistemas pueden considerarse como uno de los problemas de investigación de la agroecología, ya que su estudio requiere un enfoque transdisciplinar y participativo, y su definición, manejo y gestión debe orientarse desde las decisiones sociales, las cuales están influenciadas por los contextos culturales, económicos, políticos y biofísicos. Por tanto, este artículo aporta a la conceptualización de los agroecosistemas, su estructura, componentes y procesos, su vínculo con los ecosistemas, los aspectos que deben considerarse en su gestión para aportar a su sostenibilidad, llevando el concepto de agroecosistema al de agroecosistema sostenible desde el fundamento teórico de la Agroecología.

Objetivo

Definir las bases teóricas que desde la agroecología permiten definir los aspectos de sostenibilidad de los agroecosistemas

Metodología

La metodología realiza una revisión de literatura mediante una búsqueda sistemática en bases de datos como Scopus, Science Direct, Springer Journal, Scielo y Proquest. Se utilizan como palabras claves, en inglés y en español: cultivos, agricultura ecológica, agricultura sostenible, sostenibilidad, sistemas agrícolas, desarrollo rural, agricultura orgánica, agroecosistemas, agroecología, sistemas complejos. Posteriormente se construyen las siguientes expresiones booleanas que son utilizadas en las bases de datos mencionadas:

- ((Ab:(“agroecología”)) And (Ab:(“agroecosistemas”))) Or (Ab:(“sostenibilidad “)) And (“sistemas complejos”)
- ((Ab:(“ agroecología “)) And (Ab:(“agroecosistemas”))) Or (Ab:(“sostenibilidad “)) And (“sistemas complejos”) And (“diseño”)

- ((Ab:(“agroecología”)) And (Ab:(“agroecosistemas”))) Or (Ab:(“sostenibilidad “)) And (“sistemas complejos”) And (“bienestar”)

Se consideran cuatro criterios de selección de los artículos:

1. publicaciones en inglés y español desde al año 2000 hasta el año 2020;
2. publicaciones que involucren sostenibilidad de los agroecosistemas y aporte al bienestar de las comunidades;
3. estudios que incluyan la visión de agroecosistema como un sistema complejo;
4. documentos que identifiquen rasgos, criterios, lineamientos de sostenibilidad en agroecosistemas. Esos términos se agrupan como macroaspectos de sostenibilidad en agroecosistemas

Resultados y discusión

Conceptualmente es relevante iniciar la discusión partiendo del ecosistema, Márquez [10] lo define como las interacciones entre los seres vivos y su entorno, mediante intercambios de materia y energía a través de los ciclos biogeoquímicos. Por otra parte, Gliessman [4] lo define como un sistema funcional de relaciones complementarias entre el ambiente y los organismos vivos. Hernández y otros [11] proponen que los sistemas agrícolas o agroecosistemas son un tipo de ecosistema, denominado agroecosistema, donde las interrelaciones entre la ecología, la economía, los factores tecnológicos y socioeconómicos son analizadas en conjunto para generar bienes y servicios. Los agroecosistemas modifican a los ecosistemas para producir bienes demandados por el sistema alimentario, sustituyendo parcial o totalmente los bienes y servicios que estos ecosistemas generarían naturalmente sin la intervención humana [6].

Barrazueta Unda [12] está provocando el deterioro del planeta, donde el crecimiento poblacional, trae como consecuencia el aumento de la producción de alimentos, por lo que urge encontrar el modelo ideal para una agricultura de bajo impacto al ambiente, que maximice la producción en igual o menor superficie de la existente, con menos insumos externos con el fin de lograr la sostenibilidad agraria. Los primeros intentos por determinar un equilibrio sostenible se da en la década

del 70 con la primera crisis petrolera, donde los efectos en una sociedad dependiente de este recurso para su cotidianidad (energía para aviones, cocina, automóvil, y otros (p.21) sostienen que un sistema agrícola puede ser clasificado como un sistema ecológico. En este caso, el sistema agrícola se denomina agroecosistema, siendo un conjunto de plantas, animales, microorganismos que pueden incluir cultivos, animales domésticos o una combinación de cultivos y animales que interactúan entre sí y con el ambiente. Más aún, Angel y Sanchez [13] (p. 13) definen los agroecosistemas como cualquier ecosistema modificado y manejado por los humanos para producir bienes deseables como alimentos, fibras y otros materiales biológicos.

Al ser el agroecosistema un ecosistema modificado, es comparable entonces en sus partes estructurales y funcionales con los ecosistemas, lo cual permite analizar los sistemas de producción de alimentos en su totalidad, incluyendo entradas y salidas e interacciones entre sus partes [4]. Cuanto mayor es la semejanza estructural y funcional de un agroecosistema con los ecosistemas de la región biogeográfica donde se desarrolla, mayor es la probabilidad de que el agroecosistema sea sostenible [14]. Gliessman [4] identifica características que son diferentes entre un ecosistema y un agroecosistema. Las diferencias entre ecosistemas naturales y agroecosistemas son ilustradas en la figura 1.

Figura 1. Diferencias entre ecosistemas naturales y agroecosistemas.

