

LANDSCAPE ONLINE 64:1-48 (2018), DOI 10.3097/LO.201864 (Spanish Version)

Indice de Capacidad de Proveer Servicios Agroecosistemicos – Una Propuesta Metodológica

Traducido del original <http://dx.doi.org/10.3097/LO.201864> por Horacio Augstburger

Horacio Augstburger^{1*}, Johanna Jacobi¹, Gudrun Schwilch¹, Stephan Rist^{1,2}

1 Universidad de Berna, Centro para el Desarrollo y el Medioambiente (CDE en ingles), Suiza

2 Universidad de Berna, Instituto de Geografía y, Centro para el Desarrollo y el Medioambiente (CDE en ingles), Suiza

Resumen

Un sistema alimentario (SA) sostenible debe proveer alimentos y otros bienes y servicios satisfaciendo la seguridad alimentaria, el derecho a la alimentación, los ingresos, la justicia social y la resiliencia, sin degradar la salud humana y el desempeño ambiental. El desempeño ambiental de los SA puede ser evaluado usando el método de Análisis de Ciclo de Vida. Sin embargo, investigaciones sobre los impactos que tienen las actividades de los sistemas alimentarios, como p. ej. el cultivo de alimentos, sobre la capacidad de los agroecosistemas en proveer servicios agroecosistémicos es todavía incipiente. Nuestro objetivo fue el de comprender cómo los SA influyen en la provisión de servicios agroecosistémicos y cómo esto se relaciona con el desempeño ambiental de los SA, como base para apoyar la toma de decisiones sobre cómo hacer que los SA sean más sostenibles. En este sentido, proponemos el Índice de Capacidad de Servicios de Agroecosistémicos (ICSA) como un método para evaluar los servicios agroecosistémicos de granjas. El método se basa en la matriz de servicios de ecosistemas de Burkhard et al. (2009) y evalúa las clases de cobertura terrestre contra 20 servicios agroecosistémicos. El método fue aplicado en ocho agroecosistemas de granja en Bolivia y Kenia. Aquí presentamos dos ejemplos para explorar sus potenciales y limitaciones. El método opera en base a unidades de cobertura terrestre y permite calcular el Índice de capacidad de proveer servicios agroecosistémicos (ICSA) para agroecosistemas de granja que forman parte de diferentes sistemas alimentarios.

Palabras Clave:

Agroecosistemas, servicios agroecosistémicos, cobertura terrestre y sistema alimentario

Submitted: 17 March 2018 / Accepted in revised form: 22 December 2018 / Published: 31 December 2018

*Corresponding author. Email: horacio.augstburger@cde.unibe.ch

© The Authors. 2018. Landscape Online. This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ISSN 1865-1542 – www.landscapeonline.de – <http://dx.doi.org/10.3097/LO.201864> (Spanish Version)

1 Introducción

Los humanos han modificado la superficie terrestre a tal extremo que algunos hoy en día se refieren a nuestra época geológica como el Antropoceno, equiparando así la importancia del impacto humano en la Tierra con procesos geofísicos pasados (Crutzen & Stoermer 2011; Steffen et al. 2011). La producción agrícola y las actividades relacionadas, desde la provisión de productos alimenticios hasta el consumo y disposición de desechos, son un factor importante del Antropoceno. En conjunto, estas actividades han modificado aproximadamente el 40% de la superficie de la Tierra (Foley et al. 2005). Foley et al. (2011) sugieren que las actividades agrícolas son la principal fuerza que impulsa el medio ambiente más allá de los „límites planetarios“ tal como los definen Rockstrom et al. (2009). Si bien la agricultura ha transformado la superficie terrestre, el número de personas con hambre se ha estado incrementando desde 2014, llegando a un estimado de 815 millones en 2016 (FAO 2017). Además, los resultados nutricionales son deficientes y los impactos ambientales relacionados con la producción de alimentos son graves, principalmente en relación con el cambio de la cobertura terrestre y la degradación de los servicios de los ecosistemas (Ericksen 2008; Therond et al. 2017). Esta situación llevó al Relator Especial de las Naciones Unidas sobre el derecho a la alimentación a concluir que “[l]os sistemas alimentarios que heredamos del siglo XX han fracasado” (de Schutter 2014, pág. 4). Los sistemas alimentarios son los principales contribuyentes a los problemas más críticos que enfrentan los humanos; pero también pueden desempeñar un papel importante en la solución de estos problemas (IAASTD, 2009).

La presión sobre las tierras agrícolas para producir biomasa al mismo tiempo que reducir los impactos ambientales está en aumento (Duru et al. 2015; Fischer et al. 2008). En la primera mitad del siglo XX, la agricultura se caracterizó por la diversidad de secuencias de cultivos, el manejo de la materia orgánica del suelo y los procesos biológicos. Desde la década de 1950, y particularmente desde la

„revolución verde“ (desde la década de 1960 en adelante), los insumos químicos externos han reemplazado o reducido muchos servicios de los ecosistemas (Therond et al. 2017). Este paradigma productivista agrícola predominante debe transformarse fundamentalmente (Duru et al. 2015; Foley et al. 2011; Foulleux et al. 2017). La necesidad de un cambio de paradigma también se ve impulsada por los debates en curso sobre la gestión del paisaje, en los que autores sugieren cada vez más pasar del ahorro de tierras (land sparing) (intensificando el uso de la tierra por un lado y dejando así tierras para la conservación por otro) hacia un enfoque más integrador de compartir la tierra (land sharing) (manteniendo una matriz de paisaje coherente y diversa con un uso moderadamente intenso para preservar la biodiversidad a lo largo de la práctica agrícola) (De la Vega-Leinert & Clausing 2016; Fischer et al. 2014; Green et al. 2005; Phalan et al. 2011). En lugar de ver el uso compartido de la tierra (land sharing) y el ahorro de tierras (land sparing) como opciones de gestión de tierras mutuamente excluyentes, se debe reconocer que ambas ofrecen ventajas diferentes y, a veces, complementarias (De la Vega-Leinert 2014; Fischer et al. 2008; Lee et al. 2014). Un enfoque más reciente de la gestión del paisaje en esta línea de pensamiento es la multifuncionalidad del paisaje, cuyo objetivo es diseñar paisajes que tengan múltiples propósitos, como, p. ej., el almacenamiento de carbono, la regulación de inundaciones y la conservación de la biodiversidad (Erik et al. 2009; Manning et al. 2018). Las actividades del SA son multifuncionales: producen alimentos, piensos, fibra, combustible y otros bienes y también tienen una gran influencia en otros servicios ecosistémicos esenciales, como el suministro de agua y el secuestro de carbono (IAASTD, 2009). La producción de alimentos es un servicio agroecosistémico crucial proporcionado por los agroecosistemas (Power 2010). Sin embargo, los agroecosistemas deben hacer más que solamente proveer servicios ecosistémicos de aprovisionamiento como alimentos (Lescouret et al. 2015; Zhang et al. 2007). También deben proporcionar otros servicios, como el reciclaje de nutrientes del suelo, la regulación del microclima, la heterogeneidad biótica y la regulación de los

procesos hidrológicos (Altieri 1999; Porter et al. 2009).

Esto significa que la producción agrícola de alimentos o piensos, en granjas, comunidades o corporaciones, son parte de los agroecosistemas, que también producen servicios de agroecosistemas. Estos servicios agroecosistémicos son de importancia fundamental para la sostenibilidad a largo plazo de los sistemas alimentarios y los complejos sistemas socio ecológicos de los que forman parte (Biel 2016). Existe una creciente evidencia de que los futuros paisajes agrícolas deben reducir los insumos agroquímicos nocivos en el medio ambiente y ofrecer servicios culturales que apoyen la sostenibilidad de los sistemas alimentarios (Peano et al. 2014; Šūmane et al. 2018). Sin embargo, según Horlings and Marsden (2011, p. 450) esto “requiere cambios radicales y un debate entre científicos sobre el fomento de un nuevo tipo de economía agroalimentaria (multi-escala)”. Adoptar este enfoque más integral significa observar los agroecosistemas y la forma en que se relacionan con las diferentes formas de producir, procesar, comercializar y consumir alimentos. Por lo tanto, tal enfoque del sistema alimentario debe poder identificar cómo los diferentes sistemas alimentarios, más allá de proporcionar alimentos o piensos, están inherentemente vinculados a la provisión de servicios de agroecosistémicos, expresados, p. ej. en el ciclo de nutrientes, alimentos y piensos, purificación de agua y patrimonio cultural (Altieri 1983; Horlings & Marsden 2011; Lescourret et al. 2015)

El potencial que los paisajes tienen para ofrecer múltiples beneficios a partir de los servicios agroecosistémicos a la sociedad, más allá de la producción de productos básicos ha recibido una atención creciente en áreas de investigación y política (De Groot et al. 2010; Manning et al. 2018; Mastrangelo et al. 2014). Sin embargo, evaluar las capacidades de los paisajes agrícolas para proporcionar servicios agroecosistémicos sigue siendo un desafío. Perfecto et al. (2009) abogan por un paradigma agrícola que integra la agricultura y la conservación en parches de paisajes de alta calidad donde los objetivos de producción agrícola y conservación del medio ambiente pueden coexistir.

Si bien este paradigma ofrece una perspectiva interesante, carece de pautas metodológicas sobre cómo evaluar la calidad de tales paisajes. En este sentido, Burkhard et al (2009; 2014) abordan el estudio de las capacidades de los paisajes para brindar servicios ecosistémicos. Su método incluye una matriz de servicios ecosistémicos como base para evaluar la capacidad de cada clase de cobertura terrestre en el ecosistema para proporcionar servicios ecosistémicos. Burkhard et al. (2009) utilizan las clases de cobertura terrestre desarrolladas por el proyecto europeo CORINE y se basan en datos de paisajes existentes. Nosotros, hemos llevado este método un paso más allá al adaptarlo para su uso en el contexto de los sistemas alimentarios en el Sur global y con los datos disponibles en las granjas.

Inspirados por el cambio de paradigma propuesto por Perfecto et al. (2009) y basándonos en el enfoque metodológico de Burkhard et al. (2009) en este artículo presentamos un enfoque metodológico multiescalar nuevo al que nos referimos como capacidad de servicios agroecosistémicos (CSA). El método se basa en la identificación de las clases de cobertura terrestre de los agroecosistemas de granjas que están relacionados con diferentes sistemas alimentarios, así como los tipos y números de servicios agroecosistémicos que proporcionan. Los tipos y números de servicios agroecosistémicos en todas las clases de cobertura terrestre de un agroecosistema de granja se agregan en el Índice CSA, que permite comparar las capacidades de diferentes sistemas alimentarios para proporcionar servicios agroecosistémicos. Los potenciales y limitaciones de este enfoque metodológico se ilustran y discuten sobre la base de los resultados empíricos de Kenia y Bolivia. Šūmane et al. (2018) argumentan que la transición hacia una agricultura más sostenible requiere una nueva base de conocimientos que incluya nuevos contenidos, nuevas formas de conocimiento y nuevos procesos de aprendizaje. El enfoque de CSA contribuye a esta nueva base de conocimiento al generar nuevas formas de conocimiento sobre los agroecosistemas que, en última instancia, pueden ayudar a avanzar en las transformaciones hacia sistemas alimentarios más sostenibles.

2 Conceptos de fondo para la evaluación de la capacidad de servicios agroecosistémicos

2.1 Ecosistemas y agroecosistemas

El mundo natural se puede ver como una jerarquía anidada de sistemas (organismos-población-comunidad-ecosistema-bioma-biosfera), cada uno de los cuales tiene su propio comportamiento de sistema y un límite definido más o menos claramente (Conway 1985). Los ecosistemas fueron definidos por la Convención de Diversidad Biológica (1992, p. 3) como “un complejo dinámico de comunidades de plantas, animales y microorganismos y su entorno no vivo que interactúan como una unidad funcional”. Los ecosistemas tienen patrones de procesos naturales de ciclos de nutrientes, regulación de la población, equilibrio dinámico y flujos de energía (Altieri 1983). De Groot et al. (2002, p. 294) define funciones ecosistémicas como „la capacidad de los procesos y componentes naturales para proporcionar bienes y servicios que satisfacen las necesidades humanas, directa o indirectamente“. Los servicios de los ecosistemas se definen en la Millennium Ecosystem Assessment (2005) como beneficios que las personas obtienen de los ecosistemas, incluidos los servicios de aprovisionamiento, los servicios de regulación, los servicios de soporte y los servicios culturales.

Las actividades agrícolas se desarrollan en partes de ecosistemas que se transformaron en agroecosistemas. El equilibrio natural original del ecosistema se ve alterado por una combinación de actividades ecológicas y socioeconómicas (Altieri 1983) para producir alimentos, piensos, fibra u otros bienes. Si bien las alteraciones humanas de los ecosistemas para la producción agrícola pueden ser graves, los procesos naturales de los ecosistemas todavía funcionan como parte de los agroecosistemas. La magnitud de las diferencias entre los ecosistemas y los agroecosistemas depende de las decisiones de manejo y los niveles de modificación del ecosistema (Altieri 1983).

Los agroecosistemas pueden conceptualizarse como redes de clases de cobertura terrestre dentro de un sitio o región integrada. Son el resultado de

decisiones de manejo de la tierra tomadas por los usuarios de la tierra (Gliessman 2007). Más allá de la producción, las decisiones sobre el uso del suelo también tienen en cuenta la disponibilidad, el costo y las propiedades de los insumos, p. ej., fertilizantes, pesticidas, semillas, maquinaria o créditos, así como la demanda de los actores encargados de procesar, vender o consumir los alimentos que se producirán. Esto significa que los agroecosistemas, y sus administradores, se convierten en parte de los sistemas alimentarios, que dan forma al tipo de producción de alimentos con sus características específicas de provisión de insumos, procesamiento, venta, consumo y tratamiento de los residuos que se generan en todo el proceso.

Los sistemas alimentarios influyen en el uso de la tierra y en las decisiones de manejo de la tierra, que a su vez resultan en consecuencias ambientales específicas relacionadas con complejas interacciones naturales en el suelo, la atmósfera, las plantas, los animales y los microorganismos (Altieri 1983, 1999). Por lo tanto, los sistemas alimentarios y las decisiones relacionadas con el uso de la tierra desempeñan un papel importante en la creación de paisajes culturales que, según los respectivos tipos de uso de la tierra, tienen capacidades específicas para proporcionar servicios de agroecosistemas. Los servicios agroecosistémicos se definen comúnmente como combinaciones específicas de aprovisionamiento, regulación/mantenimiento y bienes y servicios culturales (Kyösti & Olli 2013; Wiggering et al. 2016) (ver Fig. 1).

