

# Evaluación de la sostenibilidad económica, sociocultural y ecológica de la agroforestería sucesional en tres estudios de caso en la zona de Alto Beni, Bolivia

Helga Gruberg Cazón<sup>1,2</sup>, Mauricio Azero A.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Ciencias Exactas e Ingeniería, Universidad Católica Boliviana Av. General Galindo s/n, Cochabamba; <sup>2</sup> Fundación Gaia Pacha, Cochabamba, Bolivia  
e-mail: gruberghelga@yahoo.es

## Resumen

El presente estudio brinda una adaptación metodológica basada en indicadores, para evaluar la sostenibilidad económica, sociocultural y ecológica de la agroforestería sucesional frente al sistema tradicional agrícola en la zona de Alto Beni. Dicha metodología disgrega el agroecosistema en las dimensiones, atributos y elementos de la sostenibilidad. Por medio de esta disgregación se determinan los puntos críticos que favorecen o limitan la sostenibilidad, los cuales son medidos a través de indicadores.

Una vez diseñada la metodología se procedió a evaluar comparativamente tres sistemas agroforestales sucesionales y tres sistemas tradicionales. Dicho estudio inició en agosto de 2005 y concluyó en junio de 2007, donde se evaluó un total de 16 indicadores económicos, 18 indicadores socioculturales y 21 indicadores ecológicos. Por medio de la construcción de índices agregados para indicadores, atributos y dimensiones, se determinó que la agroforestería sucesional es más sostenible que la agricultura tradicional, con un índice agregado de 0,72 y 0,41 respectivamente. Esto se debe a que la agroforestería sucesional presentó mayor sostenibilidad económica, con un índice de 0,66, mayor sostenibilidad sociocultural, con un índice de 0,77 y mayor sostenibilidad ecológica, con un índice de 0,74.

Asimismo, se identificaron los puntos críticos, tanto positivos como negativos, que afectan la sostenibilidad de la agroforestería sucesional. En lo que se refiere a los puntos críticos negativos, se identificaron aquellos que precisan de medidas correctivas inmediatas, al encontrarse por debajo del umbral de sostenibilidad. También, se identificaron los puntos críticos en los que se deben tomar medidas preventivas a corto plazo, ya que podrían poner en riesgo la sostenibilidad del sistema. Por otro lado, se identificaron los puntos críticos positivos del sistema, es decir, aquellos que favorecen su sostenibilidad al encontrarse próximos al valor óptimo. La identificación de puntos críticos concede la oportunidad, tanto a las instituciones relacionadas con la agroforestería sucesional como a las familias agricultoras, de crear planes de acción a corto y largo plazo, con el fin de maximizar los beneficios de dicha práctica.

Por otro lado, se determinó un grupo de indicadores cualitativos y cuantitativos, que pueden ser fácilmente aplicados en estudios afines. Para cada indicador se establecieron valores de referencia, los cuales podrían convertirse en estándares de calidad para futuras investigaciones y prácticas agrícolas bajo contextos similares.

Palabras clave: Sostenibilidad, Sucesión natural de especies, Agroforestería sucesional, Indicadores, Índices.

## 1 Introducción

En Bolivia el 39,79% de la población económicamente activa, realiza actividades de agricultura, pecuaria y pesca [9]. En el área rural del país, el 79,10% de la población se dedica a estas actividades, con un ingreso mensual promedio de 187 Bs [9]. A pesar de que el país cuenta con una superficie de 1.098.581 km<sup>2</sup>, la quinta parte comprende suelos con menor o ningún potencial agrícola, porción en la cual habitan dos tercios de la población agrícola y ganadera del país [9] [22].

Por otro lado, la agroindustria ha jugado un papel muy importante en la economía de Bolivia; de hecho en 1998, representó una ganancia de US \$ 440,2 millones en exportaciones. Sin embargo, son diversos los impactos negativos sobre el medio ambiente a causa de las actividades agrícolas. Por ejemplo, en un estudio realizado por Rojas *et al.* [23], se detectó que desde 1993 hasta el año 2000, se habían deforestado 1.892.332 ha en el país, un promedio de 270.333 ha por año, lo que representa un incremento en el 89% de la superficie deforestada en el año 1993. Durante los siete años estudiados, sólo en el departamento de Santa Cruz se han deforestado 1.424.033 ha a causa de la expansión de la frontera agrícola y ganadera [23]. Así también, la agricultura aporta en la emisión de gases de efecto invernadero, en 1994 ésta representaba el 74,87% de las emisiones nacionales de CH<sub>4</sub> y el 68,38% de las emisiones de N<sub>2</sub>O [14].

Uno de los impactos de mayor importancia ocasionado por la agricultura actual, es la degradación de suelos. Entre los procesos de degradación de mayor relevancia, se encuentra la erosión, ya que afecta al 61% del territorio nacional, en rangos de “fuerte” a “muy grave” [15]. La degradación de suelos conlleva al empobrecimiento de la población, ya que en 1990, representó para el país una pérdida de US \$ 500 millones [26]. Asimismo, según Barber [4], la pérdida de fertilidad de los suelos deriva en “... inseguridad alimentaria..., inestabilidad social y deterioro del ambiente...”.

La zona de Alto Beni no se encuentra exenta de los problemas mencionados. Desde la década de 1960s se ha convertido en una zona de colonización con fines de producción agrícola [10]. El limitado conocimiento de los/as colonos/as, procedentes en su mayoría del altiplano, sobre las condiciones ecológicas del trópico, ha resultado en un manejo inapropiado de los recursos naturales y en su degradación [3].

Los cultivos fueron instalados mediante la roza, tumba y quema de los bosques, inclusive quemando las especies maderables valiosas [10] [21]. El desconocimiento sobre los beneficios y funciones de las especies forestales fue aprovechado por algunos empresarios madereros, quienes explotaron de manera no controlada dichos recursos

[19]. Como resultado de estas actividades se tuvo un considerable descenso en el número de especies valiosas, como la mara (*Swietenia macrophylla*), cedro (*Cedrela odorata*) y roble (*Amburana cearensis*), así también una escasa presencia de especies forestales útiles en las fincas de Alto Beni [19] [27].

En la actualidad, se sufre de la denominada “crisis del barbecho”, donde se acortan los periodos de descanso, disminuyen los rendimientos e incrementan los problemas de “malezas, plagas y enfermedades” [10]. Dicha crisis ha resultado en el abandono de tierras y expansión de la frontera agrícola [10].

Por ejemplo, la producción del cultivo principal de la zona, el cacao, se ha visto afectada por la enfermedad conocida comúnmente como “escoba de bruja” (*Crinipellis perniciosa*). Para el año 1996, la superficie de cacao fue reducida a un 50% a causa de dicha enfermedad, así también por los elevados costos de manejo y la caída de precios en el mercado internacional [25].

En búsqueda de una respuesta a esta problemática, se llevaron a cabo varios proyectos apuntando hacia la sostenibilidad, sin embargo, ninguno logró recuperar la productividad inicial de los sistemas [13]. A partir de 1996, se incursionó en la agroforestería sucesional (AS), práctica que ha traído consigo diversos beneficios económicos, sociales y ecológicos.

Si bien, se han realizado estudios sobre algunos temas en la AS, estos no han sido efectuados de manera integral. Por lo que no se ha determinado el grado de sostenibilidad económica, sociocultural y ecológica de dicha práctica frente a las prácticas tradicionales de la zona.

La falta de una evaluación de sostenibilidad comparativa, perjudica tanto a las instituciones relacionadas con el desarrollo sostenible como a las familias agricultoras. Esto se debe a que no cuentan con información respaldada que les permita optar por la práctica que preste mayores beneficios.

## 2 Materiales y métodos

Se diseñó una metodología que permita, por un lado, cumplir con el objetivo del estudio de realizar una evolución de la sostenibilidad económica, sociocultural y ecológica de la agroforestería sucesional en tres estudios de caso, en la zona de Alto Beni. Por otro lado, la metodología fue diseñada de tal manera que pueda ser replicada en estudios similares.

Se realizó una revisión bibliográfica sobre las diferentes metodologías existentes para evaluar la sostenibilidad en base a indicadores a nivel mundial, con principal énfasis en las empleadas en América Latina. A partir de la revisión bibliográfica se identificaron las metodologías que más se adaptan al contexto del estudio, por haber sido diseñadas y aplicadas en América Latina y por su cualidad de permitir evaluar la sostenibilidad de sistemas agrícolas de manera sistémica. Es así que se identificaron tres metodologías: la *Metodología para construir indicadores de impacto* de Clavariás [6], el *Marco para la Evaluación de*

*Sistemas de Manejo incorporando Indicadores de Sustentabilidad (MESMIS) y el Enfoque de sistemas para analizar la sostenibilidad de la agricultura de Müller [16].*

## **2.1 Adaptación metodológica para evaluar la sostenibilidad de los sistemas agroforestales sucesionales (SAS)**

Si bien las tres metodologías permiten realizar una evaluación sistémica de la sostenibilidad, cada una toma en cuenta factores que las otras pasan por alto. Es por este motivo que se rescataron y fusionaron las virtudes de cada metodología obteniendo una metodología adaptada al contexto de estudio, para así poder llevar a cabo una evaluación más completa de los SAS. Es así que la metodología adaptada no sólo permite determinar en qué medida los agroecosistemas son sostenibles, sino también permite identificar los puntos críticos de la sostenibilidad en los diferentes niveles de agregación. Además, se adaptó la metodología con el fin de que involucre participativamente en el proceso de evaluación a los/as agricultores/as, técnicos/as e instituciones relacionadas con los SAS.