Características	Ecosistema natural	Agroecosistema
Productividad neta	Media	Alta
Interacciones tróficas	Compleja	Simple, lineal
Diversidad de especies	Alta	Baja
Diversidad genética	Alta	Baja
Ciclo de nutrientes	Cerrado	Abierto
Estabilidad (capacidad de recuperación o resiliencia)	Alta	Baja
Control humano	Independiente	Dependiente
Permanencia temporal	Larga	Corta
Heterogeneidad del hábitat	Complejo	Simple

Fuente: [4]

En la última década, el concepto de agroecosistema se aborda como un sistema socioecológico, lo cual en esencia plantea que son ecosistemas productivos de origen humano [15]. Un sistema socioecológico se define como un sistema ecológico estrechamente vinculado a uno o varios sistemas sociales, de carácter complejo y sujeto a variaciones espacio temporales, donde las diferencias de percepción de los actores inciden en la toma de decisiones [16]. Caro-Caro y Torres-Mora [15] definen los agroecosistemas como un sistema con potencial de diversificación de la producción, ampliación de la diver-

sidad biológica y donde se llevan a cabo procesos de complementariedad y sinergismo con los sistemas naturales, incorporando intereses y percepciones de actores sociales. La agroecología plantea una visión del agroecosistema como escenario donde se gestan cambios políticos, culturales, sociales y económicos [9].

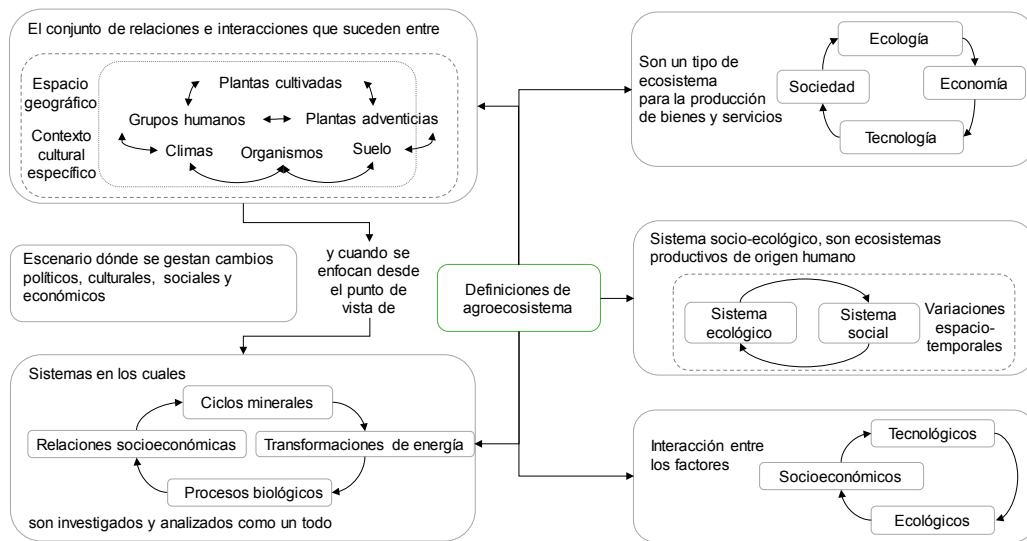
León [9] enfatiza en las relaciones entre el mundo cultural y el ecosistémico dentro del agroecosistema, reconoce las interacciones entre suelos, climas, plantas cultivadas y adventicias, organismos y grupos humanos en un espacio

geográfico definido. El agroecosistema es el epicentro de flujos energéticos y de información, de ciclos materiales, de relaciones “simbólicas, sociales, económicas, militares y políticas, que se expresan en distintas formas tecnológicas de manejo dentro de contextos culturales específicos” [9] (p. 50). En la delimitación de los agroecosistemas, León [17] los divide en dos categorías: agroecosistemas mayores y menores. El agroecosistema mayor es permanente en el tiempo y el espacio, los agroecosistemas menores tienen mayor susceptibilidad

a los cambios. Entonces, el agroecosistema mayor sería la finca, parcela o granja y el agroecosistema menor sus componentes (cultivos, pastos o forestería) [17].

Existen entonces múltiples definiciones de agroecosistema que van desde el espacio donde se desarrollan interacciones biofísicas hasta donde se incuban y germinan cambios sociopolíticos, culturales y económicos. Las visiones asociadas al concepto de agroecosistema son sintetizadas en la figura 2.

Figura 2. Conceptos asociados al agroecosistema.



Fuente: autores (2021) basado en [4], [6], [8], [9], [11], [12]

Estructura, componentes y procesos de los Agroecosistemas

La *estructura* del agroecosistema es la configuración o arreglo espacial interno y la conectividad entre sus distintos corredores de vegetación o sistemas productivos que permite el movimiento y el intercambio de especies animales y vegetales, les ofrece refugio, hábitat y alimento, provee regulaciones funcionales de distinto orden e incide en la producción, conservación de bienes naturales y en otros aspectos ecosistémicos y culturales [17]. Gliessman [4] establece que la estructura de los agroecosistemas se constituye por los subsistemas que lo conforman y sus interrelaciones. Estos subsistemas

son: agrícola (especies y coberturas cultivadas), pecuario (componentes productivos que están relacionados con la cría o engorde de animales), forestal (coberturas naturales y su biodiversidad) e hídrico (cuerpos de agua lenticos y loticos).

