

**INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA
ESCUELA DE INGENIERÍA FORESTAL**

**ESTADO DE LOS SISTEMAS AGROFORESTALES
ESTABLECIDOS DEL 2011 AL 2018 BAJO EL PROGRAMA
POR PAGO DE SERVICIOS AMBIENTALES EN TRES
REGIONES DE COSTA RICA**

**TESIS PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE INGENIERO FORESTAL CON EL GRADO
ACADÉMICO DE LICENCIATURA**

JUAN JOSÉ QUESADA QUESADA

CARTAGO, COSTA RICA, 2019

**INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA
ESCUELA DE INGENIERÍA FORESTAL**

**ESTADO DE LOS SISTEMAS AGROFORESTALES
ESTABLECIDOS DEL 2011 AL 2018 BAJO EL PROGRAMA
POR PAGO DE SERVICIOS AMBIENTALES EN TRES
REGIONES DE COSTA RICA**

**TESIS PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE INGENIERO FORESTAL CON EL GRADO
ACADÉMICO DE LICENCIATURA**

JUAN JOSÉ QUESADA QUESADA

CARTAGO, COSTA RICA, 2019



Esta obra está bajo una [Licencia Creative Commons Atribución-
NoComercial 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/).

ESTADO DE LOS SISTEMAS AGROFORESTALES ESTABLECIDOS DEL 2011 AL 2018 BAJO EL PROGRAMA POR PAGO DE SERVICIOS AMBIENTALES EN TRES REGIONES DE COSTA RICA

Juan José Quesada Quesada*

RESUMEN

Ante la ausencia de información recopilatoria de los sistemas agroforestales con Pago de Servicios Ambientales en Costa Rica, esta investigación tuvo como objetivo evaluar el estado de los sistemas agroforestales establecidos del 2011 al 2018 bajo el Programa por Pago de Servicios Ambientales en tres regiones de Costa Rica. Se elaboró una caracterización de los proyectos que fueron formalizados en el Fondo Nacional de Financiamiento Forestal, en las Oficinas Regionales de San Carlos, San José Oriental y San José Occidental. Para elaborar la caracterización de los Sistemas Agroforestales se revisaron los expedientes de los proyectos y así determinar las especies, tecnologías, composición estructural y el manejo reportado. Se desarrolló un protocolo que permitió evaluar el estado de los sistemas, conocer el manejo silvicultural que han recibido, y la calidad de los productos forestales que se pueden obtener de los mismos. La mayor cantidad de proyectos en la zona de estudio son sistemas agrosilviculturales, compuestos principalmente por *Erythrina* sp. y *Tectona grandis*, siendo mayoritariamente árboles de uso múltiple en cultivos y árboles en bloques, con pocos reportes de intervenciones silviculturales. El protocolo fue validado en campo con 15 proyectos, dando como resultado una efectiva aplicabilidad en los proyectos, que permite obtener valores dasométricos y gráficos radiales de manejo silvicultural del componente forestal, así como una descripción general del sistema.

Palabras clave: FONAFIFO, caracterización, manejo silvicultural, protocolo de evaluación, componente arbóreo

ABSTRACT

Given the lack of information regarding agroforestry systems with Environmental Services Payment in Costa Rica, this research aimed to evaluate the status of agroforestry systems established from 2011 to 2018 under the Program for Payment of Environmental Services in three regions of Costa Rica. A characterization of formalized projects in the Fondo Nacional de Financiamiento Forestal (National Forestry Financing Fund) was elaborated with the projects from the Regional Offices of San Carlos, San José Oriental and San José Occidental. In order to elaborate the characterization of the agroforestry systems, the project files were reviewed to determine the species, technologies, structural composition and management reported. A protocol was developed to evaluate the state of the systems, know the silvicultural management they have received, and the quality of the forest products that can be obtained from them. The largest number of projects in the study area are agrosilvicultural systems, mainly composed of *Erythrina* sp. and *Tectona grandis*, being mostly trees of multiple use in crops and trees in blocks, with few reports of silvicultural interventions. The protocol was validated in the field in 15 projects, resulting in an effective applicability in the projects, which allows obtaining dasometric values and radial graphs of silvicultural management of the forestry component, as well as a general description of the system.

Keywords: FONAFIFO, characterization, silviculture, evaluation protocol, tree component.

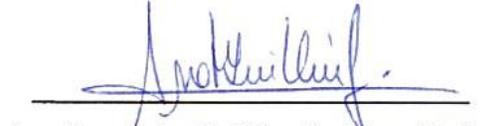
*Quesada Quesada, J. Estado de los sistemas agroforestales establecidos del 2011 al 2018 bajo el programa por Pago de Servicios Ambientales en tres regiones de Costa Rica. Tesis de Licenciatura. Escuela de Ingeniería Forestal, Instituto Tecnológico de Costa Rica, Cartago, Costa Rica.

CONSTANCIA DE DEFENSA PÚBLICA DE PROYECTOS DE GRADUACION

Trabajo final de graduación defendido públicamente ante el Tribunal Evaluador, integrado por Mario Guevara Bonilla M. Sc, Ana Lucrecia Guillén Jiménez M. Sc. y Maribel Jiménez Montero M.Sc. como requisito parcial para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Forestal, del Instituto Tecnológico de Costa Rica.



Mario Guevara Bonilla M.Sc.
Director de tesis



Ana Lucrecia Guillén Jiménez M. Sc
Fondo Nacional de Financiamiento
Forestal



Maribel Jiménez Montero M.Sc.
Profesora lectora



Dorian Carvajal Vanegas M.Sc.
Coordinador Trabajos Finales de
Graduación



Juan José Quesada Quesada
Estudiante

DEDICATORIA

*A Mamá Isabel y Abuelo Beto,
por enseñarme el valor de la tierra y de la Tierra.*

AGRADECIMIENTOS

A Dios,

Por ser la fuente de la fuerza y energía en mi vida.

A Marvin Murillo,

Por siempre ese compañero espiritual que siempre me ha ayudado tanto, y por estar siempre siempre aquí.

A Mami, Papi, Fran y Dahi,

Por ser mi apoyo y mi motivación, por la entrega de ustedes, por enseñarme que en toda batalla siempre se gana, y que tener gente tan especial ayuda a hacer menos complejo el camino.

Al profe Mario,

Por el aporte de sus conocimientos, por ser un gran guía en este proceso y por la gran entrega durante todo el proceso y por la paciencia que me tuvo que tener.

A la profe Maribel,

Por sus aportes y apoyo, por las conversadas que tanto ayudaron a formar criterios, a entender situaciones y plantear soluciones.

A doña Lucrecia

Por todo el conocimiento transmitido, por ayudarme a formar criterio de la realidad del sector forestal y sobre todo por ese esfuerzo de querer siempre mejorar las situaciones por adverso que parezcan los escenarios y motivarme a seguir ese pensamiento.

De manera conjunta al profe Mario, a la profe Maribel, y doña Lucrecia

Por ser más que un director o personas lectoras, y convertirse en mis compañeros en esta etapa del proceso de formación profesional y por regalarme de su tiempo para ayudarme a crecer.

A Arnoldo y Andrea

Por ese cariño formador motivador tan complejamente necesario para seguir viviendo con el alma limpia.

A cada miembro de TeatroTEC

Por tanta mierda, por hacer del grupo una familia y un espacio sobrevivir al TEC y recordarme

cómo somos personas, y por ayudarme a transformarme al Juan José que soy hoy.

A los Injertados,

Por ser los y las compañeras excelentes durante toda la universidad, por todo lo leído, lo sufrido, lo aprendido, lo tomado, lo recorrido, en fin, todo lo compartido.

A mi familia,

por todo el apoyo y los consejos brindado en los distintos momentos de este proceso, por ser el refugio en tiempos de crisis.

A los y las compañeras de la Dirección de Servicios Ambientales del FONAFIFO

Por la paciencia, por aportes, por lo compartido, lo enseñado,

y la entrega durante el desarrollo de este proyecto.

Al personal de la Unidad de Cultura

Por sus enseñanzas del poder transformador del arte tanto a nivel personal y profesional, y por motivarme a hacer cambios sociales.

A los miembros de ALECIF

Por ser un complemento que me permitió tener una visión más integral de la realidad forestal, por compartir sus cultura y por ser la motivación para hacer de Latinoamérica en general una región cada día mejor.

A cada una de esas personas que se cruzaron durante todo el proceso de la U, que de alguna manera hicieron al Juan José que soy mientras escribo esto

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	i
ABSTRACT	ii
DEDICATORIA.....	iv
AGRADECIMIENTOS	v
ÍNDICE GENERAL.....	vii
ÍNDICE DE CUADROS	viii
ÍNDICE DE FIGURAS	viii
ÍNDICE DE ANEXOS	x
INTRODUCCIÓN	1
MATERIALES Y MÉTODOS	3
Área de estudio.....	3
Fuentes de información.....	4
Análisis de la información.....	6
Elaboración del protocolo de evaluación.....	7
Validación del protocolo de evaluación	15
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	17
Caracterización de sistemas agroforestales con Pago de Servicios Ambientales.....	17
Ejecución y validación en campo del protocolo de evaluación	47
CONCLUSIONES.....	54
RECOMENDACIONES	56
REFERENCIAS.....	57
ANEXOS	63

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Descripción de las características utilizadas para clasificar los componentes agrícolas en SAF	8
Cuadro 2. Descripción de las características utilizadas para clasificar los componentes forestales en SAF	10
Cuadro 3. Proyectos clasificados según la Oficina Regional donde fueron formalizados.	17
Cuadro 4. Individuos por especie utilizados en los proyectos formalizados en el área de estudio.....	26
Cuadro 5. Individuos por especie utilizados en los proyectos formalizados en la Oficina Regional SC-01	27
Cuadro 6. Individuos por especie utilizados en los proyectos formalizados en la Oficina Regional SJ-01.....	30
Cuadro 7. Individuos por especie utilizados en los proyectos formalizados en la Oficina Regional SJ-02.....	32
Cuadro 8. Densidades reportadas en los proyectos de las zonas de estudio.....	38
Cuadro 9. Composición estructural de los proyectos según las Oficinas Regionales de inscripción	39
Cuadro 10. Porcentajes de mortalidad reportada en los proyectos.	40
Cuadro 11. Valores dasométricos de los proyectos evaluados para validar el protocolo.	52

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Área de estudio utilizada para la evaluación del estado de SAF con Pago de Servicios Ambientales en 3 regiones de Costa Rica	3
Figura 2. Ejemplo de presentación de resultados sobre el manejo silvicultural empleado en un sistema agroforestal de un bloque de <i>Tectona grandis</i>	15

Figura 3. Concentración de Sistemas Agroforestales evaluados en la zona de estudio.	18
Figura 4. Distribución geográfica según la concentración de proyectos establecidos en bloques.....	19
Figura 5. Distribución geográfica según los proyectos establecidos con árboles en cultivos.	21
Figura 6. Distribución geográfica según la concentración de proyectos establecidos con árboles en hileras.	22
Figura 7. Distribución geográfica según la concentración de los proyectos asociados a pastos.....	23
Figura 8. Distribución geográfica según la concentración de proyectos asociados a musáceas.....	24
Figura 9. Distribución geográfica según las concentraciones de proyectos asociados a raíces, tubérculos y granos básicos.	25
Figura 10. Principales tecnologías utilizadas en la zona de estudio según la Oficina Regional de formalización del proyecto.....	34
Figura 11. Individuos para las especies más utilizadas según la tecnología empleada.	36
Figura 12. Reportes sobre aplicación de técnicas de control de arvenses.	41
Figura 13. Reportes de aplicación de fertilización	42
Figura 14. Reportes sobre aplicación de técnicas para poda	43
Figura 15. Condición fitosanitaria y presencia de plagas reportada en los proyectos de las zonas de estudio.....	45
Figura 16. Reportes de manejo de plagas y enfermedades en los proyectos.....	46
Figura 17. Manejo observado en el proyecto SC-0103 de bloque con especies nativas	48

Figura 18. Manejo observado en el proyecto SJ-0103 de bloque de *G. arborea*..... 49

Figura 19. Manejo observado en el proyecto SC-0101 de bloques de *T. grandis*..... 50

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Formulario para evaluar el estado general de sistemas agroforestales..... 63

Anexo 2. Formulario para evaluar el componente forestal en sistemas agroforestales 64

Anexo 3. Plantación muestreada por árboles individuales con un 3% de intensidad.... 66

Anexo 4. Estado de los sistemas agroforestales en bloque utilizados para validar el protocolo..... 67

Anexo 5. Estado de los sistemas agroforestales con árboles en cultivo utilizados para validar el protocolo 69

Anexo 6. Estado de los sistemas agroforestales en hileras utilizados para validar el protocolo..... 71

INTRODUCCIÓN

El Programa por Pago de Servicios Ambientales (PSA) consiste en el reconocimiento económico por parte del Estado costarricense, a propietarias(os) o poseedores con bosques o plantaciones forestales, por los servicios ambientales que estos proveen y que tienen influencia de manera directa en el mejoramiento y protección del medio ambiente (FONAFIFO, 2014). Este programa forma parte de la estrategia nacional de cambio climático y constituye un elemento central en la propuesta de desarrollo, que se basa en la protección de los recursos naturales, el turismo sostenible y el desarrollo de mecanismos limpios de crecimiento (Camacho & Solano, 2010).

El Fondo Nacional de Financiamiento Forestal (FONAFIFO) maneja dos modalidades por PSA que son: mantenimiento de cobertura forestal y recuperación de la cobertura forestal. Dentro de esta última modalidad se encuentran actividades tales como reforestación, regeneración natural y sistemas agroforestales (MINAE, 2016). Esta última actividad promueve el desarrollo de sistemas agrícolas productivos que incorporen árboles que brinden bienes y servicios tanto productivos como ambientales.

Los árboles como componente leñoso que conforman los sistemas agroforestales (SAF), deben ser manejados de manera sostenible, logrando simultáneamente que se mantengan las funcionalidades de los sistemas productivos; por lo que las unidades productivas de SAF sometidas al PSA, se deben de evaluar para garantizar su mejoramiento al medio ambiente enmarcado en un desarrollo forestal sostenible.

Los proyectos de PSA han sido evaluados desde enfoques principalmente económicos, sociales, y en algunos casos políticos. Se ha analizado la trayectoria que han tenido desde sus inicios, su impacto en el estado económico de los beneficiarios y su nivel de

satisfacción, la concordancia jurídica, la efectividad del programa y la adaptabilidad a tratados internacionales. Algunos análisis se han enfocado a modalidades o actividades específicas y otros han estudiado el Programa de PSA de una manera integral. (Rodríguez & Sáenz, 2002), (Borges, Ortiz, & Sage, 2003) (Camacho & Solano, 2010) (CGR, 2011) (Sánchez & Navarrete, 2017).

A pesar de las múltiples evaluaciones realizadas, no se ha sintetizado el estado de los SAF sometidos al PSA en Costa Rica, causando así un vacío de información relacionada a las especies utilizadas, las tecnologías empleadas, sus densidades de siembra, características del manejo silvicultural y fitosanitario, entre otros aspectos técnicos. Ordoñez, Andrade, Quirós y Venegas (2012) mencionan que para garantizar el buen desarrollo y la calidad de los árboles se podrían considerar aspectos como las dimensiones de los individuos, la distancia de siembra, los raleos y las podas.

Adicionalmente, el FONAFIFO no cuenta con una metodología de campo apropiada que permita evaluar las características técnicas de estos sistemas. Por lo que una correcta evaluación de los SAF permitiría conocer su estado y determinaría si satisfacen las condiciones de los convenios a los que pertenecen, según criterios políticos, técnicos, sociales, ecológicos y económicos.

Por tal motivo, esta investigación pretende evaluar el estado actual de los SAF establecidos bajo el Programa de PSA en tres regiones de Costa Rica, y de manera más específica se pretende caracterizar los diseños empleados en los SAF con PSA, diseñar un protocolo de evaluación de manejo forestal en estos sistemas y validar en campo el protocolo propuesto para evaluación del manejo forestal de SAF con PSA.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El área de estudio comprende aproximadamente 20 850 km² (2 085 000 ha), entre las coordenadas 9°02'29,392" y 11°09'12,858" latitud Norte y 83°26'41,093" y 85°29'04,611" longitud Oeste. Su rango de altitud va de los 0 a los 3700 msnm (figura 1). Su temperatura media anual varía desde los 28 °C en la parte más baja hasta los 8 °C en la zona más alta y la precipitación oscila aproximadamente entre 1500 mm anuales en la parte baja y hasta 7000 mm anuales en la parte alta. Administrativamente abarca jurisdicción en 5 provincias: Alajuela, Cartago, Heredia, Puntarenas y San José. (Ortiz, 2014).

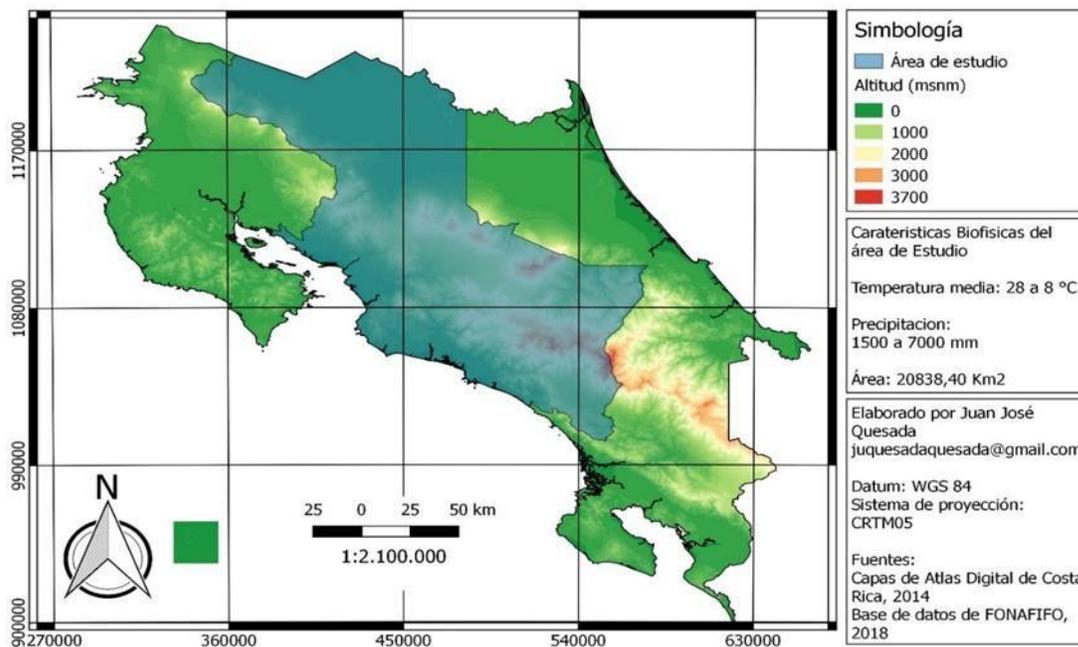


Figura 1. Área de estudio utilizada para la evaluación del estado de SAF con Pago de Servicios Ambientales en 3 regiones de Costa Rica.