## **2.2 Identificación y caracterización del objeto de estudio**

Para que la evaluación de sostenibilidad fuese representativa, se la realizó de manera comparativa tanto longitudinalmente como transversalmente. Es decir, comparando la evolución de los SAS de manera retrospectiva y comparándolos simultáneamente frente a sistemas de referencia. Se determinó el sistema de referencia mediante una revisión bibliográfica sobre los sistemas agrícolas más empleados en la zona.

Posteriormente, se procedió a caracterizar el SAS y el sistema de referencia, mediante una descripción general de los componentes biofísicos de la zona de estudio, como el clima, características fisiográficas y vegetación entre otros. Así también se describieron los componentes socioculturales y económicos de los sistemas, como el grupo étnico al que pertenecen las familias y las características de la producción.

Por otro lado, se describieron las características tecnológicas y de manejo determinantes de los sistemas, dentro de las cuales se encuentran la mano de obra y tecnologías empleadas, como también las diferentes prácticas que engloba cada sistema, como es el manejo de suelos, plagas y enfermedades. Así también se realizó un diagrama descriptivo de las entradas y salidas de los sistemas, como también de las interrelaciones entre los diferentes componentes.

## **2.3 Identificación de los estudios de caso**

Por la naturaleza comparativa del estudio, se definieron dos grupos de muestras de familias agricultoras, uno para los SAS y otro para los sistemas tradicionales (TR). Para definir el tamaño de las muestras, no se optó por un método estadístico, ya que por lo general las muestras estadísticas no permiten realizar interpretaciones de las "... interacciones entre los elementos y fenómenos que se observan en la realidad" [2]. Apollin y Eberhart aconsejan que el tamaño de la muestra sea razonable y representativa de los diferentes sistemas identificados: dos a cinco familias por sistema, ya que de esta manera pueden ser estudiados a detalle [2]. Partiendo de los recursos económicos,

humanos y de tiempo con los que se contaba, se determinó que una muestra de tres familias por sistema era la adecuada para realizar un estudio que refleje la realidad.

## 2.4 Identificación de familias bajo SAS

Se identificó un grupo preliminar de familias bajo SAS mediante entrevistas abiertas a informantes clave, los/as cuales pertenecían a las instituciones relacionadas con la difusión y gestión de esta práctica en la zona de estudio. En primera instancia, por la naturaleza participativa del estudio, se seleccionaron las familias que podrían estar interesadas en su realización, ya que se necesitaba su colaboración en los diferentes procesos del mismo.

Posteriormente, se seleccionaron de este grupo las familias que contaban con sistemas agroforestales de una edad mínima de tres años. De lo contrario se hubiera trabajado con parcelas en periodo de transición, donde no se muestran cambios contundentes en las dimensiones socioculturales, económicas y ecológicas. A continuación, se escogieron sistemas de tres edades diferentes, con el propósito de evaluar la AS en tres etapas de la sucesión natural.

Finalmente, para llevar a cabo el análisis económico, los datos debían ser lo más objetivos posibles, por lo que los sistemas debían contar con registros de costos y rendimientos, ya sean de la base de datos del Programa Agroecológico del Proyecto Obras Sociales de Caminos de Acceso Rural (AGRO-OSCAR), Ecotop S.R.L., Programa de Implementaciones Agroecológicas y Forestales de la Cooperativa el Ceibo Ltda. (PIAF el Ceibo), Interinstitucional Alto Beni (IIAB) y/o propios de las familias.

Como se mencionó anteriormente, se optó por realizar un estudio participativo, por lo que las familias debían estar interesadas en su desarrollo. Por este motivo, una vez identificado el grupo preliminar de familias bajo SAS, se procedió a visitarlas con el fin de explicar el objetivo del estudio, su duración y la relación de la autora con las instituciones con las que trabajan. Se les explicó a detalle lo que implicaba el estudio, es decir, entrevistas a las diferentes personas de la familia, visitas constantes y mediciones en las parcelas.

Una vez identificadas las familias bajo los SAS con las que se trabajaría, se procedió a la identificación de las familias bajo sistemas TR. El proceso de identificación de un grupo preliminar de familias fue realizado con la colaboración de los técnicos del Programa AGRO-OSCAR y del técnico responsable del PIAF el Ceibo.

Debido a que se llevó a cabo un estudio comparativo, los sistemas TR debían contar con características similares a los SAS. Por la complejidad de las variables que influyen en las características de un sistema, durante el proceso de identificación se optó por tomar en cuenta algunas características generales de los sistemas, como su edad, cultivo principal y ubicación espacial. Posteriormente, se procedió a seleccionar a las familias con las que se trabajaría, siguiendo la misma lógica empleada para la identificación de los SAS.

## **2.5 Elaboración de un marco conceptual de sostenibilidad**

Puesto que para llevar a cabo una evaluación de sostenibilidad es necesario partir de lo que se entiende y espera de la misma, se efectuaron entrevistas a las personas involucradas directamente con los sistemas en estudio. Es así que por un lado, se entrevistaron a los/as agricultores/as y por otro a los/as encargados/as de las instituciones relacionadas con el desarrollo sostenible, con el fin de conocer su percepción en cuanto a la sostenibilidad y sus estrategias para alcanzarla. Así también, se sacaron a relucir los beneficios, necesidades, limitantes y problemas en cuanto a la AS.

Con la información obtenida se elaboró un marco teórico que engloba los conceptos de sostenibilidad expresados por los/as diferentes involucrados/as directos/as. Así también el marco teórico comprende los puntos fuertes y débiles de la AS. Posteriormente, se expresaron en forma de hipótesis los supuestos de sostenibilidad, tomando las definiciones más importantes. Tanto el marco teórico como las hipótesis de sostenibilidad conforman un marco conceptual de sostenibilidad.

## **2.6 Identificación de puntos críticos del sistema**

Siguiendo la metodología adaptada se identificaron los puntos críticos de la AS que pueden incidir de manera positiva o negativa en la sostenibilidad del sistema. Para la identificación de los puntos críticos se llevó a cabo una revisión bibliográfica sobre SAS y sistemas agroforestales en general, en la que se analizaron artículos y documentos de experiencias tanto locales como internacionales. También se analizaron estudios relacionados con la AS, informes institucionales y memorias de talleres y seminarios llevados a cabo en la zona de estudio.

Una vez identificados los puntos críticos de la AS mediante la revisión bibliográfica, estos fueron sumados a los puntos identificados en el marco conceptual de sostenibilidad, obteniendo de esta manera un grupo final de puntos críticos a ser estudiados.

## **2.7 Selección de indicadores**

Con el objetivo de evaluar los puntos críticos que influyen en la sostenibilidad de los SAS, se determinaron los elementos a ser evaluados en cada propiedad y dimensión de la sostenibilidad. El desempeño y el estado de los recursos fueron medidos a través de indicadores.

La selección de indicadores partió por una revisión bibliográfica de los indicadores de sostenibilidad aplicables para evaluar la sostenibilidad de sistemas de producción agrícola y sobre sus requerimientos de información. En este proceso se revisaron listas de indicadores a nivel mundial con principal énfasis en los sugeridos y empleados en América Latina y Bolivia.

Una vez concluida la revisión bibliográfica se obtuvo una lista de indicadores preliminares, los cuales fueron sometidos a una selección final en base a los criterios presentados por Müller [16] y Altieri y Nichols [1], con principal énfasis en su viabilidad y eficiencia en el contexto del estudio. De esta manera se obtuvo un grupo final de

indicadores a ser medidos para cada elemento, propiedad y dimensión de la sostenibilidad.

## **2.8 Diseño de un procedimiento para la medición de indicadores**

En base a los requerimientos de información para cada indicador se diseñó un procedimiento para la generación de datos primarios y secundarios. En primera instancia se realizó una revisión bibliográfica de las diferentes metodologías existentes, tanto cuantitativas como cualitativas, para la medición de los indicadores seleccionados. Posteriormente, se seleccionaron aquellas metodologías que mejor se adaptan al contexto de estudio y a la disponibilidad de recursos humanos, insumos y de tiempo con los que se contaba. Finalmente, las metodologías fueron seleccionadas por su facilidad de ser replicadas en estudios futuros.

Con el propósito de obtener datos fiables se optó por realizar una triangulación de fuentes: información secundaria, encuestas y métodos de campo. De acuerdo con Vicentelo [28], la triangulación de fuentes permite verificar los resultados obtenidos con mayor precisión.

A continuación se desarrollan cada una de las metodologías empleadas para la medición de los indicadores seleccionados.

## **2.9 Recopilación de información secundaria**

En el proceso de recopilación de información secundaria se revisaron textos, documentos, artículos, estudios y memorias tanto de seminarios como de cursos y talleres. Por otro lado, se recopiló información a partir de la base de datos de la IIAB, informes de Ecotop S.R.L., AGRO-OSCAR y PIAF el Ceibo.

