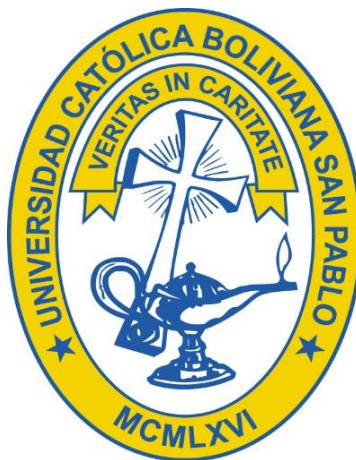


UNIVERSIDAD CATÓLICA BOLIVIANA “SAN PABLO”

UNIDAD ACADÉMICA REGIONAL COCHABAMBA

Departamento de Ingeniería y Ciencias Exactas

Carrera de Ingeniería Ambiental



Diseño de una metodología para evaluar Sistemas Agroforestales en zonas secas dentro del Proyecto Isabel – Modulo Pairumani

Tesis de Licenciatura en Ingeniería Ambiental

Friederich Herbert Antonio Wilkes Montellano

Cochabamba – Bolivia

Febrero – 2013

TRIBUNAL EXAMINADOR

PhD. José Sánchez Ponce

Profesor Guía

Ing. Mauricio Azero A.

Profesor Relator

Ing. Mauricio Azero A.

Director de Carrera

Mgr. Alfonso Vía Reque

Rector Regional

A mi hija Nadjenska...

A mis padres Emma y Herbert...

A mis hermanos Jerylee, Claus y Demelza...

AGRADECIMIENTOS

A mi padre y a mi madre, por el apoyo incondicional, gracias por estar siempre ahí.

A Nadjenska, mi hija adorada, gracias por ser la hermosa niña que eres y alegrarme cada minuto que pasamos juntos.

A mis hermanos, gracias por la paciencia y apoyo.

A Mauricio Azero por siempre guiarme en la dirección correcta y por el apoyo siempre brindado.

Al Dr. Sanchez por dirigir con sus aportes, comentarios y consejos esta investigación en el camino correcto.

A Paola Castellón y Rubén Medrano, por el apoyo siempre abierto y caluroso, les agradezco mucho.

A Xabier Rodríguez, por dar las pautas iniciales para poder realizar esta investigación.

Índice

Índice de tablas	vi
Índice de Figuras	viii
Introducción	1
Antecedentes	2
Descripción del problema	7
Objetivos	8
Objetivo general	8
Objetivos específicos	8
Justificación	9
Alcance y Límites	11
1. Marco Teórico	12
1.1 Sostenibilidad y Desarrollo sostenible.....	12
1.2 Marco Institucional de Desarrollo Sostenible.....	13
1.3 Dimensiones de la sostenibilidad.....	14
1.3.1 Las 3 dimensiones de sostenibilidad	15
1.3.1.1 Dimensión económica	15
1.3.1.2 Dimensión social.....	16
1.3.1.3 Dimensión ambiental.....	16
1.4 Evaluación de la sostenibilidad.....	17
1.4.1 Metodología usadas para evaluar Sistemas Agroforestales.....	17
1.4.1.1 Modelos de simulación de Sistemas Agroforestales	18
FALLOW (Forest, Agroforest, Low-value Landscape Or Wasteland?) ¿Bosque,	
Agroforestería, Paisaje de Bajo valor o Tierra no utilizable?	19
WaNuLCAS: Agua, Nutrientes y Captura de Luz en Sistemas Agroforestales	19
Agricultural Production Systems Simulator (APSIM).....	20
Criteria and Indicator Modification Tool (CIMAT)	21
Forest Land-Oriented Resource Envisioning System (FLORES).....	21
HyPAR	22
Soil Changes under Agroforestry (SCUAF).....	22

Bio-economic Rubber Agroforestry Model (BRASS).....	22
1.4.1.2 Bases de datos	23
Akt 5 – Agroecological Knowledge Toolkit	23
World Overview of Conservation Approaches and Technologies (WOCAT)...	23
1.4.1.3 Métodos basados en criterios e indicadores.....	24
Framework of Evaluating Sustainability of Land Management (FELSM).....	25
Marco para la Evaluación de Sistemas de Manejo de recursos naturales incorporando Indicadores de Sustentabilidad (MESMIS)	26
Response-Inducing Sustainability Evaluation (RISE)	27
Método de indicadores de sustentabilidad para ecosistemas en general.....	28
1.5 Indicadores de sostenibilidad.....	29
1.5.1 Indicadores de la dimensión económica.....	30
1.5.2 Indicadores de la dimensión social.....	30
1.5.3 Indicadores de la dimensión ambiental	31
1.6 Definición de criterios e indicadores	32
1.6.1 Condiciones requeridas para la selección de indicadores, criterios y verificadores.....	33
Camino y Müller (1993) afirman que la cantidad ideal de indicadores de sostenibilidad es de 6 a 8, por el contrario, Daniel (2000) sugiere el uso de 105 indicadores para la evaluación de la sostenibilidad de SAF. López (2001) emplea 10 indicadores agregados para la evaluación de sistemas agroforestales, y Moura (2002) usa 15 indicadores agregados para evaluar la sostenibilidad	35
1.6.2 Criterios para la evaluación de la sostenibilidad de SAF	35
Los criterios adoptados para la evaluación de la sostenibilidad son:.....	35
1.7 Agricultura sostenible	36
1.7.1 Elementos de la agricultura sostenible	37
1.7.1.1 Agricultura mixta	37
1.7.1.2 Cultivos múltiples	37
1.7.1.3 Rotación de cultivos.....	37
1.7.1.4 Agroforestería	38
1.8 Agroforestería en zonas secas	38

1.8.1	<i>Sistemas Agroforestales aplicables a zonas secas y semiáridas.....</i>	39
1.8.1.1	<i>Sistemas con arreglo linear.....</i>	39
1.8.1.1.1	<i>Cercas vivas.....</i>	39
1.8.1.1.2	<i>Cultivo en callejones (Alley Cropping)</i>	39
1.8.1.1.3	<i>Cortinas rompevientos</i>	40
1.8.1.1.4	<i>Sistema Taungya.....</i>	40
1.8.1.1.5	<i>Árboles asociados a estructuras de conservación de suelos.....</i>	41
1.8.1.1.6	<i>Árboles en barreras vivas</i>	41
1.8.1.1.7	<i>Barreras complementadas con muros de piedra</i>	41
1.8.1.2	<i>Sistemas deliberados.....</i>	42
1.8.1.2.1	<i>Cultivos bajo cubierta arbórea</i>	42
1.8.1.2.2	<i>Animales y pastos bajo cubierta arbórea</i>	42
1.8.1.2.3	<i>Pastoreo en bosques naturales</i>	42
1.8.1.2.4	<i>Pastoreo en plantaciones forestales para madera</i>	43
1.8.1.2.5	<i>Praderas con árboles o arbustos forrajeros en la pradera</i>	43
1.8.1.2.6	<i>Sistemas integrados mixtos con árboles forrajeros o multipropósito para corte</i>	43
1.8.1.2.7	<i>Huertos familiares</i>	43
2.	Marco Referencial	45
2.1	<i>Características de la zona de estudio</i>	45
2.1.1	<i>Ubicación geográfica.....</i>	45
2.1.2	<i>Clima y precipitación.....</i>	45
2.2	<i>Granja Modelo Pairumani.....</i>	46
2.3	<i>Línea base para la instalación de sistemas agroforestales en 5 parcelas piloto pertenecientes a la zona semiárida de Cochabamba (Vinto y Quillacollo)</i>	46
2.3.1	<i>Estudios de caso.....</i>	46
2.3.1.1	<i>Amalia Ascuy</i>	48
2.3.1.2	<i>Sonia Ibáñez</i>	49
2.3.1.3	<i>Gelmy Viloma</i>	49
2.3.1.4	<i>E.T. Sayarinapaj.....</i>	50
2.3.1.5	<i>Hogar Zapatito.....</i>	50

2.3.2	<i>Especies implementadas</i>	52
2.3.3	<i>Tecnologías agroforestales implementadas</i>	53
3	Metodología	54
3.1	Identificar una metodología que permita evaluar Sistemas Agroforestales en zonas secas desde un punto de vista económico, social y ambiental.....	54
3.1.1	<i>Criterios de selección base</i>	54
3.1.2	<i>Matriz de toma de decisión de metodologías</i>	57
3.2	<i>Definir criterios e indicadores económicos, sociales y ambientales que mejor se ajusten a las condiciones de la zona seca y adaptarlos a las necesidades específicas del Proyecto ISABEL</i>	58
3.2.1	<i>Definición y selección de indicadores</i>	58
3.2.2	<i>Selección de categorías, elementos y descriptores para la evaluación de SAF</i> 60	
3.2.3	<i>Índices de sostenibilidad y Gráficos Radar</i>	63
3.3	<i>Aplicación y validación del modelo propuesto para evaluar Sistemas Agroforestales en zonas secas en las parcelas modelos instaladas y análisis de resultados</i>	67
4	Resultados y discusión	68
4.1	<i>Matriz de toma de decisión de metodologías</i>	68
4.2	Definición y selección de indicadores para la evaluación económica, social y ambiental de Sistemas Agroforestales	73
4.2.1	<i>Indicadores propuestos para la dimensión ambiental</i>	74
4.2.2	<i>Indicadores propuestos para la dimensión social (IDS)</i>	87
4.2.3	<i>Indicadores propuestos para la dimensión económica (IDS)</i>	94
4.3	Aplicación y validación de la metodología en las parcelas modelos instaladas por el Proyecto ISABEL	101
4.3.1	<i>Gráficos Radar según parcela SAF</i>	104
4.3.2	<i>Índices de sostenibilidad de los 5 estudios de caso</i>	107
4.3.2.1	<i>Índice de sostenibilidad para la dimensión ambiental para los 5 estudios de caso</i>	108

4.3.2.2 Índice de sostenibilidad para la dimensión social para los 5 estudios de caso	109
---	-----

4.3.2.3 Índice de sostenibilidad para la dimensión económica para los 5 estudios de caso	111
--	-----

5. Conclusiones y Recomendaciones	113
Conclusiones	113
Recomendaciones	113
6. Bibliografía	115
Gráfico Radar para la parcela de Amalia Ascuy.....	136
Gráfico Radar para la parcela de Sonia Ibáñez	138
Gráfico Radar para la parcela de Gelmy Vargas	140
Gráfico Radar para la parcela de E.T. Sayarinapaj	142
Gráfico Radar para la parcela de Hogar Zapatito	144

Índice de tablas

Tabla 1	Localización de las parcelas de estudio	47
Tabla 2	Características de las parcelas donde se implementaron los SAF's	48
Tabla 3	Características principales de las parcelas de Amalia Ascuy	48
Tabla 4	Características principales de las parcelas de Sonia Ibáñez	49
Tabla 5	Características principales de las parcelas de Gelmy Viloma	49
Tabla 6	Características principales de las parcelas de E.T. Sayarinapaj	50
Tabla 7	Características principales de las parcelas del Hogar Zapatito.....	51
Tabla 8	Estudios de caso vs. uso agrícola.....	51
Tabla 9	Especies implementadas	52
Tabla 10	Tecnología agroforestal implementada por estudio de caso.....	53
Tabla 11	Matriz de decisión	57
Tabla 12	Comparación de las metodologías de evaluación de agroecosistemas.....	61
Tabla 13	Matriz de toma de decisión Modelos de simulación	69
Tabla 14	Indicadores de la dimensión ambiental	75
Tabla 15	Verificador 1.1 Contenido de materia orgánica.....	76
Tabla 16	Verificador 1.2 Contenido de nitrógeno	77
Tabla 17	Verificador 1.3 Contenido de fósforo.....	77
Tabla 18	Verificador 1.4 pH.....	78
Tabla 19	Verificador 2.1 Agua de esorrentía.....	78
Tabla 20	Verificador 3.1 Riqueza de especies	79
Tabla 21	Verificador 3.2 Riqueza de especies acompañantes	80
Tabla 22	Ecuación alométricas para especies no-leñosas.....	81
Tabla 23	Verificador 4.1 Cuantificación de biomasa arbórea	81
Tabla 24	Verificador 5.1 Género y SAF.....	82
Tabla 25	Verificador 6.1 Marcas de erosión	83
Tabla 26	Verificador 6.2 Cobertura vegetal	84
Tabla 27	Verificador 7.1 Introducción de especies exóticas	84
Tabla 28	Verificador 7.2 Estratos en el SAF	85
Tabla 29	Verificador 7.3 Número de variedades del cultivo principal.....	86

Tabla 30	Verificador 7.4 Especies proveedoras de subproductos	86
Tabla 31	Indicadores de la dimensión social.....	87
Tabla 32	Verificador 8.1 Linderos y delimitaciones	88
Tabla 33	Verificador 9.1 Proporción de cultivos anuales y perennes	89
Tabla 34	Verificador 10.1 Proporción de sistemas vecinos bien manejados	89
Tabla 35	Verificador 10.2 Proporción de linderos con funciones ambientales	90
Tabla 36	Verificador 11.1 Prácticas de conservación de suelo	91
Tabla 37	Verificador 12.1 Conocimiento sobre SAF	92
Tabla 38	Verificador 12.2 Conocimientos técnicos aplicados al SAF	93
Tabla 39	Verificador 12.3 Uso de productos del SAF.....	93
Tabla 40	Verificador 13.1 Plan de manejo técnico.....	94
Tabla 41	Indicadores de la dimensión económica.....	95
Tabla 42	Verificador 14.1 Factibilidad económica del SAF	96
Tabla 43	Verificador 14.2 Reinversión de ingresos en el SAF	96
Tabla 44	Verificador 15.1 Acceso a mercados.....	97
Tabla 45	Verificador 15.2 Diversidad de productos.....	98
Tabla 46	Verificador 16.1 Personas y SAF	98
Tabla 47	Verificador 17.1 Retroalimentación institucional	99
Tabla 48	Verificador 17.2 Fomento por parte de instituciones	100
Tabla 49	Verificador 17.3 Demanda de subproductos	100
Tabla 50	Verificador 18.1 Nivel de satisfacción	101
Tabla 51	Fórmulas empleadas para el cálculo del índice de sostenibilidad	102
Tabla 52	Resultados según Indicador y Estudio de caso	105

Índice de Figuras

Figura 1.	Pilares del desarrollo sostenible	13
Figura 2.	Estructura metodológica para la definición de indicadores de sustentabilidad de sistemas en general	28
Figura 3.	Zonificación de las parcelas piloto donde se implementaron los SAF.....	45
Figura 4.	Estructura para clasificación de indicadores de sustentabilidad.....	59
Figura 5.	Gráfico tipo radar.....	64
Figura 1.	Gráfico radar del estado actual de las parcela de los 5 estudios de caso	106
Figura 2.	Índice de sostenibilidad de los 5 estudios de caso.....	107
Figura 3.	Índices de sostenibilidad de la Dimensión Ambiental según estudio de caso....	108
Figura 4.	Índices de sostenibilidad de la Dimensión Social según estudio de caso.....	110
Figura 5.	Índices de sostenibilidad de la Dimensión Económica según estudio de caso...	111
Figura 6.	Gráfico radar del estado actual de la parcela de Amalia Ascuy	137
Figura 7.	Gráfico radar del estado actual de la parcela de Sonia Ibáñez	139
Figura 8.	Grafico radar del estado actual de la parcela de Gelmy Vargas	141
Figura 9.	Grafico radar del estado actual de la parcela de la E.T. Sayarinapaj	143
Figura 10.	Gráfico radar del estado actual de la parcela del Hogar Zapatito.....	145

RESUMEN

En zonas áridas, los agricultores han integrado árboles con cultivos agrícolas por generaciones como una estrategia para lidiar con las pérdidas en la producción agrícola causadas por sequías. Durante los periodos de sequía y hambruna, los árboles proveen de forraje, combustible y frutas para diversos usos del diario vivir, además que adicionalmente mejoran el estado de la vegetación y diversifican los ingresos de las fincas.

En países de clima templado, los Sistemas Agroforestales (SAF) son utilizados principalmente por las siguientes razones: diversidad de ingresos, influencia benéfica en la calidad del suelo y el agua, reducción de la erosión por el agua y el viento, mayor productividad por unidad de superficie en comparación con un mono cultivo.

Como una iniciativa de la Red Espacio Compartido en Sistemas Agroforestales (ECO-SAF) se inicia con el *“Proyecto de investigación en adaptación al cambio climático y seguridad alimentaria: Desarrollo de sistemas de huertos familiares intensivos y orgánicos en un entorno agroforestal en la zona semiárida andina boliviana (Norte de Potosí y Valle Central de Cochabamba)”*, con el objetivo de promover el desarrollo, bajo una metodología participativa, de sistemas agroforestales como una estrategia de adaptación a los cambios climáticos, en tres pisos agroecológicos del Norte de Potosí y el Valle Central de Cochabamba, que combinen especies leñosas, que mejoren la estabilidad del sistema, con especies anuales producidas bajo los principios de un método biointensivo, que permitan la producción de alimentos para el consumo o la comercialización.

La presente investigación pretende proponer una metodología para evaluar sistemas agroforestales en zonas secas que contemple la dimensión social, ambiental y económica instalados dentro del Proyecto ISABEL, la cual puede ser replicada bajo condiciones similares y según las especificaciones del Proyecto ISABEL.

Se investigó las metodologías empleadas para evaluación de sistemas agroforestales (sistemas de simulación, bases de datos y metodologías basadas en criterios e indicadores), y se analizó

que metodología mejor se adapta a las condiciones locales. Esto llevó a la propuesta de una metodología de evaluación mediante encuestas de campo del estado de las parcelas.

Palabras clave: sistema agroforestal, agroforestería, uso y manejo del suelo, indicadores de sostenibilidad, árboles frutales y árboles acompañantes, zona semiárida, índices de sostenibilidad y gráficos radar.

ABSTRACT

In arid areas, farmers have integrated trees with agricultural crops for generations as a strategy to deal with the losses in agricultural production due to drought. During periods of drought and famine, the trees provide fodder, fuel and fruit for various uses in daily life, in addition to further improving the state of the vegetation and diversify farm income.

In temperate countries, agroforestry systems (AFS) are used mainly for the following reasons: income diversity, beneficial influence on the quality of soil and water, reducing erosion by water and wind, increased productivity by area unit as compared with a mono culture.

As an initiative of the Espacio Compartido en Sistemas Agroforestales (ECO-SAF) the "Research Project on climate change adaptation and food security: development of intensive organic gardens in agroforestry systems in the semi-arid Bolivian Andes (Northern Potosi and Central Valley of Cochabamba)", with the aim of promoting development in a participatory agroforestry systems as a strategy for adaptation to climate change in three agroecological zones of Northern Potosí and Central Valley of Cochabamba, combining woody species with annual species, to improve system stability, under the principles of Bio intensive production, allowing food production for consumption or marketing.

This research aims to propose a methodology for assessing dry land agroforestry systems that considers the social, environmental and economic installed within the project ISABEL, which can be replicated under similar conditions and based on specs of the ISABEL Project.

Methodologies used for evaluation of agroforestry systems (simulation systems, databases and methodologies based on criteria and indicators) were investigated and it was analyzed which methodology best suited to local conditions. This led to the proposal of an evaluation methodology through field surveys of the state of the plots.

Keywords: Agroforestry Systems, Agroforestry, Soil use and Management, Sustainability indicator, fruit trees and accompanying trees, semi arid, Sustainability indexes and Radar Charts.

Introducción

Las zonas secas se caracterizan por el agotamiento de la materia orgánica del suelo y la baja fertilidad consecuente, atribuida principalmente a la oxidación rápida de la materia orgánica, arrastre de tierra vegetal rica en nutrientes con el agua de escorrentía, escasa reincorporación de residuos de cosecha, y agricultura intensiva sin reposición de nutrientes a través de las fertilizaciones. Eventos climáticos adversos y sequías frecuentes dan como resultado el fracaso de los cultivos anuales. En las tierras a secano, donde la posibilidad de aumentar a más de una cosecha al año es remota, los sistemas de uso de la tierra con más de un componente tienen una clara ventaja. Esto condujo a la diversificación de los sistemas de uso de la tierra, tales como la adopción de la Agroforestería (Sharma *et al*, 2009).

En países de clima templado, los Sistemas Agroforestales (SAF) modernos son utilizados principalmente por las siguientes razones: diversidad de ingresos, influencia benéfica en la calidad del suelo y el agua, reducción de la erosión por el agua y el viento, mayor productividad por unidad de superficie en comparación con un mono cultivo. En países en vías de desarrollo, los Sistemas Agroforestales juegan un papel importante tanto para la producción de leña y madera, como otros productos de los árboles; en el futuro podría ser aún más importante en la medida en que disminuyan los suministros en los bosques naturales.

En la actualidad existe un creciente interés por la implementación, adopción y desarrollo de modelos de producción que incorporen el concepto de sustentabilidad, entendiendo a este último como la habilidad de un sistema a mantener la productividad, aun cuando sea sometido a perturbaciones (Conway, 1994). El concepto previo está relacionado a la Agroforestería ya que la misma a largo plazo promueve la calidad del medio ambiente y los recursos bases de los cuales depende, provee de bienes y servicios necesarios para el ser humano, es económicamente viable y mejora la calidad de vida de los agricultores y de la sociedad en su conjunto, además es un modo de agricultura que intenta proporcionar rendimientos sostenidos a largo plazo (American Society of Agronomy, 1989; Hansen, 1996; Altieri, 1999).

Los Sistemas Agroforestales pueden tomar un número casi infinito de diferentes formas, ya que tienen el potencial para incluir cualquiera de los cultivos, animales y especies de árboles utilizados en la agricultura y la silvicultura. Este enorme potencial y variabilidad de los SAF

permite satisfacer las necesidades de los agricultores bajo casi cualquier conjunto de condiciones ambientales, económicas y sociales. Al mismo tiempo, esta gran plasticidad y adaptabilidad de la Agroforestería hace que el diseño y evaluación de SAF sean muy complejos. Por tanto, la acumulación constante de datos e información sobre la agricultura, la silvicultura, agroforestería y manejo de recursos naturales, creó la necesidad de sintetizar, organizar y manipular este conocimiento cada vez mayor y facilitar su accesibilidad y uso para la educación, la investigación y la toma de decisiones, mediante el desarrollo de metodologías de evaluación que faciliten el análisis de la gran cantidad de datos obtenidos de las tecnologías y conocimientos aplicados en los Sistemas Agroforestales.

Antecedentes

La Conferencia de las Naciones Unidas sobre Medio Ambiente y Desarrollo (CNUMAD), llevada a cabo en Río de Janeiro en 1992 tuvo como tema central la caracterización del desarrollo sostenible, por lo que se creó la Agenda 21, la cual reconoció la necesidad de conciliar las funciones productivas de los bosques con su papel ecológico, mediante una nueva concepción de la gestión forestal promovida a nivel nacional y, también, a través de la cooperación internacional. Es por esto que muchos países están diseñando criterios e indicadores como estrategia nacional para el análisis y evaluación del estado de sus bosques. Así es el caso de las acciones emprendida por el Estado Boliviano desde el año 1997, en el cual se realizó la consulta boliviana sobre el Proceso de Tarapoto (Perú) sobre criterios e indicadores de sostenibilidad del bosque amazónico (MDSyMA, 1997). Mediante la propuesta que surgió de la Reunión de Tarapoto en febrero de 1995, el Tratado de Cooperación Amazónica colocó a la región amazónica en el centro del debate internacional en cuanto a criterios e indicadores de sostenibilidad para el desarrollo sostenible de los bosques de la región, integrando para ello la participación activa del Estado y de la sociedad civil.

El Grupo de Trabajo sobre Criterios e Indicadores para la Conservación y Manejo Sustentable de Bosques Templados y Boreales (Proceso de Montreal, Canadá), fue formado en junio de 1994 para avanzar en el desarrollo de criterios e indicadores aceptados internacionalmente, para la conservación y gestión sostenible de los bosques templados y boreales a nivel de cada nación participante. Los miembros originales del Grupo de Trabajo incluyó a 10 países:

Australia, Canadá, Chile, China, Japón, la República de Corea, México, Nueva Zelanda, la Federación de Rusia y los Estados Unidos de América, que en conjunto representan el 90 por ciento de las zonas templadas del mundo y los bosques boreales. Varias organizaciones internacionales, organizaciones no gubernamentales y gubernamentales, y de otros países también participaron en las reuniones del Grupo de Trabajo (CIFOR, 1999).

En febrero de 1995 en Santiago de Chile, los 10 países miembros originales del Proceso de Montreal emitieron la Declaración de Santiago que contiene un amplio conjunto de criterios e indicadores para su utilización por responsables políticos, administradores, funcionarios y público en general. Los Gobiernos de Uruguay y Argentina se adhirieron a la Declaración de Santiago en julio y octubre de 1995, respectivamente, aumentando el Proceso de Montreal a 12 países miembros.

En zonas áridas, los agricultores han integrado árboles con cultivos agrícolas por generaciones como una estrategia para lidiar con las pérdidas en la producción agrícola causadas por sequías. Durante los periodos de sequía y hambruna, los árboles proveen de forraje, combustible y frutas para diversos usos del diario vivir, además que adicionalmente mejoran el estado de la vegetación y diversifican los ingresos de las fincas.

Sistemas Agroforestales vienen siendo aplicados, instalados y usados desde hace muchos años en la zona entre Yucumo y Rurrenabaque en el Departamento del Beni, en la región de Colonización del Alto Beni, especialmente en la zona de Sapecho en el norte del Departamento de La Paz. La Interinstitucional Alto Beni, a través del componente Agroforestal, ha realizado diferentes implementaciones, estudios y prácticas de Sistemas Agroforestales en la zona, las cuales han tenido un impacto positivo en la economía de los agricultores, aportando a la seguridad alimentaria, diversificando sus ingresos y logrando la recuperación de suelos degradados y mejorando la calidad de los suelos y de vida útil de los mismos (Gruberg, 2007). Existe gran número de estudios realizados en zonas tropicales y subtropicales (Sudamérica, Centroamérica, África y Asia), pero existen pocos estudios en zonas semiáridas, como son las condiciones locales en el valle de Cochabamba.

Desde el año 2000, la Dra. Noemí Stadler-Kaulich viene aplicando y manejando Sistemas Agroforestales en sus predios de la zona de Mollesnejta del Valle de Cochabamba, con

resultados positivos. Stadler-Kaulich (2008), afirma que *“la experiencia de agroforestería sucesional ha dado resultados positivos, a pesar de las condiciones limitadas de clima, suelo, recurso agua y la restringida diversidad de las especies”*, además, que el *“desarrollo de diferentes especies en esta parcela muestra la ausencia de plagas y un mejor desarrollo que en un monocultivo”*. A su vez, logró recabar observaciones en relación a que la *“capa vegetal permanente protege el suelo de la intemperie y mantiene la humedad en el subsuelo por mayor tiempo”*.

La Escuela de Ciencias Forestales (ESFOR) de la Universidad Mayor de San Simón (UMSS) está desarrollando el estudio *“Componentes de la Vegetación Arbórea, Arbustiva y Regeneración Natural en Sistemas Agroforestales Sucesionales”* con el objetivo de generar conocimientos sobre la regeneración natural de distintas especies tanto arbóreas y arbustivas en Sistemas Agroforestales en la Comunidad de Combujo -Cochabamba. Dentro de este estudio, Amurrio en el año 2009, realiza su investigación de tesis en este tema, para lo cual analizó cada muestra e identificó las especies existentes dentro cada ensayo haciendo una clasificación por especies nativas y exóticas y las especies arbóreas y arbustivas, que tengan regeneración natural con el fin de conocer la influencia de un sistema agroforestal en la vegetación y la regeneración natural.

La Red ECO-SAF (Espacio Compartido en Sistemas Agroforestales), es una entidad creada en el año 2008, que busca promover la investigación y difusión de la práctica Agroforestal, como un sistema más biodiverso, sostenible y de menor impacto ambiental, que además permita lograr una producción agrícola más diversa y de mayor calidad. Sin embargo, estos sistemas requieren de mayor investigación, a fin de conocer en mayor profundidad su funcionamiento y complejidad, para poder adaptarlos a las diferentes regiones agroecológicas del país. Entre los miembros de ECO-SAF se encuentran la Universidad Católica Boliviana San Pablo, Unidad Académica de Cochabamba (a través de la Carrera de Ingeniería Ambiental), la Universidad Mayor de San Simón (a través de la Escuela de Ciencias Forestales), La Granja Modelo Pairumani (GMP) y la Fundación AGRECOL Andes, las cuales junto con muchas otras instituciones coordinan actividades dentro de la temática (ECO-SAF, 2010). La Red Espacio Compartido en Sistemas Agroforestales (ECO-SAF), determinó en el “Primer Congreso Nacional de Sistemas Agroforestales” llevado a cabo en septiembre de 2009 en la ciudad de

Cochabamba, la necesidad de sistematizar el conocimiento existente, la necesidad de mayor desarrollo de sistemas agroforestales en zonas secas y la necesidad de tecnología adaptada al contexto específico local de la zonas seca (ECO-SAF, 2010). El “Segundo Congreso Nacional de Sistemas Agroforestales” llevado a cabo en la Escuela de Ciencias Forestales de la Universidad Mayor de San Simón en la ciudad de Cochabamba entre el 23 y 25 de agosto del 2011, como una de sus conclusiones afirma, que *“la visión académica de las instituciones de formación superior sigue siendo lineal, vertical y reduccionista y prácticamente no se considera la investigación y enseñanza de sistemas agroforestales”*.

El *“Proyecto de investigación en adaptación al cambio climático y seguridad alimentaria: Desarrollo de sistemas de huertos familiares intensivos y orgánicos en un entorno agroforestal en la zona semiárida andina boliviana (Norte de Potosí y Valle Central de Cochabamba)”*, es una iniciativa de la Red Espacio Compartido en Sistemas Agroforestales (ECO-SAF) que pretende realizar la investigación y desarrollo de Sistemas Agroforestales en el Norte de Potosí y Valle de Cochabamba, con el fin de enriquecer el conocimiento a través de las experiencias generadas, las mismas que serán apropiadamente documentadas, sistematizadas y publicadas. Dentro de este proyecto macro, se implementó el proyecto de Investigación de Sistemas Agroforestales de Bolivia (ISABEL), en la zona de la Granja Modelo Pairumani, un centro de agricultura y ganadería biodinámica situada en la localidad de Vinto, Departamento de Cochabamba, Bolivia. El Proyecto ISABEL - Módulo Pairumani, comenzó con el proyecto agroforestal a mediados del año 2011 con la realización de una serie de talleres, en los cuales los participantes eran en su mayoría mujeres agricultoras con parcelas pequeñas, además de representantes de la Carrera de Agronomía de la Escuela Técnica Sayarinapaj y del Hogar Zapatito, un hogar para niños. Los objetivos del proyecto son el de promover el desarrollo, bajo una metodología participativa, de sistemas agroforestales como una estrategia de adaptación a los cambios climáticos, en tres pisos agroecológicos del Norte de Potosí y el Valle Central de Cochabamba, que combinen especies leñosas, que mejoren la estabilidad del sistema, con especies anuales producidas bajo los principios de un método biointensivo, que permitan la producción de alimentos para el consumo o la comercialización. Participan en este proyecto la Granja Modelo Pairumani (GMP), la Cooperación Alemana GIZ y la Cooperación Suiza INTERTEAM.

En marzo de 2012, Sara Griffith publica la investigación titulada *“El Hombre Es Tierra que Anda: Investigaciones de comunidad, género, y conocimiento ancestral en la implementación de sistemas agroforestales con familias rurales en el Departamento de Cochabamba, Bolivia”*, investigación que analiza las experiencias de tres agricultoras quienes están participando en el Proyecto ISABEL - Módulo Pairumani, teniendo como resultados que el papel de la mujer como innovadora es esencial, ya que ellas son las que van a los talleres e implementan las técnicas nuevas en la parcela (Griffith, 2012). Además, Griffith afirma que aprovechando las redes que existen dentro de la familia y la comunidad, sería posible difundir los sistemas agroforestales en gran escala, reforzar estas mismas redes, revalorizar la agricultura sostenible y el conocimiento ancestral, y garantizar la soberanía alimentaria y la preservación del medio ambiente para las generaciones venideras.

Desde Agosto del 2012, Helene Coppens viene realizando una investigación cualitativa sobre los conocimientos, actitudes y prácticas de los agricultores de las comunidades La Maica y Huerta Mayu del Municipio de Tarata, lugar en el cual la red ECO-SAF está desarrollando un proyecto de Agroforestería. Por este motivo, ha aplicado encuestas tanto a los tres agricultores integrantes del proyecto y a los vecinos, con el fin de captar las percepciones sobre el proyecto agroforestal en curso, ya que según Coppens, *“los resultados permitirán entender mejor la manera de pensar y los conocimientos de los agricultores sobre el sistema agroforestal y para que podamos entender si el proyecto en la base está adaptado a los conocimientos y a las prácticas de los agricultores”*. Así mismo, Coppens afirma, que los resultados generados, permitirán determinar donde faltan conocimientos, lo que podrá permitir desarrollar de mejor manera el proyecto en relación con las expectativas y las necesidades de los agricultores. Coppens analizará los resultados aplicando la metodología CAP para ver si los tres componentes de esta metodología tienen lógica en el pensamiento de los agricultores y analizará los mismo para determinar las carencias en el entendimiento de los agricultores sobre el proyecto agroforestal, para poder así desarrollar de manera más adecuada con las prácticas de la región (Coppens, 2012).

Descripción del problema

La pérdida de la capacidad productiva de los suelos, ocasionada por malas prácticas agrícolas, lleva a una degradación de los suelos y dependencia del agricultor a intensificar el uso de insumos cada vez más costosos. La degradación de los suelos tiene efectos negativos sobre la sostenibilidad agrícola: existe cada vez menor producción de biomasa, la productividad de los cultivos disminuye, existe elevada pérdida de nutrientes y materia orgánica, menor humedad en el suelo y menor actividad biológica, perturbando los procesos naturales del suelo. Estos problemas llevan a buscar alternativas para controlar, remediar y aplicar medidas sostenibles para recuperar la pérdida de la capacidad productiva de los suelos agrícolas de los valles interandinos de Cochabamba (ECO-SAF, 2010).

Si bien los Sistemas Agroforestales (SAF) han sido estudiados bajo diversos aspectos, estos estudios han sido realizados en zonas tropicales, y no así en zonas semiáridas, para estas últimas no existen parámetros ni criterios, como tampoco se han desarrollado metodologías apropiadas para la evaluación de la sostenibilidad de los mismos. La sustentabilidad es un concepto complejo, ya que pretende cumplir con varios objetivos en forma simultánea que involucran dimensiones productivas, ecológicas o ambientales, sociales, culturales y económicas. Es por esto que no existe una metodología precisa que permita realizar la evaluación de SAF en zonas semiáridas, lo que provoca una ausencia de datos para la toma de decisiones.

A escala mundial, se han realizado actividades de monitoreo y evaluación de Sistemas Agroforestales sucesionales y convencionales en zonas tropicales, en los cuales se han aplicado criterios e indicadores para determinar las condiciones de sostenibilidad de los sistemas implementados. Estos emprendimientos sirven como base comparativa para las futuras acciones que se implementaran en las zonas secas y que se podrán evaluar según los resultados obtenidos de la presente investigación.

Rodríguez (2012), realizó la implementación de sistemas agroforestales (SAF's) y la elaboración de la línea base (conjunto de principales indicadores ecológico-ambientales y económico-productivos) en 5 parcelas piloto, pertenecientes a los municipios de Vinto y Quillacollo de la provincia de Quillacollo del departamento de Cochabamba. Esta

investigación tuvo como resultado la creación de una base de datos, que sirvió para conocer las condiciones en las que se encontraban las 5 parcelas piloto. Por otro lado, la investigación de Rodríguez engloba un conjunto de indicadores que pueden ser usados como base para investigación agroforestales posteriores en la zona semiárida boliviana.

Esto hace necesario, el desarrollo de un método para poder evaluar la sostenibilidad de los sistemas instalados en zonas semiáridas, el cual pueda ser replicado y sirva como base para un análisis temporal de los Sistemas Agroforestales implementados en las 5 parcelas piloto y en zonas similares.

La presente investigación pretende por tanto proponer una metodología para evaluar SAF en zonas secas que contemple la dimensión social, ambiental y económica. Esto llevará a la propuesta de un modelo de Gestión Agroforestal para las zonas secas, la cual podrá ser replicada bajo condiciones similares y según las especificaciones del Proyecto ISABEL.

Objetivos

Objetivo general

- Plantear una metodología para la evaluación económica, social y ambiental de Sistemas Agroforestales en zonas secas en parcelas modelo dentro del Proyecto ISABEL

Objetivos específicos

- Identificar una metodología que permita evaluar Sistemas Agroforestales en zonas secas desde un punto de vista económico, social y ambiental.
- Definir indicadores económicos, sociales y ambientales que mejor se ajusten a las condiciones de la zona seca y adaptarlos a las necesidades específicas del Proyecto ISABEL.
- Aplicar y validar la metodología en las parcelas modelo instaladas por el Proyecto ISABEL.

Justificación

En el marco del “*Proyecto de investigación en adaptación al cambio climático y seguridad alimentaria: Desarrollo de sistemas de huertos familiares intensivos y orgánicos en un entorno agroforestal en la zona semiárida andina boliviana (Norte de Potosí y Valle Central de Cochabamba)*” ejecutado por la Red ECO-SAF, se inició el año 2011 con el Proyecto de Investigación en Sistemas Agroforestales (ISABEL), el cual pretende realizar investigación y desarrollo de Sistemas Agroforestales en el Norte de Potosí y el Valle de Cochabamba, con el fin de enriquecer el conocimiento a través de las experiencias generadas, las cuales serán apropiadamente documentadas, sistematizadas y publicadas. Para cumplir con los objetivos planteados dentro del Proyecto ISABEL, se planteó la evaluación del desarrollo de los sistemas implementados, utilizando indicadores agronómicos, ecológicos, sociales y económicos (ECO-SAF, 2010). Para lo cual el proyecto necesita realizar la evaluación específica de las siguientes componentes:

En la dimensión ambiental:

- Productividad física de productos de consumo y venta
- Producción parcial y total de biomasa del sistema
- Fijación de carbono en los sistemas productivos (biomasa y suelos), evaluación individual de las especies y del sistema
- Adaptación y desempeño de las especies vegetales locales e introducidas
- Eficiencia en el aprovechamiento del agua del sistema
- Potencial para el mejoramiento de las propiedades ecológicas (énfasis en el suelo y la biodiversidad)

En las dimensiones social y económica:

- Uso de recursos, economía, autonomía del sistema

- Grado de adopción y apropiación por parte de productores
- Rentabilidad parcial del sistema durante el período de estudio

En el marco del Proyecto ISABEL, Rodríguez (2012), identificó en talleres realizados previos a la realización de la línea base (conjunto de principales indicadores ecológico-ambientales y económico-productivos) para el seguimiento de los principales indicadores en 5 parcelas piloto pertenecientes a los municipios de Vinto y Quillacollo, que el sector agrícola de estos municipios poseen una excesiva parcelación, agricultura basada en el monocultivo, prácticas inapropiadas en el manejo del suelo y del agua, así como una elevada vulnerabilidad de los suelos debido a las características biofísicas y climáticas presentes localmente, lo que conlleva a la degradación de suelos de las parcelas y a una gran inseguridad alimentaria.

La implementación de Sistemas Agroforestales, la elaboración de la línea base y los datos y resultados obtenidos por Rodríguez (2012) en las 5 parcelas piloto en la zona de Vinto y Quillacollo, generó información que permitió conocer la situación inicial al momento de instalación de las parcelas agroforestales, una base de datos de los árboles plantados, el uso y manejo del recurso suelo, las prácticas agrícolas implementadas, la disponibilidad del recurso agua y la ideología de cada uno de los estudios de caso.

Por tanto, existe la necesidad de realizar el desarrollo de criterios e indicadores para analizar Sistemas Agroforestales dentro de las dimensiones económico, social y ambiental, evaluar el estado y características de los mismos, para así poder cumplir con las medidas internacionales sobre conservación y manejo sostenible de bosques de zonas secas y de los bosques de los andes tropicales, además de cumplir con las metas metodológicas propuestas en el Proyecto ISABEL.

La metodología propuesta como resultado del presente trabajo, servirá para evaluar la sostenibilidad de parcelas agroforestales en tres pisos agroecológicos del Norte de Potosí y Valle de Cochabamba en zonas secas; todas dentro de las especificaciones del Proyecto ISABEL, bajo criterios de sostenibilidad económica, social y ambiental, basándose en las experiencias colectadas por investigaciones previas realizadas en relación a la sostenibilidad y

evaluación de sistemas agroforestales a nivel mundial, regional y local, así como en las experiencias previas adquiridas en las cinco parcelas piloto.