El comportamiento de los agroecosistemas se puede describir mediante cuatro propiedades del sistema: productividad, estabilidad, sostenibilidad y equidad, que también pueden utilizarse como indicadores de su desempeño (Conway 1985). López-ridaura et al. (2005) proporcionan una visión general de los atributos utilizados para definir la sostenibilidad en los sistemas de gestión de recursos naturales de los campesinos, y concluyen que los cinco indicadores más utilizados son la productividad, la estabilidad, la equidad, la adaptabilidad y resiliencia.

Therond et al. (2017) desarrollaron un nuevo marco analítico para caracterizar los sistemas agrícolas basados en dos características principales, que

representan gráficamente en dos ejes: el eje vertical describe la participación de la producción agrícola derivada de los servicios de los ecosistemas y de los insumos antropogénicos externos. El eje horizontal describe las principales características de los contextos socioeconómicos que determinan la integración territorial y las relaciones y comportamientos económicos centrados en los precios del mercado global. El desafío en la creación de agroecosistemas sostenibles es de lograr características naturales similares a los ecosistemas en agroecosistemas (sostenibilidad ambiental) mientras se mantiene la productividad (sostenibilidad económica) (Gliessman 2007) y resultados sociales equitativos (sostenibilidad social).

Los ecosistemas suelen ser unidades grandes lo que dificulta relacionar sus servicios ecológicos directamente con los sistemas alimentarios. Los agroecosistemas, entendidos aquí como un área específica en la cual el ecosistema natural se modifica con fines agrícolas, están por lo tanto más directamente relacionados con los sistemas alimentarios. Los sistemas alimentarios son redes interdependientes de actores que están conectados por el flujo de bienes y servicios para satisfacer las necesidades alimentarias locales y mundiales (Colonna et al. 2013). Los componentes fundamentales de los sistemas alimentarios son comúnmente espacios rurales en los que tiene lugar la producción agrícola. Las decisiones de los actores que manejan la producción de alimentos basada en la familia, la comunidad o la corporación reflejan las características específicas de las cadenas de valor de las que forman parte. Esto se relaciona con los insumos disponibles (fertilizantes, pesticidas, semillas, maquinaria, créditos, conocimientos, etc.) y los requisitos de procesamiento, comercialización, venta y consumo de alimentos (Rist & Jacobi 2015). La combinación de estos aspectos se traduce en decisiones de gestión que se expresan en diferentes patrones de clases de cobertura terrestre en los agroecosistemas. A partir de ahí, desarrollamos la idea de que si los agroecosistemas representan la parte de los ecosistemas más directamente influenciados por los sistemas alimentarios, la determinación de los servicios de agroecosistemas constituye un indicador importante para evaluar una

dimensión del desempeño ambiental de los sistemas alimentarios. En nuestro enfoque, nos basamos en el amplio campo de la literatura sobre cómo determinar los servicios de los ecosistemas y adaptar estos métodos al contexto agrícola, para identificar lo que llamamos „servicios agroecosistémicos“. Los servicios agroecosistémicos son aquellos servicios ecológicos proporcionados por las partes de un ecosistema que están más directamente relacionados con actividades específicas del sistema alimentario.

La evaluación y el mapeo de los servicios de los ecosistemas ha aumentado en importancia y se ha convertido en una herramienta útil en la ciencia, las políticas y la toma de decisiones (Malinga et al. 2015). Existe una gran cantidad de literatura sobre metodologías para evaluar o valorar los servicios de los ecosistemas. Algunos están desarrollados para evaluar los servicios de los ecosistemas a gran escala, p. ej. García-Nieto et al. (2013) para el sureste de España. Otros dependen de datos secundarios para su evaluación, como Petter et al. (2013). Otros utilizan datos primarios a escala local, como Sinare et al. (2016), o como Carvalheiro et al. (2010), se enfocan en profundidad en un servicio de regulación (p. ej., polinización). Una revisión de Malinga et al. (2015) muestra que la mayoría de los estudios se centran en servicios ecosistémicos de regulación y se refieren a escalas espaciales intermedias (escala municipal o mayor), y menos a nivel de aldea o granja.

Varios autores utilizan las clases de cobertura terrestre como punto de partida para evaluar los servicios de los ecosistemas (Ericksen et al. 2011; Fang et al. 2015; Koschke et al. 2012). Burkhard et al. (2009) proponen el concepto “Capacidades de los paisajes para proporcionar servicios de los ecosistemas” para las evaluaciones basadas en la cobertura terrestre. Los estudios realizados en Europa utilizan principalmente las 44 clases de cobertura terrestre del proyecto europeo CORINE (Burkhard et al. 2014; Burkhard et al. 2009; Burkhard et al. 2012; Ericksen et al. 2011; Fang et al. 2015; Koschke et al. 2012). Para investigaciones en el Sur global, la FAO (2003) proporciona una lista de 99 clases de cobertura terrestre adaptables a diversos contextos.

Los métodos de evaluación de los servicios de los ecosistemas están bien establecidos. Sin embargo, hay menos literatura sobre servicios agroecosistémicos. Se puede argumentar que podríamos haber usado directamente los métodos de los ecosistemas, pero los ecosistemas difieren fundamentalmente de los agroecosistemas. La principal diferencia es su objetivo de productividad y los límites definidos políticamente o socialmente, expresados como propiedades colectivas o privadas de la tierra. En consecuencia, los sistemas alimentarios son un mosaico de agroecosistemas en los que, en lugar de unidades naturales, encontramos clases de cobertura terrestre muy influenciadas por actividades humanas que deben ser comparables para diferentes agroecosistemas.

Como se mencionó, nos basamos en el método de servicios ecosistémicos propuesto por Burkhard et al. (2009). Sin embargo, su método no propone una fórmula para calcular el CSA de diferentes clases de cobertura terrestre, ni presenta valores de índice agregados para el agroecosistema (ver sección 3). Para nuestro caso, fue fundamental para evaluar el desempeño ambiental de los sistemas alimentarios desarrollar un método que pudiera determinar su capacidad para brindar servicios agroecosistémicos.

2.2 Servicios agroecosistémicos y tipos de cobertura terrestre

Un agroecosistema es un área de un ecosistema que ha sido transformado por intervenciones agrícolas humanas en un agroecosistema. (Altieri 1983, 1999; Conway 1987; Gliessman 2007; Hart 1985). Más concretamente, un agroecosistema es una unidad de actividad agrícola espacial y funcionalmente coherente que incluye componentes vivos y no vivos y sus interacciones (Dominati et al. 2014). La evaluación de la capacidad de los agroecosistemas para proporcionar servicios de agroecosistemas en el contexto de los sistemas alimentarios es un desafío en términos prácticos, ya que los agroecosistemas suelen estar compuestos por múltiples granjas, lo que dificulta la evaluación de los servicios de agroecosistemas en todo un agroecosistema.

Un aspecto clave en la evaluación de CSA es comprender la relación entre ecosistemas,

agroecosistemas y sistemas agrícolas (o granjas). El concepto de agroecosistema proporciona un marco para analizar los sistemas de producción de alimentos en su totalidad, incluidos sus complejos conjuntos de entradas y salidas y las interconexiones entre sus componentes. (Gliessman 2007). Conway (1987) sostiene que los agroecosistemas pueden concebirse dentro de una jerarquía clásica de sistemas: en la parte inferior de la jerarquía se encuentra el agroecosistema que comprende la planta o animal individual, su micro entorno inmediato y las personas que lo manejan. Articulado a esto, hay un componente siguiente relacionado con el campo y el nivel de la granja, y la jerarquía continúa ascendiendo de esta manera, y cada agroecosistema forma un componente del agroecosistema en el siguiente nivel (Conway 1987).

Para los fines de este estudio, entendemos los agroecosistemas como áreas de un ecosistema que han sido transformadas por intervenciones agrícolas humanas resultantes de diferentes tipos de sistemas de producción que son conformados por los humanos que administran una granja. Por lo tanto, consideramos adecuado utilizar un concepto de agroecosistemas que incluya los sistemas de producción como una de las principales causas de la transformación de los ecosistemas en agroecosistemas. Adoptamos un marco de agroecosistema para estudiar los sistemas de producción de alimentos porque nos permite evaluar fincas no simplemente como unidades de producción de biomasa, sino como entidades integrales que tienen la capacidad de producir biomasa, así como otros servicios agroecosistémicos adicionales, a veces numerosos, basados en granjas. Esto significa que determinamos los servicios agroecosistémicos de granjas provistos por secciones específicas de un agroecosistema, representadas por unidades agrícolas, que en un nivel más alto constituyen los paisajes más amplios. La unidad básica de análisis, por lo tanto, son las secciones de agroecosistemas gestionados por fincas específicas. Nos referimos a estos como "agroecosistemas de granja" (AG), y a la cantidad y tipos de servicios agroecosistémicos que estos brindan como "servicios agroecosistémicos de granja" (SAG). Usamos las clases de cobertura terrestre en las AG como la unidad de análisis

empírica más baja y evaluamos la capacidad de cada clase de cobertura terrestre en un AG para proporcionar servicios de SAG.

Las características más destacadas de las AG son las diferentes clases de cobertura terrestre, tales como tierras de cultivo irrigadas o de secano, carreteras, plantaciones forestales y asentamientos rurales. Las intervenciones agrícolas que incluyen el arado, la siembra, el riego, la aplicación de agroquímicos y la recolección le dan forma a los AG (Gliessman 2007). Las decisiones de gestión que definen el tipo de intervenciones agrícolas están influenciadas por los sistemas alimentarios a los que pertenecen los AG. Un AG que forma parte de un sistema alimentario agroindustrial probablemente usará diferentes máquinas, semillas y agroquímicos que un AG que es parte de un sistema alimentario local. Al mismo tiempo, la cobertura terrestre de un AG también refleja sus condiciones geológicas, geomorfológicas, climáticas y condiciones macro biológicas.

Esto está en línea con la descripción de Di Gregorio's (2016, p. 1) que describe la cobertura terrestre como „una síntesis de los muchos procesos que tienen lugar en la tierra“. Según él, la cobertura terrestre refleja la ocupación y la transformación de la tierra por varios sistemas naturales y antropogénicos y, en cierta medida, cómo estos sistemas afectan la tierra (Di Gregorio 2016). Por lo tanto, consideramos la cobertura terrestre como un indicador adecuado para ayudar a medir los efectos de las intervenciones humanas en un AG. Más concretamente, proponemos transferir la metodología que Burkhard et al. (2012) desarrolló para evaluar los servicios de los ecosistemas al concepto de servicios agroecosistémicos. En otras palabras, proponemos considerar los servicios agroecosistémicos como la capacidad de redes específicas de clases de cobertura terrestre (de un AG específica) para proporcionar un conjunto específico de bienes y servicios agroecosistémicos.

Cada clase de cobertura terrestre de un AG tiene el potencial de proporcionar servicios agroecosistémicos. Los servicios agroecosistémicos son bienes y servicios que la AG puede proporcionar y que contribuyen al bienestar humano (Lescourret et al. 2015; Zhang et al. 2007).

Los servicios agroecosistémicos pueden ser servicios de aprovisionamiento, servicios de regulación, servicios de soporte o servicios culturales (Kyösti & Olli 2013; Wiggering et al. 2016).

Burkhard et al. (2012), proponen dos formas de definir la capacidad de las clases de cobertura terrestre para proporcionar servicios ecosistémicos: i) la capacidad de una clase de cobertura terrestre para proporcionar el conjunto de servicios realmente utilizados (directa o indirectamente, por un grupo de personas); y ii) la capacidad de un área de tierra con una cobertura de tierra específica para proporcionar el suministro hipotético máximo de servicios que la clase de cobertura de la tierra es capaz de proporcionar. Por lo tanto, utilizamos la primera noción de capacidad y la adaptamos al contexto del agroecosistema.

En nuestro enfoque, consideramos la capacidad de una clase de cobertura terrestre para proporcionar SAG para las características biofísicas de la clase de cobertura terrestre, así como su función con respecto a aspectos antropogénicos, como las decisiones de gestión o los conocimientos técnicos (véase el lado izquierdo de la Fig. 1). Por ejemplo, una cierta clase de cobertura terrestre puede tener el potencial de proporcionar madera. Sin embargo, si nadie extrae madera, esta clase de cobertura terrestre, en lugar de proporcionar un SAG directo a los humanos, proporciona servicios de regulación y mantenimiento al AG o al Planeta Tierra al aumentar la cantidad de biomasa en el AG o capturar el dióxido de carbono, respectivamente. De manera similar, otra cobertura terrestre puede contener plantas medicinales, pero si nadie sabe cómo usarlas, la cobertura terrestre no proporciona estos servicios de AG.

