

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA
ESCUELA DE INGENIERÍA FORESTAL

DISEÑO DE UN SISTEMA AGROFORESTAL EN FINCAS
ECOLÓGICAS DE CAFÉ PARA LA CONECTIVIDAD DE DOS
ÁREAS PROTEGIDAS EN PROVIDENCIA DE COPEY, COSTA
RICA.

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

LUIS ESTEBAN GARRO CHACÓN

CARTAGO, COSTA RICA, 2020

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA
ESCUELA DE INGENIERÍA FORESTAL

DISEÑO DE UN SISTEMA AGROFORESTAL EN FINCAS
ECOLÓGICAS DE CAFÉ PARA LA CONECTIVIDAD DE DOS
ÁREAS PROTEGIDAS EN PROVIDENCIA DE COPEY, COSTA
RICA.

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

LUIS ESTEBAN GARRO CHACÓN

CARTAGO, COSTA RICA, 2020

RESUMEN

Luis Esteban Garro Chacón¹

El presente trabajo tuvo como objetivo diseñar un sistema agroforestal en fincas ecológicas de café en el poblado de Providencia, que permita un aumento en la conectividad estructural entre dos áreas protegidas. Por medio de sistemas de información geográfica se determinó el nivel de fragmentación del distrito de Copey a través de la herramienta Landscape Ecology Statistics (Lecos), se obtuvo el índice de uniformidad de Shannon, donde el valor generado fue de 0,601 demostrando que existe una distribución baja y poco homogénea del paisaje afectando la fragmentación en el área de estudio. Para las fincas ecológicas de café se comprobaron las condiciones físicas y ambientales, así como el estado actual en el que se encontraban. Con esta información se procedió a realizar el diseño agroforestal que mejor se adapte a las fincas, de forma que no afecte el cultivo de café y aumente la cobertura forestal del sitio. Para la selección de especies se realizó un inventario forestal con un muestreo sistemático sin estratificar, donde se establecieron parcelas rectangulares de 1000 m² (20m x 50m), con una intensidad de muestreo del 4%. Con estos resultados se clasificaron las especies forestales y se determinaron las especies más aptas para ser usadas en el diseño.

Palabras claves: Conectividad, Índice de uniformidad, Fragmentación, Diseño agroforestal



Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-SinObraDerivada 4.0 Internacional.

ABSTRACT

The objective of this work was to design an agroforestry system in ecological coffee farms in the district of La Providencia, which allows an increase in the structural connectivity between two protected areas. Through geographic information systems, it was determined the level of fragmentation of Copey County through the tool Landscape Ecology Statistics (Lecos), it was obtained Shannon uniformity index, where the value generated was 0.601, demonstrating that there is a low and not very homogeneous distribution of the landscape affecting the fragmentation in the study area. For the ecological coffee farms, the physical and environmental conditions were verified, as well as the current state in which they were found. With this information we proceeded to make the agroforestry design that best suits the farms, so that it does not affect coffee cultivation and increases the site's forest coverage. For the selection of species, a forest inventory was carried out with systematic sampling without stratification, where rectangular plots of 1000 m² (20m x 50m) were established, with a sampling intensity of 4%. With these results the forest species were classified and the most suitable species to be used in the design were determined.

Keywords: Connectivity, Uniformity index, Fragmentation, Agroforestry design

*Garro-Chacón, L. (2020). Diseño de un sistema agroforestal en fincas ecológicas de café para la conectividad dos áreas protegidas en Providencia de Copey, Costa Rica. (Tesis de Licenciatura). Escuela de Ingeniería Forestal, Instituto Tecnológico de Costa Rica, Cartago, Costa Rica.

ACREDITACIÓN

CONSTANCIA DE DEFENSA PÚBLICA DE PROYECTO DE GRADUACIÓN

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

MARIO ALBERTO
GUEVARA
BONILLA

Firmado digitalmente por
MARIO ALBERTO
GUEVARA BONILLA
Fecha: 2020.10.20
12:02:57 -06'00'

M.Sc. Mario Guevara Bonilla

Director de Tesis

TEC | Tecnológico
de Costa Rica

Firmado digitalmente por
NANCY MAGALLY GAMBOA
BADILLA (FIRMA)
Motivo: Aprobación
Ubicación: Cartago
Fecha: 2020.10.19 11:38:20
-06'00'

Dra. Nancy Gamboa Badilla

Profesora lectora

TEC | Tecnológico
de Costa Rica

Firma digital por: MARIBEL JIMÉNEZ MONTERO (FIRMA)
Fecha: 2020.10.20 14:19:34 -06:00
Razón: Estoy aprobando
Localización: Tecnológico de Costa Rica

M.Sc. Maribel Jiménez Montero

Profesora lectora

TEC | Tecnológico
de Costa Rica

Firma digital por: DORIAN MAURICIO CARVAJAL VANEGAS (FIRMA)
Fecha: 2020.10.21 14:55:04 -06:00
Razón: Estoy aprobando
Localización: Tecnológico de Costa Rica

M.Sc. Dorian Carvajal Vanegas

Coordinador de trabajos finales

de graduación


Luis Esteban Garro Chacón

Estudiante

DEDICATORIA

Este trabajo va dedicado primeramente a Dios por darme salud y permitirme estar aquí hoy cumpliendo un sueño después de tantos años de trabajo.

A mi familia por esta siempre presente y apoyarme en cada momento de mi carrera, y darme esa motivación para salir adelante.

A Noel Ureña Zúñiga que siempre mostró un gran apoyo y confianza a mi persona, siendo un pilar importante para concluir mis estudios.

AGRADECIMIENTOS

A mi director de tesis Mario Guevara Bonilla por toda la ayuda y apoyo brindado en este largo proceso.

A Maribel Jiménez y Nancy Gamboa por toda la ayuda y consejos brindados.

A la empresa Santos Tour por permitirme realizar este proyecto y ayudarme para poder realizar el trabajo de campo.

A todas esas personas que de una u otra forma estuvieron ahí para ayudarme y apoyarme.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	i
ABSTRACT	ii
ACREDITACIÓN	iii
DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTOS	v
ÍNDICE GENERAL	vi
ÍNDICE DE CUADROS	viii
INDICE DE FIGURAS	ix
INDICE DE ANEXOS	x
1. INTRODUCCIÓN	1
2. OBJETIVOS DEL PROYECTO	3
2.1 General.....	3
2.2 Específicos	3
3. REVISIÓN DE LITERATURA	4
3.1 Perturbaciones en los ecosistemas	4
3.2 Agricultura migratoria.....	5
3.3 Agricultura intensiva	5
3.4 Monocultivos.....	5
3.5 Ecología de paisaje	6

3.6 Fragmentación del paisaje	7
3.7 Restauración de paisajes.....	8
3.8 Corredores biológicos	9
3.9 Principios generales de los sistemas agroforestales (SAF).....	11
3.10 ¿Qué es un Sistema agroforestal?	12
3.11 Aplicación de los sistemas agroforestales	12
3.12 Sistemas agroforestales como conectores de paisaje	13
3.13 Planificación Agroforestal de Fincas	14
4. MATERIALES Y MÉTODOS	16
4.1 Área de estudio	16
4.2 Análisis del paisaje: determinación de índices de conectividad	18
4.3 Análisis de la estructura y composición florística de las fincas ecológicas de café	20
4.4 Diseño del sistema agroforestal.....	21
5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	24
5.1 Paisaje del sector La Providencia en términos de fragmentación del bosque.	24
5.1.1 Cobertura forestal del distrito de Copey	24
5.2 Estructura y composición florística de las fincas ecológicas de café.	26
5.3.1 Estado actual de las fincas ecológicas de café	29
5.3.2 Selección de las especies.....	33
5.3.3 Diseño del sistema agroforestal.....	34
6. CONCLUSIONES	37
7. RECOMENDACIONES	38
8. REFERENCIAS.....	39
9. ANEXOS.....	48

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Métricas de paisaje y clase que se emplearán para determinar los índices de conectividad del área de estudio.....	19
Cuadro 2. Criterios para seleccionar la especie adecuada en un sistema agroforestal.....	23
Cuadro 3. Índices de diversidad de Shannon para el paisaje del distrito de Copey.....	25
Cuadro 4. Métrica de densidad y tamaño de parche según clase para determinar la fragmentación de paisaje en el distrito de Copey.	26
Cuadro 5. Cantidad de especies que se encuentran en las fincas de café ecológico en el sector de Providencia.....	27
Cuadro 6. Forma de copa de los árboles en las fincas ecológicas de café en Providencia.....	27
Cuadro 7. Distribución de altura de los árboles en las fincas ecológicas de café en Providencia.....	28
Cuadro 8. Índices de diversidad de especies para el inventario forestal realizado en Providencia de Costa Rica.....	29
Cuadro 9. Factores ambientales y físicos presentes en las fincas ecológicas de café en Providencia, Costa Rica.	30
Cuadro 10. Calculo del porcentaje de sombra para las fincas ecológicas de café en Providencia, Costa Rica.....	33
Cuadro 11. Evaluación de la lista de especies del inventario forestal para determinar las especies óptimas para el sistema agroforestal.	34

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Pasos fundamentales a tomar en cuenta al momento de realizar una restauración ecológica. Fuente (Vargas, 2007).....	9
Figura 2. Ubicación del distrito de Copey, donde se ubican las fincas del proyecto.....	16
Figura 3. Tipo de cobertura que se encuentra presente en el distrito de Copey.....	24
Figura 4. Estado actual de la finca Biofabrica ubicada en Providencia, Costa Rica.....	31
Figura 5. Estado actual de la finca de Santos Tour ubicada en Providencia, Costa Rica.....	32
Figura 6. Estado actual de la finca de Gerardo ubicada en Providencia, Costa Rica.....	32
Figura 7. Diseño del sistema agroforestal propuesto para las fincas ecológicas de café ubicadas en Providencia, Costa Rica.....	36

INDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Lista de especies que se encontraron en el inventario forestal en Providencia, Costa Rica.....	48
--	----

1. INTRODUCCIÓN

El ser humano para alcanzar su desarrollo ha generado grandes perturbaciones en los ecosistemas, provocando cambios en la disponibilidad de recursos. Debido a esto, en los últimos años se han planteado estrategias de restauración del paisaje que faciliten la participación social, partiendo de la agroforestería y la agroecología. Lo anterior, tomando en cuenta las necesidades del sector rural, haciendo hincapié en que una de las principales formas de subsistencia como lo son las actividades agrícolas (Ceccon,2013).

Los sistemas agroforestales (SAF) son considerados una alternativa para lograr la restauración ecológica, a pesar de ser casi imposible alcanzar las condiciones originales en las que se encontraba el ecosistema, debido a las modificaciones causadas en el ambiente (Ceccon, 2013). Es por esto que resulta importante restablecer la integridad ecológica, la biodiversidad y la estabilidad del paisaje a mediano y largo plazo, asociado a la viabilidad económica y social (Ríos, 2011).

Montagnini, Somarriba, Murgueitio, Fassola & Eibl (2015), mencionan cómo los SAF pueden ser usados como estrategia para favorecer la conectividad funcional del paisaje fragmentado. Además, señalan que el éxito de estos sistemas en favor de la conectividad del paisaje radica no sólo en facilitar el movimiento de las especies, sino que además es necesario clasificar las prácticas de estos sistemas como herramientas para desarrollar programas de conservación de paisajes.

El cultivo de café es de suma importancia para la economía del poblado de Providencia. El 90% del producto interno bruto de la zona proviene de la producción de café y esto hace que exista una dependencia económica muy fuerte de este producto, limitando otros procesos de desarrollo (Mañosa et al., 2007). Sin embargo, debido a la expansión de este cultivo con el pasar de los años, se ha generado una transformación del paisaje en busca de satisfacer las necesidades básicas demandadas por el hombre (Sánchez, Ulloa, & Marques, 2012). Este es el principal problema que se encuentra en la zona de estudio, donde se generó la eliminación de cobertura boscosa para establecer plantaciones de café, transformando el paisaje. Estas plantaciones de

café son en su mayoría monocultivos, que afectan y alteran los ecosistemas, sin embargo, implementado los SAF con las técnicas adecuadas, el cultivo del café bajo sombra se convierte en uno de los sistemas productivos más amigables con el entorno, aumentando la diversidad de especies en los sitios (Guhl, 2009).

Con todo este panorama se observa que existen vacíos de información en este tema, debido a que el número de investigaciones que evalúan los SAF como una herramienta para incrementar la conectividad del paisaje es limitado. Una posible razón es la variabilidad que existe en los diferentes paisajes por lo que las condiciones que necesitan las especies para adaptarse son diferentes, lo que conduce a evaluaciones muy complejas.