## **2.10 Encuestas**

Como parte del proceso de levantamiento de datos se realizaron encuestas a los diferentes personajes involucrados con el estudio. Dichas encuestas fueron diseñadas y aplicadas siguiendo los criterios aconsejados por Apollin y Eberhart [2], Bojanic *et al.* [5], Geilfus [8] y Münch y Ángeles [17]. Las encuestas realizadas están conformadas por entrevistas a instituciones, agricultores/as, técnicos/as y a los responsables de certificación y exportación del Ceibo Ltda. También, las entrevistas están conformadas por formularios socioeconómicos para las familias y un cuestionario para los/as participantes del curso-taller de Ecotop S.R.L. Por otro lado, se participó en diferentes seminarios, talleres e intercambio de experiencias, en los que se realizaron preguntas abiertas y anotaciones.

## **2.11 Métodos de campo**

Como parte del levantamiento de datos se emplearon diferentes métodos de campo, los cuales fueron identificados a partir de una revisión bibliográfica exhaustiva. Se escogieron los métodos de campo por su grado de adaptación al contexto de estudio,

viabilidad, replicabilidad y grado de precisión. Si bien la mayoría de los métodos fueron aplicados en su forma original, algunos fueron adaptados.

Dentro de los métodos de campo se encuentra el croquis de la finca, croquis de la parcela, muestreo de suelos, estudio de perfil de suelos, cobertura del suelo, hojarasca, censo de especies, infiltración de suelos, apariencia y salud de los cultivos y manejo de parcelas AS.

### **2.12 Estandarización y agregación de indicadores**

Debido a que los indicadores difieren en su naturaleza, los valores obtenidos fueron sometidos a un proceso de estandarización y agregación. De esta manera no sólo se determinó el grado de sostenibilidad de los sistemas, sino también se detectaron los puntos que limitan su sostenibilidad. Por otro lado, se compararon los índices obtenidos del sistema alternativo con los obtenidos para el sistema de referencia, determinando de esta manera el grado en el que el sistema alternativo es menos, igual o más sostenible que el sistema de referencia.

Para llevar a cabo el proceso de estandarización y agregación, se establecieron rangos comparativos y niveles de referencia a través de criterios presentados en la bibliografía para los distintos indicadores.

## **3 Resultados**

### **3.1 Identificación y caracterización del objeto de estudio**

Siguiendo la metodología adaptada para la evaluación de los SAS, se dio inicio al estudio mediante la identificación y caracterización del objeto de estudio. Debido a que se trata de un estudio comparativo, se identificaron y caracterizaron tanto el sistema TR o de referencia, como el SAS. De la misma forma se procedió con los tres estudios de caso por sistema. En la tabla 1, se presenta un resumen comparativo de las características del sistema TR y del SAS.

### **3.2 Estudios de caso**

Siguiendo los procesos y criterios establecidos en la metodología, se identificaron las tres familias bajo SAS y sus contrapartes bajo sistemas TR con las que se realizó el estudio. En la tabla 2 se presentan las características generales tanto de las tres familias bajo SAS como de las tres familias bajo sistemas TR.

Como se puede apreciar, los sistemas dentro de cada grupo difieren en ubicación, superficie, fecha de instalación y cultivo principal. De esta manera se trabajó con dos sistemas de tres años con cultivo principal de cacao, dos sistemas de cinco años con cultivo principal de cítrico y dos sistemas de nueve años con cultivo principal de cacao.



**Tabla 1:** Características del sistema de manejo TR y SAS

Características		Sistema de manejo TR	Sistema de manejo SAS	
<b>Biofísicas</b>		<b>Clima:</b> Cálido (Köppen Aw <sub>2</sub> ) <b>Altura:</b> 300 – 1.400 msnm <b>Fisiografía:</b> Serranías, colinas y valles <b>PP. media anual:</b> 1.300 mm en zonas bajas y 2.000 mm en zonas altas <b>Veg.:</b> Bosque de transición amazónico, sub montano, húmedo montañoso y montano húmedo hasta nublado <b>Humedad relativa promedio:</b> 78% <b>T. media anual:</b> 26° C <b>Suelos:</b> 1) <i>Acrisoles háplicos</i> y <i>Cambisoles déstricos</i> 2) <i>Cambisoles crómicos</i> y <i>Lixisoles háplicos</i> <b>Pendiente:</b> 1,5 – 60%		
Tecnológicas y manejo	<b>Tipo de especies manejadas principales</b>	Cacao y cítrico	Cacao y cítrico	
	<b>Sistema de cultivo</b>	1) Cacao y cítricos mono específico 2) Cacao y cítricos asociados a otro cultivo durante los primeros años	Cacao y cítricos multiespecíficos	
	<b>Superficie de cultivo por finca, -ha -</b>	Cacao: 2 Cítrico: 1	0,35 para ambos cultivos	
	<b>Tecnología</b>	Manual	Manual	
	Manejo de suelos	<b>Fertilización química</b>	Ninguna	Ninguna
		<b>Prácticas de conservación de suelos</b>	Ninguna	Cultivos de cobertura, reincorporación de MO al suelo y cobertura del mismo mediante manejo de las especies. Corte de la pendiente
	<b>Manejo del sistema</b>	Manual	Manual	
	<b>Deshierbes</b>	Limpiezas con machete de todas las hierbas y malezas	Deshierbe selectivo con machete de gramíneas y herbáceas en fructificación	
Socioeconómicas y culturales	<b>Grupo étnico</b>	Quechuas y Aymaras		
	<b>Número de familias que constituyen la unidad de análisis</b>	3	3	
	Características de la unidad de producción	<b>Escala de producción y tipo de unidad</b>	Pequeña producción familiar	Pequeña producción familiar
		<b>Objetivo de la producción</b>	Comercialización	Comercialización y autoconsumo
	<b>Características de la organización para la producción</b>	Asociaciones y cooperativas, sólo para el caso del cacao	Asociaciones y cooperativas, sólo para el caso del cacao	

Fuente: [7] [10] [11] [18] [19]

**Tabla 2:** Características generales de los sistemas identificados

Familia	Tipo	Área	Colonia	Superficie	Fecha de inst.	Cultivo principal
				--- ha ---		
Julián Churra (SA2)	SAS	V	Flor de Mayo	0,35	10/2002	Cacao
Félix Mamani (T2)	TR	V	Flor de Mayo	0,38	11/2002	Cacao
Hernando Mamani (SA1)	SAS	V	Charcas II Faja	0,26	11/2000	Cítrico
Pedro Villanueva (T1)	TR	V	Olivos	0,49	12/2000	Cítrico
Sofía Huarina (SA3)	SAS	VII	P. Carmen	0,60	11/1996	Cacao
Manuel Choque (T3)	TR	VII	P. Carmen	0,56	03/1996	Cacao

### 3.3 Marco conceptual de sostenibilidad

En base a lo expresado por las instituciones y agricultores/as se espera que una práctica agrícola sostenible sea:

*Un sistema altamente diversificado de acuerdo a los principios de la sucesión natural de especies, con el fin de conservar y recuperar los recursos naturales. Permitiendo de esta manera obtener una producción constante y a largo plazo, asegurando así autosuficiencia alimentaria familiar de calidad. Así también se debe prestar como una fuente de conocimiento tanto para las generaciones presentes como futuras. De esta manera se evitará la migración de las familias hacia otros lugares, frenando la expansión de la frontera agrícola.*

Una vez establecida la definición de agricultura sostenible se identificaron los factores que limitan su alcance. El principal factor con el que concuerdan todas las personas entrevistadas es el conocimiento necesario sobre las distintas especies que alberga un SAS. Esto se debe a que la falta de dichos conocimientos no permite que se realice un manejo adecuado y oportuno de los sistemas, incrementando la demanda de mano de obra, disminuyendo los rendimientos y desalentando a las familias. Es por este motivo que no se instala un mayor número de sistemas complejos, abocándose a sistemas simples. Así mismo, el bajo conocimiento de las funciones de las especies influye negativamente en el autoconsumo de los productos SAS.

Otro factor que limita el alcance de una agricultura sostenible es el choque existente entre la lógica productiva de la AS y la lógica de las familias agricultoras, siendo esta última extractiva. Así también el bajo conocimiento por parte de las familias agricultoras sobre los beneficios que presentan los SAS, tanto económica, sociocultural como ecológicamente, limita su adopción.

Por otro lado, los SAS demandan mayor inversión en cuanto a mano de obra durante los primeros años, lo que limita su instalación en superficies mayores a 0,5 ha. Finalmente, se ha visto que la falta de mercados para las nuevas especies repercute negativamente en la adopción de dichos sistemas.

### 3.4 Indicadores seleccionados

A partir de los supuestos puntos críticos de los SAS se determinaron los elementos de calidad, cantidad y desempeño de los recursos que describen cada atributo de la sostenibilidad. Dichos elementos fueron operacionalizados mediante indicadores.

