

DOI: 10.35319/acta-nova.202311

ACTA NOVA

Revista de Ciencias y Tecnología

¹ Universidad Católica Boliviana,
C.M. Márquez (Tupuraya),
Cochabamba Bolivia

² Granja Ecológica Polen, c.
Lindero s/n, Apote, Cochabamba
Bolivia.

Correspondencia:
Mariana Antezana
antezanacossiomarianacecilia@g
mail.com

Capacidad de los sistemas agroforestales dinámicos de proveer servicios agroecosistémicos. Tres estudios de caso en los Valles Interandinos de Bolivia

Capacity of dynamic agroforestry systems to provide agroecosystem services. Three case studies in the Interandean Valleys of Bolivia

Mariana Antezana¹, Helga Gruberg¹ y Horacio Augstburger²

Resumen: En tiempo de crisis socioambiental cada agroecosistema juega un rol fundamental en la estabilidad planetaria. Este es el caso de los sistemas agroforestales dinámicos (SAFD) que nacen como una alternativa productiva a la agricultura convencional. Si bien desde el año 2008, las instituciones de la red Espacio Compartido en Sistemas Agroforestales (ECO-SAF) en Bolivia vienen instalando y promoviendo SAFD, no cuentan con un estudio sobre su capacidad de brindar servicios agroecosistémicos a la sociedad y planeta. Es por este motivo que el presente trabajo estimó los servicios agroecosistémicos que brindan los SAFD de las instituciones que forman parte de la red ECO-SAF en tres estudios de caso en los Valles Interandinos de Cochabamba. El estudio empleó la metodología Índice Capacidad de Servicios Agroecosistémicos (ICSA) que toma en cuenta 23 servicios agroecosistémicos. Se determinó que los SAFD tienen una capacidad de “relevante” a “media alta” para proveer servicios agroecosistémicos ya que los agroecosistemas con coberturas terrestres que tienen SAFD brindaron mayor diversidad de servicios (entre 18 a 22 servicios). La calificación para los 23 servicios agroecosistémicos dentro los tres estudios de caso, mostró que los servicios con calificaciones altas fueron la regulación de nutrientes, la seguridad en el trabajo, los productos alimenticios libres de pesticidas y purificación de agua (calidad). En cambio, los servicios con calificaciones bajas pertenecieron a ganado doméstico y a oportunidad al trabajo. También cada estudio de caso contó con su ICSA, dando como resultado para la huerta N°1 y N°2 una capacidad “media alta” con un índice de 2,3 y 2,9 respectivamente. En cambio, para la huerta N°3 una capacidad “relevante” con un índice de 1,7. Adicionalmente, se generó un umbral de referencia para el ICSA (de 0 a 3) que puede ser una referencia para otros agroecosistemas. Por último, se evidencia el potencial de la metodología ICSA como herramienta de planificación para potenciar los servicios que brindan los agroecosistemas.

Palabras clave: Agroecosistema, herramienta de planificación, índice capacidad de servicios agroecosistémicos, servicios agroecosistémicos, sistemas agroforestales dinámicos.

Abstract: In times of socio-environmental crisis, every agroecosystem on the planet plays a fundamental role in planetary stability. This is the case of dynamic agroforestry systems (DAS). These agroecosystems are born as a productive alternative to conventional agriculture. Although the institutions which are part of Shared Space in Agroforestry Systems network (ECO-SAF) have been installing and promoting DAS since 2008, it didn't have a study on their capacity to provide agroecosystem services to society and the planet. Thus, the present work estimated the agroecosystem services provided by the DAS of the ECO-SAF network in three case studies in the inter-Andean valleys of Cochabamba. The methodology used was the Agroecosystem Services Capacity Index (ICSA), which considers 23 agroecosystem services. It was determined that the DAS have a relevant to medium-high capacity to provide agroecosystem services since the agroecosystems with land cover that have DAS provided a greater diversity of services (between 18 to 22 services). The rating for the 23 agroecosystem services within the three case studies showed that the services with high ratings were nutrient regulation, occupational safety, pesticide-free food products and water purification (quality). Each case study also had its ICSA, resulting in a high average capacity for orchard N°1 and N°2 with an index of 2,3 and 2,9, respectively. While orchard N°3 had a relevant capacity with an index of 1,7. Additionally, a threshold (from 0 to 3) for the ICSA was generated. Finally, the potential of the ICSA methodology as a planning tool is evident, because it shows which agroecosystems provide the greatest agroecosystem services.

Keywords: Agroecosystem, planning tool, agroecosystem services capacity index, agroecosystem services, dynamic agroforestry.

1 Introducción

Se considera a la Revolución Verde (RV) del siglo XX como un cambio drástico en las prácticas agrícolas que se empleaban hasta ese entonces (Ceccon, 2008). Se define a la RV como el proceso de modernización de la agricultura, donde el conocimiento tecnológico suplanta al conocimiento empírico con el fin de incrementar los rendimientos, reducir los impactos de la agricultura y alcanzar la seguridad alimentaria (Ceccon, 2008). Sin embargo, esta tecnificación condujo a la deforestación de bosques, degradación de suelos, contaminación por plaguicidas y fertilizantes químicos de uso agrícola, agotamiento del agua dulce, cambio climático, destrucción del hábitat silvestre y pérdida de la biodiversidad, entre otros impactos (Rosset y Altieri, 2018). Si bien se logró reducir el número de personas con hambre en el mundo, este continúa siendo un problema significativo para la humanidad (Gruberg, 2023). Si bien la cifra de personas con desnutrición crónica, en el año 2021, la cifra de personas con desnutrición crónica alcanzó los 821 millones (FAO, 2021). Por lo tanto, es importante contar con alternativas productivas que generen beneficios sociales y ambientales respetando los límites planetarios.

Una de las alternativas que surge y encara a estas problemáticas mencionadas son los sistemas agroforestales dinámicos (SAFD). Sánchez (2017, p. 7) explica que los SAFD “promueven el desarrollo de verdaderos organismos vivos; las interacciones son dinámicas y permanentes entre sus componentes; generan sinergias entre el suelo, planta, animal y humano, con el objetivo común de preservar la vida”. Los SAFD también son considerados agroecosistemas capaces de brindar servicios agroecosistémicos, los cuales son bienes y servicios que un agroecosistema puede proporcionar además de contribuir al bienestar humano desde generar oportunidades de trabajo, capturar dióxido de carbono hasta regular el ciclo hídrico (Lescouret *et al.*, 2015). Augstburger *et al.* (2018) desarrollaron una metodología que evalúa la capacidad de las clases de cobertura terrestre para brindar servicios agroecosistémicos.

Se sabe que los SAFD han sido estudiados bajo diversos enfoques. Prueba de ello es la existencia de la red Espacio Compartido en Sistemas Agroforestales (ECO-SAF). La misma, tiene como finalidad apoyar a agricultores e instituciones públicas y privadas que trabajan en diferentes áreas relacionadas a los sistemas agroforestales en Bolivia (Estado Plurinacional) (ECO-SAF, 2014). Sin embargo, se constató que no se contaba algún estudio que estime los servicios agroecosistémicos que brindan los SAFD de las instituciones que conforman la red. Por lo tanto, se vio la necesidad de determinar ¿En qué medida

los sistemas agroforestales dinámicos de la red ECO-SAF son capaces de brindar servicios agroecosistémicos?

2 Planteamiento del problema de investigación

En el departamento de Cochabamba, diversas organizaciones gubernamentales y no gubernamentales (ONGs) han estado trabajando con familias y comunidades agricultoras sobre el manejo de sistemas agroforestales. Sin embargo, los SAFD son relativamente nuevos en las zonas semiáridas de Bolivia (Stadler-Kaulich *et al.*, 2014). Azero (2018 a) menciona, por un lado, que pese a la multifuncionalidad de la agroforestería que es manejada ampliamente a nivel de discurso, en la práctica ha sido poco promocionada, tanto por los gobiernos como por las ONGs. Por otro lado, indica que los SAFD han sido poco estudiados en las zonas semiáridas de Cochabamba.