Figure 1. Study area used for status evaluation of agroforestry systems with payment of environmental services in Costa Rica.

Fuentes de información.

El estudio se realizó, con los proyectos activos, bajo la actividad de sistemas agroforestales del FONAFIFO, formalizados durante el periodo del 2011 al 2018. Las Oficinas Regionales seleccionadas fueron San Carlos (SC-01), San José Occidental (SJ-01) y San José Oriental (SJ-02).

Las sub-actividades seleccionadas fueron:

1. SAF-Café
2. SAF-Especies en Extinción
3. SAF-Especies Nativas
4. SAF-Sistemas Agroforestales

Se revisaron 527 expedientes de un total de 674, lo que representa un 78% de la totalidad de proyectos formalizados para las tres oficinas. Estos 527 expedientes representan el 51% de los proyectos formalizados a nivel nacional durante el periodo analizado.

La recolección de la información se realizó con base en los estudios técnicos e informes certificados que se encontraban disponibles en los expedientes de los proyectos en estudio. La información obtenida se agrupó en tres categorías:

a) Información Técnica

1. Especies forestales establecidas (Nombres científicos de las especies presentes).
2. Número de árboles por especie en el proyecto.
3. Área, o los trayectos si corresponden a árboles en hileras.
4. Porcentaje de Mortalidad.
5. Componente agrícola (cultivos reportados en los proyectos).
6. Estructura

7. Edad de la plantación
 8. Sub-Actividad
- b) Información asociada al manejo silvicultural
1. Aplicación de enmiendas
 2. Fertilización
 3. Control de arvenses
 4. Podas
 5. Raleos
 6. Estado fitosanitario: manejo y presencia de plagas.
- c) Información administrativa
1. Ubicación política (Provincia, Cantón, Distrito).
 2. Información relacionada al expediente del proyecto: fecha y número del contrato del proyecto, número de expediente.
 3. Tipo de regencia: se clasificó tomando en cuenta la organización que regentaba el proyecto o si se trataba de una regencia independiente.

En los casos en que no se reportaba la especie, ésta fue registrada como “desconocida”. Cuando se mencionaban las especies, pero se desconocía el número de individuos de cada una de las mismas, se clasificaron como mixtas. Las sub-actividades son las descritas en el Manual de Procedimiento para el Pago de Servicios Ambientales (FONAFIFO, 2009).

Los proyectos fueron clasificados de acuerdo a su estructura de la siguiente manera: los asociados a pastos como silvopastoriles, los asociados a pastos con cultivos como agrosilvopastoriles y los asociados a cultivos se clasificaron como agrosilviculturales. Los proyectos que no se pudieron clasificar según la estructura, se agruparon como indefinidos.

Para la información asociada al manejo silvicultural se consideraron los reportes existentes respecto a cada una de las practicas, tomando en cuenta solamente si se hacía reporte de la práctica y para la descripción del manejo reportado y la estructura de los sistemas, se utilizó solamente los proyectos que presentaban al menos un informe certificado, estos representaban un total de 455 proyectos, el resto de proyectos muestreados solo presentaban estudio técnico.

Posteriormente, para los análisis específicos las clasificaciones de los arreglos reportados en los estudios técnicos o informes certificados de los proyectos, se reagruparon según las tecnologías, en las categorías:

1. Árboles en cultivos
2. Árboles en hileras
3. Árboles en bloques

Análisis de la información

Con la información recolectada se generó una base de datos en Microsoft Excel 2016 que resumiera todos los elementos recopilados y con base en archivos de polígonos georeferenciados ya existentes sobre la ubicación espacial de los proyectos, se elaboraron mapas de calor considerando: tecnologías y cultivos asociados. Los mapas fueron creados con el software QGIS 2.18.6. utilizando como complemento las capas del Atlas Digital de Costa Rica (Ortiz, 2014).

Se elaboraron mapas que muestran las intensidades de concentración con base en el complemento de QGIS “Mapas de calor”, por lo que las intensidades fueron definidas por el algoritmo del complemento. De manera que una alta concentración para una determinada tecnología o cultivo, podría no representar valores numéricos similares respecto alguna otra tecnología o cultivo.

Se definieron las 10 especies más utilizadas para cada uno de los análisis y se ordenaron las especies según la frecuencia de utilización en: proyectos, tecnologías y la Oficina Regional asociada.

Elaboración del protocolo de evaluación

Como primer paso se definió la información general que debe ser documentada sobre el proyecto, posteriormente se identificaron los principales elementos que caracterizan los sistemas agroforestales, así como aquellos que permiten el monitoreo óptimo de los mismos. Con base en la caracterización, se establecieron las variables necesarias para la evaluación de los sistemas agroforestales en estudio y se clasificaron en dos grandes componentes: componente agrícola y componente forestal.

Componente agrícola

Se establecieron cuatro variables principales, que son la distribución de las plantas, el control de las arvenses, estado fitosanitario, y un estado general de desarrollo. En el cuadro 1 se muestran los posibles valores a asignar para cada una de las características, así como la descripción de lo que correspondería a cada valor.

Cuadro 1. Descripción de las características utilizadas para clasificar los componentes agrícolas en SAF.

Table 1. Description of the characteristics used to classify the agricultural components in AFS.

Característica	Calificación	Valor numérico	Descripción
Distribución de las plantas	Buena	1	Homogénea. Las plantas tienen un distanciamiento y ubicación adecuado dentro del proyecto.
	Regular	2	Existen grupos focalizados de plantas bien distribuidas.
	Deficiente	3	Distribución heterogénea. Las plantas no están distanciadas adecuadamente entre sí.
Control de arvenses	Bueno	1	Las arvenses no impiden el desarrollo adecuado del cultivo.
	Regular	2	Las arvenses dificultan el desarrollo adecuado del cultivo.
	Deficiente	3	Las arvenses impiden el desarrollo adecuado del cultivo.
Estado fitosanitario	Bueno	1	No se observa una presencia de plagas y/o enfermedades afectando el desarrollo de las plantas.
	Regular	2	Existen plagas y/o enfermedades pero no dificultan el desarrollo adecuado de las plantas.
	Deficiente	3	Existen plagas y/o enfermedades que dificultan el desarrollo adecuado de las plantas.
Estado general de desarrollo	Bueno	1	El follaje de la planta es vigoroso y presenta un adecuado desarrollo fisiológico.
	Regular	2	La planta mantiene follaje, pero este no presenta un adecuado desarrollo fisiológico.
	Deficiente	3	Las plantas evidencian un mal funcionamiento fisiológico.

Fuente: Elaboración propia

Componente forestal

Este componente se evaluó mediante el muestreo de árboles individuales planteado por Murillo y Badilla, (2014) y se establecieron como Variables:

1. Árbol: consiste en enumerar consecutivamente todos los árboles muestreados.
2. Especie: consiste en anotar la especie a la que pertenece el individuo evaluado, la cual debe ser reportada según el nombre científico.
3. Diámetro: es el diámetro en centímetros del árbol medido a 1,3 m sobre el suelo, según las normas dasométricas.
4. Altura: medición en metros de la altura comercial del árbol
5. Calidad de trozas: el potencial de aserrío que tiene cada una de trozas, las cuales posteriormente indicarán la calidad del árbol y del sistema.
6. Vecinos presentes: número de árboles en pie inmediatamente próximos al individuo que está siendo evaluado.

Las características de manejo se evaluaron según las escalas presentes en el cuadro 2.

Cuadro 2. Descripción de las características utilizadas para clasificar los componentes forestales en SAF.

Table 2. Description of the characteristics used to classify the forestry components in AFS.

Característica	Calificación	Valor numérico	Descripción
Control de arvenses	Bueno	1	Existe una rodaja limpia con al menos un metro de diámetro, las plantas arvenses mantienen una altura inferior a 50 cm y no hay evidencia que el árbol tenga o haya tenido plantas trepadoras en el fuste.
	Regular	2	Las plantas arvenses se mantienen en el sistema con una altura inferior a 50 cm, no hay evidencia de que el árbol haya tenido plantas trepadoras, pero no cuentan con rodaja.
	Deficiente	3	No existe la rodaja y/o las arvenses superan los 50 cm de altura y/o el árbol tiene y/o existe evidencia de que haya tenido plantas trepadoras.
Podas	Bueno	1	El árbol tiene al menos el 50% del fuste libre de ramas, y no se evidencian daño mecánico o mal formaciones asociadas a la poda del árbol.
	Regular	2	El árbol tiene al menos el 50 % del fuste libre de ramas, pero presenta daño mecánico o mal formaciones asociadas a la poda del árbol.
	Deficiente	3	El árbol presenta menos del 50 % del fuste libre de ramas y/o presenta daños mecánicos severos asociados a la poda del árbol.

Cruce de copas	Abierto	1	No hay cruce de copas, existe una entrada de luz a la base del árbol y/o al cultivo.
	Intermedio	2	Parte de las copas de los individuos están en contacto e impiden de manera parcial la entrada de luz a la base del árbol y/o al cultivo.
	Cerrado	3	Hay un cruce total de copas y se impide severamente la entrada de luz a la base del árbol y/o existe presencia de ramas muertas en la parte baja del fuste.
Estado fitosanitario	Sano	1	Árbol no evidencia ningún tipo de problema y con buena nutrición aparente.
	Aceptablemente sano	2	Árbol con alguna evidencia de problemas fitosanitarios, y representa menos un 50% del follaje.
	Enfermo:	3	Árbol que presenta un daño mayor al 50% o que presenta alguna afectación por plagas y enfermedades que afecten el desarrollo del mismo.

Fuente: Elaboración propias

Fórmulas para el análisis de la información

Para el análisis de la información obtenida se desarrollaron formulas lógicas que se deben aplicar, considerando factores y coeficientes que permiten tener resultados veraces. Para el muestreo de árboles individuales se debe de tomar en cuenta la corrección de los valores con el conteo de árboles vecinos establecidos por Murillo y Badilla (2014).

Determinación del total de árboles en pie

$$n_{EP} = ((n * f_m) + S) * C_{A_v} \text{ (Ecuación 1)}$$

Dónde:

n_{EP} : Total de árboles en pie

n : Árboles muestreados

f_m : Frecuencia de muestreo

S : Saldo final

C_{A_v} : Coeficiente de árboles vecinos

Determinación de área neta para árboles establecidos en poligonales

$$A_E = n_{EP} * A_a \text{ (Ecuación 2)}$$

A_E : Área neta

n_{EP} : Número de árboles en pie

A_a Área de crecimiento por árbol

0

Determinación de la distancia efectiva para árboles establecidos en hileras

$$D_E = n_{EP} * d_a \text{ (Ecuación 3)}$$

D_E : Distancia efectiva

n_{EP} : Número de árboles en pie

d_a Distanciamiento entre árboles

Número de árboles por hectárea

$$N_p = \frac{n_{EP}}{(A_E/10000)} \text{ (Ecuación 4)}$$

Donde

N_p : Número de árboles por hectárea

n_{EP} : Total de árboles en pie

A_E : Área neta en metros

Determinación de densidades lineales

$$N_l = \frac{n_{EP}}{(D_E/1000)} \text{ (Ecuación 5)}$$

Donde

N_l : Número de árboles por kilómetro

n_{EP} : Total de árboles en pie

D_E : Distancia efectiva en metros

Determinación del valor porcentual para variables de manejo

$$((n_1 + (n_2 * 0,7) + (n_3 * 0,3)/n_T) * 100) \text{ (Ecuacion 6)}$$

Donde

n_1 : Número de árboles con calificación 1 para la variable evaluada

n_2 : Número de árboles con calificación 2 para la variable evaluada

n_3 : Número de árboles con calificación 3 para la variable evaluada

n_T : Total de árboles evaluados

Determinación de la calidad del árbol

La determinación de la calidad del árbol depende del número de trozas presentes y se debe hacer de acuerdo con el algoritmo definido por Murillo y Badilla, (2014).

Presentación de resultados

Se presentará una descripción de las condiciones generales del sistema, y deben de utilizarse las descripciones detalladas previamente para el componente agrícola. Las descripciones generales del sistema y del componente agrícola deben de estar basada en los parámetros establecidos en el anexo 1. Se debe reportar por cada arreglo el número de árboles por especie.

La información dasométrica se presentará en forma de cuadro en donde se muestren los valores promedio de diámetro y altura con sus respectivas desviaciones estándar y coeficientes de variación. También se muestran los valores de densidad, área basal, volumen por hectárea y calidad general de proyecto.

Los resultados de las variables de manejo y calidad (control de arvenses, podas, cruce de copas, estado fitosanitario, calidad) deben ser graficados de manera radial. La utilización de este gráfico permite al evaluador determinar que variables se requieren mejorar, además de comparar los cambios en las distintas etapas del proyecto (figura 2). Se asignará una calificación de hasta 100 puntos donde el 100 corresponde al máximo puntaje que indica un excelente estado para la variable y 0 será el menor puntaje y representa un pésimo estado respecto a la variable

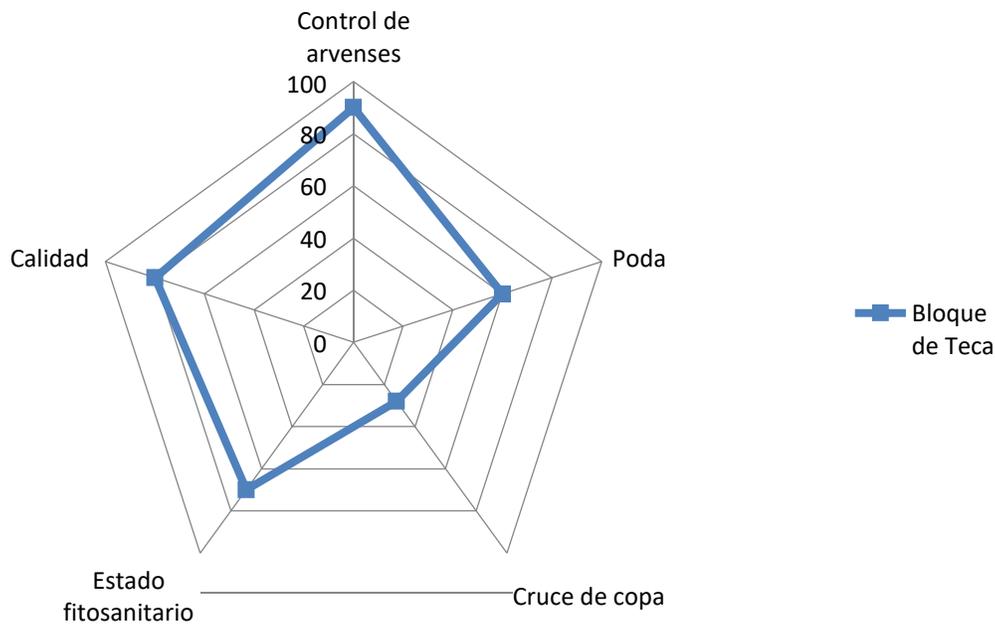


Figura 2. Ejemplo de presentación de resultados sobre el manejo silvicultural empleado en un sistema agroforestal de un bloque de *Tectona grandis*.

Figure 2. Example of results presentation of silvicultural management used in an agroforestry system of a block of *Tectona grandis*.

Validación del protocolo de evaluación

Se seleccionaron de manera aleatoria 15 proyectos, en los cuales se validó el protocolo de evaluación propuesto. Fueron evaluados proyectos las tres tecnologías en que se clasificaron los proyectos, siendo 6 proyectos en bloque, 5 de proyectos de árboles en cultivos y 4 de árboles en hileras. Se clasificaron los proyectos según las tecnologías empleadas y se analizaron las variables incluidas dentro del protocolo.

Se realizaron cálculos de valores dasométricos de los proyectos visitados para determinar la funcionabilidad del protocolo en cuanto al análisis de datos, así como la elaboración de los gráficos radiales para demostrar el manejo empleado en los proyectos.

Se determinó la coincidencia de lo reportado en los informes certificados respecto a lo observado de los 15 proyectos seleccionados, comparando las densidades obtenidas según los informes respecto a las determinadas en campo. Adicionalmente se comparó el manejo reportado con el manejo observado, esta última comparación se realizó utilizando los informes certificados y los gráficos radiales obtenidos de las evaluaciones en los proyectos en el campo.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caracterización de sistemas agroforestales con Pago de Servicios Ambientales

La mayor cantidad de proyectos formalizados revisados se encontraron en la Oficina Regional de San José 02, seguida por San José 01 y San Carlos. La distribución de los proyectos revisados por Oficina Regional se presenta en el cuadro 3.

Se registraron un total de 48 regentes a cargo de los proyectos formalizados, sin embargo, de la totalidad de proyectos, 424 se encuentra bajo supervisión de solo 6 regentes. Esta situación se registró principalmente para los proyectos de Pacífico Central, la Zona de Los Santos y el Valle del General.

Cuadro 3. Proyectos clasificados según la Oficina Regional donde fueron formalizados.

Table 3. Classified projects according to the Regional Office where they were formalized

Oficina Regional*	Proyectos formalizados
SC-01	51
SJ-01	142
SJ-02	334
Total	527

*SC-01 representa la Oficina Regional de San Carlos, SJ-01 la de San José Occidental y SJ-02 la de San José Oriental.

Fuente: Expedientes de proyectos formalizados con FONAFIFO

La mayor concentración de proyectos se encuentra en el Valle del General y en la Zona de Los Santos. Estas dos regiones son atendidas por la Oficina Regional San José 02. Algunas zonas con menor concentración de proyectos formalizados son Turrialba, la zona del Pacífico Central y el distrito de Pocosol en San Carlos (figura 3).