Por tal motivo, el presente proyecto busca generar un diseño de sistema agroforestal que se adapte a las condiciones de la zona, mejorando la diversidad de las fincas y el estado de los ecosistemas. De esta forma se pretende, generar un corredor biológico que permita disminuir el aislamiento creado por la deforestación y fragmentación de las zonas boscosas. Lo anterior, considerando que los corredores biológicos representan una alternativa de recuperación el ecosistema, al ser áreas formadas por mosaicos de diferentes usos del suelo, que intentan conectar los diferentes hábitats, aumentando de esta forma la biodiversidad del sitio a mediano y largo plazo (Martínez Salinas & DeClerck, 2013). Finalmente, el proyecto busca beneficiar el distrito de Providencia y los alrededores, intentando transformar el paisaje y mantener de forma sostenible la productividad de la zona.

2. OBJETIVOS DEL PROYECTO

2.1 General

Diseñar un sistema agroforestal en fincas ecológicas de café en poblado de Providencia, que permita un aumento en la conectividad estructural entre el Parque Nacional Los Quetzales y la Reserva Forestal Los Santos.

2.2 Específicos

1. Analizar el paisaje del sector Providencia en términos de fragmentación del bosque, para la determinación de índices de conectividad del hábitat.
2. Analizar la estructura y composición florística, así como las condiciones físicas y ambientales de las fincas de café con y sin presencia de bosque del sector Providencia.
3. Proponer las especies forestales y la tecnología agroforestal que mejor se adapte a las fincas de café para el mejoramiento de la conectividad del paisaje.

3. REVISIÓN DE LITERATURA

3.1 Perturbaciones en los ecosistemas

Las perturbaciones son acontecimientos relativamente discretos en el tiempo, que provocan daños en la estructura y funcionamiento de un determinado ecosistema, comunidad o población, generando cambios en la disponibilidad de recursos y afectando de manera adversa la productividad de los ecosistemas (Organización de las Naciones Unidas Para la Alimentación y la Agricultura, 2018).

Las perturbaciones se pueden clasificar como naturales y antrópicas, siendo las primeras el resultado de un suceso natural que altera la disponibilidad de hábitat apto afectando en el medio físico; algunos ejemplos son las tormentas y avalanchas (Avendaño 2012). Por otra parte las perturbaciones antrópicas son aquellas causadas por el hombre, suelen afectar la estructura y funcionalidad de los sitios, por lo tanto se requiere de acciones de restauración para recuperar los ecosistemas afectados por cualquier tipo de perturbación (De La Cruz & Contreras, 2019).

Los ecosistemas se pueden ver afectados de forma directa o indirecta por factores naturales o inducidos que se conocen como generadores de cambio. Un generador directo influye directamente en el proceso de los hábitats y su adecuado funcionamiento, mientras que el factor indirecto actúa de manera más difusa ya que altera uno o más generadores de cambio directo. Los servicios que brindan los ecosistemas y el bienestar humano se ven alterados y estos efectos se pueden sentir de inmediato o a largo plazo (Ceccon, 2013).

Además, los efectos a causa de las perturbaciones y la capacidad de regeneración de los ecosistemas, son de mucha importancia en la investigación ambiental actual, donde las actividades humanas a lo largo del tiempo han modificado los diferentes paisajes naturales producto de guerras, presiones de los cambios históricos y el desarrollo de la actividad agrícola que se ha encargado de alterar el suelo y la vegetación causando graves consecuencias ambientales (Espejel & Hernández, 2012).

3.2 Agricultura migratoria

La agricultura migratoria es la costumbre de cultivar los claros dispersos en la reserva de vegetación natural (bosque o pradera arbolada) y de abandonarlos tan pronto como el suelo se agota, con este sistema las familias emigran en busca de nuevas tierras fértiles (FAO, 1957). Esta práctica necesita la quema de los sitios para generar cenizas y que estas se incorporen en el suelo con ayuda de las lluvias, siendo uno de los métodos más rápidos para la limpieza de los sitios y aflojar el suelo como resultado del calor en la superficie (Beck y Sánchez, 1994).

Sin embargo, la pérdida de nutrientes durante la quema de tierras forestales es una de las más altas entre todas las perturbaciones conocidas. El efecto inmediato de la quema es la destrucción total o parcial del humus y de la materia orgánica superficial, afectando las propiedades químicas y físicas del suelo, así como las poblaciones de microorganismos que son vitales para el funcionamiento del suelo (Giardina et al., 2000).

3.3 Agricultura intensiva

La expansión de las tierras agrícolas, es reconocida como una de las principales alteraciones humanas que afectan los ecosistemas en el mundo. La agricultura intensiva es aquella que maximiza el uso del suelo ya que este es un factor limitante, una característica de esta práctica es la baja diversidad planificada o bien el uso de monocultivos, donde el objetivo principal es emplear variedades de cultivos que tengan un alto rendimiento, a pesar de necesitar grandes cantidades de insumos para obtener una alta producción, además el agotamiento de los nutrientes del suelo es elevado al implementar esta práctica (Ceccon, 2013). Según la FAO (2012), solo en el 2009 se utilizaron 4 889 304 hectáreas del planeta para la agricultura intensiva, generando riesgos potenciales de contaminación de diversos tipos, que se derivan del alto uso de productos químicos que se utilizan para el control de los cultivos.

3.4 Monocultivos

Este tipo de práctica se encuentra muy asociada a la agricultura intensiva, debido a que en ambas actividades se trabaja con un solo tipo de cultivo. Donde el objetivo principal es realizar pocos cultivos de alta productividad y alta homogeneidad genética para maximizar la producción y la

rentabilidad de los cultivos, simplificando el manejo que se debe llevar a cabo para obtener mayores ganancias. Todo a costa de un mayor riesgo climático, económico y biológico, donde se generan grandes pérdidas de materia orgánica y existe una sobre-extracción de nutrientes y agua (Viglizzo et al., 2010).

La explotación y el avance de la frontera agropecuaria generó cambios en el uso del suelo, grandes pérdidas en la biodiversidad y en la capacidad productiva de los suelos, comprometiendo la continuidad de los ecosistemas y la producción de alimentos (Murphy, Burch y Clapp, 2012). Como consecuencia, los agricultores que producen alimentos tradicionales para el mercado interno están siendo desplazados por el agronegocio y pasan a ocupar un lugar marginal en la agenda gubernamental convirtiéndose en un sector vulnerable (Silvetti & Cáceres, 2015).

En consecuencia a lo anterior, el cambio surgido en el paisaje debido a la expansión de los monocultivos y las diferentes técnicas que se usan para controlar las plagas, han demostrado que el incremento del monocultivo provocó una importante uniformidad del paisaje siendo un recurso alimenticio y de calidad para diferentes plagas (Carrasco, Sánchez, & Tamagno, 2012). A pesar de esto, el sector agrícola se comporta como si los recursos naturales fueran infinitos y presta escasa atención a los impactos sociales y ambientales que esta expansión genera (Cáceres, 2015).

3.5 Ecología de paisaje

Una solución para la pérdida de diversidad por la actividad agrícola es la ecología de paisaje, que se puede definir como una herramienta que nos permite estudiar la variación en la heterogeneidad espacial del paisaje a través de varias escalas, y se preocupa por entender las causas, consecuencias biofísicas y sociales que provocan ese estado heterogéneo en los paisajes (Arroyo, Moreno, & Galán, 2017).

Por esta razón el interés por la ecología de paisaje ha ido en aumento y está fuertemente relacionado a la necesidad de entender cómo cambia la heterogeneidad espacial de los ecosistemas y cómo responden las diferentes especies. Principalmente por el impacto humano

sobre los diferentes ecosistemas causando la acelerada expansión de paisajes deforestados y aumentando la fragmentación de los territorios particularmente en el área del trópico (Hansen et al., 2013).

3.6 Fragmentación del paisaje

La fragmentación de los hábitats es reconocida en todo el mundo, como un problema que enfrenta la conservación de la diversidad biológica. Debido al crecimiento de la población, la superficie de la Tierra se ve afectada por las interferencias humanas donde han modificado el medio ambiente, hasta llegar al punto de formar paisajes con mosaicos de asentamientos humanos, terrenos agrícolas y fragmentos dispersos de ecosistemas naturales (Bennett, 2004).

La ecología de paisajes es importante para estudiar este comportamiento ya que los ambientes están siendo modificados intensamente hasta el punto de funcionar como ecosistemas naturales aislados a largo plazo. Además, la fragmentación es un proceso dinámico que genera cambios notables en el patrón de los hábitats en cierto tiempo. Este término se puede usar para describir cambios que se producen en grandes segmentos de vegetación, formando partes más pequeñas separadas entre sí (Bennett, 2004).

El proceso de fragmentación tiene diferentes componentes reconocibles, primero es una pérdida general del hábitat en un paisaje determinado, esto genera una disminución en el tamaño de los segmentos de hábitat que subsisten después de la subdivisión y clareo, otro componente es la presencia de un mayor aislamiento de hábitats a medida que nuevas utilidades de la tierra ocupan el ambiente intermedio (Bennett, 2004).

La fragmentación genera un efecto borde que consiste en una ruptura abrupta en el paisaje y la separación de un hábitat adyacente de otros. De forma que entre más pequeño sea el fragmento o parche, mayor va ser el área expuesta a los efectos negativos que provoca el efecto borde, y el área de exposición del paisaje va a ser mayor entre más grande sea el número de fragmentos que resulta en parches más pequeños. Otro efecto a tomar en cuenta es el aislamiento, es importante conocer que tan aislado se encuentra un fragmento y a nivel funcional está relacionado directamente a un tipo de especies o ecosistemas, por otra parte el tamaño y la forma de un

fragmento están relacionados al borde, es decir, cuanto menor o más alargado sea el fragmento, los efectos de borde se pueden sentir con más fuerza, ya que se reduce la razón interior (Ceccon, 2013). Estos efectos se deben de conocer al momento de restaurar paisajes porque nos indican cómo se comportan los fragmentos y es necesario cuando se vayan a conectar diferentes paisajes para aumentar la diversidad de los sitios.

3.7 Restauración de paisajes

Como se indica, la degradación y destrucción de muchos ecosistemas en el mundo, ha acelerado la crisis ambiental debido a la reducción rápida de los múltiples servicios ambientales que prestan los ecosistemas, como producción de agua y fijación de CO₂. Esta situación ha generado que la conservación y restauración ecológica funcionen como solución para revertir los efectos de degradación y pérdida de biodiversidad acelerada. Donde se debe aprender a restaurar los ecosistemas para garantizar la sostenibilidad de los sistemas naturales y la disponibilidad de los servicios ambientales (Ríos, 2011).

Al momento de realizar una restauración ecológica se debe tener gran cantidad de conocimientos para tomar las decisiones más adecuadas. De acuerdo al sitio que se esté trabajando es necesario conocer el estado del ecosistema antes y después de los disturbios, las causas por las cuales se generó el daño, el funcionamiento del hábitat actual entre otras. Además si se quiere restaurar la biodiversidad del lugar y todo su potencial de regeneración, es necesario aprender a manejar los diferentes paisajes (Ríos, 2011).

Para ejecutar un proyecto de restauración se deben tomar en cuenta trece pasos importantes (Figura 1). En todo el proceso, la participación ciudadana es necesaria para lograr el éxito en este tipo de proyectos.

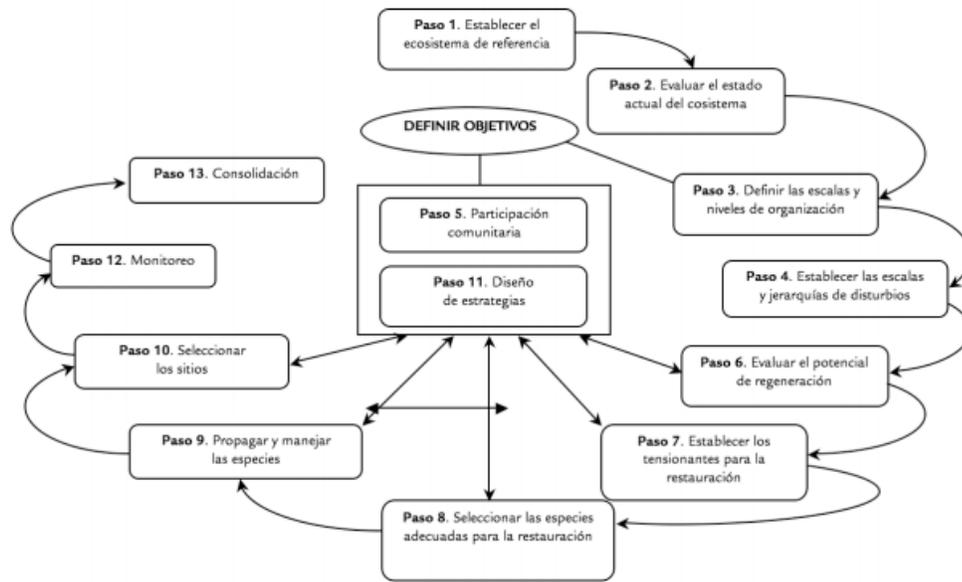


Figura 1. Pasos fundamentales a tomar en cuenta al momento de realizar una restauración ecológica. Fuente (Vargas, 2007).