Aunque la red ECO-SAF desarrolla actividades en las áreas de investigación, sensibilización, difusión, capacitación e implementación en el ámbito agroforestal, no cuenta con un estudio que estime los servicios agroecosistémicos en los SAFD de las instituciones que la conforman, de modo que permita un escalonamiento a través de datos técnicos y científicos que soporten y demuestren dicha información (Stadler-Kaulich, 2021; Vargas, 2021; y Tovar, 2021; Comunicación personal). Al conocer la capacidad que tienen los SAFD de proveer servicios agroecosistémicos, se podría lograr un apoyo institucional a nivel nacional, regional o local para su promoción e instalación. Además de promover un cambio de paradigma sobre la forma en que se cuantifica una parcela agrícola dejando de lado unidades cuantitativas por la multiplicidad de servicios agroecosistémicos necesarios para el bienestar de las personas y medio ambiente

3 Objetivos

En este sentido, surge como objetivo general de estimar los servicios agroecosistémicos que brindan los SAFD de las instituciones que conforman la red ECO-SAF en tres estudios de caso en los Valles Interandinos de Cochabamba. Como objetivos específicos se plantearon: a) caracterizar los SAFD de la red ECO-SAF con base en criterios socioambientales; b) clasificar las coberturas terrestres existentes en las huertas agroforestales dinámicas; c) evaluar la capacidad de cada cobertura terrestre identificada en las huertas agroforestales dinámicas para proveer servicios agroecosistémicos y d) estimar la capacidad de proveer servicios agroecosistémicos en cada huerta agroforestal dinámica a través del Índice Capacidad de Servicios Agroecosistémicos (ICSA).

4 Sustento teórico

En esta sección se presentan los principales conceptos que fueron parte central de la investigación. Primero se desarrolla el concepto de agroecosistema y se describen los SAFD. Posteriormente, se explican los conceptos de servicios agroecosistémicos, clase de cobertura terrestre e indicadores de servicios agroecosistémicos.

Se denomina agroecosistema a un área específica del ecosistema natural que se modifica con fines agrícolas (Gliessman *et al.*, 2003). Un tipo de agroecosistema es la huerta agroforestal dinámica, la cual presenta espacios al aire libre destinados al cultivo de productos alimenticios y no alimenticios, donde se emplea un manejo integral de sus componentes (García Nieto *et al.*, 2013). Dentro la huerta agroforestal dinámica existe el SAFD, conocido también como sistema agroforestal multiestrato o sucesional (Gruberg, 2015). Los SAFD son una forma de producción agrícola-forestal que se asemeja a la estructura y dinámica de los bosques naturales, donde se combinan especies nativas de la zona con otras especies aptas las condiciones y necesidades de la zona (Yana y Weinert, 2001). De acuerdo con la cantidad de especies que albergan, los SAFD se clasifican como simples y complejos. Por ejemplo, en la zona del Alto Beni los sistemas simples son aquellos que albergan un máximo de 30 especies y los sistemas complejos son los que albergan más de 30 especies (DED, 2006). Este criterio varía de acuerdo con el contexto socioambiental de cada zona.

Dentro de los SAFD existen servicios agroecosistémicos, conocidos como bienes y servicios que un agroecosistema puede proporcionar además de contribuir al bienestar humano (Lescourret *et al.*, 2015). Según Augstburger *et al.* (2018) cada tipo de servicio agroecosistémico puede proporcionar bienes y servicios los cuales pueden permanecer, acumularse o ser transportados fuera de agroecosistema a otros paisajes de la región o planeta. Estos pueden ser servicios de aprovisionamiento (Ap), regulación y mantenimiento (R), culturales (C) y de soporte (S).

Los servicios de aprovisionamiento (Ap) proporcionan productos nutricionales, materiales y energéticos. Estos son 12 en total: alimentos y recursos silvestres (Ap₁), cultivos alimenticios (Ap₂), ganado (doméstico) (Ap₃), forraje (Ap₄), bioquímica/medicina (Ap₅), semillas (Ap₆), madera (Ap₇), combustible de madera/leña (Ap₈), agua dulce (Ap₉), oportunidad al trabajo (Ap₁₀), seguridad en el trabajo (Ap₁₁) y productos alimenticios libres de pesticidas (Ap₁₂).

Los servicios de regulación y mantenimiento (R) se refieren a los flujos de sólidos, líquidos y gases que afectan las formas de vida de los organismos (Augstburger *et al.*

2018). Estos servicios regulan el entorno físico, químico y biológico. Estos son ocho en total: regulación del clima local (R₁), regulación del clima global (R₂), regulación de la erosión (R₃), regulación de nutrientes (procesos de descomposición y fijación) (R₄), purificación de agua (calidad) (R₅), regulación del agua (cantidad) (R₆), polinización (R₇) y control biológico (R₈) (Augstburger *et al.* 2018).

Los servicios culturales (C) proveen productos no materiales en los ecosistemas que son importantes para las personas. Estos servicios son difíciles de evaluar ya que son subjetivos y no materiales (Augstburger *et al.* 2018). En total son dos servicios: sistemas de conocimiento (C₁) y patrimonio cultural y diversidad cultural (C₂) (Augstburger *et al.* 2018). Finalmente, el servicio de soporte (S) está relacionado con la diversidad de vegetación natural, seminatural y agrobiodiversidad, pero este solo presenta un servicio, que es el servicio de heterogeneidad biótica (S₁) (Augstburger *et al.* 2018). De esta manera se conforman los 23 servicios agroecosistémicos que serán evaluados a lo largo de la investigación: 12 servicios de Ap, ocho servicios de R, dos servicios de C, y un servicio de S.

La clase de cobertura terrestre refleja la ocupación y la transformación de la tierra por varios sistemas naturales y antropogénicos, cuenta con una superficie delimitada dentro un agroecosistema (Augstburger *et al.* 2018). Cada clase de cobertura terrestre puede ser considerada como un indicador adecuado para ayudar a medir los efectos de las intervenciones humanas en un agroecosistema (Augstburger *et al.* 2018).

En cuanto a la calificación de los 23 servicios agroecosistémicos, existe una serie de indicadores para cada servicio. Estos indicadores son de carácter cuantitativo, cualitativo y proxy (Augstburger *et al.* 2018). La calificación de cada indicador tiene valores de: 5 (capacidad “muy alta” para proporcionar el flujo de servicio), 4 (capacidad “alta” para proporcionar el flujo de servicio), 3 (capacidad “media alta” para proporcionar el flujo de servicio), 2 (capacidad “relevante” para proporcionar el flujo de servicio), 1 (capacidad “baja” para proporcionar el flujo de servicio) y 0 (“sin capacidad” cuando la cobertura terrestre no proporcionó ningún servicio).

5 Metodología

Para alcanzar los objetivos del estudio se siguió un enfoque de estudio de caso ya que permitió realizar una investigación cualitativa sobre la capacidad que tienen diferentes SAFD para proveer servicios en un contexto específico además de establecer las relaciones y causas que repercuten en dicha capacidad (Yin, 2009). El método de investigación fue sintético, ya que a través de la

metodología ICSA se integraron todos los servicios identificados de cada cobertura terrestre de las huertas junto a sus capacidades. De esta manera, se determinó la capacidad total que tiene cada huerta para proveer una diversidad o no de servicios. La investigación constó de las siguientes cinco etapas:

La primera etapa consistió en caracterizar los SAFD instalados por instituciones de la red ECO-SAF. Primero se realizó un cuestionario de 12 preguntas de desarrollo y selección múltiple. Las preguntas estaban enfocadas en la caracterización general de los SAFD que tienen los miembros de la red ECO-SAF. Una vez generado y puesto a prueba dicho cuestionario, se pasó a realizar una invitación formal para entrevistar a representantes de siete instituciones de la red. Posteriormente, se realizó una caracterización general de cada institución y sus huertas. También, se estableció una lista de criterios de selección. Por medio de estos criterios, se seleccionaron las huertas agroforestales dinámicas que fueron estudiadas junto a su respectiva caracterización.

La segunda etapa consistió en la clasificación las coberturas terrestres existentes en cada huerta agroforestal dinámica. A través del trabajo de campo y mapeo participativo en Google Earth y ArcGIS, se obtuvieron mapas de coberturas terrestres clasificadas en función a su capacidad de proveer servicios agroecosistémicos y su escala de color correspondiente (FAO, 2003). Después, se identificaron los servicios

agroecosistémicos existentes en cada cobertura terrestre por medio de entrevistas semiestructuradas establecidas por la metodología del índice ICSA para cada tipo de servicio agroecosistémico (servicio de aprovisionamiento, regulación, cultural y soporte) y por herramientas específicas para algunos servicios. Las entrevistas fueron realizadas a los propietarios de cada huerta (Augstburger *et al.* 2018).