Los *componentes* del agroecosistema son aquellos ingresados por el ser humano, definidos como insumos antropocéntricos (maquinaria, fertilizantes, semillas, agua de irrigación, trabajo). También son los insumos externos naturales (radiación solar, lluvia, viento, sedimentos, nutrientes y energía) [4]. Según autores como [18]–[20] los principales *procesos* en el agroecosistema se exponen en la figura 3

Figura 3. Procesos en agroecosistemas.



Fuente: Autores (2021) adaptado de [18]–[20]

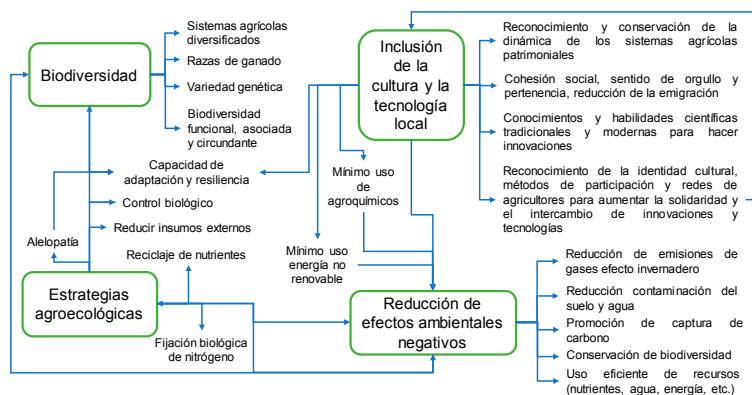
Macroaspectos de sostenibilidad de los agroecosistemas

En el diseño de agroecosistemas sostenibles [21] proponen incluir macroaspectos como son: la biodiversidad, las estrategias agroecológicas, la cultura, la tecnología local y la reducción de los efectos ambientales. Estos macroaspectos son establecidos mediante características específicas, altamente relacionadas con la generación de servicios ecosistémicos en agroecosistemas. En la figura 4 se presentan los macroaspectos.

En primer lugar, se encuentra la biodiversidad, la cual hace referencia a la riqueza del agroecosistema en cuanto

a integrar en su diseño subsistemas diversificados, agrícola, forestal y pecuario con alta variedad que permitan generar las condiciones para contar con biodiversidad, planificada, asociada y circundante [22]. La biodiversidad planificada corresponde a los cultivos y animales incluidos intencionalmente por el ser humano dentro del agroecosistema. La biodiversidad asociada abarca toda la flora y fauna del suelo (fitófagos, carnívoros, descomponedores) que colonizan el agroecosistema desde el medio. Finalmente, la biodiversidad circundante hace referencia a la biodiversidad fuera del agroecosistema que provee a la biodiversidad asociada al colonizar el agroecosistema desde afuera y prospera dependiendo del manejo y estructura implementados [22].

Figura 4. Macroaspectos de sostenibilidad del agroecosistema.



Fuente: autores (2021) basado en [21], [23]–[29] we propose a consistent and comprehensive framework of principles, criteria and indicators (PC&I)

En segundo lugar, el agroecosistema debe contar con estrategias agroecológicas las cuales se derivan de la riqueza en biodiversidad. Generando condiciones de adaptación y resiliencia a eventos extremos, alternativas productivas para hacer frente a la variabilidad de los mercados, minimización de insumos externos derivados de SE como el reciclaje de nutrientes, fijación de nitrógeno, control biológico de plagas y reducción de costos de mantenimiento.

En tercer lugar, la inclusión de la cultura y tecnología de las poblaciones locales, trae beneficios como la conservación de la base genética, al rescatar especies ancestrales e incluirlas dentro del agroecosistema. Estas especies adaptadas a las condiciones locales proveen condiciones que mejoran la resiliencia del agroecosistema, tanto productiva como social.

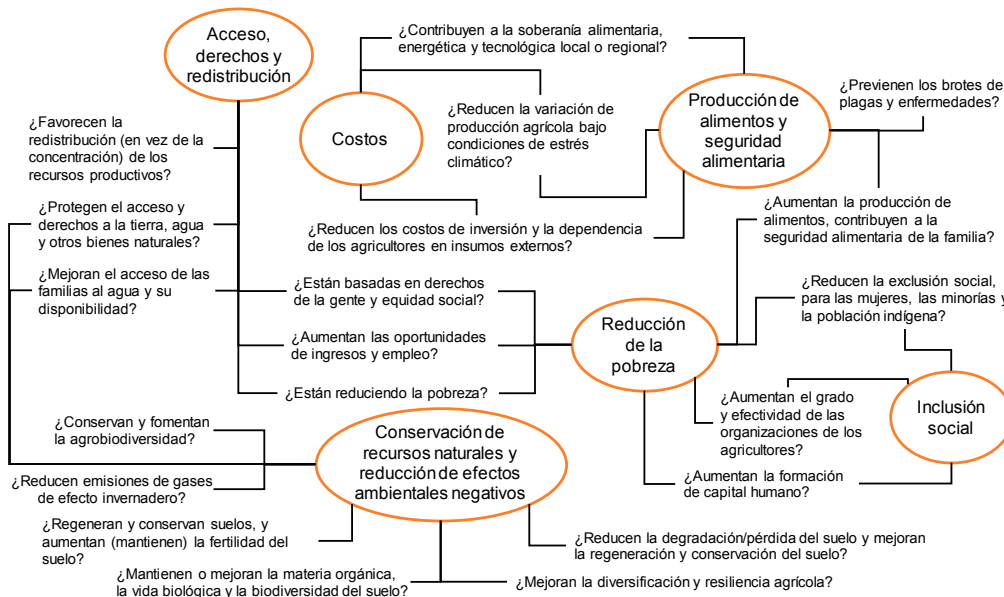
En cuarto y último lugar, la reducción de efectos ambientales mediante la disminución del uso de energía no renovable y la implementación de estrategias agroecológicas, para hacer un uso eficiente de los recursos naturales, conservar la biodiversidad y los SE derivados. En conclu-