3.8 Corredores biológicos

Desde la perspectiva anterior, se pueden utilizar los conocimientos de restauración de paisajes para implementar corredores biológicos. Estos se pueden definir como un espacio geográfico que constituye un paisaje continuo de ecosistemas y hábitats naturales o modificados, que aseguran el mantenimiento de la diversidad biológica mediante la facilitación, tanto de la migración, como de la dispersión de especies de flora y fauna silvestres, asegurando la conservación de las misma en el largo plazo (SINAC, 2010). Adicionalmente, tienen una estrategia regional para el desarrollo sostenible, fundamentada en la conservación y el adecuado aprovechamiento de la biodiversidad y recursos naturales (Arauz-Beita, Brunca, Zeledón, Rica, & Arias-Navarro, 2016).

Los corredores biológicos están siendo aceptados como concepto para la conservación de la biodiversidad, al poder ser utilizados para enlazar diferentes sitios y cumpliendo la función de facilitar el desplazamiento de muchas especies de animales. También pueden ser una solución para corregir los paisajes fragmentados de forma que las comunidades participen para manejar

los enlaces en un ambiente local y ser los responsables de los cambios ambientales (Bennett, 2004).

Al momento de establecer un corredor biológico, estos se pueden ver como una estructura generada artificialmente que permite conectar diferentes fragmentos aumentando la cobertura forestal del sitio. Los corredores se pueden clasificar de diferentes formas como lo menciona Bennett (2004) a continuación:

Corredores lineales: pueden ser estrechos (40-80 m) y aun así proveer de conectividad entre fragmentos para especies específicas, un ejemplo de ello son los cercos vivos.

Trampolines ecológicos: (Stepping stones) son pequeñas áreas de hábitat natural restauradas en la matriz que pueden ser usadas durante el movimiento para cobijo, alimentación o descanso, dentro de un paisaje que tenga otros usos, como el agrícola

Corredores de paisaje: son un mosaico de cobertura natural continua que permite el movimiento entre parches de hábitats o entre áreas protegidas, es más amplio que el lineal, tal es el caso de muchos bosques riparios.

Zonas de amortiguamiento: se refiere a ecosistemas de borde, los cuales son áreas de transición (ecotonos) que forman un perímetro alrededor de las áreas de conservación.

Lo anterior es importante ya que lo ideal de un corredor biológico o conector es que tenga las mismas cualidades del fragmento que está conectando, debido a esto para el establecimiento de corredores biológicos en paisajes altamente fragmentados, se debe incluir especies de fauna y flora como bioindicadores de los ecosistemas, a través de inventarios de biodiversidad para la identificación de especies claves que servirán para realizar el monitoreo una vez establecido el corredor y verificación del uso de los corredores biológicos (Osorio et al., 2012).

Como se observó anteriormente los corredores ecológicos son espacios que conectan áreas de importancia biológica que tienen la función de mitigar los impactos negativos provocados por la fragmentación de los hábitats (Quiroga & Soria, 2014). Además, a través de los corredores se puede asegurar el intercambio genético y energético a partir de una mayor extensión geográfica (Roy et al., 2010).

La implementación de corredores biológicos genera muchos beneficios y es de suma importancia ya que facilita el desplazamiento de la fauna por medio de paisajes transformados. Aumenta las tasas de inmigración de especies sensibles a la fragmentación por los cambios de hábitats, disminuye el aislamiento de las poblaciones locales y facilita la suplementación de poblaciones mucho más pequeñas que se encuentran en declive, de forma que se frena la tendencia a la extinción en el sitio, adicionalmente de permitir la recolonización de los hábitats (Noss, 1993).

3.9 Principios generales de los sistemas agroforestales (SAF)

Por la problemática mencionada anteriormente es necesario encontrar estrategias productivas, ecológicas y económicamente sustentables para el manejo de los sistemas agropecuarios, una alternativa es la implementación de sistemas agroforestales como forma de lograr el aumento de la biodiversidad (Jose, 2012). La rehabilitación de los paisajes agrícolas a través de la siembra de árboles y otras especies perennes podría restablecer interacciones ecológicas y ciclos biogeoquímicos que se han perdido durante la deforestación y consecuente introducción de monocultivos (Montagnini et al., 2015).

La agroforestería optimiza los efectos beneficiosos de las interacciones entre las especies arbóreas y los cultivos o animales. Al utilizar los ecosistemas naturales como modelos y al aplicar sus características ecológicas al sistema agrícola, se espera que la productividad a largo plazo pueda mantenerse sin degradar la tierra. Esto resulta particularmente importante si se considera la aplicación actual de la agroforestería en zonas de calidad marginal de la tierra y baja disponibilidad de los insumos. Estos sistemas son importantes para aumentar la productividad de las fincas al mejorar las relaciones complementarias entre los componentes del

predio, con condiciones mejoradas de crecimiento y un uso eficaz de los recursos naturales (Farrell & Altieri, 1997).

3.10 ¿Qué es un Sistema agroforestal?

Los sistemas agroforestales se pueden definir de varias formas. Una definición es la siguiente: “sistema basado en dinámica, ecología y en el manejo de los recursos naturales a través de la integración de árboles en propiedad y paisaje agrícola, con el fin de diversificar y sostener la producción con mayores beneficios sociales, económicos y ambientales” (Jose, 2009).

Por otra parte, la agroforestería se puede definir como el conjunto de técnicas de manejo de tierras, que implican la combinación de los árboles forestales, ya sea con ganadería o con cultivos (Sánchez, 1995). Además de acuerdo a Detlefsen & Somarriba (2015), es una forma de cultivo múltiple que satisface tres condiciones básicas, la primera condición es que existen al menos, dos especies de plantas que interactúan biológicamente, la segunda condición es que uno de los componentes debe ser una especie leñosa perenne y por último uno de los componentes es una planta manejada con fines agrícolas, incluyendo pastos.

3.11 Aplicación de los sistemas agroforestales

Los SAF son uno de los mecanismos para la adaptación al cambio climático debido a su diseño que promueve un microclima moderado bajo la sombra de los árboles, donde la temperatura en promedio puede disminuir de 2 a 5°C (Murgueitio et al., 2011). Una ventaja adicional de los SAF es que pueden evitar la deforestación al proveer productos maderables en tierras ya deforestadas.

Al implementar un sistema agroforestal de café bajo la sombra adecuada, se busca proteger la plantación de la acción directa de los rayos del sol, esto permite disminuir la pérdida de agua del suelo y del cultivo. Además, regula la temperatura del lugar, mejorando los niveles de fertilidad al incrementar la materia orgánica. Por otra parte si consideramos los efectos del cambio climático, un buen uso de la sombra aumenta la resiliencia de la planta, es decir, la capacidad que tiene un ecosistema para soportar las perturbaciones sin perder sus propiedades (Romero, 2018).

Otra aplicación de estos sistemas es el efecto que causan los árboles sobre los cultivos, ya que son considerados como un beneficio por interceptar las gotas de lluvia, disminuyendo el riesgo de erosión del suelo y posiblemente la disminución de esporas de enfermedades por salpique (Verbist et al., 2010). Además los árboles de sombra pueden ofrecer la posibilidad de reciclar los nutrientes que están profundos, fuera del alcance del cultivo, aprovechándolos de manera superficial evitando su lixiviación (Acuna, Van den Meersche, Rapidel, & Avelino, 2016).

Es importante destacar que algunas aplicaciones de la producción agropecuaria en asocio con árboles, pueden desempeñar un papel clave en la generación de alimentos de buena calidad, la rehabilitación de los ecosistemas degradados y la mitigación del cambio climático. También han propuesto aumentar la producción agropecuaria sin los efectos negativos de los sistemas industrializados (Gerber et al. 2013). Y con esto se tendrá un incremento en la entrada de nitrógeno por la presencia de especies arbóreas fijadoras de este elemento y mejorarían las propiedades físicas del suelo, incrementando la actividad microbiana por efecto de la penetración de las raíces de los árboles, factor que a su vez contribuye a la formación de agregados biogénicos del suelo (Nair, 2011).

Los SAF también tienen efecto pronunciado sobre la diversidad de especies de animales y plantas del bosque. De forma que al lograr un dosel más diverso, permite obtener niveles mayores y más compatibles de biodiversidad asociados a los bosques (Casanova-Lugo, Petit-Aldana, & Solorio-Sánchez, 2011). Por lo anterior se puede determinar que los sistemas agroforestales se pueden utilizar como herramienta para aumentar la cobertura forestal conectando los paisajes fragmentados.

3.12 Sistemas agroforestales como conectores de paisaje

Ante la fragmentación de los paisajes las iniciativas para la creación de áreas protegidas no son suficientes para la conservación de la biodiversidad, cuando éstas se encuentran aisladas y fragmentadas a causa de las actividades humanas. Debido a la interdependencia de los sistemas naturales, los diferentes componentes en el paisaje agrícola actúan como fichas en un rompecabezas que favorecen o interrumpen los procesos ambientales y ecológicos (Montagnini

et al., 2015). Por esta razón los SAF se pueden utilizar como herramienta para incrementar la cobertura forestal y conectar paisajes.

Al momento de aplicar la teoría de ecología de paisaje, permite evaluar la composición y configuración de los elementos del paisaje (usos de la tierra). Entender el comportamiento de los procesos ecológicos permite manipular esta configuración para minimizar los efectos negativos causados por la actividad del hombre. De forma que puede ayudar a disminuir los efectos del aislamiento y la pérdida de hábitat (Montagnini et al., 2015).

La ecología del paisaje propone el uso de estructuras vegetativas como mecanismos para favorecer la conservación de especies de plantas y animales. El propósito de dichas estructuras está destinado a incrementar la conectividad funcional del paisaje. Entre las estructuras sugeridas están las zonas de amortiguamiento, los corredores biológicos y los trampolines ecológicos por mencionar los más comunes (Wu, 2013).

La incorporación de SAF en el mosaico agrícola podría funcionar para la conservación de especies y deberían tener una vegetación similar a las de los fragmentos naturales. Sin embargo, como el principal objetivo de los SAF es la producción de cultivos agrícolas, éstos no pueden contener la misma estructura y composición de especies vegetales de los hábitats naturales. El valor de los SAF como herramienta para restaurar la conectividad del paisaje fragmentado surge cuando éstos son comparados con los sistemas de monocultivo y pasturas sin árboles como alternativa agrícola (Schroth et al. 2004).

3.13 Planificación Agroforestal de Fincas

Para conseguir con éxito el establecimiento de un SAF, es necesario llevar a cabo una adecuada planificación. La Planificación Agroforestal de Fincas (PAF) nos permite confeccionar un conjunto de decisiones basadas en el análisis de los objetivos del proyecto, para lograr las metas de manera eficiente, es una técnica que combina el diagnóstico y el diseño agroforestal, donde se realizan varias visitas de campo para determinar las fortalezas y debilidades del sitio, con el fin de elaborar una propuesta que se adapte a las condiciones de cada finca, optimizando el espacio para generar mayores ingresos al propietario (Somarriba, 2009).

En la parte de los diagnósticos el primero que se realiza es el diagnóstico biofísico, donde el objetivo es identificar las oportunidades y limitaciones de la finca para practicar la agroforestería, para esta parte se visualiza la finca en superficies es y drenajes naturales, variaciones notorias en suelos, sitios fuertemente erosionados, zonas expuestas al viento, zonas de protección y por último se reconstruye la historia de uso de la tierra, especialmente en las áreas con poblaciones arbóreas importantes (Somarriba, 2009).

El segundo diagnóstico es el agroforestal, en este caso el objetivo es determinar las interacciones entre las especies leñosas perennes y los otros componentes de los sistemas de producción que son más relevantes en la finca. El último diagnóstico a realizar es el social y económico, que tiene como fin determinar los objetivos, visión al futuro, oportunidades y limitaciones del grupo familiar, de la finca y de sus sistemas de producción (Somarriba, 2009).

Finalizados todos los diagnósticos, se obtiene la información suficiente para elaborar el mejor diseño de sistema agroforestal y al mismo momento aumentar la cobertura forestal para conectar diferentes paisajes. Este diseño permite la búsqueda de las oportunidades para manejar, en forma óptima, el componente leñoso en los sistemas de cultivo de la finca. Las oportunidades se evalúan razonando sobre la situación actual y sobre el potencial del componente leñoso para mejorar los diferentes sistemas de cultivo (Somarriba, 2009).

4. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1 Área de estudio

El estudio se realizó en la provincia de San José, cantón de Dota (Figura 2), específicamente en el poblado de Providencia, que se encuentra dentro del distrito de Copey, entre los 09°38'49" latitud Norte y 83°50'12" longitud Oeste (Imprenta Nacional, 2017). La altitud promedio del sitio ronda los 1800 msnm, con una temperatura promedio anual de 16,86 °C y una precipitación promedio que varía en el rango de los 2000 a los 3000 mm anuales (Mañosa, Solé, Álvarez, & Mairena, 2007).