Los indicadores fueron seleccionados siguiendo la metodología de evaluación adaptada para el estudio. Por otro lado, se optó por trabajar con indicadores holísticos ya que muestran las relaciones entre los diferentes indicadores y dimensiones de la sostenibilidad [24]. De esta manera se obtuvo un grupo de indicadores para cada elemento, atributo y dimensión de la sostenibilidad.

Es importante mencionar que algunas dimensiones y atributos de la sostenibilidad comparten indicadores. Por otro lado, por su naturaleza, algunas dimensiones no cuentan con todos los atributos de la sostenibilidad.

### 3.5 Dimensión económica

En la dimensión económica se identificaron un total de 16 indicadores, los que se presentan a continuación.

**Tabla 3:** Indicadores seleccionados para la dimensión económica (Ec)

Propiedad	Elemento	Indicadores
Adaptabilidad	<i>Manejo/Desempeño del sistema</i>	1. Capacidad de adaptación a cambios de precio del cultivo principal
Adoptabilidad	<i>Manejo/Desempeño del sistema</i>	2. Costo de inversión inicial
Auto dependencia	<i>Manejo/Desempeño del sistema</i>	3. Auto suficiencia alimentaria 4. Grado de dependencia de insumos externos
Confiabilidad	<i>Manejo/Desempeño del sistema</i>	5. Ahorro por madera en pie
Equidad	<i>Manejo/Desempeño del sistema</i>	6. Acceso a insumos como semillas y herramientas
Estabilidad	<i>Manejo/Desempeño del sistema</i>	7. Variación del ingreso proveniente de los cultivos de un año al otro 8. Incidencia de plagas y enfermedades
Productividad	<i>Manejo/Desempeño del sistema</i>	9. Rendimiento del cultivo principal 10. Rentabilidad 11. Retorno de mano de obra 12. Demanda fuerza de trabajo 13. Número de deshierbes 14. Ingresos por otras especies 15. Uso equivalente de la tierra
Resiliencia	<i>Manejo/Desempeño del sistema</i>	16. Capacidad de adaptación a cambios de precio del cultivo principal

### 3.6 Dimensión sociocultural

En la dimensión sociocultural se trabajó con un total de 18 indicadores, los cuales se presentan a continuación.

**Tabla 4:** Indicadores seleccionados para la dimensión sociocultural (Sc)

Propiedad	Elemento	Indicadores
Adaptabilidad	<i>Manejo/Desempeño del sistema</i>	1. Familias por sistema y superficie por sistema 2. Capacidad de adaptación a cambios de precio del cultivo principal 3. Mecanismos de extensión del sistema
	<i>Recursos humanos</i>	4. Capacidad de innovación, recreación o grado de asimilación
Adoptabilidad	<i>Manejo/Desempeño del sistema</i>	5. Ventajas y desventajas percibidas en el manejo de SAS 6. Costo de inversión inicial 7. Acceso a insumos como semillas y herramientas
	<i>Recursos humanos</i>	8. Grado de dependencia de las instituciones
Auto dependencia	<i>Manejo/Desempeño del sistema</i>	9. Acceso y participación en eventos de capacitación, intercambio de experiencias, etc. 10. Auto suficiencia alimentaria 11. Grado de dependencia de insumos externos
Equidad	<i>Manejo/Desempeño del sistema</i>	12. Participación de la mujer 13. Acceso a insumos como semillas y herramientas 14. Acceso y participación a eventos de capacitación, intercambio de experiencias, etc.
Estabilidad	<i>Manejo/Desempeño del sistema</i>	15. Variación del ingreso proveniente de los cultivos de un año al otro
Productividad	<i>Manejo/Desempeño del sistema</i>	16. Retorno mano de obra
Resiliencia	<i>Manejo/Desempeño del sistema</i>	17. Auto suficiencia alimentaria 18. Capacidad de adaptación a cambios de precio del cultivo principal

### 3.7 Dimensión ecológica

En la dimensión ecológica se identificaron un total de 21 indicadores, los cuales son presentados a continuación.

**Tabla 5:** Indicadores seleccionados para la dimensión ecológica (E)

Propiedad	Elemento	Indicadores
Adaptabilidad	<i>Manejo/Desempeño del sistema</i>	1. Capacidad de adaptación a cambios de precio del cultivo principal
Auto dependencia	<i>Manejo/Desempeño del sistema</i>	2. Grado de dependencia de insumos externos
Estabilidad	<i>Suelo</i>	3. Porcentaje de MO 4. Desarrollo de las raíces
	<i>Manejo/Desempeño del sistema</i>	5. Incidencia de plagas y enfermedades
Productividad	<i>Suelo</i>	6. Calidad del suelo (Da, MO, pH, porosidad, CE, Cationes intercambiables, infiltración, TBI, CIC, SB, N total, P disponible) 7. Rendimiento del cultivo principal 8. Desarrollo de las raíces 9. Apariencia del cultivo

	<i>Manejo/Desempeño del sistema</i>	10. Rendimiento del cultivo principal 11. Presencia de malezas 12. Porcentaje de cobertura del suelo
	<i>Suelo</i>	13. Porcentaje de MO 14. Producción de hojarasca o mulch 15. Remediación y prevención de la degradación de suelos
Resiliencia	<i>Manejo/Desempeño del sistema</i>	16. Presencia de malezas 17. Capacidad de adaptación a cambios de precio del cultivo principal 18. Diversidad vegetal
	<i>Flora y fauna</i>	19. Cantidad de especies clave 20. Estratificación vertical de la vegetación 21. Producción de biomasa

### 3.8 Estandarización y agregación de indicadores

Siguiendo la metodología adaptada para evaluar la sostenibilidad de los SAS, los resultados obtenidos para cada indicador fueron sometidos a un proceso de estandarización y agregación. De esta manera se obtuvo una escala única de medición de 0 a 1, a nivel de indicador, atributo, dimensión y sistema.

Para aquellos indicadores con valores por debajo de 0,5 es necesario tomar alguna medida de corrección inmediata ya que se encuentran en el umbral de sostenibilidad [20]. Valores entre 0,5 y 0,75 indican que se deben tomar medidas preventivas ya que el sistema puede entrar en crisis a corto plazo [20]. Mientras que los indicadores con valores superiores a 0,75 no presentan problemas, sin embargo, pueden mejorarse para llegar al valor óptimo [20].

A continuación se presenta un análisis comparativo de las dimensiones de la sostenibilidad. Con el fin de visualizar el comportamiento de cada indicador dentro de una dimensión, los resultados se presentan en una gráfica radial o más conocida como AMIBA, por su similitud con este protozooario [12]. En dicha gráfica cada indicador representa un eje, en el que se muestra el valor agregado obtenido frente al valor óptimo, en este caso “1”.

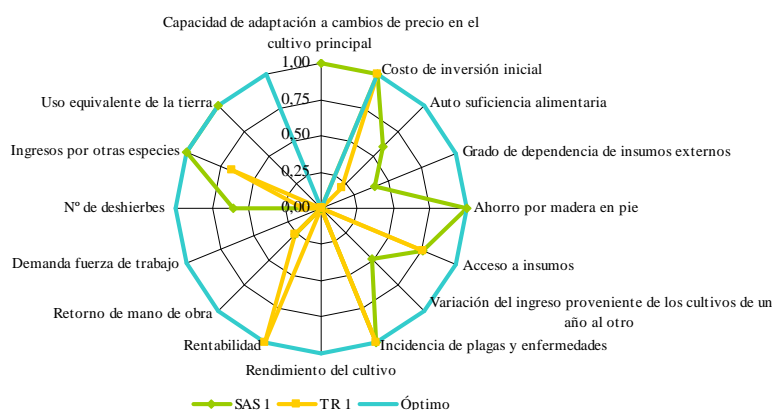
### 3.9 Dimensión económica

En la dimensión económica se encontraron diferencias significativas entre los SAS y sistemas TR. En los siguientes párrafos se presentan los resultados obtenidos para los seis estudios de caso.

En los sistemas de tres años de edad, el SAS presenta ocho indicadores con valores superiores a los reportados en su contraparte TR (Figura 1). En cambio, en el sistema TR solo la rentabilidad del sistema se encuentra por encima del valor reportado en el SAS.

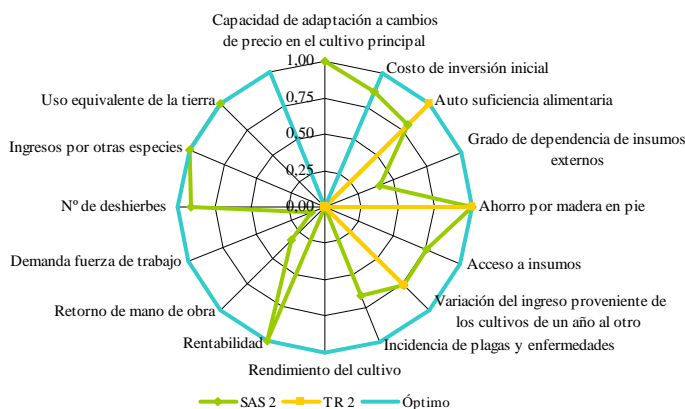
Por otro lado, ambos sistemas presentan indicadores con valores por debajo del umbral de sostenibilidad: grado de dependencia de insumos externos, rendimiento del cultivo principal, retorno de mano de obra y demanda de fuerza de trabajo. Además de

los indicadores mencionados, en el sistema TR seis indicadores se encuentran por debajo del umbral. Mientras que en el SAS la rentabilidad del sistema se encuentra en el nivel sub óptimo. Es necesario tomar medidas correctivas inmediatas en los indicadores mencionados, porque ponen en riesgo la sostenibilidad productiva del SAS.