Dentro del sistema de la Tierra (línea verde en la Fig. 1), coexisten varios sistemas de alimentos: con fines ilustrativos, se representa un sistema de alimentos global típico en la parte superior izquierda. El suministro de insumos del mercado global se transporta a las unidades de producción que llamamos AG. Los productos luego se procesan, se empaquetan en la región y se venden al por menor en los mercados globales para llegar finalmente a los consumidores. Los sistemas alimentarios

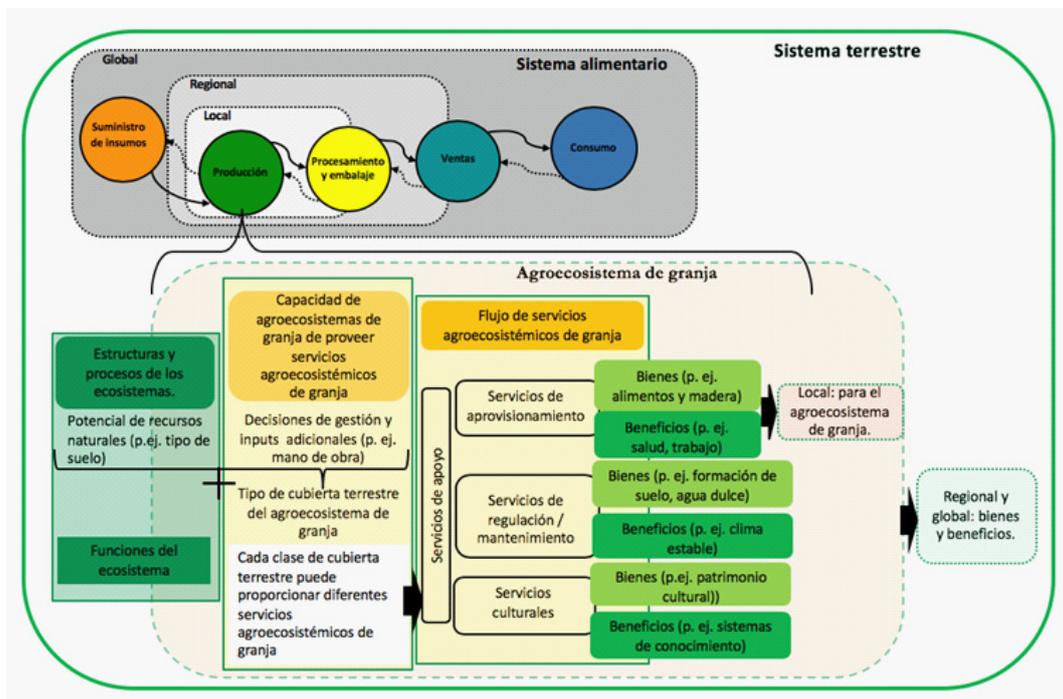


Figura 1: Modelo conceptual de un agroecosistema de granja dentro de un sistema alimentario. La figura describe la relación entre el sistema terrestre, el sistema alimentario, el ecosistema, el agroecosistema de granja, las clases de cobertura terrestre y su capacidad para proporcionar servicios agroecosistémicos de granjas. (Ilustración propia basada en Burkhard et al. (2012), Common International Classification of Ecosystem Services (CICES) by Haines-Young and Potschin (2013) and (De Groot et al. 2010).

proporcionan las dimensiones sociales, económicas y políticas que influyen en los tipos de decisiones de gestión que se tomarán en la AG. La base de recursos naturales o las estructuras y procesos biofísicos de los ecosistemas proporcionan el espacio físico donde existen los AG (ver Fig. 2). Un AG es una combinación del potencial de recursos naturales más los aportes y decisiones humanas (Altieri 1983) que crean las clases de cobertura de la tierra que pueden o no proporcionar servicios de agroecosistémicos. Los ecosistemas proporcionan una gama de servicios ecosistémicos (Cardinale et al. 2012; Haines-Young & Potschin 2013; Millennium Ecosystem Assessment 2005); los AG pueden proporcionar algunos de ellos (ver Tab. 1)

Los servicios agroecosistémicos se pueden dividir en cuatro tipos de servicios: aprovisionamiento, regulación / mantenimiento y servicios culturales por un lado (Kyösti & Olli 2013; Wiggering et al. 2016), y servicios de soporte por el otro (Ma et al. 2015). Los servicios de soporte difieren de los primeros tres tipos de servicio en que tienen un rol

transversal, lo que influye en la capacidad de las AG para proporcionar los otros tres servicios. Cada tipo de servicio de agroecosistema puede proporcionar bienes (productos tangibles) y beneficios (productos intangibles). Los bienes y beneficios pueden permanecer en el AG y acumularse (beneficios como el follaje que cae sobre el suelo y se regenera) o ser transportados fuera de la AG a otros paisajes de la región o el Planeta Tierra (como la captura de dióxido de carbono, lo que beneficia al sistema terrestre).

Los ecosistemas son similares a los AG, pero también hay diferencias fundamentales. Los servicios de ambos tipos de sistemas se pueden clasificar como aprovisionamiento, regulación / mantenimiento, cultural y de soporte. La principal diferencia es que un ecosistema es un área con límites poco definidos en los que un complejo dinámico de componentes bióticos y abióticos interactúa libremente. Un AG es un área bien definida con un complejo dinámico de componentes bióticos y abióticos, pero con sus interacciones condicionadas por intervenciones humanas para obtener productos (como servicios

agroecosistémicos) como alimentos, piensos o fibra, que generalmente prefieren los agricultores y los mercados. Las intervenciones humanas en los AG pueden caracterizarse por el uso de insumos externos (energía fósil, fertilizantes, pesticidas, etc.) que podrían reemplazarse por insumos de los servicios del ecosistema (p. ej., nutrientes de la mineralización del suelo), como se describe en el marco analítico propuesto por Therond et al. (2017).

3 El enfoque metodológico de Capacidad de Servicios Agroecosistémicos

El enfoque de metodológico de la Capacidad de servicios agroecosistémicos (CSA) tiene como objetivo evaluar la capacidad de las clases de cobertura terrestre de un AG para proporcionar uno o varios de un máximo de 20 servicios agroecosistémicos diferentes. El enfoque proporciona resultados para cada clase de cobertura terrestre y es la base para calcular un índice agregado para toda la AG. Los resultados nos permiten comparar diferentes AG y, dentro de estos, las capacidades de las clases de cobertura del terrestre.

Se desarrolló una herramienta adecuada al contexto local durante los dos años y medio de investigación en 18 granjas que pertenecen a tres sistemas alimentarios típicos en América Latina y tres en África (los detalles del trabajo de campo se encuentran en la sección 4). En la sección 4, describimos cómo aplicamos el CSA y proporcionamos los resultados de una granja que pertenece a un sistema alimentario en Kenia y una en Bolivia.

Para desarrollar el enfoque CSA seguimos cuatro pasos: i) Clasificación de la cobertura terrestre: definimos un enfoque para la clasificación de la cobertura terrestre en las AG (sección 3.1). ii) Servicios agroecosistémicos: definimos cuáles de los servicios de ecosistemas comúnmente utilizados en la literatura científica son relevantes para los AG directamente relacionadas y conformadas por los sistemas alimentarios (sección 3.2). iii) Indicadores y escala de calificación: identificamos

los indicadores necesarios para evaluar cada servicio de AG y creamos una escala de calificación para cada indicador adaptado al contexto del sistema alimentario y los datos disponibles (sección 3.3). iv) Matriz: Desarrollamos una Matriz de Servicios de Agroecosistémicos que sirve para agregar los datos recopilados y calcular un CSA para cada clase de cobertura terrestre y un Índice CSA para toda la AG (sección 3.4).

3.1 El método y las herramientas para la clasificación de la cobertura terrestre en los agroecosistemas relacionados con los sistemas alimentarios

Las clases de cobertura terrestre son la unidad básica de análisis para evaluar una CSA (ver sección 2.2). Por lo tanto, un paso fundamental del enfoque de CSA es clasificar la cobertura terrestre del AG. La clasificación de la cobertura terrestre comprende dos pasos principales: i) Trabajo de campo para recopilar datos sobre las diferentes clases de cobertura terrestre. Los datos también deben proporcionar información sobre los 20 servicios agroecosistémicos descritos en la sección 3.2 y suficiente información para evaluar la capacidad de cada cobertura terrestre para proporcionar los 20 servicios agroecosistémicos según la escala de calificación en la sección 3.3. ii) Realizar una clasificación de cobertura terrestre del AG estudiado. FAO (2003) proporciona una lista útil para clasificar la cobertura terrestre de los AG. Ofrece 99 clases de cobertura s terrestres aplicables a nivel mundial, subdivididas en siete categorías.

Las siete categorías (con un ejemplo de cada clase de cobertura terrestre entre paréntesis) se pueden resumir como: iii) áreas acuáticas cultivadas o inundadas regularmente (p. ej., arroz); iv) superficies artificiales y áreas asociadas (p. ej., área industrial); v) áreas desnudas (p. ej., suelo desnudo); vi) cuerpos de agua artificiales (p. ej., lagos o reservorios artificiales); y vii) cuerpos de agua interiores (p. ej., el río). La lista contiene la mayoría de las clases de cobertura terrestre que se encuentran en las AG que estudiamos. Para los casos en que una clase de cobertura terrestre no se encuentra en la lista de la FAO (2003) DiGregorio (2016) proporciona un método de clasificación de cobertura terrestre integral que

se puede utilizar de manera complementaria. Para crear los mapas de cobertura terrestre para cada AG utilizamos el software Google Earth y QGIS.

3.2 Los 20 servicios agroecosistémicos

Como se mencionó en la sección 2.2, un AG es un ecosistema que se gestiona con fines agrícolas. Para evaluar la capacidad de las clases de cobertura terrestre para proporcionar servicios agroecosistémicos, es importante primero definir cuáles de los servicios ecosistémicos utilizados en la literatura de ecosistemas son relevantes en la agricultura como servicios agroecosistémicos.

Para aprovechar la literatura existente, primero enumeramos en una tabla los servicios ecosistémicos que fueron propuestos inicialmente por la Evaluación de los Ecosistemas del Milenio (2005). En segundo lugar, agregamos a esta tabla todos los servicios ecosistémicos enumerados en la Clasificación Internacional Común de los Servicios de los Ecosistemas (CICES en inglés) (Haines-Young & Potschin 2013). En la misma tabla, enumeramos todos los servicios ecosistémicos propuestos por Burkhard et al. (2014); Burkhard et al. (2009); Burkhard et al. (2012); Koschke et al. (2012); and Burkhard et al. (2014), porque todos usan clases de cobertura terrestre como una unidad básica para evaluar la capacidad de un ecosistema para proporcionar servicios ecosistémicos. Además, utilizando el término de búsqueda „servicios de agroecosistema“ en Scopus y Google Scholar, identificamos otros dos grupos de autores, Garbach et al. (2014); Ma et al. (2015), quienes también proponen listas de servicios ecosistémicos relacionados con la agricultura. Incluimos todas estas listas en una tabla. Esto dio lugar a una lista de servicios ecosistémicos que podrían estar relacionados con los servicios de agroecosistémicos. La lista tenía ocho filas, cada una representaba una fuente de literatura diferente y contenía los servicios de ecosistemas propuestos por el autor que pueden relacionarse con los servicios agroecosistémicos.

De esta tabla, seleccionamos los servicios ecosistémicos relevantes para la evaluación de servicios AG de acuerdo con dos criterios: i) El espacio de producción de los sistemas alimentarios

(p. ej., granjas) debe mostrar clases de uso de la tierra que pueden relacionarse directamente con la lista de servicios ecosistémicos específicos; y ii) el servicio del ecosistema debe haber sido mencionado en al menos dos de las fuentes bibliográficas de la lista anterior. Incluimos los servicios ecosistémicos que se utilizaron más comúnmente en la literatura y que existían de manera coherente en los sitios de investigación de campo (excluyendo la pesca o la acuicultura, ya que no existían en los sitios de investigación). Compilamos 20 servicios agroecosistémicos que se adaptan a cualquier tipo de AG. En Tab. 1, están organizados y clasificados de acuerdo con los CICES (siglas en inglés) utilizados por Haines-Young and Potschin (2013). Hay nueve servicios de aprovisionamiento, ocho servicios de regulación / mantenimiento, dos servicios culturales y un servicio de soporte.

Los servicios de aprovisionamiento son bienes y servicios que proporcionan productos nutricionales, materiales y energéticos (Haines-Young & Potschin 2013). Los servicios de regulación y mantenimiento cubren la mediación de los flujos de sólidos, líquidos y gases que afectan las formas en que los organismos vivos pueden regular el entorno físico-químico y biológico (Haines-Young & Potschin 2013), que también afecta indirectamente a los seres humanos. Los servicios de regulación son difíciles de medir, porque los seres humanos se benefician indirectamente y comprenden varios procesos de ecosistemas interconectados que dependen de diferentes propiedades de los ecosistemas (Villamagna et al. 2013). Los servicios culturales son los servicios intangibles que afectan los estados físicos y mentales de las personas (Haines-Young & Potschin 2013). Los servicios culturales también son difíciles de evaluar, ya que son subjetivos y no materiales (Burkhard et al. 2014).

En nuestro entender, un AG puede expresarse por las clases de cobertura terrestre que abarca (diversidad estructural). Estas clases de cobertura terrestre contienen una cantidad y diversidad variables de plantas y animales (diversidad biológica). Consideramos la biodiversidad como una condición previa para que las clases de cobertura terrestre puedan proporcionar ciertos servicios agroecosistémicos (Altieri 1999).

Tabla 1: Servicios de agroecosistemas y sus correspondientes clases, definiciones y clases de cobertura terrestre

CLASE	DEFINICION	UNIDADES QUE POTENCIALMENTE PUEDEN PROVEER SERVICIOS
Servicio agroecosistémicos	Servicios que la clase de cobertura terrestre puede proveer	Tipos de cobertura terrestre que pueden proveer servicios agroecosistémicos
SERVICIOS DE APROVISIONAMIENTO		
Cultivos alimenticios	Aprovisionamiento de plantas comestibles	Tierras de cultivo, jardines, plantaciones frutales ^{1,2}
Alimentos silvestres y otros recursos	Frutas, setas, plantas, animales salvajes, peces ^{1,2}	Bosques, praderas, campos agrícolas, cuerpos de agua, cursos de agua ^{1,2}
Ganado	Animales domésticos para nutrición y subproductos (p.ej. lácteos, huevos) ^{1,2}	Pastos, fincas, establos, pastizales, agroforestería ^{1,2}
Forraje	Sustancia nutricional para animales domésticos ^{1,2}	Pastizales, pasturas, agroforestería, marismas ^{1,2}
Bioquímica / medicina	Producto natural utilizable como bioquímico, medicina y / o cosmética ²	Bosques y jardines ²
Semillas	Semillas para mantener las clases de cobertura terrestre natural y semi-natural ³	Campos agrícolas y vegetación natural
Madera	Madera utilizable para fines humanos (p. ej., construcción) ²	Bosques, zonas silviculturales, agroforestería ²
Leña	Madera adecuada para la conversión de energía y / o producción de calor. ²	Bosques, setos y agroforestería ²
Agua dulce	Agua disponible para consumo, riego o uso industrial ²	Sistema de recolección de agua de lluvia
SERVICIOS DE REGULACIÓN Y MANTENIMIENTO		
Regulación del clima local	Cambios en el clima local (viento, temperatura, radiación) ²	Bosques, humedales, lagos, áreas verdes (urbanas), agroforestería, setos ²
Regulación del clima global	Almacenamiento de posibles gases de efecto invernadero en la clase de cobertura terrestre ²	Suelos y bosques (biomasa en pie) ²
Regulación de la erosión	Retención del suelo y la capacidad de prevenir y mitigar la erosión del suelo ²	Cobertura s de tierras naturales, semi-naturales y cultivadas ²
Regulación de nutrientes	Capacidad para reciclar nutrientes (p. ej., N, P, K, etc.) ²	Cobertura s de tierras naturales, semi-naturales y cultivadas ²
Purificación del agua	Capacidad para purificar el agua (p. ej., sedimentos, contaminantes, nutrientes) ²	Cuerpos de agua, franjas ribereñas, suelos filtrantes, bosque ²
Regulación del agua	Mantenimiento de la característica del ciclo del agua (p. ej., almacenamiento de agua) ²	Cuerpos de agua, franjas ribereñas, suelos filtrantes, bosque ²
Polinización	Abejas, pájaros, murciélagos, polillas, moscas, viento, animales que no vuelan ²	Jardines, plantaciones frutales, bosques, humedales, zonas agrícolas ²
Control biológico	Capacidad para controlar plagas y enfermedades debidas a la variación genética ²	Bosques, humedales, cuerpos de agua, jardines, zonas agrícolas ²
SERVICIOS CULTURALES		
Sistemas de conocimiento	Capacidad para potenciar la creación y el intercambio de nuevos conocimientos.	Todas las clases de cobertura terrestre
Patrimonio y diversidad	Capacidad para mantener paisajes históricos ²	Todas las clases de cobertura terrestre. ²
SERVICIOS DE SOPORTE		
Heterogeneidad biótica	Diversidad de vegetación natural y semi-natural, agro biodiversidad ¹	Coberturas naturales, semi-naturales y de tierras cultivadas ²

¹ Burkhard et al. (2009)² Burkhard et al.(2014)

La biodiversidad mejora una variedad de servicios más allá de la producción de alimentos, incluido el reciclaje de nutrientes, la regulación del microclima y los procesos hidrológicos locales, la supresión de organismos indeseables y la desintoxicación de sustancias químicas nocivas (Altieri 1999).