Este modelo al ser adaptado en base a metodologías existentes y las características y condiciones locales, podrá ser usado para la evaluación de parcelas implementadas bajo condiciones parecidas en las zonas semiáridas. Esto servirá para fortalecer el grado de conocimiento de los sistemas implementados y optimizar la toma de decisiones para evaluar la rentabilidad y sustentabilidad socio-económica y ecológica-ambiental de los sistemas agroforestales implementados en estas zonas.

Alcance y Límites

La presente investigación se limitó a plantear una metodológica para la evaluación económica, social y ambiental de parcelas Agroforestales en zonas secas, la cual a su vez será validada en las 5 parcelas piloto previamente instaladas por Rodríguez (2012) dentro del Proyecto ISABEL.

Los indicadores encontrados y la metodología propuesta, servirán para realizar un análisis y evaluación de parcelas Agroforestales en diversos puntos de la zona seca del país dentro de la dimensión económica, social y ambiental. Por lo tanto, la metodología propuesta responderá a los objetivos del Proyecto ISABEL y representará una herramienta para evaluar SAF's implementados en los tres pisos ecológicos del Norte de Potosí y el Valle de Cochabamba, y podrá ser aplicada para la evaluación de SAF instalados en otras zonas secas del país y otras regiones con condiciones similares.

La toma de datos, se realizará en las 5 parcelas piloto, los agricultores participantes, así como a los técnicos y asesores del proyecto ISABEL, en base a la metodología propuesta y la presente investigación se llevará a cabo en los meses de agosto hasta diciembre de 2012, siendo la Granja Modelo Pairumani (GMP) el principal financiador de la presente investigación.

1. Marco Teórico

1.1 Sostenibilidad y Desarrollo sostenible

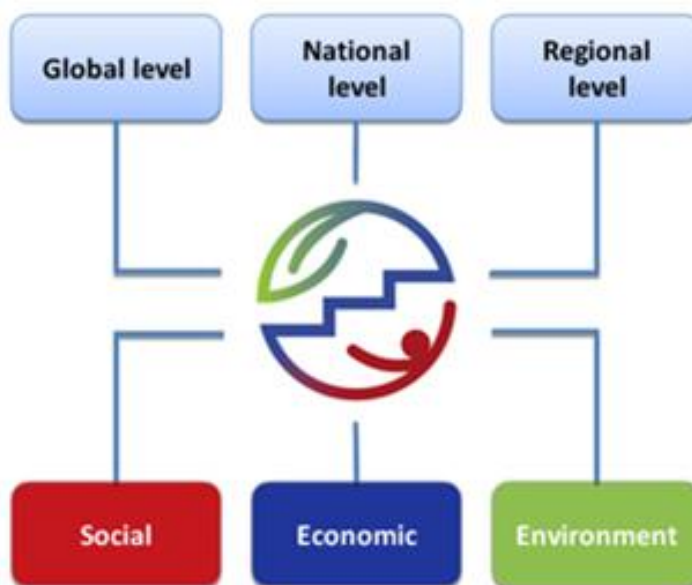
El termino sostenibilidad fue usado por primera vez en 1713 por Hans Carl von Carlowitz en relación al manejo de bosques y desde 1952 fue aplicado a la economía. El término *desarrollo sostenible* aparece por primera vez en 1980 en la publicación de World Conservation Strategy y en el estudio Global 2000: Time to Act (USDA, 1990). Brundtland (1987), define el desarrollo sostenible como *“un desarrollo que satisface las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades”*. Esta definición representa en cierta manera un compromiso diplomático y una fórmula consensuada, para compatibilizar los conflictos generados por las divergentes metas entre la preservación del medio ambiente y el desarrollo económico, sobre todo en países en vías de desarrollo. Por otro lado, Harwood (1990), define la agricultura sostenible como *“un sistema que puede evolucionar indefinidamente hacia una mayor utilidad humana, una mayor eficiencia en el uso de los recursos y el equilibrio con el medio ambiente que sea favorable para la mayoría de los seres humanos y otras especies”*. El concepto de sostenibilidad ha ganado popularidad y se ha empleado en política, investigación, economía y estudios sociales con diferente enfoque.

A grandes rasgos, la sostenibilidad se encuentra en oposición al uso irracional y sobreexplotación de recursos y describe un uso leve y responsable de recursos, que se encuentra orientado a futuras generaciones y futuro desarrollo. Esta mentalidad fue influenciada por la publicación “Los límites al crecimiento” del Club de Roma (Meadows, 1972), una institución científica internacional. Por tanto, el concepto de sostenibilidad o bien sustentable, describe el uso de un sistema biológico de tal manera, que este sistema mantenga sus características esenciales a largo plazo y sus valores iniciales puedan regenerarse de manera natural. Se refiere al equilibrio de una especie con los recursos de su entorno. En forestería, se aplica a la explotación de un recurso por debajo del límite de renovación del mismo, es decir, el manejo y uso de bosques bajo aspectos ecológicos, económicos y sociales. Además, la sostenibilidad se basa en la sostenibilidad ecológica, económica y social.

1.2 Marco Institucional de Desarrollo Sostenible

La Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo (CNUMAD, 1992) comúnmente conocida como la Conferencia de Río o Cumbre de la Tierra, fue un gran éxito en el aumento de la conciencia pública sobre la necesidad de integrar el medio ambiente y el desarrollo. En el proceso preparatorio de la Cumbre de Río en 1992, hubo una serie de propuestas de reforma institucional para hacer frente a los desafíos del desarrollo sostenible. En la CNUMAD se adoptaron una serie de acuerdos importantes, entre ellos la Declaración de Río, la Agenda 21, y las Convenciones de Río (CDB, UNCCD, UNFCCC). También se crearon nuevas instituciones internacionales, entre ellas la Comisión sobre el Desarrollo Sostenible, encargada con la tarea de dar seguimiento a la Conferencia de Río, lo que condujo a la reforma del Fondo para el Medio Ambiente Mundial.

Figura 1. Pilares del desarrollo sostenible



Fuente: (CNUMAD, 2012)

El concepto de los tres pilares que se refuerzan mutuamente del desarrollo sostenible, fue incorporado en el Plan de Aplicación de Johannesburgo de 2002 y la necesidad de fortalecer el Marco Institucional para el desarrollo sostenible (International Framework for Sustainable Development, IFSD) se aborda en el Capítulo XI. El desarrollo sostenible fue reconocido como un objetivo primordial de las instituciones en los planos nacional, regional e internacional. El Plan de Aplicación de Johannesburgo destacó la necesidad de mejorar la

integración del desarrollo sostenible en las actividades de todos los organismos pertinentes de las Naciones Unidas, programas y fondos, y las instituciones financieras internacionales, dentro de sus mandatos. La discusión del Marco Institucional para el desarrollo sostenible abarca también el papel de las instituciones que comprenden los pilares económico y social, por ejemplo, teniendo en cuenta la intensificación de esfuerzos para cerrar la brecha entre las instituciones financieras internacionales y los bancos multilaterales de desarrollo, y el resto del sistema de las Naciones Unidas (CNUMAD, 2002).

1.3 Dimensiones de la sostenibilidad

El enfoque de la sostenibilidad es la protección del medio ambiente natural, la responsabilidad social y el desempeño económico, que no se considera por separado pero si estrechamente unidos para proteger los medios de vida. Montibeller (2004), basándose en los requisitos del desarrollo sostenible ecológico definido por Sachs, destaca cinco dimensiones del desarrollo sostenible: social, económico, ecológico, espacial y cultural. Daly y Gayo (1995, citado por Lopes, 2001) se relacionan tres aspectos como constituyentes de la sostenibilidad: lo ecológico, económico y social. El primero se refiere al mantenimiento de las características esenciales para la supervivencia del ecosistema a largo plazo. El segundo se refiere a la gestión adecuada de los recursos naturales a fin de posibilitar el mantenimiento de la actividad económica. El tercero, considera la distribución adecuada de los costos y beneficios entre los individuos de la población actual (equidad intrageneracional) y entre esta generación y futuras.

Daniel (2000), afirma que los conceptos del desenvolvimiento sustentable o la sostenibilidad envuelven relaciones sociales, económicas y ambientales. Moura (2002), enumerando varios autores, identifica una cantidad variada de posibilidades en la composición de la sostenibilidad, por ejemplo, las cinco dimensiones (socioculturales, técnicas, agronómicas, económicas, ecológicas y político institucionales), identificadas en el trabajo realizado por Darolt (2000), o según el enfoque de Costabeber (1989), la sostenibilidad abarca aspectos económicos, sociales, ecológicos, geográficos y tecnológicos. O la combinación de seis aspectos, según lo propuesto por Carvalho (1994) en Moura (2002): económico, sociológico, ambiental, político, cultural e institucional, o como Camino y Müller (1993), que afirman la

necesidad de tener en cuenta la justicia social, la viabilidad económica, la sustentabilidad ambiental, la democracia, la solidaridad y la ética.

Sin embargo, Marzall y Almeida (1998), citado por Moura (2002), afirma que en lo que respecta a la sostenibilidad, es esencial que se consideren mínimamente las dimensiones económica, ambiental y social.

Por lo tanto, basándose en la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN) (1980), Brundtland (1987), algunos autores como Sachs (1993) y Montibeller (2004), asumen que la sostenibilidad de cualquier sistema que involucre tanto seres humanos como agroecosistemas, asume el uso racional y equitativo de los recursos, garantizando la disponibilidad de recursos para las generaciones futuras, siempre con el objetivo de mejorar las condiciones de vida de las comunidades. Así mismo, se entiende que, como afirman Moura (2002) y Marzall y Almeida (1998) en Moura (2002), la promoción de la sostenibilidad en lo ambiental, económico y social en forma conjunta es condición esencial para el desarrollo sostenible a largo plazo.

1.3.1 Las 3 dimensiones de sostenibilidad

1.3.1.1 *Dimensión económica*

Los agroecosistemas sostenibles, desde el punto de vista económico, son aquellos que presentan una producción rentable y estable a lo largo del tiempo, haciendo el uso eficiente de los recursos naturales y económicos, sin desperdicio (Masera et al. 1999, Rigby y Cáceres, 2001).

Estos agroecosistemas deben ser robustos para enfrentar choques y dificultades socioeconómicos y ambientales, adaptables a estos cambios, así como capaces de recuperarse de estos, manteniendo su productividad (Masera et al. 1999). En este sentido, el grado de dependencia externa de la producción puede jugar un rol importante en la sostenibilidad de los sistemas. Según Conway (1998), la dependencia hacia recursos externos (tales como fertilizantes sintéticos y herbicidas) puede significar altos costos al productor y vulnerabilidad de la producción, principalmente porque los productores no pueden controlar los cambios en los precios o en el acceso a los insumos externos a la finca.

1.3.1.2 Dimensión social

Complementariamente, desde la perspectiva social, los agroecosistemas deben poseer un nivel aceptable de dependencia a insumos y recursos externos, para poder controlar las interacciones con el exterior y responder a los cambios, sin poner en riesgo la continuidad de la producción. Deben buscar una división justa y equitativa de los costos y beneficios brindados por el sistema entre las personas o grupos involucrados (Rigby y Cáceres, 2001) y preocuparse por el rescate y protección del conocimiento tradicional sobre prácticas de manejo adaptadas a las condiciones ecológicas y socioeconómicas locales (Masera et al. 1999).

1.3.1.3 Dimensión ambiental

Desde el punto de vista ambiental, un agroecosistema puede aumentar su sostenibilidad si el manejo que se realiza en el mismo conlleva a la optimización de los procesos naturales de los ecosistemas, tales como: 1) Disponibilidad y equilibrio del flujo de nutrientes, lo que depende del suministro continuo de materia orgánica y de prácticas que aumenten la actividad biológica del suelo; 2) Protección y conservación de la superficie del suelo, a través de prácticas de manejo que minimicen la erosión y que conserven el agua y la capacidad productiva del el suelo; 3) Preservación y conservación de la biodiversidad, la cual puede ser lograda con la diversificación de la composición de especies y con el aumento de la complejidad del arreglo estructural y temporal en el sistema. 4) Adaptabilidad y complementariedad en el uso de los recursos, lo que implica en el uso de variedades adaptadas a las condiciones edafoclimáticas locales y que respondan a un manejo bajo en insumos externos (Masera *et al.* 1999, Rigby y Cáceres, 2001, Altieri 1999).

Riechmann (2003) reporta que para lograr la sostenibilidad ambiental es imprescindible que las tasas de explotación de los recursos renovables sean iguales a las tasas de regeneración de estos recursos. Las tasas de emisión de residuos deben ser iguales a la capacidad natural de asimilación de los ecosistemas a los que se emiten esos residuos (lo cual implica emisión cero de residuos no biodegradables). Además, deben ser impulsadas las tecnologías que minimicen el uso de insumos no renovables (Rigby y Cáceres, 2001, Ronchi *et al.* 2002) y aumenten la productividad de los recursos frente a las tecnologías que incrementan la cantidad extraída de los mismos.

1.4 Evaluación de la sostenibilidad

Medición de la sostenibilidad es un término que denota las medidas utilizadas como base cuantitativa para la gestión informada de la sostenibilidad. Las métricas utilizadas para la medición de la sostenibilidad (que implica la sostenibilidad de los sectores ambientales, sociales y económicos, tanto individualmente como en combinaciones diversas) están aún en evolución: entre ellos, indicadores, metas, auditorías, índices, así como la evaluación de sistemas y otros informes. Se aplica sobre una amplia gama de escalas espaciales y temporales. Algunas de las medidas de sostenibilidad más conocidas y utilizadas más ampliamente, incluyen informes de sostenibilidad empresarial, la contabilidad Triple Bottom Line, y las estimaciones de la calidad de la gestión sostenible de los países individuales utilizando el Índice de Sostenibilidad Ambiental y el Índice de Desempeño Ambiental.

Para Brunett (2004), la evaluación de la sustentabilidad, tiene que enfocarse en identificar y calificar las interacciones entre los componentes social, natural y productivo del sistema, a fin de reconocer y modificar y/o fortalecer condiciones que influyen negativa o positivamente en la dinámica del agro ecosistema. Para lo cual, según la literatura, se pueden usar diferentes métodos que permiten cuantificar y parametrizar la sustentabilidad. Algunos ejemplos son el Factor Total de Productividad (Harrington, 1992), además se pueden usar modelos de simulación (De Wit 1993 y Harrington, 1992) y se realiza el diseño de indicadores (De Camino, 1992; Dumansky *et al.*, 1998; Masera *et al.*; 1999 y Torres, 1999 en Harrington, 1992).

El uso de los indicadores se centra en realizar descripciones detalladas de las funciones, las interacciones y los elementos que permiten la viabilidad de los procesos productivos del agroecosistema, permitiendo identificar las debilidades y las fortalezas del mismo. Con esto, al final es posible proponer alternativas de mejoramiento de los sistemas evaluados (Masera *et al.*, 1999 en Brunett, 2004).

1.4.1 Metodología usadas para evaluar Sistemas Agroforestales

El éxito en el diseño de sistemas agroforestales depende de la capacidad de unir conjuntos de información muy diversos y grandes al mismo tiempo (factores biofísicos, económicos y

sociales) y luego sintetizar esta información a través de escalas espaciales desde la parcela hacia el paisaje. La Agroforestería, por su propia naturaleza, crea sistemas complejos, con impactos que van a nivel de parcela o nivel de práctica hasta niveles que pueden afectar el paisaje y zonas más grandes (Ellis et al, 2004).

Las herramientas de apoyo a la decisión ayudan a sintetizar la amplia gama de información y ofrecen un enfoque holístico para la evaluación de los sistemas y los problemas de gestión de recursos, además que ayudan a integrar la información para facilitar el proceso de toma de decisiones, que rigen el desarrollo, la aceptación, la adopción, y los aspectos de gestión de la agroforestería (Schmoldt y Rauscher 1996).

1.4.1.1 Modelos de simulación de Sistemas Agroforestales

Estas herramientas basadas en sistemas computacionales incluyen bases de datos, sistemas de información geográfica, modelos de simulación, sistemas basados en el conocimiento o Sistemas Expert, y sistemas "híbridos" de soporte de decisiones nacidos de la unión de uno o más de los sistemas anteriores (Muetzelfeldt y Sinclair, 1993; Ellis et al, 2004)

Los modelos de simulación basados en computadoras traducen los datos y la información en una forma matemática a través del uso de algoritmos para representar el "proceso" de un mundo real o "sistema" y pronosticar los resultados de los diferentes escenarios. En el ámbito de los campos relacionados con el medioambiente y los recursos naturales, estos modelos tratan de representar matemáticamente los procesos ecológicos (Skidmore, 2002).

En este grupo de metodologías, se encuentran modelos computacionales de análisis de SAF desarrollados por centros de investigación en agroforestería que trabajan tanto a nivel mundial como a nivel local en todos los continentes.

Dentro de los modelos de simulación de sistemas agroforestales se pueden encontrar (ICRAF, 2012; Sarandon, 2002):

- FALLOW (Forest, Agroforest, Low-value Landscape Or Wasteland?)
- WaNuLCAS: Agua, Nutrientes y Captura de Luz en Sistemas Agroforestales
- Agricultural Production Systems Simulator (APSIM)

- Criteria and Indicator Modification Tool (CIMAT)
- Forest Land-Oriented Resource Envisioning System (FLORES)
- HyPAR
- Soil Changes under Agroforestry (SCUAF)
- Bio-economic Rubber Agroforestry Model (BRASS)

A continuación se describe cada uno de los modelos citados:

FALLOW (Forest, Agroforest, Low-value Landscape Or Wasteland?) ¿Bosque, Agroforestería, Paisaje de Bajo valor o Tierra no utilizable?

Modelo de dinámica del paisaje, que puede ser utilizado para la evaluación de impacto y de estudios de escenarios. Este modelo ayuda al proceso de negociación entre las partes interesadas en un cambio de paisaje, mediante la visualización de posibles o probables consecuencias de diversos factores tales como cambios en los precios de los productos básicos, la densidad poblacional y migración humana, la disponibilidad de nuevas tecnologías, la zonificación espacial de uso del suelo, la presión de plagas y enfermedades, y el clima (World Agroforestry Center, 2012).

WaNuLCAS: Agua, Nutrientes y Captura de Luz en Sistemas Agroforestales

El modelo **WaNuLCAS** (World Agroforestry Center, 2012) fue desarrollado para representar las interacciones árbol-suelo-cultivo en una amplia gama de sistemas agroforestales, donde los árboles y los cultivos se superponen en el espacio y/o tiempo. El modelo puede ser utilizado para explorar interacciones positivas y negativas de diferentes combinaciones de árboles, cultivos, suelo, clima y gestión, por parte del agricultor y cuenta con dos partes:

- WaNuLCAS Excel, donde se consignan la mayoría de los datos incluyendo clima, datos de suelo y parámetros de cultivos y de árboles, y
- Archivo WaNuLCAS.stm/STELLA, el entorno donde se realizan las simulaciones, incluyendo el crecimiento de los árboles y de los cultivos, el uso del agua y otros aspectos del sistema.

La fortaleza del modelo radica en que sirve como herramienta de integración para la información de diferentes estudios observacionales, obteniendo así predicciones racionales para formular nuevos escenarios. La combinación de WaNuLCAS con mediciones de flujo de savia, tomadas con una tecnología de bajo costo desarrollada por ICRAF, puede ayudar a ilustrar el impacto del uso del agua por los árboles a nivel de paisaje (World Agroforestry Center, 2012).

Agricultural Production Systems Simulator (APSIM)

APSIM ha sido concebido como una plataforma de simulación multi-propósito. En un principio, los modelos de cultivos se han desarrollado para hacer frente a decisiones riesgosas de manejo de cultivos frente a la variabilidad climática. El modelo de crecimiento de la planta simulada y el desarrollo del cultivo en respuesta a estímulos ambientales (agua, temperatura, radiación solar, nutrientes) con el objetivo último de estimar el rendimiento del material cosechable de un cultivo comercial de la manera más precisa posible. El corazón de estos modelos es la relación entre el rendimiento de los cultivos y diversos insumos (condiciones climáticas, tales como la radiación lluvia, la temperatura y la energía solar, los nutrientes, y las intervenciones de gestión, tales como el riego o la fertilización), que puede o no puede verse afectada por los residuos de cultivos dejados en la superficie del suelo a partir de un cultivo anterior. Estos residuos pueden afectar a la escorrentía superficial, la temperatura del suelo, la superficie de evaporación, y la humedad del suelo y así muchos procesos que contribuyen al crecimiento del cultivo y rendimiento, así como afectar al estado del medio ambiente en el que se realiza el cultivo crecido. Aquí es donde la necesidad de la buena ciencia surge de modo que el modelo simula los procesos de manera adecuada y precisa, asegurando para que sean fácilmente computables y los resultados absolutamente creíbles. Permite configurar flexiblemente modelos de cultivos, pasturas, arboles, suelos, agua, nutrientes y erosión para simular diversos sistemas de producción, simular los procesos biofísicos en los sistemas agrícolas, en particular en lo que se refiere a los resultados económicos y ecológicos de las prácticas de gestión en la cara de los riesgos climáticos (McCown, 1996; Apsim.info, 2012).

Criteria and Indicator Modification Tool (CIMAT)

Es un programa informático diseñado para ayudar a modificar, personalizar y adaptar la plantilla genérica de C & I del CIFOR y los sets de C & I de CIFOR para plantaciones industriales, bosques administrados por el CIFOR, Organización Internacional de las Maderas Tropicales, Forest Stewardship, Consejo de la Organización Africana de la Madera y el Instituto de eco-etiquetado de Indonesia para cumplir con las condiciones y las expectativas locales.

La metodología (CIFOR; 2012) se basa en la adaptación de criterios e indicadores prediseñados, mediante método interactivo de filtrado y generación de criterios e indicadores que consiste en:

- i. identificar set adecuado de criterios e indicadores,
- ii. evaluación y adaptación de los criterios e indicadores,
- iii. aplicación de los criterios e indicadores; determinación de un índice de sostenibilidad por el programa CIMAT.

Todo se basa en directrices para desarrollar, probar y seleccionar Criterios e Indicadores para el manejo Forestal Sostenible del CIFOR. Los Criterios e indicadores ponen en práctica la metodología de análisis multicriterio (MCA) para cualquier régimen en particular, que evalúa biodiversidad funcional o sustentabilidad en los sistemas agroforestales. CIMAT determina el Índice de Manejo Sostenible (IMS), el cual se somete a Análisis Multi variable (AMV) vía análisis estadístico (CIFOR, 1999).

Forest Land-Oriented Resource Envisioning System (FLORES)

Flores es un modelo para ayudar a explorar las consecuencias a escala de paisaje de las políticas y otras iniciativas dirigidas a influir en el uso del suelo en el desarrollo tropical. Su objetivo es proporcionar una plataforma accesible para fomentar la colaboración interdisciplinaria entre los investigadores y administradores de recursos, y para facilitar las pruebas empíricas de la hipótesis y proposiciones de otros.

FLORES tiene como objetivo mejorar nuestra comprensión de los patrones de uso de la tierra en el tiempo y el espacio, especialmente en los paisajes forestales, y para facilitar el análisis cuantitativo de las opciones de política destinadas a manipular a estos patrones.

FLORES es espacialmente explícito, y opera a escala de paisaje, que abarca tanto los bosques y tierras agrícolas. Las tierras agrícolas y los pueblos forman un componente esencial del paisaje, y debe ser el modelo para comprender plenamente los procesos que intervienen en y cerca del bosque. Toma ámbitos socio-económicos y ecológicos, visualiza escenarios posibles de cambio de uso de suelo y cambios de políticas. Personas sin conocimiento pueden usar el modelo para explorar escenarios de uso de suelo y cambios en la políticas combinar los aspectos biofísicos (cultivos, árboles, etc.) con las actividades socio-economía y la toma de decisiones a nivel del hogar (Simulistics, 2012).

HyPAR

Modelo biofísico que combina modelos forestales y agrícolas y los integra con datos climáticos, hidrológicos, captura de luz, competencia de nutrientes y agua y procesos de captura de carbono en SAF. El software no se encuentra actualmente a disposición (Ellis, 2004).

Soil Changes under Agroforestry (SCUAF)

Modelo de recirculación de nutrientes que predice cambios en las condiciones del suelo bajo diferentes SAF, basándose en parámetros del medio biofísico, uso y manejo de la tierra, crecimiento de las plantas y procesos planta-suelo, el cual es usado para evaluación ambiental de SAF usados para investigación y desarrollo de proyectos (World Agroforestry Center, 2012).

Bio-economic Rubber Agroforestry Model (BRASS)

Modelo bioeconómico para analizar la performance física y financiera de SAF basándose en modelos biométricos y económicos de árboles y cultivos. Exclusivo para modelación de sistemas agroforestales con *Hevea brasiliensis* (Griess *et al*, 1998).

1.4.1.2 Bases de datos

Esta herramienta de soporte a las decisiones consiste en una base de datos (una colección lógicamente coherente de datos) y un componente de gestión de base de datos (sistema de software), que permite a un usuario definir, crear y mantener una base de datos (Mata-Toledo y Cushman 2000 en Ellis, 2004).

Las bases de datos aplicables a SAF más usadas son:

- Akt 5 – Agroecological Knowledge Toolkit
- World Overview of Conservation Approaches and Technologies (WOCAT)

A continuación se describen las bases de datos citadas:

Akt 5 – Agroecological Knowledge Toolkit

Desarrollado por la Universidad de Gales, Bangor, el programa AKT5 permite almacenar el conocimiento local en una base de datos que facilita las búsquedas electrónicas y el razonamiento. El programa consiste en el almacenamiento de enunciados unitarios de conocimiento, por medio de una gramática especial. Los enunciados son formados a partir de 3 elementos básicos: “objetos”, “procesos” y “acciones”. La descripción y vinculación de estos elementos se hace a través de enunciados causales, de atributo-valor, de comparación o de vínculo.

El conocimiento es generado a través de entrevistas semiestructuradas con muestra estratificada de informantes creación de bases de conocimiento que componen los registros formales de conocimiento local que puede ser flexiblemente consultados y usados por el personal de investigación y extensión (World Agroforestry Center, 2012).

World Overview of Conservation Approaches and Technologies (WOCAT)

WOCAT ha desarrollado un marco ampliamente aceptado para la documentación, seguimiento, evaluación y difusión del conocimiento SLM, que abarca todas las etapas de recopilación de datos, a una base de datos y utilizar la información para toma de decisiones.

WOCAT herramientas proporcionan un método único, ampliamente aceptada y estandarizada de la aplicación.

El método usado por WOCAT consiste en llenar:

- i. cuestionarios para la documentación y la evaluación de las tecnologías de MST y enfoques (estudios de casos) - con módulos de temas globales como la pobreza, la desertificación, el cambio climático, la biodiversidad
- ii. una base de datos global para el almacenamiento, búsqueda e intercambio de las prácticas de MST
- iii. una escala independiente de la herramienta de mapeo para la evaluación local y regional de la degradación y el MST (en colaboración con LADA / FAO y la UE DESIRE)
- iv. una herramienta de apoyo a la decisión para la selección y aumento de escala de las mejores prácticas identificadas (en colaboración con la UE-DESIRE)

A través de la colecta de datos referidos a sistemas agrícolas, de conservación de agua y suelo y enfoques de desarrollo se reúnen informaciones sobre el esparcimiento espacial de la degradación y conservación de suelos, las ventajas y desventajas socio-económicas y ecológicas así como las razones para la adopción o rechazo de medidas de conservación por parte de los usuarios locales. La información recopilada es finalmente ingresada en una base de datos central y se almacena. En la forma de manuales, mapas y en formato digital, estos registros se harán disponibles a nivel mundial, lo que apoya en la Gestión del Conocimiento y Apoyo de Decisiones para la Gestión Sostenible de la Tierra (WOCAT, 2012).

1.4.1.3 Métodos basados en criterios e indicadores

Los criterios e indicadores son herramientas para ayudar a determinar los efectos de las intervenciones debido al manejo de los sistemas productivos en el tiempo, y para facilitar la toma de decisiones en los procesos de gestión de los mismos. El objetivo final de estas herramientas es promover la mejora de las prácticas de manejo en el tiempo, y para promover el desarrollo de un sistema más sano y más productivo.

Los criterios definen los elementos esenciales con los cuales se juzga la sostenibilidad de la gestión, en este estudio, de la gestión agroforestal, prestando la debida consideración a las funciones ambientales, económicas y socio-culturales de los sistemas implementados y los ecosistemas circundantes. Cada criterio se define mediante indicadores, los cuales son monitoreados periódicamente. Los cambios en los indicadores entre períodos indican si un sistema se está moviendo hacia o alejándose de la sostenibilidad.

Las metodologías más empleadas en la evaluación de la sostenibilidad de sistemas agroforestales son:

- Framework of Evaluating Sustainability of Land Management (FELSM)
- Marco para la Evaluación de Sistemas de Manejo de recursos naturales incorporando Indicadores de Sustentabilidad (MESMIS)
- Response-Inducing Sustainability Evaluation (RISE)
- Método de indicadores de sustentabilidad para ecosistemas en general

A continuación se detallan las metodologías en base a criterios e indicadores citadas:

Framework of Evaluating Sustainability of Land Management (FELSM)

El método FESLM promovido por la FAO a nivel internacional (FAO, 1993) combina aspectos tecnológicos, políticas y actividades destinadas a integrar principios socioeconómicos con preocupaciones ambientales para simultáneamente:

- Aumentar o mantener la relación producción/servicio: *Productividad*.
- Reducir el nivel de riesgo de producción: *Seguridad*.
- Proteger la calidad y el potencial de los recursos naturales y prevenir la degradación del suelo y el agua: *Protección*.
- Ser económicamente viable: *Viabilidad*.
- Ser socialmente aceptable: *Aceptabilidad*.

Este método de Evaluación de la Sustentabilidad (FAO, 2001) considera:

- Usos definidos de la tierra.

- Estar relacionado con áreas específicas de tierra.
- Estar relacionado con una estructura de tiempo definida.
- La evaluación se realiza en términos relevantes para el contexto físico, biológico, económico y social de las áreas correspondientes.
- La evaluación está basada en procedimientos y datos científicos y válidos, y en la elección de Criterios e Indicadores de Sustentabilidad que reflejan tanto el entendimiento de las causas como el de los síntomas.

Marco para la Evaluación de Sistemas de Manejo de recursos naturales incorporando Indicadores de Sustentabilidad (MESMIS)

El MESMIS, se deriva del Marco para la Evaluación del Manejo Sustentable de la Tierra (Framework for Evaluation of Sustainable Land Management, FESLM) desarrollado por Dumansky et al. (1998), que a su vez es resultado de una revisión crítica de las propuestas metodológicas de evaluación de sustentabilidad que se habían seguido en la agricultura (Masera et al., 1999).

De acuerdo con Masera *et al.*, (1999), el MESMIS es una herramienta metodológica que permite evaluar la sustentabilidad de un sistema de manejo de recursos naturales, con especial énfasis en los productores campesinos.

Se afirma que por su versatilidad, el MESMIS puede adecuarse al estudio de cualquier tipo de sistema de producción, dadas sus cualidades: a) Estructura cíclica, ya que utiliza una serie de pasos los cuales llevan a una primera fase para volver a evaluar al sistema, b) Flexibilidad para adaptarse a diferentes niveles de información y capacidades técnicas, c) Enfoque participativo, ya que promueve la discusión y retroalimentación entre evaluados y evaluadores.

Las modificaciones más importantes que plantea el MESMIS, frente a otras metodologías, es que propone siete propiedades de sustentabilidad para determinar el funcionamiento del agroecosistema: Productividad, Estabilidad, Resiliencia, Confiabilidad, Adaptabilidad, Equidad y Autodependencia.

El concepto de sustentabilidad se define a partir de cinco atributos generales de los agroecosistemas o sistemas de manejo:

- (a) productividad
- (b) estabilidad, confiabilidad y Resiliencia
- (c) adaptabilidad
- (d) equidad
- (e) Autodependencia (autogestión).

Una diferencia más frente a otros marcos de evaluación vigentes, es que el MESMIS asume que la sustentabilidad no puede ser medida per se, sino que se requiere de la comparación de dos o más sistemas; para lo que establece la comparación de un mismo sistema a través del tiempo o bien, una comparación transversal, utilizando dos sistemas al mismo tiempo.

Además, asume que en todo proceso de evaluación de sustentabilidad es importante no quedarse en el mero diagnóstico, sino ir más allá, estimulando las áreas fuertes y promoviendo modificaciones en las débiles; de ahí la importancia de una segunda fase de evaluación, una vez que se hayan realizado modificaciones pertinentes al sistema original. De ahí, la necesidad de continuidad en el ciclo de evaluación. Esta fase es conocida como tiempo dos (T2).

Al respecto Masera (1999), destaca que *“la evaluación de la sustentabilidad no deberá llegar a ser un proceso mecánico ni calificador, sino un proceso de análisis y retroalimentación”*.

Response-Inducing Sustainability Evaluation (RISE)

Método basado en entrevistas para evaluar la sostenibilidad de las operaciones agrícolas a través de la dimensión económica, social y ambiental. Información completa sobre los aspectos ecológicos, económicos y sociales se recoge a través de un cuestionario basado en una entrevista con el agricultor.

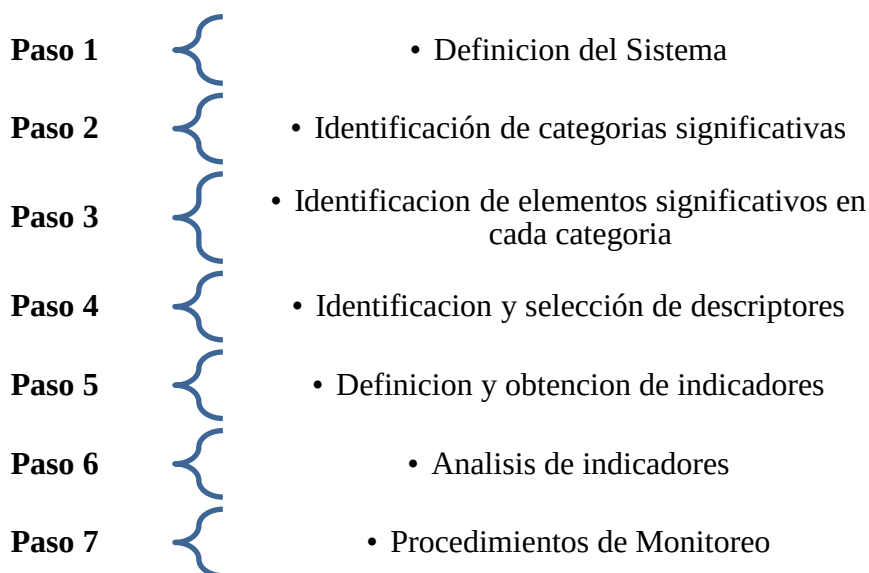
Calculo de cincuenta (50) parámetros de sostenibilidad condensados en diez (10) indicadores. RISE utiliza una metodología estandarizada y sencilla de entrada y salida de datos y por lo tanto facilita la evaluación de la sostenibilidad de diferentes tipos de explotaciones y sistemas de producción en todo el mundo. La interpretación de los resultados de RISE es fácilmente

comprensible para los agricultores y asesores capacitados y para un público en general. Datos incluyen información sobre el clima (temperatura, precipitación), la situación hídrica (nivel de estrés hídrico), la agricultura (cultivos, ganado, rendimientos) y la situación económica y social de la región (esperanza de vida, tasa de inflación, tasa de cambio de la moneda local (en dólares americanos), salario promedio, línea de pobreza, salarios mínimos) (RISE, 2012).

Método de indicadores de sustentabilidad para ecosistemas en general

Para cualquier sistema, Camino y Müller (1993) proponen la definición de indicadores de sustentabilidad en base a una estructura metodológica, la cual se compone de 7 etapas, las cuales se puede ver en la figura 2.

Figura 2. Estructura metodológica para la definición de indicadores de sustentabilidad de sistemas en general



Fuente: Adaptado de Camino y Müller (1993)

La definición del sistema en el paso 1 implica la delimitación espacial del objeto de estudio así como la caracterización del mismo, identificando su estructura (elementos físicos, biológicos y socioeconómicos), sus límites y las interacciones existentes internas del sistema y del sistema con su entorno. En los pasos 2 y 3, se identifican las categorías y los elementos del sistema respectivamente, que son relevantes ya sea por su grado de influencia en el sistema

que se pretende analizar. Los pasos 4 y 5 tratan de la selección de los aspectos relevantes de los elementos seleccionados (descriptores) y de los indicadores. El paso 5 es usado para realizar el trabajo de campo también. Los pasos 6 y 7 abarcan el análisis de indicadores y el análisis de la evolución de los mismos a largo plazo.

1.5 Indicadores de sostenibilidad

El principal objetivo de los indicadores de sostenibilidad es recabar informaciones para la realización de políticas públicas como parte del proceso de gobernanza de sostenibilidad. Los indicadores de sostenibilidad pueden proporcionar información sobre cualquier aspecto de la interacción entre el medio ambiente y las actividades socio-económicas. La construcción de conjuntos estratégicos de indicadores se ocupa generalmente de unas pocas preguntas simples: ¿qué está sucediendo? (indicadores descriptivos), ¿importa y estamos alcanzando las metas? (indicadores de desempeño), ¿estamos mejorando? (indicadores de eficiencia), ¿son medidas de trabajo? (indicadores de eficacia política), y ¿son por lo general mejor? (indicadores de bienestar totales).

Según Moura (2002,) los indicadores de sostenibilidad se definen como *“medidas, generalmente de forma numérica, representadas en modo gráfico, que pretenden contribuir para la comprensión y realización del desenvolvimiento sustentable de las comunidades”*. Además hay que tomar en cuenta, que el empleo de recursos gráficos en estudio que involucran indicadores de sostenibilidad es facultativo.

Los instrumentos para la sostenibilidad deben partir del supuesto que los conceptos de desenvolvimiento sustentable y la sostenibilidad son nociones comparativas, de modo que un criterio es más o menos sustentable en el contexto dado, sin existir mediciones exactas para cada criterio (Moura, 2002). Por tanto, los indicadores de sostenibilidad deben basarse en los ciclos de los ecosistemas naturales; tener una perspectiva multidimensional con la incorporación de la problemática socio-ambiental, integrando las diferentes dimensiones, poseer la noción de complejidad que exige una visión integrada de cada sistema, incorporar una escala temporal y la consciencia de finitud de los recursos que puede ser alterada o ampliada a través de innovaciones tecnológicas o que puede provocar efectos colaterales no deseables.

Por tanto, los indicadores tienen que ser lo mas específico posible, para evitar ambigüedades y posibles problemas de validación y confiabilidad, para lo cual deben incluir: un objetivo o meta a alcanzar, el aspecto o criterio a ser medido y el periodo temporal abarcado y el area físico a medir. Asi mismo, los indicadores deben de ser medibles, intangibles, relevantes y oportunos (Guiljt, 1999). Los objetivos y metas de evaluacion deben considerar el contexto, la definicion y los criterios de sustentabilidad adoptados, las expectativas de los actores locales y la viabilidad de la obtencion de información. La necesidad de definir una escala espacial, se centra en el hecho que debido a las caracterisitcas propias y únicas de cada ecosistema, no existe un indicador o conjunto de indicadores unicos aplicables de modo universal (Camino y Müller, 1993).

1.5.1 Indicadores de la dimensión económica

Existen varios indicadores convencionales que normalmente se dirigen a evaluar la rentabilidad de fincas o proyectos agrícolas y forestales. Algunos indicadores utilizados son: productividad (Lopez-Ridaura *et al.* 2002, 2005, Gómez *et al.* 1996 citado por Rigby y Cáceres, 2001), margen bruto (Gómez *et al.* 1996 citado por Rigby y Cáceres, 2001), ingreso neto, costos de producción (Lopez-Ridaura *et al.* 2002), relación costo/beneficio (Lopez-Ridaura *et al.* 2005), demanda por mano de obra, valor estimado de la tierra, valor de auto-consumo, entre otros (Masera *et al.* 1999, Daniel 2000).

Los principales indicadores convencionales que normalmente se dirigen a evaluar la rentabilidad de fincas o proyectos agrícolas y forestales, sin embargo cada indicador financiero no puede ser analizado por separado, con relación a la sostenibilidad de los agroecosistemas, ya que son indicativos de aspectos parciales del problema. En este sentido, es recomendable utilizar algunos indicadores económicos que asociados brinden la información más completa y necesaria para el análisis de sostenibilidad.

1.5.2 Indicadores de la dimensión social

Los indicadores sociales tienden a ser cualitativos y difíciles de medir con precisión, por lo que no es sencillo ubicarlos en el marco de evaluación de tipo cuantitativo. Aunque estos indicadores están mucho menos desarrollados que los biofísicos y económicos, es muy

importante dedicar esfuerzos a fin de cubrir de la mejor manera posible esta dimensión del análisis (Masera *et al.* 1999). Uno de los indicadores más complejos y abarcadores es el indicador de calidad de vida, el cual representa la forma más real y compleja de evaluar el nivel de desarrollo.