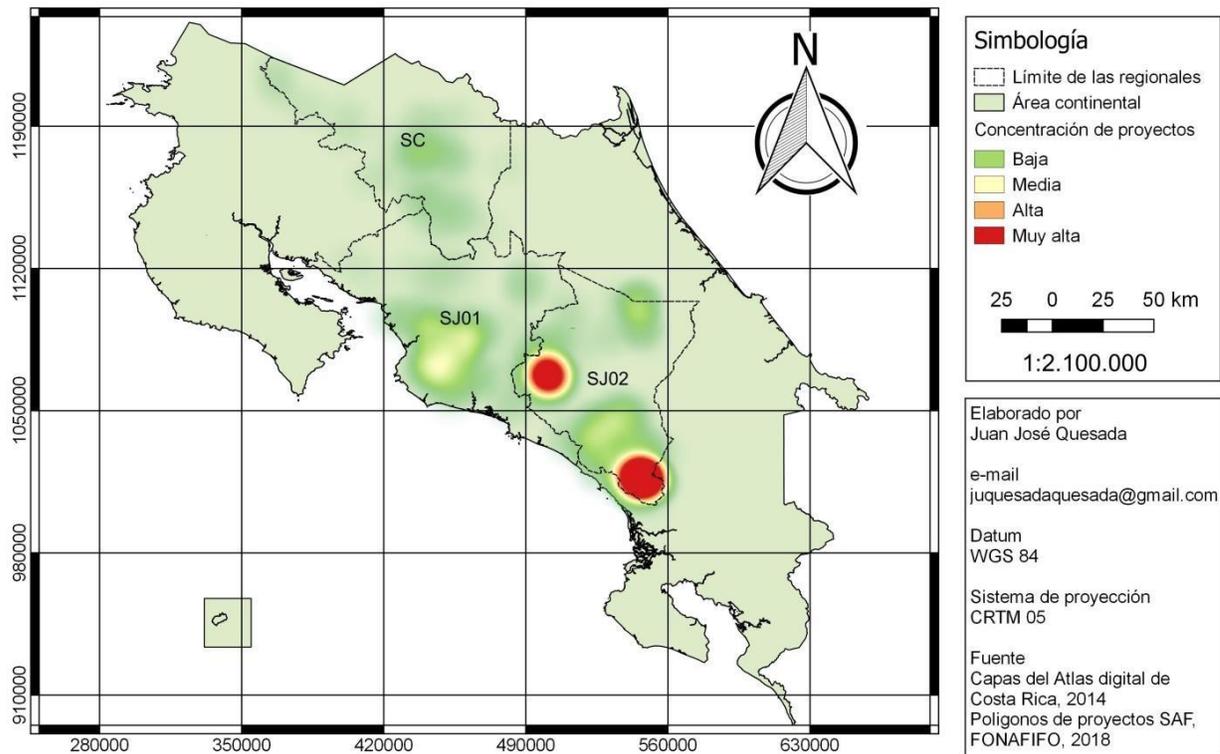


Figura 3. Concentración de Sistemas Agroforestales evaluados en la zona de estudio.

Las dos zonas con mayor concentración de proyectos corresponden a las regiones que según INEC (2014) presentan actividades agrícolas tradicionales y principalmente asociadas al cultivo del café.

Tecnologías utilizadas

Las tecnologías mantienen distintas concentraciones en la zona de estudio. La figura 4 refleja la concentración de los sistemas con bloques en los proyectos evaluados.

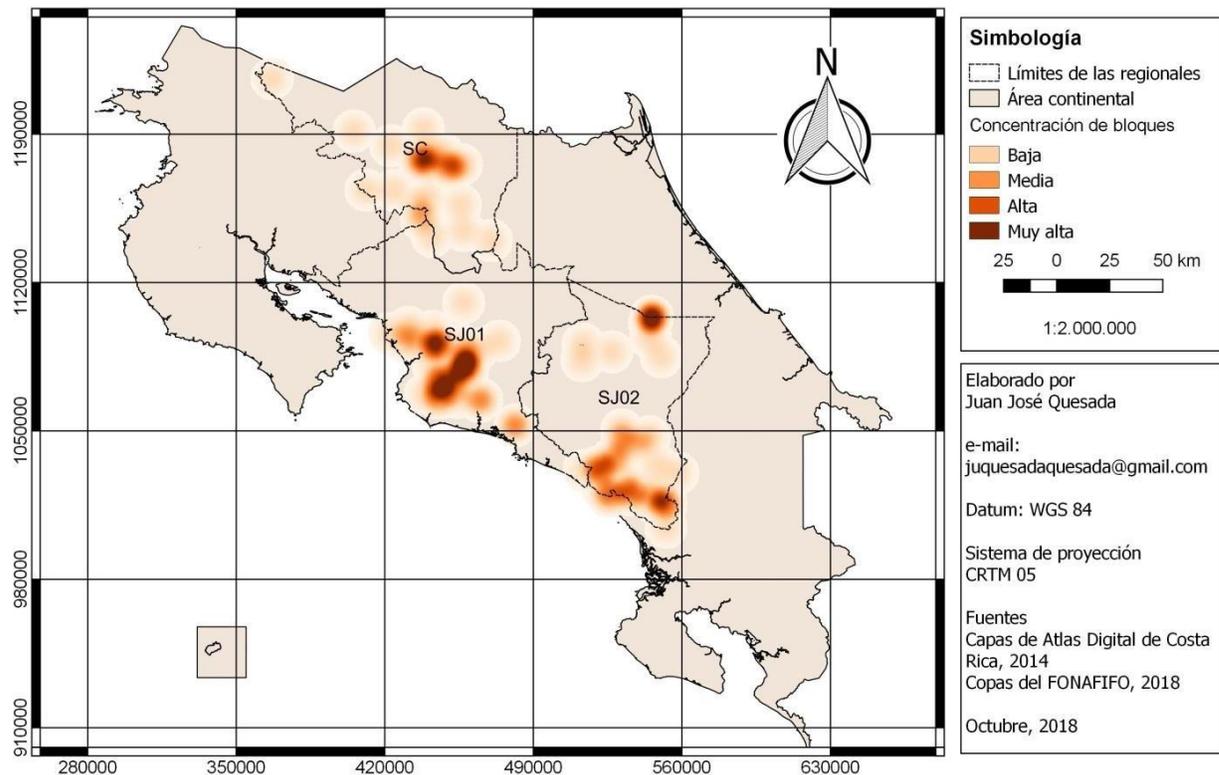


Figura 4. Distribución geográfica según la concentración de proyectos establecidos en bloques.

Figure 4. Geographical distribution according to the concentration of projects established in blocks.

Con base a los resultados se evidencia que es una tecnología ampliamente distribuida en toda la zona de estudio, presentando la mayor concentración en los proyectos ubicados en la región Pacífico Central, Turrialba y Pocosol de San Carlos.

Según (Calvo, 2010) el 96 % de la reforestación comercial en el país se encuentra en áreas bajo los 1000 msnm. La descripción realizada por Calvo coincide con las áreas de mayor presencia de sistemas agroforestales en bloques. Los SAF en bloque están siendo establecidos con las mismas características de plantaciones comerciales en bloque pero utilizando otra actividad del PSA distinta a la de reforestación, pues la distribución de los bloques es similar a la distribución general de los SAF con PSA., exceptuando a la Zona de Los Santos, que no presenta altas de concentraciones de SAF en bloques.

Para el caso de los árboles establecidos en asocio a cultivos agrícolas las mayores concentraciones se presentaron en la Zona de Los Santos y en Pejibaye de Pérez Zeledón. En el Valle Central, Pacífico Central y Turrialba se un menor número de proyectos distribuidos en mayores áreas. Con lo que respecta a los proyectos de San Carlos, corresponden solamente a sitios asilados (Figura 5). La alta concentración de estos proyectos se da sobre todo en sitios tradicionalmente cafetaleros siendo el café el principal cultivo asociado a esta tecnología.

La concentración de SAF con PSA asociados a la actividad cafetalera, coincide considerablemente con los sitios del país dedicados a la caficultura reportados por del Instituto de Café de Costa Rica (ICAFFE) (2012). Además en estas zonas, los proyectos están asociados a un número reducidos de regente que son colaboradores de organizaciones de que operan en esos sitios.

Para la parte occidental del Valle Central, así como las regiones caficultoras de Heredia, Turrialba y Acosta no existe tanta presencia de SAF con PSA, en comparación con la representatividad que el ICAFFE les da a estas áreas en el cultivo de este fruto.

Por otro lado, los lugares con baja concentración de proyectos se asocian a cultivos temporales como granos básicos o algunas raíces o tubérculos y en sitios ganaderos.

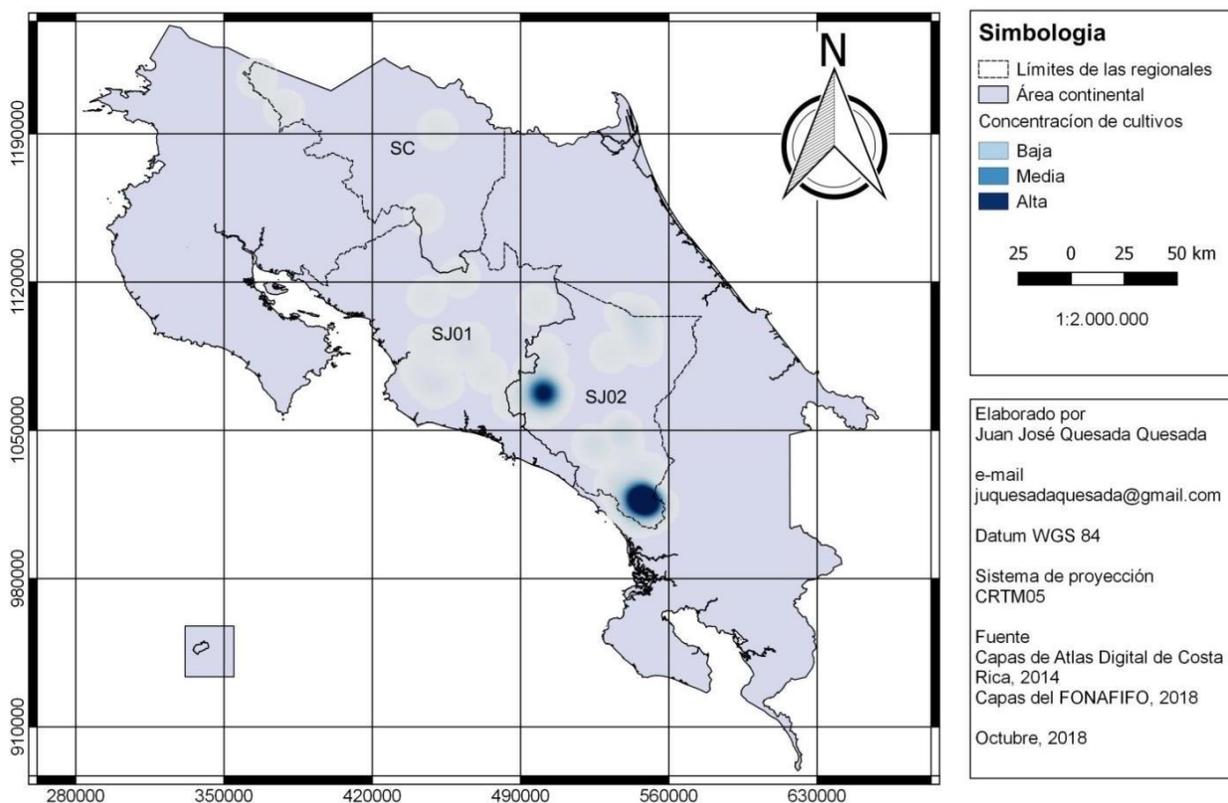


Figura 5. Distribución geográfica según los proyectos establecidos con árboles en cultivos.

Figure 5. Geographical distribution according to projects established with trees in crops.

Los proyectos con tecnologías en hileras están establecidos principalmente en Pocosol de San Carlos, y en una franja que se extiende desde la parte suroeste del Pacífico Central hacia el Pacífico Sur, incluyendo sitios como Pérez Zeledón y la Zona de Los Santos (Figura 6).

Por la distribución se puede asociar de manera preliminar a sitios que su historial agrícola ha estado asociado a producción ganadera, pues bajo esta tecnología se encuentran las cercas vivas que es una técnica utilizada en la ganadería. (Russo & Botero, 2014).

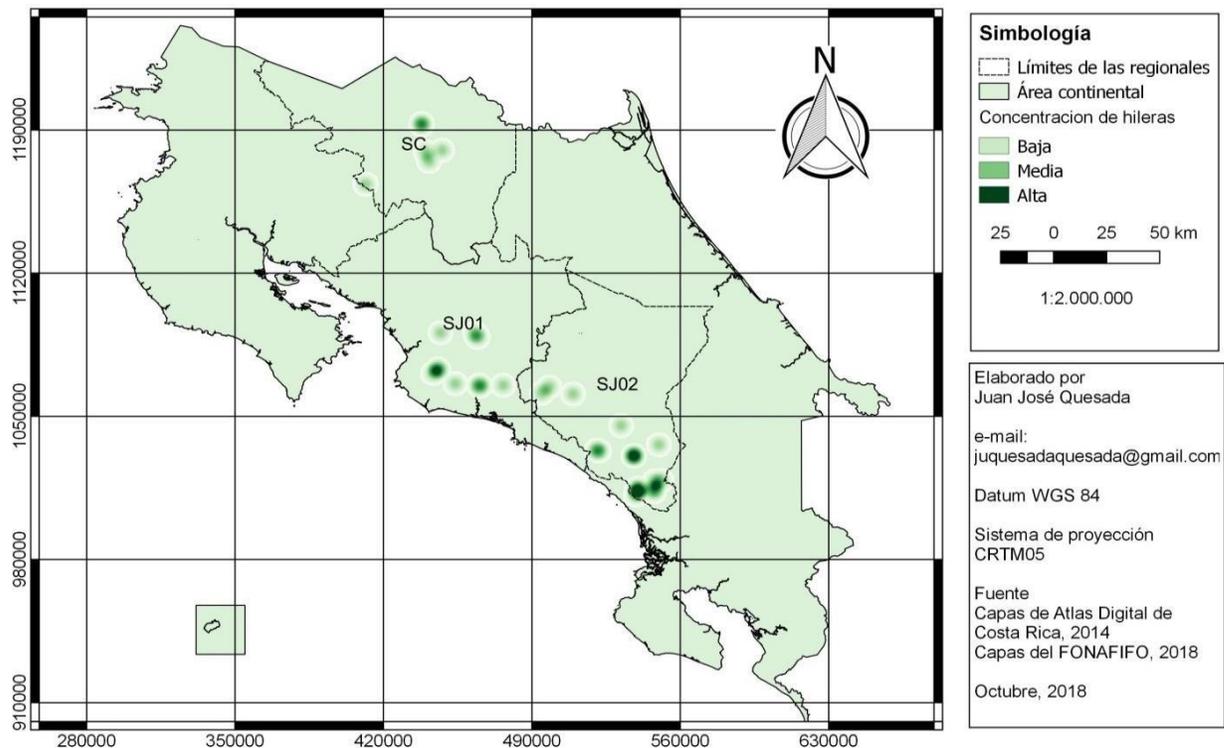


Figura 6. Distribución geográfica según la concentración de proyectos establecidos con árboles en hileras.

Figure 6. Geographical distribution according to the concentration of projects established with trees in lines.

Cultivos asociados

Los componentes agrícolas también permiten caracterizar los proyectos, los cuales en la zona de estudio interactúan principalmente con pastos, café, y musáceas. De manera menos representativa existen sistemas con granos básicos, raíces y tubérculos, u otros cultivos temporales.

De manera específica en la figura 7 se aprecia la distribución según la concentración de los proyectos asociados a pastos, presentando una distribución en gran parte del área de estudio; con puntos de mayor concentración en las regiones del Pacífico Central, Valle del General y el distrito de Pocosol de San Carlos.

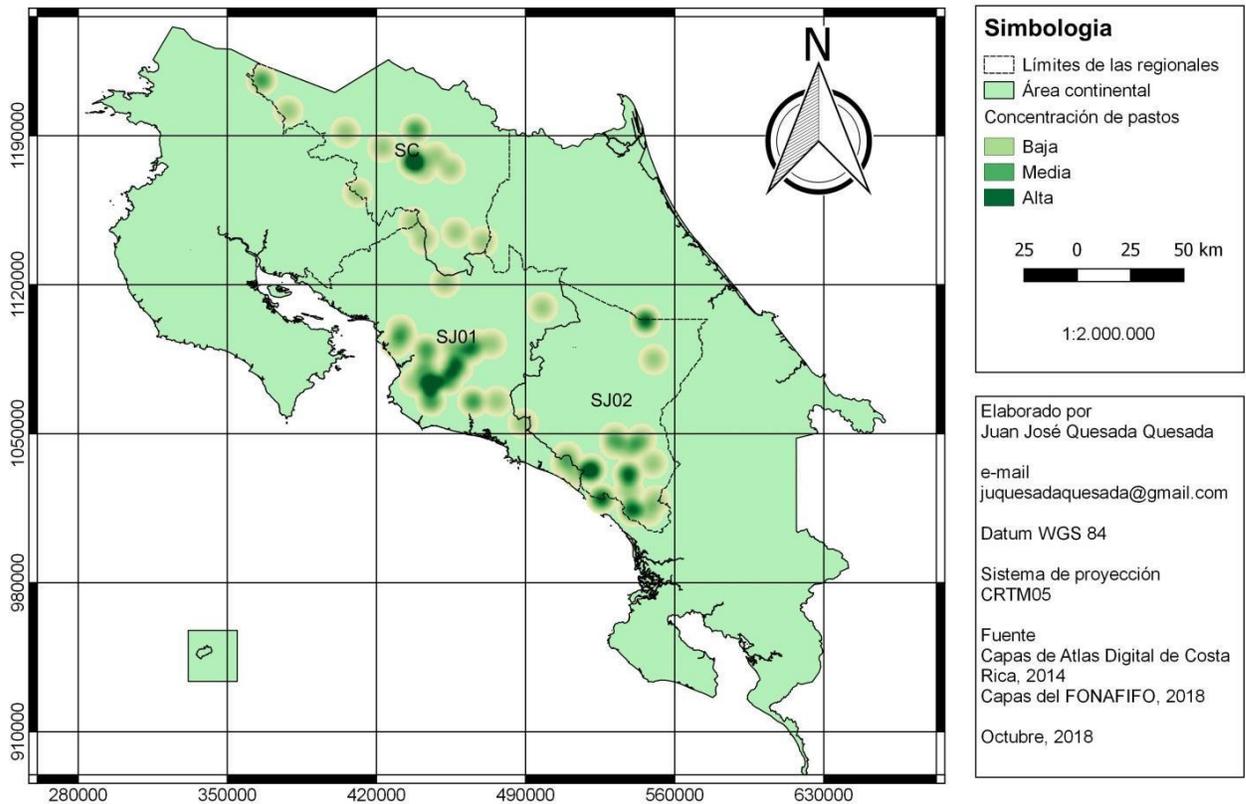


Figura 7. Distribución geográfica según la concentración de los proyectos asociados a pastos.

Figure 7. Geographical distribution according to the concentration of projects associated with pastures.

Las regiones pacíficas (Pacífico Central y Valle del General) han tenido un desarrollo cultural relacionado a la producción ganadera donde se reportan entre 1000 y 4000 cabezas de ganado por kilómetro cuadrado. En la región de San Carlos, específicamente en el distrito de Pocosol se reportan sitios con más 6000 cabezas de ganado por kilómetro (García-Rangel, S; Walcott, J; de Lamo, X; Epple, C; Miles, L; Kapos, V; Carrión, D; Herrera Ugalde, M.E; López Lee, T; Ballesteros, M; Vega-Araya, E; Quirós Ramírez, G; Gómez Román, A, 2017) (Garau, Ghera, Lemcoff, & Barañao, 2007).

Con respecto a los proyectos asociados a museos, se concentran de manera significativa en la Zona de Los Santos (Figura 8). Se da una distribución por toda el área

de estudios con una mediana concentración en Orotina y Turrialba. Para el resto de las zonas la concentración es baja.