Esta zona presenta un periodo seco de diciembre a marzo y una época lluviosa que abarca los meses de mayo a octubre. De acuerdo con la clasificación de las zonas de vida de Holdridge, el área de estudio tiene bosque pluvial montano (bp-M) y bosque muy húmedo montano bajo (bmh-MB) y en la cobertura vegetal presente se encuentran especies de las familias Araliaceae, Cunoniaceae, Ericaceae, Lauraceae, entre otras (Chinchilla, Alvarado, & Mata, 2011).

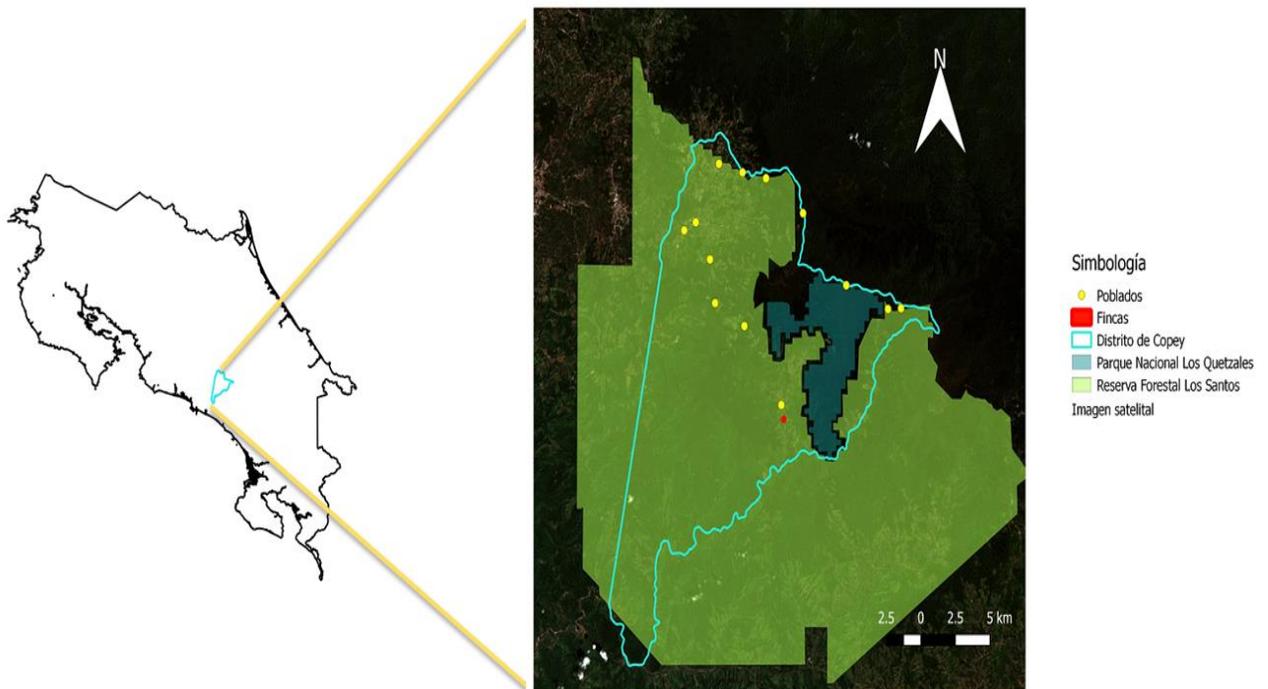


Figura 2. Ubicación del distrito de Copey, donde se ubican las fincas del proyecto.

En el sector de Providencia se presentan dos órdenes de suelos, de los cuales la mayor parte corresponde al orden ultisol. En este orden se agrupan los suelos desarrollados que además de tener una fertilidad baja, son suelos profundos, de color rojizo y presentan una acumulación de arcilla en el horizonte B (horizonte argílico), (Alvarado & Raigosa, 2012). Otra pequeña parte corresponde a suelos inceptisoles que se caracterizan por ser de más reciente formación, arcillosos, de color amarillo y con cierta fertilidad (Henríquez et al., 2009).

En el cantón de Dota la mayoría de la población habita en una zona rural. El tamaño de la población es de aproximadamente 7000 personas (Mañosa, Solé, Álvarez, & Mairena, 2007). La producción agrícola se sustenta mediante un gran número de pequeños productores, los cuales se agrupan en cooperativas. El 90% del producto interno de la zona proviene de la producción de café y esto hace que exista una dependencia económica muy fuerte de este producto, limitando otros procesos de desarrollo. El segundo cultivo en importancia que se trabaja en la zona es la mora, que se produce de forma orgánica (Mañosa, Solé, Álvarez, & Mairena, 2007).

El Parque Nacional los Quetzales tiene una extensión de 4117 ha y se distribuye altitudinalmente desde los 1240 msnm hasta los 3190 msnm, en la Cordillera de Talamanca. Se caracteriza por ser una zona de Bosque Nuboso (BN) y su topografía es muy abrupta debido a la proximidad de la Cordillera de Talamanca a la costa, a la densa red de drenaje y a la naturaleza de los materiales geológicos. Con respecto a la vegetación se han encontrado 979 especies, pero esta cantidad puede aumentar debido a la falta de inventarios. Hasta el momento se encuentran 38 especies endémicas para Costa Rica (Mañosa, Solé, Álvarez, & Mairena, 2007).

La Reserva Forestal los Santos fue creada mediante Decreto Ejecutivo N° 5389- A, del 28 de octubre de 1975. Cuenta con una extensión de 55935 ha. Es un área de gran diversidad y endemismos como resultado de las fuertes variaciones topográficas, además es el punto de contacto entre el Pacífico Central y la Amistad, fundamental como corredor biológico. La vegetación de la reserva está formada por bosque pluvial premontano (bp-PM), bosque pluvial montano bajo (bp-MB), bosque pluvial montano (bp-M) y páramo pluvial subalpino (pp – SA).

La flora más destacada es el roble, la sangre de toro, el gaulín y el cedro dulce (Mañosa, Solé, Álvarez, & Mairena, 2007).

Dentro del poblado de Providencia se trabajó con tres fincas ecológicas de café que pertenecen al proyecto Green Communities, es un proyecto de voluntariado que busca trabajar con las comunidades locales para aumentar la conciencia sobre los retos ambientales y de conservación que hoy en día nos afectan, buscando un cambio en la mentalidad de las personas y generando métodos sostenibles para mejorar la forma vida. Por medio de un cambio en las prácticas convencionales agrícolas que destruyen el ambiente, buscan restaurar el planeta a un estado más habitable y revertir los efectos del cambio climático (<https://greencommunities-cr.org/>).

Las fincas ecológicas de café con las que se trabajan son colindantes, con el objetivo de observar la conectividad que se puede generar entre ellas. La primera finca tiene el nombre de Biofábrica y cuenta con un área de 16182 m², la segunda finca se llama Santos Tour y posee un área de 9470 m² y por último la tercera finca del proyecto se conoce como la finca de Gerardo que tiene un área de 1923m².

4.2 Análisis del paisaje: determinación de índices de conectividad

Para determinar la conectividad existente entre en los diferentes hábitats en Providencia de Dota, se utilizaron imágenes satelitales Sentinel, obtenidas desde el servidor Sentinel Scientific Data Hub. Con la metodología propuesta por Bermúdez (2018) se determinaron los índices de conectividad del sitio, usando las métricas del paisaje (Cuadro 1) y el software de QGIS 2.18.16 con la herramienta Landscape Ecology Statistics (Lecos).

Cuadro 1. Métricas de paisaje y clase empleados para determinar los índices de conectividad del área de estudio.

Tipo	Métrica	Definición e interpretación
Métrica de diversidad	Índice de Diversidad de Shannon	<p>Analiza la diversidad paisajística. Entre más se aleja el valor de 1, la diversidad de clases va a ser mayor, mostrando el grado de fragmentación del paisaje.</p> <p>El índice será igual a cero cuando solo hay un parche en el paisaje y aumenta a medida que aumenta el número de tipos de parches o la distribución proporcional de los tipos de parches.</p> <p>Está disponible únicamente a nivel de paisaje.</p>
Métrica de diversidad	Índice de la uniformidad de Shannon	<p>Medida de distribución y abundancia de parches.</p> <p>Es igual a cero cuando la distribución de parches observada es baja y se aproxima a uno cuando la distribución de los tipos de parches se vuelve más pareja.</p> <p>Está disponible únicamente a nivel de paisaje.</p>
Métrica de densidad	Tamaño medio del parche	<p>El área de parche promedio sirve como un índice de fragmentación.</p> <p>Un paisaje con un área de parche media más pequeño para el tipo de parche objetivo que otro paisaje podría considerarse fragmentado.</p>
Métrica de densidad	Número de Parches	Se analiza a nivel de clase y de paisaje.

Fuente: Bermúdez (2018).

4.3 Análisis de la estructura y composición florística de las fincas ecológicas de café

Para las tres fincas ecológicas de café que pertenecen al proyecto Green Communities, se tomaron en cuenta las especies forestales que se encuentran en conjunto con el cultivo de café, determinando la estructura vertical por medio de diferentes estratos, según la metodología propuesta por la IUFRO (Lamprecht, 1990). Además, se comprobó la forma de copa de los individuos con la metodología propuesta por Villacorta (2013).

Se efectuó un inventario forestal en un bosque que pertenece a la empresa de Santos Tour, ubicado en Providencia de Dota, con el fin de obtener información sobre especies existentes en la zona y así determinar las posibles especies a utilizar en el diseño agroforestal.

Se utilizó un muestreo sistemático con arranque aleatorio sin estratificar, donde se establecieron parcelas rectangulares de 1000 m² (20m x 50m), con una intensidad de muestreo del 4%. En cada parcela se midió el diámetro a 1,30 m del suelo (d), la altura total y se identificaron las especies de todos los árboles superiores a los 10 cm de diámetro. Una vez obtenidos estos datos en campo, se determinó el área basal, la dominancia y la diversidad de especies por medio de las siguientes fórmulas:

Para el cálculo del área basal se utilizará la Ecuación 1.

$$G = \left(\frac{d}{100}\right)^2 * \frac{\pi}{4} \quad (1)$$

Dónde:

G : área basal (m²)

d : diámetro (m)

π : constante pi (3,14)

Para determinar la diversidad de las especies en las fincas y el bosque se utilizará la Ecuación 2.

$$H = -\sum_{i=1}^s \pi_i * \ln \pi_i \quad (2)$$

Dónde:

H: Índice de diversidad de Shannon

π_i : Proporción de individuos de cada especie en la comunidad.

ln: Logaritmo natural de N

Para la determinación de la dominancia de especies se utilizaron la Ecuación 3 y 4.

$$D_{Si} = \sum_{i=1}^S P_i^2 \quad (3) \quad P_i = \frac{n_i}{N} \quad (4)$$

Dónde:

P_i = La proporción de especies i dentro de una comunidad

n_i = número de individuos de la especie i

N = número total de individuos para todas las S especies en la comunidad

Fórmulas obtenidas de López, López, & Espinoza (2017).

Para el análisis respectivo de la estructura y composición florística de las fincas, se utilizó el software PAST versión 3.26. Con base en los datos obtenidos por medio del software, se procedió a realizar el análisis de los resultados.

4.4 Diseño del sistema agroforestal

Para diseñar el esquema agroforestal (modelo de producción) más adecuado, se incluyó la visión y objetivos que busca cumplir el proyecto Green Communities, formando un razonamiento lógico, tomando en cuenta todos los aspectos y la información recolectada del proyecto se procedió a utilizar la metodología de Planificación Agroforestal (PAF) de Somarriba (2009), para generar el modelo más adecuado bajo cuatro criterios importantes:

Productividad

Este criterio busca que la finca no se vea afectada al implementar el modelo, al contrario, se espera que el modelo sea productivo y optimice la producción de la finca generando mayores ingresos.

Factibilidad

Este criterio se usa para determinar que el sistema agroforestal es factible para el dueño de la finca, de forma que no se vea afectado y cumpla el objetivo de generar la conexión estructural entre las áreas protegidas.

Sostenibilidad

Este criterio es fundamental para que se cumpla el objetivo de conectar las áreas protegidas, el modelo debe ser sostenible permitiendo que las fincas no se vean afectadas.

Adoptabilidad

Este modelo se va a implementar en diferentes fincas, debido a esto se busca que más productores incorporen este sistema en las fincas para generar un aumento de la conectividad estructural de la zona.

Estos criterios generaron los conocimientos necesarios para obtener las mejores técnicas que se adapten a los sistemas agroforestales, de forma que no afecten el cultivo y aumenten la conectividad del sitio. Además los criterios son los que permitieron determinar las especies más adecuadas para cumplir los objetivos del proyecto.