Otros indicadores más sencillos que pueden proveer informaciones consistentes sobre la sostenibilidad social de las comunidades cuando están integrados son: índice de nutrición; índices de exposición a plaguicidas; número, tipo y frecuencia de capacitación de los productores; grado de dependencia por insumos externos (Rigby *et al.* 2001, Lopez-Ridaura *et al.* 2005), nivel de organización, potencial de consenso social (nivel de relación entre productores), institucionalidad (bases para la concertación), conocimiento local, el grado de satisfacción de los productores, entre otros (Masera *et al.* 1999).

1.5.3 Indicadores de la dimensión ambiental

Los indicadores ambientales pueden estar relacionados a varios aspectos edafoclimáticos y ecológicos, y cuando son monitoreados y evaluados, establecen relaciones de causa y efecto entre la producción del agroecosistema y los procesos ecológicos. Estos muestran los posibles impactos de los diferentes modelos de producción sobre los ecosistemas y consecuentemente las tendencias de sostenibilidad de los mismos (Lewis 1995). Los ejemplos de indicadores de sostenibilidad ecológica son, la producción de biomasa, la dinámica de la hojarasca, el reciclaje de nutrientes (Adlard 1990), eficiencia energética, nivel de erosión del suelo (Taylor *et al.* 1993 citado por Rigby *et al.* 2001, Lopez-Ridaura *et al.* 2005), nivel de contaminación del suelo y agua, uso de agro tóxicos (Ronchi *et al.* 2002, Lopez-Ridaura *et al.* 2005), índice de diversidad de especies (Rigby y Cáceres, 2001, Lopez-Ridaura *et al.* 2002, Hani *et al.* 2005), índice de complementariedad, incidencia de plagas y enfermedades (Taylor *et al.* 1993 citado por Rigby y Cáceres, 2001, López-Ridaura *et al.* 2002, Hani *et al.* 2005), regeneración de especies, entre otros (UICN 1997, Masera *et al.* 1999, Daniel 2000).

El valor ecológico se centra en garantizar la disponibilidad permanente de las funciones del ecosistema. El uso de los bienes y servicios se debe limitar a niveles sostenibles, que son determinados por criterios ecológicos, tales como la integridad, la resiliencia y la resistencia. Como la mayoría de las funciones y procesos relacionados con los ecosistemas están

interrelacionados, el uso sostenible debe determinarse con arreglo a las condiciones del sistema complejo, teniendo en cuenta las interacciones dinámicas entre las funciones, valores y procesos (Boumans et al. 2002, Limburgo et al. 2002).

1.6 Definición de criterios e indicadores

Los indicadores deben reunir una serie de características para que cumplan de manera efectiva con el fin para el cual fueran planteados. Deben contener informaciones importantes y significativas para la evaluación del sistema y al mismo tiempo ser sensibles a los cambios en el tiempo y espacio. Estos deben ser aplicables en un amplio rango de ecosistemas y condiciones, para que pueda haber comparaciones, y analizables de manera integrada con otros indicadores, posibilitando una visión más compleja de los sistemas.

También, es muy importante que sean indicadores objetivos, centrados en aspectos claros y que reflejen realmente el atributo de sostenibilidad que se quiere evaluar (Lopez-Ridaura et al, 2002, Rigby y Cáceres, 2001). Los criterios e indicadores se basan en los tres pilares del desarrollo sostenible, las dimensiones ambientales, económicas y culturales. Para facilitar el monitoreo y en el entendimiento de los análisis, es necesario que los indicadores sean prácticos, de fácil medición y bajo costo (Ayales et al. 1995, Ávila 1989 y Torquebiau 1989, ambos citados por Hunnemeyer et al. 1997; De Camino y Müller 1993, Bakkes et al. 1994 citado por Masera et al. 1999).

Los criterios e indicadores se basan en una jerarquía de cuatro niveles que consta de principios, criterios, indicadores y verificadores. Principio es una verdad fundamental o de derecho o una acción en la que el razonamiento se basa. Los principios dan el marco básico para la gestión de cualquier sistema de una manera sostenible, siempre que esté justificado por criterios, indicadores y verificadores. Un criterio es una norma que permite juzgar el progreso hacia el cumplimiento de los principios de un sistema, agrega significado y operatividad a un principio sin que este mismo sea una medida directa de efectividad, y compila los pesos subordinados de un indicador en un valor único. Un indicador es cualquier atributo cuantitativo, cualitativo o descriptivo que se mide periódicamente, lo que indica la dirección de un cambio relacionados con uno o varios elementos. Por último, un verificador es un dato específico que refleja la condición de un indicador; los verificadores deben ser significativos y

precisos (Prabhu 1999, Mendoza et al 1999, ITTO 1998, Prasad 2002, Mendoza y Macoun 2002.).

1.6.1 Condiciones requeridas para la selección de indicadores, criterios y verificadores

Criterios e indicadores han sido desarrollados para todo tipo de condiciones, y se pueden utilizar en la planificación a nivel mundial, regional, nacional y local (Prasad, 2002). Los indicadores son muy específicos, y deben ajustarse a las condiciones particulares de cada sitio (CIFOR 1999). En la selección y desarrollo de indicadores, hay que tener en cuenta las características ecológicas del sistema, la representación de las perturbaciones naturales, y en general, la pertinencia operacional de los indicadores para la evaluación de los ecosistemas afectados por prácticas antropógenas (Kneeshaw et al. 2002). Por esta razón, es esencial poner a prueba la validez de los criterios e indicadores establecidos y, cuando sea necesario, ajustarlos para adaptarse a los objetivos planteados, porque en la práctica, sólo un número limitado de indicadores pueden utilizarse para evaluar los cambios espaciales y temporales y en al mismo tiempo cumplir los requisitos de adquisición y fácil aplicación (Prasad 2002).

Prabhu (1999) y Mendoza et al. (1999) enumeran los principales requisitos que los componentes de los Criterios e Indicadores deben cumplir. Estos son:

- la **pertinencia**, todos los componentes de Criterios e Indicadores (verificadores, indicadores, criterios y principios) deben ser relevantes para los temas que definen al agroecosistema en cuestión,
- la **coherencia**, cada componente debe estar estrechamente relacionado con el objetivo evaluado en su jerarquía vertical y por tanto cada indicador tiene que estar directamente relacionado con un criterio y cada criterio a un principio, y finalmente todos los principios al índice gestión sostenible,
- la **claridad**, cada componente debe ser simple y definido sin ambigüedad,
- la **especificidad**, donde los componentes subordinados deben proporcionar, en la medida de lo posible, la información que permita la interpretación directa de los componentes de nivel superior, por ejemplo, los criterios en relación con el principio,
- la **simplicidad**, los componentes deben ser fáciles de detectar, registrar e interpretar,
- la **fiabilidad**, los componentes deben brindar datos confiables,

- la **representatividad**, las respuestas de los componentes deben ser capaces de representar una amplia gama de niveles de un tema específico,
- la **inclusividad**, los componentes deben brindar un resumen sobre el espacio y / o tiempo de la cuestión especificada y
- ser **atractivo**, los componentes de los Criterios e Indicadores deben ser fáciles de usar.

Camino y Müller (1993) y Daniel (2000), utilizan las categorías y elementos propuestos por Ávila (1989) y Torquebiau (1989) para la definición de indicadores para un sistema específico. Según Daniel (2000), esta estructura puede ser empleada para la definición de indicadores de sostenibilidad de SAF basándose en cuatro categorías:

- **Recursos endógenos** del sistema, que se refiere a la base de recursos del sistema y por tanto componen la parte estructural del mismo. Los indicadores relacionados a esta categoría deben evidenciar si el sistema impacta negativamente o positivamente.
- **Recursos exógenos** del sistema, que se componen de los mismos elementos de la categoría de los recursos endógenos, no obstante son los recursos del sistema externos con los cuales el sistema mantiene relación (afecta o son afectados). Se refiere también a la parte estructural de los sistemas exógenos.
- **Operaciones del sistema**, son las actividades necesarias para la accesibilidad del sistema, es decir, constituyen la parte funcional del mismo. Los indicadores de esta categoría deben mostrar si son o su manejo y desempeño son compatibles con las exigencias de la sostenibilidad
- **Operaciones de sistemas exógenos**, son actividades exógenas necesarias para la accesibilidad del sistema, constituyendo también la parte funcional del mismo.

Camino y Müller (1993) afirman que la cantidad ideal de indicadores de sostenibilidad es de 6 a 8, por el contrario, Daniel (2000) sugiere el uso de 105 indicadores para la evaluación de la sostenibilidad de SAF. López (2001) emplea 10 indicadores agregados para la evaluación de sistemas agroforestales, y Moura (2002) usa 15 indicadores agregados para evaluar la sostenibilidad

1.6.2 Criterios para la evaluación de la sostenibilidad de SAF

Los criterios adoptados para la evaluación de la sostenibilidad son:

- **Productividad**

Es una medida cuantitativa que determina la cantidad de producción por unidad de tierra o de insumo. Aunque posee sesgo económico y asume la evaluación de la eficiencia en el uso de los recursos, establece una relación directa con los procesos sociales y ambientales, ya que puede reflejar los ingresos del trabajo y la relación entre los recursos naturales gastados en el proceso de producción como resultado del proceso (Moura, 2002). Pimentel (1979 citado por Moura, 2002) afirma que cuando se analizan los padrones de producción utilizando relaciones de energía, los sistemas tradicionales se muestran extraordinariamente más eficientes que los agroecosistemas modernos.

- **Estabilidad**

Es la constancia productiva dada sobre un conjunto de condiciones ambientales, económicas y administrativas (Conway, 1985 en Altieri, 1999). Berolt da Silva (1998, citado por Moura, 2002), afirma que esas “*condiciones se refieren a pequeñas fuerzas perturbadoras que surgen de fluctuaciones y ciclos normales del ambiente circundante*”, es decir, las perturbaciones causadas por los cambios normales del ambiente, tales como las variaciones climáticas y de mercado. Ese criterio tiene relación con la escala temporal y con la solidaridad intergeneracional y la manutención de la viabilidad económica (Moura, 2002).

- **Equidad**

Mide cuanto equitativamente están distribuidos los productos del agroecosistema (SAF, en esta investigación) entre los productores y los consumidores locales, sea referente al acceso a

los alimentos, a las oportunidades o a los ingresos ocurridos dentro de las comunidades. Se relaciona directamente con la justicia social, ya que presupone un crecimiento económico acompañado por la reducción de las diferencias en la distribución de los recursos en la sociedad.

- **Resiliencia**

La resiliencia es una definición adoptada de la Física, denominada también capacidad homeostática, y se define como la capacidad de un sistema de absorber perturbaciones y de reorganizarse en cuanto sufre transformaciones para retener esencialmente las mismas funciones, estructura, identidad y retroalimentación (Walker, 2004 citado por Folke, 2004). Según Moura (2002), esto se refiere a “*la capacidad de un ecosistema de mantener la productividad ante perturbaciones de importancia mayor o choques de gran impacto*”, lo que significa que estas tensiones no pueden traspasar el límite de elasticidad.

- **Autonomía**

Fernández (1995 citado por MOURA, 2002) afirma que esta característica “*se relaciona con el grado de integración de agroecosistema, que se refleja en el flujo de materiales, energía e información entre las partes constituyentes y entre agroecosistema y el medio ambiente externo.*” Por tanto, la autonomía permite conocer el nivel de control interno sobre el funcionamiento de los agroecosistemas y su capacidad para gestionar los flujos utilizando recursos propios o esenciales.

1.7 Agricultura sostenible

La agricultura sostenible es un conjunto de métodos ecológicos de cultivo, que permiten la producción de los cultivos o el ganado sin daños en los sistemas humanos o naturales; entonces sostenible puede definirse como esto. Más específicamente, se puede decir que incluyen la prevención de efectos adversos para el suelo, el agua, la biodiversidad, los recursos indirectos o alrededores - así como a los que trabajan o viven en la granja o en áreas vecinas. Además, el concepto de la agricultura sostenible se extiende entre generaciones, en relación con la transmisión de un recurso natural conservado o mejorado, la base biótica y económica

en lugar de uno que se ha agotado o contaminado (Nair, 1994; Nair, 2001; RIGBY, D. y CÁCERES, D., 2001).

1.7.1 Elementos de la agricultura sostenible

1.7.1.1 *Agricultura mixta*

Muchos agricultores en los países de zonas tropicales y templadas sobreviven mediante la gestión de una mezcla de diferentes cultivos o animales. La forma más conocida de la mezcla se produce, probablemente, donde los residuos de cultivos se utilizan para alimentar a los animales y excrementos de animales son utilizados como nutrientes para el cultivo. Otras formas de mezcla tienen lugar donde el pastoreo bajo árboles frutales mantiene la hierba corta o donde el estiércol de cerdos se utiliza para alimentar a los peces. La agricultura mixta existe en muchas formas dependiendo de factores externos e internos. Los factores externos son: patrones del clima, precios de mercado, la estabilidad política y el desarrollo tecnológico. Los factores internos se refieren a características locales del suelo, composición de la familia y el conocimiento de los agricultores (Nair, 1994; Nair, 2001; RIGBY, D. y CÁCERES, D., 2001).

La Producción Agropecuaria Mixta proporciona a los agricultores una oportunidad para diversificar el riesgo de la producción de monocultivo; utilizando el trabajo de manera más eficiente, tener una fuente de dinero en efectivo para la compra de insumos agrícolas, para agregar valor a los cultivos o cultivo subproducto; combinar los cultivos y ganado.

1.7.1.2 *Cultivos múltiples*

El proceso de crecimiento de dos o más cultivos en el mismo pedazo de tierra, durante la misma temporada se llama cultivos múltiples. Puede ser llamado con razón una forma de policultivo. Puede ser: doble cultivo (la práctica donde se planta el segundo cultivo después de la primera vez que se cosechan), cultivos de relevo (la práctica que se ha iniciado una segunda cosecha junto con la primera, antes de que se cosecha) (Nair, 1994; Nair, 2001; RIGBY, D. y CÁCERES, D., 2001).

1.7.1.3 *Rotación de cultivos*

El proceso de crecimiento de dos o más cultivos diferentes o no relacionados en el mismo pedazo de tierra en diferentes estaciones se conoce como rotación de cultivos. Este proceso es

ampliamente adoptado, ya que viene con una serie de beneficios tales como evitar la acumulación de plagas que a menudo se produce cuando una especie está continuamente cultivada, el elemento tradicional de rotación de cultivos es la reposición del nitrógeno a través de la el uso de abonos verdes en secuencia con los cereales y otros cultivos, la rotación de cultivos también puede mejorar la estructura y fertilidad del suelo por la alternancia de las plantas de raíces profundas y poco profundas arraigadas, es un componente de policultivo (Nair, 1994; Nair, 2001; RIGBY, D. y CÁCERES, D., 2001).

1.7.1.4 Agroforestería

De acuerdo con el Centro Mundial de Agroforestería, la Agroforestería es un nombre colectivo para los sistemas de uso de la tierra y las prácticas en las que las especies leñosas perennes son integradas deliberadamente con cultivos y /o animales en la unidad de gestión de la tierra misma. La integración puede ser en una mezcla espacial o en una secuencia temporal. Normalmente hay interacciones tanto ecológicas como económicas entre componentes leñosas y no leñosas en Agroforestería (Nair, 1994; Nair, 2001; RIGBY, D. y CÁCERES, D., 2001).

1.8 Agroforestería en zonas secas

La Agroforestería en sus diferentes formas y categorías tiene una vasta aplicabilidad en las zonas secas y semiáridas. Por ejemplo, basta con conocer la vegetación nativa para identificar el potencial o usos de las especies ya sean maderables o de los estratos bajos; así como también identificar claramente las condiciones biofísicas en las cuales dichas especies habitan.

Se entiende que estas zonas presentan agudos factores limitantes como escasez de agua y suelos agotados para la producción agrícola, pecuaria y forestal. La Agroforestería, como una opción sostenible de uso de la tierra, puede permitir al productor utilizar las fuentes de recursos a su alcance, para optimizar su uso y adaptar las especies vegetales conforme a sus necesidades; en algunas zonas secas y semiáridas existen formas de Agroforestería adaptados por los propios productores y los cuales los han mantenido por muchos años (Sharma, n/a).

Además, en algunas zonas existen especies forestales nativas de alto potencial para alimento, leña, fijación de nitrógeno, forraje para alimento de ganado, que son de uso doméstico por las familias asentadas en zonas secas; hay muchos ejemplos entre los cuales se pueden citar el

caso de *Prosopis juliflora* en la zona seca de Guatemala, cuya especie tiene múltiples usos; y el caso de *Faldherbia albida* en la zona árida de Níger, donde los productores obtienen corcho y madera para su consumo y a la vez la asocian con el cultivo de cereales (UNCCD – Guatemala, 2009).

Asimismo, es muy común encontrar pasturas muy degradadas en zonas secas y semiáridas, donde el manejo del componente vegetal ha sido escaso y la carga de animales en muchos casos se pasa del límite permisible. En estos casos, se habla de pasturas degradadas, con suelos virtualmente agotados debido a su fragilidad y exceso pisoteo del ganado. Hay evidencias que indican que al intercalar un componente arbóreo en las pasturas degradadas es posible la restauración de suelos; la introducción del componente arbóreo puede ser dentro de los pastizales o bien a la orilla de los cercos, convirtiendo estos sistemas a formas silvopastoriles de producción.

1.8.1 Sistemas Agroforestales aplicables a zonas secas y semiáridas

1.8.1.1 Sistemas con arreglo linear

1.8.1.1.1 Cercas vivas

La utilización de cercos vivos es una práctica muy común en la mayoría de los países de América Latina y el Caribe, ya que la utilización de árboles en los cercos constituye un valor agregado en el uso de la tierra. El uso de las cercas vivas tiene un carácter múltiple ya que aparte de delimitar los terrenos, dependiendo de las especies, puede obtenerse leña, postes y forraje, entre otros. Por lo tanto, constituye un sistema que puede ser implementado en zonas secas y semiáridas (UNCCD, 2009; Nair, 1987; Nair, 1993).

1.8.1.1.2 Cultivo en callejones (Alley Cropping)

El cultivo en callejones consiste en el establecimiento de líneas de árboles con el establecimiento de cultivos anuales entre las líneas de los árboles. Los árboles se cortan regularmente y las hojas y ramas pequeñas se usan como mulch, que se aplica en los callejones con el fin de reducir la evaporación de la superficie del suelo, suprimir malezas o agregar nutrientes y materia orgánica en el suelo (UNCCD, 2009; Nair, 1987; Nair, 1993).

1.8.1.1.3 Cortinas rompevientos

Son líneas de árboles y arbustos plantados entre el cultivo y la dirección del viento, en sentido perpendicular, para disminuir la velocidad del viento, reduciendo la erosión eólica, la transpiración excesiva de los cultivos, la evaporación, el daño mecánico a los cultivos y mejorar la productividad de los animales pastoreados en zonas con mucho viento.

La efectividad de una cortina rompeviento para proteger un terreno contra los vientos depende de su orientación, de su altura, de su estructura y continuidad. Su orientación generalmente se define por la orientación de caminos, carreteras o linderos de propiedades y cuando éste no va en oposición a la dirección de los vientos, se puede establecer cortinas internas temporales en sentido perpendicular a los vientos dominantes (UNCCD, 2009; Nair, 1987; Nair, 1993).

1.8.1.1.4 Sistema Taungya

El sistema taungya es un sistema muy antiguo, cuyo término es de origen Birmano que significa “cultivo de laderas”. El sistema se empleó inicialmente para recuperación de tierras degradadas y deforestadas tanto privadas como tierras fiscales-nacionales. Este sistema consiste en asociar cultivos anuales durante la etapa de establecimiento de la plantación forestal.

El cultivo agrícola se limita a un corto período que termina cuando los árboles plantados cierran su dosel (copas); dependiendo del tipo de cultivo, las especies forestales, su espaciamiento y su rapidez de crecimiento, el cultivo agrícola puede durar años, aunque lo común es que la asociación no dure más de 3 a 5 años. Este período se establece debido a la disminución de la producción de los cultivos anuales, que se provoca por la competencia por luz solar, agua y nutrimentos que ejercen los árboles. Normalmente, con especies forestales que producen mucha sombra no pueden mantenerse más de dos cosechas de cultivos anuales, mientras que con especies de copa menos densa puede lograrse cosechas por varios años, pudiendo iniciar los primeros años con cultivos de pleno sol (ejemplo maíz, frijol, hortalizas) y a medida que los árboles van creciendo utilizar cultivos tolerantes a la sombra (ejemplo algunos eco tipos de plátano) (UNCCD, 2009; Nair, 1987; Nair, 1993).

1.8.1.1.5 Árboles asociados a estructuras de conservación de suelos

La utilización de árboles o arbustos en zonas secas y semiáridas, debe estar en correspondencia a la rehabilitación de las tierras degradadas por pérdida de la fertilidad y erosión. Se ha comprobado que el uso de especies arbóreas asociadas a prácticas de conservación de suelos contribuyen eficazmente a contrarrestar procesos de erosión y muy favorablemente a captar y retener el agua de lluvia, que escasamente se presenta en las zonas secas y semiáridas.

Además de este efecto favorable, los árboles suministran otros beneficios directos tales como forraje, mulch, hojarasca, frutos, leña y otros productos que contribuyen al bienestar del productor y al mejoramiento de los sistemas de finca. Asimismo, los árboles asociados a prácticas de conservación de suelos con presencia de gramíneas o pastos en taludes o terrazas, reducen considerablemente el flujo superficial y la erosión causada por el agua (UNCCD, 2009; Nair, 1987; Nair, 1993).

1.8.1.1.6 Árboles en barreras vivas

Consiste en la plantación de árboles o arbustos en curvas de nivel dentro de un terreno con el fin de prevenir la erosión del suelo, disminuir sus efectos o conservar la humedad del suelo. En este sistema se debe manejar las hileras de plantación como un seto bajo y compacto para minimizar la competencia con los cultivos, principalmente por luz y nutrientes. En general, el sistema permite una mejor ordenación del uso del suelo para su aprovechamiento y conservación óptimo.

Las barreras vivas interceptan la escorrentía producida por la lluvia y la tierra que esa arrastra. Con el paso del tiempo la tierra se acumula sobre la barrera y como resultado, se forman de modo natural terrazas sobre la pendiente de la ladera (UNCCD, 2009; Nair, 1987; Nair, 1993).

1.8.1.1.7 Barreras complementadas con muros de piedra

Consiste en la construcción de muros de piedra en sentido transversal a la pendiente máxima del terreno. La barrera viva constituida por árboles o arbustos se establece del lado bajo del muro, actuando con el tiempo como un puntal de contención y refuerzo al muro. Esta variante

se realiza en terrenos muy pedregosos y se aprovecha la labor de desempedrado del terreno para obtener la piedra para los muros, también se utiliza en terrenos con pendientes muy fuertes mayores al 60% (UNCCD, 2009; Nair, 1987; Nair, 1993).

1.8.1.2 *Sistemas deliberados*

1.8.1.2.1 Cultivos bajo cubierta arbórea

En estos sistemas el componente maderable ejerce una función de cobertura sobre los cultivos; los ejemplos clásicos de este tipo son el cultivo de café, el cultivo de cacao y el de cardamomo, entre otros. Acá la sombra juega un papel de regulador en las funciones fisiológicas de los cultivos, por ejemplo, en el proceso de la fotosíntesis; asimismo, la sombra contribuye en gran manera al control de malezas.

El componente maderable puede obedecer a un arreglo espacial sistemático o bien deliberado. En éste caso se hará una descripción cuando el componente se encuentra en forma deliberada y natural. El nivel de manipulación o manejo al cual se expone el ecosistema original y según el grado de complejidad estructural y de la vegetación, están relacionados con el establecimiento, manejo y producción de los cultivos bajo sombra, como es el caso del café (UNCCD, 2009; Nair, 1987; Nair, 1993).

1.8.1.2.2 Animales y pastos bajo cubierta arbórea

El silvopastoreo es un tipo de agroforestería que combina la presencia de animales directamente pastando entre o bajo árboles. Los árboles pueden ser de vegetaciones naturales o plantadas con fines maderables, para productos industriales como caucho, palma de aceite, frutales tales como mangos y cítricos o árboles multipropósito en apoyo específico para la producción animal (UNCCD, 2009; Nair, 1987; Nair, 1993).

1.8.1.2.3 Pastoreo en bosques naturales

Estos son los sistemas silvopastoriles más antiguos y se han practicado desde hace mucho tiempo América Latina y El Caribe. Son los sistemas más conocidos donde se ha practicado un refinamiento eliminando parte de la vegetación natural o sotobosque para abrir espacios que permitan la siembra de pastos. Es uno de los sistemas más tradicionales, ligados a la

ampliación de la frontera agrícola y se practica tanto en tierras planas como en laderas. Generalmente no hay control sobre la densidad o carga animal y por lo mismo la compactación del suelo es muy frecuente, con lo cual se presentan problemas de degradación de tierras por erosión y pérdida de fertilidad (UNCCD, 2009; Nair, 1987; Nair, 1993).

1.8.1.2.4 Pastoreo en plantaciones forestales para madera

De manera creciente se está considerando la integración de un componente ganadero en las plantaciones forestales comerciales por dos motivos: para proporcionar ingresos durante el tiempo que los árboles no se explotan y para reducción de riesgos de incendios forestales. Generalmente, este sistema es de tipo gradual y conforme los árboles van creciendo y teniendo su manejo silvicultural, van tolerando la presencia del ganado (UNCCD, 2009; Nair, 1987; Nair, 1993).

1.8.1.2.5 Praderas con árboles o arbustos forrajeros en la pradera

Consiste en la incorporación de árboles o arbustos forrajeros o multipropósito en las praderas naturales o artificiales. Las modalidades pueden incluir los cercos vivos, los bancos de proteína (generalmente de leguminosas) y la inclusión de forrajeras arbustivas o arbóreas directamente en las praderas (UNCCD, 2009; Nair, 1987; Nair, 1993).

1.8.1.2.6 Sistemas integrados mixtos con árboles forrajeros o multipropósito para corte

En estos sistemas mixtos el componente pecuario se integra al agrícola y en ocasiones al piscícola, en un sistema mixto con complementariedad de especies animales y vegetales. Los árboles y arbustos forrajeros proporcionan follaje de alta calidad para complementar la dieta basada en residuos de cosecha de bovinos y búfalos; la dieta de porcinos basada en algún producto rico en energía (ej. jugo de caña o de palma, yuca, aceite y subproductos de la palma africana); y como base de las dietas de pequeños rumiantes (UNCCD, 2009; Nair, 1987; Nair, 1993).

1.8.1.2.7 Huertos familiares

Los huertos familiares han despertado el interés mundial en los últimos años, no solo porque se consideran los sistemas de producción más antiguos que se conoce, sino porque entre otros

beneficios complementan la dieta y la economía familiar, además, son una alternativa a las prácticas tradicionales de la diversidad vegetal, son fuente de germoplasma y sitios de domesticación de plantas silvestres.

La definición más completa de huerto familiar indica que es un sistema de uso de la tierra que tiene límites definidos y una vivienda; además, en general posee una mezcla de plantas anuales y perennes así como animales y ejerce una variedad de funciones biofísicas, económicas y socioculturales para su propietario. Este sistema de producción familiar contribuye significativamente al suministro de alimentos para la familia rural y esa cantidad de alimentos aunque en pequeñas cantidades, contribuye significativamente a la seguridad alimentaria de la familia (UNCCD, 2009; Nair, 1987; Nair, 1993).

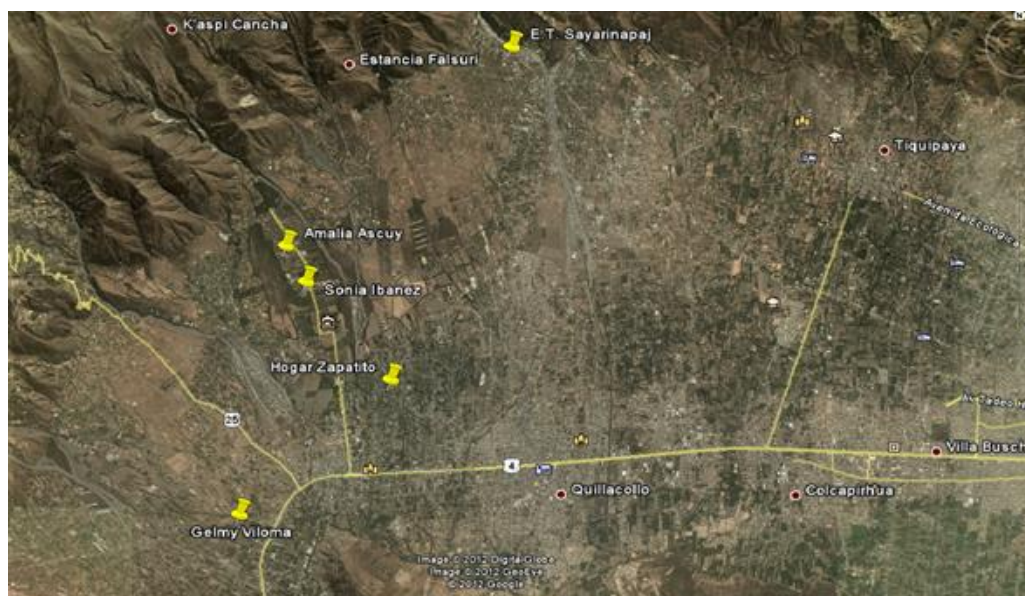
2. Marco Referencial

2.1 Características de la zona de estudio

2.1.1 Ubicación geográfica

El presente estudio se realizara en 5 parcelas piloto instaladas por Rodríguez (2012) ubicadas en los municipios de Vinto y Quillacollo, en el valle de Cochabamba, ya que el objetivo principal de la presente investigación es la de proponer una metodología para evaluar sistemas agroforestales en zonas secas y así tomar estas parcelas piloto como base para dicho fin.

Figura 3. Zonificación de las parcelas piloto donde se implementaron los SAF



Fuente: Elaboración propia en base a datos de Google Earth (2012)

2.1.2 Clima y precipitación

La zona de estudio presenta una temperatura media anual de 16°C a 22°C, con presencia de heladas y granizadas en la estación invernal (mayo hasta agosto). Las precipitaciones se encuentran concentradas en los meses de diciembre a febrero con un promedio anual que oscila entre los 400 a 600 mm. Debido a estas características, la zona de estudio se encuentra dentro de la zona semiárida.

2.2 Granja Modelo Pairumani

La Granja Modelo Pairumani (GMP) fue fundada en 1917, actualmente es una granja basada en la producción agro biológica ubicada en la zona de Pairumani, en el municipio de Vinto, en el valle de Cochabamba. La misión de la misma es la de ser un centro de producción agropecuaria basado en las ciencias agroecológicas, para así innovar, desarrollar y promover técnicas de producción agro biológicas a través de la difusión de información mediante la realización de investigación.

La GMP aplica un modelo agrobiológico de producción, tanto en la gestión agrícola como pecuaria, basado en el empleo de diferentes técnicas de producción de bajo impacto como ser la asociación de cultivos, tomando en cuenta cereales, leguminosas anuales y perennes. Por otro lado, la gestión agrícola se basa en técnicas de producción aplicando sistemas agroforestales, en los cuales especies perennes (árboles maderables, frutales, leñosos, arbustos y forrajes) y anuales (cultivos alimenticios y forrajes) se combinan en una misma parcela de forma asociada en diferentes estratos. (Fundación Simón I. Patiño, 2012).

2.3 Línea base para la instalación de sistemas agroforestales en 5 parcelas piloto pertenecientes a la zona semiárida de Cochabamba (Vinto y Quillacollo)

La investigación de la línea base analizó la situación de 5 parcelas agrícolas ubicadas dentro de la zona semiárida boliviana, pertenecientes a los municipios de Vinto y Quillacollo, donde a finales del año 2011 se instalaron diferentes tecnologías agroforestales, plantando una diversidad de 16 árboles con la finalidad de proteger y disminuir el grado de vulnerabilidad hacia el cambio climático, y poder garantizar la seguridad alimentaria de los estudios de caso (Rodríguez, 2012).

2.3.1 Estudios de caso

Rodríguez realizó un profundo estudio sobre el nivel de calidad de los terrenos, analizando indicadores físicos, químicos y biológicos que permitieron conocer la realidad actual de cada estudio de caso (Tabla 1). Además, realizó un inventario de las especies forestales implementadas, evaluando el grado de éxito de la plantación efectuada, las prácticas y el

manejo del terreno de cada uno de los estudios de caso, la visión hacia los árboles y la Agroforestería.

Los estudios de caso se separaron en 3 agricultoras de Municipio de Vinto, de las cuales una es de la zona de San Jorge (Gelmy Viloma) y 2 de las zonas de Pairumani (Amalia Ascuy y Sonia Ibáñez), siendo estas últimas las que tienen mayor cercanía a la Granja Modelo Pairumani.

Así mismo, Rodríguez (2012) optó por incluir dos instituciones, el Hogar Zapatito de la zona La Chulla, perteneciente al municipio de Vinto y la E.T. Sayarinapaj de la zona de Bella Vista del municipio de Quillacollo, como estudio de caso. La ubicación física de las parcelas de estudio, en las cuales se implementaron SAF, se muestra en la figura 2, dichas parcelas son las que servirán a la presente investigación para realizar la metodología de evaluación para los SAF.

Tabla 1 Localización de las parcelas de estudio

Provincia		Quillacollo			
Municipio	Vinto				Quillacollo
Zona	San Jorge	Pairumani		La Chulla	Bella Vista
Latitud (sur)	17°24'21.56''	17°21'14.82''	17°21'31.48''	17°22'47.58''	17°18'56.18''
	17°24'25.97''	17°21'16.32''	17°21'39.90''	17°22'49.30''	17°18' 58.79''
Longitud (oeste)	66° 20'17.00''	66°19'43.76''	66°19'31.18''	66°18'35.02''	66°17' 13.46''
	66°20' 26.29''	66°19'45.48''	66°19'31.90''	66°19'36.44''	66°17'15.94''
Altitud	2.555 m.s.n.m	2.774 m.s.n.m	2.669 m.s.n.m	2.573 m.s.n.m	2.808 m.s.n.m
Nombre	Gelmy Viloma	Amalia Ascuy	Sonia Ibáñez	Hogar "Zapatito"	E.T. Sayarinapaj

Fuente: Tomado de Rodríguez (2012)

Las parcelas de estudio poseen una gran variabilidad en cuanto a las dimensiones como en sus características principales.

En la tabla 2 se resumen las principales características de las parcelas al momento de la instalación de los SAF, encontradas en la investigación hecha por Rodríguez (2012).

Tabla 2 Características de las parcelas donde se implementaron los SAF's

Estudio de caso	Pedregosidad	Cobertura Vegetal	Pendiente	Disponibilidad de agua	Área (m ²)	Perímetro (m)	Longitud a reforestar (m)
Amalia Ascuy	Media	Baja	0 - 3%	Si	2528	228	254
Sonia Ibáñez	Baja	Media	0 - 1%	Si	376	50	41
Gelmy Viloma	Baja	Baja	0 - 2%	Si	5460	333	270
E. T. Sayarinapaj	Media-Alta	Baja	0 - 10%	Si	3008	222	200
Hogar Zapatito	Baja	Baja	0 - 1%	Si	1624	148	186

Fuente: Tomado de Rodríguez (2012)

2.3.1.1 Amalia Ascuy

La parcela SAF instalada por la agricultora Ascuy es un sistema silvoagrícola, cuya principal función es el de lindero por cerca viva. Dicha parcela, desde su instalación, presento problemas derivados por la sobreexplotación y mal manejo del recurso suelo. La parcela tiene un pedregosidad media y al momento de su instalación contaba con baja cobertura vegetal, pero pendiente moderada (3%).

Tabla 3 Características principales de las parcelas de Amalia Ascuy

Estudio de caso	Pedregosidad	Cobertura Vegetal	Pendiente	Disponibilidad de agua	Área (m ²)	Perímetro (m)	Longitud a reforestar (m)
Amalia Ascuy	Media	Baja	0 - 3%	Si	2528	228	254

Fuente: Modificado de Rodríguez (2012)

La parcela fue escogida, debido a la buena disponibilidad de agua. Las actividades principales de la agricultora Ascuy son la agricultura, horticultura y floricultura. El área ocupada por la instalación del SAF fue de 2528 m² con un perímetro de 228 m y una longitud a reforestar de 254 m.

2.3.1.2 Sonia Ibáñez

La agricultora Ibáñez optó por la instalación de un SAF como complementación al sistema silvoagrícola con huerto familiar ya existente, al cual se incorporaron nuevas especies, con la función de mejorar las propiedades del suelo e incrementar la diversidad forestal para así consolidar el huerto familiar. El sistema silvoagrícola poseía al momento de instalación/complementación de SAF una antigüedad de 5 años. La principal actividad productiva es la de agricultura, horticultura y floricultura. El área ocupada por la instalación del SAF fue de 376 m² con un perímetro de 50 m y una longitud a reforestar de 41 m.

Tabla 4 Características principales de las parcelas de Sonia Ibáñez

Estudio de caso	Pedregosidad	Cobertura Vegetal	Pendiente	Disponibilidad de agua	Área (m ²)	Perímetro (m)	Longitud a reforestar (m)
Sonia Ibáñez	Baja	Media	0 - 1%	Si	376	50	41

Fuente: Modificado de Rodríguez (2012)

2.3.1.3 Gelmy Viloma

La agricultora Viloma optó por la instalación de un sistema silvoagrícola con *Alley cropping* (cultivo en callejones) y cerca viva como perímetro del terreno. Al implementarse especies forrajeras (tagasaste) en el sistema, el SAF instalado cumple funciones de banco de proteínas para el ganado bovino y equino, ya que una de las actividades principales es la ganadería, junto a la agricultura y horticultura.

Tabla 5 Características principales de las parcelas de Gelmy Viloma

Estudio de caso	Pedregosidad	Cobertura Vegetal	Pendiente	Disponibilidad de agua	Área (m ²)	Perímetro (m)	Longitud a reforestar (m)
Gelmy Viloma	Baja	Baja	0 - 2%	Si	5460	333	270

Fuente: Modificado de Rodríguez (2012)

Las condiciones del terreno son la presencia de pedregosidad baja, cobertura vegetal baja y pendiente baja. El terreno posee buena disponibilidad de agua. El área ocupada por la instalación del SAF fue de 5460 m² con un perímetro de 333 m y una longitud a reforestar de 270 m.

2.3.1.4 E.T. Sayarinapaj

Se instaló un sistema silvoagrícola con fines educativos para estudiar y entender la dinámica y las interacciones de los componentes del sistema, esto principalmente debido a la oferta académica de enseñanza media a superior en agronomía. En este sentido, el SAF instalado se basa en cortinas rompevientos, cercas vivas e introducción de especies forrajeras. Estas técnicas de SAF se implementaron, ya que la parcela posee cobertura vegetal baja y una pendiente pronunciada (10%) por encontrarse en pie de monte. El área ocupada por la instalación del SAF fue de 3008 m² con un perímetro de 222 m y una longitud a reforestar de 200 m.

Tabla 6 Características principales de las parcelas de E.T. Sayarinapaj

Estudio de caso	Pedregosidad	Cobertura Vegetal	Pendiente	Disponibilidad de agua	Área (m ²)	Perímetro (m)	Longitud a reforestar (m)
E. T. Sayarinapaj	Media-Alta	Baja	0 - 10%	Si	3008	222	200

Fuente: Modificado de Rodríguez (2012)

2.3.1.5 Hogar Zapatito

La parcela SAF instalada sobre un terreno con presencia de frutales con 2 años de edad, pero sin especies forestales acompañantes, por lo que el sistema se complementó con especies forestales y con especies para producción de biomasa. El sistema implementado fue el de cultivo en hileras (*Alley cropping*). El terreno posee pedregosidad y cobertura vegetal baja, así como pendiente muy baja (1%). La disponibilidad de agua es muy buena, además que la napa freática es superficial.

Tabla 7 Características principales de las parcelas del Hogar Zapatito

Estudio de caso	Pedregosidad	Cobertura Vegetal	Pendiente	Disponibilidad de agua	Área (m ²)	Perímetro (m)	Longitud a reforestar (m)
Hogar Zapatito	Baja	Baja	0 – 1%	Si	1624	148	186

Fuente: Modificado de Rodríguez (2012)

Se puede apreciar además, que las agricultoras independientes poseen un mal manejo del suelo, teniendo a sus cultivos en constante producción sin dejar descansar los suelos para que puedan regenerarse, provocando con esto problemas de fertilidad y productividad. Así mismo, se puede apreciar que los cultivos predominantes son las flores, hortalizas y el maíz, siendo su cultivo intenso.

Por el contrario, las instituciones realizan un mejor manejo del suelo y los descansos del mismo, para poder mantener la fertilidad y productividad de los mismos.

Tabla 8 Estudios de caso vs. uso agrícola.