**Figura 1:** Indicadores de sostenibilidad económica en los sistemas de tres años

Así también, se identificaron cuatro indicadores que precisan de medidas preventivas a corto plazo en el SAS, ya que cuentan con valores entre 0,5 y 0,75. Dichos indicadores son la auto suficiencia alimentaria, acceso a insumos, variación del ingreso proveniente de los cultivos de un año al otro y número de deshierbes. Los atributos que podrían entrar en crisis a corto plazo son: auto dependencia, estabilidad y equidad.



**Figura 2:** Indicadores de sostenibilidad económica en los sistemas de cinco años

Si bien la rentabilidad en el sistema TR se encuentra en el nivel óptimo y en el SAS se encuentra en el nivel sub óptimo, el índice de sostenibilidad agregado para la presente

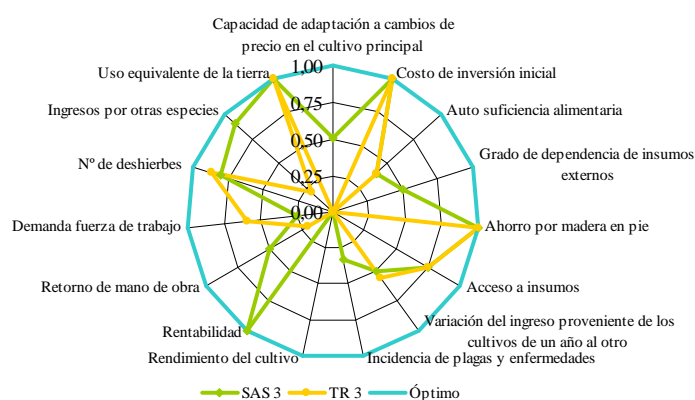
dimensión es 0,31 y 0,63 respectivamente. Dichos valores indican que el SAS presenta mayores ventajas económicas frente al sistema TR, siendo más sostenible.

En el caso de los sistemas de cinco años de edad, la mayoría de los indicadores del SAS presentan valores superiores a los reportados por el sistema TR, a excepción del costo de inversión inicial y grado de dependencia de insumos externos (Figura 2). Ambos indicadores junto al indicador de acceso a insumos, superan el umbral de sostenibilidad en el sistema TR, mientras que los restantes se encuentran en el nivel sub óptimo.

En cambio, en el SAS cuatro indicadores no superan el umbral de sostenibilidad: grado de dependencia de insumos externos, rendimiento del cultivo principal, retorno de mano de obra y demanda de fuerza de trabajo. Es preciso tomar medidas correctivas sobre dichos indicadores ya que ponen en riesgo la productividad y auto dependencia del sistema, a pesar de que el índice agregado de tales atributos se encuentra por encima del umbral.

Por otro lado, en el SAS el acceso a insumos, la variación del ingreso proveniente de los cultivos de un año al otro y la incidencia de plagas y enfermedades, presentan valores entre 0,5 y 0,75. A pesar de que los atributos de equidad y estabilidad económica, a los que pertenecen dichos indicadores, cuentan con índices agregados sobre el umbral de sostenibilidad, es necesario tomar medidas preventivas con el fin de evitar riesgos.

El índice de sostenibilidad agregado para la presente dimensión es de 0,72 para el SAS y de 0,17 para el sistema TR. Dichos valores muestran que este último se encuentra muy por debajo del umbral, por lo que no presenta atributos de adaptabilidad, confiabilidad, estabilidad, productividad y resiliencia. Es en este sentido que el SAS es más sostenible económicamente que el sistema TR.



**Figura 3:** Indicadores de sostenibilidad económica en los sistemas de nueve años

En los sistemas de nueve años de edad, el SAS presenta seis indicadores con valores superiores a su contraparte. En cambio, en el sistema TR solo tres indicadores reportan valores superiores al SAS.

Como se puede apreciar en la figura 3, cuatro indicadores en el SAS se encuentran por debajo del umbral de sostenibilidad: auto suficiencia alimentaria, incidencia de plagas y enfermedades, rendimiento del cultivo y demanda fuerza de trabajo. Es preciso tomar medidas correctivas sobre dichos indicadores porque ponen en riesgo la estabilidad, auto dependencia y productividad del sistema.

Por otro lado, en el SAS, cinco indicadores presentan valores entre 0,5 y 0,75: grado de dependencia de insumos externos, acceso a insumos, variación del ingreso proveniente de los cultivos de un año al otro, retorno de mano de obra y capacidad de adaptación a cambios de precio en el cultivo principal. Dichos indicadores podrían poner en riesgo a corto plazo la adaptabilidad, auto dependencia, equidad, estabilidad, productividad y resiliencia del sistema.

En el caso del sistema TR, ocho indicadores no superan el umbral de sostenibilidad y tres se encuentran en el rango de 0,5 y 0,75. Debido a que un mayor número de indicadores en el SAS superan el umbral de sostenibilidad, se obtuvo un índice agregado de sostenibilidad económica de 0,62. En cambio, en el sistema TR el índice agregado no supera el umbral, con un valor de 0,41. Es en este sentido que el SAS es más sostenible económicamente que su contraparte TR. Sin embargo, es necesario tomar medidas correctivas y preventivas en aquellos indicadores que ponen en riesgo los diferentes atributos de sostenibilidad.

### **3.10 Conclusión dimensión económica**

La dimensión económica presenta un índice agregado superior en los SAS, con un valor promedio de 0,66 frente 0,30 en su contraparte TR. Dichos valores indican que el SAS es más sostenible económicamente que los sistemas TR. No obstante, cuatro indicadores necesitan atención inmediata, ya que ponen en riesgo la sostenibilidad de dicho sistema: grado de dependencia de insumos externos, rendimiento del cultivo, retorno de mano de obra y demanda fuerza de trabajo. Cabe recalcar que ninguno de los sistemas evaluados superó el nivel sub óptimo en cuanto al rendimiento del cultivo principal. Esto se debe principalmente a la edad de los sistemas, ya que todavía no se encuentran en producción o no han alcanzado la edad máxima productiva.

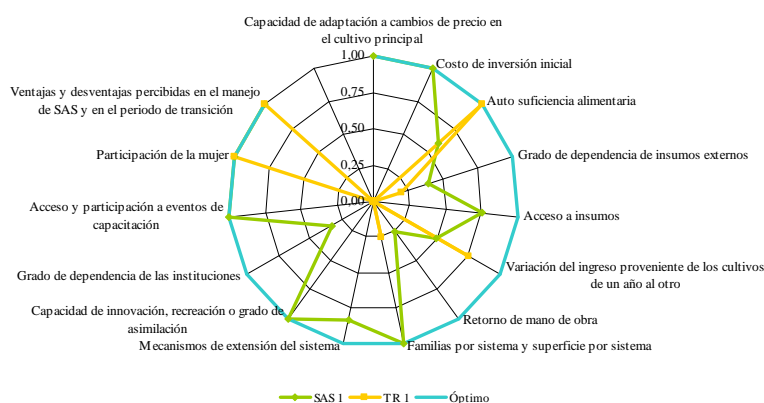
Por otro lado, cinco indicadores necesitan medidas preventivas, ya que podrían arriesgar la sostenibilidad del SAS a corto plazo. Dichos indicadores son: auto suficiencia alimentaria, acceso a insumos, variación del ingreso proveniente de los cultivos de un año al otro, incidencia de plagas y enfermedades y rentabilidad.

### **3.11 Dimensión sociocultural**

Al igual que en la dimensión económica, los sistemas evaluados presentan diferencias significativas en cuanto a la dimensión sociocultural. A continuación se presentan los resultados obtenidos para los SAS y sistemas TR.



Como se puede apreciar en la figura 4, el SAS de tres años de edad presenta cuatro indicadores con valores superiores a los reportados en su contraparte TR. Por otro lado, 10 indicadores superan el umbral en el SAS, mientras que en el sistema TR sólo cuatro indicadores se encuentran por encima de este valor.



**Figura 4:** Indicadores de sostenibilidad sociocultural en los sistemas de tres años

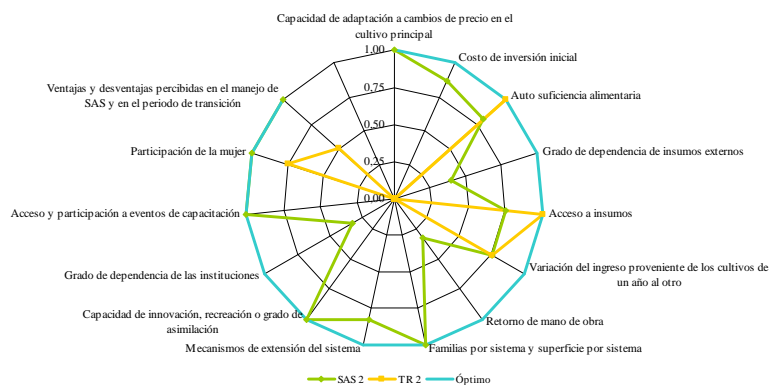
Así también, en el SAS tres indicadores necesitan de medidas correctivas inmediatas: grado de dependencia de insumos externos, retorno de mano de obra y grado de dependencia de las instituciones. Dichos indicadores ponen en riesgo la auto dependencia y productividad del sistema. En el sistema TR, cinco indicadores se encuentran por debajo del umbral.