Para complementar toda la información necesaria del proyecto se determinaron las condiciones ambientales y físicas de cada finca. Para el caso de las condiciones ambientales, se determinó la precipitación promedio, altura sobre el nivel del mar, temperatura promedio, zona de vida presente a través de información suministrada por el Atlas Digital de Costa Rica.

En el caso de las condiciones físicas de las fincas, se realizaron dos tipos de diagnósticos: uno biofísico para identificar las oportunidades y limitaciones de la finca para practicar la agroforestería y otro agroforestal para determinar las interacciones entre las especies leñosas perennes y los otros componentes de los sistemas de producción que son más relevantes en la finca.

Estos diagnósticos se realizaron con la ayuda de un GPS, donde se ejecutó un levantamiento del sitio para lograr conocer el área dedicada a cultivos, las áreas no productivas, la presencia de

ríos y pendientes. Además, se ubicaron espacialmente (mediante GPS) todas las especies forestales que se encontraron dentro del cultivo del café.

Adicionalmente, la empresa Santos Tour compartió los análisis de suelos necesarios para llevar a cabo el estudio de las fincas. Además, con ayuda de la herramienta Gap light analyzer se determinó el porcentaje de sombra que existe en los cafetales, la cantidad de muestras fue proporcional al tamaño de las fincas y se trabajó con una intensidad del 4% del total de las fincas, esto para las mediciones de sombra.

Para la selección de especies se utilizaron diferentes criterios, cada uno con peso específico (Cuadro 2), que permitieron establecer cuál especie es la más adecuada para el diseño del SAF. El valor de cada criterio se determinó tomando en cuenta la experiencia de diferentes productores y la revisión de literatura encontrada sobre las especies. Cada criterio posee un valor, donde 1 significa bajo, 2 regular, 3 intermedio, 4 muy bueno, 5 excelente que sería el valor más alto y la condición óptima que se busca para la especie.

Cuadro 2. Criterios para seleccionar la especie adecuada en un sistema agroforestal, (Creación propia).

Criterio	Valor (1,2,3,4,5)
Tamaño de copa del árbol	
Nivel sombra que produce el árbol	
Se adapta a las condiciones del sitio	
Árbol de uso múltiple	
Aporte nutricional al suelo	
Susceptible a plagas y enfermedades	
Tolerante a podas	
Competencia con el café	
Poca exigencia manejo	
Disponibilidad de semilla	
Total	

Para elaborar el diseño del SAF se debe considerar la opinión del productor en todo el proceso, sin embargo, en el proyecto se procedió a hablar con cada productor por separado una vez diseñado el sistema para explicar su funcionamiento, de forma que se tome en cuenta su opinión y si es necesario se puedan realizar cambios al diseño para poder establecerlo en la finca. Ya que lo más importante es demostrar la eficiencia del diseño creado y ayudar al productor de la finca a optimizarla.

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1 Paisaje del sector La Providencia en términos de fragmentación del bosque.

5.1.1 Cobertura forestal del distrito de Copey

Con base en las capas del atlas digital de Costa Rica y las imágenes satelitales se determinó el uso de suelo en el distrito de Copey (Figura 3). Dentro del área de estudio el 71,77% del área es ocupado por cobertura forestal. El valor encontrado es superior al promedio nacional de cobertura boscosa establecido por el inventario nacional forestal del año 2014 (Emanuelli *et al.*, 2016) Además, se observó que cerca de los poblados, la cobertura forestal disminuye en gran medida ya que el ser humano realiza sus actividades modificando el paisaje del sitio, causando un aumento en la fragmentación y alterando de esta forma el funcionamiento de los ecosistemas (Zepeda Gómez, Nemiga, Lot Helgueras, & Madrigal Uribe, 2012).

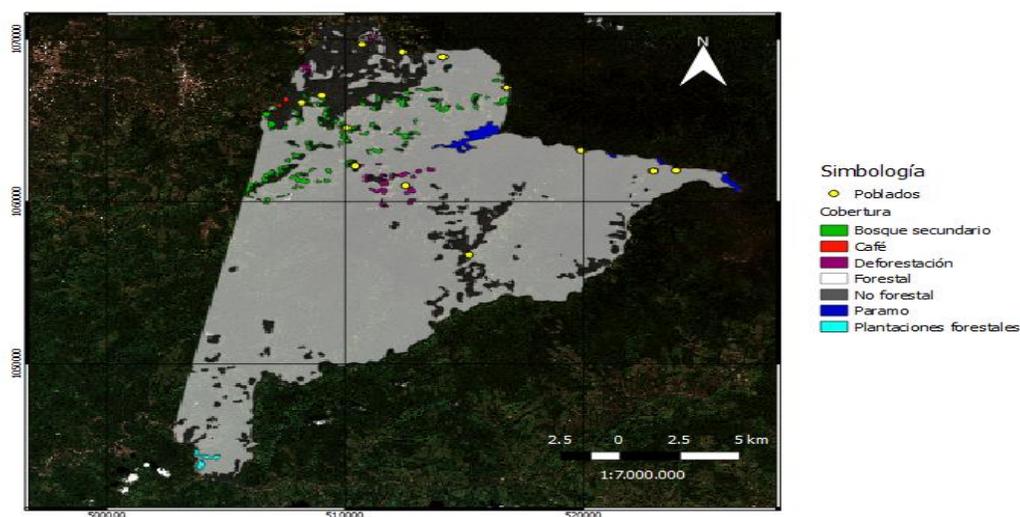


Figura 3. Tipo de cobertura que se encuentra presente en el distrito de Copey.

5.1.2 Índices de diversidad del paisaje

En el Cuadro 3 se observan los valores correspondientes a las métricas que permiten medir los índices de diversidad a nivel de paisaje. Para el índice de diversidad de Shannon se obtuvo un valor de 0,833 lo que indica que la diversidad de paisaje es poca ya que una gran parte del área está compuesta de cobertura forestal y entre más alejado se encuentre el valor de 1 la diversidad de clases va a ser mayor. Por otra parte, para el índice de uniformidad de Shannon el valor generado fue de 0,601 demostrando que existe una distribución baja y poco homogénea del paisaje afectando la fragmentación en el distrito de Copey (Bermúdez 2018).

Cuadro 3. Índices de diversidad de Shannon para el paisaje del distrito de Copey.

Métrica	Valor
Índice de Diversidad de Shannon	0,833
Índice de la uniformidad de Shannon	0,601

Un factor importante a tomar en cuenta para determinar la fragmentación de un sitio es el número de parches asociado al tamaño promedio de estos como se observa en el Cuadro 4. Un estudio realizado por Morera y Sandoval (2016) demostró que en áreas de conservación donde hay gran presencia de bosque maduro, el número de fragmentos es menor que en bosques con densidad más baja (menor número de árboles por hectárea), lo que concuerda con este estudio ya que el número de parches en el distrito de Copey es mayor para los bosques secundarios en comparación al bosque maduro.

Por otra parte, la actividad humana progresiva y desorganizada es un factor que afecta la fragmentación de los sitios y esto se aprecia en el número de parches para la clase no forestal (894 parches). El tamaño medio del parche para esta clase es de 0,0675 ha lo que indica que la fragmentación del sitio es alta, afectando severamente la biodiversidad y teniendo un impacto negativo en los procesos ecológicos. Para el bosque maduro se obtuvo que el tamaño promedio de los parches por hectárea fue de 11,54 y entre más pequeño sea este valor menor será la

densidad de las poblaciones y mayor el riesgo de extinción de especies dentro del paisaje (Morera, Pintó, & Romero, 2007).

Cuadro 4. Métrica de densidad y tamaño de parche según clase para determinar la fragmentación de paisaje en el distrito de Copey.

Nombre de clase	Clase	Tamaño medio de parche (ha)	Numero de parches
Bosque secundario	1	13,365	131
Bosque primario	2	11,5424	43
No forestal	3	0,0675	894

5.2 Estructura y composición florística de las fincas ecológicas de café.

A partir del censo de árboles realizado en las diferentes fincas ecológicas de café, se obtuvo la cantidad total de especies en las fincas (Cuadro 5). En el caso de Biofábrica se obtuvo la presencia de 6 diferentes especies donde la especie *Myrsine coriácea* fue la más abundante, de igual forma para la finca con el nombre de Santos Tour domino esta misma especie. Por último en la finca de Gerardo se encontraron 7 diferentes especies, siendo la *Annona cherimola*, la especie más abundante.

Cuadro 5. Cantidad de especies y número de individuos censados en las fincas de café ecológico en el sector de Providencia

Especie	Biofábrica	Santos tour	Gerardo
<i>Annona cherimola</i>	-	-	7
<i>Citharexylum donnell-smithii</i>	-	-	2
<i>Acnistus arborescens</i>	1	-	1
<i>Trema micrantha</i>	-	-	1
<i>Persea americana</i>	-	-	1
<i>Erythrina poeppigiana</i>	-	-	2
<i>Myrsine coriácea</i>	24	10	1
<i>Quercus copeyensis</i>	2	-	-
<i>Mauria heterophylla</i>	1	2	-
<i>Alfaroa costarricensis</i>	1	-	-
<i>Eriobotrya japónica</i>	5	-	-
<i>Dalbergia retusa</i>	-	1	-

<i>Croton draco</i>	-	1	-
<i>Cojoba membranaceae</i>	-	1	-
Total	34	15	15

Las especies encontradas tienen diferentes orígenes, en el caso de *Eriobotrya japónica*, *Dalbergia retusa*, *Annona cherimola* y *Persea americana* son especies plantadas por el hombre para cumplir una función ya sea para producción de alimento, madera o bien como cercas vivas. Por otra parte, hay especies que son árboles remanentes de bosque, donde una vez finalizado el aprovechamiento lograron mantenerse como el caso del *Quercus copeyensis*, *Alfaroa costarricense* y *Cojoba membranaceae*, las demás especies se ven beneficiadas por su fácil regeneración natural en los potreros y su distribución por los animales facilita su establecimiento en estos terrenos (Calvo-Villalobos, Bermúdez-Rojas, & Vega-Bolaños, 2019).

Establecer un cafeto con sombra en diferentes arreglos y disposiciones permite mejorar la calidad y sostenibilidad de las fincas cafetaleras, beneficiando a los productores para entrar en un mejor mercado a mayor precio (Noscue, 2014). Debido a esto, conocer la forma de copa de los árboles presentes en las fincas (Cuadro 6) es fundamental para mejorar el sistema agroforestal y poder asociar el árbol con los cultivos para que la competencia entre estos sea la menor posible.

Los árboles evaluados en la finca Biofábrica presentan buena forma de copa, con mayor frecuencia de la clase 3 (medio círculo). En las otras dos fincas se tiene el mismo resultado donde la forma de copa que predomina es la de medio círculo. Estos resultados afectan directamente la iluminación de la finca de forma que entre menos ramas tenga cada árbol el nivel de luz que llegue a los cultivos va a ser mayor (Villacorta, 2013).

Cuadro 6. Forma de copa de los árboles en las fincas ecológicas de café en Providencia.

Finca	Forma de copa				
	1	2	3	4	5
Biofabrica	7	9	12	6	0
Santos Tour	3	3	10	4	2
Gerardo	3	3	6	2	1

El manejo adecuado de los arboles utilizados como sombra en los cultivos de café, tienen una medida para que sean rentables para el productor y no afectar el rendimiento de la finca. Un porcentaje de sombra excesivo limita la producción del cafeto, sin embargo, un exceso de sol disminuye la vida del cultivo, por lo que se necesitaran más insumos para encontrar el estado óptimo del sitio (Noscue, 2014). El Cuadro 7 permite observar la distribución de altura de los árboles en las fincas, para la Biofábrica la mayor cantidad de árboles rondan entre los 5 metros haciendo que el cafeto no se vea afectado. En la finca de Santos Tour la altura de los arboles es mayor y ronda entre los 5 y 10 metros, sin embargo, la ubicación de los arboles hace que la competencia con el cultivo de café sea mínima y por último los árboles en la finca de Gerardo tiene una altura optima y no afectan el café. Los árboles que superan los 10 metros de altura son pocos y en su mayoría son usados como cercas vivas por lo que no interfieren con el crecimiento del cultivo.

Cuadro 7. Distribución de altura de los árboles en las fincas ecológicas de café en Providencia.

Finca	0-5 (m)	5-10(m)	>10 (m)
Biofabrica	17	14	3
Santos Tour	6	11	6
Gerardo	4	4	2

Seleccionar la especie adecuada para un sistema agroforestal es el factor más importante para lograr el éxito, de no escoger bien la especie se puede afectar producción del cultivo, y generar competencia hasta el punto de eliminar los cultivos. Se realizó un inventario forestal con el fin de conocer las especies que se adaptan a la zona y de esta manera seleccionar las especies adecuadas, aumentando la diversidad de las fincas para mejorar la conservación de nutrientes y proporcionar un hábitat a diferentes especies de animales, convirtiendo la agroforesteria en un modelo más factible, para imitar la sucesión natural y aumentar la biodiversidad de los ecosistemas (Moreno, 2012).