La agro biodiversidad también hace que el AG sea más resistente (Jacobi et al. 2015; Lin 2011). Por las razones anteriores, incluimos los servicios de soporte mencionados en la Evaluación de los Ecosistemas del Milenio (2005) considerando el indicador de heterogeneidad biótica (ver Caja de herramientas de CSA en el Anexo). La heterogeneidad estructural se integra indirectamente en el índice CSA, porque el número de diferentes clases de cobertura terrestre son un componente fundamental del Índice CSA (consulte las fórmulas en la Tabla 2, Matriz de servicios de agroecosistémicos).

3.3 La escala de calificación y los indicadores de CSA

La escala de calificación y los indicadores son elementos centrales del enfoque CSA. Desarrollamos

una escala de calificación adaptada a los indicadores de cada servicio de AG que se puede evaluar con datos primarios recopilados de los agricultores.

Para crear la escala de calificación, seguimos el enfoque de Burkhard et al. (2009) tomando los valores máximos identificados en nuestra muestra como los valores de referencia que representan la calificación 5 (= capacidad muy alta para proporcionar el flujo de servicio de AG actuales en un año normal). La calificación 0 (= sin capacidad) se otorgó cuando la cobertura terrestre no proporcionó ningún servicio. Los pasos intermedios se definieron reduciendo a la mitad el valor máximo (para definir la capacidad media alta = 3) y luego colocando pasos iguales entre los valores restantes (1 = capacidad baja, 2 = capacidad relevante y 4 = capacidad alta) (ver CSA Cuadro de herramientas en el anexo para obtener detalles sobre cada servicio AG y su escala de calificación).

Para evaluar la capacidad de cada clase de cobertura terrestre para proporcionar servicios ecosistémicos, Burkhard et al. (2009); (2014) presentan una lista de indicadores potenciales.

De esta lista, seleccionamos los indicadores que mejor se adaptaban al contexto del sistema alimentario en el que nos propusimos crear indicadores fáciles de usar que, eventualmente, también puedan ser aplicados por actores no científicos (consulte la Caja de herramientas de CSA en el Anexo para obtener detalles). Por ejemplo, no utilizamos los indicadores que requerían el muestreo de suelo o agua como se sugiere para el servicio de ecosistema „purificación de agua“, lo que significaría medir los sólidos disueltos totales en mg / litro de agua o la carga de sedimentos en gramos / litro de agua. La cuantificación de tales indicadores es compleja, y en términos prácticos sería casi imposible aislar los efectos causados por factores dentro o fuera de un sistema alimentario específico.

En casos como los servicios de purificación de agua, decidimos utilizar indicadores proxy basados en actividades: en lugar de cuantificar la capacidad para purificar el agua mediante muestreo de agua, evaluamos el número de actividades que se llevan a cabo en el manejo de una clase de cobertura terrestre específica que puede mejorar u obstaculizar la capacidad de la clase de cobertura terrestre para proporcionar, p. ej., agua limpia (véanse los indicadores proxy basados en la actividad en los párrafos siguientes).

Otro aspecto importante se refiere a la creación de indicadores que se adaptan a los diversos tipos de fuentes a partir de los cuales podemos obtener datos sobre los diferentes tipos de clases de cobertura terrestre. Por ejemplo, para una clase de cobertura terrestre de producción, las partes interesadas conocen el rendimiento anual de los alimentos producidos en tn / ha; mientras que en términos de calidad del suelo no tienen datos cuantitativos, pero ven y perciben la degradación del suelo. Para poder utilizar ambas fuentes de conocimiento, desarrollamos indicadores basados en información numérica y cualitativa. Identificamos cuatro grupos principales de fuentes que cubren diferentes tipos de indicadores:

1-Indicadores cuantitativos: Se refiere a las cantidades de ciertos bienes y servicios que la clase de cobertura terrestre puede proporcionar, p. ej., toneladas de alimentos producidos por hectárea

(Burkhard et al. 2014). Este tipo de indicador se usa principalmente para servicios de aprovisionamiento de los AG porque los agricultores pueden, en la mayoría de los casos, proporcionar los datos (consulte el Anexo de la caja de herramientas de CSA). Para establecer el rango (más alto y más bajo) de la escala de calificación para estos indicadores cuantitativos, se asignó el valor más alto de la escala (5 = capacidad alta) al valor cuantitativo más alto que registramos en las clases de cobertura terrestre en casos empíricos concretos.; el valor más bajo (0 = sin capacidad) se asignó a las clases de cobertura terrestre que no proporcionaron ningún servicio específico.

2-Indicadores cualitativos: Se refiere a información cualitativa basada en las percepciones de los gerentes de AG sobre la capacidad de la clase de cobertura terrestre para proporcionar servicios de AG que son difíciles de cuantificar. Por ejemplo, usamos las percepciones de los gerentes de AG para describir la capacidad de una clase de cobertura terrestre para proporcionar servicios de AG, por ejemplo, relacionado con la regulación del clima local o la regulación de nutrientes entre otros (consulte el Anexo de la caja de herramientas de CSA para obtener más detalles).

3-Indicadores proxy basados en actividades: Son actividades agrícolas o de gestión que pueden promover u obstaculizar la capacidad de las clases de cobertura terrestre para proporcionar servicios específicos de los AG. En el Caja de herramientas de CSA en el Anexo 1, proporcionamos una lista de indicadores proxy basados en actividades que encontramos en la literatura bajo “buenas prácticas agrícolas” (FAO 2012; FAO 2013). Este tipo de indicador se usa principalmente para servicios regulación que son complejos y difíciles de cuantificar. Por ejemplo, la cantidad de agua que una determinada clase de cobertura terrestre puede almacenar es difícil de cuantificar; sin embargo, hay estudios que proporcionan listas de actividades agrícolas que promueven u obstaculizan la regulación del agua, como el mulching, la recolección de agua, la agrosilvicultura, la reproducción y la selección de especies y variedades de cultivos adaptadas al clima local (FAO 2013). Las listas de proxy basadas en actividades (ver el Anexo de CSA Caja de

herramientas) se utilizaron para evaluar la capacidad de la clase de cobertura terrestre para proporcionar servicios específicos de AG al contar el número de „buenas actividades agrícolas“ que se implementan en cada clase de cobertura terrestre. Por ejemplo, si en una clase de cobertura terrestre se aplican tres de las buenas actividades agrícolas para la regulación de la calidad del agua mencionadas anteriormente, a la clase de cobertura terrestre se le asigna un “3” por su capacidad para proporcionar la regulación del agua como un servicio AG.

El valor máximo de la escala (5 = capacidad muy alta) para los indicadores basados en actividades se asigna a las clases de cobertura terrestre donde se aplican todas las actividades enumeradas en el Anexo de CSA caja de herramientas para los servicios específicos de AG.

Se otorga el valor más bajo (0 = sin capacidad) si ninguna de las actividades mencionadas se implementa en la clase de cobertura terrestre.

4-Proxis de cobertura vegetal: Para las clases de cobertura terrestre natural y semi-natural, la capacidad para proporcionar servicios de AG específicos se evalúa utilizando la cobertura vegetal como un proxy. En este tipo de escala, el valor máximo de 5 (= capacidad alta) se asigna cuando la cobertura vegetal consiste en árboles de múltiples estratos (es decir, similar a la vegetación natural del área); 1 (= capacidad baja) se asigna cuando la vegetación en la clase de cobertura terrestre es vegetación herbácea abierta; y 0 (= sin capacidad) se asigna cuando una clase de cobertura terrestre consiste en suelo desnudo o es un área industrial (para obtener más información, consulte el cuadro de herramientas de CSA en el Anexo). Este indicador se basa en la idea de que para crear AG sostenibles, necesitamos crear características naturales similares a los ecosistemas en los AG (Gliessman 2007).

La calificación necesita una escala espacial y temporal bien definida. La escala espacial viene dada por los límites de los AG. Dentro de los límites del AG (es decir, los límites de la granja), se conoce el área de cada clase de cobertura terrestre.

Para la escala temporal, tomamos el flujo máximo de servicios de AG en un año agrícola normal en el

área de estudio. Nos referimos a un año agrícola normal cuando el clima promedio y las condiciones del mercado permiten la administración de las fincas dentro de una rutina normal. Por lo tanto, los resultados de CSA proporcionan una evaluación de la capacidad de cada clase de cobertura terrestre para proporcionar servicios específicos de AG en un año normal.

3.4 La Matriz de Servicios Agroecosistémicos: la agregación de las capacidades de las clases de cobertura terrestre relacionadas con el sistema alimentario para proporcionar servicios agroecosistémicos de granja

En las secciones anteriores, describimos el método para la clasificación de la cobertura terrestre y la definición de los servicios de AG relacionados individuales, los cuales son los componentes básicos de lo que llamamos la Matriz de Servicios de Agroecosistémicos (MSA). El MSA es un componente central del enfoque de Capacidad de Servicio del Agroecosistema (CSA). El enfoque CSA integra la información sobre las capacidades de clase de cobertura terrestre para proporcionar cada uno de los 20 servicios de AG (vea la primera fila en una Tab. 2). También nos permite calcular la Capacidad de Servicios del Agroecosistémicos (CSA) de cada clase de cobertura terrestre y luego expresarla en el Índice CSA agregado que describe la AG completa.

El CSA está inspirado en lo que Burkhard et al. (2009) llamada la „Matriz de Servicio del Ecosistema“. Las filas de la MSE (ver Tab. 2), son las clases de cobertura terrestre de la AG; El número de clases de cobertura terrestre depende del AG estudiado. Las columnas del MSA son los 20 servicios de AG (definidos en la sección 3.2). En la intersección, los resultados de la escala de calificación se insertan como se describe en la sección 3.3.

Para comparar la capacidad de cada clase de cobertura terrestre para proporcionar servicios de AG, desarrollamos la ecuación de Capacidad de Servicio de Agroecosistemas (CSA) (ver detalles en la Tabla 2). La ecuación nos permite evaluar la capacidad de las clases de cobertura terrestre (relacionadas con sistemas alimentarios específicos) para proporcionar servicios de AG y proporciona resultados entre 0 = sin capacidad y 5 = alta capacidad:

Tabla 2: Ejemplo de una matriz de servicios de agroecosistemas (MSA) vacía: El número de clases de cobertura terrestre (filas) depende de la cantidad y el tipo de clases de cobertura terrestre presentes en la AG. En las columnas se encuentran los 20 servicios de AG que proponemos como punto de partida y se pueden adaptar según el contexto local. La segunda fila de la matriz proporciona las ecuaciones para los cálculos en la columna correspondiente. La última columna de la izquierda es la ecuación para calcular la capacidad de servicio del agroecosistema (CSA) por clase de cobertura terrestre. El índice CSA es la suma de todos los CSA que se muestran en el cuadro amarillo.