La tercera etapa consistió en evaluar la capacidad de cada clase de cobertura terrestre identificada para proveer servicios agroecosistémicos. Se sometió cada clase de cobertura terrestre a una escala de calificación de acuerdo con los indicadores de cada servicio (Figura 1). Donde cinco representa una capacidad “muy alta” para proporcionar el flujo de servicio y cero representa una clasificación “sin capacidad” cuando la cobertura terrestre no proporcionó ningún servicio (Augstburger *et al.* 2018).

La etapa cuatro consistió en estimar la capacidad de proveer servicios agroecosistémicos de cada huerta a través del ICSA. Para esta etapa, se utilizó la matriz de servicios agroecosistémicos (MSA). Es necesario resaltar que la MSA es un componente central de la metodología ICSA ya que integra la información de las clases de cobertura terrestre identificadas como: a) área (%) de cada cobertura y b) valores de calificación de los servicios existentes en cada cobertura. Además, calcula la capacidad que tiene cada clase de cobertura terrestre y agroecosistema de proveer servicios (Tabla 1).

Sin capacidad	0	Código de color							
Capacidad baja	>0	Capacidad relevante	1,3	Capacidad media alta	2,3	Capacidad alta	3,3	Capacidad muy alta	4,3
	0,5		1,5		2,5		3,5		4,5
	0,8		1,8		2,8		3,8		4,8
	1		2		3		4		5

Figura 1: Escala de calificación. Fuente: Augstburger et al. (2018, p. 17)

Tabla 1. Matriz de servicios agroecosistémicos

Filas de servicios agroecosistémicos	Área (%)	SERVICIO DE SOPORTE (S)	SERVICIO DE APROVISIONAMIENTO (Ap)	SERVICIOS DE REGULACIÓN Y MANTENIMIENTO (R)	SERVICIOS CULTURALES (C)	Clase Coberturas terrestres	Área de cobertura terrestre (m²) × 100 / Superficie total (m²)	$\bar{S} = \frac{\sum_{i=1}^n S_i}{n}$	$\bar{Ap} = \frac{\sum_{i=1}^n Ap_i}{n}$	$\bar{R} = \frac{\sum_{i=1}^n R_i}{n}$	$\bar{C} = \frac{\sum_{i=1}^n C_i}{n}$
		Heterogeneidad biótica (S1)	Alimentos y recursos silvestres (Ap1)	Regulación del clima local (R1)	Sistemas de conocimiento (C1)	Cobertura 1	0	0	0	0	0
			Cultivos Alimenticios (Ap2)	Regulación del clima global (R2)	Patrimonio cultural y diversidad cultural	Cobertura 2	0	0	0	0	0
			Canaado (doméstico)(Ap3)	Regulación de la erosión (R3)	Área (Ai)	Cobertura 3	0	0	0	0	0
			Forraje (Ap4)	Regulación de nutrientes (procesos de descomposición y fijación)(R4)	Fuerza para proporcionar (Fi)	Cobertura 4	0	0	0	0	0
			Bioquímica / medicina (Ap5)	Purificación de agua (calidad)(R5)	$\frac{\sum S_i + \sum Ap_i + \sum R_i + \sum C_i}{(23)}$	Cobertura 5	0	0	0	0	0
			Semillas (Ap6)	Regulación del agua (cantidad)(R6)	Contar # de servicios prestados	Cobertura...	0	0	0	0	0
			Madera (Ap7)	Polinización(R7)	$\frac{(x - A) * (b - a)}{(B - A)}$	Total # de coberturas	0	0	0	0	0
			Combustible de madera /leña (Ap8)	Control Biológico (R8)	$\left(\frac{Fi + Ni}{2} \right)$						
			Agua dulce (Ap9)	SERVICIOS CULTURALES (C)	$\left(\frac{Fi + Ni}{2} \right) * Ai$						
			Oportunidad al trabajo (Ap10)		Valor mínimo real						
			Seguridad en el trabajo(Ap11)		Valor máximo real						
			Productos alimenticios libres de pesticidas (Ap12)		Normalizado Min.						
					Normalizado Max.						
					ICSA						

Fuente: Augstburger *et al.* (2018, p. 13)

En las filas de la MSA se puede observar el total de clases de coberturas terrestres. En las columnas se encuentran los 23 servicios agroecosistémicos agrupados en los cuatro tipos de servicios agroecosistémicos, comenzando con los servicios de soporte (S) y concluyendo en los servicios culturales (C). La segunda fila de la matriz proporciona las ecuaciones para los cálculos de cada columna que consisten en promedios de las calificaciones obtenidas para sus servicios (Figura 1). Por ejemplo, para el servicio de aprovisionamiento (Ap) se realiza un promedio de la calificación de los 12 servicios, tomando en cuenta desde el servicio de alimentos y recursos silvestres (Ap1) hasta el servicio de productos alimenticios libres de pesticidas (Ap12). De igual forma se calcula el servicio de regulación (R) y cultural (C). También existe el cálculo de la Fuerza (Fi) de las clases de cobertura terrestre en proveer los servicios específicos dentro del agroecosistema que es igual a la división de la suma de promedios de los servicios de soporte (S), aprovisionamiento (Ap), regulación (R) y cultural (C) entre 23. La capacidad de servicios agroecosistémicos (CSA) para calcular la capacidad de proveer servicios por cobertura terrestre se obtiene sumando la Fuerza (Fi) más el número de servicios (Ni), sin incluir el área (Ai) dividido entre dos. Por último, el ICSA es la suma de todas las capacidades de las clases de cobertura terrestre del agroecosistema, este se muestra en el recuadro amarillo.

Finalmente, se realizó una estandarización de los resultados con una escala de 0 a 3 con base en Augstburger y Rist (2020) y se definieron los umbrales sobre capacidad "óptima" (3) y capacidad "límite" (1). En este entendido, valores por debajo de 1 requieren de

atención inmediata por parte de los gestores de los agroecosistemas (Gruberg y Azero, 2009). Estos valores fueron visualizados en una gráfica ameba.

6 Resultados y Discusión

En este acápite se presentan y discuten los resultados obtenidos para cada uno de los objetivos específicos planteados.

6.1 Caracterización de los sistemas agroforestales dinámicos de la red ECO-SAF con base en criterios socioambientales

Este primer resultado está dividido en tres partes. La primera parte consiste en la descripción general de los SAFD de cinco instituciones de la red ECO-SAF de las cuales dos fueron privadas, una ONG, un centro de promoción y por último una asociación. La información más importante que pudo ser registrada fue a) ubicación de los SAFD de estas instituciones, se encuentran en 13 municipios de Cochabamba; b) superficie promedio de los SAFD es de 2.300 m²; c) tipología de los SAFD, por lo general son complejos porque combinan varias especies leñosas con varios cultivos en la misma superficie; d) objetivos de los SAFD presentan objetivos variables de una institución a otra. Sin embargo, guardan relación en preservar y mejorar las condiciones del suelo. Finalmente, el e) grupo de personas que trabajan en dichas instituciones, por lo común son mujeres y hombres desde los 18 años en adelante.

Como segunda parte, se identifican seis criterios socioambientales de selección:

Tabla 2. Criterios socioambientales para la selección de los estudios de caso

N°	Criterio	Descripción
1	Tipología del sistema agroforestal dinámico	<ul style="list-style-type: none"> Una huerta con uno o más sistemas agroforestales dinámicos complejos es decir exista combinaciones de especies <i>productivas</i> (frutales, forrajeras, forestales, medicinales) y <i>acompañantes</i> (especies nativas, árboles leguminosos, hortalizas, etc.), presente más de 15 especies. Una huerta con uno o más sistemas agroforestales dinámicos simples (bicultivo o presente menos de 15 especies). Una huerta con sistemas agroforestales dinámicos simples y complejos (combinación).
2	Tamaño mínimo del sistema agroforestal dinámico	El sistema agroforestal dinámico debe ocupar mínimamente una superficie de 150-200 m ² .
3	Edad del sistema agroforestal dinámico	4-5 años (preferentemente de 5 años), ya que es en este rango de edad que el sistema ya tiene rentabilidad y presenta servicios de regulación.