Por otro lado, en el SAS se deben tomar medidas preventivas en tres indicadores ya que sus valores se encuentran entre 0,5 y 0,75: auto suficiencia alimentaria, acceso a insumos y variación del ingreso proveniente de los cultivos de un año al otro. A pesar de que los atributos a los que corresponden dichos indicadores cuentan con índices agregados por encima del umbral, estos podrían verse afectados. Dichos atributos son la adoptabilidad, auto dependencia, equidad, estabilidad y resiliencia del sistema.

El índice agregado para la presente dimensión es de 0,78 y 0,47 para el SAS y el sistema TR respectivamente. Dichos valores señalan que el SAS es más sostenible en la dimensión sociocultural. No obstante, se deben tomar las debidas medidas correctivas y preventivas con el fin de asegurar dicha sostenibilidad.

En la figura 5 se puede observar que el SAS presenta 11 indicadores que superan el umbral de sostenibilidad y el sistema TR cuatro. Por otro lado, en el SAS tres indicadores se encuentran por debajo del valor 0,5: grado de dependencia de insumos externos, retorno de mano de obra y grado de dependencia de las instituciones. En cambio, en el sistema TR cuatro indicadores se encuentran próximos al nivel sub óptimo. Se deben tomar medidas correctivas inmediatas sobre dichos indicadores

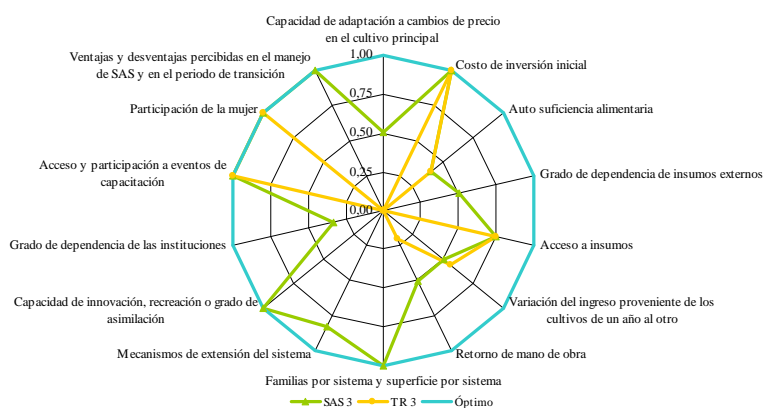
porque ponen en riesgo la sostenibilidad del SAS, en los atributos de adoptabilidad, auto dependencia y productividad.



**Figura 5:** Indicadores de sostenibilidad sociocultural en los sistemas de cinco años

Los indicadores de acceso a insumos y variación del ingreso proveniente de los cultivos de un año al otro necesitan que se tomen medidas preventivas porque presentan valores entre 0,5 y 0,7 en el SAS. Dichos indicadores podrían poner en riesgo a corto plazo la adoptabilidad, equidad y estabilidad del sistema.

El índice agregado para la presente dimensión es de 0,81 y 0,42 para el SAS y el sistema TR respectivamente. Debido a que el SAS cuenta con índice agregado superior, se puede concluir que es más sostenible en la dimensión sociocultural. No obstante, se deben tomar medidas correctivas y preventivas en los indicadores que así lo necesiten.



**Figura 6:** Indicadores de sostenibilidad sociocultural en los sistemas de nueve años

En la figura 6 se puede observar que en el SAS de nueve años de edad, ocho indicadores superan el umbral y en el sistema TR cinco indicadores se encuentran por encima de dicho valor. Por otro lado, dos indicadores en el SAS necesitan medidas correctivas inmediatas porque cuentan con valores por de bajo de 0,5: auto suficiencia alimentaria y grado de dependencia de las instituciones. Dichos indicadores ponen en riesgo la auto dependencia y resiliencia del sistema. Mientras que en el sistema TR cuatro indicadores necesitan atención inmediata.

Por otro lado, cinco indicadores necesitan atención a corto plazo ya que limitan la sostenibilidad del sistema en los atributos de adaptabilidad, adoptabilidad, auto dependencia, equidad, estabilidad, productividad y resiliencia.

Si bien el sistema TR de nueve años de edad presenta el mayor índice agregado para la presente dimensión (0,54) frente a los demás sistemas TR, es menor al índice establecido para el SAS (0,72). Es en este sentido que el SAS es más sostenible en la dimensión sociocultural que el sistema TR. Sin embargo, se deben tomar las medidas correspondientes para asegurar la sostenibilidad del sistema.

### **3.12 Conclusión dimensión sociocultural**

Al igual que en la dimensión económica, el índice agregado promedio para la dimensión sociocultural es superior en el SAS, con un valor de 0,77 frente a 0,48 en el sistema TR. No obstante, tres indicadores precisan atención inmediata, ya que ponen en riesgo la sostenibilidad de dicho sistema: grado de dependencia de las instituciones, grado de dependencia de insumos externos y retorno de mano de obra.

Por otro lado, tres indicadores necesitan que las familias e instituciones tomen medidas preventivas, ya que podrían arriesgar la sostenibilidad del SAS a corto plazo. Dichos indicadores son el acceso a insumos, auto suficiencia alimentaria y variación del ingreso proveniente de los cultivos de un año al otro.

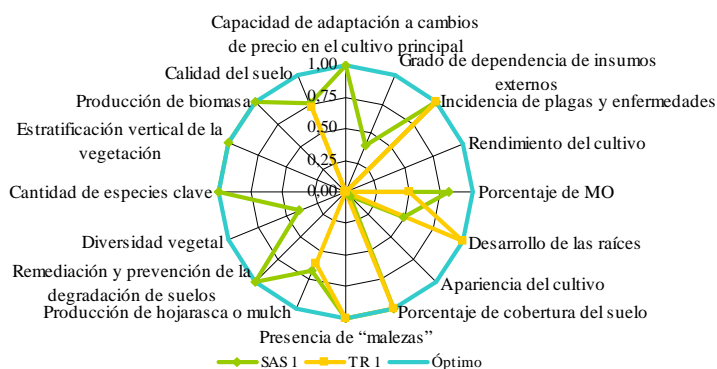
### **3.13 Dimensión ecológica**

La dimensión ecológica, al igual que la dimensión económica y sociocultural, presenta diferencias significativas entre los sistemas evaluados. En los párrafos siguientes se presentan los resultados obtenidos para los seis sistemas evaluados.

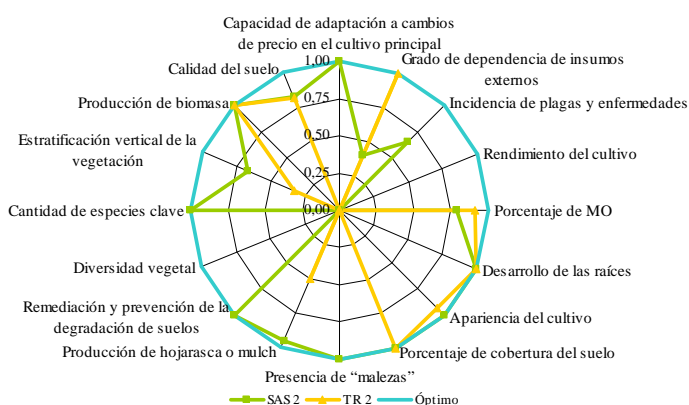
En la figura 7 se observa que en el SAS, 11 indicadores superan el umbral y en el sistema TR seis indicadores se encuentran por encima de dicho valor. Por otro lado, en el SAS cuatro indicadores necesitan medidas correctivas inmediatas porque pueden poner en riesgo la sostenibilidad del sistema en los atributos de auto dependencia, productividad y resiliencia. Dichos indicadores son el grado de dependencia de insumos externos, rendimiento del cultivo principal, apariencia del cultivo y diversidad vegetal. En cambio, en el sistema TR nueve indicadores no superan el umbral de sostenibilidad.

Así también se identificaron tres indicadores que necesitan medidas preventivas a corto plazo: desarrollo de las raíces, producción de hojarasca o mulch y calidad del suelo. Dichos indicadores podrían poner en riesgo los atributos de estabilidad y

productividad del sistema. En su contraparte TR, también tres indicadores cuentan con valores dentro del rango de 0,5 y 0,75.