sión, los macroaspectos antes analizados, aportan al diseño y establecimiento de agroecosistemas sostenibles que conserven y provean a su propio funcionamiento y al entorno funciones y servicios ecosistémicos.

Agroecosistemas y bienestar

En el diseño de agroecosistemas, Altieri [30] proponen examinar si las prácticas de manejo establecidas dentro del agroecosistema contribuyen al bienestar rural sostenible. En la medida en que mayor sea la contribución al bienestar rural, las comunidades podrán reconocer y valorar los servicios ecosistémicos que los agroecosistemas proveen para mantener o mejorar sus niveles de bienestar. Para evaluar el nivel de contribución al bienestar rural, diferentes autores desarrollan discusiones entorno al bienestar y la gestión de los agroecosistemas [24], [30]–[33], específicamente Altieri [30] propone una serie de preguntas que pueden ser catalogadas en seis nodos temáticos. Las relaciones entre los nodos temáticos y las preguntas propuestas por Altieri et al. (2012) se presentan en la figura 5.

Figura 5. Propuesta de análisis sobre el aporte de los agroecosistemas al bienestar.



Fuente: autores (2021) basado en Altieri et al. (2012)

El primer nodo identificado derivado del trabajo de Altieri [21] denominado acceso, derechos y redistribución. La distribución equitativa de los recursos productivos generará equidad en términos de distribución de tierras, ingresos para inversión en el agroecosistema y compra de otros bienes requeridos para el proceso productivo (herramientas, tecnología, riego). El segundo nodo denominado costos de inversión, insumos y tecnología, está relacionado con los costos y la dependencia de insumos energéticos (fertilizantes). La dependencia es reducida por alternativas que mejoran el reciclado de biomasa y la disponibilidad de nutrientes (compostaje, abonos verdes, sistemas agroforestales).

El tercer nodo denominado producción de alimentos y seguridad alimentaria, se relaciona con aspectos como la generación de una producción más diversa de cultivos. La implementación de alternativas para mejorar la variedad como el uso de especies locales, la inserción de los subsistemas pecuario y forestal en el agroecosistema son alternativas que generan diversificación de la producción. El cuarto nodo, se asocia a la inclusión social, organizacional y de capital humano. Un agroecosistema sostenible que aporta al bienestar rural debe producir alimentos de manera socialmente equitativa, mejorando la participación individual y colectiva a través del reconocimiento de la identidad cultural y la aplicación del conocimiento tradicional.

El quinto nodo, se relaciona con la reducción de la pobreza en cuanto a derechos y oportunidades. Es consecuencia del mejoramiento del acceso y distribución de los recursos productivos y la reducción de costos, al reducir la dependencia de insumos se asegura la recuperación de los costos de inversión y la rentabilidad, mejorando los ingresos, las oportunidades de empleo y reduciendo la pobreza. El sexto nodo denominado conservación de recursos naturales, involucra las acciones tomadas en el diseño y manejo del agroecosistema que contribuyen a reducir efectos ambientales negativos.

Biodiversidad y agrobiodiversidad

Se denomina biodiversidad al conjunto de genes, especies, ecosistemas y sus relaciones. La agrobiodiversidad incluye los componentes de la diversidad biológica que constituyen el agroecosistema. La agrobiodiversidad

incluye aspectos bióticos, abióticos y socioculturales [34]. Dentro de los aspectos bióticos de la agrobiodiversidad, se encuentran los recursos fitogenéticos y genéticos de animales, peces e insectos, recursos genéticos microbianos y fúngicos que hacen parte de las especies cultivadas, domesticadas y variedades silvestres. Como parte de la agrobiodiversidad, se encuentran organismos y microorganismos que contribuyen a generar procesos, funciones y servicios ecosistémicos, como el ciclo de nutrientes, el control de plagas y enfermedades, la polinización, la conservación de la biodiversidad y de los hábitats, el ciclo hidrológico, el control de la erosión, la mitigación del cambio climático, la captura de CO₂ [35]

Los aspectos abióticos de la agrobiodiversidad están constituidos por el suelo, el clima, el régimen hídrico, los cuales tienen un efecto determinante sobre la agrobiodiversidad. Finalmente, los aspectos socioeconómicos y culturales de la agrobiodiversidad están determinados por las prácticas humanas y las actividades para su gestión, como los conocimientos tradicionales, los factores culturales, la participación, el turismo, los mercados, las vías de comercialización y el paisaje [36].