N°	Criterio	Descripción
4	Ubicación de las huertas	<p>Deben estar ubicadas en los siguientes municipios de Cochabamba:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Colcapirhua • Quillacollo • Sacaba • Sipe Sipe • Tiquipaya • Vinto
5	Objetivo de las huertas	<p>Deben manejarse bajo uno o varios de los siguientes objetivos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ser un centro demostrativo-experimental • Abastecer de alimentos a la familia productora • Mejorar las condiciones de vida de los agricultores • Promover la seguridad alimentaria • Ser un espacio eco pedagógico • Combatir el cambio climático • Mejorar la fertilidad del suelo <p>Cada huerta estudiada debe tener diferente objetivo</p>
6	Instituciones que trabajan en la red ECO-SAF	Las huertas deben pertenecer a las instituciones miembro de la red ECO-SAF y estar dispuestas a colaborar con la investigación.

Fuentes: Stadler-Kaulich, *et al.* (2014); Azero (2018 a); Azero, comunicación personal (2021)

El criterio “tipología del SAFD” permitió establecer si existió una diferencia significativa entre ambas tipologías. El criterio “tamaño mínimo del SAFD” permitió establecer una superficie mínima pero no un límite máximo de extensión, por lo tanto, se tuvieron superficies variables. La “edad del SAFD”, sirvió para contar con un rango de referencia en años, con la posibilidad que las huertas seleccionadas cuenten con SAFD mayores a este rango establecido ya que así contaría con servicios de regulación (Azero, comunicación personal, 2021). La “ubicación de las huertas” permitió disminuir la cantidad de huertas existentes en Cochabamba e identificar aquellas que se encontraron en los municipios de interés. Por último, el criterio sobre los “objetivos de las huertas” permitió tener huertas variadas con enfoques y características diferentes. Finalmente, se encuentra el criterio de pertenencia a las instituciones que forman parte de la red.

Como tercera parte, por medio de los seis criterios socio ambientales se seleccionó los estudios de caso para la investigación. A continuación, se presentan los tres estudios de caso.

La huerta N° 1 tiene una superficie de 160.000 m². Está ubicada en el valle de Cochabamba, provincia de Quillacollo, municipio de Vinto, zona Combujo. Tiene SAFD simples y complejos de uno a 22 años. Cuenta con 486 especies identificadas, de las cuales, 206 especies son de regeneración natural. Por lo general, cada SAFD tiene una asociación de dos, tres o más especies nativas y frutales. Los objetivos bajo los cuales se rige son: 1) ser un

centro demostrativo experimental, 2) demostrar que a través de la práctica agroforestal existe la posibilidad de recuperar un suelo degradado, 3) adaptar los cultivos al cambio climático, y 4) lograr de mediano a largo plazo una producción rentable.



Figura 2: Estudios de caso.

La huerta N°2 tiene una superficie de 7.000 m². Está ubicada en la provincia de Quillacollo, municipio de Tiquipaya, zona Montecillo bajo. Los SAFD simples y complejos tienen entre cinco y 18 años. Estos cuentan con 46 especies arbóreas, frutales y hortalizas (varían de acuerdo con la temporada). El objetivo bajo el que se rigen sus SAFD es ser un centro eco pedagógico.

La huerta N° 3 tiene una superficie de 20.000 m². Está ubicada en la provincia de Quillacollo, municipio de Sipe

Sipe, comunidad Chacapaya. Los SAFD son complejos y tienen entre uno y seis años. Estos cuentan con 30 especies por SAFD frutales, forestales y cultivos pioneros. Sus objetivos son: 1) abastecer de alimentos a la familia productora, 2) comercializar los productos frescos y/o transformados, y 3) mejorar las condiciones del suelo.

En síntesis, se caracterizaron los estudios de caso a través de criterios socioambientales. Sin embargo, se presentaron algunas limitantes. Por una parte, las entrevistas a las instituciones, ya que, de las siete, solo cinco fueron entrevistadas. Por otra parte, la cantidad de huertas seleccionadas debido a que no todas las huertas agroforestales dinámicas por institución fueron tomadas en cuenta, sino aquellas que se adecuaron mejor a los criterios de selección (Tabla 2).

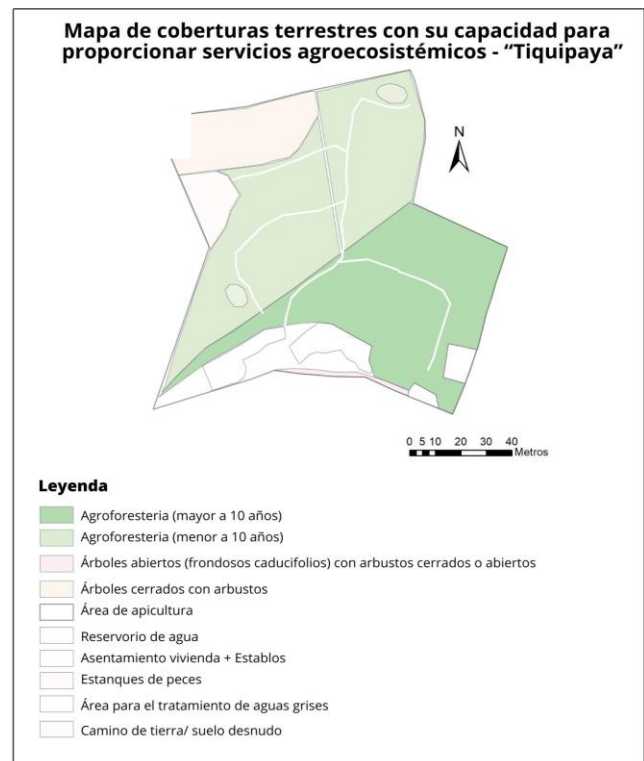
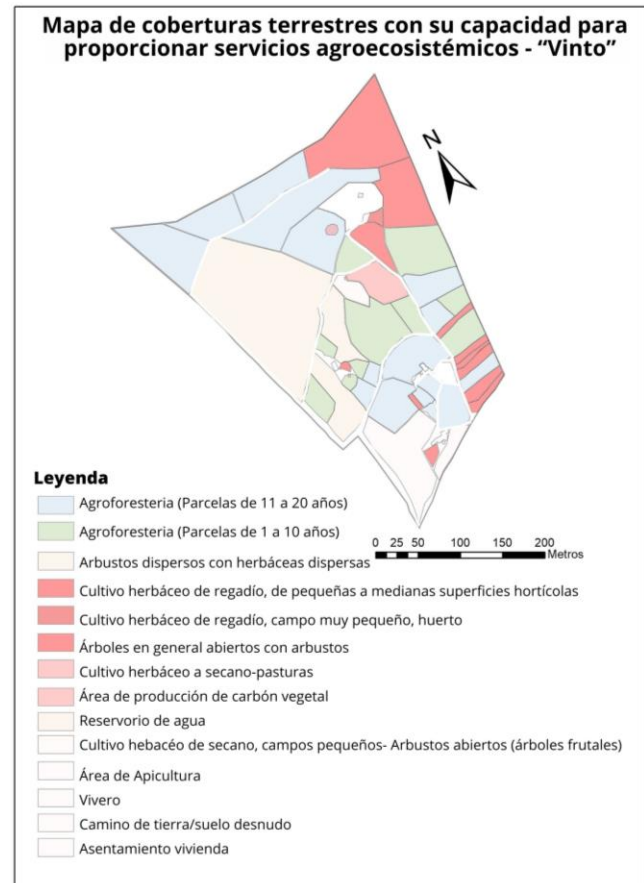
Se espera que los resultados de los tres estudios de caso puedan demostrar y dar a conocer los servicios agroecosistémicos que brindan los SAFD de la red ECO-SAF y establecer el estudio como un punto de referencia para futuros proyectos e investigaciones.

6.2 Clasificación de las coberturas terrestres existentes en cada huerta y su capacidad de proporcionar servicios agroecosistémicos

Este segundo resultado se dividió en dos: 1) clasificación de las coberturas terrestres en cada huerta, y 2) identificación de los 23 servicios agroecosistémicos provistos por cada clase de cobertura terrestre dentro de cada huerta.