En el Cuadro 8 se muestran los índices de diversidad de especies Shannon – Weaver, Simpson y Dominancia cálculos a partir del inventario que se realizó, con el fin de seleccionar las especies más adecuadas. El índice de Shannon – Weaver fue de 2,642 que es similar al mencionado en un estudio de los bosques del valle central de Costa Rica, que fue de 2,925, esto indica que la diversidad de especies en el sitio es buena ya que valores mayores a 3 reflejan una diversidad alta, y en nuestro caso el resultado fue un poco menor (Cascante *et al.*, 2001). Para el índice de Simpson el valor obtenido fue de 0.907, que es mayor al reportado por un estudio de diferentes coberturas forestales según su piso altitudinal donde reportan un valor de 0,89, esto significa que la diversidad del sitio es alta, además el índice de dominancia fue de 0,093 dando a conocer que la dominancia del sitio es alta (Ortega, 2012).

Cuadro 8. Índices de diversidad de especies para el inventario forestal realizado en Providencia de Costa Rica.

Índice	Valor
Shannon_H	2,642
Dominance_D	0,093
Simpson_1-D	0,907

5.3 Sistema de producción agroforestal adecuado a las fincas de café para el mejoramiento de la conectividad del paisaje.

5.3.1 Estado actual de las fincas ecológicas de café

En el Cuadro 9 se observan las condiciones ambientales presentes en las 3 fincas ecológicas de café. La precipitación media en los tres sitios ronda entre los 2000 y 3000 mm anuales, este rango es óptimo para el cultivo de café ya que con menos de 1000 mm anuales se limita el crecimiento de la planta y con precipitaciones mayores a 3000 mm la calidad de taza comienza a verse afectada, además el control fitosanitario de la finca será más costoso (Instituto del Café de Costa Rica, 2011).

Por otra parte la elevación de las fincas está en el límite para la producción adecuada del cultivo del café ya que por encima de los 1700 msnm se presentan fuertes limitaciones en relación con el desarrollo de la planta. A pesar que la finca de Gerardo este por encima de este valor altitudinal el café no se ve afectado. El cultivo de café no se ve afectado por la temperatura del sitio debido a que se encuentra en el rango óptimo para el cultivo de café, temperaturas menores a los 10 grados provocan clorosis y afecta el crecimiento de las plantas (Instituto del Café de Costa Rica, 2011). Los otros factores como la zona de vida y el tipo de suelo no afectan el cultivo.

Al evaluar el pH del suelo en la finca de Santos Tour y Biofábrica se obtuvo un valor de 4,6, representa que el nivel de pH se encuentra bajo, esto se puede dar por el uso de fertilizantes nitrogenados generando acidez en el suelo (Chien, Gearhart, & Collamer, 2009). La finca de Gerardo tiene un pH de 6 un valor que se encuentra en el rango óptimo que va de 6-7 de acuerdo a la literatura. Conociendo el valor del pH se puede determinar la acidez del sitio ya que un valor bajo indica que la acidez de la finca es alta, por lo que una opción es aplicar enmiendas en el sitio para neutralizar el exceso y lograr estado óptimo para la finca, al contrario, un valor de pH por encima de 7 indica que la acidez del sitio es baja (Ortiz-Miranda, 2013).

Cuadro 9. Factores ambientales y físicos presentes en las fincas ecológicas de café en Providencia, Costa Rica.

Evaluar	Biofábrica	Santos Tour	Gerardo
Precipitación media (mm)	2000-3000	2000-3000	2000-3000
Elevación (m)	1700	1700	1800
Tipo de suelo	Ultisoles	Ultisoles	Ultisoles
Uso suelo	Café-Charral	Café	Café
Temperatura media (°C)	16-18	16-18	16-18
pH	4,8	4,8	6
Acidez	2,06	2,06	0,15
Zona de vida	Bosque muy húmedo montano bajo	Bosque muy húmedo montano bajo	Bosque muy húmedo montano bajo

Por medio de las visitas a campo en el área de estudio se logró determinar el estado actual en que se encontraban todas las fincas ecológicas de café, la Figura 4 representa el estado actual de la finca Biofábrica, se observa que el área efectiva (color gris) donde se encuentra el cultivo de café es de 7341 m², los árboles no tienen un patrón de siembra y la especie *Myrsine coriácea* es la que más se encuentra en el sitio. La variedad de café que se utiliza en esta finca es Catuaí rojo y su distanciamiento es de 1,5 x 1,5 metros. El cultivo de café se encuentra en buen estado fitosanitario. La parte de la finca que se encuentra en azul no puede ser utilizada para la siembra de café ya que su nivel de pendiente es elevado y la mejor opción es reforestar dicha área.

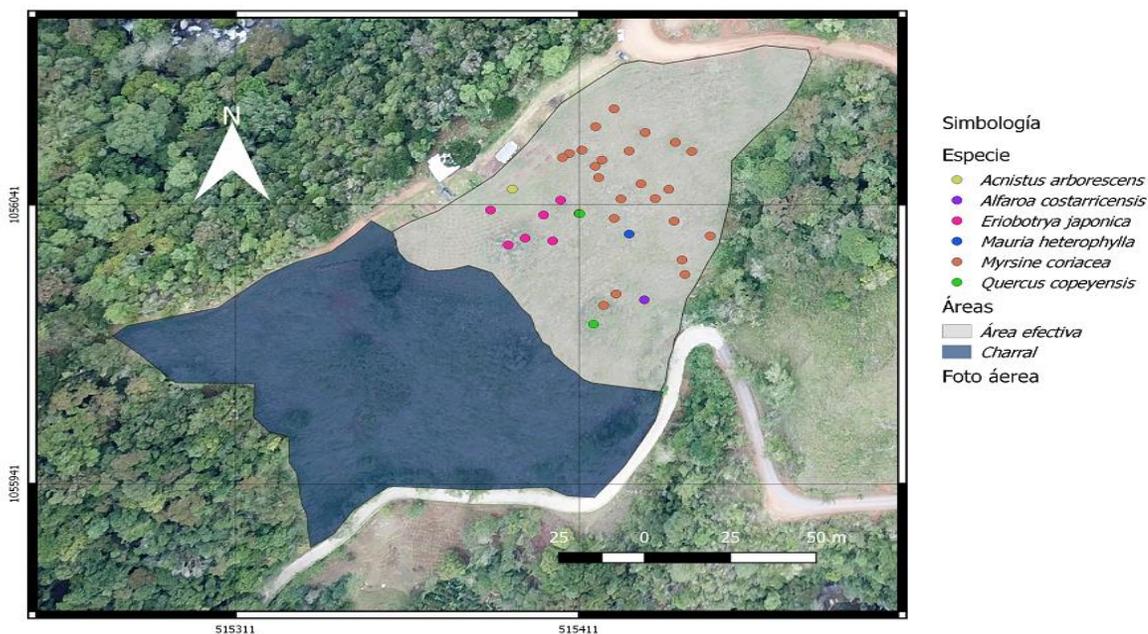


Figura 4. Estado actual de la finca Biofábrica ubicada en Providencia, Costa Rica.

La Figura 5 indica el estado actual de la finca de Santos Tour, el área efectiva (color amarillo) donde se encuentra el cultivo del café es de 9470 m², no hay mucha presencia de árboles y la especie que más se encuentra en el lugar es la *Myrsine coriacea*. La variedad de café utilizada es Catuaí rojo y su distanciamiento es de 1,5 x 1,5 metros, además su estado fitosanitario es muy bueno.

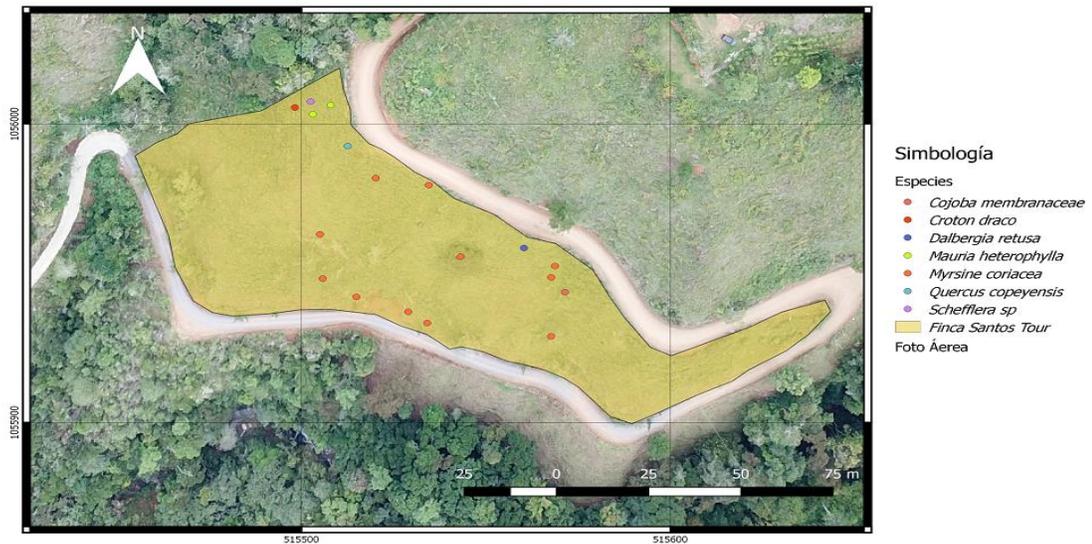


Figura 5. Estado actual de la finca de Santos Tour ubicada en Providencia, Costa Rica.

La última finca que se analizó en este estudio fue la finca de Gerardo (Figura 6), el área efectiva de la finca es de 1923 m², la variedad de café presente en la finca es Catuaí rojo, sin embargo, una parte se encontraba en mal estado por lo que se recomienda realizar una resiembra en el sector sur de la finca, para así completar la cantidad de plantas necesarias para asegurar el cultivo y generar un aporte importante para la mejora de la productividad del cafetal (Romero, 2018). La especie que más se presenta en la finca es la *Annona cherimola* y hay presencia de matas de banano que rondan los 4 metros de altura y generan sombra para la finca.

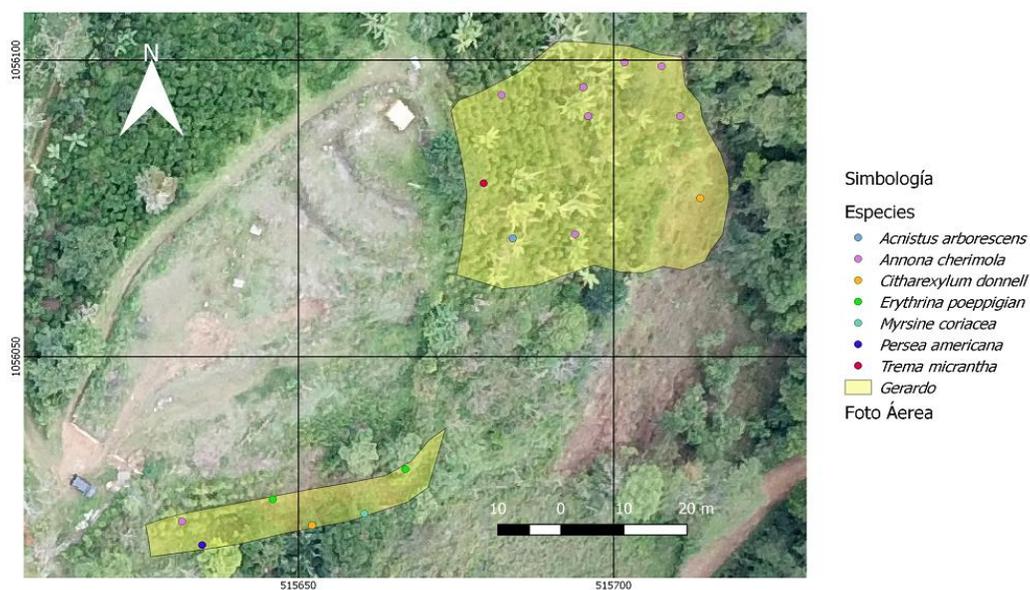


Figura 6. Estado actual de la finca de Gerardo ubicada en Providencia, Costa Rica.

De acuerdo al Instituto del café de Costa Rica (2011), el porcentaje de sombra óptimo para los cafetales es del 40%, y recomiendan hacer de uno a dos arreglos de sombra por año, sin embargo, en sitios de altura donde el nivel de nubosidad es alto este porcentaje de sombra es menor ya que la radiación que recibe el cultivo es menor (Farfan & Jaramillo, 2013). En el Cuadro 10 se observan los porcentajes de sombra para las fincas ecológicas de café, demostrando que el nivel de sombra es bajo para las 3 fincas, debido a los pocos individuos que hay presentes y esto se evidencia en el valor del área basal que es muy bajo, además las especies ubicadas en las fincas tienen la característica de tener una sombra que no es brusca con el cultivo. El valor del coeficiente de variación es muy alto para las tres fincas debido que los datos de sombra tenían una amplia variedad al querer tener una muestra representativa de todos los sitios (Valdés Restrepo, Ortiz Grisales, Vallejo Cabrera, & Baena García, 2014).