Filas: servicios agroecosistémicos	Área %	Servicios de soporte (Su)	Servicios de aprovisionamiento (Pr)	Servicios de regulación (R)	Servicios culturales (C)	Sistemas de conocimiento (C1)	Patrimonio cultural y diversidad (C2)	Área (Ai)	Fuerza para proporcionar (Fi)	# Servicios (Ni) Normalizados	CSA Mapa	CSA / tipo de cobertura terrestre																																		
	$\frac{\sum_{i=1}^n Si}{\sum_{i=1}^n Si}$	Valores from rating scale	$\frac{\sum_{i=1}^n (Pi + Pni)}{9}$	Valores de la escala de calificación	$\frac{\sum_{i=1}^n (Ri + Pni)}{8}$	Valores de la escala de calificación	$\frac{\sum_{i=1}^n (Ci + Cni)}{2}$	$\frac{Área \%}{100}$	$\frac{\sum_{i=1}^n Si + \sum_{i=1}^n Ri + \sum_{i=1}^n Ci}{\# \text{ servicios}}$	Contar # servicios provisti	$\frac{(x - A) * (b - a)}{(B - A)}$	$\left(\frac{Fi + Ni}{2}\right) * Ai$																																		
Columnas: Clase de cubierta terrestre	% de cubierta terrestre en agroecosistema																																													
Cubierta terrestre 1																																														
Cubierta terrestre 2																																														
Cubierta terrestre 3																																														
Cubierta terrestre n																																														
Total # cubierta terrestres																																														
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Sin capacidad</th> <th colspan="5">Codigo de color</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0</td> <td>0</td> <td>1.3</td> <td>2.3</td> <td>3.3</td> <td>4.3</td> <td>4.3</td> </tr> <tr> <td>0.5</td> <td>0.5</td> <td>1.5</td> <td>2.5</td> <td>3.5</td> <td>4.5</td> <td>4.5</td> </tr> <tr> <td>0.8</td> <td>0.8</td> <td>1.8</td> <td>2.8</td> <td>3.8</td> <td>4.8</td> <td>4.8</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>2</td> <td>3</td> <td>4</td> <td>5</td> <td>5</td> </tr> </tbody> </table>												Sin capacidad		Codigo de color					0	0	1.3	2.3	3.3	4.3	4.3	0.5	0.5	1.5	2.5	3.5	4.5	4.5	0.8	0.8	1.8	2.8	3.8	4.8	4.8			2	3	4	5	5
Sin capacidad		Codigo de color																																												
0	0	1.3	2.3	3.3	4.3	4.3																																								
0.5	0.5	1.5	2.5	3.5	4.5	4.5																																								
0.8	0.8	1.8	2.8	3.8	4.8	4.8																																								
		2	3	4	5	5																																								
								Valor mínimo real	A	0																																				
								Valor máximo real	B	20	ICSA	0.00																																		
								Normalizado Min	a	0																																				
								Normalizado Max	b	5																																				

Ecuación 1: capacidad de servicios agroecosistémicos:

$$CSA = \left(\frac{Fi + Ni}{2}\right) * Ai$$

Donde:

Ai= Porcentaje de área ocupada por la clase de cobertura terrestre dentro del AG

Ni= Número de servicios de AG que la clase de cobertura terrestre puede proporcionar

Fi =Fuerza de la clase de cobertura terrestre para proveer de cada uno de los servicios de AG

El área (Ai) ocupada por la clase de cobertura terrestre dentro del agroecosistema -en porcentaje del área de la finca- da una indicación de la importancia de la clase de cobertura terrestre dentro del agroecosistema. Por ejemplo, en el MSA en Tab. 3, la clase de cobertura terrestre Forestal Angiosperma nativo tiene una fuerza (Fi) de 1.55 y proporciona 10 de 20 servicios de AG (Ni = 2.50).

Sin embargo, su CSA de 0.04 es muy bajo porque el área (Ai) que esta clase de cobertura terrestre ocupa dentro del AG es muy pequeña (1.79%).

El número de servicios de AG (Ni) que puede proporcionar la clase de cobertura terrestre se calcula contando el número de veces que la cobertura terrestre tiene un valor mayor que cero para el servicio específico en el MSA (no se suman los valores). A continuación, este número se normaliza en una escala de cero a cinco (ver Tab. 2). Ni proporciona información sobre la multifuncionalidad de la cobertura terrestre. Desde nuestro punto de vista, la multifuncionalidad y la diversidad son esenciales para la sostenibilidad. Por ejemplo, en un AG donde solo se cultiva un cultivo (soja en Bolivia) es común ver que una clase de cobertura terrestre ocupa una vasta superficie (Ai) del AG y tiene mucha fuerza (Si) pero una tiene un valor bajo de CSA, porque proporciona solo uno o dos servicios de AG de los 20 que podrían proporcionarse.

La fuerza (Fi) de las clases de cobertura terrestre en proveer los servicios específicos de AG está representada por el valor en cada celda en el MSA. El valor de Fi se obtiene a partir de la calificación (explicada en la sección 3.3), de cero a cinco, de la capacidad de la clase de cobertura terrestre para proporcionar cada uno de los 20 servicios de AG. Si es la suma de las calificaciones que tiene cada clase de cobertura terrestre de la AG, dividida por el número de servicios de la AG.

Por ejemplo, en el MSA en Tab. 3 para la primera cobertura terrestre, Cultivo herbáceo irrigado, la clase de cobertura terrestre ocupa una gran área del AG (83%) y proporciona 8 de los 20 servicios de la AG (igual a Ni = 2), pero tiene una fuerza (Fi) baja de 0.78 (en una escala de 0 a 5), por lo que el CSA de la clase de cobertura terrestre es 1.16 = capacidad baja.

Es importante destacar que consideramos que Fi se relaciona no solo con las clases de cobertura terrestre, sino también con los servicios de AG y sus características. Utilizamos el Fi de las clases de cobertura terrestre como un proxy para evaluar la capacidad de las AG para proporcionar servicios de AG.

Con este componente de CSA, abordamos el problema del desequilibrio entre el número de servicios de AG en cada sección (p. ej., nueve aprovisionamientos, uno de soporte). Esto lo hacemos dividiendo la fuerza total de la clase de cobertura terrestre por el número total de servicios de AG (20), para dar a cada servicio AG la misma importancia en el Índice CSA (consulte las fórmulas en la Tabla 2).

Los valores de CSA de las diferentes clases de cobertura terrestre pueden mapearse asignando un código de color a cada clase de cobertura terrestre que represente la capacidad de la cobertura terrestre para proporcionar servicios de AG. Este mapa de CSA se calcula multiplicando la fuerza (Fi) por el número de servicios (Ni), sin incluir el área (Ai) en la multiplicación porque el área que ocupa la clase de cobertura terrestre dentro de la AG se ilustrará en el mapa. El color se asigna a la clase de

cobertura terrestre según el valor del Mapa CSA de cada clase de cobertura terrestre. El código de color utilizado en el ejemplo en la sección 4 es: 0 = sin capacidad: blanco; 1 = baja capacidad: gris; 2 = capacidad relevante: rojo; 3 = capacidad media alta: amarillo; 4 = alta capacidad: azul; y 5 = capacidad muy alta: verde.

Los valores de CSA proporcionan información sobre cada clase de cobertura terrestre de la AG (consulte la última columna en la Tabla 3). Para comparar un AG con otro, los valores de CSA se suman para obtener el Índice CSA.

Ecuación 2: Índice de capacidad de servicio agroecosistémicos:

$$ICSA = \sum_i^n CSA$$

Donde:

CSA= los valores de CSA de cada clase de cobertura terrestre en la AG (última columna en MSA).

El Índice CSA proporciona una estimación agregada de la capacidad de todo el AG para proporcionar servicios de AG. El Índice CSA se puede utilizar para comparar diferentes AG y para evaluar indicadores específicos de la sostenibilidad del sistema alimentario.

La caja de herramientas de CSA en el Anexo es la parte central de este enfoque: proporciona las herramientas principales para la evaluación de CSA. Se organiza de acuerdo con los cuatro tipos principales de servicios de AG: aprovisionamiento, regulación / mantenimiento, servicios culturales y de soporte. Para cada servicio de AG, la Caja de herramientas proporciona una definición de las clases de cobertura terrestre que proporcionan servicios de AG específicos, una descripción detallada de los indicadores utilizados para evaluar los servicios de AG, preguntas orientativas propuestas para recopilar datos sobre la capacidad de la clase de cobertura terrestre para proporcionar los servicios de AG y la escala para calificar la capacidad de cada

clase de cobertura terrestre para proporcionar los 20 servicios de AG. La caja de herramientas CSA del anexo es un punto de partida para la evaluación de CSA y se puede adaptar a contextos locales agregando otros servicios de AG o eliminando los servicios que no son relevantes en el contexto dado.

4 Aplicación empírica del enfoque de capacidad de servicios agroecosistémicos

El método fue creado, probado y aplicado en 18 AG: nueve en Bolivia y nueve en Kenia. En esta sección, ilustramos la aplicabilidad del enfoque de capacidad de servicios agroecosistémicos (CSA) presentando el método y los resultados de una aplicación en Kenia, en una granja de horticultura agroindustrial en el condado de Nyeri (Ag-1K), y una en Bolivia, en una granja de horticultura agroecológica en Samaipata (Ae-1B) (ver Tab.3).

Durante el trabajo de campo, utilizamos entrevistas semi-estructuradas, mapeo participativo de los AG, caminatas entransectos, evaluación visual del suelo y herramientas de muestreo de vegetación y suelo. Los datos del trabajo de campo tenían que proporcionar información sobre la capacidad de cada clase de cobertura terrestre para proporcionar los 20 servicios de AG. La lista de 20 servicios de AG mostrada en Tab. 1 se utilizó en los 18 estudios de caso.

4.1 La Matriz de Servicios Agroecosistémicos

Sobre la base del trabajo de campo, identificamos, describimos y mapeamos las clases de cobertura terrestre para el AG de horticultura agroindustrial en Kenia (Tabla 4) y el de horticultura agroecológica en Bolivia (Tabla 5). Las clasificaciones y descripciones de la cobertura terrestre fueron el principal material utilizado para calificar las clases de cobertura terrestre en términos de su capacidad para proporcionar cada

Tabla 3: Características principales de dos agroecosistemas de granjas que utilizamos para demostrar la aplicabilidad del enfoque CSA.

Agroecosistema de granja	Agroecológico, Bolivia(Ae-1B)	Agro-industrial, Kenia (Ag-1K)
Tipo	Horticultura agroecológica comercial local; ensaladas, aromáticas, coles y frutas; Tamaño de finca 4 ha.	Horticultura comercial intensiva orientada a la exportación; brócoli, frijoles franceses, vainitas dulces, habichuelas, pak choy; Tamaño de la finca 48 ha.
Producción de alimentos	La preparación del terreno se realiza con tractores; la siembra, el cultivo y la cosecha se realizan de forma manual.	La preparación de la tierra, la plantación y el cultivo se realizan con maquinaria; la recolección se realiza de forma manual.
Agroquímicos	No se reporta uso de agroquímicos.	Total dependencia de agroquímicos para la producción.
Acreditaciones	No	Global Gap, Field to Fork, Albatage (para aromáticas)
Venta/intercambio	Algunos productos se venden localmente; la mayoría se envía a Santa Cruz (a 120 km).	La cadena de frío es necesaria para la venta al por menor, la mayoría de los productos se exportan a Europa y al Reino Unido por vía aérea.
Consumo	Los consumidores compran el producto porque conocen a los agricultores (ya sea en persona o por reputación); una pequeña porción es consumida por los agricultores.	No existe un vínculo entre productores y consumidores, los productos se consumen a nivel nacional y global.

uno de los 20 servicios de AG utilizando la escala de calificación descrita en la sección 3.3. Las matrices de servicios del agroecosistema (MSA) en Tab. 4 y Tab. 5 muestran los resultados de la calificación, los cuales fueron introducidos según el procedimiento explicado en la sección 3.4.

El AG de horticultura agroindustrial (ver MSA en la Tabla 4) tiene un índice CSA de 1.31, lo que significa que tiene una baja capacidad para proporcionar servicios de AG. La clase de cobertura terrestre „Cultivo herbáceo irrigado“ tiene el CSA más alto, lo cual tiene sentido, ya que este AG es una

Tabla 4: MSA para una granja de horticultura agroindustrial en el condado de Nyeri, Kenia (Ag-1K). En este AG se identificaron ocho clases de cobertura terrestre. Para cada clase de cobertura terrestre, la capacidad para proporcionar 20 servicios de agroecosistemas de granjas se evaluó en una escala de 0 = sin capacidad (blanco) a 5 = capacidad alta (azul) utilizando la escala de calificación en la Caja de herramientas en el anexo, Capacidad de servicio del agroecosistema (CSA) (Anexo). La penúltima columna a la derecha representa los valores y colores utilizados para cada clase de cobertura terrestre en el CSA Mapeo (Fig. 2). La última columna muestra los valores de CSA para cada clase de cobertura terrestre. El índice CSA es la suma de todos los CSA en el AG, que se muestra en el cuadro amarillo en la parte inferior derecha.

Filas: servicios agroecosistémicos	Área %	Columnas: Clase de cubierta terrestre																				Servicios culturales (C)	Sistemas de conocimiento (C1)		Área (A)	Fuerza para proporcionar (S)	# Servicios prestados (N)	# Servicios (NI) Normalizados	CSA Mapeo	Land cover class (ASC)																							
		Servicios de soporte (Su)	Heterogeneidad Biótica (Su1)	Servicios de aprovisionamiento (Pr)	Cultivos Alimenticios (Pr1)	Alimentos y recursos silvestres (Pr2)	Ganado (doméstico) (Pr3)	Forrage (Pr4)	Semilla (Pr5)	Madera (Pr6)	Leña (Pr7)	Bioquímica / medicina (Pr8)	Agua dulce (Pr9)	Servicios de regulación (R)	Regulación del clima local (R1)	Regulación Climática Global (R2)	Regulación de la erosión (R3)	Regulación de nutrientes (R4)	Purificación de agua (R5)	Regulación del agua (R6)	Polinización (R7)		Control Biológico (R8)	Sistemas de conocimiento (C1)							Patrimonio cultural y diversidad (C2)																						
Cultivo herbáceo regado, horticultura	83.50	3.00	3	0.56	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.81	1	0	3	1	1	1	0	0	0.50	1	0	0.83	0.78	8	2.00	1.4	1.16												
Lagos artificiales o embalses	6.25	0.00	0	0.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.88	1	0	0	0	2	4	0	0	0	0.00	0	0	0.06	0.35	3	0.75	0.6	0.03											
Caminos de tierra / tierra desnuda	4.17	0.00	0	0.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0	0	0.04	0.00	0	0.00	0.00	0.00											
Árboles muy abiertos con arbustos cerrados a abiertos, setos	2.81	2.00	2	0.11	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.38	1	2	4	4	4	3	4	5	0.00	0	0	0.03	1.50	10	2.50	2	0.06													
Plantación forestal- nativa (hoja ancha)	1.79	3.00	3	0.11	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.38	4	2	4	4	4	2	2	5	0.00	0	0	0.02	1.55	10	2.50	2.03	0.04														
Plantación forestal-exótica (hoja ancha)	0.85	3.00	3	0.11	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.13	4	2	4	4	4	1	1	5	0.00	0	0	0.01	1.45	9	2.25	1.9	0.02														
Plantación de bosques-exóticos (hojas de aguja)	0.42	2.00	2	0.11	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.13	4	2	4	4	4	1	1	5	0.00	0	0	0.00	1.40	10	2.50	1.95	0.01														
Área industrial general	0.21	0.00	0	0.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.50	1	0	0.00	0.05	1	0.25	0.15	0.00													
Total # cubierta terrestres	8.00																																																				

Sin capacidad		Codigo de color				
Capacidad baja	0	0.5	1.3	2.3	3.3	4.3
Capacidad relevante	0.8	1.5	2.5	3.5	4.5	
Capacidad media alta	1.8	2.8	3.8	4.8		
Capacidad alta	2	3	4			
Capacidad muy alta						

Valor mínimo real	A	0	ICSA 1.31
Valor máximo real	B	20	
Normalizado Min	a	0	
Normalizado Max	b	5	

Tabla 5: MSA para una granja de horticultura agroecológica en Bolivia (Ae-1B). Este AG tiene doce clases de cobertura terrestre identificadas. La evaluación se realizó de la misma manera que para el MSA anterior en Tab. 3.