Para la clasificación de las coberturas terrestres en cada huerta se realizó trabajo de campo y mapeo participativo en Google Earth con los propietarios de las huertas. Como producto final se obtuvieron mapas con sus coberturas terrestres de acuerdo con la clasificación de la FAO (2003), en función a su capacidad de proveer servicios agroecosistémicos y su escala de color correspondiente por cada estudio de caso

En la Figura 3, se pueden apreciar tres mapas, en la esquina superior izquierda se encuentra la huerta N° 1 (Vinto-estudio de caso uno), en la esquina superior derecha está la huerta N° 2 (Tiquipaya-estudio de caso dos) y al centro se encuentra la huerta N° 3 (Sipe Sipe-estudio de caso tres). La huerta N° 1 presentó 14 coberturas en total. Mientras que la huerta N° 2 y la huerta N° 3, presentaron 10 coberturas cada una. En síntesis, para esta primera parte la cobertura terrestre agroforestería en los tres agroecosistemas fue la más representativa en comparación a las otras clases de



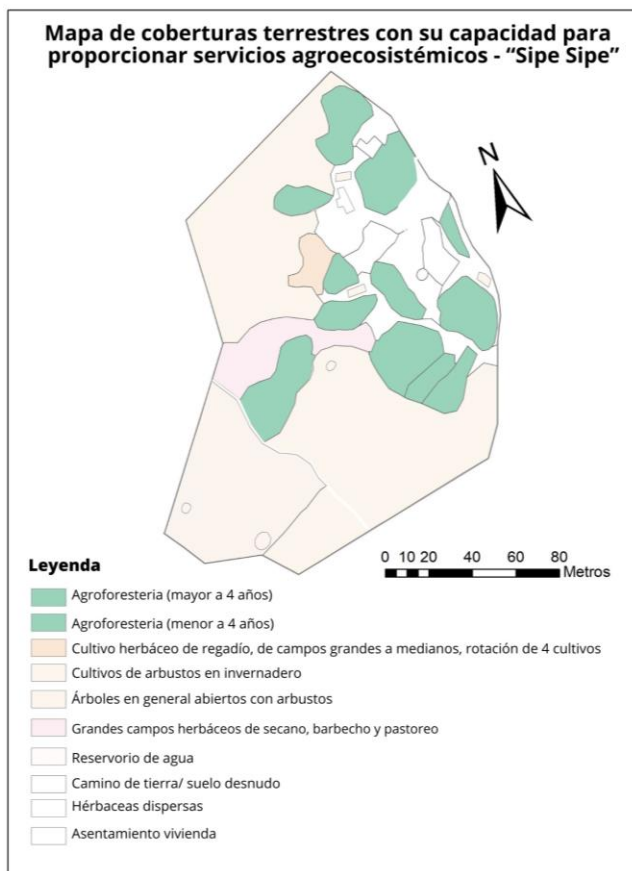


Figura 3: Mapas de coberturas terrestres en función a su capacidad de proveer servicios agroecosistémicos.

coberturas identificadas para cada agroecosistema. Este resultado está en lo correcto ya que agroforestería en general ocupó gran porcentaje del área total en cada agroecosistema y a la vez brindó una cantidad considerable de servicios (de 18 a 22). Los tres estudios de caso tuvieron como característica común el manejo de SAFD dentro la clase de cobertura terrestre agroforestería. Esto significa que los agroecosistemas que tengan coberturas terrestres relacionadas a prácticas agroforestales dinámicas o sean coberturas de agroforestería podrían brindar múltiples servicios. Mientras que un agroecosistema que no cuente con la clase de cobertura terrestre brindará pocos servicios. Por lo tanto, se puede decir que el número y clase de cobertura terrestre refleja de manera directa las decisiones tomadas en el agroecosistema por los propietarios

Se identificaron los 23 servicios agroecosistémicos provistos por cada clase de cobertura terrestre dentro de cada huerta. Como se puede apreciar en la Figura 4, la huerta N° 1 presentó un total de 79 servicios para cada una de las 14 coberturas presentes. Las coberturas con más

servicios como se observa fueron agroforestería (de 11 a 22 años) con 22 en total y agroforestería (de 1 a 10 años) con 18 servicios. Según Augstburger *et al.* (2018), la capacidad de las clases de coberturas terrestres para proporcionar servicios varía según sus características y las decisiones de la gestión humana. Asimismo, Moushani *et al.* (2021) sostienen que dependiendo del tipo e intensidad de uso del agroecosistemas junto con sus coberturas terrestres, estos brindan importantes bienes y servicios agroecosistémicos al ser humano. Es en este sentido que el resultado para la cantidad de servicios de las coberturas de agroforestería está en lo correcto y dicha cantidad de servicios se relaciona por las características de los SAFD existentes en estas clases de cobertura. Entre algunas de estas características se encuentran una alta diversidad de especies, una permanente cobertura y protección del suelo además del mejoramiento sostenido de la fertilidad de los suelos (Azero, 2018 b). Otras características que también pueden agregarse según Gruberg (2015) son regulación del microclima y la autorregulación.

En la huerta N° 2 existen 10 coberturas terrestres. En cada una de las coberturas se identificaron servicios agroecosistémicos, llegando a un total de 49 servicios (Figura 5). Las coberturas terrestres con más servicios también fueron la agroforestería (menor a 10 años) y agroforestería (mayor a 10 años) con 19 servicios en cada una. Finalmente, en la huerta N° 3 también existen 10 coberturas terrestres. También se identificaron los servicios agroecosistémicos para cada cobertura, sumando un total 64 servicios. Las coberturas con más servicios como se observa también correspondieron a agroforestería (menor a cuatro años) y agroforestería (mayor a cuatro años) con 20 servicios agroecosistémicos en cada una, estos distribuidos en los cuatro tipos de servicios: aprovisionamiento (Ap), regulación (R), cultural (C) y soporte (S).

Tras el resultado en las tres huertas se puede concluir que la cobertura agroforestería es la cobertura terrestre con más servicios agroecosistémicos. Sin embargo, las tres huertas difirieron en la cantidad total de servicios. Siendo la huerta N° 1 la que mayor cantidad de servicios presentó (79), dado que tuvo mayor extensión y la vez presentó más clases de coberturas terrestres (14 coberturas en total). Lo cual significaría que las huertas agroforestales dinámicas de extensión considerable (más de 500 m²) tendrán esa tendencia a presentar más clases de coberturas terrestres, al tener más coberturas existirá una alta diversidad de servicios. Mientras que una huerta de menor extensión (menos de 500 m²) presentará menos coberturas terrestres, por lo tanto, una baja diversidad de servicios que afectará la estabilidad ecológica- ambiental y productiva de la misma.