Cuadro 10. Calculo del porcentaje de sombra para las fincas ecológicas de café en Providencia, Costa Rica.

Finca	Variable evaluada				
	Área basal por hectárea (m ²)	Porcentaje de sombra (%)	Coeficiente de variación	Límite inferior	Límite superior
Biofabrica	0,58	28,18 ± 22,13	79,58	14,28	42,08
Santos Tour	0,77	21,01 ± 16,52	78,46	10,82	31,3
Gerardo	0,13	17,67 ± 10,52	59,53	10,38	24,96

5.3.2 Selección de las especies.

El Cuadro 11 permite observar la evaluación de las especies obtenidas en el inventario forestal para ser usadas en el SAF. La especie *Citharexylum donnell-smithii* obtuvo el valor más alto de clasificación ya que en los criterios evaluados tuvo un desempeño muy bueno y es una especie que no genera mucha competencia con el cultivo de café. Esta especie tiene la función de proveer alimento a muchas aves, de noche atrae a murciélagos que cumplen un papel muy

importante en la polinización de especies arbóreas, además sirve para estabilizar los suelos y como control de erosión (Rojas-Guerrero, 2010). Las otras especies seleccionadas son nativas y se adaptan muy bien en la zona, además son de uso múltiple sirviendo de alimento a la fauna (*Dendropax*, *Ocotea sp*, *Cecropia sp*), otras especies tienen potencial para madera (*Ulmus mexicana*, *Cedrela tonduzii*) y lo más importante son especies que no producen mucho nivel de sombra al café permitiendo un crecimiento óptimo.

Cuadro 11. Evaluación de la lista de especies del inventario forestal para determinar las especies óptimas para el sistema agroforestal.

Especie	Valor
<i>Citharexylum donnell-smithii</i>	37
<i>Cecropia sp</i>	34
<i>Ocotea sp</i>	34
<i>Dendropanax sp</i>	33
<i>Cedrela tonduzii</i>	32
<i>Trophis mexicana</i>	31
<i>Citronella costarricensis</i>	29
<i>Ladenbergia brenesii</i>	29
<i>Ficus tuerckheimii</i>	26
<i>Guarea microcarpa</i>	25

5.3.3 Diseño del sistema agroforestal.

En la Figura 7 se observa el diseño elaborado para las tres fincas de café ecológico, las tecnologías propuestas para el SAF son árboles en linderos y árboles dentro del cafetal. Lo que se busca con este diseño es generar la menor cantidad de sombra, ya que el cultivo del café se ve afectado a cambios abruptos de nivel de sombra, además esta técnica permite delimitar el área de la finca y podría evitar conflictos por la delimitación de la finca, una característica muy importante de esta técnica es que la competencia con los cultivos no es seria, además mejora el

valor económico de la finca y el valor estético del paisaje, ayudando el turismo del sitio. Este diseño lineal contribuye a disminuir la propagación de plagas y enfermedades forestales que puedan afectar el sistema (Detlefsen & Somarriba, 2015).

El diseño muestra las especies que se encuentran actualmente en las fincas (simbología de triángulo), y se observan las posibles especies a incluir en el SAF, se seleccionaron estas especies buscando la diversidad de la finca y tomando en cuenta las características del apartado anterior. En el caso de la *Cecropia sp* no se encontró en el inventario, sin embargo, se seleccionó por su importante papel con la fauna de la zona. La especie más usada en el diseño fue la *Ocotea sp*, ya que este género se conoce por servir como alimento para el quetzal, que es un ave característica de la zona buscando aumentar el turismo del sitio (Ávila et al., 1996).

Para la Biofábrica se propuso establecer la técnica de árboles en linderos con un distanciamiento mínimo de 20 metros entre cada árbol, debido a que esta finca posee mayor cantidad de árboles dentro del cultivo y se busca que el porcentaje de sombra no afecte el cafetal. En el centro de la finca se colocaron especies estratégicamente para aumentar la diversidad del sitio. Además en el sector de charral en la Biofábrica, se observa una simbología (Bosque de Biofabrica), que busca ser una posible opción para la reforestación de ese sector usando las especies que se encontraron en el inventario forestal (anexo 1), buscando un comportamiento similar a los bosques de la zona.

En el caso de la finca Santos Tour se estableció un sistema de árboles en lindero con un distanciamiento de 15 metros entre cada árbol, ya que la presencia de árboles en el cultivo es menor, permitiendo agregar más arboles sin que el cultivo se vea afectado. Para esta finca se seleccionaron 8 especies diferentes con una distribución aleatoria como se observa en la figura, con el objetivo de aumentar la diversidad, atraer la fauna al sitio y cumplir con los objetivos del proyecto. Para la finca de Gerardo se utilizó la técnica de árboles en cultivo ubicados estratégicamente para que el nivel de sombra sea óptimo en el cafetal, y permita la atracción de fauna en la finca.

El diseño permite agregar un total de 65 árboles y 9 diferentes especies arbóreas, se logra apreciar la conectividad que generan las fincas desempeñando una función importante en la

conservación de la diversidad animal y vegetal, generando un hábitat y alimento para muchas especies de animales. Al promover este diseño en la mayoría de las fincas del distrito de Copey, se observaría un aumento la cobertura forestal del sitio, de forma que ayude a disminuir la fragmentación del paisaje y sirva como conector estructural para formar un corredor biológico e imitar una sucesión natural aumentando la biodiversidad del ecosistema conectando de esta forma el Parque Nacional los Quetzales y la Reserva Forestal Los Santos. (Moreno, 2012).

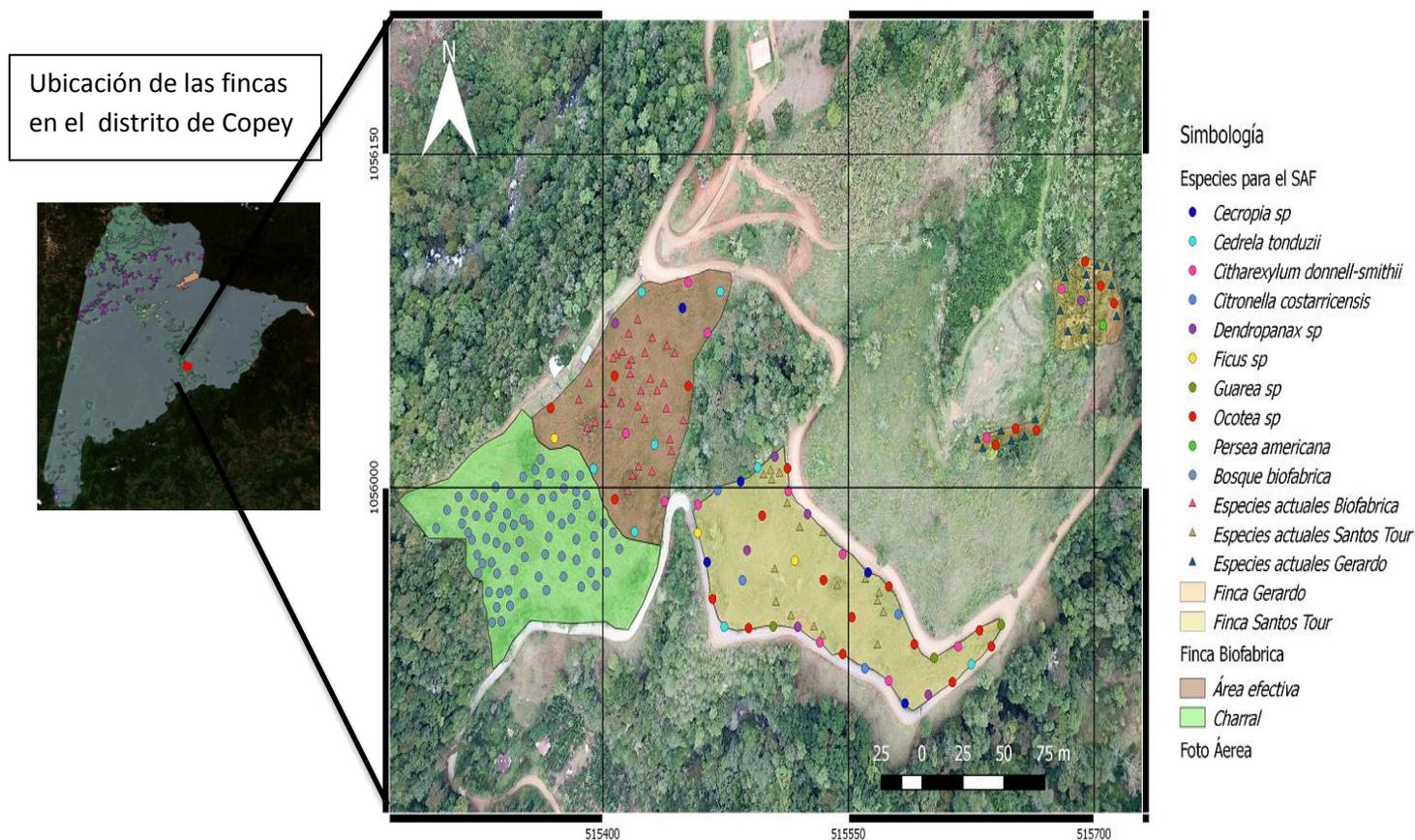


Figura 7. Diseño del sistema agroforestal propuesto para las fincas ecológicas de café ubicadas en Providencia, Costa Rica.

6. CONCLUSIONES

El paisaje en el distrito de Copey en términos de bosque se encuentra fragmentado, por lo que los sistemas agroforestales pueden cumplir un papel importante para la conectividad de los hábitats.

El número de parches para bosques maduros es menor en comparación con los bosques secundarios, dando a conocer que los bosques secundarios se encuentran más fragmentados.

Las especies actuales que se encuentran en las fincas no compiten con el cultivo del café y las condiciones físicas y ambientales permiten la adaptación de las especies seleccionadas para establecer el sistema agroforestal.

La tecnología seleccionada para establecer el sistema agroforestal fue la de árboles en lindero y árboles dentro del cafetal, además las especies usadas son de uso múltiple y no afectan los cultivos.

Las especies seleccionadas para el sistema agroforestal permiten la restauración de la diversidad de paisaje, mejorando la conectividad del sitio.

.

7. RECOMENDACIONES

1. Para futuros estudios se sugiere tomar en cuenta otro tipo de técnicas agroforestales, que permitan realizar una comparación y se pueda determinar que técnica es mejor dependiendo de las condiciones del sitio.
2. Fomentar la aplicación de sistemas agroforestales en las fincas para aumentar la cobertura forestal del país y aumente la diversidad de flora y fauna.
3. Estudiar el comportamiento de las especies forestales con el cultivo antes de implementar el diseño agroforestal.
4. Realizar estudios de fauna en sistemas agroforestales establecidos con el fin de demostrar la importancia de estos sistemas en la biodiversidad de los diferentes paisajes y en la conectividad funcional de los corredores biológicos.

8. REFERENCIAS

- Acuna, R., Van den Meersche, K., Rapidel, B., Avelino, J. (2016). Efecto de los árboles de sombra sobre el suelo, en sistemas agroforestales con café, incluyendo la fenología y fisiología de los cafetos. Recuperado de https://agritrop.cirad.fr/581648/1/Reporte_Sombra%20y%20fertilidad%20del%20suelo_Rev_Karel_BR%20_JA_BV_RV.pdf .
- Alvarado, A., Raigosa, J. (2012). Nutrición y fertilización forestal en regiones tropicales. Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo. San José, Costa Rica. 411 p.
- Arauz, I., Arias, A. (2016). Corredores biológicos como potenciadores del desarrollo local: Estudio de caso del corredor biológico alexander skutch. *Revista Universidad En Diálogo*, Vol, 6(1), 67-79. Recuperado de <https://www.revistas.una.ac.cr/index.php/dialogo/article/download/8449/9548?inline=1>
- Arroyo, V., Moreno, C., Galán, C. (2017). La ecología del paisaje en México: Logros, desafíos y oportunidades en las ciencias biológicas. *Revista Mexicana De Biodiversidad*, 88, 42-51.
- Avendaño, W. R. (2012). La educación ambiental (EA) como herramienta de la responsabilidad social (RS). *Revista Luna Azul*, (35), 94-115.
- Beck, M. A., & Sanchez, P. A. (1994). Soil phosphorus fraction dynamics during 18 years of cultivation on a typical paleudult. *Soil Science Society of America Journal*, 58(5), 1424-1431.
- Bennett, A., Blanch, J. (2004). Enlazando el paisaje: El papel de los corredores y la conectividad en la conservación de la vida silvestre. IUCN, San José, Costa Rica. 276p.