Ítem	Amalia Ascu	Sonia Ibáñez	Gelmy Viloma	E.T. Sayarinapaj	Hogar Zapatito
Tiempo consecutivo de cosechas	20 años o +	5 años o +	10 años +	2 años	2 años
Periodos de descanso	0 años	0 años	0 años	Antes del 2010	Antes del 2010
Especies agrícolas cultivadas la última cosecha	Cebollín, maíz y gladiolo	Cebollín, Gladiolo y montecasino	Maíz	Cebolla, tomate, haba y gladiolo	Papa y haba
Especies agrícolas cultivadas anteriormente	Variedad de flores y hortalizas	Variedad de flores y hortalizas	Maíz, quilquiña, cebolla	Papa y variedad de flores	Maíz

Fuente: Tomado de Rodríguez (2012)

2.3.2 Especies implementadas

Se seleccionaron 8 especies acompañantes y 8 especies frutales para la instalación de los diferentes SAF's, las cuales se muestran en la tabla 9, respectivamente.

Tabla 9 Especies implementadas

Uso	Nombre Común	Nombre científico
Acompañante	Acacia	<i>Acacia floribunda</i> (Vent.) Willd.
	Tara	<i>Caesalpinia spinosa</i> (Molina) Kuntze
	Tipa	<i>Tipuana tipu</i> (Benth.) Kuntze 1898
	Jarka	<i>Acacia visco</i> Lorentz ex Griseb
	Tagasaste	<i>Chamaecytisus palmensis</i>
	Chilijchi	<i>Erythrina crista-galli</i>
	Pino Radiata	<i>Pinus radiata</i> D.Don
	Lluvia de oro	<i>Laburnum anagyroides</i> Medik.
Frutales	Pera	<i>Pyrus communis</i> L.
	Manzano	<i>Malus domestica</i> Borkh. 1803
	Durazno	<i>Viburnum tinus</i> L.
	Limón	<i>Citrus × limón</i> (L.) Burm.f.
	Palta	<i>Persea americana</i> Mill.
	Pacay	<i>Inga feuilleei</i>

Níspero	Manilkara huberi (Ducke) A.Chev. 1933
Guinda	Prunus cerasus L.

Fuente: Adaptado de Rodríguez (2012)

Las especies escogidas a ser implementadas en los SAF instalados por Rodríguez (2012), se basaron en el grado de adaptabilidad de las mismas a las condiciones locales, teniendo en cuenta características biofísicas y climáticas de la zona seca y en base a las experiencias obtenidas en las experiencias realizadas en Mollesneja.

2.3.3 Tecnologías agroforestales implementadas

La tabla 10 muestra las tecnologías agroforestales que se implementaron en cada estudio de caso. Se puede apreciar, que cada estudio de caso posee diferentes tecnologías aplicadas, lo cual dificulta poder optar por una metodología que pueda servir para evaluar los diversos sistemas.

Tabla 10 Tecnología agroforestal implementada por estudio de caso

Estudios de caso	Tecnologías agroforestales				
	Cercas vivas	Cortinas rompevientos	Huertos caseros	Cultivo en callejones	Banco de proteína
Amalia Ascu	x				
Sonia Ibáñez			x		
Gelmy Viloma	x			x	x
Escuela Técnica Sayarinapaj	x	x		x	x
Hogar Zapatito	x			x	

Fuente: Tomado de Rodríguez (2012)

3 Metodología

La metodología planteada permitió alcanzar el objetivo propuesto de diseñar una metodología para evaluar sistemas agroforestales en zonas secas basándose en las dimensiones ambiental, social y económica.

Esta metodología fue adaptada en base a metodologías existentes, tomando en cuenta las características y condiciones locales y puede ser replicada para la evaluación de parcelas implementadas bajo condiciones parecidas en las zonas semiáridas. Además la presente metodología servirá para fortalecer el grado de conocimiento de los sistemas implementados y optimizar la toma de decisiones para evaluar la rentabilidad y sustentabilidad socio-económica y ecológico-ambiental de los sistemas agroforestales implementados zonas semiáridas.

En los puntos siguientes se describen los pasos, técnicas y herramientas empleadas para lograr los objetivos específicos planteados.

3.1 Identificar una metodología que permita evaluar Sistemas Agroforestales en zonas secas desde un punto de vista económico, social y ambiental

Se realizó una revisión bibliográfica referente a metodologías implementadas y a criterios e indicadores de sustentabilidad para la evaluación de sistemas agroforestales en la dimensión económico, social y ambiental, con la finalidad de identificar aspectos metodológicos usados en estudios similares para evaluar sistemas agroforestales, así como las posibles limitaciones para la aplicación de estas metodologías en las condiciones locales. De esta manera se podrá determinar los criterios e indicadores y la metodología, que mejor se ajusten a las condiciones locales. Esto sirvió como base para la elaboración y adaptación de criterios e indicadores y de la metodología a ser usada para los requerimientos del Proyecto ISABEL.

3.1.1 Criterios de selección base

La selección de metodología se basó en la revisión de literatura a partir de la selección de textos y publicaciones sobre el tema de indicadores de sostenibilidad para la evaluación de agro ecosistemas. Se seleccionó en base a la accesibilidad y la pertinencia de los trabajos académicos (tesis, tesinas, monografías, artículos) y técnicos (informes y manuales) publicados en relación a la evaluación de SAF.

Se analizaron estudios relativos a procedimientos metodológicos adoptados en SAF o en agro ecosistemas, teniendo en cuenta los siguientes aspectos:

- Tipo de agro ecosistemas evaluados
- Las técnicas de recolección de datos empleados
- Los tipos de variables que componen los indicadores (cuantitativos; cualitativos)
- Los métodos de cálculo y operacionalización de los indicadores;
- La cantidad y tipo de indicadores ambientales utilizados;
- Los posibles factores limitantes de una nueva aplicación de otras metodologías a la realidad local

Por otro lado, la selección de metodologías se basó en los requerimientos del Proyecto ISABEL, para lo cual la metodología escogida necesariamente debería poder ser empleada para realizar la evaluación específica de las siguientes componentes:

En la dimensión ambiental deberá poder evaluarse la:

- Productividad física de productos de consumo y venta
- Producción parcial y total de biomasa del sistema
- Fijación de carbono en los sistemas productivos (biomasa y suelos), evaluación individual de las especies y del sistema
- Adaptación y desempeño de las especies vegetales locales e introducidas
- Eficiencia en el aprovechamiento del agua del sistema
- Potencial para el mejoramiento de las propiedades ecológicas (énfasis en el suelo y la biodiversidad)

En las dimensiones social y económica:

- Uso de recursos, economía, autonomía del sistema
- Grado de adopción y apropiación por parte de productores

- Rentabilidad parcial del sistema durante el período de estudio

Según los resultados esperados del Proyecto ISABEL, la metodología escogida deberá poder reflejar los siguientes aspectos de los sistemas implementados:

- Las parcelas agroforestales cubren necesidades y requerimientos de las familias locales
- Se tiene establecido un sistema agroforestal en pequeña escala, con especies frutales, forestales, industriales (tara) y forrajeras, inicialmente adaptadas
- Se tiene una evaluación inicial del potencial de fijación de carbono de las principales especies vegetales del sistema y del sistema en conjunto
- Los productores tienen la suficiente capacitación y grado de apropiación, para manejar y ampliar los sistemas, y difundirlos en sus comunidades
- Los sistemas son lo suficientemente autónomos, técnica y socialmente, y presentan una adecuada relación beneficio-costeo
- Se han monitoreado indicadores de calidad ambiental en las parcelas de estudio, a lo largo del tiempo
- Se tiene una primera aproximación a un sistema agroforestal apto para una zona semiárida degradada en diferentes alturas de los valles interandinos, validado con las comunidades

Para lograr esto, el Proyecto ISABEL pretende evaluar el desarrollo del sistema empleando indicadores agronómicos, ecológicos, sociales y económicos. En el caso de los indicadores ambientales, se consideraron los indicadores ambientales, ecológicos, agroecológicos y biofísicos presentes en los estudios analizados sobre sistemas agroforestales, los cuales se compararon también a partir de aspectos metodológicos comúnmente encontrados.

Además, la metodología debe ser de fácil comprensión, de acceso libre, de bajo costo y de fácil aplicabilidad, para que los agricultores como los técnicos e investigadores puedan aplicar el modelo y realizar la interpretación de resultados. Así mismo, se tomó en cuenta si las

metodologías analizadas abarcan en la evaluación de los sistemas agroforestales las dimensiones económicas, sociales y ambientales.

3.1.2 Matriz de toma de decisión de metodologías

Para realizar la decisión sobre la metodología, se utilizó una matriz de decisión de metodologías, en la cual se analizaran las características de cada metodología según los criterios establecidos en el punto 3.1.1.

Tabla 11 Matriz de decisión

Siglas Modelo	
Nombre	
Costo modelo	
Institución	
Tipo	
Software necesario	
Costo software	
Es modificable (si/no)	
Descripción general	
Referencias científicas	
Metodología	
Adaptable a SAF	
Ámbito de uso	
Fortalezas modelo	
falencias modelos	
Datos necesarios del modelo/metodología	

Fuente: Elaboración propia

3.2 Definir criterios e indicadores económicos, sociales y ambientales que mejor se ajusten a las condiciones de la zona seca y adaptarlos a las necesidades específicas del Proyecto ISABEL

3.2.1 Definición y selección de indicadores

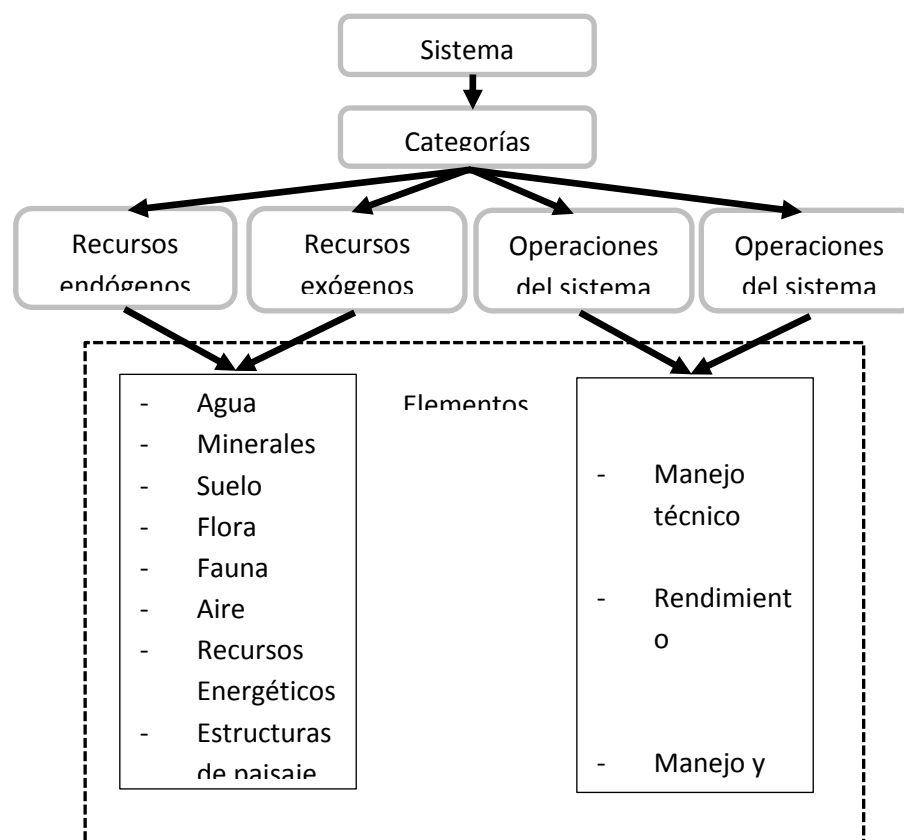
El Proyecto ISABEL pretende la evaluación de los sistemas implementados utilizando indicadores agronómicos, ecológicos, sociales y económicos. Por tanto para el presente estudio asume que un indicador puede estar compuesto por más de una variable o parámetro, por lo que en un indicador único, pese a ser específico pueden reunirse diversos parámetros. Es por esto que para el análisis de indicadores ambientales, se determinaron los siguientes criterios de procedimiento para el análisis de los mismos:

- Los indicadores constituidos por la sumatoria de varios parámetros son desagregados de forma que cada parámetro pasa a ser considerado como un indicador.
- Los indicadores obtenidos por expresiones matemáticas que establezcan relaciones entre los parámetros, se mantendrán como son presentados.

Los indicadores se analizaron sobre una perspectiva sistémica, de modo que se emplearon dos estructuras conceptuales de clasificación para identificar y clasificar la sustentabilidad ambiental.

La primera estructura conceptual se basa en el esquema usado por Daniel (2000), en el cual los indicadores se agrupan según categorías y elementos del sistema agroforestal. Por tanto esta estructura conceptual establece dos tipos de clasificación con relación a los indicadores de sostenibilidad, por un lado las categorías y por otro los elementos como se muestra en la figura 4.

Figura 4. Estructura para clasificación de indicadores de sustentabilidad



Fuente: Adaptado de Daniel, 2000

La segunda estructura conceptual empleada para la clasificación es el marco de los indicadores ambientales P-E-R (Presión-Estado-Respuesta) propuesto por la OECD (Tomasoni, 2006). Por tanto, los indicadores se agrupan en 3 categorías:

- **Indicadores de presión**

Son indicadores de stress del sistema y tratan de responder a preguntas sobre las causas de los problemas del medio ambiente. Consideran las actividades antrópicas como las causas de los problemas, tales como la emisión y acumulación de residuos.

- **Indicadores de estado**

Son indicadores de calidad o efecto, responden sobre el estado del ambiente. Resaltan la calidad e la cantidad de recursos naturales disponibles ante la presencia de actividades humanas.

- **Indicadores de respuesta**

Son indicadores de respuesta social, tratan de responder preguntas sobre lo que se está haciendo para resolver los problemas ambientales y las acciones emprendidas para mitigar y/o resolver los impactos sobre los recursos naturales.

3.2.2 Selección de categorías, elementos y descriptores para la evaluación de SAF

Los indicadores se agruparon en tres dimensiones: ambiental, económica y social. Para esto se consideró que en todo caso la sostenibilidad, así como la expresión en cada dimensión, es alcanzada y por tanto es factible su análisis bajo los siguientes criterios: productividad, estabilidad, equidad, resiliencia y autonomía. Por esto mismo, en cada dimensión existe por lo menos un indicador en cada uno de los criterios establecidos permitiéndonos realizar el análisis de sostenibilidad según criterio.

En la tabla 12, se sintetizan los aspectos metodológicos de los estudios analizados sobre sostenibilidad de agroecosistemas. De esta síntesis se obtuvieron los indicadores a ser analizados para evaluar la sostenibilidad de los sistemas agroforestales estudiados.

Tabla 12 Comparación de las metodologías de evaluación de agroecosistemas

ASPECTOS		CALORIO	DANIEL	LOPES	MOURA	SEVERO	SEPULVEDA
Dimensiones adoptadas		4 Dimensiones: Física, Biológica, Economicas y Sociales	3 Dimensiones: Ambiental, Económica y Social	4 Dimensiones: Técnico-Productiva, Económica, Ambiental y Organizacional	3 Dimensiones: Ambiental, Económica y Social	3 Dimensiones: Ambiental, Económica y Social	Definidas por el usuario del metodo
Uso de los criterios de sostenibilidad en la estructura de los indicadores		-	-	5 criterios: productividad, estabilidad, sustentabilidad, equidad y autonomia	5 criterios: productividad, estabilidad, sustentabilidad, equidad y autonomia	5 criterios: productividad, estabilidad, sustentabilidad, equidad y autonomia	-
Procedimientos para el calculo del indice de Sostenibilidad	Cantidad de indicadores	129 indicadores	Sugiere 105 indicadores originales, usa solo 87 en los analisis empiricos	28 indicadores originales y 10 agregados	47 indicadores originales y 15 agregados	21 indicadores originales y 15 agregados	Definidos por el usuario del metodo
	Cálculo de los indicadores agregados	Calculando el area formada por los lados del triangulo del grafico radar	Calculando el area formada por los lados del triangulo del grafico radar	Sumatorias y medias aritmeticas simples	Sumatoria	Media aritmetica simple	Media aritmetica simple
	Transforma cion de la escala de los indicadores	Uso de la constante 5	Uso de la constante 5	-	-	Uso de la constante 5	-

Tabla 12: Comparación de las metodologías de evaluación de agroecosistemas (cont.)

ASPECTOS		CALORIO	DANIEL	LOPES	MOURA	SEVERO	SEPULVEDA
Procedimientos para el calculo del indice de Sostenibilidad	Transformacion de escala de los indicadores	Transforma con base a la formula: $I_p = [5+(x_n - \mu)]/S$	No transforma. Simula calculos del indice basado en Calorio sin transformacion, concluyendo que la padronizacion no es adecuada para el monitoreo de la sostenibilidad	Funcion padronizar de excel $Z = [x_n - \mu]/s$		$I_{ij} = [(x_{ij} - x_{mín})/(x_{máx} - x_{mín})]$	Indicadores com relacion direta com la sostenibilidad: $I_{ij} = [(x_{ij} - x_{mín})/(x_{máx} - x_{mín})]$; Indicadores com relacion inversa com la sostenibilidad: $I_{ij} = [(x_{ij} - x_{máx})/(x_{mín} - x_{máx})]$
	Cálculo del Indice de Sostenibilidad	Área del grafico radar para el calculo del indice de sostenibilidad	Área del grafico radar para el calculo de los indices de sostenibilidad biofisico y socioeconomico	media aeritmetica simples y suma para el calculo del Indice de Sostenibilidad	Media harmonica para el calculo del Indice de Sotenibilidad	Media harmonica para el calculo del Indice de Sotenibilidad	Suma ponderada en base a la atribucion de pesos a las dimensiones por el usuario
Presentacion grafica de los indices		Uso de grafico radar	Uso de grafico radar	Uso de grafico radar	Uso de grafico radar	Uso de grafico de columnas	Uso de grafico radar
Referencias teorico-metodologicas		Douglas (1990) Torres (1990)	Calório (1997)	Calório (1997), Daniel (2000)	Calório (1997), Daniel (2000), Lopes (2001); Sepúlveda (2002)	Lopes (2001), Moura (2002)	Hammond et.al. (1995), Programa de las Naciones Unidas para o Desenvolvimento-PNUD
Ano de publicacion		1997	2000	2001	2002	2004	2005

Fuente: Adaptado de Calório (1997), Daniel (2000), Lopes (2001), Moura (2002), Severo et al (2004) y Sepúlveda et al (2005).

3.2.3 Índices de sostenibilidad y Gráficos Radar

Una manera de diagnosticar el estado del sistema agrícola es la construcción de indicadores de sustentabilidad. Estos indicadores permiten conocer de manera particularizada, las necesidades de manejo de cada sistema, con miras a mantener o mejorar la productividad, reducir riesgos e incertidumbre, aumentar los servicios ecológicos y socioeconómicos, proteger la base de recursos y prevenir la degradación de suelos, agua y biodiversidad, sin disminuir la viabilidad económica del sistema (Altieri, 1997).

Para el cálculo de los índices de sostenibilidad, hay varias metodologías, que poseen variaciones que van desde el número de dimensiones y criterios considerados hasta el cálculo de los índices de sostenibilidad. Según Calório (1997), para obtener el valor de los índices de sostenibilidad es necesario calcular el área del grafico radar, el cual se genera a través del ploteo de los indicadores agregados. Así mismo, Daniel (2000) en base a la propuesta de Calório, simplifica el cálculo de los índices de sostenibilidad de tal modo, que realiza la adaptación de las formulas empleadas. El uso del grafico radar, según Lightfoot *et al* (1993), “produce informaciones visuales que son útiles para comparar sistemas a lo largo del tiempo y espacio” (Citado por Daniel, 2000).

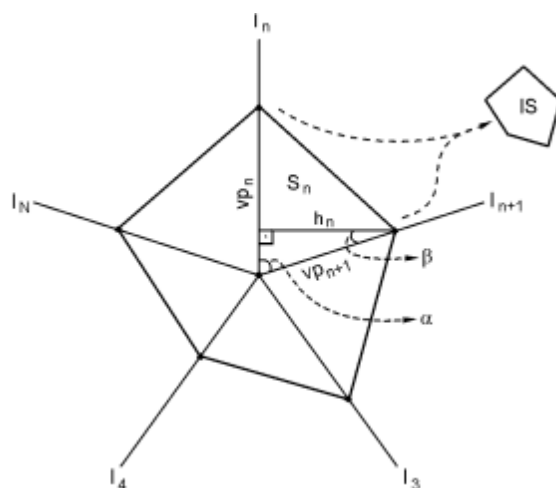
Lopes (2001), utiliza el gráfico tipo radar como una herramienta para evaluar y representar visualmente la sostenibilidad de las unidades agrícolas, pero calcula los índices de sostenibilidad de estas unidades empleando la media armónica. El autor justifica su elección indicando que el método de cálculo de los índices de sostenibilidad mediante el cálculo del área de gráfico tipo radar, similar a la media aritmética simple, tiende a considerar los valores altos, bajos o incluso nulos, de forma indiscriminada, causando un sistema con valores muy desequilibrados, máximos en una dimensión y mínimos en otra, por ejemplo, alcance un índice de sostenibilidad medio, sin tener en cuenta el equilibrio entre los indicadores y las dimensiones de la sostenibilidad considerados. En contraste, según Lopes (2001), la media harmónica registra índices mayores en los sistemas más equilibrados.

Severo *et al* (2004), calculan los indicadores agregados basándose en la media aritmética y miden los índices de sostenibilidad de las unidades de producción (SAF) usando la media

harmónica. La simplificación de los cálculos, a través del empleo de la media aritmética en todas las etapas de cálculo del índice de sostenibilidad, incluye según Moura (2002), el cálculo de los índices de sostenibilidad de las unidades productivas (fincas). Moura afirma que el método propuesto por el, simplificado de las metodologías de Calório (1997), Daniel (2000), Lopes (2001), presenta resultados finales similares a los obtenidos por los otros métodos, lo cual corroboró con el cálculo de coeficientes de correlación entre las metodologías. Moura además, concluye que su método se ve limitado al momento de representar el equilibrio entre las dimensiones de sostenibilidad tratadas cuando existen valores extremos en el conjunto de indicadores o entre los índices de sostenibilidad de las diferentes dimensiones evaluadas, ya que la simple suma de los indicadores puede llevar a subestimar o sobre estimar valores extremos y no contempla el equilibrio entre las dimensiones e indicadores (Moura, 2002).

Los valores medidos de los índices de sostenibilidad mediante el uso de gráficos tipo radar, pueden alterar significativamente debido al cambio en el orden en que están dispuestos los indicadores agregados sobre los ejes de la gráfica (Moura, 2002). Por tanto, utilizando los mismos indicadores agregados pero dispuestos en orden diferente en los ejes del gráfico, se pueden obtener índices de sostenibilidad con diferentes valores.

Figura 5. Gráfico tipo radar



Fuente: Tomado de Daniel (2000) en base a Calório (1997)

El los gráficos tipo de radar, sugeridos por Calório (1997) y Daniel et al. (1999b) en relación con los índices de sostenibilidad biofísica y socioeconómico de sistemas agroforestales, cada radio de los gráficos representa un indicador, cuyos valores unidos, forman el área central representativa de los índices de sostenibilidad ambiental y sostenibilidad socioeconómica.

Una aplicación sugerida de estos gráficos, es la capacidad de seguimiento de los cambios en los indicadores en mayor o menor grado, en un proceso de monitoreo. Naturalmente estas figuras deben ser impresas en mayores dimensiones, para que las variaciones sean más visibles, de lo contrario los cambios sólo se harán evidentes a valores más altos de los índices (Daniel, 2000).

Después de obtener los valores de los indicadores seleccionados para evaluar la sostenibilidad de los sistemas agroforestales, en base a los verificadores propuestos en los puntos 4.2.1, 4.2.2 y 4.2.3, Calório (1997) recomienda los siguientes pasos:

1. Transformación de los valores de los indicadores

Se busca normalizar los valores de los indicadores, eliminando los efectos de escala y de unidades de medida, ya que representa indicadores diferentes, lo que asegura que cada uno de los indicadores tenga el mismo peso relativo en la determinación del índice (Douglas, 1990; Torres, 1990), para lo cual se aplica la siguiente fórmula:

$$vp_n = \frac{5 + (x_n - x_p)}{S}$$

dónde:

vp_n = valor del indicador n normalizado

x_n = valor original del indicador n

x_p = valor medio de todos los indicadores

S = desviación estándar para todos los indicadores

5 = constante propuesta por Calório (1997)

2. Obtención del ángulo formado entre dos indicadores adyacentes

Para obtener el ángulo, se aplica la fórmula siguiente:

$$\alpha = \frac{360}{N} * \frac{\pi}{180}$$

dónde:

α = ángulo entre dos indicadores, en radianes

N = número total de indicadores

$\pi/180$ = factor de transformación de grados a radianes, si el cálculo de coseno en la etapa siguiente lo requiere

3. Cálculo del área de cada triángulo identificado en el gráfico

El cálculo se lo realiza a partir del valor normalizado de dos indicadores adyacentes y del ángulo formado entre los mismos, y consta de los siguientes pasos:

1. Obtención del ángulo β del triángulo

El ángulo β se lo obtiene mediante el siguiente cálculo:

$$\beta = 180 - 90 - \alpha$$

2. Cálculo del área del triángulo

El área del triángulo se calcula mediante la fórmula:

$$S_n = \frac{(|vp_n| * h_n)}{2}$$

Siendo: $h_n = \cos \beta * |vp_{n+1}|$

Entonces: $S_n = \frac{(|vp_n| * \cos \beta * |vp_{n+1}|)}{2}$

dónde: S_n = área del triángulo

4. Cálculo del índice de sostenibilidad

Finalmente, para el cálculo del índice de sostenibilidad se aplica la siguiente fórmula:

$$IS = \sum_{n=1}^N S_n$$

Por tanto se obtiene un gráfico radar, mediante el cual los niveles de sostenibilidad de los sistemas agroforestales pueden ser calculados gráficamente mediante el ploteo tanto de los valores de los índices de sustentabilidad de cada como de cada criterio. Estas representaciones graficas posibilitan un análisis comparativo entre los niveles de sustentabilidad presentados por cada unidad de producción.

3.3 Aplicación y validación del modelo propuesto para evaluar Sistemas Agroforestales en zonas secas en las parcelas modelos instaladas y análisis de resultados

Los datos necesarios para evaluar los sistemas agroforestales en los cinco estudios de caso, se recolectaron según la metodología y procedimientos determinados en la propuesta de evaluación de sistemas agroforestales, tomando como base, los datos ya generados en la investigación realizada por Rodríguez (2012), y mediante la generación de datos nuevos, de ser necesario.

Habiendo realizado la colecta de datos, posterior aplicación del modelo propuesto y análisis de los resultados obtenidos, se analizó la aplicabilidad del modelo y se propusieron las modificaciones necesarias conforme a los problemas encontrados en la prueba de campo realizada al aplicar el modelo, para proponer un modelo validado para evaluar sistemas agroforestales que podrá ser extrapolada bajo condiciones similares y zonas de características similares.

4 Resultados y discusión

4.1 Matriz de toma de decisión de metodologías

Para determinar la metodología que mejor se adapta a las condiciones establecidas en el punto 3.1.1, se elaboró una matriz de toma de decisión para los modelos de simulación, bases de datos y criterios e indicadores respectivamente, la cual se presenta a continuación:

Tabla 13 Matriz de toma de decisión Modelos de simulación

Modelos de simulación				
Modelo	FALLOW	WaNuLCAS	APSIM	CIMAT
Nombre	Forst, Agroforest, Low-Value Landscape or Wasteland?	Water, Nutrient and Light Capture in Agroforestry Systems	Agricultural Production System Simulator	Criteria and Indicator Modification Tool
costo modelo	gratis	gratis	gratis uso privado	gratis
Institución	ICRAF (World Agroforestry Center)	ICRAF (World Agroforestry Centre)	Iniciativa APSIM conformada por CSIRO, the State of Queensland y The University of Queensland	CIFOR
tipo	modelo de Instrumento de política integral a nivel de paisaje	modelo de interacciones árbol-suelo-cultivo en la agricultura migratoria	modelo computacional	multicriterio y multivariable
software necesario	PC Raster o Stella	Stella	APSIM	CIMAT; paquete estadístico
costo	PC Raster (gratis) o Stella (USD 699 a USD 749)	básico USD 699 - paquete medio ambiente USD 749	gratis uso privado	CIMAT (gratis), SPSS de pago
modificable	si	si	no	si
descripcion general	Modelo para simular los impactos de cambio en la agricultura y rotación de barbechos a nivel de paisaje evaluando transiciones entre la fertilidad del suelo, productividad de cultivos, biodiversidad y niveles de carbono	representa interacciones árbol - suelo - cultivo en una amplia gama de SAF, donde los árboles y los cultivos se superponen en el espacio y/o tiempo.	Permite configurar flexiblemente modelos de cultivos, pasturas, árboles, suelos, agua, nutrientes y erosión para simular diversos sistemas de producción. simular los procesos biofísicos en los sistemas agrícolas, en particular en lo que se refiere a los resultados económicos y ecológicos de las prácticas de gestión en la cara de los riesgos climáticos	es un programa informático diseñado para ayudar a modificar, personalizar y adaptar la plantilla genérica de C & I del CIFOR y los sets de C & I de CIFOR para plantaciones industriales, bosques administrados por el CIFOR, Organización Internacional de las Maderas Tropicales, Forest Stewardship, Consejo de la Organización Africana de la Madera y el Instituto de ecoetiquetado de Indonesia para cumplir con las condiciones y las expectativas locales
referencias científicas	World Agroforestry Centre 2003c; Van Noordwijk 2002	Van Noordwijk and Lusiana 1999; ICRAF 2003	McCown et al 1996, Iniciativa APSIM	CIFOR
metodología	Respuestas locales representadas por el modelo comprenden: cómo los agricultores ajustan sus expectativas acerca de la utilidad económica de cada opción disponible en las inversiones realizadas en base a la tierra y no en base a la tierra-a través del aprendizaje; cómo los agricultores destinan sus capitales (trabajos, el dinero y la tierra) a cada opción disponible de las inversiones; cómo perciben los agricultores las parcelas para ampliar el sistema de uso de la tierra en particular, con respecto a algunos factores espaciales que determinan los beneficios potenciales (fertilidad del suelo, la idoneidad y rendimiento alcanzable) y los costos potenciales (transporte, mantenimiento y limpieza de terrenos); la sucesión, el crecimiento, el fuego y la conversión de la tierra; y la disminución y el aumento de los rendimientos marginales de la fertilidad del suelo y la productividad del uso de la tierra.	WaNuLCAS Excel, donde se consignan la mayoría de los datos incluyendo clima, datos de suelo y parámetros de cultivos y de árboles, y Archivo WaNuLCAS.stm/STELLA, el entorno donde se realizan las simulaciones, incluyendo el crecimiento de los árboles y de los cultivos, el uso del agua y otros aspectos del sistema.	simulación de la productividad primaria neta y el rendimiento económico y de la simulación de la dinámica del agua en el suelo y el suelo de carbono / nitrógeno en los diferentes sistemas agrícolas	adaptación de criterios e indicadores prediseñados, mediante método interactivo de filtrado y generación de c & i que consiste en: 1) identificar set adecuado de c&i, 2) evaluación y adaptación de los c&i, 3) aplicación de los c&i; determinación de un índice de sostenibilidad por el programa CIMAT. todo se basa en las Directrices para desarrollar, probar y Seleccionar Criterios e Indicadores para el manejo Forestal Sostenible del CIFOR. Los C & I ponen en práctica la metodología de análisis multicriterio (MCA) para cualquier régimen en particular, que evalúa biodiversidad funcional o sustentabilidad en los sistemas agroforestales. CIMAT determina el IMS, el cual se somete a AMV via análisis estadístico
Adaptable a SAF	explícito para SAF	explícito para SAF	si	si, SAF-MES tropicos

ambito de uso	Analisis de impactos en dinamicas de paisaje debido a cambios socioeconomicos y cambios en el uso de la tierra	modelo puede ser utilizado para explorar interacciones positivas y negativas de diferentes combinaciones de árboles, cultivos, suelo, clima y gestión, por parte del agricultor	Modelar sistemas que involucran la sucesión de cultivos (rotacion, agricultura escalonada) o mezcla de cultivos (cultivos asociados, agroforesteria)	Evaluar la sostenibilidad del manejo Forestal. Dirigido a la elaboración de conjuntos de C & I para los bosques naturales en la unidad de manejo forestal (UMF), especialmente en los trópicos
fortalezas modelo	toma ambitos biofisico y socioeconomico	sirve como herramienta de interpretacion para la informacion de diferentes estudios observacionales obteniendo predicciones racionales para formular nuevos escenarios	Los puntos fuertes del modelo se encuentran en los sistemas de cultivo, con las capacidades emergentes de los pastos y sistemas forestales.	adaptable, uso de analisis multicriterio y multivariable; se basa en criterios sociales, ecologicos, de manejo y economicos. Análisis Multicriterio (MCA) es una herramienta de toma de decisiones que integra una serie de métodos con el fin de dar una visión integradora en problemas complejos e interdisciplinarios, incluidas las fuentes de datos diferentes, diferentes posiciones de expertos y grupos de interés diferentes; se caracteriza por su capacidad para involucrar la participación y el acuerdo de múltiples grupos de interés a partir de datos cualitativos y cuantitativos. posible adaptar los C & I a las necesidades específicas y condiciones locales (Prabhu et al. de 1996, Prabhu et al. de 1999, Mendoza y Macoun 2002).
falencias modelos	brinda una simulacion, no asi un dato concreto sobre el estado actual posible. La cantidad de datos actual no es suficiente para llevar a cabo una simulacion representativa	no toma ambito social, pero si acciones del productor ?????. Arboles no parametrizables a la realidad local	no toma aspectos de manejo animal ni social, ademas no hace analisis economico	no fue probado en zonas aridas, se basa en el analisis de una unidad forestal de manejo, especialmente para la zona tropical
datos necesarios	?	?		DAP árboles (>2,5cm, h>2m); DAP arbustos, cultivos (<2m <2,5cm);% cob suelo; peso fresco total/%masa seca; densidad aparente, mat org, Ntotal, Ptotal, llenado cuestionario de c&i desarrollado

Tabla 13: Matriz de toma de decisión Modelos de simulación(cont.)

Fuente: Elaboración propia

Bases de datos aplicadas a sistemas agroforestales			Metodos basados en criterios e indicadores			
Modelo	AKT 5	WOCAT	FELSM	MESMS	RISE	Metodo propuesto por Camino y Müller (1997)
Nombre	Agroecological Knowledge Toolkit	World Overview of Conservation Approaches and Technologies		Marco para la Evaluación de Sistemas de Manejo de recursos naturales incorporando Indicadores de Sustentabilidad (MESMS)	Response-Inducing Sustainability Evaluation	Método de indicadores de sustentabilidad para ecosistemas en general
costo modelo	gratis	gratis	gratis	gratis	> 200 0 USD	gratis
Institución	ICRAF (World Agroforestry Centre)	consorcio de 60 instituciones			Bern University of Applied Sciences	Camino y Müller
tipo	modelo computacional	formularios preestablecidos		basado en criterios e indicadores	modelo computacional	basado en criterios e indicadores
software necesario	AKT 5	DESIRE, Formularios		ninguno	RISE 2.0 web-app	ninguno
costo	gratis	gratis		gratis	????	gratis
modificable	si	no, pero adaptable		si	si, formularios preestablecidos	si
descripcion general	Creación de bases de conocimiento que componen los registros formales de conocimiento local que puse ser libremente consultado y usado por personal de investigación y extensión	WOCAT ha desarrollado un marco ampliamente aceptado para la documentación, seguimiento, evaluación y difusión del conocimiento SLM, que abarca todas las etapas de recopilación de datos, a una base de datos y utilizar la información para toma de decisiones. WOCAT herramientas proporcionan un método único, ampliamente aceptada y estandarizada de la aplicación		marco metodológico para evaluar la sustentabilidad de diferentes sistemas de manejo de recursos naturales a escala local (parcela, unidad productiva, comunidad)	metodo basado en entrevistas para evaluar la sostenibilidad de las operaciones agrícolas a través de la dimensión económica, social y ambiental	marco metodológico para evaluar la sustentabilidad de diferentes sistemas de manejo de recursos naturales a escala local (parcela, unidad productiva, comunidad)
referencias científicas	ICRAF (World Agroforestry Centre)	FAO, CDE			Berner Fachhochschule, GIZ- PROAGRO	Camino y Müller (1993), Daniel (2000) Avila (1989), Torquebiau (1989)
metodologia	conocimiento es generado a través de entrevistas semi-estructuradas con muestra estratificada de informantes creación de bases de conocimiento que componen los registros formales de conocimiento local que puede ser flexiblemente consultados y usados por el personal de investigación y extensión	1) cuestionarios para la documentación y la evaluación de las tecnologías de MST y enfoques (estudios de casos) - con módulos de temas globales como la pobreza, la desertificación, el cambio climático, la biodiversidad 2) una base de datos global para el almacenamiento, búsqueda e intercambio de las prácticas de MST 3) una escala independiente de la herramienta de mapeo para la evaluación local y regional de la degradación y el MST (en colaboración con IADA / FAO y la UE-DESIRE) 4) una herramienta de apoyo a la decisión para la selección y aumento de escala de las mejores prácticas identificadas (en colaboración con la UE-DESIRE)		El concepto de sustentabilidad se define a partir de cinco principios generales de los agroecosistemas o sistemas de manejo: (a) productividad, (b) estabilidad, confiabilidad y resiliencia, (c) adaptabilidad, (d) equidad, y (e) autodependencia (autogestión). La evaluación de sustentabilidad se lleva a cabo y es válida solamente para: (a) sistemas de manejo específicos en un determinado lugar geográfico y bajo un determinado contexto social y político; (b) una escala espacial (parcela, unidad de producción, comunidad o cuenca) previamente determinada, y (c) una escala temporal (también previamente determinada). La evaluación de sustentabilidad es una actividad participativa que requiere de una perspectiva y un equipo de trabajo interdisciplinarios. El equipo de evaluación debe incluir tanto a evaluadores externos como a los involucrados directos (agricultores, técnicos, representantes de la comunidad y otros actores). La sustentabilidad no puede evaluarse por se sino de manera comparativa o relativa. Para esto existen dos vías fundamentales: (a) comparar la evolución de un sistema o sistema a través del tiempo (comparación longitudinal), o (b) compararlo	Información completa sobre los aspectos ecológicos, económicos y sociales se recoge a través de un cuestionario basado en una entrevista con el agricultor	la definición de indicadores de sustentabilidad en base a una estructura metodológica,
Adaptable a SAF	si	si		si	si, adaptación de formularios preestablecidos	si
ambito de uso	Reunir conocimientos ecológicos locales	Gestión del Conocimiento y Apoyo de Decisiones para la Gestión Sostenible de la Tierra		realizar analisis de sustentabilidad en las dimensiones ambiental, social yy economico	analisis de aspectos ecológicos, económicos y sociales de fincas, emprendimientos, cultivos, agricultura	realizar analisis de sustentabilidad en las dimensiones ambiental, social yy economico
fortalezas modelo	permite almacenar el conocimiento local en una base de datos que facilita las búsquedas electrónicas y el razonamiento.	Atraves de la colecta de datos referidos a sistemas agrícolas de conservación de agua y suelo y enfoques de desarrollo se reúnen informaciones sobre el esparcimiento espacial de la degradación y conservación de suelos, las ventajas y desventajas socio-economicas y ecologicas así como las razones para la adopción o rechazo de los usuarios locales. La información recopilada es finalmente ingresada en una base de datos central y se almacena. En la forma de manuales, mapas y en formato digital, estos registros se harán disponibles a nivel mundial.		El Marco de Evaluación de Sistemas de Manejo incorporando Indicadores de Sustentabilidad (MESMS) se dirige a proyectos agrícolas, forestales y pecuarios llevados a cabo colectivo o individualmente y que se orientan al desarrollo y/o la investigación	calculo de 50 parametros de sostenibilidad condensados en 10 indicadores. RISE utiliza una metodología estandarizada y sencilla de entrada y salida de datos y por lo tanto facilita la evaluación de la sustentabilidad de diferentes tipos de explotaciones y sistemas de producción en todo el mundo. La interpretación de los resultados de RISE es comprensible para los agricultores y asesores capacitados y comprensible para un público en general.	altamente adaptable, usada en estudios de saf diversos
falencias modelos					altos costos de licencia,	
datos necesarios				según diseño	datos incluyen información sobre el clima (temperatura, precipitación), la situación hídrica (nivel de estrés hídrico), la agricultura (cultivos, ganado, rendimientos) y la situación económica y social de la región (esperanza de vida, tasa de inflación, tasa de cambio de la moneda local (en dólares americanos), salario promedio, línea de pobreza, salarios mínimos	según diseño

Tabla 13: Matriz de toma de decisión Bases de datos y Metodologías basadas en criterios e indicadores

Fuente: Elaboración propia

La aplicación exitosa de sistemas agroforestales depende de la unión de diversas fuentes de información de manera que responda a las necesidades de los usuarios y los recursos. Sistemas de evaluación de Sistemas Agroforestales basados en computadora que se adaptan a estas tareas puede facilitar enormemente el proceso de toma de decisiones que busca equilibrar simultáneamente objetivos ambientales y productivos que satisfagan las necesidades de los productores y de la sociedad. Como Nassauer *et al.* (2001) afirman, debemos ir más allá de proporcionar herramientas que sólo tomen aspectos ecológicos y económicos de la sostenibilidad y proporcionar también herramientas que mejoren la sostenibilidad cultural de los sistemas agroforestales, es decir, debe obtener atención humana sostenida a través del tiempo o de lo contrario los beneficios pueden verse comprometidos por el cambio de propiedad de la tierra, a medida que aumenta las presiones del desarrollo, o bien según surgen diferentes puntos de vista políticos.