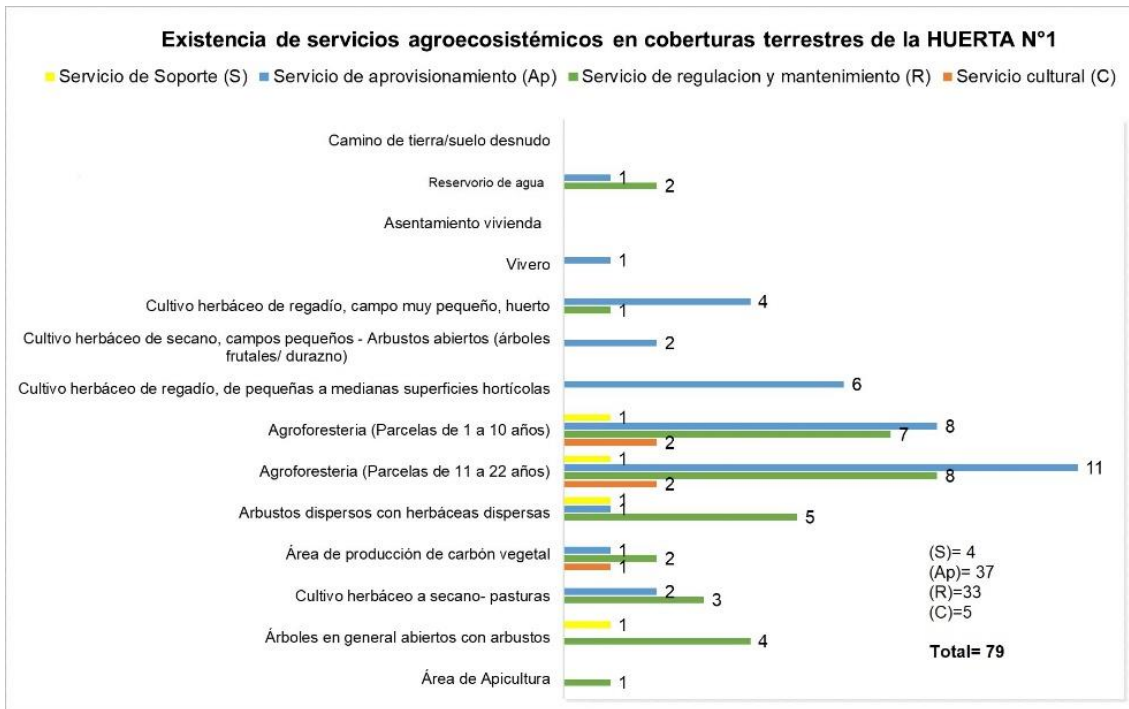
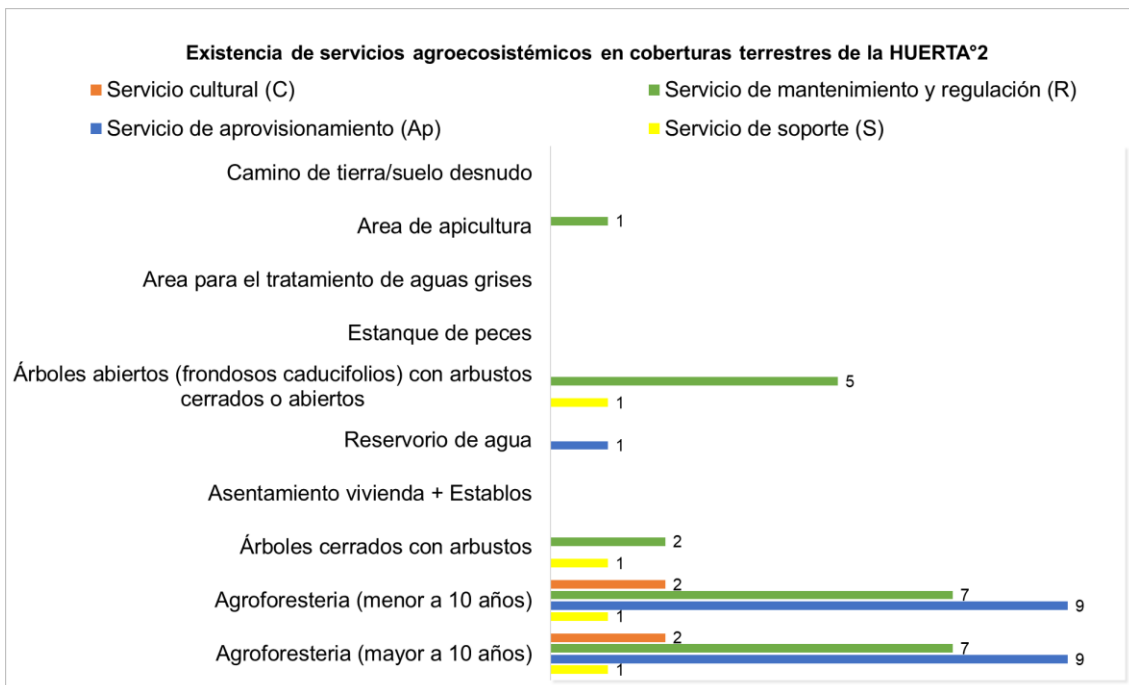


Figura 4: Existencia de servicios agroecosistémicos de huerta N° 1 (Vinto)



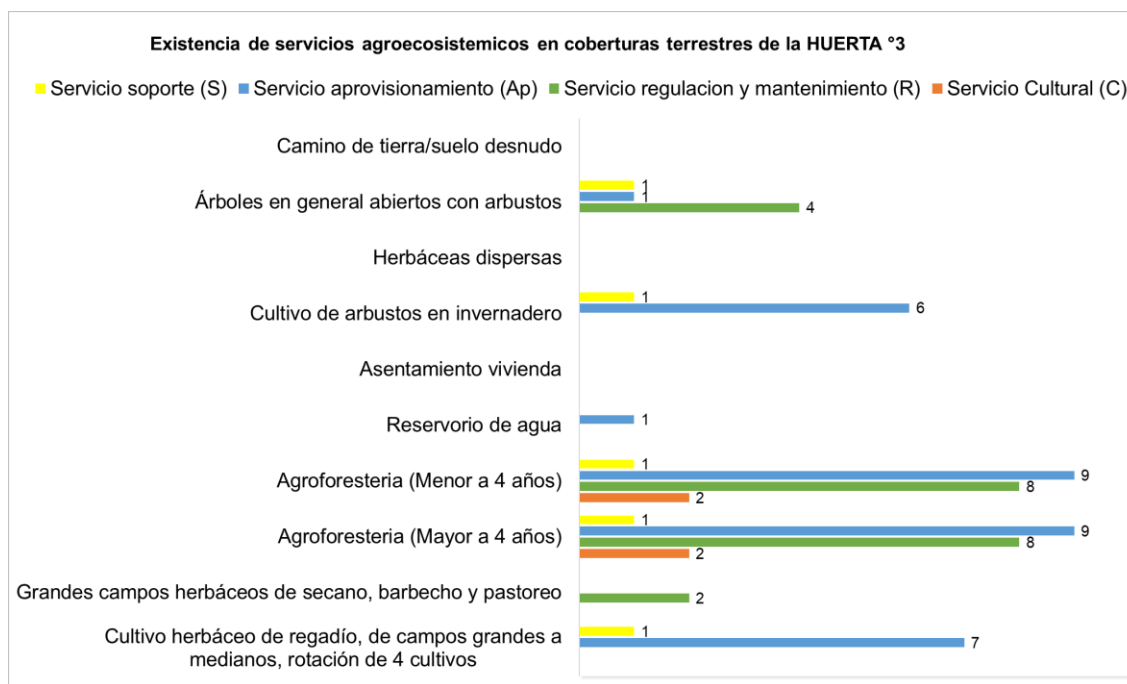


Figura 5: Existencia de servicios agroecosistémicos para huerta dos (Tiquipaya) y huerta tres (Sipe Sipe)

6.3 Evaluación de la capacidad de cada cobertura terrestre identificada para proveer servicios agroecosistémicos

Para obtener este resultado se sometió cada clase de cobertura terrestre a una escala de calificación desde “sin capacidad” a “capacidad muy alta” (Figura 1). Se optó por presentar en esta sección a aquellos servicios dentro de la clasificación “capacidad relevante” con valores de 1,3 a 2 porque es considerada a esta capacidad como el mínimo con el que debe contar un agroecosistema para mantenerse dentro de los límites de la sostenibilidad (Augstburger *et al.* 2018). A continuación, se presentan los 10 servicios agroecosistémicos presentes dentro de esta clasificación para las tres huertas.

Con respecto al servicio de regulación de nutrientes (R_4) las tres huertas tuvieron una capacidad “muy alta” esto se debe al aumento de fertilidad en los últimos años, seguido del uso esporádico a nulo de insumos externos, además de la continua cobertura del suelo. Según Wittwer *et al.* (2021) el uso de una cobertura permanente en el suelo es considerado beneficioso y reducen el dilema productividad-protección ambiental. Respecto al servicio seguridad en el trabajo (Ap_{11}) las tres huertas tuvieron una

capacidad “alta”, porque en huertas de carácter agroforestal las condiciones de trabajo son seguras y existe poca exposición a riesgos ya que no emplean agroquímicos o maquinaria pesada. Por lo tanto, dicho servicio promueve el bienestar del trabajador sin perjudicar su salud. El servicio de productos alimenticios libres de pesticidas (Ap_{12}) en las tres huertas presentó una capacidad “alta”, atribuible a la mejora de la agrobiodiversidad y la no utilización de productos agroquímicos, ya que las tres huertas producen productos agroecológicos. El servicio de purificación de agua (calidad) (R_5) en las tres huertas presentó una capacidad “alta” esto se debe a la cantidad de prácticas recomendadas para la gestión de tierras (FAO, 2014) las cuales oscilaron de cuatro a cinco prácticas, que en síntesis promueven que los sistemas sean más complejos y diversos. Referente al servicio de polinización (R_7) las tres huertas no disminuyeron de una capacidad “alta”. Según Balvanera *et al.* (2006) mantener una comunidad de polinizadores diversa, se reconoce cada vez más como un componente esencial de cualquier sistema alimentario sostenible. Por lo tanto, al existir este servicio dentro las huertas agroforestales dinámicas, promueve que sean consideradas como una opción sostenible.