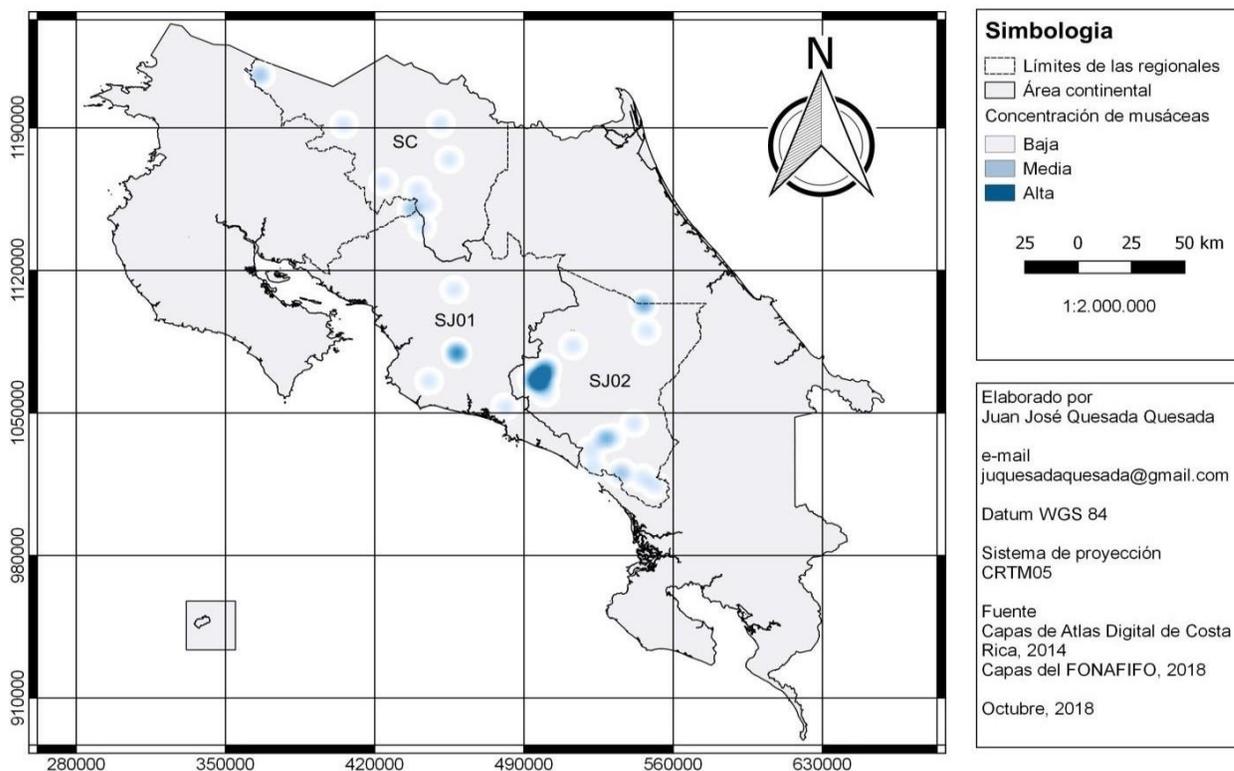


Figura 8. Distribución geográfica según la concentración de proyectos asociados a musáceas.

Figure 8. Geographical distribution according to the concentration of projects associated with musaceas plants.

Según la información contenida en los expedientes, así como lo observado en campo, la concentración de las musáceas en la Zona de Los Santos está relacionada a la dominancia del café en el sitio, ya que los sistemas con café, además del componente arbóreo también presentan una considerable cantidad de plantas de la familia Musaceae. Esta misma composición se da para proyectos de Turrialba y del Valle del General, aunque en estas últimas regiones presentan menor intensidad respecto a la Zona de Los Santos.

Existen también proyectos asociados a raíces, tubérculos, u otro cultivo temporal. En la figura 9 se aprecia los proyectos asociados a estos cultivos los cuales se dan principalmente en las regiones del Pacífico Central y Pocosol de San Carlos.

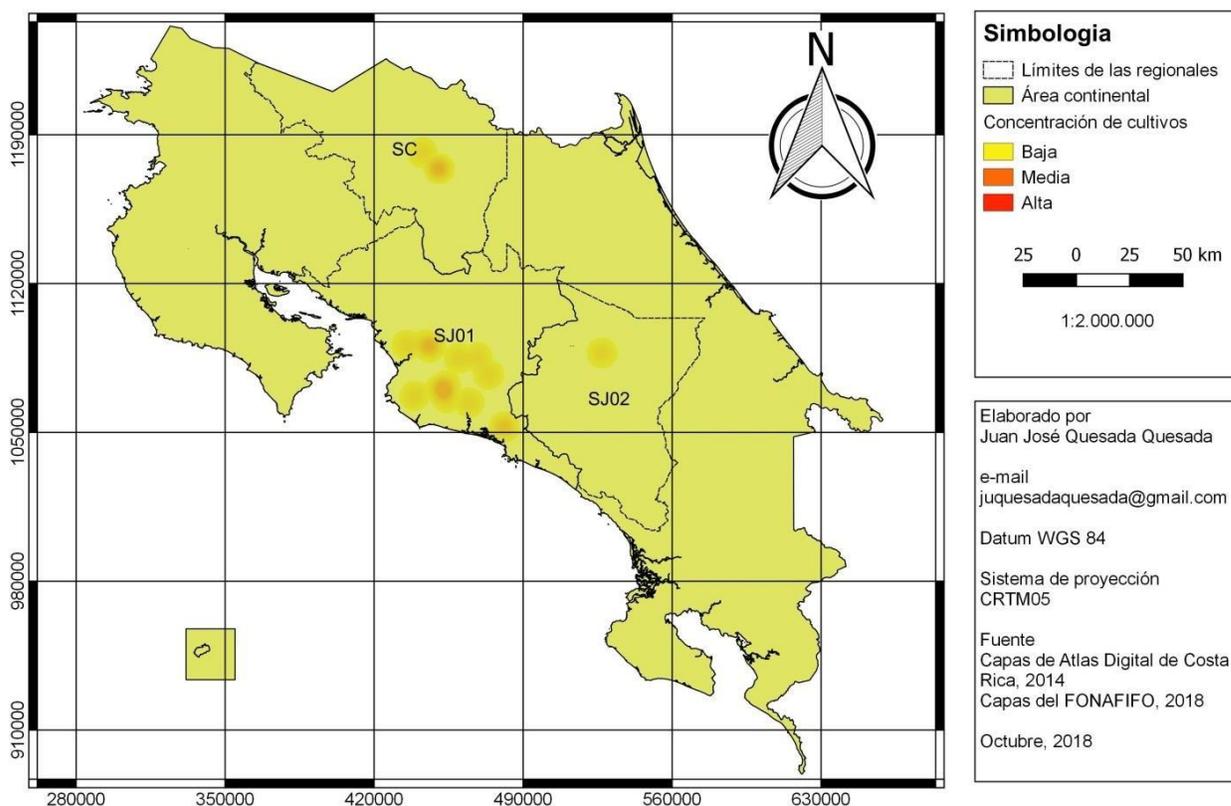


Figura 9. Distribución geográfica según las concentraciones de proyectos asociados a raíces, tubérculos y granos básicos.

Figure 9. Geographical distribution according to the concentration of projects associated with roots, tubers and basic grains.

Los cultivos temporales están generalmente asociados a sistemas con bloques, por esto su presencia en el Pacífico y San Carlos. A diferencia de cultivos como pastos, café y musáceas, estos cultivos temporales no tienen presencia en el Valle Central, ni en la Zona de Los Santos ni en el Valle del General.

Especies forestales utilizadas

Con base en el análisis realizado, se determinó que las especies más utilizadas en las tres zonas de estudio son especies del género *Erythrina* y la especie *Tectona grandis*, con 194 469 y 108 361, individuos respectivamente. Además, especies como *Cedrela odorata*, *Gmelina arborea*, *Gliricidia sepium*, *Vochysia guatemalensis*, *Eucalyptus deglupta* y *Dipteryx panamensis*, destacan entre las 10 especies más utilizadas en los proyectos según los informes certificados (cuadro 4). En total se registraron 155 especies distintas.

Cuadro 4. Individuos por especie utilizados en los proyectos formalizados en el área de estudio.

Table 4. Individuals by species used in the projects formalized in the study area.

Especie	Individuos
<i>Erythrina sp.</i>	194 469
<i>Tectona grandis</i>	108 361
<i>Cedrela odorata</i>	61 530
<i>Inga sp.</i>	55 454
<i>Gmelina arborea</i>	50 078
Desconocidas	28 375
<i>Gliricidia sepium</i>	16 425
<i>Vochysia guatemalensis</i>	16 127
<i>Eucalyptus deglupta</i>	14 073
<i>Dipteryx panamensis</i>	13 638

Fuente: Expedientes de proyectos formalizados con FONAFIFO

En los proyectos revisados existen un total de 28 375 árboles que se desconoce a qué especie pertenecen pues el regente no lo menciona en los estudios certificados. Adicionalmente, existen 5 887 árboles que, aunque se indica las especies utilizadas, se desconoce cuál es el número de individuos para cada especie.

La utilización de individuos pertenecientes a los géneros *Erythrina* sp, *Inga* sp. o de la especie *Gliricidia sepium*, en los SAF con PSA coincide con los reportes de Botero y Russo (1998), quienes afirman que estos géneros han sido históricamente utilizados en distintas tecnologías agroforestales.

Otro gran grupo presente en la lista son las especies maderables como *Tectona grandis* y *Gmelina arborea* que han sido especies muy utilizadas en el sector forestal costarricense, abarcando áreas significadas dedicadas a la reforestación comercial en el país, por esto también son muy utilizadas en SAF. Las recomendaciones técnicas sobre utilizar *Cedrela odorata* como sombra en sistemas de café o cacao por la ONF (2013) coinciden que lo encontrado en los proyectos de SAF con PSA donde también existen la combinación de *C. odorata* con café y cacao.

La utilización de las especies forestales varía según cada Oficina Regional. El cuadro 5 muestra las especies utilizadas y su respectivo número de individuos en los proyectos formalizados en la Oficina Regional de San Carlos. En total se reportaron 73 especies para esta oficina, siendo *Gmelina arborea*, *Tectona grandis* y *Dipteryx panamensis* las más utilizadas.

Las condiciones climáticas requeridas tanto para *G. arborea* como para *T. grandis* coinciden con las características de la zona, convirtiéndolas en especies óptimas para utilizar en proyectos de reforestación y en sistemas agroforestales. Según INEC (2014) *G. arborea* y *T. grandis* son consideradas las dos especies más plantadas en la zona. A pesar de que su uso es reportado en pocas fincas, su utilización es alta según el número de individuos.

Cuadro 5. Individuos por especie utilizados en los proyectos formalizados en la Oficina Regional SC-01.

Table 5. Individuals by species used in the formalized projects in SC-01 regional office.

Especie	Individuos
<i>Gmelina arborea</i>	21 423
<i>Tectona grandis</i>	15 504
<i>Dipteryx panamensis</i>	9 662
<i>Cedrela odorata</i>	7 735
<i>Erythrina</i> sp.	7 403
<i>Vochysia guatemalensis</i>	5 924
<i>Gliricidia sepium</i>	4 140
<i>Hieronyma alchorneoides</i>	3 270
<i>Terminalia amazonia</i>	1 990
<i>Cordia alliodora</i>	1 220

Fuente: Expedientes de proyectos formalizados con FONAFIFO

La especie *Dipteryx panamensis* es una especie abundante en San Carlos (Lizano, 2016), lo que refleja la adaptabilidad de la misma a las condiciones de la zona, además las propiedades de su madera y su alto valor la han convertido en una especie atractiva financieramente, con incrementos de precio de un 500 % en un periodo de 5 años. (Ulate, 2013).

Cedrela odorata una de las especies más utilizadas en sistemas agroforestales formalizados en la Oficina Regional de San Carlos, lo cual podría estar asociado al alto precio de la madera de esta especie, que según el análisis de precios para la madera realizado en el 2018 por la ONF, destaca entre las 4 especies con mayor precio de madera en pie, y entre las 10 primeras de madera aserrada, además según INEC (2014) es una especie utilizada en un gran número de fincas en la Zona Norte.

Para el caso de *Vochysia guatemalensis* y *Hieronyma alchorneoides*, son especies que se desarrollan bien en la Zona Norte aún en suelos degradados. Y aunque existe poca documentación de su uso en sistemas agroforestales, sí se reconoce su asociación con sistemas de pastos. (Solís & Moya, 2004).

Particularmente, el reporte del Censo Agropecuario (INEC, 2014) de las especies en fincas de la Zona Norte, no coincide con lo encontrado para sistemas agroforestales, pues en la descripción del INEC, *V. guatemalensis* destaca entre las 4 especies más plantadas en la zona, antecedida solamente por *T. grandis*, *G. arborea*, y *Acacia mangium*, sin embargo, para los proyectos SAF con PSA se utiliza *A. mangium* en pocos proyectos. La especie *V. guatemalensis* destaca entre las 10 más utilizadas, pero no con la misma significancia que se describe en el Censo Agropecuario.

Al igual que la Oficina Regional de San Carlos, las especies con mayor número de individuos en la Oficina Regional de San José Occidental (SJ-01) son *G. arborea*, *T. grandis* y *C. odorata* (Cuadro 6). Además, seis de las diez especies con mayor cantidad de individuos coinciden con las especies encontradas en la Oficina Regional de San Carlos. Para los proyectos revisados en esta Oficina Regional, no se reporta a qué especie pertenecen 15 717 individuos pues el regente no lo reporta en los informes certificados.

Algunas zonas donde se concentran los proyectos de la Oficina Regional SJ-01 (Orotina y Puriscal), coinciden con las zonas recomendadas para realizar plantaciones de *T. grandis*. (Fonseca, 2003), lo que explica el amplio uso de la especie. Situación similar sucede con *G. arborea*, la cual se utiliza para establecer bloques de reforestación, aunque en esta zona del país no tiene todas las condiciones óptimas para su desarrollo. (Rojas, F; Arias, D; Moya, R; Meza, A; Murillo, O; Arguedas, M, 2004).

Para el caso de *C. odorata* su uso podría estar asociado al precio de la madera de especie. Además, las condiciones que tolera la especie le permite un desarrollo óptimo en zonas como Atenas y Naranjo, donde esta Oficina Regional también tiene proyectos formalizados.

Cuadro 6. Individuos por especie utilizados en los proyectos formalizados en la Oficina Regional SJ-01.

Table 6. Individuals by species used in the formalized projects in SJ-01 regional office.

Especie	Individuos
<i>Tectona grandis</i>	84 934
<i>Gmelina arborea</i>	19 755
<i>Cedrela odorata</i>	19 276
Desconocidas	15 717
<i>Diphysa americana</i>	9 118
<i>Tabebuia rosea</i>	7 821
<i>Gliricidia sepium</i>	6 778
<i>Vochysia guatemalensis</i>	6 705
<i>Terminalia amazonia</i>	6 578
<i>Swietenia</i> sp.	5 800

Fuente: Expedientes de proyectos formalizados con FONAFIFO

Diphysa americana es una especie muy frecuente en el Pacífico Central y el Valle Central, (Jiménez, Estrada, Rodríguez, & Arroyo, 2002). Es utilizada en cercas vivas y como forraje en sistemas pastoriles, situaciones que comparte con *Tabebuia rosea*. (Cordero & Boshier, 2003). Ambas especies se caracterizan por el aporte ornamental. Lo anterior justifica su intensivo uso en los proyectos de la Oficina Regional de San José Oriental (SJ-01).

Gliricidia sepium igualmente es una especie empleada en sistemas silvopastoriles, lo cual justifica su uso en los proyectos formalizados en la Oficina Regional SJ-01. La fácil propagación de la especie por métodos vegetativos, su utilización como forraje y su implementación como cercas vivas, la convierte en una especie muy utilizada en los sistemas agroforestales de la zona, principalmente en el Pacífico Central. (Cordero & Boshier, 2003).

Terminalia amazonia es muy utilizada en el Pacífico Central y Sur de Costa Rica, donde presenta buen crecimiento. En el 2002 cerca del 55% del área plantada en el país con esta especie se encontraba en zona del país (Solís & Moya, 2004). Lo anterior, justifica su uso en los proyectos asociados a la Oficina Regional SJ-01.

Algunas especies del género taxonómico *Swietenia* presentan un buen desarrollo en sitios como los que la Oficina Regional SJ-01 abarca administrativamente, tanto en la región Pacífico como en el Valle Central. La madera de especies de este género tiene un alto potencial comercial, sobre todo a nivel internacional. Su buen desarrollo y alto precio de su madera permite a los individuos del género *Swietenia*, ser óptimos para establecerse en sistemas agroforestales de la zona. Sin embargo, su selección se ve limitada por los daños causados por el barrenador *Hypsiphylia grandella* (Martínez, 2015).

Respecto a la oficina de San José Oriental (SJ-02), la gran abundancia de individuos de los géneros *Erythrina* e *Inga* en los SAF con PSA coincide con la descripción realizada por el INEC (2007), donde para las regiones que abarca esta oficina los sistemas agroforestales son dominados por árboles de estos géneros. La alta utilización de *Erythrina* sp. e *Inga* sp. está asociada al alto número de proyectos con árboles en cultivos, principalmente en cafetales, en los cuales es muy común la utilización de estas especies para el manejo de sombra (Farfán, 2014).

Particularmente para las zonas de Pérez Zeledón y la Zona de Los Santos la mayoría de los sistemas asociados con café utilizan *Erythrina* e *Inga*. Para el caso de Pérez Zeledón la especie *Cedrela odorata* es muy utilizada en cafetales. Otra de las especies utilizadas en la zona para cafetales tanto dentro del cultivo, como en hileras es *Eucalyptus* sp. (Orozco, López, Rojas, & Somarriba, 2005).

El cuadro 7 muestra las especies más utilizadas según el número de individuos en los proyectos de la Oficina Regional de SJ-02, donde especies *Erythrina* sp. e *Inga* sp. destacan entre las más utilizadas.

Cuadro 7. Individuos por especie utilizados en los proyectos formalizados en la Oficina Regional SJ-02.

Table 7. Table 6. Individuals by species used in the formalized projects in SJ-02 regional office.

Especie	Individuos
<i>Erythrina</i> sp.	183 866
<i>Inga</i> sp.	51 954
<i>Cedrela odorata</i>	34 519
Desconocidas	12 658
<i>Eucalyptus deglupta</i>	11 843
<i>Pinus caribaea</i>	11 031
<i>Gmelina arborea</i>	8 900
<i>Tectona grandis</i>	7 923
<i>Hevea brasiliensis</i>	6 000
<i>Gliricidia sepium</i>	5 507

Fuente: Expedientes de proyectos formalizados con FONAFIFO

Según reportes de Orozco et al 2005 respecto a los proyectos de SAF con PSA coinciden la dominancia de *Erythrina* sp e *Inga* sp. Además, concuerdan con la utilización de *C. odorata* y *Eucalyptus* sp. Sin embargo, para esta Oficina Regional no destacan *Terminalia ivorensis* y *T. amazonia*

En el caso de *G. arborea* y *T. grandis*, también destacan en esta región, utilizadas mayoritariamente en bloque, y concentradas en Pérez Zeledón, siendo este el comportamiento discutido anteriormente sobre los bloques y la utilización de estas dos especies en la reforestación de Costa Rica.