Así mismo, la complejidad de la mayoría de los sistemas computacionales de evaluación de SAF se centra en la evaluación económica y ambiental predominantemente de los sistemas, dejando el análisis social y cultural de lado. Esto hace que todas las metodologías computacionales de evaluación de SAF no puedan ser compatibilizadas con la evaluación de SAF bajo las dimensiones económica, social y ambiental propuestas en este estudio.

Por otro lado, estos modelos computacionales hay sido diseñados en su mayoría para condiciones de climas tropicales y sobre todo para sistemas de cultivos anuales que no son parte del saber agrícola del contexto boliviano. Así mismo, muchos de los sistemas de simulación y las bases de datos no se adecuan a las características trazadas para la toma de decisiones planteadas en el presente estudio. Esto se debe a que algunas metodologías son extremadamente complejas (ejemplo: WalNuCAS) y hace necesario el uso de métodos de evaluación muy complejos. La adaptabilidad y modificabilidad de todos los sistemas computacionales evaluados debido al grado de complejidad de los modelos computacionales, hacen muy difícil la aplicabilidad de los mismos bajo condiciones locales. Así mismo, muchos de los componentes de los modelos computacionales basan en cultivos comerciales que no son aplicados dentro del calendario agrícola boliviano.

La mayoría de las metodologías basadas en sistemas computacionales como el APSIM o FALLOW, basan su análisis en sistemas complejos de desarrollo avanzado, es decir,

sistemas que poseen un desarrollo vegetativo alto, como ser sistemas agroforestales tropicales. Además, estas metodologías basan en la simulación del desarrollo de estos sistemas, lo que hace que estas metodologías se basen en la obtención de gran cantidad de datos físicos, químicos y climáticos, datos SIG y otros. Los sistemas implementados dentro del Proyecto ISABEL carecen en su totalidad de la generación de datos. Esto imposibilita en gran medida la aplicación de cualquiera de los métodos computacionales de evaluación.

Los sistemas agroforestales instalados se encuentran en un periodo de desarrollo prematuro, al tener solamente un año desde su implementación, lo que hasta la fecha no permitió la generación de datos que permitan una evaluación más profunda y a largo plazo de los sistemas. Así mismo, esta es la primera evaluación que se realiza a los sistemas, por lo que existe una carencia de datos. Esto hace que la aplicabilidad de los sistemas computacionales para la evaluación de los SAF no sean aun posible. Estas herramientas pueden ser de gran utilidad en el futuro, según la cantidad de datos obtenida de los sistemas aumente.

El método de indicadores de sustentabilidad para ecosistemas en general propuesto por Camino y Müller se escogió como la metodología empleada para la evaluación de los 5 estudios de caso, ya que permite realizar la evaluación de los sistemas implementados dentro de la dimensión ambiental, social y económica a través de la identificación de descriptores, la definición y obtención de indicadores basándose a los requerimientos del proyecto ISABEL, para mediante la adaptación de indicadores permitan cumplir con los resultados esperados del Proyecto ISABEL.

4.2 Definición y selección de indicadores para la evaluación económica, social y ambiental de Sistemas Agroforestales

El proceso de elección y definición de los componentes (principios, criterios, indicadores y verificadores), se basó en la selección de plantillas, investigaciones similares, estudios de caso y juicio propio. Para el análisis de sostenibilidad de SAF se seleccionaron nueve (9) descriptores, compuestos por 18 indicadores con 33 verificadores que se distribuyen en 5 criterios (productividad, estabilidad, equidad, autonomía y resiliencia) y 3 dimensiones (ambiental, social y económico), basándose en la metodología planteada por Camino y Müller (1993) y en los estudios realizados por Calório (1997), Daniel (2000) y Moura

(2002) y se presentan en las tablas 14, 15 y 16, las cuales se estructuraron según los siguientes ítems:

- **Dimensión**, se refiere al enfoque con el cual el indicador agregado tiene mayor relación;
- **Criterio**, característica concerniente a la sostenibilidad del sistema y la cual se asienta en la evaluación propuesta por el indicador agregado.
- **Categoría de los descriptores**, aspectos relativos al sistema, conforme a lo indicado en la figura 4, a los que pertenecen los descriptores que componen el indicador agregado.
- **Descriptores**, aspectos relevantes de los sistemas seleccionados y que sirven de base para la definición de los indicadores.
- **Indicadores**, son características significativas de cada descriptor. Son definidos con base a los factores que influyen la sostenibilidad de los sistemas evaluados. Se constituyen de variables cuantitativas y cualitativas. Los valores atribuidos primeramente son definidos en conformidad con la relación con la sostenibilidad y con base en la literatura consultada de modo que varían de cero, situación límite contraria a la mantención del sistema al largo plazo, a uno, situación ideal de la mantención del sistema.

Estos datos se recabaron mediante una encuesta semiestructurada y una hoja de campo como se muestra en el Anexo 1, la cual se aplicó a los agricultores de los 5 estudios de caso.

Para la operabilización de los verificadores e indicadores, se empleó una escala cuantitativa que a su vez puede ser interpretada como cualitativa en la cual para la operabilización de los indicadores se asignaron valores cuantitativos a los verificadores asignados a cada indicador, siendo “muy bajo”= 0,25; “bajo”= 0,55; “medio”= 0,75 y “alto”= 1, como proponen Daniel (2000) y Moura (2002).

4.2.1 Indicadores propuestos para la dimensión ambiental

Tabla 14 Indicadores de la dimensión ambiental

DIMENSION	Criterio	Descriptor	Indicador	Verificador	operatividad dada			
					vía	Valor		
AMBIENTAL	Estabilidad Ambiental	Conservación de agua y suelo en el SAF	(1) Calidad de Suelo	(1.1) Contenido de MO (%)	alta (3,5 - 6)	1		
					media (1,6 - 3,5)	0,75		
					baja (0,6 - 1,5)	0,5		
					muy baja (<0,5)	0,25		
				(1.2) Contenido de Ntotal (%)	alta (0,127 - 0,221)	1		
					media (0,096 - 0,126)	0,75		
					baja (0,064 - 0,095)	0,5		
					muy bajo (0 - 0,063)	0,25		
				(1.3) Contenido de Pdisponible (ppm)	alta (18-30)	1		
					media (12-18)	0,75		
					baja (6-12)	0,5		
					muy bajo (<6)	0,25		
			(1.4) pH	alto (6,7-6,9; 7,1-7,3)	1			
				media (5,5-6,6; 7,2-8)	0,75			
				bajo (4,5-5,4; 8,1-9)	0,5			
				muy bajo (<4,5;>9)	0,25			
			(2) Calidad de agua	(2.1) Agua de escorrentia	clara	1		
					casi clara	0,75		
					turbia	0,5		
					muy turbia	0,25		
	Productividad Ambiental	Rendimiento de Biomasa del SAF	(3) Diversidad de especies	(3.1) Riqueza especies maderables	alta	1		
					media	0,75		
					baja	0,5		
					escasa	0,25		
				(3.2) Riqueza especies acompañantes	alta	1		
					media	0,75		
			(4) Producción de biomasa	(4.1) Cuantificación de biomasa arbórea	baja	0,5		
					escasa	0,25		
					alta	1		
					media	0,75		
	Equidad Ambiental	Manejo técnico	(5) Manejo técnico del SAF	(5.1) Género y SAF	adultos, adolescentes y ancianos	1		
					solo por adultos (hombres y mujeres) y adolescentes	0,75		
					solamente por hombres y mujeres adultos	0,5		
					solamente hombres adultos	0,25		
	Resiliencia Ambiental	Conservación de agua y suelo en el SAF	(6) Vulnerabilidad a la Erosión de suelos	(6.1) Marcas de erosión	formación de boca rocas y deposición de suelo superficial en las depresiones	0,25		
					perdidas pequeñas de suelo superficial y pequeñas cárcavas	0,5		
					pequeñas pérdidas de suelo	0,75		
					no existe erosión aparente	1		
				(6.2) Cobertura Vegetal	alta	1		
					media	0,75		
			Autonomía Ambiental	Diversidad de flora	(7) Diversidad del SAF	(7.1) Introducción de especies exóticas	baja	0,5
							escasa	0,25
	>4	1						
	3 a 4	0,75						
	(7.2) Estratos en el SAF	2 a 3				0,5		
		1 a 2				0,25		
		>5				1		
		3 a 4 m				0,75		
	(7.3) Variabilidad cultivo principal	1 a 3 m				0,5		
		<1 m				0,25		
		> 7				1		
		5 a 6				0,75		
	(7.4) Especies proveedoras de subproductos	3 a 4	0,5					
		1 a 2	0,25					
		> 7	1					
		5 a 6	0,75					
	3 a 4	0,5						
	1 a 2	0,25						

Fuente: Elaboración propia en base a Calório (1997), Daniel (2000), Lopes (2001), Moura (2002)

Criterio: Estabilidad ambiental

Descriptor: Conservación de agua y suelo en el SAF

Indicador 1: Calidad de Suelos

Verificador 1.1 Contenido de materia orgánica

El contenido de MO es un indicador del grado de actividad biológica en la capa superficial y superficie del suelo. El porcentaje de materia orgánica se mide dentro de la primera capa del suelo (0-25 cm), en donde los procesos dependen principalmente de factores biológicos, se determina empleando el método de Walkley-Black y la operatibilización de los datos obtenidos se realiza mediante el método propuesto por León y Aguilar (2002).

Este verificador sirve para cumplir con el requerimiento del Proyecto ISABEL de analizar la fijación de carbono en los sistemas productivos instalados y el potencial para el mejoramiento de las propiedades ecológicas.

Tabla 15 Verificador1.1 Contenido de materia orgánica

Intervalos de calidad						
Propiedad	Muy bajo	Bajo	Medio	Alto	Muy Alto	Referencia
Materia orgánica (%)	<0,5	0,6 - 1,5	1,6 - 3,5	3,5 - 6	>6	León y Aguilar (1987)

Fuente: Adaptado de Rodríguez (2012)

Verificador 1.2 Contenido de nitrógeno

La cantidad de nitrógeno presente es un indicativo del grado o intensidad de uso del suelo, ya que mayormente es incorporado por fertilización química, y pese a que el contenido de nitrógeno fluctúa temporalmente, es un buen indicador de la intensidad de uso de suelo.

El contenido de nitrógeno se analiza en la primera capa de suelo (0 – 25 cm) mediante el método Kjendhal y la operatibilización de los datos obtenidos se realiza aplicando el método propuesto por el Landcare Institute (2000).

Este verificador sirve para cumplir con el requerimiento del Proyecto ISABEL de determinar el potencial de los sistemas implementados para el mejoramiento de las propiedades ecológicas.

Tabla 16 Verificador 1.2 Contenido de nitrógeno

Intervalos de calidad						
Propiedad	Muy bajo	Bajo	Medio	Alto	Muy Alto	Referencia
N total (%)	0 - 0,063	0,064 - 0,095	0,096 - 0,126	0,127 - 0,221	>0,221	Landcare Institute (2000)

Fuente: Adaptado de Rodríguez (2012)

Verificador 1.3 Contenido de fósforo

El contenido de fósforo se mide utilizando el método de Olsen modificado y se operabiliza mediante el método propuesto por Curry (1998). Este verificador sirve para cumplir con el requerimiento del Proyecto ISABEL de determinar el potencial de los sistemas implementados para el mejoramiento de las propiedades ecológicas.

Tabla 17 Verificador 1.3 Contenido de fósforo

Intervalos de calidad						
Propiedad	Muy bajo	Bajo	Medio	Alto	Muy Alto	Referencia
P disponible (ppm)	<6	6 - 12	12 - 18	18-30	>30	Curry (1998)

Fuente: Adaptado de Rodríguez (2012)

Verificador 1.4 pH

El pH del suelo se mide mediante valoración potenciométrica y se operabiliza mediante el método propuesto por Dorronsoro (2002).

Tabla 18 Verificador 1.4 pH

Intervalos de calidad						Referencia
Propiedad	Muy bajo	Bajo	Medio	Alto	Muy Alto	
pH	<4,5; >9	4,5 – 5,4; 8,1 - 9	5,5 – 6,6; 7,2 - 8	6,7 – 6,9; 7,1 – 7,3	7	Dorronsoro (2002)

Fuente: Adaptado de Rodríguez (2012)

Indicador 2: Calidad del agua

Verificador 2.1 Agua de Escorrentía

Para medir la calidad del agua, se recabaron datos sobre el grado de turbidez del agua de escorrentía mediante encuesta a los productores. La operatibilización se realizará mediante los siguientes criterios de transformación para este indicador:

Tabla 19 Verificador 2.1 Agua de escorrentía

Intervalos de calidad					
Propiedad	Muy turbia	Turbia	Casi clara	clara	Referencia
Agua de escorrentía	1	0,75	0,50	0,25	Moura (2002); Camino y Müller (1993); CIFOR (1999)

Fuente: elaboración propia

Este criterio sirve para cumplir con el requerimiento del Proyecto ISABEL de determinar el potencial para el mejoramiento de las propiedades ecológicas, ya que si el sistema se encuentra en óptimas condiciones, el agua de escorrentía será clara.

Criterio: Productividad ambiental

Descriptor: Rendimiento de Biomasa del SAF

Indicador 3: Diversidad de especies

Una gran diversidad de especies indica en una red de interacciones variedad e indirectamente contribuye a la estabilidad del sistema. Los índices estándar de riqueza y

abundancia se aplicaran a los dos grupos funcionales de especies de árboles y árboles pequeños (leñosas), y las herbáceas (no leñosas).

Verificador 3.1 Riqueza de especies

Las especies leñosas son un componente clave en los sistemas agroforestales y su presencia y diversidad añade complejidad a los procesos ecológicos. Por tanto, la diversidad de especies perennes (riqueza e igualdad) son indicadores del grado de interacciones que se dan en el sistemas agroforestal.

Para determinar la riqueza de especies maderables, se calcula el índice de Shannon por parcela mediante la siguiente fórmula:

$$H = - \sum P_i * \ln P_i$$

Donde:

H = Índice de Shannon-Wiener

P_i = Abundancia relativa

Ln = Logaritmo natural

El índice de Shannon-Wiener se puede calcular ya sea con el logaritmo natural (Ln) o con el logaritmo con base 10 (Lg10), pero, al momento de interpretar y escribir los informes, es importante recordar y especificar el tipo de logaritmo utilizado (Moura, 2002; Camino y Müller, 1993; CIFOR, 1999).

Los criterios de transformación para este verificador son:

Tabla 20 Verificador 3.1 Riqueza de especies

Índice de Shannon					
Propiedad	alto	medio	bajo	escaso	Referencia
Riqueza de especies leñosas	>0.47 - <0.68	>0.30 - <0.47	>0.23 - <0.30	>0.00 - <0.23	Moura (2002); Camino y Müller (1993); CIFOR (1999)

Fuente: elaboración propia

Este verificador sirve para cumplir con el requerimiento del Proyecto ISABEL de determinar la adaptación y desempeño de las especies vegetales locales e introducidas.

Verificador 3.2 Riqueza de especies acompañantes

Las especies acompañantes son participantes del agroecosistema en los procesos ecológicos. Estas especies son importantes debido a que la percepción de los agricultores hacia estas especies, es que son competencia para cultivos comerciales y tienden a eliminar estos componentes del sistema. Por esto, la presencia y diversidad de especies acompañantes en la parcela es un indicador de la resiliencia del sistema y la continuidad de procesos ecológicos intrínsecos.

Para determinar la riqueza de especies acompañantes, se calcula el índice de Shannon por parcela:

Tabla 21 Verificador 3.2 Riqueza de especies acompañantes

Índice de Shannon					
Propiedad	alto	medio	bajo	escaso	Referencia
Riqueza de especies acompañantes	>0.74 - <1.10	>0.57 - <0.74	>0.27 - <0.57	>0.00 - <0.27	Moura (2002); Camino y Müller (1993); CIFOR (1999)

Fuente: elaboración propia

Igual que el verificador anterior (3.1), este verificador sirve para cumplir con el requerimiento del Proyecto ISABEL de determinar la adaptación y desempeño de las especies vegetales locales e introducidas.

Indicador 4: Producción de biomasa

La producción de biomasa y su acumulación indirectamente indica la vitalidad, intensidad y fuerza o debilidad de los procesos biológicos y por tanto la capacidad productiva del sistema de manejo, es decir, del sistema agroforestales.

Verificador 4.1 Cuantificación de biomasa arbórea

Especies perenes (árboles) son los proveedores principales de biomasa en cualquier sistema agroforestal y principal responsable de la interacciones de los procesos biológicos. El verificador se calcula aplicando ecuaciones alométricas preestablecidas.

Tabla 22 Ecuación alométricas para especies no-leñosas

Ecuación alométricas		
Propiedad	0.118*DAP ^{2,53}	Referencia
especies no-leñosas		Brown (1997) y Márquez (2000)

Fuente: elaboración propia

Entonces, la operatividad está dada por:

Tabla 23 Verificador 4.1 Cuantificación de biomasa arbórea

Cuantificación de biomasa arbórea				
Propiedad	alto	medio	bajo	escaso
Cuantificación de biomasa arbórea	>172.98 - <4695.67	>53.27 - <172.98	>29.94 - <53.27	>4.61 - <24.94

Fuente: elaboración propia

Este verificador sirve para cumplir con el requerimiento de determinar la producción parcial y total de biomasa del sistema.

Criterio: Equidad ambiental (I^E_a)

Descriptor: Manejo técnico

Indicador 5: Manejo técnico del SAF

Verificador 5.1 Género y SAF

El manejo de los SAF está estrechamente relacionada con la equidad en el manejo de los recursos naturales. El valor se obtiene mediante la aplicación de una encuesta a través de:

Tabla 24 Verificador 5.1 Género y SAF

Género y SAF					
Propiedad	adultos, adolescentes y ancianos	solo por adultos (hombres y mujeres) y adolescentes	solamente por hombres y mujeres adultos	solamente hombres adultos	Referencia
El manejo de los recursos naturales en el SAF es realizado por:	1,00	0,75	0,50	0,25	Moura (2002); Camino y Müller (1993)

Fuente: elaboración propia

Este verificador sirve para cumplir con el requerimiento del proyecto ISABEL de determinar el grado de adopción y apropiación por parte de los productores de los sistemas agroforestales.

Criterio: Resiliencia ambiental

Descriptor: Conservación de agua y suelo en el SAF

Indicador 6: Vulnerabilidad a la Erosión de suelos

En ecosistemas dominados por árboles como los sistemas agroforestales, el suelo es el segundo reservorio más grande de biomasa y la erosión hídrica, el factor de pérdida de suelo más grande. Por tanto, la vulnerabilidad a la erosión de suelos es un factor determinante en la resiliencia del sistema.

Verificador 6.1 Marcas de erosión

Las marcas de erosión en el suelo nos brindan una cuantificación del grado de erosión que se está dando en la parcela, la forma de obtención del valor es mediante encuesta directa.

Tabla 25 Verificador 6.1 Marcas de erosión

Marcas de erosión					
Propiedad	formación de boca rocas y deposición de suelo superficial en las depresiones	perdidas pequeñas de suelo superficial y pequeñas cárcavas	pequeñas pérdidas de suelo	no existe erosión aparente	Referencia
grado	0,25	0,50	0,75	1,00	Moura (2002); Camino y Müller (1993)

Fuente: elaboración propia

Este verificador nos permite cumplir con el requerimiento del proyecto ISABEL de determinar el potencial para el mejoramiento de las propiedades ecológicas de los sistemas instalados.

Verificador 6.2 Cobertura Vegetal

El grado cobertura vegetal herbácea es usado como un indicador de la vulnerabilidad de la parcela a la erosión, ya que funge como un buffer en contra de los impactos de las gotas de agua y provee de una estructura adherente previniendo el arrastre de partículas de suelo.

Para la medición de la cobertura vegetal se aplica el método de cuadrantes. El método consiste en colocar un cuadrado sobre la vegetación, para determinar la densidad, cobertura y frecuencia de las plantas (Mostacedo, 2000). Para muestrear vegetación herbácea, el tamaño del cuadrante puede ser de 1 m² (1x1m).

Según Mostacedo (2000), la cobertura relativa (Cr) se calcula de la siguiente forma:

$$C_r = \frac{N_i}{N_t} * 100$$

Donde:

N_i = Número de registros de plantas

N_t = Número total de registros de todas las plantas

Los grados de cobertura vegetal se definen como alta (75-100%), media (50-75%), baja (25-50%) y escasa (0-25%).

Tabla 26 Verificador 6.2 Cobertura vegetal

Cobertura vegetal					
Propiedad	alta	media	baja	escasa	Referencia
grado	1,00	0,75	0,50	0,25	Mostacedo (2000)

Fuente: elaboración propia

El grado de cobertura vegetal sirve para cumplir con el requerimiento del proyecto ISABEL de determinar la producción parcial y total del sistema y por tanto para cumplir con el requerimiento de determinar el potencial para el mejoramiento de las propiedades ecológicas.

Criterio: Autonomía ambiental

Descriptor: Diversidad de Flora

Criterio 7: Diversidad del SAF

Este indicador se refiere al conocimiento de los agricultores sobre la variabilidad de los componentes del sistema de uso de la tierra, es decir, las variedades y los grupos funcionales incluidos en el sistema.

Verificador 7.1 Introducción de especies exóticas

Este verificador se centra en la actitud de los agricultores hacia los riesgos de introducir especies exóticas en un bien establecido sistema de uso de la tierra.

Tabla 27 Verificador 7.1 Introducción de especies exóticas

Introducción de especies exóticas					
Propiedad	alta	media	baja	escasa	Referencia
cantidad	1,00	0,75	0,50	0,25	Datos obtenidos de Rodríguez (2012)

Fuente: elaboración propia

Esta actitud se evaluó a través de un cuestionario en una encuesta prediseñada y los resultados valorados según el número de especies introducidas: alta (>4), media (3 a 4), baja (2 a 3) o escasa (1 a 2).

Este verificador sirve para cumplir con el requerimiento del Proyecto ISABEL de determinar la adaptación y desempeño de las especies vegetales locales e introducidas.

Verificador 7.2 Estratos en el SAF

Para Glover (2003), el número de estratos es una función directa del número de grupos funcionales y la diversidad de especies perenes (árboles) y tiene influencia directa sobre el grado de las interacciones entre especies y la erodabilidad del suelo. Este verificador cumple con el requerimiento del proyecto ISABEL de adaptación y desempeño de las especies vegetales locales e introducidas.

El verificador se evaluó con mediciones directas en el campo, utilizando los parámetros de medición propuesta por Rodríguez (2012). Para la medición de la altura se seguirá el método del “leñador”, que consiste en un método visual con la ayuda de un instrumento recto, que consiste en hacer coincidir la distancia visual entre el piso y la copa e interpolar la distancia vertical desde el piso hasta la copa, en una distancia horizontal.

Los criterios de transformación son:

Tabla 28 Verificador 7.2 Estratos en el SAF

Estratos en el SAF					
Propiedad	➤ 5 m	3 a 4 m	2 a 3 m	1 a 2 m	Referencia
Altura (m)	1,00	0,75	0,50	0,25	Datos obtenidos de Rodríguez (2012)

Fuente: elaboración propia

Verificador 7.3 Número de variedades de cultivo principal

La variabilidad intraespecífica es considerada un factor clave en la agrobiodiversidad, dando la estabilidad al sistema en términos biofísicos a través de la provisión de resistencia horizontal, polinización cruzada, etc. El verificador se obtiene a través de una encuesta en

la que se obtiene los años respectivos del cultivo, cumpliendo así con el requisito del proyecto ISABEL de determinar el uso de recursos, economía y autonomía del sistema.

Tabla 29 Verificador 7.3 Número de variedades del cultivo principal

Número de variedades del cultivo principal					
Propiedad	➤ 7	5 a 6	3 a 4	1 a 2	Referencia
Años	1,00	0,75	0,50	0,25	Datos obtenidos de Rodríguez (2012)

Fuente: elaboración propia

Este verificador cumple con el requerimiento del proyecto ISABEL del grado de adopción y apropiación del sistema por parte de los productores, ya que una variabilidad baja del cultivo principal resulta en una baja adopción del sistema.

Verificador 7.4 Especies proveedoras de subproductos

Un aspecto interesante de los SAF es la presencia de especies que ofrecen productos que no generan dinero en efectivo, sino que pueden tener gran demanda a nivel local como ser medicamentos, especias, artesanías, etc.

Estas especies no serán contadas, pero si se cuantificará la variabilidad relativa en el sistema.

Tabla 30 Verificador 7.4 Especies proveedoras de subproductos

Especies proveedoras de subproductos					
Propiedad	➤ 7	5 a 6	3 a 4	1 a 2	Referencia
Anos	1,00	0,75	0,50	0,25	Datos obtenidos de Rodríguez (2012)

Fuente: elaboración propia

Este verificador trata de responder con el requerimiento del proyecto ISABEL de determinar la productividad física de productos de consumo y venta del sistema.

4.2.2 Indicadores propuestos para la dimensión social (IDS)

Tabla 31 Indicadores de la dimensión social

DIMENSION	Criterio	Descriptor	Indicador	Verificador	operatividad dada	
					vía	Valor
SOCIAL	Estabilidad Social	Socio-cultural	(8) Conflictos generados	(8.1) Linderos y delimitaciones	80-100%	1
	60-80%				0,75	
	40-60%				0,5	
	20-40%				0,25	
	Productividad Social		(9) Conservación de la biodiversidad	(9.1) Proporción de cultivos anuales y perennes	alta	1
					media	0,75
					baja	0,5
					escasa	0,25
			(10) Protección de SAF	(10.1) Proporción de sistemas vecinos bien manejados	Ríos. Cuerpos de agua	1
					Sistemas agroforestales	0,75
					Pasturas, monocultivos	0,5
					Carretera, Const, área urbana	0,25
	(10.2) Linderos instalados con funciones ambientales			Cerca viva densa, rompe vientos	1	
				cerca viva no densa	0,75	
				alambre, malla	0,5	
				ninguno	0,25	
	Saber Cultural	(11) Control de erosión	(11.1) Prácticas de conservación de suelo	Tiene problemas de erosion? (Si/No)	1	
					0,25	
				Realiza practicas conservativas de suelo? (Si/No)	1	
					0,5	
				Que practicas aplica? (*) (1 de 3; 2 de 3; 3 de 3)	1	
					0,75	
					0,5	
				(12) Saber cultural	(12.1) La mayoría de los miembros de la comunidad que dominan la informacion necesaria para implementar y manejar SAF de forma minimamente razonable son:	varios individuos de la comunidad
		normalmente la familia del productor	0,75			
		los hombres adultos	0,5			
		solo el productor/a	0,25			
		(12.2) Conocimientos técnicos sobre SAF	Numero de prácticas aplicadas		1	1
					0,75	0,75
					0,5	0,5
					0,25	0,25
		Resiliencia Social	(12.3) Grado de uso directo e indirecto de productos obtenidos del SAF (perenes y no perennes)		mucho	1
suficiente	0,75					
poco	0,5					
muy poco	0,25					
Autonomia Social	(13) Adaptabilidad a condiciones ambientales		(13.1) Plan de manejo técnico	si	1	
				siempre	0,75	
				otro	0,5	
				no	0,25	

Fuente: Elaboración propia en base a Calório (1997), Daniel (2000), Lopes (2001), Moura (2002)

Criterio: Estabilidad social

Descriptor: Socio-cultural

Indicador 8: Conflictos generados en el SAF

Este indicador se refiere a las actividades técnicas aplicadas que mejoran las funciones de la diversidad biológica en los sistemas de uso de la tierra, teniendo en cuenta la conservación y tareas de producción.

Verificador 8.1 Linderos y delimitaciones

La delimitación del área del sistema de uso de la tierra (parcela) es esencial para la evolución del sistema agroforestal en un marco respetuoso del medio ambiente. Estos límites se definen a través de la observación directa en el campo y los resultados valorados según el número de linderos y porcentaje de cobertura del perímetro del SAF: alta (80-100%), media (60-80%), baja (40-60%) o escasa (20-40%).

Tabla 32 Verificador 8.1 Linderos y delimitaciones

Linderos y delimitaciones					
Propiedad	alta	media	baja	escasa	Referencia
%	80 – 100 %	60 – 80 %	40 – 60 %	20 – 40 %	encuesta

Fuente: elaboración propia

Este verificador cumple con el requerimiento del proyecto ISABEL de terminar el grado de adopción y apropiación por parte de los productores del sistema, ya que una mala delimitación demuestra una baja protección y adopción del sistema.

Criterio: Productividad social

Descriptor: Socio-cultural

Indicador 9: Conservación de la biodiversidad

Este indicador hace referencia al impacto de las actividades de gestión relacionadas con la producción y la conservación de la biodiversidad.

Verificador 9.1 Proporción de cultivos anuales y perennes

A mayor presencia de grupos funcionales (herbáceas, perennes, etc.) en una parcela, mayor es la ocupación temporal y espacial de los mismos, así como mayor es el grado de interacciones del sistema. La proporción entre el área ocupada por cultivos múltiples (sistemas tumba/quema, bosque primario y secundario, sistemas agroforestales) se contrastó con el área total de la propiedad.

Para el cálculo del verificador, se aplica el método propuesto por Callo-Concha (2009), en el cual se diseña un índice de los diferentes tipos de manejo del suelo de tal manera, que este índice es igual a 5 veces el área asignada a cultivos múltiples y/o monocultivos por el área total de la propiedad.

Tabla 33 Verificador 9.1 Proporción de cultivos anuales y perennes

Proporción de cultivos anuales y perennes					
Propiedad	Área de	Área de	Área	Índice	Referencia
Clasificación de uso de tierra por parcela (ha)	policultivos (ha)	monocultivos (ha)	total (ha)		Callo-Concha (2009)
	a	b	c	$(a*5)/c$	

Fuente: Elaboración propia en base a Callo-Concha (2009)

Este verificador cumple con el requerimiento del proyecto ISABEL de determinar el uso de recursos, economía y autonomía de los sistemas instalados, además que cumple con el requerimiento de determinar el grado de adopción y apropiación por parte de los productores.

Indicador 10: Protección de SAF

Impactos perjudiciales de los sistemas de uso de la tierra hacia zonas vecinas pueden ser una fuente de estrés y de trastornos de la estabilidad del sistema.

Verificador 10.1 Proporción de sistemas vecinos bien manejados

La cercanía a los sistemas de sistemas como llanuras, lagunas, bosque primario o manantiales de agua es importante, ya que estos fungen como estructuras de almacenamiento, búferes y reservas ecológicas. La evaluación se llevó a cabo mediante observación directa y se cuantifica de la siguiente manera:

Tabla 34 Verificador 10.1 Proporción de sistemas vecinos bien manejados

Proporción de sistemas vecinos bien manejados					
Propiedad	Carretera, Construcciones, área urbana	Pasturas, monocultivos	Sistema Agroforestal	Ríos, cuerpos de agua	Referencia
					Callo-Concha

Tipo de sistema colindante	0,25	0,50	0,75	1,00	(2009)
----------------------------	------	------	------	------	--------

Fuente: elaboración propia

Este verificador cumple con el requerimiento del proyecto ISABEL de determinar el potencial para el mejoramiento de las propiedades ecológicas del sistema.

Verificador 10.2 Proporción de linderos instalados con funciones ambientales

Arreglos lineares de vegetación en los sistemas agroforestales, por ejemplo, cercos vivos, cortinas rompevientos, diseñados originalmente para llevar a cabo funciones de protección y delimitación, también contribuyen a la optimización del rendimiento del sistema. La evaluación se llevó a cabo mediante cuantificación directa.

Tabla 35 Verificador 10.2 Proporción de linderos con funciones ambientales

Proporción de linderos con funciones ambientales				
Propiedad	Cerca viva de arbustos (densa), cortina rompevientos	Cerca viva de arbustos (no-densa)	Alambre, madera y/o ramas, cemento, malla	ninguno
Tipo de lindero	1,00	0,75	0,50	0,25

Fuente: elaboración propia

Este verificador cumple con el requerimiento del proyecto ISABEL de determinar el potencial para el mejoramiento de las propiedades ecológicas del sistema.

Descriptor: Saber cultural

Indicador 11: Control de erosión

Las decisiones técnicas basadas en una sólida formación técnica y criterios conservacionistas en el mediano plazo puede determinar la sostenibilidad del proceso de producción.

Del suelo alberga los procesos esenciales que afectan a la producción y conservación de la biodiversidad, tales como la descomposición o transformación de nitrógeno. Por lo tanto, las medidas para su protección y manejo sostenible influir en la generación de productos.

Verificador 11.1 Prácticas de conservación de suelo

Este verificador trata de recabar datos sobre la existencia de problemas de erosión del suelo y si se llevan a cabo prácticas de conservación de suelos (culturales, mecánicas y / o de infraestructura). La evaluación se realiza a través de un cuestionario en una encuesta prediseñada y las respuestas se calificación según:

Tabla 36 Verificador 11.1 Prácticas de conservación de suelo

Prácticas de conservación de suelo					
¿Tiene problemas de erosión?	valor	¿Realiza prácticas conservativas de suelo?	valor	¿Qué practicas aplica? (*)	valor
si	1,00	si	1,00	1 de 3	0,50
no	0,25	no	0,50	2 de 3	0,75
				3 de 3	1

(*) Cultural, linear y estructural

Fuente: elaboración propia

Este verificador cumple con el requerimiento del proyecto ISABEL de determinar el uso de recursos, economía, autonomía del sistemas y el grado de adopción y apropiación por parte de loa productores.

Criterio: Equidad social

Descriptor: Saber cultural

Indicador 12: Saber Cultural

Verificador 12.1 Conocimiento sobre SAF

Este verificador trata de determinar que componente de los miembros de la comunidad son los que dominan la información necesaria para implementar y manejar SAF de forma

mínimamente razonable. Esto se realiza mediante encuesta y se califica de la siguiente manera:

Tabla 37 Verificador 12.1 Conocimiento sobre SAF

Conocimiento sobre SAF				
Propiedad	Varios individuos de la comunidad	Normalmente la familia del productor	Solo los hombres adultos	Solo el productor/a
Miembros de la comunidad que saben sobre SAF son principalmente:	1,00	0,75	0,50	0,25

Fuente: elaboración propia

Este verificador cumple con el requerimiento del proyecto ISABEL de determinar el grado de adopción y apropiación por parte de los productores.

Criterio: Resiliencia social

Descriptor: Saber cultural

Verificador 12.2 Conocimientos técnicos aplicados al SAF

Este verificador se refiere a los conocimientos de los productores (experiencia y calificación técnico) en las tareas de producción del día a día en un marco conservacionista.

Este verificador cumple con el requerimiento del proyecto ISABEL de determinar el grado de adopción y apropiación por parte de los productores.

El verificador se obtiene mediante encuesta al granjero a quien se le pregunta cuántas prácticas de producción lleva a cabo con regularidad de un determinado conjunto y las respuestas calificadas según:

Tabla 38 Verificador 12.2 Conocimientos técnicos aplicados al SAF

Conocimientos técnicos aplicados al SAF				
Propiedad	>7	5 - 6	3-4	1-2
Numero de prácticas aplicadas (*)	1,00	0,75	0,50	0,25

(*) Deshierbes (manual vs. herbicidas), protección (alambrado vs. Cerca viva), abonado (químico vs. orgánico); fitosanitario (sintéticos, métodos alternativos), podas

Fuente: elaboración propia

Verificador 12.3 Uso de productos del SAF

Este verificador trata de obtener el grado de uso directo e indirecto de productos obtenidos del SAF (perenes y no perennes) por parte de los agricultores. Para obtener el valor del verificador se realiza una encuesta al granjero a quien se le pregunta el grado de uso directo e indirecto de productos obtenidos del SAF (perenes y no perennes) y las respuestas se califican según:

Tabla 39 Verificador 12.3 Uso de productos del SAF

Uso de productos del SAF				
Propiedad	mucho	suficiente	poco	nada
Cantidad relativa	1,00	0,75	0,50	0,25

Fuente: elaboración propia

Este verificador cumple con el requerimiento del proyecto ISABEL de determinar el grado de adopción y apropiación por parte de los productores, además de la productividad física de productos de consumo y venta.

Criterio: Autonomía social

Descriptor: Saber cultural

Indicador 13: Adaptabilidad a condiciones ambientales

Este indicador muestra la flexibilidad en las decisiones técnicas de los agricultores con respecto a la adaptación y la recuperación de la estabilidad bajo condiciones ambientales cambiantes, para lo que se toman en cuenta factores ambientales, sociales y políticas.

Verificador 13.1 Plan de manejo técnico

A los agricultores se les preguntó sobre los cambios en sus decisiones relacionadas con la producción, debido a los cambios en el medio ambiente, factores sociales, políticos y económicos durante los últimos cinco años. Las respuestas se califican según:

Tabla 40 Verificador 13.1 Plan de manejo técnico

Plan de manejo técnico				
Propiedad	si	Siempre cambiamos	otro	no
Cambios en la administración	1,00	0,75	0,50	0,25

Fuente: elaboración propia

Este verificador cumple con el requerimiento del proyecto ISABEL de determinar el grado de adopción y apropiación por parte de los productores.

4.2.3 Indicadores propuestos para la dimensión económica (IDS)

DIMENSION	Criterio	Descriptor	Indicador	Verificador	operatividad dada				
					vía	Valor			
ECONOMICA	Estabilidad económica	Manejo y rendimiento socioeconómico	(14) Produccion socioeconomica	(14.1) SAF es considerado economicamente feasible	buena	1	0,75	0,38	
					promedio	0,75			
					pobre	0,5			
					baja	0,25			
				(14.2) Reinversión de ingresos en SAF	Usted invierte el dinero en su propio terreno? (si/no)	1	0,25		
						0,25			
					Esto le parece importante? (si/no)	1			0,25
						0,25			
	Productividad económica	Manejo y rendimiento socioeconómico	(15) Seguridad Alimentaria	(15.1) Acceso a mercados	Usted siempre ha reinvertido? (si/no)	1	0,25	0,25	
						0,25			
					alta	1			
					media	0,75			
				(15.2) Diversidad de productos del SAF	baja	0,5	0,25		
					escasa	0,25			
					alta	1			
					media	0,75			
	Equidad economica	Manejo y rendimiento socioeconómico	(16) Genero y SAF	(16.1) Personas vinculadas que participan en el manejo de SAF	baja	0,5	0,75	0,75	
					escasa	0,25			
					adultos, adolescentes, ancianos	1			
					adultos y adolescentes	0,75			
	Resiliencia económica	Economia local	(17) Asistencia tecnica	(17.1) Retroalimentacion institucional	solamente hombres y mujeres adultos	0,5	1	0,75	
					solamente hombres adultos	0,25			
					si	1			
					a veces	0,75			
				(17.2) Fomento por parte de organizaciones e instituciones	no sabe	0,5	1		
					no	0,25			
					si	1			
					a veces	0,75			
				(17.3) Demanda subproductos del SAF	pobremente	0,5	0,25		
					no	0,25			
					alta	1			
					media	0,75			
Autonomia económica	Economia local	(18) Manejo y diversificación económica	(18.1) Nivel de satisfacción del productor en cuanto a la producción del SAF	baja	0,5	0,25	0,25		
				escasa	0,25				
				media	0,75				
				alta	1				

Tabla 41 Indicadores de la dimensión económica

Fuente: Elaboración propia en base a Calório (1997), Daniel (2000), Lopes (2001), Moura (2002)

Criterio: *Estabilidad económica*

Descriptor: *Manejo y rendimiento socioeconómico*

Indicador 14: *Producción socioeconómica del SAF*

Esto se refiere a los factores que influyen en las características productivas de los sistemas estudiados, centrándose en las características socioeconómicas.

Verificador 14.1 *Factibilidad económica del SAF*

Esto se refiere a la rentabilidad del sistema agroforestal. Durante la encuesta se preguntó a los agricultores sobre la cantidad de producción y de calidad en el año de evaluación y su

opinión general sobre la viabilidad económica del sistema. Su evaluación se hace a través de un cuestionario en una encuesta prediseñada y las respuestas valoradas según:

Tabla 42 Verificador 14.1 Factibilidad económica del SAF

Factibilidad económica del SAF				
Propiedad	buena	más o menos buena	otro	mala
¿Cómo fue la producción este año?	1,00	0,75	0,50	0,25

Fuente: elaboración propia

Este verificador cumple con el requerimiento del proyecto ISABEL de determinar el grado de adopción y apropiación por parte de los productores, la productividad física de productos de consumo y venta.