Atributos de sostenibilidad en agroecosistemas

La sostenibilidad de los agroecosistemas puede ser definida por atributos como productividad, estabilidad, viabilidad, resiliencia, adaptabilidad, equidad y autosuficiencia [21], [37], [38], tales atributos se definen en la tabla 1.

Tabla 1. Atributos de sostenibilidad en agroecosistemas.

Atributos	Descripción
Productividad	Habilidad del agroecosistema para proveer el nivel requerido de bienes y servicios
Estabilidad	Propiedad del sistema de mantener creciente la productividad del sistema a lo largo del tiempo, bajo un conjunto de condiciones económicas, ambientales y de gestión cambiantes.
Confiabilidad	Capacidad del sistema de mantenerse en niveles cercanos al equilibrio ante perturbaciones normales del ambiente.

Atributos	Descripción
Resiliencia	Capacidad de retornar al estado de equilibrio o mantener el potencial productivo luego que el sistema haya sufrido perturbaciones graves. La resiliencia socioecológica se define como la capacidad que tienen los agroecosistemas para mantener su organización y unos niveles satisfactorios de producción, tras una perturbación sin poner en riesgo la organización de los sistemas sociales y biológicos que constituyen su entorno.
Adaptabilidad (Flexibilidad)	Capacidad del sistema de encontrar nuevos niveles de equilibrio es decir, de continuar siendo productivo ante cambios de largo plazo en el ambiente.
Equidad	La equidad se define como la habilidad del sistema para distribuir la productividad (beneficios o costos) de una manera justa. e
Autogestión	Capacidad del sistema de regular y controlar interacciones con el exterior.

Fuente: compilación Autores (2021) basado en [38] y [39].

El primer atributo de sostenibilidad, la productividad, puede ser alcanzada, en términos de eficiencia y eficacia del agroecosistema y no en términos netamente monetarios. La productividad es alcanzada al minimizar dentro del agroecosistema el uso y consumo de recursos no renovables, además de incluir insumos locales generando un sistema productivo más limpio, con menores efectos al medio ambiente, maximizando la producción por unidad de trabajo empleado [40]. La productividad puede ser interpretada en términos energéticos, energía empleada contra energía producida.

En cuanto al segundo atributo, existen tres fuentes de estabilidad, gestión, cultura y economía. La estabilidad de gestión, interpretada como la posibilidad de elección de tecnologías mejor adaptadas a las necesidades y recursos locales. La estabilidad cultural, como el mantenimiento de la organización, su contexto sociocultural y sus sistemas productivos a través de las generaciones. Finalmente, la estabilidad económica, asociada a la capacidad de los agricultores para predecir precios y tendencias de

mercado, eventos externos y adaptar sus cultivos y estrategias para sostener su renta [8].

Sobre la confiabilidad en los agroecosistemas está asociada a condiciones del agroecosistema como la diversidad de especies y cultivos, la conservación de recursos naturales, la fragilidad del sistema en cuanto a incidencia de plagas y enfermedades y la vulnerabilidad social de las organizaciones campesinas y los productores individuales, condiciones que permiten que el agroecosistema se mantenga ante perturbaciones normales del ambiente [38].

El cuarto atributo, la resiliencia ecológica y social en agroecosistemas puede ser potenciada a través de los servicios ecosistémicos [41]comprometiendo así la seguridad alimentaria tanto a nivel local como mundial. Aunque los efectos del cambio climático sobre los rendimientos agrícolas varían de región a región, los efectos más dramáticos se esperan en países en vías de desarrollo con climas desde áridos a húmedos (Easterling et al., 2007. La resiliencia depende de las especies existentes en el agroecosistema, la diversidad genética incluida en el diseño y el manejo de agroecosistemas se constituye en la determinante principal de la resiliencia [42]. Las interacciones y sinergismos generan procesos que brindan la capacidad de adaptarse a condiciones cambiantes generadas por eventos extremos [43]1987 In the extensive discussion and use of the concept since then (see e.g. Holmberg, 1992; Reed, 1997; Harris et al., 2001.

La adaptabilidad, como atributo de sostenibilidad en agroecosistemas, es la capacidad de las comunidades de construir resiliencia a través de acciones colectivas. La capacidad depende del contexto sociocultural (nivel de organización, gobernanza, conocimiento tradicional, etc.) que lo nutre y de la capacidad de reaccionar, movilizarse y de adaptarse de los grupos humanos que los manejan, modificando los sistemas socioecológicos cuando las condiciones ambientales, socioeconómicas o políticas son críticas [41]comprometiendo así la seguridad alimentaria tanto a nivel local como mundial. Aunque los efectos del cambio climático sobre los rendimientos agrícolas varían de región a región, los efectos más dramáticos se esperan en países en vías de desarrollo con climas desde áridos a húmedos (Easterling et al., 2007. En cuanto a la equidad, es un mecanismo de autorregulación que permite acuerdos de cooperación

dentro de las comunidades. Finalmente, la autogestión, está relacionada con la participación, la dependencia de insumos, energía y tecnologías, el reconocimiento de derechos y la eficiencia de las organizaciones que involucra además la capacidad de decisión en el diseño y manejo del agroecosistema.