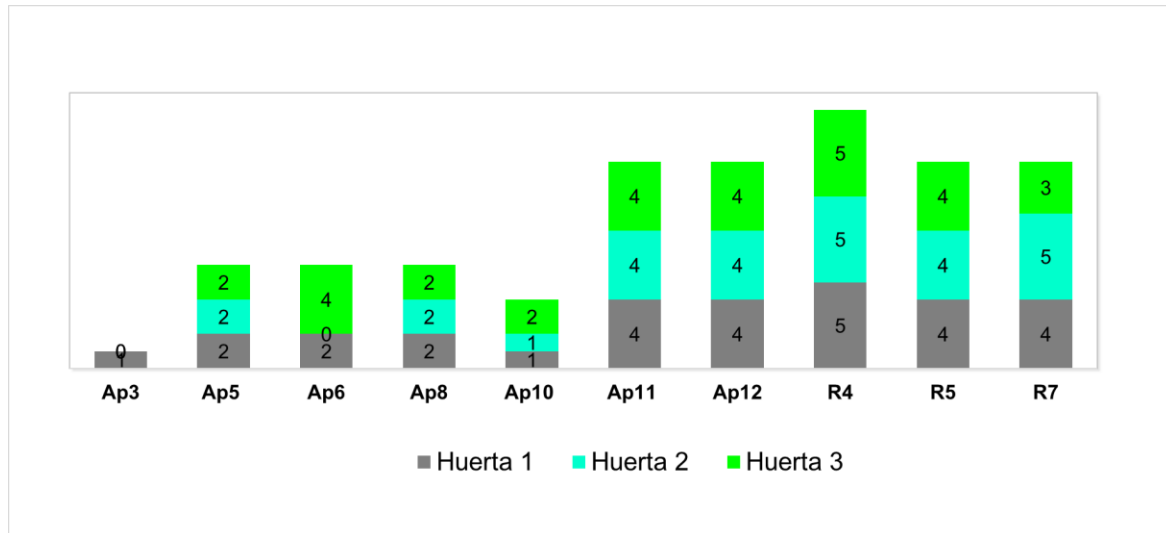


Figura 6: Servicios clasificados con capacidad relevante en los tres estudios de caso

El servicio ganado (doméstico) (Ap₃) en la huerta N° 1 tuvo una capacidad “baja”. Mientras que las huertas N° 2 y 3 no tienen capacidad (“sin capacidad”). Estos resultados en las tres huertas se deben a que la cría de ganado doméstico no es una prioridad de sus propietarios. Respecto al servicio bioquímica/medicina (Ap₅) las tres huertas tuvieron una capacidad “relevante”, esto puede deberse a que algunas plantas medicinales son producidas para un autoconsumo y no así para una comercialización. El servicio semillas (Ap₆) en la huerta uno tuvo una capacidad “relevante”, la huerta N° 2 “sin capacidad” y la huerta N° 3 una capacidad “alta” para proporcionar dicho servicio, estos resultados se deben a que el servicio solo alcanza para que sea utilizado por la huerta y no así para la venta al igual que el servicio combustible de madera/leña (Ap₈). Por último, con respecto al servicio de oportunidad al trabajo (Ap₁₀) las huertas N° 1 y 2 presentaron una capacidad “baja”, mientras que la huerta N° 3 una capacidad “relevante” este resultado se relaciona con la cantidad de personas que trabajan al año, la cual en promedio no excede las cinco personas y esta depende del requerimiento de personal por las diversas actividades que se desarrollan en el agroecosistema.

6.4 Estimación de la capacidad de proveer servicios agroecosistémicos en huertas agroforestales dinámicas a través del Índice Capacidad de Servicios Agroecosistémicos (ICSA)

Para este último resultado, se utilizó la MSA (Tabla 1) junto con los datos e información recolectada en las tres etapas anteriores. De esta manera se obtuvo el ICSA de cada huerta.

La escala de 0 a 3 presente en la Figura 7, esta fue determinada en función a los indicadores de cada servicio

(Figura 1) y los resultados tras la implementación de la MSA (Tabla 1) en los tres estudios de caso. De esta manera se determinaron los umbrales, 3 como óptimo y 1 como límite.

Como se puede apreciar en la Figura 7, el ICSA de la huerta N° 1 fue de 2,3 que correspondió a una capacidad media-alta. La huerta N° 2 obtuvo un índice de 2,9 también clasificado como una capacidad media-alta. Finalmente, la huerta N° 3 obtuvo un índice de 1,7 que corresponde a una capacidad relevante no presentó diferencias importantes respecto a su capacidad de proveer servicios agroecosistémicos ya que se encontraron dentro del rango óptimo de relevante a media alta y no en el límite o zona de peligro para cualquier agroecosistema. No obstante, Augstburger *et al.* (2018) menciona que el ICSA solo proporciona una indicación de la capacidad del agroecosistema para proporcionar servicios y no un valor cuantitativo absoluto. Por lo tanto, nuestros resultados obtenidos tuvieron esta limitante.

Se concluye que los SAFD dentro de la cobertura terrestre de agroforestería presentan una alta variabilidad de servicios agroecosistémicos. Estos oscilan entre 18 a 22 servicios debido a los principios, características y manejo que tienen, pero sobre todo porque imitan el dinamismo de la naturaleza para producir alimentos y a la vez generar beneficios socioambientales. Esto pudo ser determinado a través de la metodología ICSA desarrollada por Augstburger *et al.* (2018). Esta metodología se mostró como una herramienta de planificación y toma de decisiones en el diseño y manejo de SAFD.

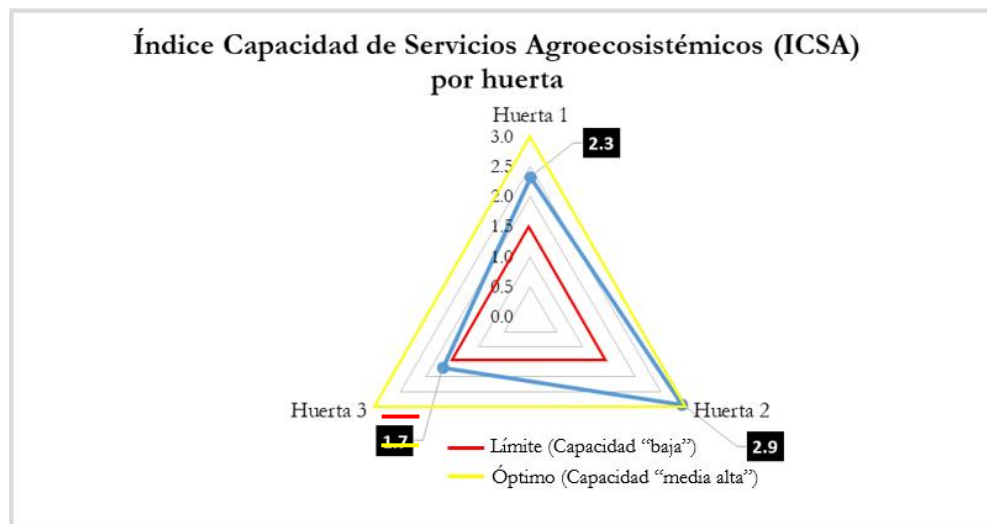


Figura 7: Índice Capacidad de Servicios Agroecosistémicos (ICSA) por huerta

7 Conclusiones

Se caracterizaron las huertas agroforestales dinámicas que fueron estudiadas a lo largo de la investigación a través de criterios socioambientales. De esta manera, se obtuvieron tres estudios de caso que sirvieron posteriormente para identificar en qué medida los SAFD de los productores de la red ECO-SAF brindan servicios agroecosistémicos. En el presente estudio se trabajó con catorce clases de coberturas terrestres para la huerta N° 1, y en las huertas N° 2 y N° 3 se trabajó con 10 coberturas terrestres. En todas las clases de coberturas terrestres se evaluaron los 23 servicios agroecosistémicos y posteriormente se sumaron.