Verificador 14.2 Reinversión de ingresos en SAF

La inversión financiera es esencial para la creación y el mantenimiento de los factores de producción (mano de obra, tierra, capital y capacidad empresarial) a mediano o largo plazo. A los agricultores se les pregunta sobre su disposición a invertir financieramente en su propia finca, y si lo habían hecho en el pasado. Esto se evaluó a través de un cuestionario en una encuesta prediseñada y las respuestas valoradas según:

Tabla 43 Verificador 14.2 Reinversión de ingresos en el SAF

Reinversión de ingresos en el SAF					
¿Usted invierte el dinero en su propio terreno?	valor	¿Esto le parece importante?	valor	¿Usted siempre ha reinvertido?	valor
si	1,00	Si	1,00	Si	1,00
no	0,25	No	0,25	no	0,25

Fuente: elaboración propia

Este verificador cumple con el requerimiento del proyecto ISABEL de determinar el grado de adopción y apropiación por parte de los productores.

Criterio: Productividad económica

Descriptor: Manejo y rendimiento socioeconómico

Indicador 15: Seguridad Alimentaria

Verificador 15.1 Acceso a mercados

El acceso a los canales de comercialización es el argumento más fuerte en la búsqueda de la sostenibilidad económica del proceso de producción, y un pre-requisito para la sostenibilidad económica y social. A los agricultores se les pregunta sobre su participación en el mercado (frecuencia) y su actual estado de satisfacción. Se evaluó a través de un cuestionario en una encuesta prediseñada y las respuestas fueron valoradas según:

Tabla 44 Verificador 15.1 Acceso a mercados

¿Usted lleva sus productos al mercado?	valor	¿Con que frecuencia?	valor
si	1,00	1 vez por semana	1,00
no	0,25	1 – 2 veces/mes	0,75
		4 – 6 veces/año	0,50
		1 – 3 veces/año	0,25

Fuente: elaboración propia

Este verificador cumple con el requerimiento del proyecto ISABEL de determinar el grado de adopción y apropiación por parte de los productores.

Verificador 15.2 Diversidad de productos regularmente introducidos en el mercado

La diversificación de la producción genera diversificación de los ingresos y la seguridad financiera a los hogares a través de la creación de nichos de mercado. A los agricultores se les preguntó acerca de los tipos y el número de productos que llevaron al mercado. Esto se evaluó a través de un cuestionario en una encuesta prediseñada y las respuestas fueron valoradas según los parámetros presentados a continuación:

Tabla 45 Verificador 15.2 Diversidad de productos

Diversidad de productos				
Propiedad	buena	más o menos buena	otro	mala
¿Cuántos productos lleva al mercado?	>7	5 a 6	3 a 4	1 a 2

Fuente: elaboración propia

Este verificador cumple con el requerimiento del proyecto ISABEL de determinar el grado de adopción y apropiación por parte de los productores y la productividad física de productos de consumo y venta, así como la rentabilidad parcial del sistema durante el periodo de estudio.

Criterio: Equidad económica

Descriptor: Manejo y rendimiento socioeconómico

Indicador 16: Genero y SAF

Verificador 16.1 Personas vinculadas que participan en el manejo de SAF

Este verificador busca identificar qué componente de la estructura familiar se ocupa de las labores inherentes al SAF, lo cual determina el grado de aceptabilidad del mismo. Esto se evaluó a través de un cuestionario en una encuesta prediseñada y las respuestas fueron valoradas según:

Tabla 46 Verificador 16.1 Personas y SAF

Personas y SAF				
Propiedad	adultos, adolescentes, ancianos	adultos y adolescentes	solamente hombres y mujeres adultos	solamente hombres adultos
Personas vinculadas que participan en el manejo de SAF	1,00	0,75	0,50	0,25

Fuente: elaboración propia

Este verificador cumple con el requerimiento del proyecto ISABEL de determinar el grado de adopción y apropiación por parte de los productores.

Criterio: Resiliencia económica

Descriptor: Economía local

Indicador 17: Asistencia técnica

Instituciones de alto nivel (normalmente asesoramiento y supervisión por las instancias de los gobiernos nacionales o locales) desempeñan un papel importante en el seguimiento de los aspectos ambientales de las actividades agrícolas, por lo que este indicador evalúa el grado de impacto logrado en observar, vigilar y regular impactos ambientales de las actividades productivas.

Verificador 17.1 Retroalimentación institucional

Esto se refiere al apoyo científico y técnico en que las instituciones basan sus estrategias y acciones, y la forma en que se mantienen con el tiempo. La evaluación se realiza a través de entrevistas acerca de la presencia y grado de influencia de estas instituciones con los agricultores. Las respuestas cualitativas fueron categorizados y valoradas según:

Tabla 47 Verificador 17.1 Retroalimentación institucional

Retroalimentación institucional				
Propiedad	si	A veces	No sabe	no
¿Existe una institución que provea asistencia técnica?	1,00	0,75	0,50	0,25

Fuente: elaboración propia

Verificador 17.2 Fomento por parte de organizaciones e instituciones

Este verificador presta especial atención a los programas locales y su adecuación con respecto a las condiciones locales. Los agricultores se les preguntó sobre el desempeño y el

impacto de las instituciones pertinentes sobre SAF y fomento a la diversificación agrícola. Las respuestas cualitativas se valoraron según:

Tabla 48 Verificador 17.2 Fomento por parte de instituciones

Fomento por parte de instituciones				
Propiedad	si	A veces	pobremente	no
¿Organizaciones locales e instituciones fomentan la producción diversificada?	1,00	0,75	0,50	0,25

Fuente: elaboración propia

Verificador 17.3 Demanda de subproductos del SAF

Los agricultores venden sus productos derivados en los mercados locales y a veces en los regionales, por lo que este verificador evalúa el papel de estos mercados en las decisiones de diversificación de los agricultores. Los agricultores se les pregunta sobre la existencia y el impacto de los mercados para su producción, las respuestas cualitativas fueron compiladas, clasificadas y valoradas según:

Tabla 49 Verificador 17.3 Demanda de subproductos

Demanda de subproductos				
Propiedad	alta	promedio	baja	pobre
¿Existe una demanda local y regional de subproductos de los SAF?	1,00	0,75	0,50	0,25

Fuente: elaboración propia

Este verificador cumple con el requerimiento del proyecto ISABEL de determinar el grado de adopción y apropiación por parte de los productores y la productividad física de productos de consumo y venta, así como la rentabilidad parcial del sistema durante el periodo de estudio.

Criterio: Autonomía económica

Descriptor: Economía local

Indicador 18: Manejo y diversificación económica

Verificador 18.1 Nivel de satisfacción del productor en cuanto a la producción del SAF

Es verificador analiza el grado de satisfacción actual que tiene el agricultor con su sistema implementado, lo que permite determinar el grado de adopción del sistema. Para esto se preguntó a los agricultores sobre el desempeño y el impacto de los SAF implementados, las respuestas son valoradas según:

Tabla 50 Verificador 18.1 Nivel de satisfacción

Nivel de satisfacción				
Propiedad	alta	promedio	baja	pobre
¿Está usted satisfecho con su sistema?	1,00	0,75	0,50	0,25

Fuente: elaboración propia

Este verificador cumple con el requerimiento del proyecto ISABEL de determinar el grado de adopción y apropiación por parte de los productores y la productividad física de productos de consumo y venta.

4.3 Aplicación y validación de la metodología en las parcelas modelos instaladas por el Proyecto ISABEL

Los datos para la creación de los índices de sostenibilidad y los gráficos radar de los sistemas agroforestales estudiados, se obtuvieron mediante la aplicación de entrevistas semiestructuradas a los productores (Anexo 1) y, para el cálculo de los índices de sostenibilidad, se usó la metodología propuesta por Daniel (2000) en base a la metodología planteada por Calório (1997).

Los cálculos del índice de sostenibilidad se llevaron a cabo a través del programa EXCEL utilizando las siguientes fórmulas:

Tabla 51 Fórmulas empleadas para el cálculo del índice de sostenibilidad

Dimensión	Nombre indicador	# Indicador	r Valor	* Valor 10	Valor normalizado	Área
		A	B	C	D	E
Ambiental	(1) Calidad de Suelo	1	n ₁	=Celda B1*10	= (5+(Celda C1- MEDIANA(Celda C1:Celda C18)))/DESV ESTA(Celda C1:Celda C18)	= (ABS(Celda D1)*COS(RADIAN ES(Celda C19)))*ABS(Celda D2))/2
	(2) Calidad de agua	2	n ₂	=Celda B2*10	= (5+(Celda C2- MEDIANA(Celda C1:Celda C18)))/DESV ESTA(Celda C1:Celda C18)	= (ABS(Celda D2)*COS(RADIAN ES(Celda C19)))*ABS(Celda D3))/2
	(3) Diversidad de especies	3	.	.	.	.
	(4) Producción de biomasa	4	.	.	.	.
	(5) Manejo técnico del SAF	5	.	.	.	.
	(6) Vulnerabilidad a la Erosión de suelos	6	.	.	.	.
	(7) Diversidad del SAF	7	.	.	.	.
	(8) Conflictos generados	8	.	.	.	.
	(9) Conservación de la biodiversidad	9	.	.	.	.
	(10) Protección de SAF	10	.	.	.	.
Social	(11) Control de erosión	11	.	.	.	.

Económica	(12) Saber cultural	12	.	.	.	.
	(13) Adaptabilidad a condiciones ambientales	13	.	.	.	.
	(14) Producción socioeconómica	14	.	.	.	.
	(15) Seguridad Alimentaria	15	.	.	.	.
	(16) Genero y SAF	16	.	.	.	.
	(17) Asistencia técnica	17	.	.	.	.
	(18) Manejo y diversificación económica	18	n_{18}	$=\text{Celda B18} \times 10$	$= (5 + (\text{Celda C18} - \text{MEDIANA}(\text{Celda C1: Celda C18}))) / \text{DESV}(\text{Celda C1: Celda C18})$	$= (\text{ABS}(\text{Celda D18}) * \text{COS}(\text{RADIANES}(\alpha))) * \text{ABS}(\text{Celda D1})) / 2$
	IS					$= \text{SUMA}(\text{Celda E1: Celda E18})$
α			$= 360 / (\text{CONTAR}(\text{Celda C14: Celda C18}))$			
β			$= 180 - 90 - \alpha$			

Fuente: Elaboración propia

Los gráficos radar se obtuvieron a través del programa EXCEL utilizando la función GRAFICO en base a la siguiente tabla:

Dimensión	Indicador	Productores				
		Amalia Ascu y	Sonia Ibáñez	Gelmy Vargas	ET Sayarinapaj	Hogar Zapatito
Ambiental	(1) Calidad de Suelo					
	(2) Calidad de agua					
	(3) Diversidad de especies					
	(4) Producción de biomasa					
	(5) Manejo técnico del SAF					
	(6) Vulnerabilidad a la Erosión de suelos					
	(7) Diversidad del SAF					

Social	(8) Conflictos generados
	(9) Conservación de la biodiversidad
	(10) Protección de SAF
	(11) Control de erosión
	(12) Saber cultural
	(13) Adaptabilidad a condiciones ambientales
Económica	(14) Producción socioeconómica
	(15) Seguridad Alimentaria
	(16) Genero y SAF
	(17) Asistencia técnica
	(18) Manejo y diversificación económica

Fuente: Elaboración propia

Para graficar los datos, se siguieron los siguientes pasos en Excel: Marcar los datos necesarios en la tabla (columna indicadores y columna agricultor), luego en la barra superior del libro de EXCEL seleccionar la función *Insertar gráfico*, luego seleccionar *Insertar gráfico de cotización, de superficie o radial* y finalmente seleccionar *Gráfico radial con marcadores*.

4.3.1 Gráficos Radar según parcela SAF

Se aplicó una encuesta semiestructurada (Anexo 1) a cada productor según cada caso de estudio, para poder determinar cualitativamente el estado y percepción de los productores en torno al sistema agroforestal que poseen.

Los valores obtenidos para cada indicador y casa estudio de caso se muestran en la tabla 52 con una escala cuantitativa que a su vez puede ser interpretada como cualitativa, donde “escaso” = 0,25; “bajo” = 0,5; “medio” = 0,75 y “alto” = 1 y fueron graficados con ayuda del programa EXCEL usando la función Gráficos.

Tabla 52 Resultados según Indicador y Estudio de caso

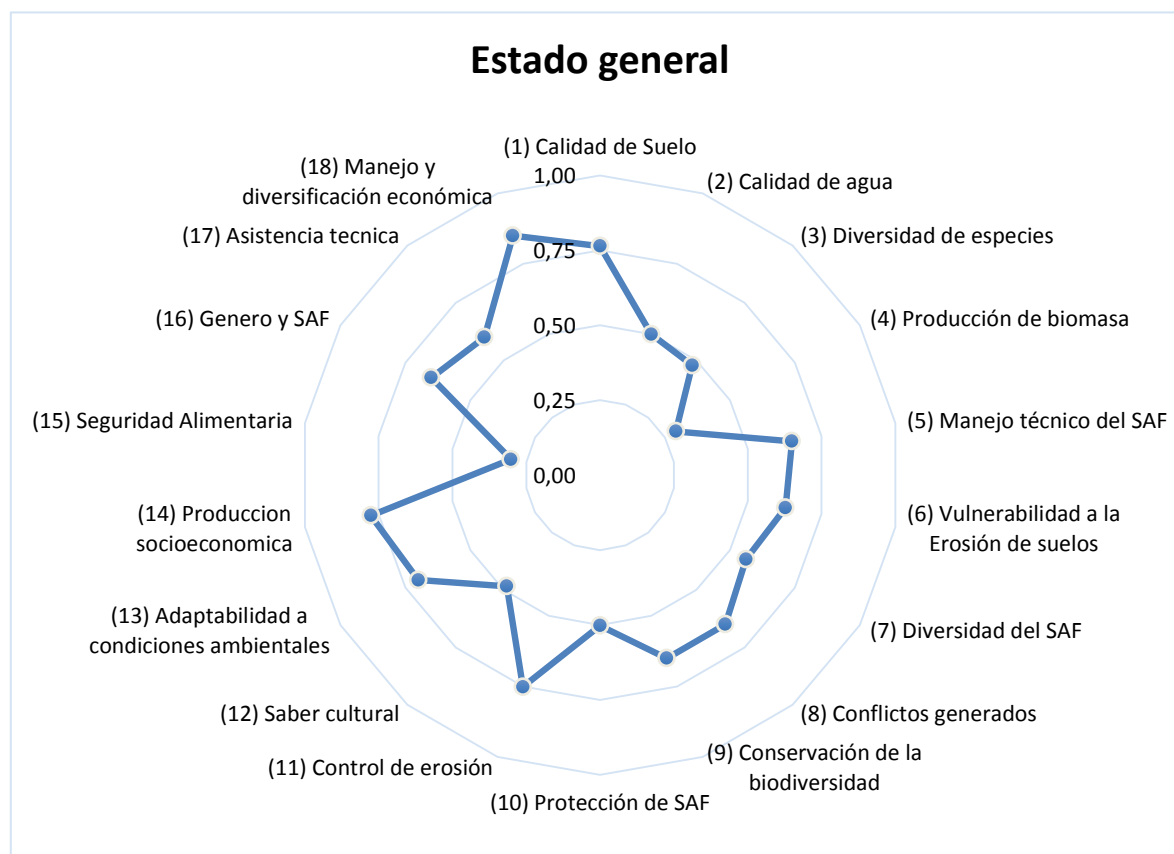
Dimensión	Indicador	Productores				
		Amalia Ascuy	Sonia Ibáñez	Gelmy Vargas	ET Sayarinapaj	Hogar Zapatito
Ambiental	(1) Calidad de Suelo	0,81	0,69	0,88	0,88	0,56
	(2) Calidad de agua	0,50	0,50	0,25	0,75	0,5
	(3) Diversidad de especies	0,75	0,50	0,50	0,28	0,36
	(4) Producción de biomasa	0,25	0,25	0,33	0,38	0,25
	(5) Manejo técnico del SAF	0,50	1,00	0,50	0,50	0,75
	(6) Vulnerabilidad a la Erosión de suelos	0,38	0,75	0,63	0,63	0,75
	(7) Diversidad del SAF	0,50	0,50	0,75	0,50	0,56
Social	(8) Conflictos generados	0,25	0,75	0,25	1,00	1
	(9) Conservación de la biodiversidad	0,75	0,75	0,75	0,75	0,25
	(10) Protección de SAF	0,38	0,75	0,50	0,50	0,38
	(11) Control de erosión	0,75	0,67	0,67	1,00	0,67
	(12) Saber cultural	0,33	0,42	0,50	0,42	0,75
	(13) Adaptabilidad a condiciones ambientales	0,25	1,00	0,25	1,00	1,00
Económica	(14) Producción socioeconómica	0,87	1,00	0,69	0,94	0,38
	(15) Seguridad Alimentaria	0,25	0,38	0,25	0,38	0,25
	(16) Genero y SAF	0,50	1,00	0,50	0,50	0,75
	(17) Asistencia técnica	0,50	0,75	0,50	0,50	0,75
	(18) Manejo y diversificación económica	1,00	1,00	1,00	1,00	0,25

Fuente: Elaboración propia

Englobando los indicadores ambientales, sociales y económicos de los 5 estudios de caso, se puede apreciar en el figura 1, que todas las parcela se encuentran en un estado actual promedio, ya que los indicadores de todas las parcelas se encuentran por encima del valor 0,5 (bajo) y la mayoría de los indicadores se encuentran en un estado medio (0,75) a alto (1,00).

Los problemas más visibles son la carencia de una seguridad alimentaria brindada por el sistema debido a la carencia de productos generados por el SAF condicionado al estado actual de desarrollo y debido a que los árboles frutales no se encuentran aún en estado productivo. Relacionado al punto anterior, la producción de biomasa del sistema es escasa o nula, por las mismas razones, ya que el sistema aún no está en estado productivo y en fases de desarrollo tempranas.

Figura 1. Gráfico radar del estado actual de las parcela de los 5 estudios de caso



Fuente: Elaboración propia

En general, todos los estudios de caso presentan un estado bajo de la calidad de agua, la diversidad de especies, la protección del SAF y del saber cultural. Así mismo, el control de erosión, la producción socioeconómica y la calidad del suelo se encuentran en un estado medio. En un estado de bajo a medio se encuentran el manejo técnico del SAF, la vulnerabilidad a la erosión, la diversidad del SAF, los conflictos generados, la conservación

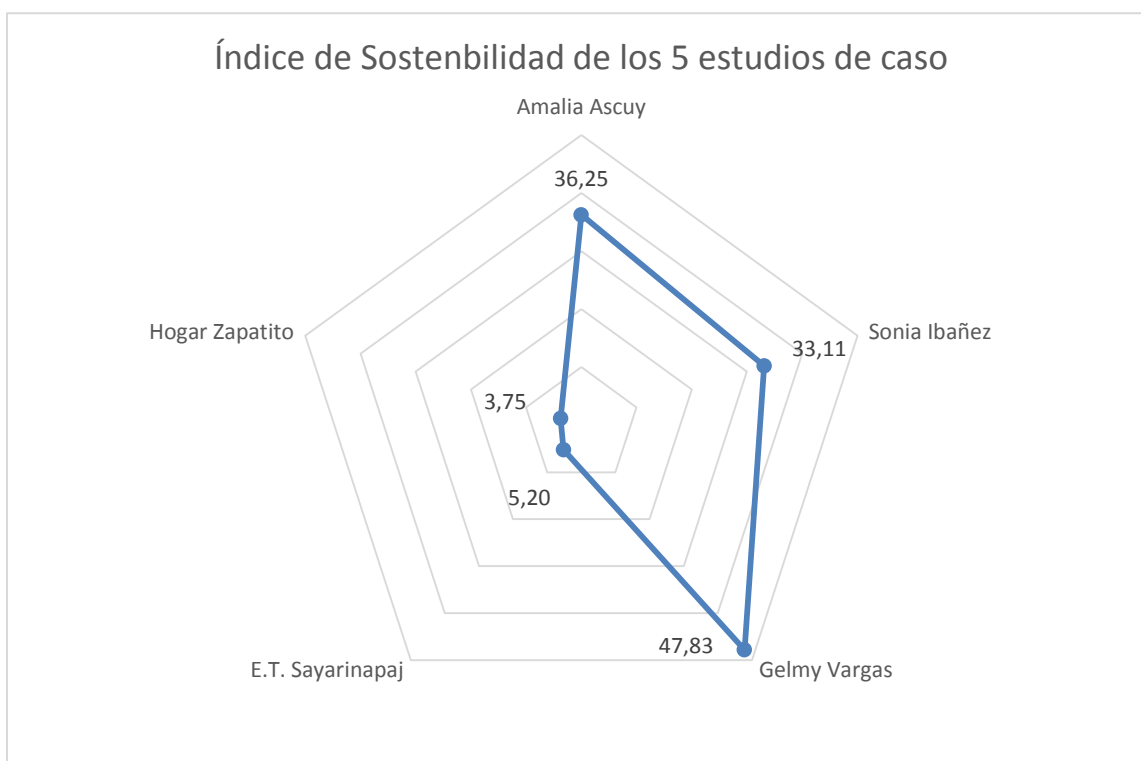
de la biodiversidad, la adaptabilidad a condiciones ambientales adversas, la equidad de género y la asistencia técnica brindada.

Actualmente todos los estudios de caso se encuentran en un estado vegetativo y de desarrollo muy prematuro, lo que dificulta el análisis y evaluación de los mismos, además que debilita y dificulta la adopción de los mismos. Los gráficos radar según estudio de caso se tratan a detalle en el anexo 4, donde se hace un análisis de cada indicador para cada estudio de caso.

4.3.2 Índices de sostenibilidad de los 5 estudios de caso

El índice de sostenibilidad se puede apreciar en la figura 7, en el cual se engloban los índices para los 5 estudios de caso.

Figura 2. Índice de sostenibilidad de los 5 estudios de caso



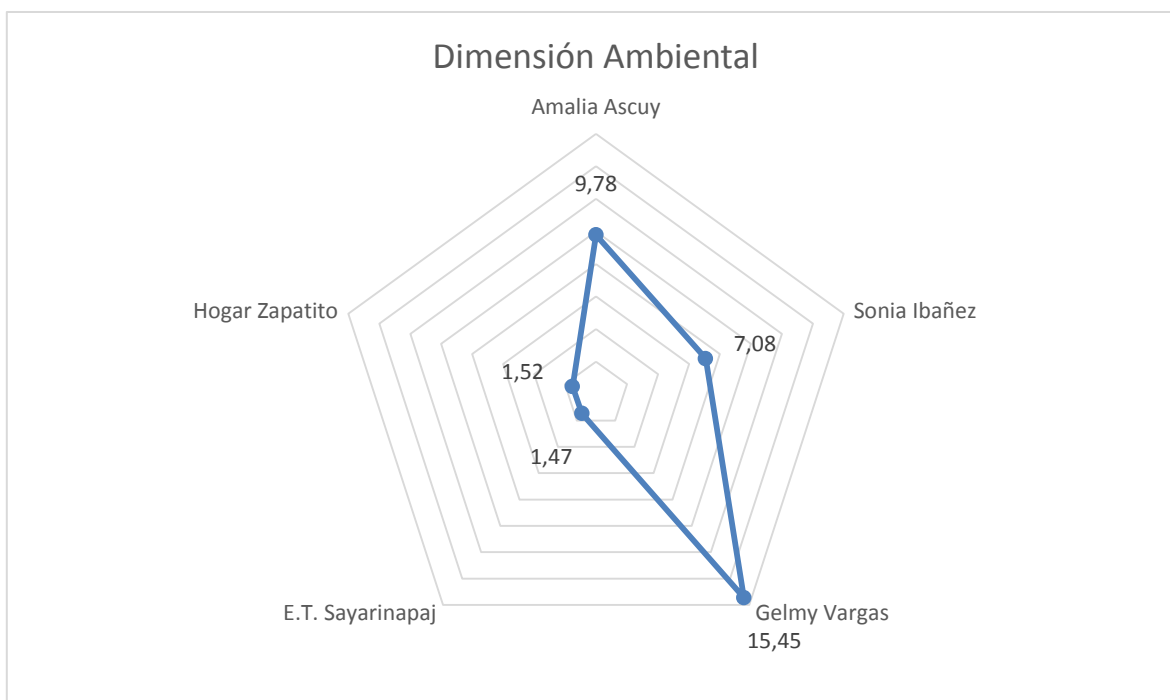
Fuente: Elaboración propia

Los índices de sostenibilidad para el Hogar Zapatito y para el E.T. Sayarinapaj poseen valores muy pequeños, teniendo el Hogar Zapatito un índice de sostenibilidad del sistema de tan solo 3,75 y la E.T. Sayarinapaj de 5,20. El sistema de Sonia Ibáñez muestra un índice de sostenibilidad del sistema de 33,11 y los sistemas de Amalia Ascuy y Gelmy Vargas de 36,25 y 47,83 respectivamente, siendo el sistema instalado y manejado por Gelmy Vargas el sistema actualmente con el mayor índice de sostenibilidad de los 5 casos de estudio.

4.3.2.1 Índice de sostenibilidad para la dimensión ambiental para los 5 estudios de caso

La figura 8 muestra que la E.T. Sayarinapaj posee un índice de sostenibilidad para la dimensión ambiental de 1,47, valor muy bajo condicionado por una escasa producción de biomasa estrechamente ligado a la baja diversidad de especies del sistema. El Hogar Zapatito posee un índice bajo (1,52) debido a que la sostenibilidad de la dimensión ambiental se ve afectada por la escasa producción de biomasa y la baja a escasa diversidad de especies presentes en el sistema, lo que condiciona el bajo índice generado.

Figura 3. Índices de sostenibilidad de la Dimensión Ambiental según estudio de caso



Fuente: Elaboración propia

La parcela instalada por Sonia Ibáñez presenta un índice de sostenibilidad para la dimensión ambiental de 7,08, valor que se genera debido a baja diversidad de especies y consecuente escasa producción de biomasa. También la calidad del agua de escorrentía es baja para este sistema, al ser turbia. El sistema instalado por Amalia Ascuy presenta un índice de 9,78 para la dimensión ambiental, el cual se genera debido también a una baja diversidad de especies presentes en el sistema lo que condiciona una baja producción de biomasa y baja cobertura vegetal, lo que hace al sistema más vulnerable a la erosión de suelos.

La parcela de Gelmy Vargas posee un índice de 15,45 para la dimensión ambiental y también sufre de los mismos problemas que las parcelas de las agricultoras Ascuy y Ibáñez, ya que la diversidad de este sistema es bajo, condicionando una escasa producción de biomasa y por tanto baja cobertura vegetal lo que provoca que la calidad de agua baje debido al transporte de sedimentos.

4.3.2.2 Índice de sostenibilidad para la dimensión social para los 5 estudios de caso

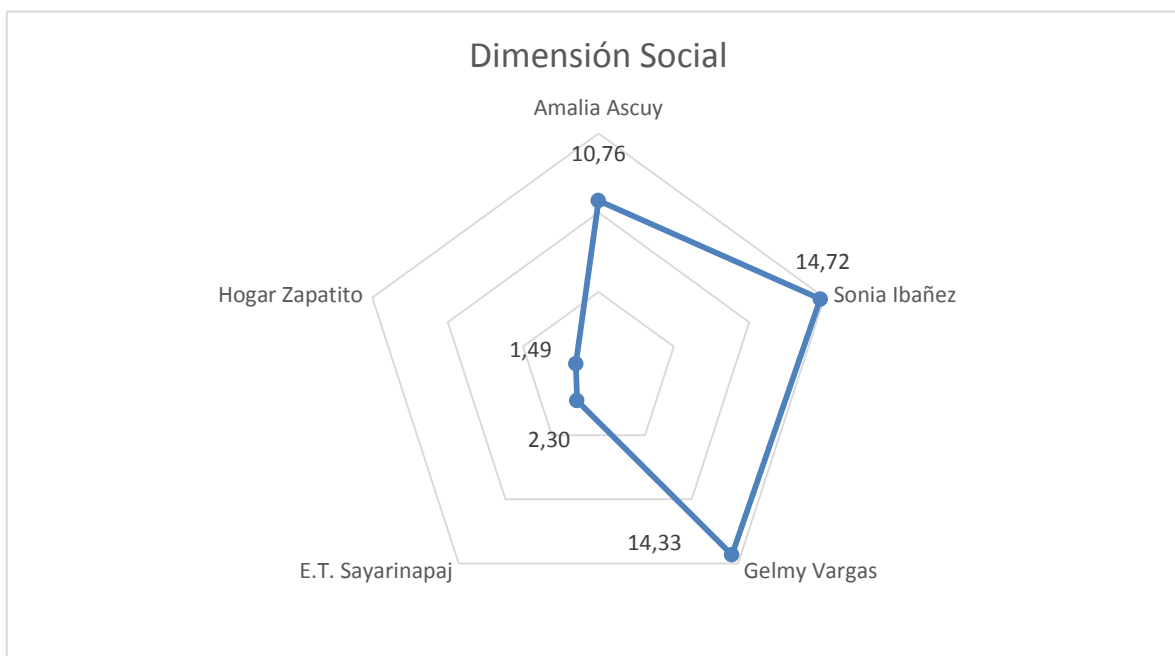
La figura 9 muestra los índices desglosados para la dimensión social, donde el sistema instalado por la E.T. Sayarinapaj posee un índice de 2,3, generado por un saber cultural bajo a escaso en torno al manejo productivo de los SAF y al no poseer el sistema ningún tipo de lindero con funciones ambientales condicionan que la protección del SAF sea baja a escasa.

La dimensión social del Hogar Zapatito, con un índice de 1,49, se ve afectada por un sistema caracterizado por la escasa a inexistente conservación de diversidad y por una baja a escasa protección del SAF, junto a un saber cultural bajo a escaso.

El índice para el sistema instalado por Amalia Ascuy es de 10,76, valor generado por que el sistema en estudio posee linderos pobremente definidos lo que junto al bajo desarrollo de la cerca viva instalada hacen que el sistema este escasamente protegido. Además, las prácticas culturales de protección contra la erosión implementadas por la agricultora son bajas, junto a un saber cultural muy bajo en relación al manejo de SAF, junto a una escasa

adaptabilidad de la forma de producción por parte de la agricultora a las condiciones ambientales, hacen que la sostenibilidad social de este sistema sea bajo.

Figura 4. Índices de sostenibilidad de la Dimensión Social según estudio de caso



Fuente: Elaboración propia

La parcela de Sonia Ibáñez muestra un índice de 14,72, siendo la única falencia del sistema que el saber cultural que posee la agricultora en torno al manejo del SAF es bajo.

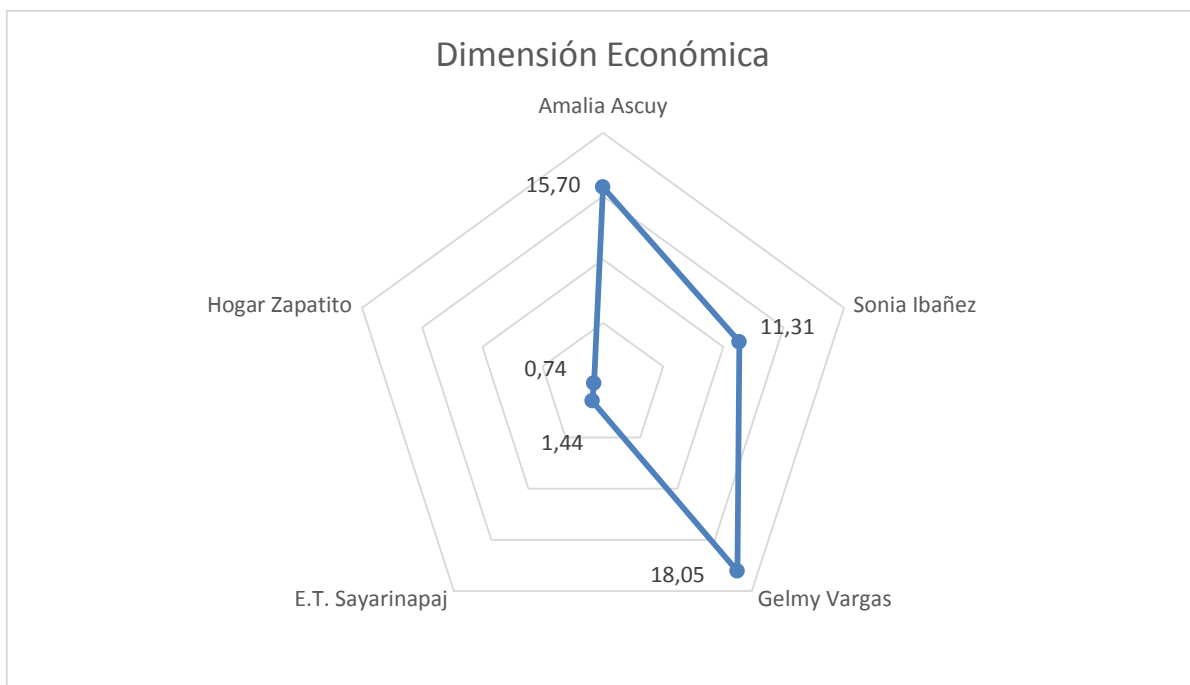
La sostenibilidad social del sistema instalado por la agricultora Gelmy Vargas es de 14,33, valor que se genera debido a la vulnerabilidad del sistema debido a la carencia de linderos bien definidos lo que hacen que la generación de conflictos sea alta, además la baja proporción de linderos con funciones ambientales hacen que el sistema sea socialmente vulnerable. Esto junto a la escasa adaptabilidad de la agricultora a las condiciones ambientales cambiante hacen el sistema socialmente de baja sostenibilidad.

4.3.2.3 Índice de sostenibilidad para la dimensión económica para los 5 estudios de caso

Los encargados del Hogar Zapatito instalaron el sistema agroforestal con el fin de diversificar la disponibilidad de alimentos para la alimentación de los niños del Hogar y no para la comercialización, sumado a que los encargados actualmente no están satisfechos con el sistema y la estabilidad del sistema es considerada escasa, esto genera un índice de sostenibilidad muy bajo para la dimensión económica de tan solo 0,74.

La parcela de la E.T. Sayarinapaj posee un índice de 1,44. Este índice es bajo, debido a la percepción de los técnicos que el sistema actualmente posee una seguridad alimentaria baja a escasa, debido a una incipiente diversidad de productos generados por el SAF y por tanto un carente acceso a mercados. Si bien la retroalimentación institucional en torno a los SAF es buena, la demanda de subproductos generados por el SAF es nula, debido al estado de desarrollo del sistema.

Figura 5. Índices de sostenibilidad de la Dimensión Económica según estudio de caso



Fuente: Elaboración propia

La parcela de Amalia Ascuy posee un índice de sostenibilidad ambiental de 15,70. Este sistema, como el de la E.T. Sayarinapaj, también posee una baja diversidad de productos provenientes del SAF lo que dificulta el acceso a los mercados. Al estar el sistema en fase de crecimiento y actualmente no productivo, el sistema brinda una seguridad alimentaria incipiente. En relación a lo anterior mencionado, hay una inexistencia de demanda de subproductos del SAF debido a la carencia de los mismos. En el mismo sentido, la parcela de Sonia Ibáñez posee un índice de 11,31 debido a que económicamente el sistema es actualmente insostenible debido a que no brinda seguridad alimentaria alguna. Esto principalmente porque el sistema se encuentra en estado no productivo. Igualmente la parcela de Gelmy Vargas posee una escasa seguridad alimentaria condicionada por la falta de desarrollo productivo del sistema, lo que se refleja en un índice de 18,05.

5. Conclusiones y Recomendaciones

Conclusiones

En cuanto a la metodología para evaluación de SAF, el método basado en la propuesta de Camino y Müller es una metodología apropiada para monitorear los cambios en el estado del sistema en las dimensiones ambiental, social y económica en el tiempo, es de fácil aplicabilidad, rápido uso y de acceso libre.

En cuanto a la visualización de los resultados, los gráficos tipo radar resultaron ser una buena opción para la presentación de los indicadores e índices didáctica y visualmente. Son una herramienta de fácil uso, aplicación y muestran el estado de los sistemas al momento de la toma de datos. Son además una herramienta de acceso libre que permite manejar fácil los datos recabados y junto a los índices de sostenibilidad del sistema, presentan una estado general del sistema.

En la aplicación de la metodología, se obtuvieron datos en el periodo de un año después de la instalación de los SAF estudiados. Esta situación hace que los datos obtenidos sean bajos debido a que el desarrollo del conjunto del sistema es prematuro, así mismo, el sistema todavía no se encuentra en producción. A medida que el sistema posea un desarrollo vegetativo y productivo mayor, la visualización de los resultados será mayor y el sistema permitirá que la metodología propuesta muestre las falencias y fortalezas del sistema de mejor manera.

Recomendaciones

Para obtener una mejor visualización de los problemas y desarrollo de los sistemas implementados se recomienda hacer un análisis de los sistemas aplicando la metodología presentada anualmente, sin embargo los verificadores 1.1 al 1.4 se los recomienda incluirlos solamente cada 5 años, debido a que bajo las condiciones climáticas locales los cambios físicos del suelo tardan más tiempo en ser perceptibles.

Por otro lado, se recomienda incrementar la cantidad y la introducción de una mayor diversidad de especies para poder contrarrestar la escasa producción de biomasa presente en

los 5 estudios de caso. Así mismo se recomienda introducir un verificador extra para el indicador 4: Producción de biomasa para determinar el grado de aporte de biomasa del sistema y poder determinar así la captura de carbono del sistema como se describe en el Anexo 2.

6. Bibliografía

ALTIERI, M. 1999. *El Agroecosistema: Determinantes, Recursos, Procesos y Sustentabilidad*. Agroecológica: bases científicas para una agricultura sustentable. Montevideo-Uruguay: Editorial Nordan-Comunidad.

AMERICAN SOCIETY OF AGRONOMY. 1989. *Decisions reached on sustainable agriculture*. Agronomy News.

AMURRIO, D. 2009. *Componentes de la vegetación arbórea, arbustiva y de regeneración natural en sistemas agroforestales sucesionales en la comunidad de Combujo – Cochabamba*. Pasantía de grado para obtener el título de técnico forestal. UMSS.

ASHTON et al. 2011. *Agroforestry: A Profitable Land Use*. Proceedings, 12th North American Agroforestry Conference, Athens, GA, June 4-9.

AVILA, M Y MINAE, S. 1991. *Diagnosis and design: ICRAF develops a methodology for planning agroforestry research*. Agroforestry Today.

BOUMANS et al. 2001. *Modeling the dynamics of the integrated earth system and the value of global ecosystem services using the GUMBO model*. Ecological Economics.

BRUNDTLAND, G. H. 1987. *Report of the World Commission on Environment and Development: Our Common Future*. United Nations.

BRUNETT, L. 2004. *“Contribución a la evaluación de la sustentabilidad; Estudio de caso de dos agroecosistemas campesinos de maíz y leche del valle de Toluca”*. Tesis para obtener el Grado de Doctor en Ciencias Veterinarias. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootécnica. División de Estudios de Posgrado e Investigación. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F.

BRUNETT et al. 2000. *“Indicadores de sustentabilidad económica de la producción de leche en dos agroecosistemas campesinos del Valle de Toluca”*. En La ganadería en México: globalización, políticas, regiones y transferencia de tecnología.

CABELL, J. F., and OELOFSE, M. 2012. “An indicator framework for assessing agroecosystem resilience”. *Ecology and Society* **17**(1): 18.

CALÓRIO, M. C. 1997. *Análise de Sustentabilidade em estabelecimentos agrícolas familiares no Vale do Guaporé-MT*. Dissertação (Mestre em Agricultura Tropical). Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária da Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá.

CAMINO, R. y MÜLLER, S. 1993. “Sostenibilidad de la agricultura y los recursos naturales: bases para establecer indicadores”. IICA. San José, Costa Rica.

CAMINO, R., y MUELLER, S. 1993. “La definición de sustentabilidad, las variables principales y bases para establecer indicadores”. En *Agricultura, recursos naturales y desarrollo sostenible apuntes para el marco conceptual* ED. IICA/GTZ.

CHOUDHURY et al. 2004. *Zusammenstellung und Auswertung geeigneter Kriterien, Indikatoren, UVP und dergleichen für die notwendige Berücksichtigung von Biodiversitätsaspekten bei Maßnahmen des Klimaschutzes, insbesondere bei Landnutzungsänderungen*. Im Auftrag des Umweltbundesamtes. Berlin, Germany

CIFOR C&I Team. 1999. *The CIFOR Criteria and Indicators Generic Template. 2 The Criteria & Indicators Toolbox Series*. Center for International Forestry Research (CIFOR), The European Commission, Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) United States Agency for International Development (USAID). Jakarta, Indonesia.

CIMAT. 2000. *Criteria and Indicators Modification and Adaptation Tool, Version 2*. Center for International Forestry Research.