Para el caso particular de la especie *H. brasiliensis*, el número total de individuos de la especie se concentran en un solo proyecto inscrito en esta Oficina Regional de SJ-02, ubicado en Turrialba, es el único registro de la especie en todos los proyectos analizados.

La utilización de *Gliricidia sepium* para esta Oficina Regional se da únicamente en hileras asociadas a pastos, que se ubican en el Valle del General, correspondiendo con las recomendaciones técnicas existentes sobre el uso de la especie para esta tecnología.

Tecnologías utilizadas

Otra característica que permite describir los sistemas agroforestales son las tecnologías. Los más utilizados en las zonas de estudio, son principalmente árboles de uso múltiple en cultivos y bloques. La figura 10 muestra los tipos de tecnologías utilizadas en los proyectos estudiados, así como su frecuencia de utilización de acuerdo con la Oficina Regional. El arreglo menos utilizado son las cortinas rompevientos, solo 2 proyectos fueron clasificados bajo esta categoría, de un total de 508 proyectos clasificados. Además, existen 6 proyectos que combinan tecnologías y 13 proyectos que se clasificaron como indefinidos pues no existe información que permita concluir sobre las tecnologías que presentan estos sistemas.

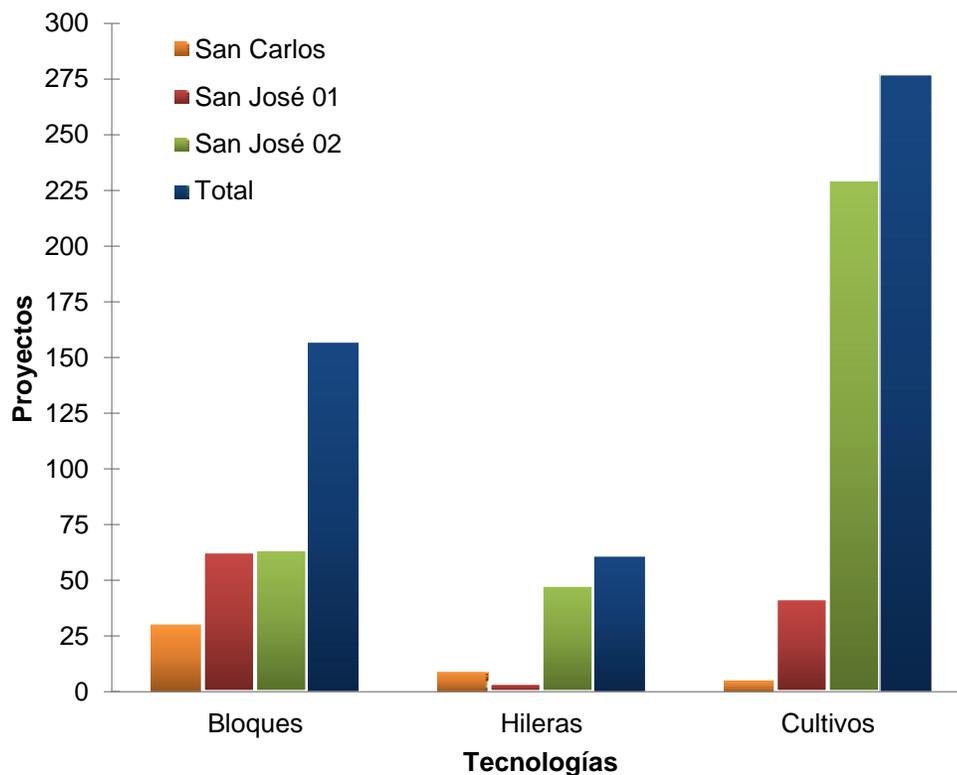


Figura 10. Principales tecnologías utilizadas en la zona de estudio según la Oficina Regional de formalización del proyecto.

Figure 10. Main spatial arrangements used in the study area according to the project's registration Regional Office.

Las tecnologías establecidas en los proyectos formalizados en la Oficina Regional de San Carlos, son en más de un 60% árboles establecidos en bloques, siendo evidente que esta tecnología es la de mayor utilización para los proyectos de esta región.

En los proyectos de la Oficina Regional SJ-01, la tecnología que más se emplea son los bloques y además estos tienen un valor diferenciado respecto a las demás tecnologías. Los bloques se utilizan en un 58% de los proyectos de esta región del país. En 13 proyectos formalizados en esta Oficina Regional, no se logró definir en cuál tecnología

se encuentra el SAF. Esta misma Oficina Regional es en la única que se logró identificar proyectos formalizados como cortinas rompevientos.

La Oficina Regional de SJ-02 es dominada por los proyectos de árboles de uso múltiple en cultivos, representando casi la totalidad de esta sub-actividad en la zona de estudios. La tecnología de bloques, es la segunda más utilizada para los proyectos formalizados en esta región.

En las Oficinas Regionales de San Carlos y San José Oriental, la tecnología en bloques tiene un peso muy importante en los proyectos establecidos como sistemas agroforestales. Proyectos con árboles en bloque en los sistemas agroforestales, resulta ser más atractiva para los actores interesados, quienes logran establecer reforestaciones comerciales a través del PSA, pero con un monto más elevado por contrato, que el monto PSA establecido para la reforestación y con contratos con menor vigencia.

La utilización de las especies según la tecnología también es importante para poder determinar la composición de los SAF. La figura 11 muestra la proporción de utilización de las especies según la tecnología empleada.

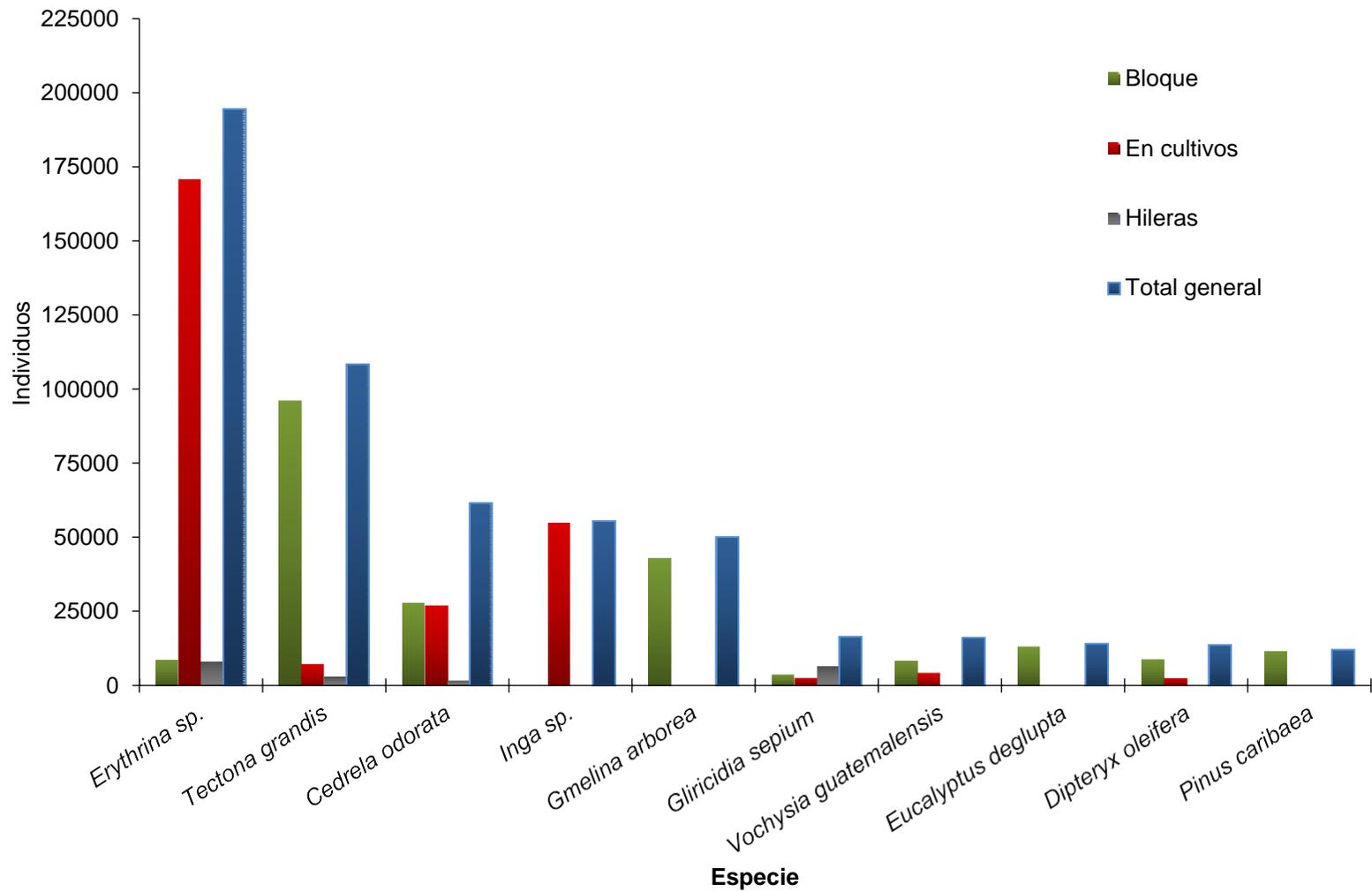


Figura 11. Individuos para las especies más utilizadas según la tecnología empleada.

Figure 11. Individuals for the most used species according to the technology used.

La especie agrupada taxonómicamente como *Erythrina* sp. es la más utilizada en la tecnología de árboles en cultivo, debido a su utilización en sistemas agroforestales con café (Muschler, 1999) como árbol de servicio. Sin embargo, sus pocos usos comerciales y el bajo precio de su madera la convierte en una especie que no puede ser manejada con fines de producción. Adicionalmente el manejo intensivo de podas que reciben los individuos limita aún más sus posibilidades de comercialización. Aunque se reconoce su funcionabilidad en el cultivo, se podrían optimizar los sistemas incluyendo especies maderables que igualmente aporten servicios y puedan ser manejadas con fines productivos.

Los bloques son dominados por *Tectona grandis* con 96 136 individuos y *Gmelina arborea* con 42 958, siendo estas las dos principales especies utilizadas en esta tecnología para la zona de estudio. *Cedrela odorata* también es una especie que es utilizada en bloques, sin embargo, su número de individuos es menor.

Densidades utilizadas

La distribución de los árboles en los sistemas agroforestales es otro elemento que permite caracterizarlos. Con respecto a las zonas de estudio, los proyectos utilizan distintas densidades según la tecnología empleada.

Los árboles establecidos en cultivos, se utilizan densidades menores, respecto a las de los bloques. Con lo que respecta a los árboles en cultivos son establecidos principalmente con 277 árboles por hectárea, y para los bloques las densidades más utilizadas son de 1 111 o 816 árboles por hectárea (cuadro 8).

Cuadro 8. Densidades reportadas en los proyectos de las zonas de estudio.

Table 8. Reported densities in the projects of the study area.

Densidades	Bloques	En cultivos
277	-	154
400	-	27
625	9	6
816	21	3
830	4	2
952	5	-
1111	42	-

Fuente: Expedientes de proyectos formalizados con FONAFIFO

Así mismo para los proyectos establecidos bajo tecnologías en hileras y de los cuales existen reportes de densidad, están compuestos principalmente entre 333 y 500 árboles por kilómetro. A los proyectos en los que no se identificó la tecnología, o se desconocía el número de árboles y el área del proyecto no fue posible clasificarlos según la variable de la densidad.

Clasificación estructural

La clasificación estructural de los sistemas está asociada a los elementos presentes en los SAF (Farrell & Altieri, 1999). Para las zonas de estudio mayoritariamente son proyectos clasificados como agrosilviculturales. Los proyectos con menor representatividad son los silvopastoriles y agrosilvopastoriles, siendo esta última categoría la que presenta menor cantidad de proyectos formalizados (cuadro 9).

El cuadro 9 muestra la distribución de los proyectos según su composición estructural, además representa la distribución general de los mismos por cada oficina regional, de lo cual se evidencia el considerable número de proyectos formalizados en la Oficina Regional de San José 02, siendo estos principalmente agrosilviculturales, para el caso de la Oficina Regional de San José 01 existe un menor número de proyectos. Para el

caso de la oficina de San Carlos existe una proporción similar entre los proyectos agrosilvicultural y silvopastoril, y la menos representatividad es en los proyectos agrosilvopastoriles situación que comparten las tres Oficinas Regionales.

Cuadro 9. Composición estructural de los proyectos según las oficinas regionales de inscripción.

Table 9. Structural composition of the projects according to the regional office.

Categoría Estructural	Número de proyectos por Oficina Regional		
	SC-01	SJ-01	SJ-02
Agrosilvicultural	17	37	266
Agrosilvopastoril	7	24	18
Silvopastoril	15	36	23
Indefinido	-	9	4
Total	39	105	311

Fuente: Expedientes de proyectos formalizados con FONAFIFO

Los proyectos indefinidos están presentes en las oficinas regionales de San José 01 y San José 02. Aunque corresponden a un número bajo de proyectos, refleja la insuficiencia de información contenida en algunos informes certificados.

Mortalidad reportada

La mayor parte de los proyectos evaluados presentan bajos valores de mortalidad (Cuadro 10). Se debe de considerar que en algunos proyectos se hace sustitución de árboles con resiembra; sin embargo, no se reporta cual es el número de árboles resembrados, y en algunos casos se hacen hasta 3 años después del establecimiento, generando que los nuevos individuos tengan que competir con individuos mucho más desarrollados, lo anterior de acuerdo a observaciones realizadas durante la revisión de informes certificados.

Cuadro 10. Porcentajes de mortalidad reportada en los proyectos.

Table 10. Mortality rate reported in the projects.

Mortalidad (%)	Proyectos
0-5	394
5-10	20
10-15	8
15-20	1
No hay reporte	32
Total	455

Fuente: Expedientes de proyectos formalizados con FONAFIFO

Además existen 35 proyectos que según la información reportada por el regente no es posible obtener ninguna información sobre la mortalidad que se dio en los proyectos. Estos proyectos de los cuales no fue posible obtener información de la mortalidad en los informes certificados representan un 7% de los proyectos revisados.

Manejo forestal reportado

El componente forestal como elemento de la agroforestería, debe ser manejado para garantizar el funcionamiento óptimo del sistema, esto implica la realización de prácticas silviculturales como, el control de plantas arvenses, aplicación de enmiendas, fertilización y actividades de poda y raleos.

El control de arvenses es una actividad imprescindible dentro del manejo de plantaciones y sistemas agroforestales, siendo un factor importante para obtener una alta producción

de madera a futuro. Se encuentra bien documentado que las arvenses constituyen uno de los mayores impedimentos para el establecimiento exitoso (sobrevivencia), crecimiento inicial y productividad de estos sistemas (Adams, Beadle, Mendham, & Smethurst, 2003), (Garau, Ghera, Lemcoff, & Baraño, 2007), (Ladrach, 2010). Sin embargo, solo el 33% de los proyectos de SAF con PSA analizados presentaron algún tipo de reporte de la aplicación de este tipo de práctica (Figura 12).

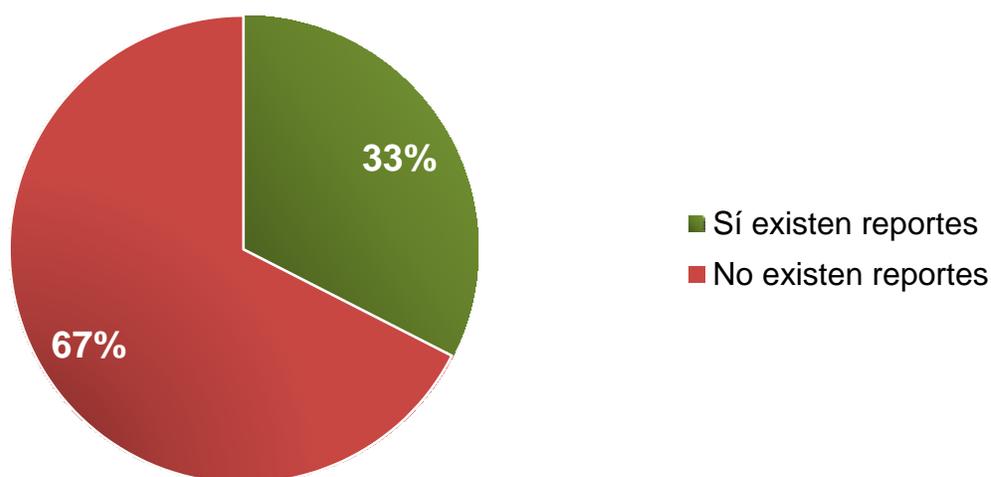


Figura 12. Reportes sobre aplicación de técnicas de control de arvenses.

Figure 12. Weed control techniques application reports.

Especies como *T. grandis*, *G. arbórea* y *C. odorata* son altamente sensibles a la competencia con malezas (Fonseca, 2003) (Rojas et al, 2004), por lo que es indispensable su control en todas las etapas de la plantación. Un adecuado control de arvenses en los primeros años podría reducir la competencia por recursos como luz, agua y nutrientes y mejora los procesos de captura de carbono por parte de los árboles (Rivas, Díaz, Castillo, & Ortega, 2009). De manera que aunque existen criterios científicos que sustentan la necesidad del control de arvenses es una práctica que el 67% de los proyectos no presentan reportes.

Para el caso de los sistemas asociados a café, también debe de existir el control de arvenses, esta práctica genera beneficios tales como la aireación del suelo y aumenta la población de microorganismos ayudando a la mineralización de los nutrientes en el suelo (Villalobos & Ruiz, 2016),

Respecto a la fertilización en los sistemas agroforestales se reporta únicamente en el 18% de los proyectos (figura 13).

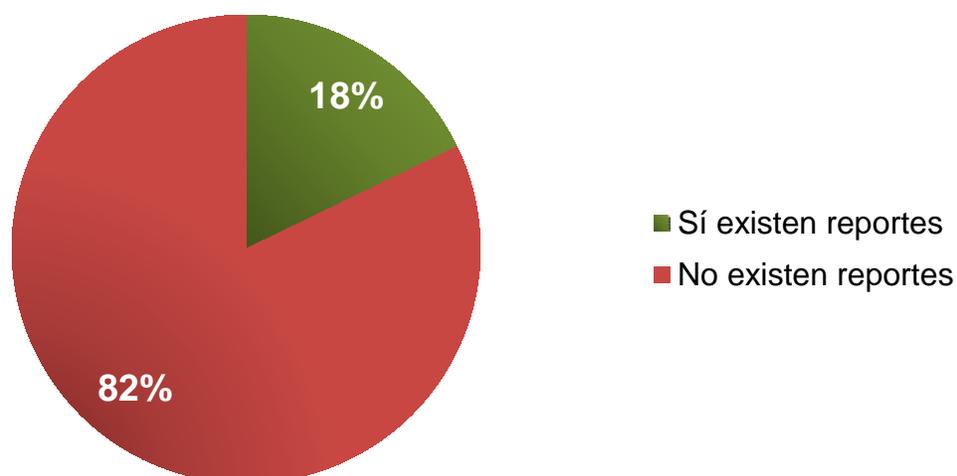


Figura 13. Reportes de aplicación de fertilización.