La clase de cobertura terrestre de agroforestería en los tres agroecosistemas fue la más representativa en comparación a las otras clases de coberturas terrestres identificadas debido a que su capacidad fue de "alta" a "muy alta". Al mismo tiempo fue la cobertura que brindó mayor diversidad de servicios de 18 a 22. Lo que significa que los agroecosistemas que tengan coberturas terrestres relacionadas a prácticas agroforestales dinámicas o sean coberturas de agroforestería podrán brindar una alta diversidad de servicios mientras que un agroecosistema que no cuente con la misma cobertura o de similares características brindará una baja diversidad de servicios.

La calificación para los 23 servicios agroecosistémicos dentro los tres agroecosistemas, arrojó que los servicios con calificaciones altas correspondieron a regulación de nutrientes (procesos de descomposición y fijación), seguridad en el trabajo, productos alimenticios libres de pesticidas y purificación de agua (calidad). En cambio, los

servicios con calificaciones bajas fueron ganado (doméstico) y oportunidad al trabajo. Esto se debe a que la cría de ganado doméstico no es una prioridad para los propietarios.

En cuanto al ICSA en las huertas N° 1 y 2 no se encontró una diferencia importante puesto que ambos índices correspondieron a una capacidad "media alta" para proporcionar el flujo de los servicios existentes en sus coberturas terrestres. En cambio, la huerta N° 3 presentó una capacidad relevante. Dichos resultados permitieron demostrar y conocer los servicios agroecosistémicos que brindan los SAFD de las instituciones que forman parte de la red ECO-SAF. También, se definieron los umbrales sobre capacidad óptima y límite para un agroecosistema y por último establecer un punto de referencia para futuras investigaciones.

Bibliografía

- Augstburger, H., Jacobi, J., Schwilch, G., y Rist, S. (2018). Agroecosystem Service Capacity Index – A methodological approach. *Landscape Online*, 64(1-48). <https://doi.org/10.3097/LO.201864>
- Augstburger, H. y Rist, S. (2020). Assessing the capacity of three Bolivian food systems to provide farm-based agroecosystem services, *Journal of Land Use Science*, 15:2-3, 142-171, DOI 10.1080/1747423X.2019.1651414
- Azero, M. (2018 a). *Elementos para el diseño e implementación de sistemas agroforestales dinámicos en el semiárido de Cochabamba, Bolivia*. Cochabamba, Bolivia. <https://www.researchgate.net/publication/333433864>
- Azero, M. (2018 b). *Evaluación de sistemas agroforestales dinámicos en el semiárido de Cochabamba. Diez estudios*

- de caso de las comunidades de Rodeo (Sacaba), La Maica (Tarata), Aramasí (Tapacari) y Combujo y Pairumani (Vinto)*. Primera edición. Cochabamba, Bolivia. Editorial Kipus. Cochabamba, Bolivia. ISBN: 978-99974-0-470-1
- Azero, M. (2021). Comunicación personal. Cochabamba, Bolivia.
- Balvanera, P., Pfisterer, A. B., Buchmann, N., He, J.-S., Nakashizuka, T., Raffaelli, D., y Schmid, B. (2006). Quantifying the evidence for biodiversity effects on ecosystem functioning and services. *Ecology Letters*. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2006.00963.x>
- Ceccon, E. (2008). La Revolución Verde tragedia en dos actos. *Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal* 1(91). <https://www.redalyc.org/pdf/644/64411463004.pdf>
- ECO-SAF. (2014). *Producir y proteger el medio ambiente con sistemas agroforestales*. ECOSAF. Cochabamba, Bolivia. https://ecosaf.org/wp-content/uploads/2022/07/Texto.de_Prensa_NSK.pdf
- DED. (2006). *Primer taller de agroforestería*. Del 20 al 21 de febrero de 2006. Sapecho, Bolivia.
- FAO. (2003). *Africover Multipurpose Land Cover Database for Kenya*. FAO. Roma, Italia. <https://www.un-spider.org/links-and-resources/data-sources/land-cover-kenya-africover-fao>.
- FAO. (2014). *Sustainability Assessment of Food and Agriculture Systems Smallholders*. FAO. Roma, Italia. <https://www.fao.org/3/i3957e/i3957e.pdf>
- FAO. (2021). *The World of Organic Agriculture 2021*. FAO. Roma, Italia. <http://www.fao.org/family-farming/detail/es/c/1378841/>
- García Nieto, A., García-Llorente, M., y Ineasta-Arandia, I. (2013). *Mapping forest ecosystem services: From providing units to beneficiaries*. ScienceDirect. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2013.03.003>
- Gliessman, S., Francis, C., Lieblein, G., Breland, T., Creamer, N., Harwood, R., Salomonsson, L., Helenius, J., Rickerl, D., Salvador, R., Wiedenhoef, M., Simmons, S., Allen, P., Altieri, M., Flora, C., y Poincelot, R. (2003). Agroecology: The Ecology of Food Systems. *Journal of Sustainable Agriculture*, 22, 99-118. https://doi.org/10.1300/J064v22n03_10
- Gruberg, H., y Azero, M. (2009). Evaluación de la sostenibilidad económica, sociocultural y ecológica de la agroforestería sucesional en tres estudios de caso en la zona de Alto Beni, Bolivia. *Acta Nova*, 4(2-3), 236-262. Cochabamba, Bolivia. http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1683-07892009000100005&lng=es&tlng=es.
- Gruberg, H. (2015). *Sistemas agroforestales dinámicos y su singularidad*. Naturefund. Cochabamba, Bolivia. http://www.ecosaf.org/agroforesteria/Art%20_2_singularidad.pdf
- Gruberg, H. (2023). *Operationalizing transdisciplinary agroecology of the co-creation of food sovereignty* [PhD Thesis]. Ghent University. University Press. Ghent, Belgium.
- 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., y Soussana, J.-F. (2015). A social-ecological approach to managing multiple agroecosystem services. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 14, 68-75. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2015.04.001>
- Moushani, S., Kazemi, H., Klug, H., Esmaeil Asadi, M., y Soltani, A. (2021). Ecosystem service mapping in soybean agroecosystems. *Ecological Indicators*, 121. Scopus. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.107061>
- Rosset, P., y Altieri, M. (2018). *Agroecología, Ciencia y Política*. SOCLA Editorial Riobamba. Riobamba, Ecuador
- Sánchez, J. (2017). *V Congreso Nacional de Sistemas Agroforestales Sistemas Agroforestales en áreas semiáridas – Organismos Vivos Productivos que contribuyen al mantenimiento del equilibrio hídrico*. ECOSAF. Cochabamba, Bolivia. <http://www.ecosaf.org/boletin/Boletin%20ECOSAF%20Diciembre%202017.pdf>
- Stadler-Kaulich, N., François, J., y Barreiro, D. (2014). *Sistemas Agroforestales en áreas secas en el Departamento de Cochabamba: Caracterización y descripción*. ECOSAF. Cochabamba, Bolivia. <http://www.ecosaf.org/valle/SAF%20EN%20AREAS%20EICAS%20CBBA.pdf>
- Stadler-Kaulich, N. (2021). Comunicación personal. Cochabamba, Bolivia.
- Tovar, D. (2021). Comunicación personal. Cochabamba, Bolivia.
- Vargas. (2021). Comunicación personal. Cochabamba, Bolivia.
- Wittwer, R. A., Bender, S. F., Hartman, K., Hydbom, S., Lima, R. A., Loaiza, V., Nemecek, T., Oehl, F., Olsson, P. A., Petchey, O., Prechsl, U. E., Schlaeppli, K., Scholten, T., Seitz, S., Six, J., y van der Heijden, M. G. (2021). Organic and conservation agriculture promote ecosystem multifunctionality. *Science Advances*, 7(34). <https://doi.org/10.1126/sciadv.abg6995>
- Yana, W., y Weinert, H. (2001). *Técnicas de sistemas agroforestales multiestrato: Manual práctico*. Bivica. La Paz, Bolivia. <https://www.bivica.org/file/view/id/2325>