CNUMAD. 2002. “Plan de Aplicación de las decisiones de la Cumbre Mundial sobre el Desarrollo Sostenible”. Johannesburgo, Sudáfrica.

CONWAY, G. R. 1994. *Sustainability in agricultural development: Trade-offs between productivity, stability and equitability*. *Journal for Farming Systems and Research-Extension*.

CURRY, J. P. 1998. Factors affecting earthworm abundance in soils. In C.A. Edwards (Ed.), *Earthworm ecology*. CRC press, Boca Raton.

DANIEL, O. 2000. *Definição de Indicadores de Sustentabilidade para sistemas agroflorestais*. Tese (Doutor). Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal: Universidade Federal de Viçosa.

DEPARTMENT OF STATE, Council on Environmental Quality, USA. 1980. “*Global Future: Time to Act*”, 9 B.C. Env'tl. Aff. L. Rev. 261, <http://lawdigitalcommons.bc.edu/ealr/vol9/iss2/2>

DE WIT et al. 1993. “*Criteria for measuring sustainability of livestock production systems*”. NETHERLANDS, FAO Y RESEARCH INSTITUTE FOR ANIMAL PRODUCTION.

DORRONSORO, C. 2002. Soil evaluation. The role of soil science in land evaluation. Sustainable use and management of soils in arid and semiarid regions. Volume I. Eds. Ángel Faz; Roque Ortiz.

DUMANSKY et al. 1998. “*Performance Indicators for Sustainable Agriculture*”. Washington, D.C., The World Bank.

ECO-SAF. 2010. *Proyecto de investigación en adaptación al cambio climático y seguridad alimentaria: Desarrollo de sistemas de huertos familiares intensivos y orgánicos en un entorno agroforestal en la zona semiárida andina boliviana (Norte de Potosí y Valle Central de Cochabamba)*. Cochabamba, Bolivia.

ELLIS et al. 2004. “*Computer-based tools for decision support in agroforestry: Current state and future needs*”. USDA Forest Service/UNL Faculty Publications. Paper 4. <http://digitalcommons.unl.edu/usdafsfacpub/4>

FAO. 2001. “*Use of Criteria and Indicators for Monitoring, Assessment and Reporting on Progress toward Sustainable Forest Management in the United Nations Forum on Forests*”. Report prepared for the International Expert Meeting on Monitoring, Assessment and Reporting on Progress toward Sustainable Forest Management. Yokohama, Japón.

FUNDACIÓN SIMÓN I. PATIÑO. 2012. Cartilla Agroecológica. Cochabamba, Bolivia.

GLOVER, J. 2003. *Characteristics of Annual vs. Perennial Systems.*

<http://www.landinstitute.org/vnews/display.v/ART/2003/02/20/3e78b3f2d0336>

GRIFFITH, S. 2012. *“El Hombre Es Tierra Que Anda: Investigaciones de comunidad, género, y conocimiento ancestral en la implementación de sistemas agroforestales con familias rurales en el Departamento de Cochabamba, Bolivia”*. Cochabamba, Bolivia.

GRIST et al. 1998. *Gliricidia as improved fallow*. In: Menz K.M., Magcale-Macandog D. and Rusastra W.I. (eds), *Improving Smallholder Farming systems in Imperata Areas of Southeast Asia: Alternatives to Shifting Cultivation*. ACIAR Monograph No. 52.

GRUBERG, H. 2007. *Evaluación de la sostenibilidad económica, sociocultural y ecológica de la agroforestería sucesional en tres estudios de caso, en la zona del Alto Beni, Bolivia*. Tesis de Licenciatura en Ingeniería Ambiental. Universidad Católica Boliviana. Cochabamba, Bolivia.

GUIJT, I. 1999. *“Monitoramento participativo: Conceitos e Ferramentas Práticas para a Agricultura Sustentável”*. Rio de Janeiro, Brazil

HANSEN, J. W. 1996. *Is agricultural sustainability a useful concept?*. Agricultural Systems

HARRINGTON, L. 1992. *“Measuring sustainability: Issues and alternatives.”* Journal farming systems research extension 3.

HARRISON, S. y HERBOHN, J. 2008. *“Agroforestry and Farm Forestry: Support systems to assess the viability of whole-farm and regional agroforestry enterprises”*. RIRDC/L&WA/FWPRDC Joint Venture Agroforestry Program.

HARWOOD, R.R. 1990. *“The history of sustainable agriculture”*. In: Sustainable Farming Systems. Edwards et al. (eds.)

HÜNNEMEYER et al. 1997. *„Indicadores para la agricultura y los recursos naturales”*. Análisis del desarrollo sostenible en Centroamérica. GTZ-IICA. San José, Costa Rica.

KNEESHAW et al. 2002). *Towards Ecological Forestry: A proposal for Indicators of SFM inspired by Natural Disturbances*. Sustainable Forest Management Network, Université du Québec à Montréal. Montreal, Canadá.

LANDCARE Institute. 2000. SINDI Website v. 2.1.a (<http://sindi.landcare.cri.nz>).

LEWIS, T.E. 1995. *Selecting and testing indicators of forest health*. Proceedings of the North American Workshop on monitoring for ecological assessment of terrestrial and aquatic ecosystems. USDA, Forest Service. RM general technical report. Mexico.

LIMBURG et al. 2002. *Complex system and valuation*. Ecological Economics.

<http://www.journals.elsevier.com/ecological-economics/>

LOPES, S. B. 2001. “*Arranjos Institucionais e a Sustentabilidade de Sistemas Agroflorestais: Um proposição metodológica*”. Dissertação (mestrado em Desenvolvimento Rural). Programa de Pós-Graduação em desenvolvimento rural, UFRGS. Porto Alegre, Brasil.

LÓPES-RIDAURA et al. 2005. *Multi-scale Methodological Framework to Derive Criteria and Indicators for Sustainability Evaluation of Peasant*. Natural Resource Management Systems. Environment, Development and Sustainability

MACHADO, C. 2001. “*INDICADORES PARA AVALIAÇÃO DA SUSTENTABILIDADE EM CONTEXTOS DE DESENVOLVIMENTO RURAL LOCAL*”. Monografia submetida ao Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Rural como requisito parcial à obtenção do grau de especialista em Desenvolvimento Rural e Agroecologia. UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL. Porto Alegre, Brasil

MASERA et al. 1999. “*Sustentabilidad y manejo de recursos naturales: El marco de evaluación MESMIS*”. México, Mundi prensa, Gira e Instituto de Ecología UNAM.

MAREK K. J. y RATTAN L. 2003. *Crop Management for Soil Carbon Sequestration*. Critical Reviews in Plant Sciences, 22:6, 471-502

MDSyMA. 1997. “*PROCESO DE TARAPOTO SOBRE CRITERIOS E INDICADORES DE SOSTENIBILIDAD DEL BOSQUE AMAZONICO*”. Consulta Boliviana de Validación. TRATADO DE COOPERACION AMAZONICA. Cochabamba, Bolivia.

MEADOWS et al. 1972. “*The Limits to Growth: A Report to the Club of Rome*”. En <http://web.ics.purdue.edu/~wggray/Teaching/His300/Illustrations/Limits-to-Growth.pdf>

MENDOZA, G.A. Y MARTINS, H. 2006. *Multi-criteria decision analysis in natural resource management: A critical review of methods and new modeling paradigms*. Forest Ecology and Management 230. En www.elsevier.com/locate/foreco

MONTIBELLER, F. G. 2004. “*O mito do Desenvolvimento sustentável: meio ambiente e custos sociais no moderno sistema produtor de mercadorias*”. Florianópolis, Brasil.

MOURA, L. G. V. 2002. “*Indicadores para a Avaliação da Sustentabilidade em Sistemas de Produção da Agricultura Familiar: O caso dos fumicultores de Agudo-RS*”. Dissertação (mestrado em Desenvolvimento Rural). Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Rural, UFRGS. Porto Alegre, Brasil.

MOSTACEDO, B. Y FREDERICKSEN, T. 2000. *Manual de Métodos Básicos de Muestreo y Análisis en Ecología Vegetal*. Santa Cruz, Bolivia

MUETZELFELDT, R. y SINCLAIR, F. 1993. “*Ecological modelling of agroforestry systems*”. Agroforestry Abstracts. Volumen 6 No. 4. United Kingdom.

NAIR, P.K.R. 1985. *Classification of agroforestry systems*. Agroforestry Systems in the Tropics Kluwer Academic Publishers. Dordrecht, The Neederlands

NAIR, P.K.R. 1987. *The role of trees in soil productivity and protection*. Agroforestry Systems in the Tropics Kluwer Academic Publishers. Dordrecht, The Neederlands

NAIR, P.K.R. 1993. *An introduction to agroforestry*. Kluwer Academic Publishers in Cooperation with ICRAF.

NAIR, P.K.R. 1997. *Directions in tropical agroforestry research: past, present, and future*

NAIR, P.K.R. 2001. *Agroforestry Systems*. Vol 53, N° 2

OWUBAH et al. 2000. *Forest tenure systems and sustainable forest management: the case of Ghana*. Forest Ecology and Management. Elsevier. www.elsevier.com/locate/foreco

OECD. 2002. *Handbook of Biodiversity Valuation: a guide for policymakers*. Organisation for Economic Co-operation and Development. Paris, Francia.

PALMA et al. 2004. *Integrating Soil Erosion and Profitability in the Assessment of Silvoarable Agroforestry at the Landscape Scale*. Workshop 5 of the 5th European IFSA Symposium. Vila Real, Portugal.

PALMA et al. 2007. Integrating environmental and economic performance to assess modern silvoarable agroforestry in Europe. Ecological Economics. www.elsevier.com

PRASAD PM. 2002. *Assessment of Sustainable of Community Forestry through combined Analysis of Field and Remotely Sensed Indicators (A case study in Siraha and Saptari districts, Nepal)*. International Institute for Geo-information Science and Earth Observation. Enschede, The Neederlands.

REYES-GARCÍA et al. 2012. *Does Crop Diversification Pay Off? An Empirical Study in Home Gardens of the Iberian Peninsula*. Society& Natural Resources: An International Journal, DOI:10.1080/08941920.2012.681107

RIECHMANN, J. 2003. *Cuidar la tierra*. Políticas agrarias y alimentarias sostenibles para entrar en el siglo XXI. Barcelona, España.

RIGBY, D. y CÁCERES, D. 2001. *Organic farming and the sustainability of agricultural systems*. Agricultural Systems

RIZVI et al. 1999. *Allelopathic Interactions in Agroforestry Systems*. Critical Reviews in Plant Sciences, 18:6, 773-796

RODRIGUEZ, X. 2012. *Línea base para la instalación de sistemas agroforestales en 5 parcelas piloto pertenecientes a los municipios de Vinto y Quillacollo*. Tesis de grado en

Ingeniería Ambiental. Carrera de Ingeniería Ambiental. Universidad Católica Boliviana. Cochabamba, Bolivia.

RONCHI et al. 2002. *A systems oriented integrated indicator for sustainable development in Italy*. Ecological Indicators

SACHS, I. 1993. *“Estratégias de Transição para o Século XXI”*. Studio Nobel/Fundap. São Paulo, Brasil.

SAFE Project. 2002. *Tree-crops interaction models. State of the art report*. Deliverable D.1.1 of the Silvoarable Agroforestry for Europe (SAFE) European Research Contract.

SARANDÓN, J. S. 2002. *El desarrollo y uso de indicadores para evaluar la sustentabilidad de los agroecosistemas*. En: Agroecología, el camino hacia una agricultura sustentable. Argentina. Ediciones Científicas Americanas. Bs. As.

SCHMOLDT, D.L. y RAUSCHER, H. M. 1996. *Building Knowledge-Based Systems for Natural Resource Management*. Chapman & Hall, New York.

SHARMA, A. K. n/a. *Arid Zone Agroforestry: Dimensions and Directions for Sustainable Livelihoods*. Central Arid Zone Research Institute. Jodhpur, India.

SHARMA et al. 2009. *Soil Fertility and Quality Assessment under Tree-, Crop-, and Pasture-Based Land-Use Systems in a Rainfed Environment*. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 40:9-10, 1436-1461

SKIDMORE, A. 2002. *Environmental Modelling with GIS and Remote Sensing*. Taylor & Francis Inc. London, UK.

STADLER-KAULICH, N. 2008. *Ensayo de agroforestería sucesional en la ladera sur de la cordillera del Tunari del municipio de Vinto, Cochabamba, Bolivia, 2001 – 2009*. Red Espacio COMpartido en Sistemas AgroForestales, ECO-SAF, Cochabamba, Bolivia. ACTA NOVA; Vol. 4, N° 1.

SOUZA, et al. 1999. *Experimentação participativa com sistemas agroflorestais na Zona da Mata de Minas Gerais*. Viçosa, MG.

THE MONTREAL PROCESS. 1999. *Criteria and Indicators for the Conservation and Sustainable Management of Temperate and Boreal Forests*. Second Edition

THE MONTREAL PROCESS. 2007. *Criteria and Indicators for the Conservation and Sustainable Management of Temperate and Boreal Forests*. Third Edition, in www.rinya.maff.go.jp/mpci/.

TORQUEBIAU, E. 1989. *Conceptos de Agroforestería, una introducción*. Centro de Agroforestería para el Desarrollo Sostenible, Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México.

TORRES et al. 1999. “*Indicadores del Desarrollo Sustentable: su construcción y usos en contextos rurales.*”

UICN – Union Mundial para Naturaleza. 1997. *Barómetro de la Sostenibilidad: Medición y Comunicación del Bienestar y el Desarrollo Sostenible*. Prescott-Allen, R. Cambridge, UK.

UNCCD - Guatemala. 2009. *Manual de Agroforestería para Zonas Secas y Semiáridas*. Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, Guatemala.

USDA. 1990. *Proceedings of the Workshop on Research Methodologies and Applications for Pacific Island Agroforestry*. Kolonia, Pohnpei, Federated States of Micronesia.

VEENA R. 2010. “*EVALUATION OF STATISTICAL MODELS FOR AGROFORESTRY SYSTEMS*”. The submitted to the University of Agricultural Sciences, Dharwad in partial fulfillment of the requirements for the Degree of Master of Science (Agriculture) in AGRICULTURAL STATISTICS. DEPARTMENT OF AGRICULTURAL STATISTICS, COLLEGE OF AGRICULTURE, DHARWAD UNIVERSITY OF AGRICULTURAL SCIENCES. DHARWAD, INDIA.

WOCAT (World Overview of Conservation Approaches and Technologies). 2012. Knowledge Management and Decision Support for Sustainable Land Management. https://www.wocat.net/fileadmin/user_upload/documents/Articles/Wocat_general_FLYER_low.pdf.

WORLD AGROFORESTRY CENTER (ICRAF). 2012. *Software agroforestal*.
<http://www.worldagroforestry.org/latinamerica/content/software-agroforestal>

ANEXOS

Anexo 1 Hoja de campo

Metodología para evaluación de sistemas agroforestales en zonas secas

Nombre del agricultor				Código	
Nombre de la propiedad				Coordenadas	
Pendiente		Altitud		Tamaño de la propiedad	m ²
Tamaño del SAF		m ²	Fecha de colecta	/ /	
Comentarios					

Toma de datos de campo:

- Definición aleatoria de un punto en la parcela SAF, georeferenciar
- Lanzar desde este punto el aro de 1 m² aleatoriamente, realizar la medición de cobertura vegetal.

%	0-25	25-50	50-75	75-100
Valor				

- Obtención de 8 sub-muestras de suelo en la capa arable de 0-25 cm, en base a muestreo al azar estratificado.
- Censo de vegetación arbórea (Punto I)
- Área de policultivos (SAF) m² (v. 9.1)
- Área de monocultivos m² (v. 9.1)
- Tipo de sistema colindante (v. 10.1)

- Carretera, construcción, área urbana
- Pasturas, monocultivos
- SAF
- Ríos, cuerpos de agua

- Tipo de lindero: (v. 10.2)

- Cerca viva de arbusto (densa), cortina rompevientos
- Cerca viva de arbusto (no-densa)
- Alambre, madera y/o ramas, cemento, malla, piedra, ladrillo
- Ninguno

- Linderos y delimitaciones (% total en relación al perímetro del SAF)

- 80-100%
- 60-80%
- 40-60%
- 20-40%

- Las marcas de erosión presentan: (v. 6.1)

- Formación de boca rocas y deposición de suelo superficial en las depresiones
- Perdidas pequeñas de suelo superficial y pequeñas cárcavas

- 

I. Censo de especies arbóreas

[illegible]

1. joven, 2.intermedio, 3. Adulto

Encuesta Metodología para evaluación de sistemas agroforestales en zonas secas

Nombre del agricultor Código
Nombre de la propiedad Tamaño de la propiedad ha
Fecha de colecta / /

1. ¿Hace cuánto que usted vive aquí? (Años)
2. ¿En todo este tiempo usted ha trabajado en la agricultura?
a. Si b. No
c. Otro
3. ¿En todo este tiempo, que cultivos fueron sembrados? (v. 7.3)
a.
b.
c.
d.
e.
f.
g.
h.
4. ¿Usted hace asociaciones?
a. Si b. No
5. ¿Cuán importante son estas asociaciones en su propiedad?
a. Muy importante c. Más o menos importante
b. Importante d. Menos importante
e. No es importante
6. ¿Usted conoce todas las plantas que están en su propiedad?
a. Todas c. La mitad
b. Muchas d. Pocas
7. ¿Usted ha introducido alguna planta extranjera? (v. 7.1)
a. Si
Cuales:
i.
ii.
iii.
iv.
v.
vi.
b. No
8. ¿Usted piensa que fue bien introducir estas plantas?
a. Si b. No
9. ¿Usted mantiene plantas para otros propósitos en su SAF?
a. Si b. No
10. ¿Cuántas de esas plantas existen en su SAF?

- a. 1 a 2 c. 5 a 6
b. 3 a 4 d. >7
11. Tiene problema de erosión (v. 11.1)
a. Si b. No
12. ¿Hace alguna actividad para intentar resolver el problema? (v. 11.1)
a. Si b. No
13. ¿Cuáles son las actividades que está realizando? (v. 11.1)
a. Prácticas culturales (cobertura con residuos, rotaciones, etc.)
i. Si ii. No
b. Prácticas lineales (cultivos en contorno, cercas vivas, poda, etc.)
i. Si ii. No
c. Prácticas estructurales (muros de contención, obras de ingeniería, etc.)
i. Si ii. No
14. El agua que corre después de una lluvia es: (v. 2.1)
a. Muy turbia b. Turbia
c. Casi clara d. Clara
15. ¿De las actividades listadas, que actividades son hechas de manera que promueven la producción y productividad del SAF)? (v. 12.2)
a. Deshierbes
i. Promueve ii. No promueve
b. Protección (alambrado vs. Cerca viva)
i. Promueve ii. No promueve
c. Control fitosanitario
i. Promueve ii. No promueve
d. Podas
i. Promueve ii. No promueve
e. Riego
i. Promueve ii. No promueve
16. ¿Usted cambio su forma de cultivar (manejo, técnico, financiero, político, etc.) debido a asuntos naturales en los últimos 5 años?
a. Si b. No
c. Siempre d. Otro
17. ¿Cómo fue la producción de su SAF este año? (v. 14.1)
a. Buena c. Pobre
b. Promedio d. Baja
18. ¿Usa los productos cosechados de SAF para consumo propio? (v. 12.3)
i. Si ii. No

En qué cantidad:

iii. Mucho

iv. Suficiente

v. Poco

vi. Nada

19. ¿Existe una demanda local y/o regional de subproductos del SAF? (V. 17.3)

a. Alta

c. Baja

b. Promedio

d. Pobre

20. ¿Usted lleva sus productos al mercado?

i. Si

ii. No

21. ¿Con que frecuencia? (V. 15.1)

a. 1 vez por semana

c. 4-6 veces/año

b. 1-2 veces/mes

d. 1-3 veces/año

22. ¿Cuántos productos lleva al mercado? (V. 15.2)

a. >7

c. 3 a 4

b. 5 a 6

d. 1 a 2

23. ¿Usted reinvierte en su propiedad el dinero ganado por la misma propiedad? (V. 14.2)

i. Si

ii. No

24. ¿Esto le parece importante? (V. 14.2)

i. Si

ii. No

25. ¿Usted siempre ha reinvertido? (V. 14.2)

i. Si

ii. No

26. ¿Todos los miembros de la familia trabajan en el SAF?

i. Si

ii. No

27. ¿Quiénes trabajan mayormente en el SAF? (V. 5.1)

a. Adultos, adolescentes y
ancianos

b. Solo adultos (hombre y
mujeres) y adolescentes

c. Solamente hombre y
mujeres adultos

d. Solamente hombre adultos

28. De los miembros de la comunidad, quiere saber principalmente sobre SAF: (V. 12.1)

a. Varios miembros de la
comunidad

b. La familia del productor

c. Solo los hombres adultos

d. Solo el productor/a

29. ¿Existe una institución que provea asistencia técnica en SAF? (V. 17.1)

a. Si

c. No sabe

b. A veces

d. No

30. Existen organizaciones locales e instituciones que fomenten la diversificación de la
¿producción? (V. 17.2)

a. Si

c. Pobremente

b. A veces

d. No

31. Finalmente, ¿está usted satisfecho con su sistema?

- a. Si
- b. promedio
- c. baja
- d. pobre

¡Gracias por su colaboración!

Anexo 2 Verificador 4.2 Cuantificación de biomasa no-arbórea

La abundancia de especies no-perenes en la parcela indica la intensidad de los procesos ecológicos. El valor se estima mediante la colección, secado y pesado de la biomasa presente en una unidad de área conocida (marco de 1 m²), para lo cual se realiza la colecta de toda la materia vegetal. Se toma una submuestra de 200 g la cual es guardada y etiquetada, la cual es secada en estufa de aire forzado a 60°C por 48 horas para obtener un peso constante. Determinándose así la relación entre materia seca y húmeda, y la cantidad de carbono. Con los valores obtenidos se calcula el total de toneladas de materia seca por hectárea (ton. MS/ha) y posteriormente calcular la cantidad de carbono por hectárea (ton. C/ha).

Las fórmulas empleadas para los cálculos se muestran a continuación:

Cálculo de la materia seca de la muestra

$$MS_{muestra} = \left(MF_{sub-muestra} / MS_{sub-muestra} \right) * MF_{muestra}$$

Donde:

MS_{muestra} = materia fresca de la muestra (Kg/1 m² para vegetación arbustiva de pequeño porte, herbáceas y gramíneas)

MF_{sub-muestra} = materia fresca (Kg) de la sub-muestra llevada para la determinación de la cantidad de humedad.

MS_{sub-muestra} = materia seca (Kg) de la sub-muestra llevada para la determinación de la cantidad de humedad.

MF_{muestra} = materia fresca de la muestra (Kg/0,25 m² para vegetación arbustiva de pequeño porte, herbáceas y gramíneas)

Cálculo de la cantidad de carbono en la muestra de la vegetación no arbórea

$$CBN_{muestra} = MS_{muestra} * CF$$

Donde:

$CBN_{muestra}$ = Cantidad de carbono en la biomasa de la muestra de vegetación no arbórea (Kg C/1 m²);

CF = es la fracción de carbono (Kg. C /Kg. MS) determinada en el laboratorio o utilizando el valor padrón del IPCC = 0,5.

Cálculo de la cantidad de carbono en la biomasa de la vegetación no arbórea por hectárea

La cantidad de carbono en la biomasa de la vegetación no arbórea por hectárea es calculado partir del tamaño del marco (1 m²), convirtiendo las unidades de la muestra de Kg C para ton C (dividiendo por 1000), para lo cual se aplica:

$$CBN (ton C /ha) = (10000m^2/1 m^2) * \left(\sum CBN_{muestra} / numero de muestras * (1000) \right)$$

Donde:

CBN = Cantidad de carbono en la biomasa de vegetación no arbórea (ton. C/ha);

$\sum CBN$ muestras = sumatoria de la cantidad de carbono de todas las muestras (Kg. C/ 1 m²)

Factor 1000 = conversión de las unidades de la muestra de Kg. MS para ton. MS

Factor 10000 = conversión del área a hectárea

Tabla 26: Criterios de transformación para indicadores

Cuantificación de biomasa no-arbórea				
Propiedad	alto	medio	bajo	escaso
Cuantificación de biomasa no-arbórea	>2.06 - <4.88	>1.36 - <2.06	>0.89 - <1.36	>0.08 - <0.89

Fuente: elaboración propia

Anexo 3 Hoja de campo corregida si se incluye el verificador 4.2

Metodología para evaluación de sistemas agroforestales en zonas secas

Nombre del agricultor				Código	
Nombre de la propiedad				Coordenadas	
Pendiente		Altitud		Tamaño de la propiedad	m ²
Tamaño del SAF		m ²	Fecha de colecta	/ /	
Comentarios					

Toma de datos de campo:

11. Definición aleatoria de un punto en la parcela SAF, georeferenciar
12. Lanzar desde este punto el aro de 1 m² aleatoriamente, realizar la medición de cobertura vegetal.

%	0-25	25-50	50-75	75-100
Valor				

13. Colectar toda la vegetación que se encuentre dentro del aro de 1m², tomar una submuestra de 200 g y anotar el peso fresco total, guardar y etiquetar para análisis de laboratorio.
14. Obtención de 8 sub-muestras de suelo en la capa arable de 0-25 cm, en base a muestreo al azar estratificado.
15. Censo de vegetación arbórea (Punto I)
16. Área de policultivos (SAF) m² (V. 9.1)
17. Área de monocultivos m² (V. 9.1)
18. Tipo de sistema colindante (V. 10.1)

a. Carretera, construcción, área urbana
b. Pasturas, monocultivos
c. SAF
d. Ríos, cuerpos de agua

19. Tipo de lindero: (V. 10.2)

a. Cerca viva de arbusto (densa), cortina rompevientos
b. Cerca viva de arbusto (no-densa)
c. Alambre, madera y/o ramas, cemento, malla, piedra, ladrillo
d. Ninguno
20. Linderos y delimitaciones (% total en relación al perímetro del SAF)

a. 80-100%
b. 60-80%
c. 40-60%
d. 20-40%

21. Las marcas de erosión presentan: (V. 6.1)

- | | |
|---|--------------------------|
| a. Formación de boca rocas y deposición de suelo superficial en las depresiones | ☐ |
| b. Perdidas pequeñas de suelo superficial y pequeñas cárcavas | ☐ |
| c. Pequeñas perdidas de suelo | ☐ |
| d. No existe erosión aparente | ☐ |

Anexo 4 Gráficos Radar según estudio de caso

Gráfico Radar para la parcela de Amalia Ascuy

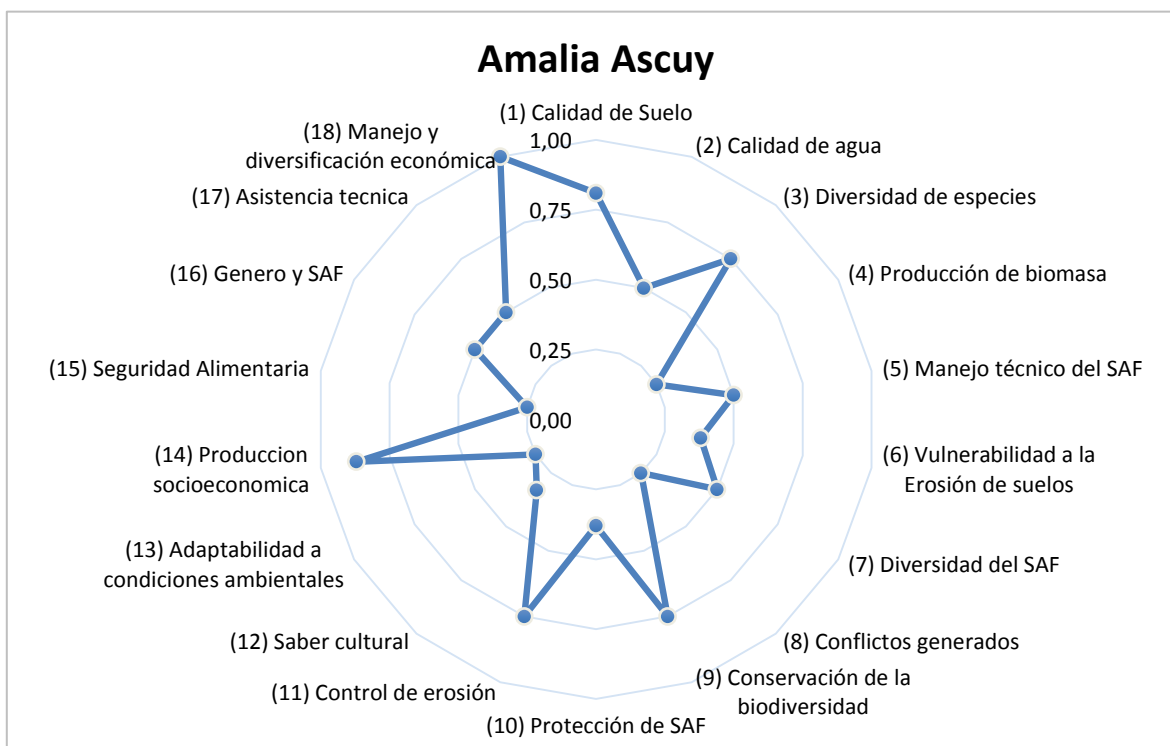
En la figura 6, se puede apreciar, que el estado general de la parcela de la agricultora Ascuy presenta problemas ambientales así como sociales y económicos. Si bien la parcela de Ascuy presenta una alta calidad de suelos al poseer una buena cantidad de materia orgánica y buena disponibilidad de nutrientes, la diversidad media de especies y la consecuente escasa producción de biomasa, junto a un manejo técnico incipiente, hacen que la parcela SAF de la productora Ascuy sea muy vulnerable a la erosión de suelos debido a una escasa cobertura vegetal del suelo, lo que se plasma en un agua de escorrentía turbia. Pese a que la variabilidad de cultivos producidos por la agricultora Ascuy es media (de 5 a 6 especies), existe una predisposición baja a la introducción de especies exóticas o foráneas a la zona de estudio, esto mayormente por la percepción de los agricultores que dichas especies pueden llegar a representar una competencia de agua y nutrientes con los cultivos comerciales.

En cuanto a la parte social, la parcela de Amalia Ascuy se encuentra muy vulnerable a incidentes por disputas de límites, ya que posee una escasa protección debido a la ausencia física de linderos bien establecidos, lo que hace a la parcela muy vulnerable. La protección del SAF de Ascuy es escasa a baja, ya que poseen una baja (0,5) proporción de sistemas bien manejados al solo poseer monocultivos alrededor, además que el escaso lindero que posee no es ningún tipo de lindero con funciones ambientales como ser un cerca viva, lo que hace que las interacciones del sistema sean pobres.

Un factor positivo de la parcela de Ascuy, es que no posee problemas de erosión visible, además que realiza prácticas conservativas de producción como ser prácticas culturales, lineales y estructurales. Por otro lado, existen falencias en el saber cultural (Indicador 12), ya que los conocimientos sobre los SAF se encuentran centralizados en la agricultora, sin que los demás miembros de la comunidad tengan acceso al conocimiento sobre los SAF. Pero este indicador también posee en el estado actual un valor bajo debido a que el verificador 12.3 mide el uso directo e indirecto de los subproductos del SAF, el cual al estado productivo del SAF se encuentra carente, al poseer el sistema un estado vegetativo pobre. Por otro lado, la adaptabilidad de la agricultora a las condiciones ambientales

cambiantes es escasa (0,5), ya que no cambio la forma de producción en los últimos 5 años para contrarrestar las condiciones climáticas cambiadas.

Figura 6. Gráfico radar del estado actual de la parcela de Amalia Ascuy



Fuente: Elaboración propia

En la parte económica, la productora Ascuy opina que la parcela SAF actualmente es pobremente económicamente feasible, pero que ella posee una actitud de reinversión alta (1), lo que resulta en una producción socioeconómica media a alta (0,85) del SAF, siendo esto opacado por una escasa (0,25) seguridad alimentaria del SAF al poseer una escasa diversidad de productos y por tanto un escaso acceso a mercados. En cuanto a la asistencia técnica por parte de instituciones sobre SAF, es considerada alta (1), pero inexistente en cuanto a asistencia técnica sobre diversificación de la producción.

Amalia Ascuy opina que su sistema agroforestal le puede ofrecer un manejo y diversificación económica alta (1) ya que el nivel de satisfacción de la productora en cuanto a la producción del SAF instalado es buena, punto importante que asegura la continuidad del sistema.

Gráfico Radar para la parcela de Sonia Ibáñez

En la parte ambiental, la parcela SAF de Sonia Ibáñez (Figura 7) presenta una calidad de suelos baja a media (0,69), debido al poco contenido de materia orgánica, nitrógeno muy bajo, y pH elevado y la calidad del agua es baja, ya que el agua de escorrentía es turbia. La producción de biomasa es escasa (0,25) debido a la baja (0,5) diversidad de especies productivas como acompañantes. Si bien la diversidad de especies es baja, la vulnerabilidad a la erosión de suelos del sistemas instalado por Ibáñez es media (0,75) al poseer únicamente pequeñas pérdidas de suelo y al poseer una cobertura vegetal media. El manejo técnico del SAF es realizado, según Sonia Ibáñez, por todos los miembros de su familia, es decir, que en torno a género en el manejo del SAF, este es realizado tanto por adultos, adolescentes como por ancianos, lo que asegura una adopción buena del sistema. La escasa predisposición de la agricultora a la introducción de especies foráneas, los pocos estratos presentes en el sistemas y la baja presencia de especies proveedoras de subproductos pese a una variabilidad media de los cultivos comerciales producidos hacen que la diversidad del sistema sea baja (0,5).

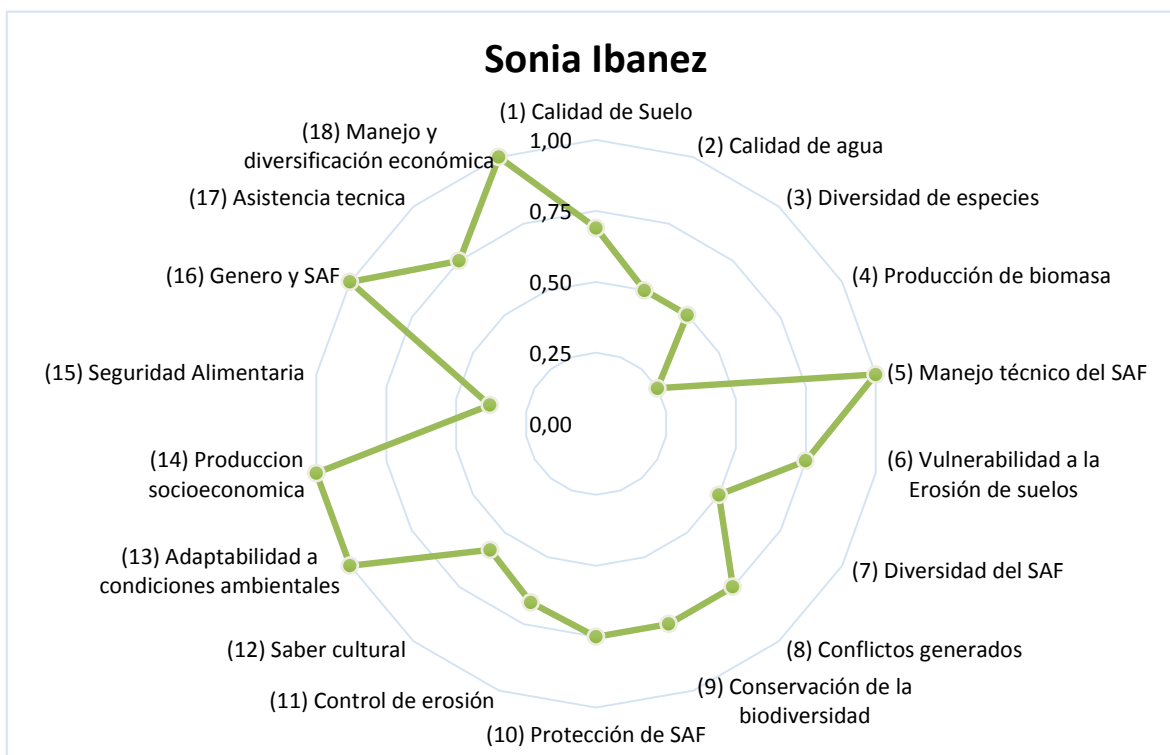
El SAF instalado por Sonia Ibáñez, al poseer el 60% de sus linderos y delimitaciones bien definidas, posee una protección contra conflictos generados por la carencia de linderos media (0,75). Al poseer una cerca viva como lindero con función ambiental y tener terrenos vecinos con producción agrícola hace que el SAF posea una protección media (0,75) contra incidentes con animales. Así mismo, la proporción entre cultivos anuales y perennes (SAF) es media, lo que hace que el SAF contribuya a la conservación de la diversidad.

El control de erosión en la parcela de Ibáñez es baja a media (0,67), esto debido a que posee problemas de erosión pero solo realiza prácticas culturales y lineales para contrarrestar la erosión.

El saber cultural en relación al SAF es bajo (0,58), esto debido principalmente a que el conocimiento sobre SAF dentro de la comunidad solo lo posee la productora y el grado de uso directo e indirecto de productos obtenidos del SAF es bajo (0,5), al estar el sistema en fase de crecimiento y aun no productivo. Sin embargo, los conocimientos técnicos en cuanto al manejo del SAF son altos (0,75) por parte de la productora y la adaptabilidad a

condiciones ambientales es alto (1) ya que la agricultora cambio la forma de producción para adaptarse a las condiciones climáticas actuales.

Figura 7. Gráfico radar del estado actual de la parcela de Sonia Ibáñez



Fuente: Elaboración propia

Sonia Ibáñez considera el sistema instalado en su parcela como económicamente feasible, al ser la producción según ella buena este último año y además la predisposición a reinvertir los ingresos generados por el sistema son altos, lo que conjuntamente hacen que la productividad socioeconómica del sistema sea alta. Si bien la reinversión de los ingresos generados es una condición ideal para la sostenibilidad del sistema, esto se ve opacado con la actual baja y escasa (0,38) seguridad alimentaria del sistema, debido a la escasa diversidad de productos actualmente por el sistema, lo cual condiciona el bajo acceso a los mercados locales y regionales. El sistema instalado por Ibáñez, refleja una gran equidad de género, ya que tanto adultos, como adolescentes y ancianos trabajan en la parcela, lo que condiciona una buena adopción del mismo.

Ibáñez afirma, que la asistencia técnica en relación a Saf es medianamente buena, ya que existe buena retroalimentación institucional (Red ECO-SAF) en temas agroforestales y a veces existe fomento por parte de organizaciones e instituciones en diversidad de la producción. Pese a una escasa demanda de subproductos del SAF, la agricultora Ibáñez afirma que el SAF instalado por ella le brinda una diversificación económica buena ya que el nivel de satisfacción en relación a su sistema instalado es alta.

Gráfico Radar para la parcela de Gelmy Vargas

La parcela instalada por la agricultora Vargas posee una calidad de suelo media a alta (0,88), debido a un contenido de materia orgánica y nitrógeno medio, alto contenido de fósforo, pero pH alto. Sin embargo el agua de escorrentía es muy turbia lo que hace que el agua arrastre muchos sedimentos y se pueda dar contaminación de pesticidas y herbicidas por arrastre. La diversidad de especies del sistema instalado es baja, debido a la escasa presencia de especies acompañantes, sin embargo la presencia de especies frutales es media. Al estar el sistema en fase de desarrollo posee una producción de biomasa baja a escasa (0,33), lo que a su vez minimiza la cobertura vegetal y protección del suelo. La parcela al presentar únicamente pequeñas pérdidas de suelo y pese a la baja cobertura vegetal del sistema, posee una vulnerabilidad buena contra la erosión de suelos.

El sistema presenta una diversidad global media (0,75), esto debido a la predisposición de la agricultora a introducir especies foráneas y una variabilidad en la producción agrícola (>7 especies diferentes consecutivamente) y el manejo de especies proveedoras de subproductos, pese a la presencia de pocos estratos en el sistema, mayormente condicionado por el estado actual de crecimiento en el que se encuentra el sistema.