Agroecológico Ae-1	Área %	Columnas: Clase de cubierta terrestre																				Servicios culturales (C)	Sistemas de conocimiento (C1)		Área (A)	Fuerza para proporcionar (S)	# Servicios prestados (N)	# Servicios (NI) Normalizados	CSA Mapeo	CSA																	
		Su	Su1	Pr	Pr1	Pr2	Pr3	Pr4	Pr5	Pr6	Pr7	Pr8	Pr9	R	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7		R8	C							C1	C2															
Árboles ornamentales a secano dispersos	8.83	4.00	4	0.42	0	0	0	0	2	1	2	0	0	0	3.50	1	1	4	4	5	4	4	5	3.00	4	2	0.09	2.15	14	3.50	2.83	0.25															
Arbustos frutales a secano (setos)	4.81	3.00	3	0.58	2	0	0	1	2	0	2	0	0	3.25	1	1	4	4	5	2	4	5	3.00	4	2	0.05	2.10	15	3.75	2.93	0.14																
Cultivo herbáceo a secano-pasturas	9.25	0.00	0	0.50	0	0	0	4	2	0	0	0	0	2.63	0	0	4	4	4	2	2	5	2.00	4	0	0.09	1.55	9	2.25	1.90	0.18																
Cultivo herbáceo a secano-barbecho	7.90	0.00	0	0.25	0	0	0	1	2	0	0	0	0	2.63	0	0	4	4	4	2	2	5	0.00	0	0	0.08	1.20	8	2.00	1.60	0.13																
Cultivos herbáceos regados-horticultura	41.08	4.00	4	0.92	5	0	0	2	2	0	0	2	0	3.13	1	2	4	3	5	2	3	5	3.00	4	2	0.41	2.30	15	3.75	3.03	1.24																
Árboles cerrados con arbustos	14.73	4.00	4	0.58	0	0	0	0	4	1	2	0	0	4.75	4	5	5	5	5	4	5	5	2.00	4	0	0.15	2.65	12	3.00	2.83	0.42																
Asentamiento rurales - establos	0.72	0.00	0	0.25	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0.00	0	0	0	0	0	0	0	0	2.00	4	0	0.01	0.35	2	0.50	0.43	0.00																
Lagos artificiales o embalses	0.18	0.00	0	0.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.63	1	0	0	0	0	4	0	0	2.00	4	0	0.00	0.45	3	0.75	0.60	0.00																
Asentamiento rural-vivienda	1.58	0.00	0	0.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0	0	0.02	0.00	0	0.00	0.00	0.00																
Caminos de tierra / tierra desnuda	0.64	0.00	0	0.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.75	0	1	1	1	1	1	1	0	0.00	0	0	0.01	0.30	6	1.50	0.9	0.01																
Plantación arbustiva a secano-bambú	2.07	0.00	0	0.67	0	0	0	0	4	4	0	0	0	3.75	3	4	4	4	4	4	2	5	3.00	4	2	0.02	2.20	12	3.00	2.60	0.05																
Secano + agroforestería irrigada	8.22	4.00	4	1.08	5	0	0	3	2	0	2	1	0	3.31	1	2	4	4	5	2	4	5	3.00	4	2	0.08	2.48	16	4.00	3.24	0.27																
Total # cubierta terrestres	12.00																																														

Sin capacidad		Codigo de color				
Capacidad baja	0	0.5	1.3	2.3	3.3	4.3
Capacidad relevante	0.8	1.5	2.5	3.5	4.5	
Capacidad media alta	1.8	2.8	3.8	4.8		
Capacidad alta	2	3	4			
Capacidad muy alta						

Valor mínimo real	A	0	ICSA 2.68
Valor máximo real	B	20	
Normalizado Min	a	0	
Normalizado Max	b	5	

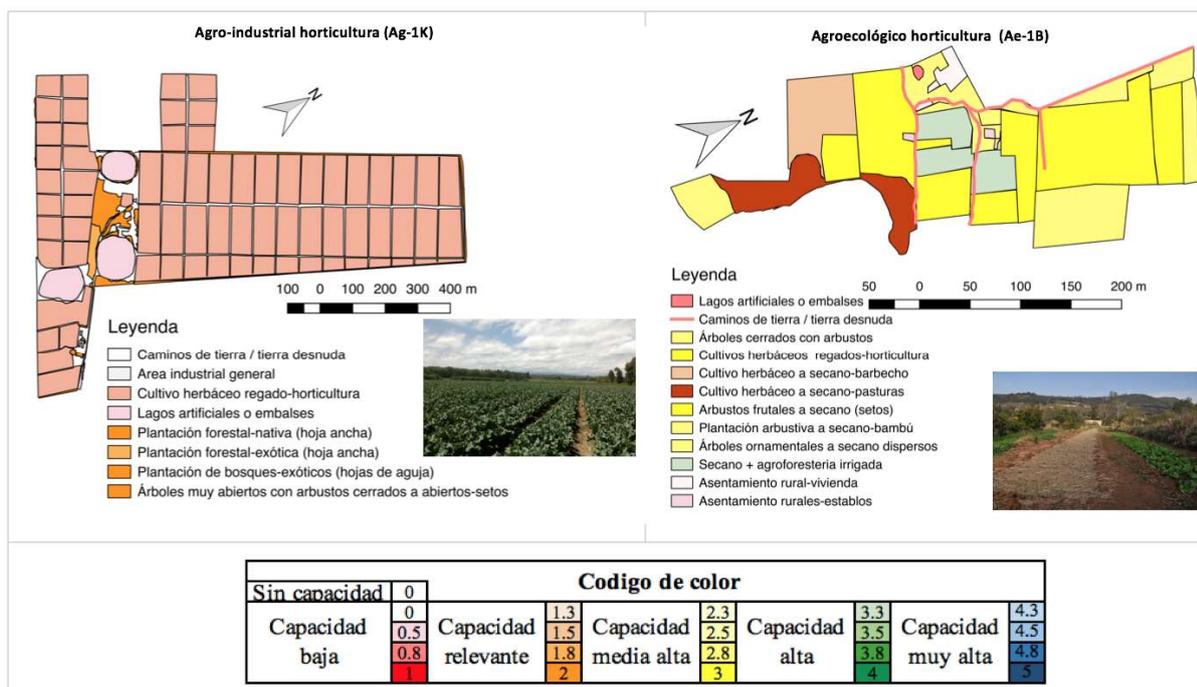


Figura 2: Mapas CSA que muestran la granja de horticultura agroindustrial en Kenia (Ag-1K) a la izquierda y la granja de horticultura agroecológica en Bolivia (Ae-1B) a la derecha. El código de color utiliza la misma escala que la clasificación de las clases de cobertura de tierra individuales; La intensidad de cada color denota decimales. P.ej. La clase de cobertura terrestre “Cultivo herbáceo regado” tiene un valor de mapa CSA de 1.5, por lo que es de color rojo claro en lugar de rojo oscuro.

Tabla 6: Ejemplos de aplicación del enfoque CSA en diferentes sistemas alimentarios en Bolivia y Kenia.

Agroecosistema de granja	Agro-industrial, Bolivia (Ag-3B)	Indígena, Bolivia (In-1B)	Pequeña escala, Kenia (Sm-1K)	Regional, Kenia (Re-1K)
Productos principales	Soya	Maíz, porotos	Maíz, porotos, papa	Trigo, cebada
Área (ha)	39	1.79	0.5	4,500
Tipos de cobertura terrestre (#)	3	5	2	11
Servicios provistos (#)	16	39	12	55
Índice CSA	0.85	2.19	1.40	0.99

granja de horticultura. El AG también incluye tres clases de cobertura terrestre que representan diferentes tipos de „plantaciones forestales“, que cubren en total el 13% del área total del AG. Esto es más del 10% requerido por las Reglas de Kenia para Agricultura, Silvicultura de Granjas (2009). Sin embargo, sorprendentemente, las CSA de las clases de cobertura terrestre de “plantaciones forestales” son bajas: todas tienen valores de CSA por debajo de 0.1 (ver Tabla 4). Esto se debe a que ocupan áreas muy pequeñas (Ai) (<1%) dentro del AG, lo que afecta en gran medida la capacidad general de la

cobertura terrestre para proporcionar servicios del AG. El AG de horticultura agroecológica (ver MSA en la Tabla 5) tiene un índice CSA de 2,68, es decir, una capacidad media alta para proporcionar servicios de AG. La clase de cobertura terrestre denominada Cultivo herbáceo irrigado (es decir, campos de horticultura) tiene el CSA más alto (1.24) y ocupa el 41% del AG. En general, el AG de horticultura agroecológica (Ae-1B) tiene el doble de capacidad para proporcionar servicios de AG que el AG de horticultura agroindustrial (Ag-1K). Hemos aplicado el enfoque CSA en 18 AG.

En la Tabla 6. resumimos los resultados de cuatro AG adicionales para ilustrar la viabilidad del enfoque en diferentes sistemas alimentarios.

5 Discusión

5.1 Valor agrado de enfoque CSA

La Capacidad de Servicio del Agroecosistémicos (CSA) es un enfoque metodológico que permite la comparación de la capacidad de los agroecosistemas basados en la granja (AG), como componentes centrales de los sistemas alimentarios, para proporcionar servicios de agroecosistemas de granja. A través de esto, el enfoque CSA puede contribuir a la evaluación del desempeño ambiental de los sistemas alimentarios rastreando la influencia que tienen sobre la diversidad de las clases de cobertura terrestre y los servicios relacionados con los agroecosistemas. El uso de clases de cobertura terrestre para comprender mejor las interacciones entre el hombre y la naturaleza ha ganado importancia en el ámbito científico y contribuye a procesos de toma de decisiones más informados. En los ecosistemas no perturbados, existe una cierta homogeneidad dentro de las clases de cobertura terrestre, aunque algunos factores locales pueden ser una fuente de variación. En los agroecosistemas perturbados, la gestión desempeña un papel importante en la determinación de la provisión de servicios de agroecosistemas. La fusión de los conceptos de los AG y las clases de cobertura terrestre en nuestro marco conceptual y metodológico tiene la ventaja de que el marco se refiere a una parte del paisaje que incluye sus clases específicas de cobertura terrestre, que son el resultado de decisiones de gestión y condiciones biofísicas. En este sentido, incluye implicaciones de gestión. Todos los AG tienen potencialmente la capacidad de proporcionar servicios de AG; sin embargo, su capacidad real para hacerlo varía según sus características biofísicas y las decisiones de gestión humana, incluidos los insumos como el trabajo.

Comúnmente, las granjas y sus patrones relacionados de clases de cobertura terrestre se miden por su rendimiento anual de alimentos o fibra (Biel 2016).

El enfoque de CSA que proponemos aquí utiliza el rendimiento de alimentos, piensos o fibra y otros 19 servicios de AG para evaluar y comparar las clases de cobertura terrestre en las AG. El enfoque permite una evaluación integrada del AG en su conjunto, mirando más allá de los meros rendimientos (Altieri 1983; Lescourret et al. 2015). Por ejemplo, las dos granjas de horticultura que presentamos difieren fundamentalmente en su gestión; uno es agroecológico y el otro es un cultivo de manejo intensivo, al que nos referimos como agroindustrial. La evaluación del Índice CSA de las dos AG mostró que las decisiones de gestión tomadas en el AG agroecológico lo equiparon con el doble de capacidad que la AG agroindustrial para proporcionar servicios del AG. El enfoque CSA puede ayudar a resaltar las capacidades de las AG para proporcionar servicios de AG. Esto puede facilitar la redefinición de los roles que desempeñan las AG dentro de un ecosistema más grande o el sistema planetario. Por lo tanto, el enfoque puede contribuir al debate científico sobre la sostenibilidad del sistema alimentario.

Burkhard et al. (2009) propusieron utilizar las clases de cobertura terrestre como una unidad de análisis para evaluar la capacidad de un paisaje para proporcionar servicios ecosistémicos. Agregamos valor a su método al dar un paso más allá y proponer: i) una opción para evaluar y comparar la capacidad de los agroecosistemas para proporcionar diferentes servicios de agroecosistemas basados en las clases de cobertura terrestre en los AG; ii) una escala de calificación que se adapta a los tipos de datos recopilables a nivel de finca y también puede ser aplicada por actores no científicos; iii) una ecuación para estimar el CSA por clase de cobertura terrestre; iv) una ecuación para calcular el CSA sin tener en cuenta el área, para obtener valores que se pueden usar para mapear los CSA de las clases de cobertura terrestre en un AG; v) un índice CSA para estimar la capacidad total de un AG para proporcionar servicios de AG, a fin de comparar diferentes AG.

Los pensadores de sistemas han mencionado que la totalidad de un sistema es más que la suma de sus partes (Capra 1996). Del mismo modo, el Índice CSA es más que la suma de los CSA de cada clase de cobertura terrestre, ya que integra la fuerza (F_i), el área (A_i) y el número de servicio (N_i) que puede

proporcionar cada clase de cobertura terrestre (consulte la ecuación 1). Sin embargo, el Índice CSA solo proporciona una indicación de la capacidad del AG para proporcionar servicios: no es una medida cuantitativa de esta capacidad. Para incluir aspectos que van más allá de la suma de los valores de CSA, el siguiente paso sería trazar un mapa de la interacción entre las clases de cobertura terrestre utilizando la teoría de redes sociales según lo propuesto por Griffon (2008). Debido a limitaciones de tiempo, esto no se ha desarrollado en el presente estudio.