Figure 13. Fertilization application reports.

Un porcentaje tan bajo de fertilización está comprometiendo el desarrollo óptimo tanto del componente forestal, así como el agrícola, complicando el desarrollo de las plantas y del sistema esta situación de los SAF con PSA coincide con las situaciones que plantean Alvarado y Fallas (2004) quienes afirman que en caso de no hacer esta práctica agrosilvícola de manera correcta, se evidenciarían problemas fisiológicos y en casos más extremos la muerte de los individuos

La poda forestal tiene como objetivo reducir en cierto porcentaje el tamaño de las copas de los árboles para mejorar la calidad, aspecto y valor de la madera (Meza & Torres, 2004). En sistemas agroforestales con cultivos perennes como el café, la poda se realiza con el propósito de garantizar la entrada de luz y mejorar la circulación del aire. Para los proyectos analizados solamente el 29 % reportaron la ejecución de actividades de poda (figura 14).

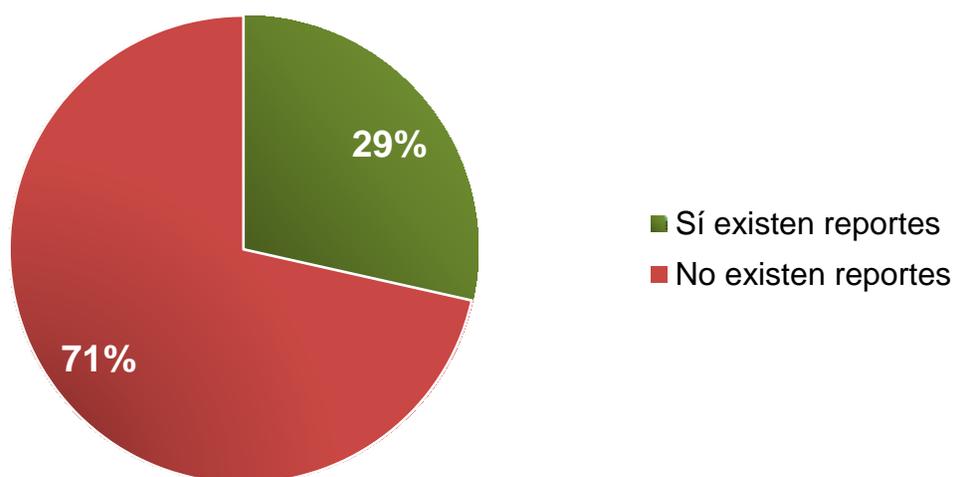


Figura 14. Reportes sobre aplicación de técnicas para poda.

Figure 14. Pruning techniques application reports.

En especies maderables como *T. grandis*, *G. arborea* y *Cedrela odorata* se recomienda realizar operaciones de poda a edades tempranas (Fonseca, 2003) (Rojas et al, 2004) (Alfaro, 2000). De la misma manera para especies como *Inga* sp. y *Erythrina* sp. se recomienda iniciar las podas entre el primer y tercer año del árbol. El componente arbóreo de los cafetales requiere una intervención de poda más intensiva que las plantaciones en bloque pues los árboles tienden a ramificar más, debido a que los espacios dan menor competencia lateral (Farfán, 2014). En proyectos forestales cuyo objetivo sea obtener madera se debe de realizar la operación de poda, de lo contrario los productos que se obtengan serán de baja calidad, pues la ausencia de esta práctica en los árboles causa

un cambio negativo en las propiedades físico-mecánicas y perjudica la apariencia física de la madera, afectando su precio de venta. La poda además de mejorar la calidad de la madera, facilita el acceso a plantaciones jóvenes, reduce el peligro y los efectos de incendios, facilita y reduce el precio de las operaciones silviculturales. (Meza & Torres, 2004).

El raleo es una actividad requerida en los sistemas con componente forestal, pues permite eliminar la competencia por agua, luz, nutrientes y espacio, esto permite al árbol crecer en mejores condiciones (Rivera, 2015). Además, al no aplicar raleo en plantaciones, estas podrían caer en la zona de autoraleo donde el crecimiento por árbol y por hectárea disminuye a medida que se incrementa la competencia y esta situación crea una mayor mortalidad (Rojas, et al, 2004).

A pesar de que en el área de estudio hay una alta cantidad de proyectos con especies forestales como teca y melina que requieren raleos a edades tempranas (Kanninen, Pérez, Montero, & Viquez, 2004), no se reportó esta práctica inclusive en proyectos con edades superiores a los 5 años, comprometiendo la calidad de los productos y poniendo el riesgo el estado fitosanitario de los sistemas.

Para especies en combinación con cultivos perennes como *Cedrela odorata*, se recomienda ejecutar raleos hasta los 12 años (INIFAP, 2011). Por lo que sería justificable que los proyectos que utilicen esta especie no realicen reportes de esta actividad durante la vigencia del PSA. Para *Erythrina* sp. e *Inga* sp. la aplicación de raleo es mínima, pues sus objetivos en los cultivos son distintos.

Estado fitosanitario

Del total de proyectos, 417 se reportaron como sanos, 6 como enfermos y 33 no realizaron reportes de la condición del sistema (figura 15).

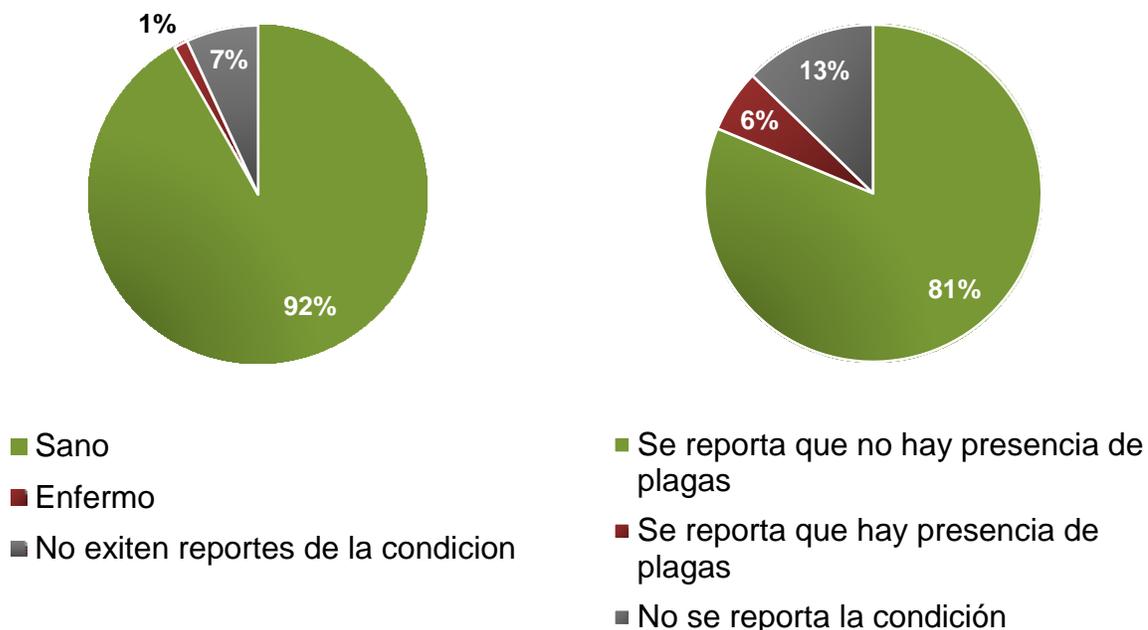


Figura 15. Condición fitosanitaria y presencia de plagas reportada en los proyectos de las zonas de estudio.

Figure 15. Phytosanitary condition and presence of plagues reported in the projects of the study area.

Con respecto al reporte de presencia plagas, el 81% de los proyectos (368) reportó la ausencia de plagas mientras, un 6% reportó presencia de plagas y/o enfermedades y un 13% no reportó nada al respecto. Contradictoriamente, también se reportan un 92% de los proyectos sanos y solamente un 1% enfermos, todo lo anterior de acuerdo con los reportes de los regentes en los informes certificados Esta contradicción de la información, demuestra que existen diferencias en la información de los reportes hechos para los proyectos, pues existen proyectos donde hay presencia de plagas y son reportados como sanos.

Respecto a los reportes de manejo de plagas, existen 424 proyectos de los que no hay un reporte de manejo de plagas, mientras que en 25 proyectos sí hay reporte de manejo de plagas. En la figura 16 se muestra la proporción de estos reportes.

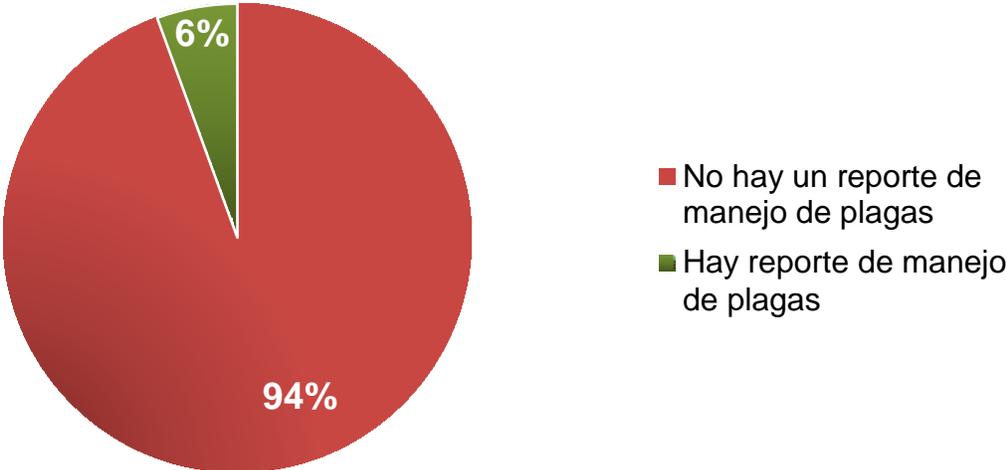


Figura 16. Reportes de manejo de plagas y enfermedades en los proyectos

Figure 16. Reports of plagues and diseases control in projects.

Del total de proyectos, solo un 6% indicó realizar algún tipo de prevención o técnica de control de daños por los distintos agentes causales. Y este porcentaje no garantiza que en los proyectos donde existía reportes de plagas, existía un manejo de estas, pues según lo observado durante la revisión de informes certificados en los expedientes algunos reportan manejo de plagas como medida preventiva.

Ejecución y validación en campo del protocolo de evaluación

Así como la caracterización permite conocer el estado de los sistemas agroforestales, también se debe de garantizar que los proyectos cumplan con características técnicas específicas, para así lograr productos (madera u otros bienes) de alta calidad.

Mediante la aplicación del protocolo de evaluación se refleja la condición del sistema, y se puede determinar la concordancia con los informes, además mediante los gráficos radiales de manejo se puede conocer el estado de los sistemas.

Manejo observado

El manejo que se emplea en los sistemas con bloques es bastante heterogéneo (Anexo 4), pues existen proyectos con calificaciones cercanas a 100, mientras que otros presentaron calificaciones cercanas a 20. Esta diferencia en el manejo se atribuyó principalmente a la especie utilizada. Los proyectos con la especie *T. grandis* presentaron los mejores resultados y los proyectos con especies nativas los peores.

Las especies nativas en ninguno de los proyectos visitados presentaban cruce de copas, producto del lento crecimiento, sin embargo, sí presentan un problema con lo que respecta a podas, pues algunos individuos ya habían perdido el crecimiento del tallo principal (dominancia apical) y no se había aplicado ninguna poda de formación que permitiera solventar esta situación. La figura 17 muestra el manejo empleado en uno de los proyectos con bloques de especies nativas.

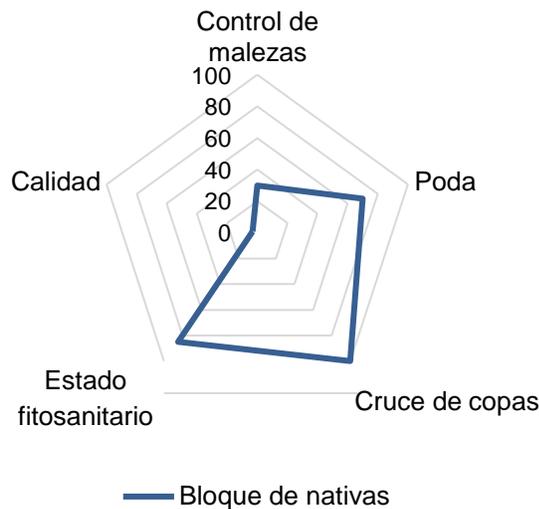


Figura 17. Manejo observado en el proyecto SC-0103 de bloque con especies nativas

Figure 17. Management observed in the project SC-0103 of blocks of native species

La poca intervención tanto en control de arvenses como en podas en los proyectos con nativas, crea condiciones en los sistemas que comprometen el potencial maderable de los mismos; donde la calidad de los árboles se encuentra bajo los 20 puntos. Se deben de excluir de estos casos, los proyectos de especies como *Vochysia guatemalensis*, pues sus características de crecimiento causan un comportamiento distinto.

Proyectos establecidos en bloques con *Gmelina arborea* reflejan una intervención silvicultural insuficiente. La figura 18 muestra el grafico radial de manejo regular encontrado en un uno de los proyectos con bloques de *G. arborea*. Los cruces de copas reportan valores desde los 10 hasta los 80 puntos, reflejando una necesidad de hacer intervenciones que disminuyan la densidad de los doseles de los bloques. Las podas no superan los 40 puntos, siendo bastante evidente la necesidad de realizar poda en los sistemas para poder garantizar su funcionamiento óptimo; así como la calidad de la madera presente en el sistema.

Para el caso del control de las arvenses en bloques de *G. arborea*, estas presentan valores altos, aunque podría no estar asociado a intervenciones de control de arvenses, pues según lo observado en campo está más asociado a la poca entrada de luz por la densidad de los doseles de la plantación al no realizarse ni podas ni raleos. Para el caso del estado fitosanitario, existen proyectos con nula afectación, hay otros proyectos con severos problemas fitosanitarios.

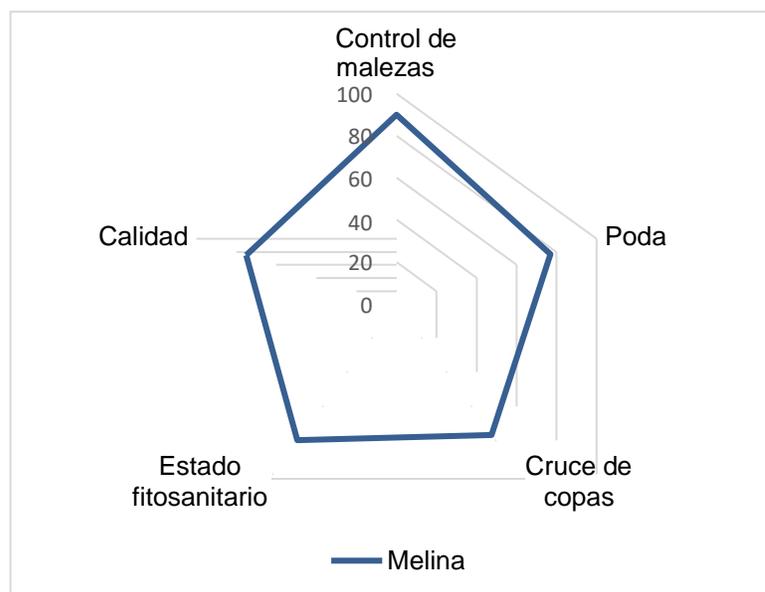


Figura 18. Manejo observado en el proyecto SJ-0103 de *G. arborea* en bloque
 Figure18. Observed management in the SJ-0103 project of *G. arborea* block.

Para los bloques que utilizan *T. grandis* se encontraron resultados más favorables. Para estos sistemas todas las variables se encuentran sobre 80 puntos, a excepción de la categoría de podas donde existen valores cercanos a 60 puntos. De los proyectos visitados destaca un proyecto donde era evidente el control de arvenses tanto química, como mecánicamente, además el árbol presentaba podas, y sus cortes habían sido tratados para favorecer la cicatrización y evitarle problemas fitosanitarios al árbol (Figura 19). Además, existía al momento de la visita residuos de fertilizante granulado en la base de los árboles.

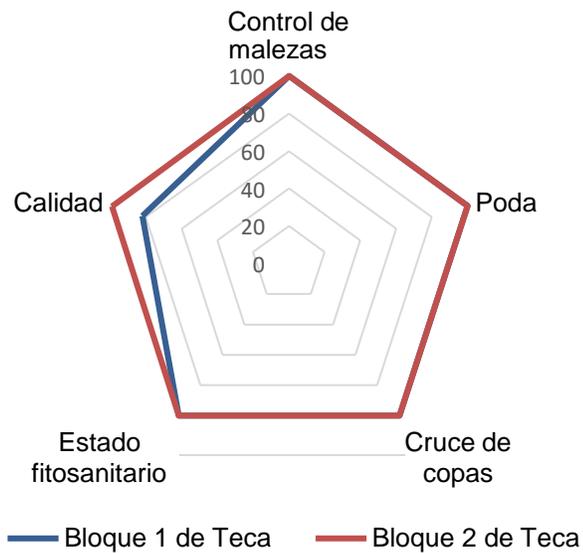


Figura 19. Manejo observado en el proyecto SC-0101 de bloques de *T. grandis*.

Figure19. Observed management in the project SC-0101 of *T. grandis* blocks.

Los gráficos radiales para los sistemas con café se muestran en el anexo 5, para estos resultados se evidencia que la utilización de *Erythrina* sp. o *Inga* sp. no aportan para potenciales aprovechamientos forestales en estos sistemas, pues su valor respecto a la calidad de la madera es de 0 puntos y esto se repite en todos los proyectos que se visitaron con estas características.

Caso contrario sucede con los proyectos que contienen especies como *Gravillea robusta* o *Acrocarpus fraxinifolius* que presentan buen comportamiento en proyectos asociados a café. Proyectos con estas características superan los 80 puntos en cuanto a calidad de la madera. Además, en los proyectos existe un adecuado manejo de las copas y ramas para estas especies, manifestando un comportamiento para estas variables superiores a los 80 puntos.

Para los proyectos establecidos en hileras presentan buenas características generales, los resultados se ven reflejados en los gráficos radiales que se encuentran en el anexo 6. En términos de calidad se exceptúan aquellos que se utilizan como cercas vivas y tiene

alambres pegados al tronco, lo que limita su potencial aprovechamiento. Dentro de los proyectos evaluados con *Dipteryx panamensis*, ambos presentan calidades bajas por la altura que tenían al momento de la visita, que no permitía realizar la evaluación por trozas.