**Figura 7:** Indicadores de sostenibilidad ecológica en los sistemas de tres años de edad



**Figura 8:** Indicadores de sostenibilidad ecológica en los sistemas de cinco años de edad

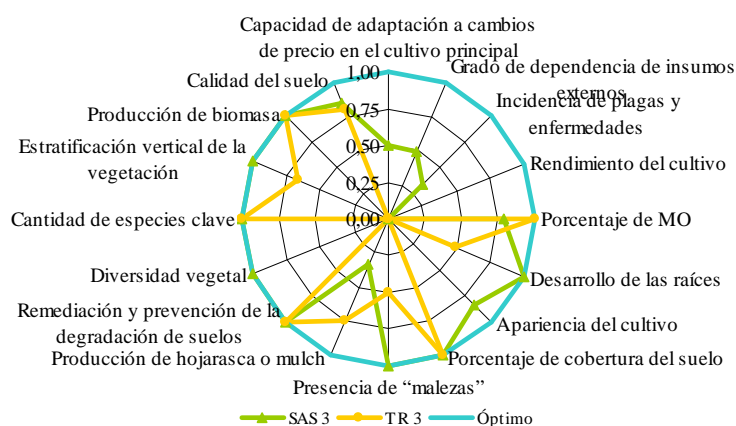
El índice de sostenibilidad agregado para la presente dimensión es de 0,71 y 0,40 para el SAS y sistema TR respectivamente. De acuerdo con estos valores, el SAS es más sostenible ecológicamente que el sistema TR. Sin embargo, se deben tomar las medidas correspondientes para asegurar su sostenibilidad.

En el caso de los sistemas de cinco años de edad, las diferencias en la dimensión ecológica son significativas como se puede apreciar en la figura 8. En el SAS, 13 indicadores superan el umbral de sostenibilidad y en el sistema TR siete indicadores superan dicho valor.

Por otro lado, tres indicadores en el SAS necesitan medidas correctivas inmediatas: grado de dependencia de insumos externos, rendimiento del cultivo principal y diversidad vegetal. Dichos indicadores afectan la sostenibilidad de la productividad, auto dependencia y resiliencia del sistema. En el sistema TR, ocho indicadores se encuentran por debajo del umbral.

Así mismo, se identificaron dos indicadores en el SAS que necesitan medidas preventivas, ya que afectan los atributos de estabilidad y resiliencia. Dichos indicadores son: incidencia de plagas y enfermedades y estratificación vertical de la vegetación. En su contraparte TR se identificó un indicador que necesita medidas preventivas: producción de hojarasca o mulch.

El índice agregado de sostenibilidad para la presente dimensión es de 0,77 y 0,45 para el SAS y el sistema TR respectivamente. Valores que demuestran que el SAS es más sostenible ecológicamente que el sistema TR. Sin embargo, se deben tomar las medidas correspondientes para asegurar dicha sostenibilidad.



**Figura 9:** Indicadores de sostenibilidad ecológica en los sistemas de nueve años de edad

En los sistemas de nueve años de edad, el SAS presenta 11 indicadores con valores mayores al umbral de sostenibilidad. Mientras que el sistema TR presenta ocho indicadores sobre dicho valor. Por otro lado, tres indicadores en el SAS necesitan medidas preventivas a corto plazo: capacidad de adaptación a cambios de precio en el cultivo principal, grado de dependencia de insumos externos y acceso a insumos. En su contraparte TR, cinco indicadores necesitan de dichas medidas.

Así también, se identificaron tres indicadores en el SAS que precisan de medidas correctivas inmediatas porque se encuentran por debajo del umbral: incidencia de plagas y enfermedades, rendimiento del cultivo y producción de hojarasca. Dichos indicadores

limitan la estabilidad, productividad y resiliencia del sistema. Bajo la misma categoría se identificaron en el sistema TR seis indicadores.

El índice de sostenibilidad agregado para la presente dimensión es de 0,73 y 0,49 para el SAS y sistema TR respectivamente. Dichos valores muestran que el SAS es más sostenible ecológicamente que el sistema TR. No obstante, se deben tomar medidas correctivas y preventivas en los indicadores que así lo necesitan, de lo contrario se pone en riesgo la sostenibilidad del sistema.

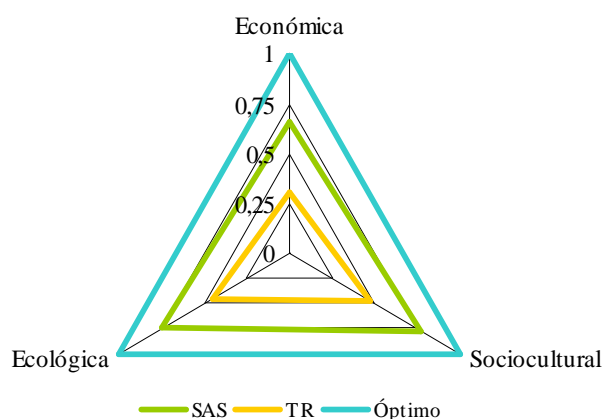
### 3.14 Conclusión dimensión ecológica

En todos los casos evaluados, los SAS son más sostenibles ecológicamente que los sistemas TR. El índice de sostenibilidad promedio para la dimensión ecológica es de 0,74 y 0,45 para los SAS y sistemas TR respectivamente. Lo que demuestra que la AS es más sostenible ecológicamente que el sistema TR. Sin embargo, existen indicadores que pueden poner en riesgo dicha sostenibilidad.

Los indicadores que necesitan atención inmediata son: grado de dependencia de insumos externos, rendimiento del cultivo y diversidad vegetal. Por otro lado, se deben tomar medidas preventivas en los indicadores: incidencia de plagas y enfermedades, apariencia del cultivo y producción de hojarasca o mulch.

### 3.15 Sostenibilidad de los sistemas

Durante el análisis de las dimensiones de la sostenibilidad se observaron diferencias significativas entre los sistemas evaluados. En todas las dimensiones los SAS presentaron índices agregados superiores a los sistemas TR. Dichos índices se encuentran por encima del umbral de sostenibilidad (0,5), mientras que en los sistemas TR no llegan a superarlo (Figura 10).



**Figura 10:** Sostenibilidad del SAS y del sistema TR

Como se puede apreciar, el SAS presenta un índice agregado para la dimensión económica de 0,66, para la sociocultural de 0,77 y para la ecológica de 0,74. Mientras que en el sistema TR, el índice agregado para la dimensión económica es de 0,30, para la sociocultural de 0,48 y para la ecológica de 0,45. Es por este motivo que existe una diferencia significativa entre el índice agregado promedio para el SAS y el sistema TR, 0,72 y 0,41 respectivamente.

Es en este sentido que la AS es la práctica agrícola más viable, económica, sociocultural y ecológicamente para la zona de Alto Beni. No obstante, tanto las familias agricultoras como las instituciones relacionadas con su gestión y difusión deben tomar medidas correctivas sobre aquellos indicadores que se encuentran por debajo del umbral de sostenibilidad. Así mismo, se deben tomar medidas preventivas en aquellos indicadores que podrían poner en riesgo la sostenibilidad del sistema en un corto plazo. Finalmente, se deben realizar actividades que permitan llevar a un nivel óptimo a aquellos indicadores que se encuentran próximos.

#### **4 Conclusiones y recomendaciones**

El presente estudio brinda una nueva metodología, basada en indicadores, para evaluar la sostenibilidad económica, sociocultural y ecológica de la AS en la zona de Alto Beni. Dicha metodología permite evaluar de manera sistémica, mediante la construcción de índices agregados, la sostenibilidad de la AS frente al sistema TR de la zona.

Se trata de una metodología efectiva de evaluación, que permitió determinar que la AS es más sostenible económica, sociocultural y ecológicamente que la agricultura TR, ya que cuenta con un índice agregado superior a nivel de sistema. Esto se debe a que presenta mayores beneficios en todos los niveles de agregación, es decir, a nivel de indicadores, atributos y dimensiones de la sostenibilidad.

Asimismo, se identificaron los puntos críticos, tanto positivos como negativos, que afectan la sostenibilidad de la AS. En lo que se refiere a los puntos críticos negativos, se identificaron aquellos que precisan de medidas correctivas inmediatas, al encontrarse por debajo del umbral de sostenibilidad. También, se identificaron los puntos críticos en los que se deben tomar medidas preventivas a corto plazo, ya que podrían poner en riesgo la sostenibilidad del sistema. Por otro lado, se identificaron los puntos críticos positivos del sistema, es decir, aquellos que favorecen su sostenibilidad al encontrarse próximos al valor óptimo. La identificación de puntos críticos concede la oportunidad, tanto a las instituciones relacionadas con la AS como a las familias agricultoras, de crear planes de acción a corto y largo plazo, con el fin de maximizar los beneficios de dicha práctica.

Por otro lado, se determinó un grupo de indicadores cualitativos y cuantitativos, que pueden ser fácilmente aplicados en estudios afines. Para cada indicador se establecieron valores de referencia, los cuales podrían convertirse en estándares de calidad para futuras investigaciones y prácticas agrícolas bajo contextos similares.

Debido a que la AS ha demostrado ser una práctica agroecológica sostenible, que cumple con los requerimientos del mercado de la certificación orgánica y con el objetivo de Alto Beni de convertirse en la “zona agroecológica de Bolivia”, se recomienda a las instituciones relacionadas con el desarrollo sostenible de la región en centrar sus esfuerzos en la promoción de dicha práctica. También, se recomienda que desarrollen planes de acción a corto, mediano y largo plazo, con el fin de asegurar su sostenibilidad.