Del concepto de agroecosistema al concepto de agroecosistema sostenible

Es relevante hacer una diferenciación entre el concepto de agroecosistema y el concepto de agroecosistema sostenible (AS). En este sentido, desde la literatura agroecológica un agroecosistema sostenible (AS) incorpora tres rasgos fundamentales:

- A.** Primer rasgo, se diseña y maneja como un sistema complejo [1], [29], [44]. Que permita mantener la estructura, componentes, procesos y atributos de sostenibilidad de los Agroecosistemas [17], [20], [21], [29].
- B.** Segundo rasgo, implementa macroaspectos de sostenibilidad, como la biodiversidad, las estrategias agroecológicas, la cultura, la tecnología local y la reducción de los efectos ambientales [1], [45], [46].
- C.** Tercer rasgo, aporta al bienestar de las comunidades, reflejado en la productividad, estabilidad, viabilidad, resiliencia, adaptabilidad, equidad y autosuficiencia en el agroecosistema [37], [38], [40].

Al integrar los tres rasgos, se consolida en el concepto de agroecosistema sostenible: *el agroecosistema sostenible es un ecosistema modificado para la producción de bienes y servicios que genera bienestar a las comunidades. Es un sistema complejo que incluye variables y relaciones ecológicas, socioculturales, económicas, tecnológicas y políticas. Se diseña y maneja para imitar la estructura y función de los ecosistemas locales, involucrando el conocimiento tradicional y científico, de manera que las interacciones ecológicas, y los sinergismos entre sus componentes, generen funciones y SE que garanticen en el tiempo la productividad y la protección del sistema a variables externas* [47].

La propuesta del concepto de agroecosistema sostenible permitirá a los investigadores agroecológicos identificar las características que debe contar un agroecosistema para ser considerado sostenible.

Conclusiones

En esta investigación se avanza más allá del concepto de agroecosistema, debido a la amplitud del concepto manejada por múltiples autores y la referencia aislada de rasgos relevantes asociados a la sostenibilidad. Condición que deriva en la propuesta del concepto de agroecosistema sostenible (AS) realizada en esta investigación. Se identifican tres rasgos principales del AS: el AS debe ser diseñado y manejado como un sistema complejo, implementando macroaspectos de sostenibilidad y aportando al bienestar de las comunidades. La propuesta del concepto de AS permite a las futuras investigaciones identificar las características de un agroecosistema requeridas para su diseño y manejo.

Al integrar los tres rasgos de sostenibilidad identificados en un AS, se plantea el siguiente concepto: el agroecosistema sostenible es un ecosistema modificado para la producción de bienes y servicios que genera bienestar a las comunidades. Es un sistema complejo que incluye variables y relaciones ecológicas, socioculturales, económicas, tecnológicas y políticas. Se diseña y maneja para imitar la estructura y función de los ecosistemas locales, involucrando el conocimiento tradicional y científico, de manera que las interacciones ecológicas, y los sinergismos entre sus componentes, generen funciones y SE que garanticen en el tiempo la productividad y la protección del sistema a variables externas.

Se evidencia que, al gestionarse el AS como un sistema complejo, se promueven las interrelaciones y sinergismos entre los componentes que generan funciones y servicios ecosistémicos. Además, permite comprender como la implementación de los macroaspectos influencia la conservación, mantenimiento y promoción de servicios ecosistémicos SE. Igualmente, un mayor conocimiento de las relaciones de los SE generados sobre el bienestar de las comunidades, ayuda a evidenciar su valor y a fortalecer la implementación de los macroaspectos de sostenibilidad.

Referencias

- [1] I. Perfecto, J. H. Vandermeer, and A. L. Wright, *Nature's matrix: linking agriculture, conservation and food sovereignty*. Earthscan, 2009.