Sinare et al. (2016) propuso un método para clasificar los paisajes de las aldeas en parches socio ecológicos (unidades de paisaje correspondientes a las percepciones del paisaje local) y para tomar estos parches como la base para evaluar el suministro de servicios ecosistémicos y los beneficios para los medios de vida. Una de sus recomendaciones fue incluir en la evaluación otros servicios, como los servicios culturales y reguladores de los ecosistemas (Sinare et al. 2016). El CSA que proponemos se refiere a los servicios de aprovisionamiento, regulación / mantenimiento, culturales y de soporte en el contexto de AG. Se podría adaptar y aplicar para estudiar la capacidad de los paisajes de las aldeas para proporcionar servicios de AG.

El enfoque CSA evalúa el flujo de servicios de AG relacionados con las clases de cobertura terrestre durante un año normal. Burkhard identifican otros dos tipos de servicios ecosistémicos: i) servicios ecosistémicos potenciales, definidos como el rendimiento máximo hipotético de los servicios ecosistémicos seleccionados; y ii) la demanda de servicios del ecosistema, definida como los bienes y servicios del ecosistema consumidos o utilizados en un área en particular durante un tiempo determinado. El enfoque de CSA no incluye una evaluación de estos, porque, en nuestro enfoque, si un tipo de cobertura terrestre depende de servicios externos, esto significa que proporciona pocos o ningún servicio de AG. Por lo tanto, el AG exigirá más servicios de los que puede proporcionar. En términos del máximo hipotético, se tendría que desarrollar una nueva escala en la Caja de herramientas de CSA en el anexo para evaluar el máximo hipotético y compararlo con el flujo real. Sin embargo, dada la complejidad de definir los máximos hipotéticos para

los diferentes servicios de AG, consideramos más sencillo comparar el flujo real de los servicios de AG.

5.2 Desafíos y perspectivas para el enfoque CSA

Implementamos el enfoque CSA en un conjunto de situaciones en las que enfrentamos varios desafíos. El principal desafío al desarrollar la herramienta fue lograr un equilibrio entre datos científicos de alta calidad e información que sea posible recopilar en condiciones de campo en Bolivia o Kenia. El extenso trabajo de campo nos llevó al compromiso presentado aquí (vea la escala de calificación en CSA caja de herramientas en el Anexo). Sin embargo, tanto la escala como las herramientas para evaluar la capacidad para proporcionar servicios de AG podrían mejorarse basándose en más aplicaciones empíricas de la herramienta en más situaciones e investigaciones adicionales sobre servicios específicos de AG.

Los servicios de AG son difíciles de evaluar con datos totalmente cuantitativos. En consecuencia, utilizamos diferentes enfoques para recopilar datos sobre la capacidad de cada clase de cobertura terrestre para proporcionar servicios de AG. Las fuentes de datos variaron desde indicadores cuantitativos y cualitativos hasta proxies basados en actividades y proxies de cobertura vegetal (ver sección 3.3). Aunque intentamos reducir la incertidumbre, cada fuente de datos conlleva un nivel de incertidumbre. En términos de sensibilidad a las variables individuales, en el CSA todas las clases de cobertura terrestre y todos los servicios de AG tienen el mismo nivel de importancia. El CSA se probó en 18 AG en diferentes contextos y produjo constantemente resultados coherentes y demostró su solidez. Sin embargo, es importante subrayar que el Índice CSA proporciona una indicación, y no un valor cuantitativo absoluto, del CSA de un AG. Más allá del valor en sí mismo, la historia y el análisis que se pueden construir en torno al valor, también demostraron ser importantes.

Los críticos pueden argumentar que el enfoque CSA simplifica las interacciones complejas en las AG al reducirlas a un conjunto de clases de cobertura terrestre y servicios de AG. Sin embargo, las interacciones complejas de los aspectos biofísicos en

los AG se consideran a través de los servicios de AG que se seleccionan para la evaluación, por ejemplo a través de la formación del suelo y la purificación del agua. El tipo y la cantidad de servicios de AG incluidos en la evaluación se pueden adaptar al contexto local dado para considerar más o menos aspectos biofísicos del AG.

Los usuarios finales del enfoque de CSA pueden enfrentar los siguientes desafíos: i) su aplicación requiere mucho tiempo y ii) no es fácil calificar las clases de cobertura terrestre y requiere el criterio de un experto, aunque hemos intentado que la escala de calificación sea lo más precisa posible.

El enfoque de CSA y los 20 servicios de AG de la Caja de herramientas de CSA ver en anexo se centran únicamente en las actividades de producción de los sistemas alimentarios, y no en otras etapas del sistema alimentario, como la provisión de insumos, el procesamiento, el transporte o la venta minorista. Esto está en desacuerdo con un enfoque del sistema alimentario más coherente. Sin embargo, evaluar la etapa de producción de un sistema alimentario es el primer paso, y probablemente el más importante, porque esta etapa configura la estructura de la cobertura terrestre en un área grande y representa un balance positivo o negativo de la capacidad del sistema alimentario para proporcionar servicios de AG. Sin embargo, un próximo paso importante sería adaptar la caja de herramientas de CSA del anexo para su aplicabilidad a todas las cadenas de suministro de los sistemas alimentarios. Esto significaría, por ejemplo, evaluar en qué medida la extracción de gas, petróleo o minerales utilizados para producir fertilizantes minerales o pesticidas afecta el CSA de las AG y el balance general de un sistema agroindustrial de alimentos en términos de su capacidad para proporcionar servicios agroecosistémicos.

Los resultados del enfoque CSA pueden proporcionar una base para una discusión adicional sobre la sostenibilidad del sistema alimentario. Por ejemplo, al definir un mínimo, en términos de calidad y composición, de los servicios de AG que deben proporcionar las clases de cobertura terrestre de los AG. Si reconocemos que las granjas son mucho más que los productores de biomasa, podemos otorgarles

más responsabilidades, así como regulaciones que les permitan brindar más servicios de AG. También podemos reconocer sus contribuciones al bienestar local y global, por ejemplo, reduciendo sus impuestos o introduciendo otros incentivos adaptados a los contextos locales.

6 Conclusiones

Ante los desafíos socio ambientales de hoy, la humanidad no puede permitirse tener agroecosistemas agrícolas que solo producen biomasa. No es útil concentrarse en los desafíos ambientales como variables individuales: el desafío de evaluar la sostenibilidad de la agricultura consiste en desarrollar métodos de evaluación que tengan en cuenta diferentes variables, como los servicios de los ecosistemas (Therond et al. 2017). Hemos demostrado aquí que el enfoque CSA es un método de múltiples criterios. Es adecuado para su uso en el Sur global y se puede aplicar con datos primarios recopilados directamente de los agricultores. El enfoque de CSA proporciona un medio para comparar diferentes AG considerando un total de 20 servicios de AG: doce servicios de aprovisionamiento, ocho de regulación, dos culturales y uno de soporte de AG. Los resultados se presentan por clase de cobertura terrestre, y muestran qué clases de cobertura terrestre en un AG determinada tienen la mayor capacidad para brindar servicios de AG. Además, el Índice CSA proporciona un valor para todo el AG, lo que permite la comparación entre diferentes AG, que pueden ser parte de diferentes sistemas de alimentos. Los tomadores de decisiones pueden usar los datos de CSA para tomar decisiones más informadas sobre qué sistemas alimenticios promover y cuáles no.

El enfoque CSA se basa principalmente en la literatura sobre los servicios de los ecosistemas. En consecuencia, la dimensión social de las AG debe explorarse con más detalle. Los ejemplos pueden incluir su capacidad para proporcionar oportunidades de trabajo y entornos de trabajo seguros. Finalmente, el enfoque de CSA se está

aplicando empíricamente en AG adicionales en Bolivia y Kenia para probar su aplicabilidad y alentar a los tomadores de decisiones a promover sistemas alimentarios cuyas AG brinden más servicios de AG.

Agradecimientos

Este trabajo forma parte del proyecto „Hacia la sostenibilidad alimentaria: reformulando la coexistencia de diferentes sistemas alimentarios en América del Sur y África“, en el marco del Programa Suizo de Investigación sobre Temas Globales para el Desarrollo (programa r4d). Como tal, está financiado por la Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación y la Fundación Nacional de Ciencia de Suiza [Subvención número 400540_152033], con el soporte adicional del Centro para el Desarrollo y el Medio Ambiente (CDE) de la Universidad de Berna, Suiza. Este trabajo no hubiera sido posible si los/las agricultoras en Bolivia y Kenia no hubieran abierto sus puertas y compartido su tiempo con nosotros: les damos las gracias a todas y todos. También agradecemos a las personas de Agroecología Universidad Cochabamba (AGRUCO), Cochabamba, Bolivia; y el Centro de Capacitación e Investigación Integrada en Desarrollo de Tierras Áridas y Semiáridas (CETRAD), Nanyuki, Kenia. Gracias a todos los colegas, amigos y familiares del proyecto por compartir su tiempo, contactos, conocimientos y experiencias; a los dos revisores anónimos por sus valiosos comentarios y sugerencias; ya Tina Hirschbuehl y Marlène Thibault por la edición de este manuscrito en inglés.

References

- Altieri, M. (1983). *Agroecología, bases científicas de la agricultura alternativa* (M. Altieri Ed. 1st ed.). Santiago, Chile: Centro de Estudios en Tecnologías Apropriadada para America Latina,
- Altieri, M. (1999). The ecological role of biodiversity in agroecosystems. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 74(1–3), 19-31. DOI: 10.1016/S0167-8809(99)00028-6.
- Biel, R. (2016). *Sustainable Food Systems*: UCL Press. DOI: 10.14324/111.9781911307099
- Burkhard, B.; Kandziora, M.; Hou, Y., & Müller, F. (2014). Ecosystem service potentials, flows and demands—concepts for spatial localization, indication and quantification. *Landscape Online*, 34, 1-32. DOI: 10.3097/LO.201434
- Burkhard, B.; Kroll, F.; Müller, F., & Windhorst, W. (2009). Landscapes' capacities to provide ecosystem services—a concept for land-cover based assessments. *Landscape Online*, 15(1), 1-22. DOI:10.3097/LO.200915.
- Burkhard, B.; Kroll, F.; Nedkov, S., & Müller, F. (2012). Mapping ecosystem service supply, demand and budgets. *Ecological Indicators*, 21, 17-29. DOI: 10.1016/j.ecolind.2011.06.019.
- Capra, F. (1996). *The web of life: Audio Renaissance Tapes*
- Cardinale, B. J.; Duffy, J. E.; Gonzalez, A.; Hooper, D. U.; Perrings, C.; Venail, P.; Narwani, A.; Mace, G. M.; Tilman, D.; Wardle, D. A.; Kinzig, A. P.; Daily, G. C.; Loreau, M.; Grace, J. B.; Larigauderie, A.; Srivastava, D. S., & Naeem, S. (2012). Biodiversity loss and its impact on humanity. *Nature*, 486. DOI: 59.10.1038/nature11148
- Carvalho, G.; Seymour, L.; Veldtman, R., & Nicolson, W. (2010). Pollination services decline with distance from natural habitat even in biodiversity-rich areas. *Journal of Applied Ecology*, 47(4), 810-820. DOI: 10.1111/j.1365-2664.2010.01829.x.
- Colonna, P.; Fournier, S., & Touzard, J.-M. (2013). Food Systems, in: *Food System Sustainability: Insights from DuALLne* (C. Esnouf; M. Russel, & N. Bricas Eds.): Cambridge University Press
- Conway, G. R. (1985). Agroecosystem analysis. *Agricultural Administration*, 20(1), 31-55. DOI: 10.1016/0309-586X(85)90064-0.

- Conway, G. R. (1987). The properties of agroecosystems. *Agricultural Systems*, 24(2), 95-117. DOI: 10.1016/0308-521X(87)90056-4.
- Crutzen, P. J., & Stoermer, E. F. (2011). The „Anthropocene“. *IGBP Newsletter*, 41, 739-761. DOI: 10.1007/s13280-011-0185-x.
- De Groot, R. S.; Alkemade, R.; Braat, L.; Hein, L., & Willemsen, L. (2010). Challenges in integrating the concept of ecosystem services and values in landscape planning, management and decision making. *Ecological Complexity*, 7(3), 260-272. DOI: 10.1016/j.ecocom.2009.10.006.
- De Groot, R. S.; Wilson, M., & Boumans, R. M. J. (2002). A typology for the classification, description and valuation of ecosystem functions, goods and services. *Ecological Economics*, 41, 393-408. DOI: 10.1016/S0921-8009(02)00089-7.
- De la Vega-Leinert, A. (2014). Can UNESCO Biosphere Reserves bridge the apparent gap between land sharing and land sparing. *Global Land Project NEWS 10: 21(10)*, 21-24
- De la Vega-Leinert, A., & Clausing, P. (2016). Extractive Conservation: Peasant Agroecological Systems as New Frontiers of Exploitation? *Environment and Society*, 7(1), 50-70. DOI: 10.3167/ares.2016.070104.
- Di Gregorio, A. (2016). Land Cover Classification System: Software version 3 (F. a. A. O. o. t. U. Nations Ed.). Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations
- Dominati, E. J.; Robinson, D. A.; Marchant, S. C.; Bristow, K. L., & Mackay, A. D. (2014). Natural Capital, Ecological Infrastructure, and Ecosystem Services in Agroecosystems A2 - Alfen, Neal K. Van Encyclopedia of Agriculture and Food Systems (pp. 245-264). Oxford: Academic Press.
- Duru, M.; Therond, O., & Fares, M. h. (2015). Designing agroecological transitions; A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 35(4), 1237-1257. DOI: 10.1007/s13593-015-0318-x.
- Ericksen, P. (2008). Conceptualizing food systems for global environmental change research. *Global Environmental Change*, 18(1), 234-245. DOI: 10.1016/j.gloenvcha.2007.09.002.
- Ericksen, P.; Said, M.; Leeuw, J. d.; Silvestri, S.; Zaibet, L.; Kifugo, S.; Sijmons, K.; Kinoti, J.; Nganga, L., & Landsberg, F. (2011). Mapping and valuing ecosystem services in the Ewaso Ng'iro watershed.
- Erik, N.; Guillermo, M.; James, R.; Stephen, P.; Heather, T.; DRichard, C.; MA, C. K.; C, D. G.; Joshua, G.; M, K. P.; Eric, L.; Robin, N.; H, R. T., & MRebecca, S. (2009). Modeling multiple ecosystem services, biodiversity conservation, commodity production, and tradeoffs at landscape scales. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 7(1), 4-11. doi:10.1890/080023.
- Fang, X.; Zhao, W.; Fu, B., & Ding, J. (2015). Landscape service capability, landscape service flow and landscape service demand: A new framework for landscape services and its use for landscape sustainability assessment. *Progress in Physical Geography*, 39(6), 817-836. DOI: 10.1177/0309133315613019.
- Fischer, J.; Abson, D. J.; Butsic, V.; Chappell, M. J.; Ekroos, J.; Hanspach, J.; Kuemmerle, T.; Smith, H. G., & Wehrden, H. (2014). Land sparing versus land sharing: moving forward. *Conservation Letters*, 7(3), 149-157. DOI: 10.1111/j.1466-8238.2007.00287.x.
- Fischer, J.; Brosi, B.; Daily, G. C.; Ehrlich, P. R.; Goldman, R.; Goldstein, J.; Lindenmayer, D. B.; Manning, A. D.; Mooney, H. A.; Pejchar, L.; Ranganathan, J., & Tallis, H. (2008). Should agricultural policies encourage land sparing or wildlife-friendly farming? *Frontiers in Ecology and the Environment*, 6(7), 380-385. DOI:10.1890/070019.