El proyecto de *Gmelina arborea* en hileras se refleja la necesidad de realizar un raleo, así como podas a los individuos, pues el rápido crecimiento y la densidad de establecimiento genera un cruce de copas a tempranas edades en los proyectos con altas densidades.

Componente agrícola

Del total de proyectos evaluados en campo, solo en 11 se pudo certificar la existencia de un componente agrícola o animal. Adicionalmente, solo en dos proyectos se logró determinar la producción del cultivo o animal asociado. La ausencia de los propietarios al momento de las visitas no permitió obtener mayor información al respecto.

Características dasométricas de los proyectos de validación

Mediante la aplicación del protocolo se obtuvieron indicadores dasométricos de los proyectos visitados, estos permiten conocer el estado del componente forestal en términos de crecimiento y su desarrollo respecto a valores de referencia mínimos establecidos por decretos ejecutivos para proyectos con PSA. El cuadro 11 muestra las características generales y datos dasométricos de los proyectos evaluados.

Cuadro 11. Valores dasométricos de los proyectos evaluados para validar el protocolo.

Table 11. Dasometric values of the evaluated projects to validate the protocol.

Código	Proyecto	Tecnología	Especie	Edad (años)	Densidad (N)	Dap (cm)	CV (%)	Altura (m)	CV (%)	Área		Calidad
										basal (m ² /ha)	VC** (m ³ /ha)	
SC-0101	Bloque		<i>T. grandis</i>	4	612	14,25±1,77	12	7,03±0,99	14	9,10	32,40	1,54
SC-0101	Bloque		<i>T. grandis</i>	2	820	9,32±1,29	14	5,11±0,68	13	5,02	14,38	1,04
SC-0102	Bloque		<i>G. arborea</i>	5	330	15,23±6,19	41	6,25 ±5,82	93	6,04	27,63	2,11
SC-0102	Bloque		<i>V. guatemalensis</i>	5	430	13,76±2,45	18	7,71± 3,61	47	6,06	23,58	2,12
SC-0103	Bloque		Nativas	4	510	ND	ND	2,06±1,52	74	ND	ND	4
SC-0104*	Hileras		<i>G. arborea</i>	2	500	9,644±2,26	34	5,43±2,2	40	8,18	25,90	1,87
SJ-0102	Bloque		<i>T. grandis</i>	2	465	7,41±2,19	30	5,33±1,27	24	2,11	5,75	1,70
SJ-0103	Bloque		<i>G. arborea</i>	4	660	17,42±6,51	37	7,27±2,88	40	17,82	70,99	2,1
SJ-0201	En cultivo		<i>Erythrina sp.</i>	3	106	16,4±6,32	39	ND	ND	2,20	ND	ND
SJ-0202	En cultivo		<i>Erythrina sp.</i>	2	40	15,4±1,15	7	ND	ND	0,74	ND	ND
SJ-0203	En cultivo		<i>Erythrina sp.</i>	4	125	14,3±0,13	13	ND	ND	2,01	ND	ND
SJ-0203	En cultivo		<i>G. robusta</i>	4	125	8,3±0,96	12	2,5	ND	0,68	0,84	1
SJ-0204	En cultivo		<i>Erythrina sp.</i>	2	178	12,48±2,53	20	ND	ND	2,20	ND	ND
SJ-0204	En cultivo		<i>C. odorata</i>	2	50	5,65±0,31	5	1,73±0,3	17	0,13	0,16	ND
SJ-0205	En cultivo		<i>Erythrina sp.</i>	7	268	21,06±4,38	21	ND	ND	10,06	ND	ND
SJ-0206*	En Hileras		<i>S. macrophylla</i>	2	60	ND	ND	1,2	ND	ND	ND	ND
SJ-0206*	En Hileras		<i>D. oleifera</i>	2	60	ND	ND	1	ND	ND	ND	ND
SJ-0207*	En Hileras		<i>S. macrophylla</i>	2	200	ND	ND	1±0,1	ND	ND	ND	ND
SJ-0207*	En Hileras		<i>D. oleifera</i>	2	66	ND	ND	1,5	ND	ND	ND	ND
SJ-0208*	En Hileras		<i>G. sepium</i>	2	180	16,6±2,66	16	ND	ND	3,96	ND	ND

*Corresponden a valores expresados por kilómetros al tratarse de árboles en hileras

** VC: Volumen comercial

Fuente: Datos de campo de los proyectos visitados

Para el proyecto con el Código SJ-0101 no se lograron determinar cuáles de las especies correspondían al PSA pues en campo no se logró localizar el bloque ni las especies reportadas por el regente (según reportes de información geoespacial elaborada por el regente). Adicionalmente solo dos de los quince proyectos evaluados presentaron valores coincidentes de densidad en campo (cantidad de árboles por hectárea) respecto con los reportados en los informes certificados, es decir solo un 13% de los proyectos presentaron coincidencia respecto a la densidad de manera que los informes certificados no están reflejando la realidad de lo observado en campo.

Respecto a la variabilidad de los proyectos, de los 9 a los que se le logró calcular el coeficiente de variación para la altura existen 6 proyectos con valores superiores al 20% permitido por el FONAFIFO, lo que refleja una muy alta heterogeneidad entre los individuos presentes en el sistema, evidenciado de manera parcial la ausencia de manejo que permita al componente arbóreo mantener características similares entre los individuos. Para el caso del diámetro de los proyectos presenta menor variabilidad, los proyectos con mayor CV presentan valores cercanos al 40%.

Un 50% de los proyectos evaluados cumplen con los valores de referencia de volumen acumulado establecidos según la edad y la especie forestal utilizada (FONAFIFO, 2018). Por las características de algunos proyectos de árboles en cultivos, no fue posible conocer los volúmenes acumulados, ya que no corresponden a proyectos manejados con fines maderables. Además para proyectos con árboles en cultivos no se encontraron valores de referencia que permitan caracterizar estos sistemas.

Con lo respecto a la coincidencia del manejo reportado con relación a lo observado en campo, se debe de considerar que 7 de los proyectos visitados no reportaron alguna actividad de manejo silvicultural en los informes. Así mismo, de los proyectos que reportan manejo en los informes de certificados (8 proyectos), solo en 4 proyectos

coincide lo indicado en los informes con lo observado en campo, de manera que solo en el 26% de los proyectos coincide el manejo reportado con el observado.

Respecto a la calidad, los proyectos asociados a *Erythrina* sp. no reportan calidad por el tipo de manejo que presentan. Los demás proyectos en general presentan una buena calidad pues los valores están entre 1 y 2,5 (valores de “1” representa sistemas con excelente calidad, y “4” sistemas con muy mala calidad). El proyecto con especies nativas en la Oficina Regional de San Carlos presenta severos problemas de calidad.

Adicionalmente, el muestreo de árboles individuales permite desarrollar con una efectividad similar a los métodos tradicionales del montaje de parcelas, y el muestreo por tripletas puede reducir el tiempo hasta en 4 veces (Murillo y Badilla, 2014). Y se obtiene errores de muestreo menores al utilizarse mayor número de unidades muestreadas.

CONCLUSIONES

1. Los sistemas agroforestales con Pago de Servicios Ambientales de las Oficinas Regionales de San Carlos, San José 01 y San José 02 son principalmente en bloques con especies utilizadas para la reforestación comercial tales como *Tectona grandis* y *Gmelina arborea*, distribuidos en distintas áreas, así como árboles en cultivos asociado a café, dominadas por individuos del género *Erythrina*, que se distribuyen de manera significativa en la zona de Los Santos y Pejibaye de Pérez Zeledón.
2. Los reportes de prácticas silviculturales como control de arvenses, podas, fertilización y control fitosanitario son escasos en los proyectos y las prácticas como aplicación de enmiendas y raleos son prácticamente nulas, evidenciando el desconocimiento que se tiene del manejo que se le está aplicado al componente forestal.

3. Con la información actual emitida por el regente no es posible hacer una caracterización ni de la calidad del componente forestal ni del componente agrícola de los proyectos formalizados bajo la actividad de Sistemas Agroforestales.

4. Se estableció un protocolo, validado en campo que permite evaluar el estado general de los sistemas agroforestales, las características del componente forestal para garantiza la existencia de un sistema establecido y manejado con fines productivos, además, permite obtener indicadores dasométricos, así como verificar la calidad de los productos que se podrían obtener en el momento del aprovechamiento forestal.

RECOMENDACIONES

1. Aplicar el protocolo a la mayor brevedad posible, tanto para labores de monitoreo como por parte de los regentes para generar resultados que sean explícitos en los informes certificados
2. Impedir proyectos con más de 816 árboles certificados por hectárea con Pago de Servicios Ambientales, para así garantizar que se ejecuten prácticas silviculturales sin tener repercusiones legales o financieras para ninguno de los actores asociados.
3. Establecer un determinado número de especies límite máximo por proyectos pues en los proyectos donde se validó el protocolo y contaban con más de 4 especies reflejaban un mal manejo y un porcentaje de sobrevivencia muy bajo.
4. Monitorear de manera efectiva la mortalidad de los árboles de los proyectos, y exigir que sea reportada de manera explícita en los informes certificados.
5. Rechazar proyectos asociados a pastos que no cuenten con una carga animal, en la actividad de sistemas agroforestales, o que no cuenten con ningún componente agrícola, pues por definición no son SAF.
6. Desarrollar investigaciones que generen valores de referencia mínimos y máximos para sistemas con árboles en cultivos, así como investigaciones con muestreos de transeptos de longitud variable principalmente para los proyectos asociados a café.

REFERENCIAS

Adams, P., Beadle, C., Mendham, N., & Smethurst, P. (Setiembre de 2003). The impact of timing and duration of grass control on growth of a young *Eucalyptus globulus* Labill. plantation. *New Forest*, 26, 147-165.

Alfaro, M. (2000). Melina: la madera del futuro. *Revista Forestal Centroamericana* (29), 34-38.

Alvarado, A., & Fallas, J. (2004). La saturación de acidez y el encalado sobre el crecimiento de teca (*Tectona grandis* L.f) en suelos ácidos de Costa Rica. *Agronomía costarricense*, 28(1), 81-87.

Ammour, T., Andrade, H., Beer, J., Detlefsen, G., Ibrahim, M., Kent, J., Zapata, P. (2012). Producción de madera en sistemas agroforestales de Centroamérica (1 ed.). Turrialba, CR: CATIE.

Barrantes, A., & Ugalde, S. (2018). Precios de la madera para las especies más comercializadas. San José, Costa Rica: ONF.

Borges, C., Ortiz, E., & Sage, L. (2003). Impacto del Programa de Pago de Servicios Ambientales en Costa Rica como medio de reducción de la pobreza en los medios rurales. San José, Costa Rica: Unidad Regional de Asistencia Técnica.

Botero, R., & Russo, R. (1998). Utilización de árboles y arbustos fijadores de nitrógeno en sistemas sostenibles de producción animal en suelos ácidos tropicales. FAO.

Calvo, J. (2010). La Madera en Costa Rica: Oportunidades y Retos hacia el nuevo milenio. Cartago, Costa Rica: Tecnológico de Costa Rica.

Camacho, A., & Solano, V. (2010). Un nodo de cooperación sobre: los servicios ambientales en Costa Rica. San José, Costa Rica: IICA.

Camacho, M., Alvarado, A., & Fernández, J. (Julio de 2016). *Vochysia guatemalensis* Donn. Smith, an alternative species for reforestation on acid tropical soils. *New Forest*, 47, 497-512.

CGR. (2011). Efectos del programa pago por servicios ambientales (PSA) implementado por el Estado costarricense. San José, Costa Rica: CGR.

Cordero, J., & Boshier, D. (Edits.). (2003). *Árboles de Centroamérica: un Manual para extensionistas*.

Farfán, F. (2014). Mantenimiento del componente arbóreo en sistemas agroforestales con café. Manizales, Caldas, Colombia: CENICAFÉ.

Farrell, J., & Altieri, M. (1999). Sistemas agroforestales. En M. Altieri, *Agroecología: Bases científicas para una agricultura sustentable* (pág. 230). Montevideo, Uruguay: Nordan–Comunidad.

FONAFIFO. (2009). *Manual de Procedimientos para el Pago de Servicios Ambientales*. San José, Costa Rica.

FONAFIFO. (2014). *Pago de Servicios Ambientales*. Obtenido de FONAFIFO: <http://www.fonafifo.go.cr/psa/index.html>

FONAFIFO. (26 de enero de 2018). R-420-2017-MINAE. *La Gaceta*, pág. 66.

Fonseca, W. (2003). *Manual para productores de Teca (Tectona grandis L. f) en Costa Rica*. Heredia, Costa Rica.

Garau, A., Ghera, C., Lemcoff, J., & Baraño, J. (2007). Weeds in *Eucalyptus globulus* subsp. *Maidenii* (F. Muell) Establishment: Effects of Competition on Sapling Growth and Survivorship. *New Forests*, 37, 251-264.

ICAFFE. (2012). Cobertura cafetalera. Brava, Heredia, Costa Rica.

INEC. (2007). Censo cafetalero: Turrialba y Coto Brus 2003, Valle Central y Valle Central Occidental 2004, y Pérez Zeledón, Tarrazú y Zona Norte 2006 Principales resultados. San José, Costa Rica: INEC.

INIFAP. (2011). Establecimiento de plantaciones comerciales de cedro rojo (*Cedrela odorata* L.) en Tamaulipas. Tamaulipas, México: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias.

Jiménez, Q., Estrada, A., Rodríguez, A., & Arroyo, P. (2002). Manual demonológico de Costa Rica. Cartago, Costa Rica: Instituto Tecnológico de Costa Rica.

Kanninen, M., Pérez, L., Montero, M., & Víquez, E. (2004). Intensity and timing of the first thinning of *Tectona grandis* plantations in Costa Rica: results of a thinning trial. *Forest Ecology and Management*, 1-3(203), 89-99.

Ladrach, W. (2010). Manejo práctico de plantaciones forestales en el trópico y subtrópico. Cartago, Costa Rica: Editorial Tecnológica.

Lizano, M. (2016). Distribución y estructura horizontal de seis especies de árboles maderables en los bosques de la Zona Norte de Costa Rica. Cartago, Costa Rica: Instituto Tecnológico de Costa Rica.

Martínez. (2015). Especies para sistemas agroforestales: condiciones para su cultivo. "Fomento de la reforestación comercial para la mejora y conservación de las reservas de carbono. Moravia, Costa Rica: FONAFIFO.

Méndez, S. (2008). Evaluación de los proyectos de plantaciones y sistemas agroforestales, ejecutados por instituciones, proyectos de desarrollo y otras organizaciones, durante el periodo 1998 – 2006, en el municipio de Quezaltepeque, Departamento de Chiquimula. Chiquimula, Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala.

Meza, A., & Torres, G. (2004). Efecto de la poda forestal en la calidad de la madera. Kurú, 1(1).

MINAE. (26 de enero de 2016). Oficialización de las Políticas y Criterios de priorización para el Programa de Pago. DECRETO EJECUTIVO N° 39660-MINAE. San José, Costa Rica.

Murillo, O., & Badilla, Y. (2014). Calidad de plantaciones forestales. Cartago, Costa Rica: Instituto Tecnológico de Costa Rica.

Murillo, O., Badilla, Y., & Morales, M. (sf). Método de inventario para plantaciones pequeñas. Cartago, Costa Rica: Instituto Tecnológico de Costa Rica.

Muschler, R. (1999). Árboles en cafetales. Turrialba, Costa Rica: CATIE.

ONF. (2013). Guía Técnica SAF para la implementación de Sistemas Agroforestales (SAF) con árboles forestales maderables. San José, Costa Rica: EuroDigital Comunicación.

Orozco, L., López, A., Rojas, M., & Somarriba, E. (2005). Tipologías de fincas cafetaleras con sombra de maderables en Pérez Zeledón, Costa Rica. *Agroforestería de las Américas* (43-44), 86-91.

Ortiz, E. (2014). *Atlas Digital de Costa Rica*. 1. Cartago, Costa Rica: Tecnológico de Costa Rica.

Rivas, F., Díaz, E., Castillo, J., & Ortega, L. (2009). Control de maleza en plantaciones de cedro y caoba. Mérida, Yucatán, México.: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas.

Rivera, M. (2015). Caracterización de la situación silvicultural de la teca (*Tectona grandis* Linn F.) en plantaciones y sistemas agroforestales en la Península de Nicoya, Costa Rica. Turrialba, Costa Rica: CATIE.

Rodríguez, J., & Sáenz, A. (2002). Pago por servicios ambientales en Costa Rica. *Revista Recursos Naturales y Ambiente* (37), 68-71.

Rojas, F., Arias, D., Moya, R., Meza, A., Murillo, O., & Arguedas, M. (2004). Manual para productores de Melina (*Gmelina arborea*) en Costa Rica. Cartago, Costa Rica: Tecnológico de Costa Rica.

Russo, R. (2002). Iniciativas de reforestación con especies forestales nativas de la Universidad EARTH. Heredia, Costa Rica: INSEFOR.

Russo, R., & Botero, R. (Julio de 2014). Ganadería de sombra ¿mito o realidad? *Ambientico* (245), 4-8.

Sánchez, O., & Navarrete, J. (2017). La experiencia de Costa Rica en el pago por servicios ambientales, 20 años de lecciones aprendidas. *Revista de Ciencias Ambientales*, 51(2), 195-214.

Solís, M., & Moya, R. (2004). *Terminalia amazonia* en Costa Rica. San José, Costa Rica: COSEFORMA-GTZ.

Solís, M., & Moya, R. (2004). *Vochysia guatemalensis* en Costa Rica. San José, Costa Rica: COSEFORMA-GTZ.

Somarriba, E. (2012). Definición de agroforestería. En T. Ammour, H. Amrade, J. Beer, G. Detlefsen, M. Ibrahim, J. Kent, P. Zapata, *Producción de madera en sistemas agroforestales de Centroamérica* (págs. 21-26). Turrialba, Costa Rica: CATIE.

Ulate, C. (2013). El Almendro (*Dipteryx panamensis*), incidencia en el precio de comercialización por efecto de la veda total a la corta y aprovechamiento maderable de la especie. Costa Rica: *Noticias de Corredores Biológicos*, Área de Conservación de Arenal Huetar Norte.

Villalobos, N., & Ruiz, J. (2016). Control de malezas y manejo de cafetales con bajos precios. Heredia Costa Rica: Ministerio de Agricultura y Ganadería.

ANEXOS

Anexo 1. Formulario para evaluar el estado general de sistemas agroforestales.