- [2] D. Pimentel, R. Zuniga, and D. Morrison, "Update on the environmental and economic costs associated with alien-invasive species in the United States," *Ecol. Econ.*, vol. 52, no. 3, pp. 273–288, Feb. 2005.
- [3] S. R. Gliessman *et al.*, "Agroecología: promoviendo una transición hacia la sostenibilidad," *Rev. Ecosistemas*, vol. 16, no. 1, 2007.
- [4] S. R. Gliessman, *Agroecología: procesos ecológicos en agricultura sostenible*. Rio Grande do Sul: CATIE, 2002.
- [5] M. A. Altieri and V. M. Toledo, "The agroecological revolution in Latin America: rescuing nature, ensuring food sovereignty and empowering peasants," *J. Peasant Stud.*, vol. 38, no. 3, pp. 587–612, 2011.
- [6] S. J. Sarandón and C. C. Flores, *Agroecología: bases teóricas para el diseño y manejo de Agroecosistemas sustentables*, 1st ed. La Plata: Universidad Nacional de La Plata, 2014.
- [7] E. Ceccon, "La revolución verde, tragedia en dos actos," *Ciencias*, vol. 1, no. 91, pp. 21–29, 2008.
- [8] M. Altieri and C. Nicholls, *Agroecología: Teoría y práctica para una agricultura sustentable*, 1st ed. México, 2000.
- [9] T. Leon, "Agroecología: desafíos de una ciencia ambiental en construcción," in *Vertientes del pensamiento agroecológico: Fundamentos y Aplicaciones*, 1st ed., M. Altieri, Ed. Medellín: SOCLA, 2009, pp. 45–68.
- [10] G. Márquez-C., "Ecología y cultura: cambio ambiental, evolución biológica y evolución cultural," *Politeia*, vol. 28, pp. 41–56, 2002.
- [11] E. Hernández, J. García, and G. Díaz, "El agroecosistema: Concepto central en el análisis de la enseñanza, la investigación y la educación agrícola en México," *Agroecosistemas México Contrib. a la enseñanza, Investig. y Divulg. agrícola. Chapingo Méx. Col. Postgraduados*, pp. XI–XIX, 1977.
- [12] S. Barrezueta Unda, *Introducción a la sostenibilidad agraria: con enfoque de sistemas e indicadores*, 1st ed. Machala: Universidad técnica de Machala, 2015.
- [13] J. Ángel, A. Sánchez, J. Francisco, and V. Muñoz, "Observatorio Medioambiental Valoración de los ecoservicios en los agroecosistemas españoles: un estado de la cuestión," vol. 19, pp. 165–180, 2016.
- [14] S. R. Gliessman, E. Engles, and R. Krieger, *Agroecology: ecological processes in sustainable agriculture*. Press, 121 South Main Street, Chelsea, MI 48118: Ann Arbor Press, 1998.
- [15] C. I. Caro-Caro and M. A. Torres-Mora, "Servicios ecosistémicos como soporte para la gestión de sistemas socioecológicos: aplicación en agroecosistemas Servicios ecosistémicos como soporte para la gestión de sistemas socioecológicos: aplicación en agroecosistemas Ecosystem Services as s," *Orinoquia*, vol. 19, no. 2, pp. 237–252, 2015.
- [16] J. M. Anderies, M. Jansse, and E. Ostrom, "A Framework to Analyze the Robustness of Social-ecological Systems from an Institutional Perspective on JSTOR," *Ecol. Soc.*, vol. 9, no. 1, pp. 9–18, Jun. 2004.
- [17] T. León, T. Mendoza, and C. Córdoba, "La Estructura Agroecológica Principal De La Finca (Eap): Un Nuevo Concepto Útil En Agroecología," *Agroecología*, vol. 9, pp. 55–66, 2014.
- [18] P. Swagemakers, M. D. D. Garcia, A. O. Torres, H. Oostindie, and J. C. J. Groot, "A values-based approach to exploring synergies between livestock farming and landscape conservation in Galicia (Spain)," *Sustain.*, vol. 9, no. 11, pp. 1–16, 2017.
- [19] T. Bonaudo *et al.*, "Agroecological principles for the redesign of integrated crop-livestock systems," *Eur. J. Agron.*, vol. 57, no. June 2015, pp. 43–51, 2014.
- [20] N. Dendoncker, F. Boeraeve, E. Crouzat, M. Dufrière, A. König, and C. Barnaud, "How can integrated valuation of ecosystem services help understanding and steering agroecological transitions?," *Ecol. Soc.*, vol. 23, no. 1, 2018.