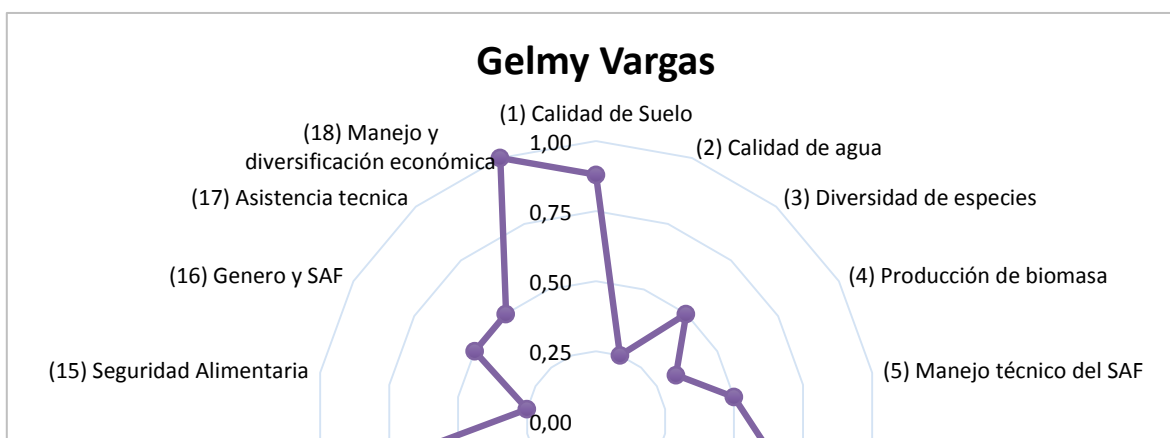
La parcela de Gelmy Vargas presenta pocas pérdidas de suelo y cobertura vegetal baja, lo que hacen que la vulnerabilidad del sistema a la erosión sea media a baja (0,63). La diversidad del sistema instalado es media condicionado por una variabilidad del cultivo principal alta, la presencia alta de especies proveedoras de subproductos y la predisposición media de la agricultora a la introducción de especies exóticas. La conservación de la biodiversidad del sistema está medianamente asegurada ya que la proporción entre cultivos anuales y perennes es media (0,75). Sin embargo, los linderos y delimitaciones están

escasamente definidos, lo que hace al sistema susceptible a conflictos generados por falta de linderos correctamente definidos. Esto va relacionado con una protección media (0,5) del SAF, al estar la parcela ubicada junto a dos carreteras y al poseer únicamente un lindero de cerca viva no densa como función ambiental. El control de erosión mediante la aplicación de prácticas de conservación de suelo es media a baja (0,67) ya que la agricultora aplica medidas culturales y lineales para prevenir las perdidas menores de suelo que posee.

Gelmy Vargas afirma, que el manejo técnico del sistema es realizado solamente por hombres y mujeres adultos, lo que hace que la equidad de género de este sistema sea baja. Así mismo, el saber cultural en relación a sistema agroforestales es medio (0,5), al ser la familia de la productora la que domina la información necesaria para implementar y manejar SAF. Así mismo, la agricultora posee conocimientos técnicos medios sobre el manejo de sistemas agroforestales. La adaptabilidad de la agricultora y por tanto del sistema a las condiciones ambientales cambiantes es nula, ya que la agricultora no cambio la forma de cultivar en los últimos años como medida de adaptación a las condiciones climáticas cambiantes.

Gelmy Vargas considera que su sistema actualmente no es económicamente feasible, pero afirma que tener una predisposición alta a la reinversión de los ingresos generados por el sistema, lo que hace que la productividad socioeconómica del sistema actualmente sea de media a baja (0,69). Así mismo, el sistema instalado por Gelmy Vargas posee una diversidad de productos escasa los que repercute en un escaso acceso a mercados, siendo la seguridad alimentaria proporcionada por el sistema actualmente escaso. Esto se debe mayormente al estado de desarrollo del sistema, el cual se encuentra en crecimiento y actualmente no productivo.

Figura 8. Grafico radar del estado actual de la parcela de Gelmy Vargas



Fuente: Elaboración propia

Según Gelmy Vargas, la retroalimentación institucional relacionada a sistema agroforestales está dada pero el fomento por parte de organizaciones e instituciones en temas de diversificación de la producción es escasa, esto junto a una escasa demanda de subproductos provenientes del SAF hacen que la asistencia técnica disponible sea baja.

En conjunto, Gelmy Vargas afirma que su nivel de satisfacción en cuanto a la producción del SAF instalado es alta, lo que en un futuro cercano le ayudara a la diversificación económica de su predio.

Gráfico Radar para la parcela de E.T. Sayarinapaj

La calidad de suelos de la parcela agroforestal instalada por la E.T. Sayarinapaj es media a alta (0,88), con un contenido medio de materia orgánica y nitrógeno, disponibilidad alta de fósforo y de pH medio. El agua de escorrentía es casi clara, lo que indica un bajo arrastre de suelo.

La diversidad de especies instaladas es escasa a baja (0,28), debido a que se instalaron pocas especies acompañantes y pocas especies frutales, por tanto la producción de biomasa del sistema es baja a escasa (0,38). La vulnerabilidad de la parcela a la erosión de suelos es media a baja (0,63) ya que la parcela posee cobertura vegetal media y las marcas de erosión evidencian únicamente pérdidas pequeñas de suelo. El manejo de la parcela instalada es realizado solamente por hombres y mujeres adultos, siendo este manejo técnico del SAF de baja equidad de género. Vale recalcar, que únicamente son los educadores y alumnos y alumnas las que realizan los trabajos en el SAF.

La variabilidad de los cultivos principales producidos en la parcela es media, siendo la introducción de especies exóticas baja y por tanto la presencia de especies proveedoras de subproductos baja, lo que en conjunto hace que la diversidad del sistema sea baja (0,5).

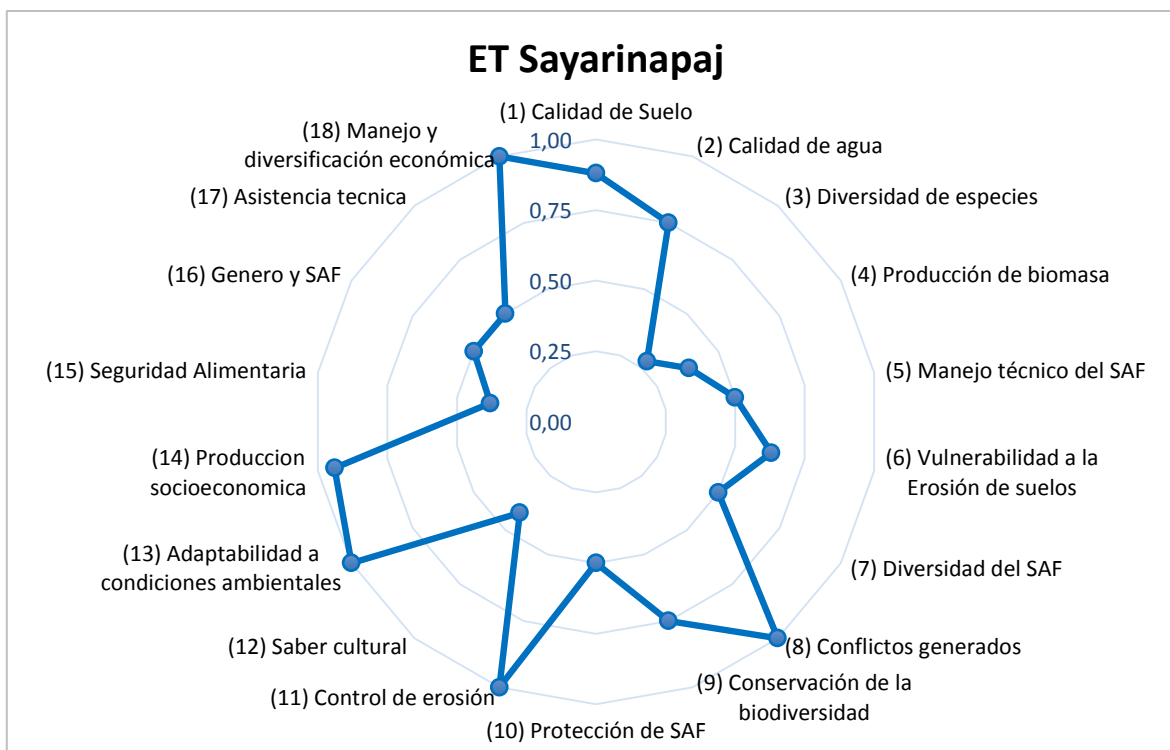
La parcela posee todos sus linderos y delimitaciones bien definidos, lo que hace inexistente la generación de conflictos por linderos y aumentan la protección física del sistema. La proporción entre cultivos anuales y perenes es media, lo que resulta en una conservación de

la diversidad media. Físicamente la parcela se encuentra enmallada y alrededor existen terrenos agrícolas, brindando una protección media al sistema. Esto quiere decir, que las interacciones entre la fauna y la flora de parcela se ven interrumpidas por en enmallado.

La parcela no presenta problemas de erosión visibles, esto debido a que se realizan prácticas conservacionistas lineales, culturales y estructurales de producción, lo que la protección contra la erosión del sistema es alta.

En cuanto al saber cultural en torno a los SAF, este es bajo y escaso (0,42), ya que únicamente los relacionados directamente a la escuela técnica tienen acceso al conocimiento, el cual al ser un centro de enseñanza es alto, pero se ve afectado por el estado actual de desarrollo del sistema que hace que el grado de uso directo e indirecto de productos obtenidos del SAF sea poco. Además, la parcela de la escuela técnica posee una adaptabilidad alta a las condiciones ambientales ya que cambiaron su plan de manejo (instalación de SAF) técnico para adaptarse a las condiciones climáticas adversas actuales.

Figura 9. Grafico radar del estado actual de la parcela de la E.T. Sayarinapaj



Fuente: Elaboración propia

La productividad socioeconómica de la parcela es considerada alta (0,94), ya que la factibilidad económica del SAF es considerada promedio y existe una predisposición a la reinversión alta de ingresos en el SAF por parte de la escuela técnica. Debido al estado de desarrollo y el no estar en estado productivo, la diversidad de los productos generados por el SAF es escasos lo que limita que el acceso a los mercados sea escaso y por tanto la seguridad alimentaria brindada por el SAF sea actualmente baja y escasa (0,38).

Si bien existe una retroalimentación institucional sobre SAF, no existe un fomento por parte de organizaciones e instituciones y además, junto al bajo desarrollo vegetativo del sistema hay una carente demanda de subproductos, lo que hace que la asistencia técnica en SAF sea baja (0,5). Aún bajo estas condiciones y las anteriores, la escuela técnica demuestra un nivel de satisfacción en cuanto al sistema instalado alta (1), viendo a futuro un manejo y diversificación económica a través de los SAF.

Gráfico Radar para la parcela de Hogar Zapatito

El suelo de la parcela instalada por el Hogar Zapatito presenta una calidad baja, esto debido a un contenido de materia orgánica y nitrógeno medio, así como un pH medio, pero de buena disponibilidad de fósforo. El agua de escorrentía es turbia, indicativo de una baja calidad de agua y pérdida de suelo.

La diversidad de especies de la parcela instalada es baja y escasa (0,36), debido a que se instalaron pocos diversidad de frutales y especies acompañantes. Al ser la diversidad de especies escasa y el desarrollo del sistema bajo, la producción del sistema es consiguientemente escasa (0,25). La cobertura vegetal presente en la parcela es baja y la parcela no presente evidencias de erosión, lo que determinan una resistencia media a la erosión.

La variabilidad del cultivo principal es alta en la parcela instalada, pero la introducción de especies exóticas es escasa, aun así en la parcela existe una presencia media de especies proveedoras de subproductos, lo que en conjunto hace que la diversidad de la parcela SAF sea baja.

La proporción entre los cultivos anuales y perenes producidos en la parcela es escasa, lo que hace que la conservación de la diversidad sea en esta parcela escasa. Los linderos instalados con funciones ambientales son bajos y la parcela se encuentra en zona urbana, lo que deriva en una baja a escasa protección del SAF.

Según los encargados del Hogar, no existen problemas de erosión ya que se realizan prácticas lineares y culturales para conservar el suelo, lo que resulta en un control de erosión medio a bajo. El saber cultural relacionado a los SAF es medio (0,75), el conocimiento sobre SAF solo lo poseen los hombres adultos, los cuales poseen conocimientos medios sobre prácticas de manejo de SAF. Además, el grado de uso directo e indirecto de productos obtenidos del SAF es alto.

La productividad socioeconómica del sistema instalado es baja y escasa (0,38), esto debido a que la factibilidad económica del SAF es considerada promedio por parte de los encargados del Hogar, pero estos no poseen predisposición a reinvertir en el SAF debido a que usan los productos obtenidos para consumo en el hogar.

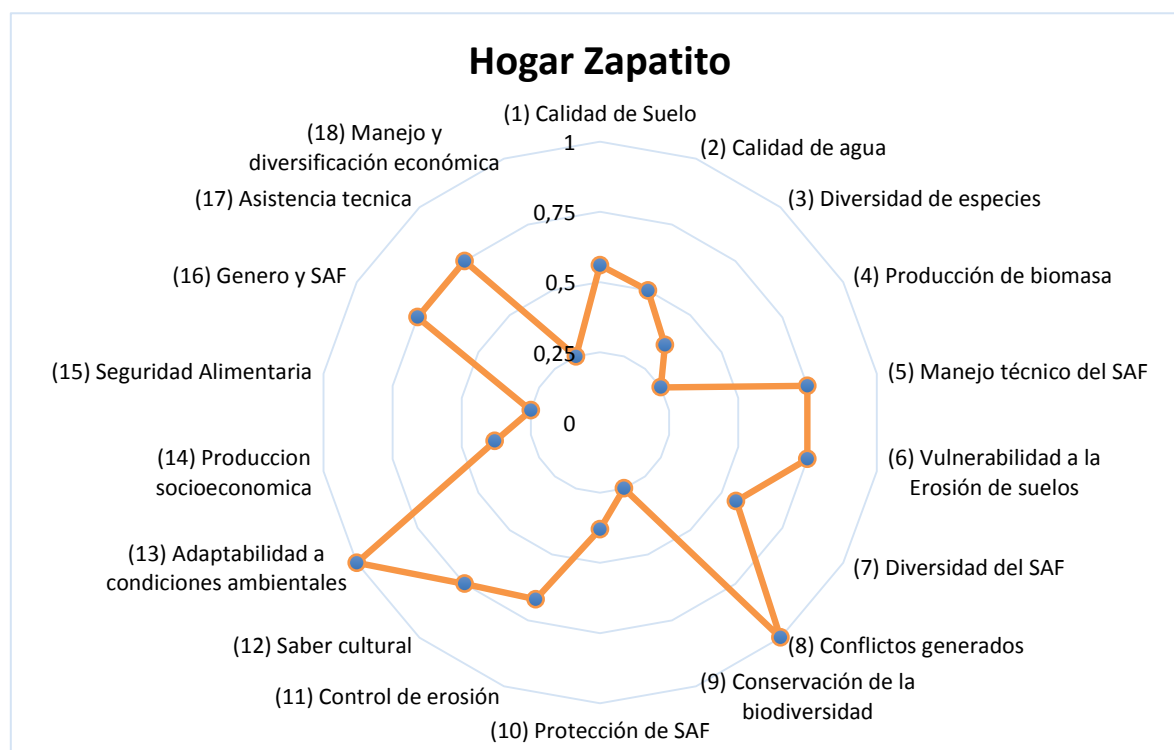


Figura 10.Gráfico radar del estado actual de la parcela del Hogar Zapatito

Fuente: Elaboración propia

La seguridad alimentaria actualmente no está dada por el sistema, debido a que la diversidad de productos obtenidos por el SAF es escasa lo que condiciona un escaso a inexistente acceso a los mercados.

La equidad de género es media (0,75), ya que las personas vinculadas que participan en el manejo del SAF son adultos y adolescentes.

La retroalimentación institucional en torno a los SAF es buena, siendo el fomento de la diversificación de la producción por parte de organizaciones e instituciones media y la demanda de los subproductos del SAF escasa, lo que hace que la asistencia técnica en SAF sea media (0,75).

Como único participante del proyecto ISABEL, el Hogar zapatito posee un escaso (0,25) nivel de satisfacción en cuanto al sistema instalado, ya que aún no pudo lograr una diversificación de productos del SAF.

Anexo 5 Censo de especies (tomado de Rodríguez, 2012)

Hogar Zapatito (1^{er} mes)

	Lindero Norte (De oeste a este)					
	Especie	Altura (cm)	Diámetro (cm)	Diámetro Copa 1 (cm)	Diámetro Copa 2 (cm)	Observaciones
1	Manzano	206	1,3	52	23	2años
2	Tipa	46	0,4	15	9	
3	Durazno	117	1,2	12	8	2 años
4	Limonero	142	3,3	120	105	2 años
5	Tipa	51	0,5	17	14	
6	Granada	91	1	27	12	2 años
7	Granada	106	1,9	22	17	2 años

	Lindero Este (De norte a sur)					
	Especie	Altura (cm)	Diámetro (cm)	Diámetro Copa 1 (cm)	Diámetro Copa 2 (cm)	Observaciones
1	Limonero	52	0,4	14	13	

2	Tipa	49	0,7	8	7	
3	Pacay	59	0,7	22	17	
4	Acacia floribunda	150	0,7	7	5	
5	Durazno	80	0,6	6	4	Con palo guía
6	Jarka	80	1	12	7	
7	Limonero	48	0,6	15	12	
8	Acacia floribunda	138	0,9	8	7	
9	Manzano	179	1,4	12	9	2 años
10	Tipa	47	0,5	17	15	
11	Limonero	54	0,4	15	12	
12	Jarka	96	0,6	22	8	
13	Durazno	54	0,4	12	9	
14	Tipa	45	0,5	8	7	

	Lindero Sur (De este a oeste)					
	Especie	Altura (cm)	Diámetro (cm)	Diámetro Copa 1 (cm)	Diámetro Copa 2 (cm)	Observaciones
1	Limonero	56	0,7	12	11	
2	Tipa	46	0,9	11	9	
3	Limonero	49	0,6	18	15	
4	Tipa	46	0,6	19	17	
5	Limonero	76	0,6	17	14	
6	Tipa	45	0,5	8	3	
7	Palto					Muerta
8	Tipa	51	0,5	5	3	
9	Limonero	62	0,6	12	9	

10	Tipa	45	0,9	2	2	Fuera del óptimo desarrollo
11	Durazno	74	0,6	12	9	

	Lindero Oeste (De sur a norte)					
	Especie	Altura (cm)	Diámetro (cm)	Diámetro Copa 1 (cm)	Diámetro Copa 2 (cm)	Observaciones
1	Manzano	222	2,4	15	12	2 años; Dap =1,2
2	Limonero	126	0,9	32	21	2 años
3	Manzano	38	0,5	21	17	2 años
4	Pacay	136	1,1	32	27	2 años

	Lindero Central Este (De norte a sur)					
	Especie	Altura (cm)	Diámetro (cm)	Diámetro Copa 1 (cm)	Diámetro Copa 2 (cm)	Observaciones
1	Manzano	150	2,5	38	22	2 años
2	Acacia floribunda	121	0,5	5	4	
3	Higuera	198	3,2	42	32	2 años; Dap =1,5
4	Jarka	70	0,7	32	12	
5	Manzano	220	2	62	33	2 años; Dap =0,9
6	Tipa	60	0,5	17	14	
7	Limonero	105	1,1	24	12	2 años
8	Tipa	58	0,7	12	5	
9	Limonero	193	1,8	8	5	2 años; Dap =0,7
10	Tipa	52	0,8	12	10	
11	Limonero	40	1,1	18	13	2 años

12	Tipa	52	0,8	12	10	
13	Manzano	106	1,8	1	1	2 años; Muerto
14	Tipa	71	0,7	12	10	
15	Limonero	48	0,6	22	18	

	Lindero Central Oeste (De sur a norte)					
	Especie	Altura (cm)	Diámetro (cm)	Diámetro Copa 1 (cm)	Diámetro Copa 2 (cm)	Observaciones
1	Tipa	47	0,6	7	5	
2	Manzano	148	2,2	38	22	2 años
3	Tipa	40	0,4	12	8	
4	Manzano	235	2,1	8	8	2 años; Dap =0,9
5	Tagasaste	76	0,3	15	10	
6	Higuera	79	1,9	52	38	2 años
7	Acacia floribunda	119	0,3	7	5	
8	Manzano	125	1	14	11	2 años
9	Acacia floribunda	117	0,6	8	7	
10	Pacay	51	0,9	1	1	Fuera del óptimo desarrollo; Comido por vaca
11	Acacia floribunda	97	0,6	10	9	
12	Manzano	130	1,1	15	8	2 años

Amalia Ascuy (4º mes)

	Lindero Sur (De oeste a este)					
	Especie	Altura (cm)	Diámetro (cm)	Diámetro Copa 1 (cm)	Diámetro Copa 2 (cm)	Observaciones

1	Tara	33	0,8	22	19	
2	Pacay	52	0,8	35	18	
3	Acacia floribunda	144	0,8	15	11	
4	Durazno	62	0,8	17	13	
5	Acacia floribunda					Muerta
6	Limonero	52	0,6	19	16	
7	Acacia floribunda	185	1,1	12	9	
8	Pacay	58	0,9	28	25	
9	Acacia floribunda	112	0,8	12	8	
10	Durazno	82	0,6	20	19	
11	Acacia floribunda	181	1,2	15	12	
12	Palto	84	0,9	17	13	
13	Tipa	47	0,8	15	11	
14	Pacay	62	0,9	22	21	
15	Acacia floribunda	136	1	8	6	
16	Limonero	24	0,5	19	17	
17	Acacia floribunda	159	1,1	7	5	
18	Durazno	117	1,2	3	2	Follaje inexistente; Fuera del índice de óptimo desarrollo
19	Acacia floribunda	159	1,2	10	9	
20	Pera	105	1	1	1	Follaje inexistente; Fuera del índice de óptimo desarrollo

21	Tipa	57	0,6	27	21	
22	Durazno	103	0,7	18	14	
23	Acacia floribunda	106	0,9	7	6	Podada
24	Pera					Muerta
25	Pera					Muerta
26	Durazno	41	0,8	14	11	Podada
27	Acacia floribunda					Muerta
28	Limonero	56	0,5	26	22	
29	Tara					Muerta
30	Pera	92	0,8	14	9	
31	Acacia floribunda	88	0,8	8	5	Follaje seco; Fuera del índice de óptimo desarrollo
32	Durazno	93	0,6	29	24	
33	Acacia floribunda	69	0,8	8	5	Comida por vaca, brotes prometedores; Fuera del índice de óptimo desarrollo
34	Pera	57	0,8	14	11	
35	Acacia floribunda	86	0,7	13	8	Comida por vaca, brotes prometedores; Fuera del índice de óptimo desarrollo
36	Pera	127	1,1	5	5	
37	Pera					Muerta
38	Pera	78	0,9	3	1	Follaje inexistente; Fuera del índice de óptimo desarrollo
39	Pera	69	1,1	5	2	Follaje inexistente; Fuera del índice de

						óptimo desarrollo
--	--	--	--	--	--	-------------------

	Lindero Norte (De este a oeste)					
	Especie	Altura (cm)	Diámetro (cm)	Diámetro Copa 1 (cm)	Diámetro Copa 2 (cm)	Observaciones
1	Acacia floribunda	152	0,9	14	12	
2	Durazno	74	0,7	17	15	
3	Palto					Muerto
4	Pera	107	1,1	12	8	Follaje inexistente; Fuera del índice de óptimo desarrollo
5	Acacia floribunda	110	0,7	10	8	Necesidad de palo guía; Crecimiento torcido
6	Pera	58	0,5	6	3	Follaje inexistente; Fuera del índice de óptimo desarrollo
7	Acacia floribunda					Muerta
8	Pacay	76	1	25	22	
9	Acacia floribunda	97	0,8	11	10	
10	Pacay	69	0,9	22	16	
11	Acacia floribunda	114	0,8	11	8	
12	Pera	58	0,6	5	3	Follaje inexistente; Fuera del índice de óptimo desarrollo
13	Acacia	42	0,8	1	1	Cortada; Fuera del índice de óptimo

	floribunda					desarrollo
14	Durazno	102	0,7	25	12	
15	Acacia floribunda					Muerta
16	Pacay	53	0,8	23	19	
17	Acacia floribunda	131	1	12	10	
18	Pera	65	0,7	15	7	
19	Acacia floribunda	92	0,7	9	7	
20	Durazno	43	0,8	21	15	
21	Acacia floribunda	105	0,6	7	5	
22	Pera	64	0,7	5	3	Follaje inexistente; Fuera del índice de óptimo desarrollo
23	Tara					Muerta

	Lindero Este (De sur a norte)					
	Especie	Altura (cm)	Diámetro (cm)	Diámetro Copa 1 (cm)	Diámetro Copa 2 (cm)	Observaciones
1	Pera					Muerta
2	Acacia floribunda					Muerta
3	Pera					Muerta
4	Acacia floribunda					Muerta
5	Pera					Muerta
6	Acacia floribunda					Muerta
7	Durazno	86	1	19	17	

8	Acacia floribunda					Muerta
9	Acacia floribunda					Muerta
10	Durazno					Muerta
11	Acacia floribunda					Muerta
12	Pera					Muerta
13	Durazno					Muerta
14	Pacay	57	0,6	26	25	
15	Acacia floribunda					Muerta
16	Durazno					Muerta
17	Acacia floribunda	112	0,8	7	5	Follaje seco; Fuera del índice de óptimo desarrollo
18	Pera	102	0,7	1	1	Follaje inexistente, Fuera del índice de óptimo desarrollo
19	Acacia floribunda					Muerta
20	Durazno	117	0,8	13	9	
21	Acacia floribunda					Muerta
22	Pacay	54	0,6	25	19	
23	Acacia floribunda	182	1,1	16	14	

Sonia Ibáñez (4º mes)

	Lindero Subparcela sur					
	Especie	Altura (cm)	Diámetro (cm)	Diámetro Copa 1 (cm)	Diámetro Copa 2 (cm)	Observaciones

1	Guinda	84	0,4	19	16	
2	Tipa	46	0,5	19	16	Poda
3	Durazno	104	0,9	17	14	
4	Tara	31	0,5	19	12	
5	Tagasaste					Muerto
6	Manzano	55	0,8	15	12	Fuera del Opt, Desarrollo
7	Acacia floribunda	162	0,8	22	18	
8	Manzano	55	0,7	5	3	
9	Durazno	280	6	170	90	5años; 3 Ramas secundarias
10	Manzano	152	3,5	72	53	2 años; Frutos
11	Pacay	82	1,5	47	33	3 años
12	Palta	285	6	100	40	5 años
13	Damasco	66	0,9	31	19	1 año; Cubierto con lata
14	Guayaba	169	4,5	79	46	3 años; Frutos

	Lindero Subparcela norte					
	Especie	Altura (cm)	Diámetro (cm)	Diámetro Copa 1 (cm)	Diámetro Copa 2 (cm)	Observaciones
1	Acacia floribunda	178	1,1	22	12	
2	Manzano	68	0,7	14	11	
3	Pera	77	0,7	8	5	
4	Pera	80	0,8	10	6	
5	Tagasaste	106	0,8	8	8	
6	Acacia floribunda	186	1,1	15	8	
7	Manzano	80	0,7	19	17	
8	Caki	116	1,3			1 año; Sin hojas

9	Caki	151	1,2	21	20	1 año
10	Granada	27	0,2	13	8	6 meses; 4 ramas desde la base
11	Limonero	55	0,8	27	22	Necesidad de poda
12	Caki	92	1	6	6	1 año; Con palo guía
13	Manzano	110	1,4	21	14	1 año
14	Acacia floribunda	94	0,6	15	12	
15	Higuera negra	185	2,8	42	38	3 años; Frutos
17	Manga	48	1	17	12	3 años
18	Chirimoya	101	1,2	27	9	3 años
19	Palmera	320	13	150	130	5 años; Dap = 13 cm
20	"Níspero"	310	7	180	160	6 años; 3 ramas desde el piso; Dap = 6cm
21	Manzano	190	2	17	12	3 años
22	Higuera blanca	58	0,9	58	46	2 años; Frutos
23	Limonero	310	5	120	65	8 años; Frutos (1er año)
24	Granada	132	1,5	67	44	2 años
25	Pacay	255	3	160	130	3 años
26	Pacay	240	2,5	90	30	3 años
27	Olivo	170	1,1	28	21	5 años
28	Chirimoya	165	1,5	28	23	3 años
29	Guayaba	310	6	210	80	8 años; Frutos (2º año)
30	Durazno	300	4	55	35	4años; Dap = 3 cm
31	Durazno	320	5	150	60	4años; Dap = 4 cm
32	Pera mota	225	2	45	30	2 años; Dap = 1,6

33	Durazno	195	1,8	90	45	2 años; Dap = 0,8 cm
----	---------	-----	-----	----	----	----------------------

Gelmy Viloma (4º mes)

	Lindero Central 1 (De sur a norte)					
	Especie	Altura (cm)	Diámetro (cm)	Diámetro Copa 1 (cm)	Diámetro Copa 2 (cm)	Observaciones
1	Tagasaste	82	0,5	16	12	
2	Durazno	96	0,5	14	8	
3	Tara	39	0,5	27	21	
4	Manzano	66	0,2	1	1	Otra variedad; Foliaje inexistente (Fuera de Optimo desarrollo)
5	Tagasaste	57	0,5	9	8	
6	Limonero	31	0,6	31	28	
7	Tara	26	0,6	17	15	
8	Durazno	109	0,7	24	21	
9	Tagasaste	71	0,6	29	20	
10	Manzano	76	0,8	20	22	
11	Tara	36	0,5	19	17	
12	Limonero	47	0,5	17	13	
13	Tagasaste	96	0,6	5	4	
14	Durazno	115	1	18	13	
15	Tara	36	0,6	26	15	
16	Palto					Muerto
17	Tagasaste	75	0,5	1	1	Foliaje inexistente

						(Fuera de Optimo desarrollo)
18	Manzano	102	1	27	23	Existen 3 frutos de 12 cm de Diámetro
19	Tara	34	0,6	19	13	
20	Níspero	27	0,4	29	22	
21	Tagasaste	108	0,6	17	14	
22	Palto	66	0,7	37	35	
23	Tara	33	0,5	17	14	
24	Níspero	33	0,4	22	19	
25	Tagasaste	94	0,5	16	13	
26	Manzano					Muerto
27	Tara	48	0,8	19	16	
28	Níspero	37	0,4	27	16	
29	Tagasaste	69	0,5	22	15	
30	Palto	49	0,3	15	10	Foliaje inexistente (Fuera de Optimo desarrollo)
31	Acacia floribunda	122	0,7	12	10	
32	Palto	35	0,5	31	25	
33	Acacia floribunda	119	0,7	14	12	
34	Palto					Muerto
35	Acacia floribunda	112	0,6	15	10	
36	Fresno	320	9	290	210	Plantado en el 2008; Dap = 6 cm

	Lindero este; colindante con el camino a Viloma (De norte a sur)					
	Especie	Altura (cm)	Diámetro (cm)	Diámetro Copa 1 (cm)	Diámetro Copa 2 (cm)	Observaciones

1	Tipa	68	0,6	34	30	
2	Acacia floribunda	132	0,7	12	8	
3	Tagasaste	98	0,6	8	7	
4	Acacia floribunda	162	0,8	9	8	
5	Tagasaste	67	0,5	12	7	
6	Acacia floribunda	165	1	14	10	
7	Tipa	61	0,5	30	18	
8	Acacia floribunda	138	0,9	12	10	
9	Tipa	64	0,7	40	33	
10	Acacia floribunda	130	0,7	15	13	
11	Tipa	53	0,4	26	20	
12	Acacia floribunda	114	0,8	16	12	
13	Fresno	139	2,6	55	42	Dap = 1,3
14	Tipa	41	0,4	4	3	Foliaje inexistente (Fuera de Optimo desarrollo)
15	Acacia floribunda	139	0,7	20	19	
16	Jarka	138	1,9	120	78	Dap = 1,5
17	Acacia floribunda	132	0,7	15	12	
18	Lluvia de oro	134	2,1	30	27	2 años de vida
19	Acacia floribunda	114	0,6	18	13	
20	Lluvia de oro	54	2,1	21	18	Macheteada, pero viva, Con brotes muy prometedores,
21	Fresno	320	9	290	210	Plantado en el 2008; Mismo que 34 sendero central 1;Dap = 6 cm
22	Fresno	210	3,1	100	80	Plantado en el 2008; Dap = 2,5 cm

23	Fresno	230	6	120	40	
24	Fresno	59	2,3	37	20	Macheteada por vecinos; Plantado en el 2008; Dap = 0
25	Acacia floribunda	93	0,9	15	10	Crecimiento torcido
26	Tara	36	0,4	26	22	
27	Tipa	69	0,8	30	19	
31	Chilijchi	129	1,5	55	43	
32	Acacia floribunda	76	1	8	5	Macheteada, pero viva, Con brotes muy prometedores,
33	Tara	44	0,5	28	19	
34	Tipa	65	0,6	28	27	
35	Acacia floribunda					Muerta
36	Tara	36	0,4	28	12	
37	Tipa	59	0,5	28	25	
38	Acacia floribunda	118	0,7	15	8	Macheteada, pero viva, Con brotes muy prometedores,
39	Tara	29	0,4	20	18	
40	Tipa	56	0,5	31	17	Con palo guía
41	Acacia floribunda					Muerta
42	Chilijchi	117	1,8	45	33	
43	Tara	37	0,5	23	15	Foliaje inexistente (Fuera de Optimo desarrollo)
44	Tipa	24	0,4	12	8	Con palo guía
45	Acacia floribunda					Muerta
46	Tara	48	0,5	29	24	
47	Tipa	33	0,5	17	14	

48	Acacia floribunda					Muerta
49	Tara	28	0,4	25	22	
50	Tipa	60	0,7	18	15	
51	Acacia floribunda					Muerta
52	Chilijchi	149	1,9	42	38	
53	Algarrobo	420				
54	Algarrobo	230				
55	Acacia floribunda	118	0,8	12	10	
56	Acacia floribunda	110	0,6	15	12	
57	Acacia floribunda	150	0,6	12	7	
58	Acacia floribunda	185	1,1	29	18	
59						
60	Chirimolle					
61	Acacia floribunda	110	0,6	15	8	
62	Acacia floribunda	110	0,8	8	7	
63	Acacia Espinosa	170	1,3			2 años de vida
64	Chilijchi	117	1,6	28	24	
65	Molle	560	37	290	170	
66	Chilijchi	134	1,9	37	26	
67	Molle	540	34	260	160	

	Lindero Oeste (De sur a norte)					
	Especie	Altura (cm)	Diámetro (cm)	Diámetro Copa 1 (cm)	Diámetro Copa 2 (cm)	Observaciones
1	Pacay	60	0,7	42	22	Foliaje seco (Fuera de Optimo desarrollo)
2	Acacia floribunda	153	0,5	14	12	

3	Manzano	84	0,6	19	15	
4	Tagasaste	70	0,4	12	8	
5	Limonero	56	0,4	18	17	
6	Acacia floribunda	167	1	22	19	
7	Níspero	35	0,4	36	13	
8	Acacia floribunda	84	0,6	19	17	
9	Manzano	104	1,1	22	17	1 Fruto
10	Tagasaste	92	0,5	12	9	
11	Durazno	92	0,6	18	16	
12	Acacia floribunda	134	0,7	12	11	
13	Limonero	59	0,4	19	16	
14	Acacia floribunda	73	0,6	21	20	
15	Manzano	74	0,5	21	19	
16	Tagasaste	62	0,4	19	14	
17	Limonero	53	0,4	15	13	
18	Acacia floribunda	169	0,9	28	19	
19	Níspero	29	0,4	32	14	
20	Acacia floribunda	163	0,8	17	14	
21	Manzano	84	0,8	18	12	
22	Acacia floribunda	111	0,9	27	25	
23	Manzano	108	1,2	27	24	
24	Tagasaste	82	0,5	19	12	
25	Limonero	42	0,4	19	13	
26	Acacia floribunda	178	0,9	23	14	
27	Manzano	79	0,6	19	13	
28	Acacia floribunda	126	0,7	20	14	
29	Limonero	56	0,4	19	15	

30	Acacia floribunda	113	0,5	14	13	
31	Manzano	84	0,7	10	7	Foliaje seco (Fuera de Optimo desarrollo)
32	Acacia floribunda	121	0,6	20	8	

E.T. Sayarinapaj (4º mes)

	Lindero Central (De este a oeste)					
	Especie	Altura (cm)	Diámetro (cm)	Diámetro Copa 1 (cm)	Diámetro Copa 2 (cm)	Observaciones
1	Tara	32	0,4	19	12	
2	Durazno	64	0,7	8	7	
3	Tara	33	0,5	21	12	
4	Manzano	69	0,8	9	6	
5	Tara	37	0,4	13	9	
6	Durazno	72	0,8	7	4	
7	Tara					Muerto
8	Manzano					Muerto
9	Tara					Muerto
10	Durazno	84	0,8	15	10	
11	Tara	31	0,6	27	15	
12	Manzano					Muerto
13	Tara	40	0,6	24	17	
14	Durazno	78	0,8	18	14	
15	Tara	38	0,5	21	11	
16	Manzano	55	0,7	20	15	
17	Tara	40	0,5	29	23	

18	Durazno	96	0,8	32	21	
19	Tara	53				Muerto
20	Manzano		0,7	28	17	
21	Tara	30	0,5	23	12	
22	Durazno	105	0,7	13	9	Con palo guía
23	Tara	27	0,6	20	12	
24	Manzano	67	0,9	19	7	
25	Tara	25	0,6	21	13	

	Lindero Oeste (De norte a sur)					
	Especie	Altura (cm)	Diámetro (cm)	Diámetro Copa 1 (cm)	Diámetro Copa 2 (cm)	Observaciones
1	Tagasaste					Muerto
2	Durazno	42	0,3	19	14	
3	Tagasaste					Muerto
4	Tara					Muerto
5	Tagasaste					Muerto
6	Manzano	47	0,8	12	6	
7	Tagasaste					Muerto
8	Tara					Muerto
9	Tagasaste					Muerto
10	Durazno					Muerto
11	Tagasaste					Muerto
12	Tara	32	0,5	13	11	
13	Tagasaste					Muerto
14	Durazno	58	0,6	15	12	
15	Tagasaste					Muerto

16	Tara					Muerto
17	Tagasaste					Muerto
18	Manzano	38	0,7	17	14	
19	Tagasaste					Muerto
20	Tara	31	0,4	17	14	
21	Tagasaste					Muerto
22	Manzano	57	0,8	12	10	
23	Tagasaste					Muerto
24	Tara					Muerto
25	Tagasaste					Muerto
26	Manzano	56	0,6	2	2	
27	Tagasaste					Muerto
28	Tara					Muerto
29	Tagasaste					Muerto
30	Manzano	49	0,7	12	8	
31	Tagasaste					Muerto
32	Tara	28	0,5	15	11	
33	Tagasaste					Muerto
34	Durazno					Muerto
35	Tagasaste					Muerto
36	Tara	26	0,3	15	12	
37	Tagasaste	35	0,4	8	7	
38	Durazno					Muerto

	Lindero Norte (De este a oeste)					
	Especie	Altura (cm)	Diámetro (cm)	Diámetro Copa 1 (cm)	Diámetro Copa 2 (cm)	Observaciones

1	Jarka	83	0,8	15	7	
2	Tipa	51	0,7	17	8	
3	Jarka	102	1,1	15	7	
4	Pino	54	0,9	10	10	
5	Jarka	96	0,7	12	12	
6	Tipa	57	0,6	13	10	
7	Jarka	69	0,8	8	7	
8	Pino	36	0,4	3	3	
9	Jarka	102	0,9	18	9	
10	Tipa	18	0,6	1	1	Fuera del índice de óptimo rendimiento
11	Jarka	69	1	28	12	
12	Pino					Muerto
13	Molle	400	33	350	200	
14	Chirimolle	380	27	240	170	
15	Chirimolle	350	24	220	150	

	Lindero Sur (De este a oeste)					
	Especie	Altura (cm)	Diámetro(cm)	Diámetro Copa 1 (cm)	Diámetro Copa 2 (cm)	Observaciones
1	Tipa	48	0,6	27	14	
2	Tara	28	0,4	20	18	
3	Tipa	61	0,7	32	24	
4	Tara	15	0,3	13	13	No se encuentra dentro del índice de óptimo desarrollo
5	Tipa	44	0,5	22	22	
6	Tara					Muerta
7	Lluvia de oro	64	0,6	29	18	

8	Tara	22	0,4	18	13	
9	Tipa	56	0,6	28	24	
10	Tara	23	0,4	20	19	
11	Tipa	56	1	27	19	
12	Tara	33	0,5	23	12	
13	Tipa	55	0,9	40	38	
14	Tara	17	0,5	23	22	
15	Tipa	59	0,9	27	24	
16	Tara	39	0,6	18	14	
17	Tipa	42	0,8	24	19	
18	Tara	23	0,4	14	12	
19	Tipa	60	0,9	27	23	
20	Tara	36	0,6	24	20	
21	Tipa	46	0,7	16	12	
22	Tara	34	0,5	21	14	
23	Tipa	50	0,8	14	11	
24	Tara	42	0,6	20	18	
25	Tipa	14	0,7	13	4	Comida, pero con buenos brotes
26	Tara	43	0,6	28	24	
27	Tipa	47	0,6	16	14	
28	Tara	27	0,6	24	20	
29	Tipa	48	0,6	19	14	
30	Lluvia de oro	76	0,7	23	17	
31	Tipa	63	0,8	25	17	