- Foley, J. A.; DeFries, R.; Asner, G. P.; Barford, C.; Bonan, G.; Carpenter, S. R.; Chapin, F. S.; Coe, M. T.; Daily, G. C.; Gibbs, H. K.; Helkowski, J. H.; Holloway, T.; Howard, E. A.; Kucharik, C. J.; Monfreda, C.; Patz, J. A.; Prentice, I. C.; Ramankutty, N., & Snyder, P. K. (2005). Global Consequences of Land Use. *Science*, 309(5734), 570-574. DOI: 10.1126/science.1111772.
- Foley, J. A.; Ramankutty, N.; Brauman, K. A.; Cassidy, E. S.; Gerber, J. S.; Johnston, M.; Mueller, N. D.; O'Connell, C.; Ray, D. K.; West, P. C.; Balzer, C.; Bennett, E. M.; Carpenter, S. R.; Hill, J.; Monfreda, C.; Polasky, S.; Rockstrom, J.; Sheehan, J.; Siebert, S.; Tilman, D., & Zaks, D. P. M. (2011). Solutions for a cultivated planet. *Nature*, 478(7369), 337-342. DOI: 10.1038/nature10452
- Food and Agriculture Organization; International Fund for Agricultural Development; United Nations International Children's Emergency Fund; World Food Programme, & World Health Organization. (2017). The State of Food Security and Nutrition in the World 2017. Building resilience for peace and food security. www.fao.org/3/a-i7695e.pdf (Date: 02.03.2018).
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2003, 11.10.2016). Africover Multipurpose Land Cover Database for Kenya. www.fao.org/geonetwork/srv/en/main.home?uuid=7eae9108-3032-4b5c-9fd1-c5f0891ba01f (Date: 11.10.2016)
- Food and agriculture organization of the United Nations. (2012). Handbook for participatory socioeconomic evaluation of polinator-freindly practices. www.fao.org/3/a-i2442e.pdf (Date: 09.11.2016).
- Food and agriculture organization of the United Nations. (2013). SAFA, Sustainability assessment of food and agriculture systems Indicators. www.fao.org/fileadmin/templates/nr/sustainability_pathways/docs/SAFA_Indicators_final_19122013.pdf (Date: 05.05.2015).
- Fouilleux, E.; Bricas, N., & Alpha, A. (2017). 'Feeding 9 billion people': global food security debates and the productionist trap. *Journal of European Public Policy*, 24(11), 1658-1677. DOI: 10.1080/13501763.2017.1334084.
- Garbach, K.; Milder, J.; Montenegro, M.; Karp, D., & DeClerck, F. (2014). Biodiversity and ecosystem services in agroecosystems. *Encycl. Agric. Food Syst*, 21-40. DOI: 10.1016/B978-0-444-52512-3.00013-9.
- García-Nieto, A. P.; García-Llorente, M.; Iniesta-Arandia, I., & Martín-López, B. (2013). Mapping forest ecosystem services: From providing units to beneficiaries. *Ecosystem Services*, 4, 126-138. DOI: 10.1016/j.ecoser.2013.03.003.
- Gliessman, S. R. (2007). *Agroecology: The Ecology of Sustainable Food Systems* (Second ed.). Boca Raton, Florida: CRC
- Green, R. E.; Cornell, S. J.; Scharlemann, J. P., & Balmford, A. (2005). Farming and the fate of wild nature. *Science*, 307(5709), 550-555
- Griffon, D. (2008). Estimación de la biodiversidad en agroecología. *Agroecología*, 3
- Haines-Young, R., & Potschin, M. (2013). Common international classification of ecosystem services (CICES): consultation on version 4, August-December 2012. https://cices.eu/content/uploads/sites/8/2012/07/CICES-V43_Revised-Final_Report_29012013.pdf (Date: 13.11.2017).
- Hart, R. D. (1985). *Conceptos básicos sobre agroecosistemas*. Turrialba, Costa Rica: Centro Agronomico tropical de investigacion y enseñanza
- Horlings, L. G., & Marsden, T. K. (2011). Towards the real green revolution? Exploring the conceptual dimensions of a new ecological modernisation of agriculture that could 'feed the world'. *Global Environmental Change*, 21(2), 441-452. DOI: 10.1016/j.gloenvcha.2011.01.004.

- IAASTD International Assessment of Agricultural Knowledge Science and Technology for Development. (2009). *Agriculture at a Crossroads: International Assessment of Agricultural Knowledge, Science and Technology for Development: Global Report*: IAASTD
- Jacobi, J.; Schneider, M.; Bottazzi, P.; Pillco, M.; Calizaya, P., & Rist, S. (2015). Agroecosystem resilience and farmers' perceptions of climate change impacts on cocoa farms in Alto Beni, Bolivia. *Renewable Agriculture and Food Systems*, 30(02), 170-183. DOI: 10.1017/S174217051300029X.
- Koschke, L.; Fürst, C.; Frank, S., & Makeschin, F. (2012). A multi-criteria approach for an integrated land-cover-based assessment of ecosystem services provision to support landscape planning. *Ecological Indicators*, 21, 54-66. DOI: 10.1016/j.ecolind.2011.12.010.
- Kyösti, A., & Olli, S. (2013). Classification of Agricultural Ecosystem Goods and Services in Finland. www.ptt.fi/media/wp/tp155.pdf (Date: 13.09.2017)
- Lee, J. S. H.; Garcia-Ulloa, J.; Ghazoul, J.; Obidzinski, K.; Koh, L. P., & Jones, J. (2014). Modelling environmental and socio-economic trade-offs associated with land-sparing and land-sharing approaches to oil palm expansion. *Journal of Applied Ecology*, 51(5), 1366-1377. DOI: 10.1111/1365-2664.12286.
- Lescourret, F.; Magda, D.; Richard, G.; Adam-Blondon, A.-F.; Bardy, M.; Baudry, J.; Doussan, I.; Dumont, B.; Lefèvre, F.; Litrico, I.; Martin-Clouaire, R.; Montuelle, B.; Pellerin, S.; Plantegenest, M.; Tancoigne, E.; Thomas, A.; Guyomard, H., & Soussana, J.-F. (2015). A social-ecological approach to managing multiple agro-ecosystem services. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 14, 68-75. DOI: 10.1016/j.cosust.2015.04.001.
- Lin, B. B. (2011). Resilience in agriculture through crop diversification: adaptive management for environmental change. *BioScience*, 61(3), 183-193. DOI: 10.1525/bio.2011.61.3.4.
- López-ridaura, S.; Keulen, H. V.; Ittersum, M. K. v., & Leffelaar, P. A. (2005). Multiscale Methodological Framework to Derive Criteria and Indicators for Sustainability Evaluation of Peasant Natural Resource Management Systems. *Environment, Development and Sustainability*, 7(1), 51-69. DOI: 10.1007/s10668-003-6976-x.
- Ma, F.; Eneji, A. E., & Liu, J. (2015). Assessment of ecosystem services and dis-services of an agro-ecosystem based on extended emergy framework: A case study of Luancheng county, North China. *Ecological Engineering*, 82, 241-251. DOI: 10.1016/j.ecoleng.2015.04.100.
- Malinga, R.; Gordon, L. J.; Jewitt, G., & Lindborg, R. (2015). Mapping ecosystem services across scales and continents – A review. *Ecosystem Services*, 13(Supplement C), 57-63. DOI: 10.1016/j.ecoser.2015.01.006.
- Manning, P.; van der Plas, F.; Soliveres, S.; Allan, E.; Maestre, F. T.; Mace, G.; Whittingham, M. J., & Fischer, M. (2018). Redefining ecosystem multifunctionality. *Nature Ecology & Evolution*, 2(3), 427-436. DOI: 10.1038/s41559-017-0461-7.
- Mastrangelo, M. E.; Weyland, F.; Villarino, S. H.; Barral, M. P.; Nahuelhual, L., & Littera, P. (2014). Concepts and methods for landscape multifunctionality and a unifying framework based on ecosystem services. *Landscape Ecology*, 29(2), 345-358. DOI: 10.1007/s10980-013-9959-9.
- Millennium Ecosystem Assessment, M. (2005). *Ecosystems and human well-being: Our human planet. Summary for decision-makers.* (I. Press Ed.). Washington, DC

- Ministry of Agriculture. (2009). The Agriculrue Act (Cap 318) Agriculture (Farm Forestry) Rules, 2009. Retrieved from <http://www4.total.fr/pdf/AMO/Kenya/ecochallenge/the%20expert%20corner/Farm-Forestry-Rules.pdf> (Date 10.03.2017).
- Peano, C.; Migliorini, P., & Sottile, F. (2014). A methodology for the sustainability assessment of agri-food systems: an application to the Slow Food Presidia project. *Ecology and Society*, 19(4). DOI: 10.5751/ES-06972-190424.
- Perfecto, I.; Vandermeer, J., & Wright, A. (2009). *Nature's matrix: linking agriculture, conservation and food sovereignty*. New York, USA: Earthscan
- Petter, M.; Mooney, S.; Maynard, S. M.; Davidson, A.; Cox, M., & Horosak, I. (2013). A Methodology to Map Ecosystem Functions to Support Ecosystem Services Assessments. *Ecology and Society*, 18(1). DOI: 10.5751/ES-05260-180131.
- Phalan, B.; Onial, M.; Balmford, A., & Green, R. E. (2011). Reconciling food production and biodiversity conservation: land sharing and land sparing compared. *Science*, 333(6047), 1289-1291
- Porter, J.; Costanza, R.; Sandhu, H.; Sigsgaard, L., & Wratten, S. (2009). The Value of Producing Food, Energy, and Ecosystem Services within an Agro-Ecosystem. *AMBIO: A Journal of the Human Environment*, 38(4), 186-193. DOI: 10.1579/0044-7447-38.4.186.
- Power, A. G. (2010). Ecosystem services and agriculture: tradeoffs and synergies. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 365(1554), 2959-2971. DOI: 10.1098/rstb.2010.0143.
- Rist, S., & Jacobi, J. (2015). Selection of Food Systems in Bolivia and Kenya and Methods of Analysis. Towards Food Sustainability (Working Paper No. 2). Bern, Switzerland.
- Rockstrom, J.; Steffen, W.; Noone, K.; Persson, A.; Chapin, F. S.; Lambin, E. F.; Lenton, T. M.; Scheffer, M.; Folke, C.; Schellnhuber, H. J.; Nykvist, B.; de Wit, C. A.; Hughes, T.; van der Leeuw, S.; Rodhe, H.; Sorlin, S.; Snyder, P. K.; Costanza, R.; Svedin, U.; Falkenmark, M.; Karlberg, L.; Corell, R. W.; Fabry, V. J.; Hansen, J.; Walker, B.; Liverman, D.; Richardson, K.; Crutzen, P., & Foley, J. A. (2009). A safe operating space for humanity. *Nature*, 461(7263), 472-475
- Sinare, H.; Gordon, L. J., & Enfors Kautsky, E. (2016). Assessment of ecosystem services and benefits in village landscapes – A case study from Burkina Faso. *Ecosystem Services*, 21(Part A), 141-152. DOI: 10.1016/j.ecoser.2016.08.004.
- Steffen, W.; Persson, Å.; Deutsch, L.; Zalasiewicz, J.; Williams, M.; Richardson, K.; Crumley, C.; Crutzen, P.; Folke, C.; Gordon, L.; Molina, M.; Ramanathan, V.; Rockström, J.; Scheffer, M.; Schellnhuber, H., & Svedin, U. (2011). The Anthropocene: From Global Change to Planetary Stewardship. *AMBIO*, 40(7), 739-761. DOI: 10.1007/s13280-011-0185-x.
- Šūmane, S.; Kunda, I.; Knickel, K.; Strauss, A.; Tisenkopfs, T.; Rios, I. d. I.; Rivera, M.; Chebach, T., & Ashkenazy, A. (2018). Local and farmers' knowledge matters! How integrating informal and formal knowledge enhances sustainable and resilient agriculture. *Journal of Rural Studies*, 59, 232-241. DOI: 10.1016/j.jrurstud.2017.01.020.
- Therond, O.; Duru, M.; Roger-Estrade, J., & Richard, G. (2017). A new analytical framework of farming system and agriculture model diversities. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 37(3), 1-24. DOI: 10.1007/s13593-017-0429-7.
- United Nations. (1992). Convention on Biological Diversity. <http://biodiversitya-z.org/content/ecosystem> (Date 02.01.2018)

Villamagna, A. M.; Angermeier, P. L., & Bennett, E. M. (2013). Capacity, pressure, demand, and flow: A conceptual framework for analyzing ecosystem service provision and delivery. *Ecological Complexity*, 15(Supplement C), 114-121. DOI: 10.1016/j.ecocom.2013.07.004.

Wiggering, H.; Weißhuhn, P.; Burkhard, B.; Lüker-Jans, N.; Simmering, D., & Otte, A. (2016). Agrosystem Services: An Additional Terminology to Better Understand Ecosystem Services Delivered by Agriculture. 1-15. DOI: 10.3097/LO.201649.

Zhang, W.; Ricketts, T. H.; Kremen, C.; Carney, K., & Swinton, S. M. (2007). Ecosystem services and dis-services to agriculture. *Ecological Economics*, 64(2), 253-260. DOI: 10.1016/j.ecolecon.2007.02.024.