Formulario de Visita de Campo PSA Sistemas Agroforestales

Juan José Quesada

I. Información General

Fecha de Visita: _____

Número de Contrato: _____

Nombre de asistentes a la visita: _____

Localidad: _____

II. Puntos GPS

Número	Ubicación	Norte	Este

III. Muestra fotográficas

Número	Descripción

IV. Composición del componente agrícola

Cultivo	Producción	Área efectiva
Raíces y tubérculos		
Granos básicos		
Hortalizas		
Musáceas		
Café		
Cacao		
Frutales		
Otro		

V. Estado del componente agrícola

Criterio de evaluación agrícola	Valor (1,2 o 3)
Estado general	
Distribución de las plantas	
Control de malezas	
Estado fitosanitario	

VI. Componente pastoril

Ganado	Carga animal (animales/ha)
Leche	
Carne	
Doble propósito	

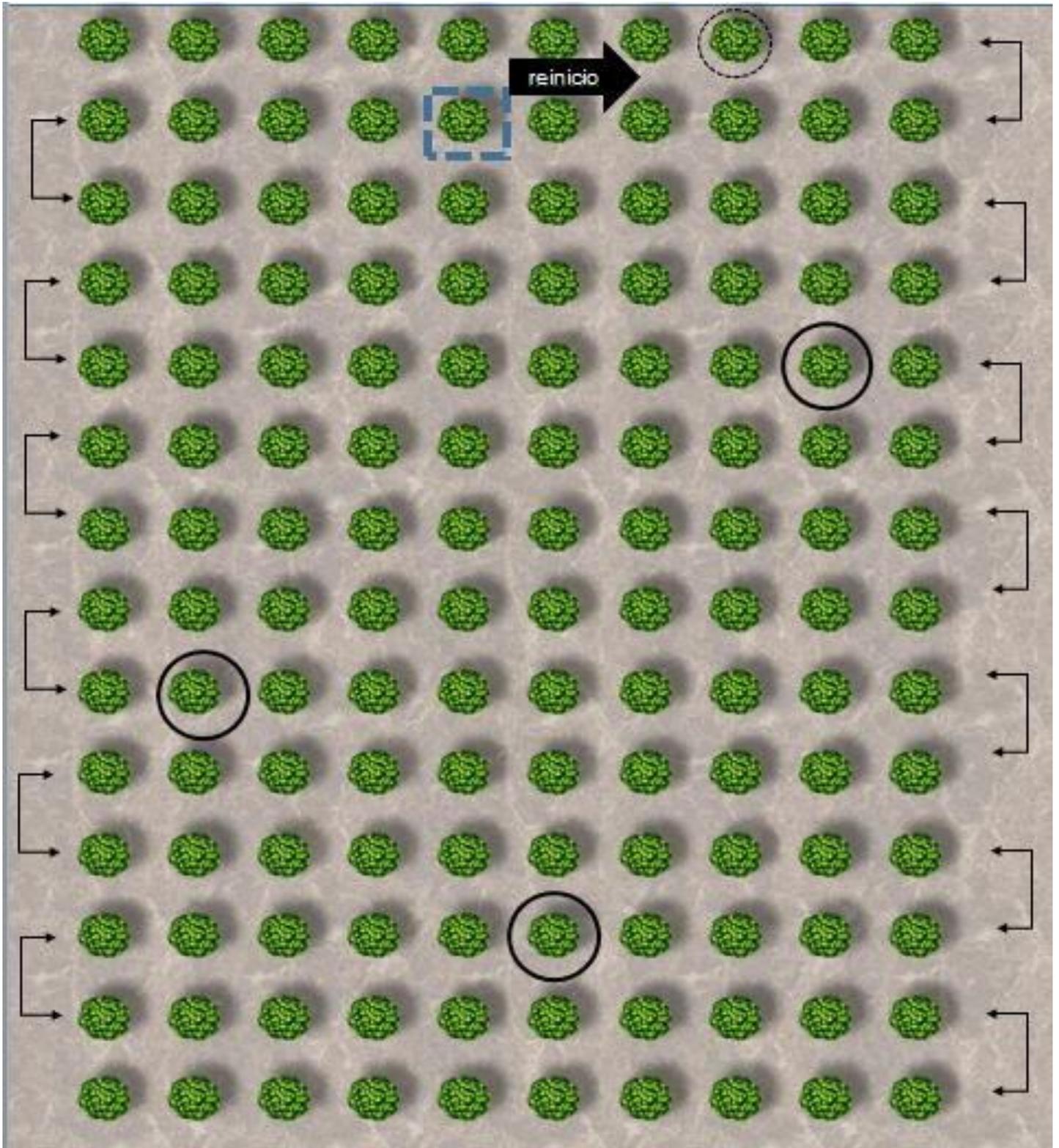
VII. Practicas silviculturales

Practica silvicultural	Aplicación (si o no)
Encalado	
Fertilización	
Raleo	

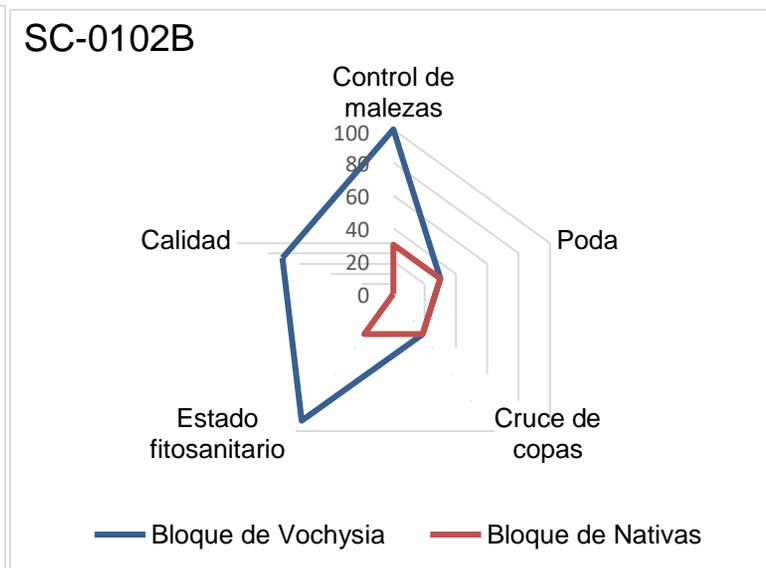
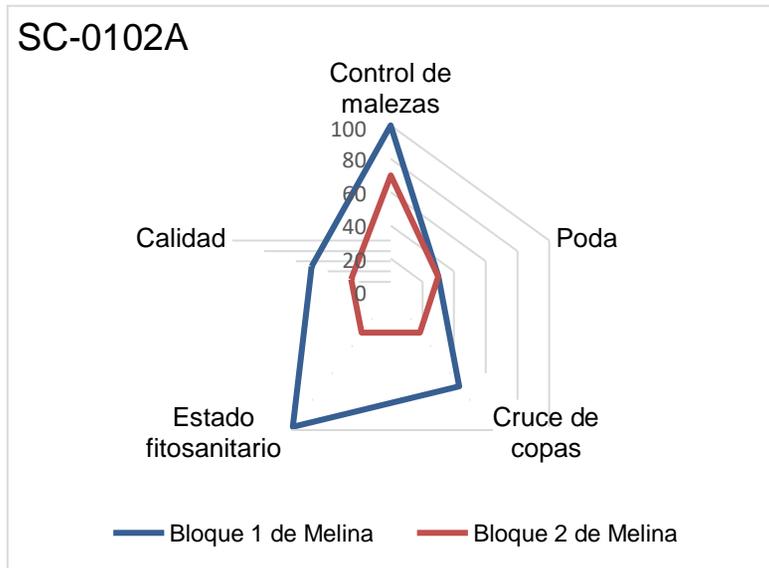
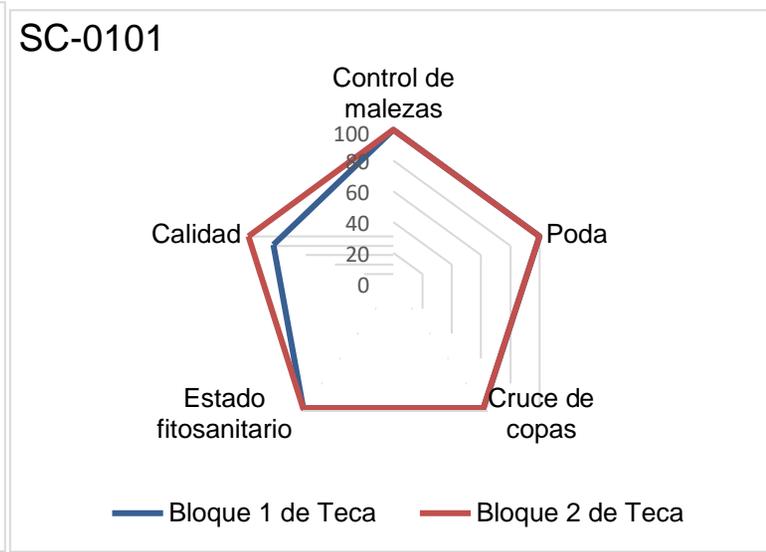
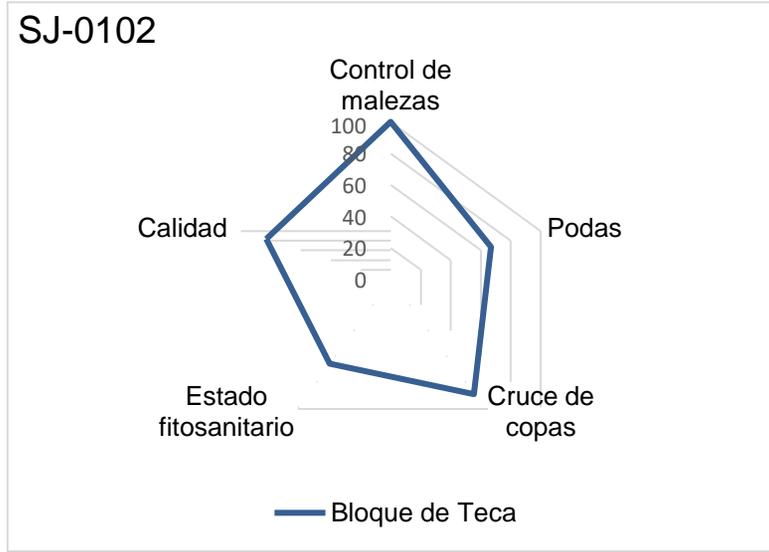
VIII. Observaciones generales

(descripción del paisaje, otras labores productivas asociadas, acceso a la finca, uso anterior, problemas de inundación u otros)

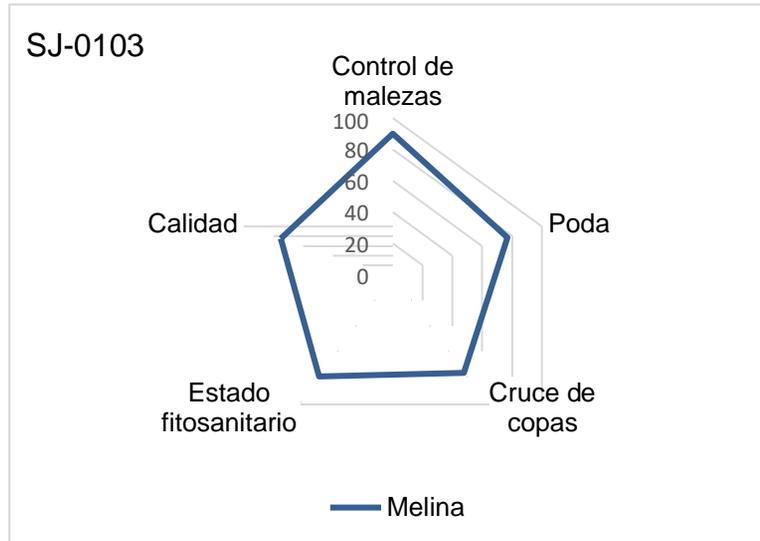
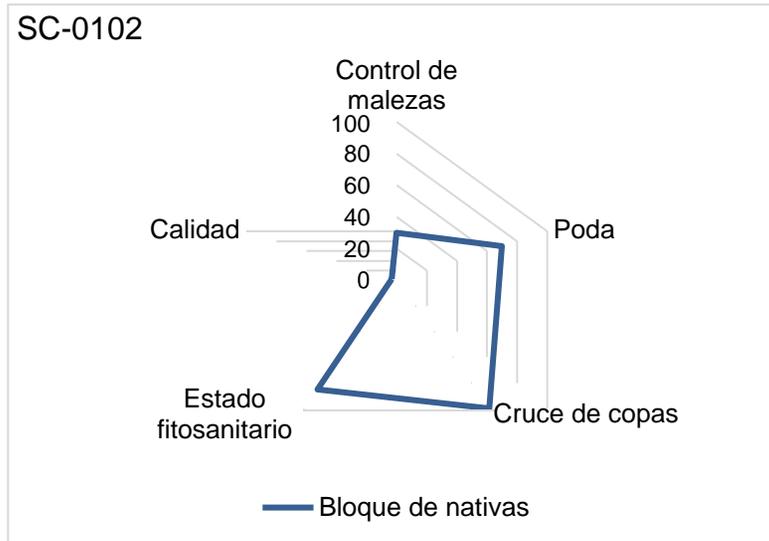
Anexo 2. Formulario para evaluar el componente forestal en sistemas agroforestales.



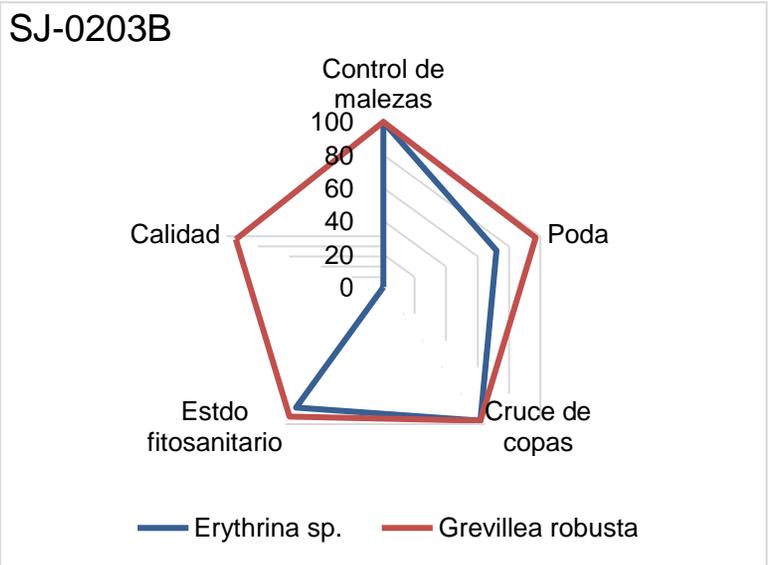
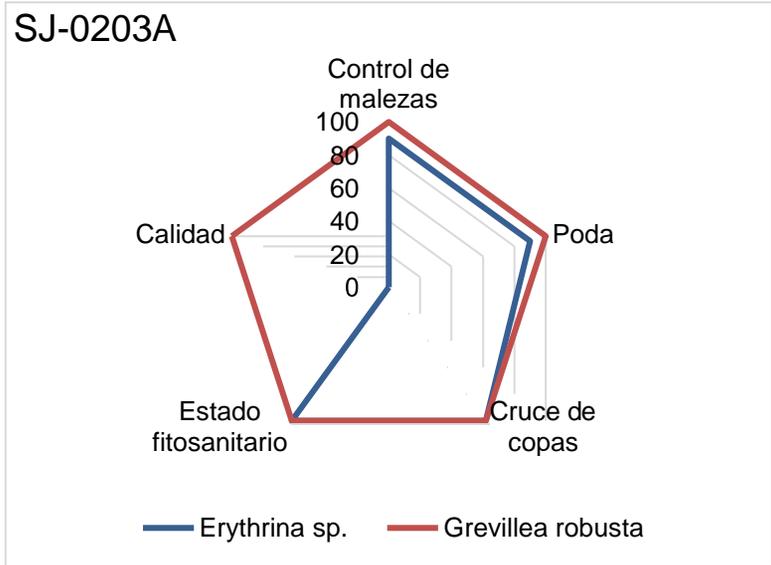
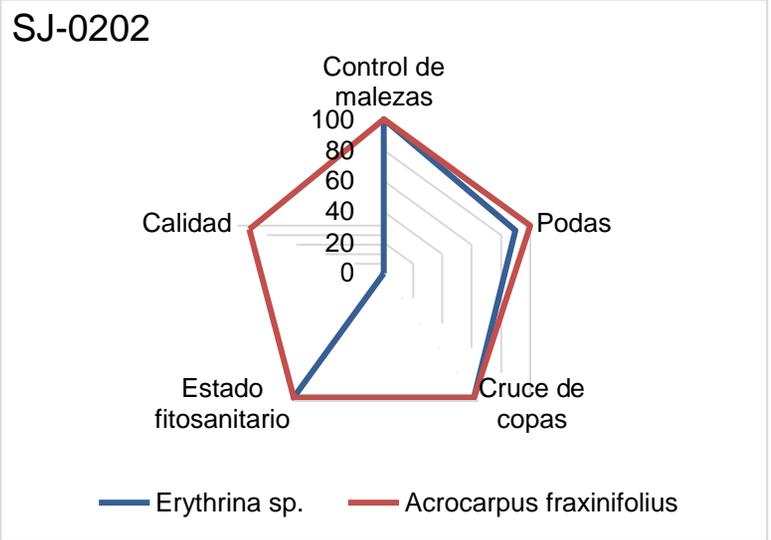
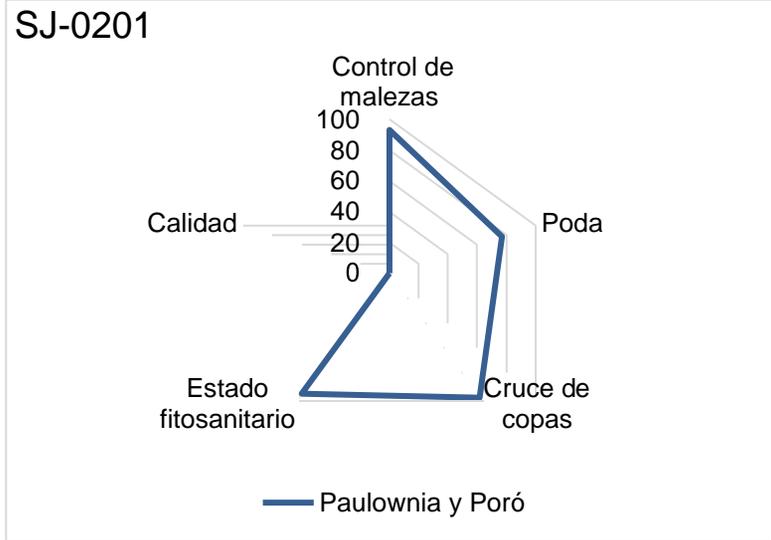
Anexo 4. Estado de los sistemas agroforestales en bloque utilizados para validar el protocolo



Continuación del anexo 4 (Estado de los sistemas agroforestales en bloque utilizados para validar el protocolo de evaluación)



Anexo 5. Estado de los sistemas agroforestales con árboles en cultivo utilizados para validar el protocolo



Continuación del anexo 5 (Estado de los sistemas agroforestales con árboles en cultivo utilizados para validar el protocolo)



*Todos los proyectos de cultivos evaluados estaban asociados a café.

Anexo 6. Estado de los sistemas agroforestales en hileras utilizados para validar el protocolo