- [21] M. A. Altieri, P. Koohafkan, and E. Holt Gimenez, "Agricultura verde: fundamentos agroecológicos para diseñar sistemas agrícolas biodiversos, resilientes y productivos," *Agroecología*, vol. 7, pp. 7–18, 2012.
- [22] M. A. Altieri and C. I. Nicholls, *Biodiversidad y manejo de plagas en agroecosistemas*. Icaria, 2007.
- [23] N. Van Cauwenbergh *et al.*, "SAFE-A hierarchical framework for assessing the sustainability of agricultural systems," *Agric. Ecosyst. Environ.*, vol. 120, no. 2–4, pp. 229–242, 2007.
- [24] M. S. Hossain, F. Eigenbrod, F. Amoako Johnson, and J. A. Dearing, "Unravelling the interrelationships between ecosystem services and human wellbeing in the Bangladesh delta," *Int. J. Sustain. Dev. World Ecol.*, 2017.
- [25] E. Wheaton and S. Kulshreshtha, "Environmental sustainability of agriculture stressed by changing extremes of drought and excess moisture: A conceptual review," *Sustain.*, vol. 9, no. 6, pp. 1–14, 2017.
- [26] P. Tsonkova, A. Quinkenstein, C. Böhm, D. Freese, and E. Schaller, "Ecosystem services assessment tool for agroforestry (ESAT-A): An approach to assess selected ecosystem services provided by alley cropping systems," *Ecol. Indic.*, 2014.
- [27] L. Brunett Pérez, C. González Esquivel, and L. A. García Hernández, "Evaluación de la sustentabilidad de dos agroecosistemas campesinos de producción de maíz y leche, utilizando indicadores," *Livest. Res. Rural Dev.*, vol. 17, no. 5, 2005.
- [28] J. Blanco, L. Pascal, L. Ramon, H. Vandenbroucke, and S. M. Carrière, "Agrobiodiversity performance in contrasting island environments: The case of shifting cultivation in Vanuatu, Pacific," *Agric. Ecosyst. Environ.*, vol. 174, pp. 28–39, 2013.
- [29] M. A. Altieri, "Agroecología: principios y estrategias para diseñar sistemas agrarios sustentables," in *Agroecología: el camino hacia una agricultura sustentable*, S. Sarandon, Ed. Buenos Aires–La Plata: Ediciones Científicas Americanas, 2002, pp. 27–34.
- [30] M. A. Altieri and C. I. Nicholls, "Agroecología: Única esperanza para la soberanía alimentaria y la resiliencia socioecológica," *Agroecología*, vol. 7, no. 2, pp. 65–83, 2012.
- [31] P. J. O'Farrell *et al.*, "The possibilities and pitfalls presented by a pragmatic approach to ecosystem service valuation in an arid biodiversity hotspot," *J. Arid Environ.*, vol. 75, no. 6, pp. 612–623, 2011.
- [32] A. G. Power, "Ecosystem services and agriculture: tradeoffs and synergies," *Philos. Trans. R. Soc. B Biol. Sci.*, vol. 365, no. 1554, pp. 2959–2971, 2010.
- [33] J. A. Fisher *et al.*, "Understanding the relationships between ecosystem services and poverty alleviation: A conceptual framework," *Ecosyst. Serv.*, vol. 7, pp. 34–45, Mar. 2014.
- [34] C. I. Nicholls, A. Henao, and M. A. Altieri, "Agroecología y el diseño de sistemas agrícolas resilientes al cambio climático," *Agroecología*, vol. 10, no. 1, p. 61, 2017.
- [35] M. J. Iermanó, S. Sarandón, L. Tamagno, and A. Maggio, "Evaluación de la agrobiodiversidad funcional como indicador del " potencial de regulación biótica " en agroecosistemas del sudeste bonaerense," *Rev. la Fac. Agron. La Plata. Agric. Fam. Agroecol. y Territorio*, vol. 114, no. 1, pp. 1–14, 2015.
- [36] R. O. Nodari and D. F. Tomás, "Agrobiodiversidad y desarrollo sostenible: La conservación IN SITU puede asegurar la seguridad alimentaria," *Bioce-nosis*, vol. 24, no. 1–2, May 2016.
- [37] S. López-Ridaura, O. Masera, and M. Astier, "Evaluating the sustainability of complex socio-environmental systems. the MESMIS framework," *Ecol. Indic.*, vol. 2, no. 1–2, pp. 135–148, Nov. 2002.
- [38] M. Astier, O. R. Masera, and Y. Galván-Miyoshi, *Evaluación de sustentabilidad. Un enfoque dinámico y multidimensional*, no. April 2016. 2008.
- [39] L. F. Gómez, L. A. Ríos Osorio, and M. L. Eschenhagen Durán, "El concepto de sostenibilidad en agroecología," *Rev. U.D.C.A Actual. Divulg. Científica*, vol. 18, no. 2, pp. 329–337, 2015.

- [40] E. J. L. Bastida, J. R. P. Alonso, and M. S. González, “La necesidad de medir el desarrollo local con indicadores de economía ecológica,” *Univ. y Soc.*, vol. 5, no. 2, Oct. 2013.
- [41] M. A. Altieri, *Construyendo resiliencia socio-ecológica en agroecosistemas: algunas consideraciones conceptuales y metodológicas*. Medellín: Redagres, 2013.
- [42] M. A. Altieri and C. I. Nicholls, “Agroecología y resiliencia al cambio climático,” *Agroecol.* 8, vol. 1, no. 1, pp. 7–20, 2013.
- [43] J. M. Harris, “Sustainability and Sustainable Development,” *International Society for Ecological Economics Internet Encyclopaedia of Ecological Economics*, vol. 1. LAWMA, pp. 1–12, 2003.
- [44] C. Reijntjes, B. Haverkort, and A. Waters Bayer, *Farming for the future: an introduction to low-external-input and sustainable agriculture*. MacMillan, 1992.
- [45] G. C. Rótoló and C. A. Francis, “Los servicios ecosistémicos en el corazón agrícola de Argentina,” *Ediciones INTA*, vol. 44, 2008.
- [46] M. J. Florin, M. K. van Ittersum, and G. W. J. van de Ven, “Family farmers and biodiesel production: Systems thinking and multi-level decisions in Northern Minas Gerais, Brazil,” *Agric. Syst.*, vol. 121, pp. 81–95, 2013.
- [47] V. A. Melgarejo-Carreño, S. C. Bautista-Rodríguez, and M. Camargo, “CHALLENGES AND TRENDS IN THE VALUATION OF ECOSYSTEM SERVICES IN AGRO-ECOSYSTEMS: A SYSTEMATIC REVISION,” *Trop. Subtrop. Agroecosystems*, vol. 23, no. 1, Mar. 2020.