Por otro lado, se recomienda la inclusión de la AS en las estrategias agrícolas nacionales, ya que al basarse en la SNE puede ser instalada en los diferentes pisos ecológicos del país. Así también el uso equivalente de la tierra es alto, lo que incide positivamente en la lucha contra la expansión de la frontera agrícola.

En el presente estudio se plantaron las bases para futuras investigaciones en SAS tanto a nivel de la Universidad Católica como en otras instituciones educativas. Por ejemplo, a inicios del presente año se iniciaron estudios sobre los servicios ambientales que prestan dichos sistemas y sobre su aporte de biomasa en cuanto a podas. Así también, se está elaborando una guía práctica para la evaluación de suelos en campo, destinada para el seguimiento de su calidad por parte de los/as técnicos/as de las distintas instituciones. Sin embargo, se ha visto la necesidad de realizar seguimientos en los sistemas evaluados con el objetivo de estudiar su evolución y validar la metodología empleada.

Las entidades nacionales, municipales y regionales relacionadas con el desarrollo sostenible deben impulsar la evaluación de los proyectos y programas agrícolas que se realizan en nuestro país, asegurando de esta manera que se efectúen aquellas que más beneficios económicos, socioculturales y ecológicos prestan.

## Referencias

- [1] Altieri Miguel A. y Nicholls C. Inés. 2002. “Sistema agroecológico rápido de evaluación de calidad de suelo y salud de cultivos en el agroecosistema de café”. Universidad de California, Berkeley, En *Agroecology in Action*, En <http://agroeco.org/doc/SistAgroEvalSuelo2.htm>, (17/07/05). Alvarez J. Marcelo. 2000. “Bolivia. Organización nacional para encarar las negociaciones agrícolas”. En *Seminario-taller. Negociaciones internacionales sobre agricultura, Montevideo-Ungava*, En [http://www.iadb.org/intal/foros/bolivia\\_janko\\_alvarez.pdf](http://www.iadb.org/intal/foros/bolivia_janko_alvarez.pdf), (17/07/05).
- [2] Apollin Frédéric y Eberhart Christophe. 1999. *Análisis y diagnóstico de los sistemas de producción en el medio rural. Guía metodológica. Módulo transversal*. Consorcio CAMEREN, Sistema de capacitación para el manejo de los recursos naturales renovables, Quito-Ecuador.
- [3] Atanacioh Octavio. 2000. *Validación agronómica de las parcelas agroforestales multiestrato en la zona del Alto Beni*. UMSA, La Paz-Bolivia.
- [4] Barber G. Richard. Julio 1999. “Estrategias y tecnologías para superar la degradación y mejorar la productividad de los suelos tropicales de Bolivia”. En



- Memorias del primer congreso Boliviano de la ciencia del suelo*, Artes Gráficas Sagitario, La Paz-Bolivia.
- [5] Bojanic Alan *et al.* 1994. *Demandas campesinas. Manual para un análisis participativo*. Embajada de los Países Bajos, La Paz-Bolivia.
- [6] Clavariás H. Ricardo. 2000. “Metodología para construir indicadores de impacto”, En *Revista: Evaluación de Impacto y Desarrollo Sostenible*, N° 67/2000, En <http://www.ciedperu.org/bae/bae67/b67a.htm>, (17/08/05).
- [7] Capacidad de Uso Mayor de la Tierra (CUMAT). 1985. *Capacidad de Uso Mayor de la Tierra. Proyecto Alto Beni*. USAID, COTESU, La Paz-Bolivia.
- [8] Geilfus Frans. 1997. *Ochenta herramientas para el Desarrollo Participativo: diagnóstico, planificación, monitoreo, evaluación*. Prochamate–IICA, San Salvador–El Salvador.
- [9] Instituto Nacional de Estadística (INE). 2004. *Anuario estadístico 2004*. INE, La Paz- Bolivia.
- [10] López M. Alejandro. 2001. *Asistencia técnica y capacitación en sistemas agroforestales tipo multiestratos*. ALADI, Montevideo-Uruguay.
- [11] López S. Arlene. 2005. *Enriquecimiento agroforestal de fincas cacaoteras con frutales valiosos en el Alto Beni, Bolivia*. Tesis sometida a consideración de la Escuela de Postgrado, Programa de Educación para el Desarrollo y la Conservación del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, como requisito para optar por el grado de: Magíster Scientiae en Agroforestería Tropical, CATIE, Turrialba-Costa Rica.
- [12] Masera Omar, Astier Martha y López-Ridaura Santiago. 2000. “El marco de evaluación MESMIS”. En Masera Omar y López-Ridaura Santiago, *Sustentabilidad y sistemas campesinos, cinco experiencias de evaluación en el México rural*. Grupo Interdisciplinario de Tecnología Rural Apropiada (GIRA A.C.), Programa Universitario de Medio Ambiente, Universidad Nacional Autónoma de México, Mundi Prensa México SA de CV, México.
- [13] Milz Joachim. 2005. *Sexto taller internacional en agroforestería sucesional. 13 de marzo al 20 de marzo 2005*. Ecotop S.R.L., Sapecho-Bolivia.
- [14] Ministerio de Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente (MDSMA). 1994. “Bolivia. Emisiones de gases de efecto invernadero y potencial de calentamiento según gas y actividad, 1994”. En: <http://www.mds.gov.bo/def/indicadores/Medio%20Ambiente/EmisiondeGasesdeEfectoInvernadero.htm>, (14/07/05).
- [15] Ministerio de Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente (MDSMA). 1997 *Mapa preliminar de erosión de suelo*. Centro de Información para el Desarrollo (CID), La Paz-Bolivia.

- [16] Müller Sabine. Octubre 1996. *¿Cómo medir la sostenibilidad? Una propuesta para el área de la agricultura y los recursos naturales*. Editorial IICA/BMZ-GTZ, San José-Costa Rica.
- [17] Münch Lourdes y Ángeles Ernesto. 1990. *Métodos y técnicas de investigación para administración e ingeniería*. 2<sup>da</sup> Edición, Editorial Trillas, México.
- [18] Obrador Pablo. 2002. *Informe de Evaluación de la Experiencia Multiestrato. Periodo de evaluación marzo - septiembre 2002*. DED/IIAB, Alto Beni-Bolivia
- [19] PIAF (Programa de Implementaciones Agroecológicas y Forestales)-El Ceibo. 2001. *Guía de especies forestales del Alto Beni*. s/e, Sapecho-Bolivia.
- [20] Pérez Grovas G. Victor. 2000. "Evaluación de sustentabilidad del sistema de manejo de café orgánico en la unión de ejidos Majomut región de los Altos de Chiapas". En Masera Omar y López-Ridaura Santiago, *Sustentabilidad y sistemas campesinos, cinco experiencias de evaluación en el México rural*. Grupo Interdisciplinario de Tecnología Rural Apropiada (Gira A.C.), Programa Universitario de Medio Ambiente, Universidad Nacional Autónoma de México, Mundi Prensa México SA de CV, México.
- [21] Quelca L. Abraham. Julio 2003. *Propuesta de estudios de caso en las percepciones y valoración de los productores cacaoteros del Alto Beni sobre el sistema agroforestal sucesional multiestrato. Periodo de valoración agosto - septiembre 2003*. Proyecto de Modernización de la Cacaocultura Orgánica del Alto Beni, UMSA, Sapecho-Bolivia.
- [22] Rist Stephan y San Martin Juan. 1991. *Agroecología y saber campesino en la conservación de suelos*. AGRUCO, Ediciones RUNA, Cochabamba-Bolivia.
- [23] Rojas M. et al. 2003. *Tasa de deforestación de Bolivia 1993-2000*. BOLFOR, Superintendencia Forestal, Editorial El País, Santa Cruz-Bolivia.
- [24] Simon Sandrine. 2003. "Sustainability indicators". En *Online Encyclopaedia of Ecological Economics*, International Society for Ecological Economics IICA, En <http://www.ecoeco.org/publica/encyc.htm>, (13/08/05).
- [25] Somarriba Eduardo y Trujillo Luisa. 2005. "El proyecto de modernización de la cacaocultura orgánica del Alto Beni, Bolivia". En *Agroforestería en las Américas*, Nº 43 - 44, CATIE, Costa Rica
- [26] Superintendencia Agraria. 2002. "Estado de Recursos Naturales". En <http://www2.entelnet.bo/si-a/pres3.asp.htm>, (15/08/05).
- [27] Vega J. Milton M. 2005. *Planificación agroforestal participativa para el enriquecimiento de fincas cacaoteras orgánicas con especies leñosas perennes útiles, Alto Beni, Bolivia*. Tesis sometida a consideración de la Escuela de Postgrado, Programa de Educación para el Desarrollo y la Conservación del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, como requisito para optar al grado de Magister Scientiae, CATIE, Turrialba-Costa Rica.

- [28] Vicentelo E. Pilar. 2003. *Indicadores de desarrollo humano y su aplicación en el campo agroecológico*. Escuela para el Desarrollo, Fundación Agrecol Andes, IDMA, Ander Servicios Gráficos S.R.L., Lima-Perú.