- Bermúdez Ruiz, G. (2018). Evaluación del cambio de uso de la tierra y fragmentación de la cobertura forestal en el corredor biológico lago arenal tenorio, mediante técnicas de teledetección, Costa Rica.
- De La Cruz, V., Contreras, M. (2019). Alteraciones ambientales por perturbaciones antropogénicas en dos fragmentos de bosques: Un sistema de agroforestería y un bosque natural secundario en regeneración. *Orbis Cognita*, 3(2), 57-72.
- Cáceres, D. M. (2015). Accumulation by dispossession and Socio Environmental conflicts caused by the expansion of agribusiness in Argentina. *Journal of Agrarian Change*, 15(1), 116-147.
- Calvo-Villalobos, J. E., Bermúdez-Rojas, T., & Vega-Bolaños, H. (2019). Dinámica de uso de suelo y sitios prioritarios para la restauración forestal del corredor biológico río tibás, costa rica. *Revista Geográfica De América Central*, (62), 138-163.
- Casanova-Lugo, F., Petit-Aldana, J., & Solorio-Sánchez, J. (2011). Los sistemas agroforestales como alternativa a la captura de carbono en el trópico mexicano. *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales Y Del Ambiente*, 17(1), 133-143.
- Cascante, M., Estrada, A. (2001). Composición florística y estructura de un bosque húmedo premontano en el Valle Central de Costa Rica. *Revista De Biología Tropical*, 49(1), 213-225.
- Ceccon, E. (2013). Restauración en bosques tropicales: Fundamentos ecológicos, prácticos y sociales Ediciones Díaz de Santos. Mexico. Recuperado de http://scifunam.fisica.unam.mx/mir/el/2013_libroRestauracion.pdf
- Chien, S. H., Gearhart, M. M., & Collamer, D. J. (2009). Acidez generada por los fertilizantes nitrogenados: Nueva evaluación de los requerimientos de cal. *EN: Informaciones Agronómicas*, 41, 16-17.

- Chinchilla, M., Alvarado, A., & Mata, R. (2011). Factores formadores y distribución de suelos de la subcuenca del río pirrís, Talamanca, Costa Rica. *Agronomía Costarricense: Revista De Ciencias Agrícolas*, 35(1), 33-57.
- Detlefsen, G., & Somarriba, E. (2015). Producción agroforestal de madera en fincas agropecuarias de centroamérica. *Sistemas Agroforestales. Funciones Productivas, Socioeconómicas y Ambientales, Serie Técnica. Informe Técnico*, 402, 21-43.
- Dourojeanni, M. (2016). Aprovechamiento del barbecho forestal en áreas de agricultura migratoria en la amazonía peruana. *Revista Forestal Del Perú*, 14(2)
- Programa REDD/CCAD-GIZ-SINAC. (2015). Inventario Nacional Forestal de Costa Rica 2014-2015. Resultados y Caracterización de los Recursos Forestales. Preparado por: Emanuelli, P., Milla, F., Duarte, E., Emanuelli, J., Jiménez, A. y Chavarría, M.I. Programa Reducción de Emisiones por Deforestación y Degradación Forestal en Centroamérica y la República Dominicana (REDD/CCAD/GIZ) y Sistema Nacional de Áreas de Conservación (SINAC) Costa Rica. San José, Costa Rica, 380 p
- Espejel Rodríguez, A., & Flores Hernández, A. (2012). Educación ambiental escolar y comunitaria en el nivel medio superior, Puebla-Tlaxcala, México. *Revista Mexicana De Investigación Educativa*, 17(55), 1173-1199.
- Fao. (1957). La agricultura migratoria. *Unasylva*, 11 (1), 3-4.
- Fao, F. (2012). Agriculture organization of the united nations. 2012. *FAO Statistical Yearbook*.
- Farfan, F., & Jaramillo, A. (2013). Sombrío para el cultivo del café según la nubosidad de la región. Centro Nacional de Investigaciones de Café, Colombia. Recuperado de <https://biblioteca.cenicafe.org/handle/10778/376>.

- Farrell, J. G., & Altieri, M. A. (1997). Sistemas agroforestales. Agroecología. Bases Científicas Para Una Agricultura Sustentable. (Ed. MA Altieri). CLADES/ACAO. La Habana, Cuba,, 163.
- Gerber, P. J., Steinfeld, H., Henderson, B., Mottet, A., Opio, C., Dijkman, J., Tempio, G. (2013). Tackling climate change through livestock: A global assessment of emissions and mitigation opportunities. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO).
- Giardina, C. P., Sanford, R. L., Dockersmith, I. C., & Jaramillo, V. J. (2000). The effects of slash burning on ecosystem nutrients during the land preparation phase of shifting cultivation. *Plant and Soil*, 220(1-2), 247-260.
- Guhl, A. (2009). Café, bosques y certificación agrícola en aratoca, santander. *Revista De Estudios Sociales*, (32), 114-125.
- Hansen, M. C., Potapov, P. V., Moore, R., Hancher, M., Turubanova, S., Tyukavina, A., Loveland, T. R. (2013). High-resolution global maps of 21st-century forest cover change. *Science*, 342(6160), 850-853.
- Henríquez, C., Cabalceta, G., Bertsch, F., Alvarado, A. (2009). Principales suelos de Costa Rica. Recuperado de http://www.mag.go.cr/biblioteca_virtual_ciencia/suelos-cr.html
- Instituto del Café de Costa Rica (ICAFFE). (2011). Guía técnica para el cultivo del café. Heredia, Costa Rica. Recuperado de <http://www.icafe.cr/wp-content/uploads/cicafe/documentos/GUIA-TECNICA-V10.pdf>
- Imprenta Nacional. (2017). División Territorial Administrativa de la República de Costa Rica. San José, Costa Rica. Recuperado de

https://www.imprentanacional.go.cr/editorialdigital/libros/historiaygeografia/division_17.pdf

- Jose, S. (2009). Agroforestry for ecosystem services and environmental benefits: An overview. *Agroforestry Systems*, 76(1), 1-10.
- Jose, S. (2012). Agroforestry for conserving and enhancing biodiversity. *Agroforestry Systems* 85:1-8.
- Lamprecht, H. (1990). Silvicultura en los trópicos: Los ecosistemas forestales en los bosques tropicales y sus especies arbóreas, posibilidades y métodos para un aprovechamiento sostenido. Eschbom, Alemania
- Ma. Lourdes Avila, H., V. Hugo Hernandez O., & Verlarde, E. (1996). The diet of resplendent quetzal (*pharomachrus moncinno mocinno*: Trogonidae) in a mexican cloud forest. *Biotropica*, , 720-72
- Mañosa, N. A., Solé, J. P., Àlvarez, N. P., & Mairena, H. A. (2007). Diagnósis socioambiental y presupuesto para el parque nacional los quetzales (Costa Rica).
- Martínez, A., DeClerck, F. (2013). El papel de los agroecosistemas y bosques en la conservación de aves dentro de corredores biológicos. *Revista de la Sociedad Mesoamericana para la Biología y la Conservación*. (14), 35-50.
- Moreno, R. (2012). Determinación y gestión forestal de un corredor biológicos para aves endémicas de bosques templados" hotspot" de biodiversidad. Universidad de Cordoba, España. Recuperado de <https://helvia.uco.es/xmlui/bitstream/handle/10396/8895/2013000000689.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- Morera-Beita, C., & Sandoval-Murillo, L. (2016). Evaluación de la cobertura boscosa en Costa Rica: Un análisis a nivel de áreas de conservación en el año 2000. *Revista Geográfica De América Central*, 1(56), 163-182. <https://doi.org/10.15359/rgac.1-56.7>
- Morera, C., Pintó, J., & Romero, M. (2007). Paisaje, procesos de fragmentación y redes ecológicas: Aproximación conceptual. *Corredores Biológicos: Acercamiento Conceptual Y Experiencia En America*, , 11-47.
- Montagnini, F; Somarriba, E; Murgueitio, E; Fassola, H; Eibl, B. (2015). *Sistemas Agroforestales. Funciones Productivas, Socioeconómicas y Ambientales. Serie técnica. Informe técnico 402.* CATIE, Turrialba, Costa Rica. Editorial CIPAV, Cali, Colombia. 454p.
- Murphy, S., Burch, D., & Clapp, J. (2012). El lado oscuro del cereal. *Las Mayores Comercializadoras Del Mundo Y La Agricultura Mundial*. Recuperado de <http://www10.iadb.org/intal/intalcdi/PE/2012/12175.pdf>
- Nair, PKR. 2011. Agroforestry systems and environmental quality: Introduction. *Journal of Environmental Quality* 40:784-79
- Noscue, E. A. (2014). Adopción de los sistemas agroforestales con el cultivo del café (coffea arábica). La Plata, Huila. Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD). 1 – 71.
- Noss, R. F. (1993): Wildlife corridors. En: Smith, D.S. y Hellmond, P.C. (eds). *Ecology of greenways. Design and function of linear conservation areas.* University of Minnesota Press, Minneapolis: 43-68.
- Organización de las Naciones Unidas Para la Alimentación y la Agricultura. (2018). *Términos y Definiciones FRA 2020*. Recuperado de: <http://www.fao.org/3/I8661ES/i8661es.pdf>

- Ortega, M. (2012). Ecología del paisaje y caracterización de la cobertura forestal, según piso altitudinal de la microcuenca del río la balsa, Costa Rica, para establecer criterios para el manejo integrado de cuencas. Cartago, Costa Rica. Recuperado de https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/2968/Informe_Final.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Ortiz, R. (2013). Evaluación de dosis y fuentes de enmiendas calcáreas en la fertilidad del suelo y el crecimiento de piña en finca tres amigos, Pital, San Carlos, Costa Rica. Recuperado de <https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/4037/EVALUACION%20Y%20FUENTES%20DE%20ENMIENDAS.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Osorio, C. R., Hernández, D. C., & Duque, J. L. (2012). Corredores biológicos una estrategia de recuperación en paisajes altamente fragmentados. Estudio de caso microcuenca la bolsa, municipio de marinilla. *Gestión Y Ambiente*, 15(1), 7-18.
- Quiroga, F. G., & Soria, J. A. (2014). Los corredores ecológicos y su importancia ambiental: Propuestas de actuación para fomentar la permeabilidad y conectividad aplicadas al entorno del río cardeña. *Observatorio Medioambiental*, 17, 253.
- Ríos, O. V. (2011). Restauración ecológica: Biodiversidad y conservación. *Acta Biológica Colombiana*, 16(2), 221-246.
- Rojas, C. (2010). Propuesta para restauración de la zona de los diques, reserva nacional río reventado, Cartago, Costa Rica. Recuperado de https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/3003/Informe_final.pdf?sequence=1&isAllowed=y

- Romero, J. (2018). Técnicas de producción de café. República Dominicana. Recuperado de <http://procagicard.com/download/45/modulo-1-contexto-del-cultivo-de-cafe-en-la-republica-dominicana-y-el-mundo-produccion-de-plantas-y-manejo-deplantaciones/1105/1-3-tecnicas-de-produccion-de-cafe.pdf>
- Roy, A., Shanthala, S., Debnath, B., Murthy, R. (2010). Geospatial model for identification of potential ecological corridor in Orissa. Special issue on Biodiversity and Landscape Ecology. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*. 38(3), 387-399. doi 10.1007/s12524-010-0042-6
- López, A., López, G., Espinoza, M. (2017). Propuesta de un índice de diversidad funcional: Aplicación a un bosque semideciduo micrófilo de cuba oriental. *Bosque (Valdivia)*, 38(3), 457-466.
- Sánchez, Á R., Ulloa, K. H., & Marques, R. A. (2012). El impacto de la producción de café sobre la biodiversidad, la transformación del paisaje y las especies exóticas invasoras. *Ambiente Y Desarrollo*, 16(30), 93-104.
- Sánchez, P. A. 1995. Science in Agroforestry. Netherlands. *Agroforestry Systems*. 30: 5-55
- Silvetti, F., & Cáceres, D. M. (2015). La expansión de monocultivos de exportación en argentina y costa rica: Conflictos socioambientales y lucha campesina por la justicia ambiental. *Mundo Agrario*, 16(32).
- Sistema Nacional de Áreas de Conservación (SINAC). (2010). Plan Estratégico Sistema Nacional de Áreas de Conservación-SINAC 2010-2015. San José, Costa Rica: Ministerio de Ambiente, Energía y Telecomunicaciones-MINAET

- Somarriba, E. (2009). *Planificación agroforestal de fincas*. Turrialba, Costa Rica. CATIE
Recuperado de: http://simas.org.ni/media/PAF_Libro_Impreso.pdf
- Valdés Restrepo, M. P., Ortiz Grisales, S., Vallejo Cabrera, F. A., & Baena García, D. (2014). Variabilidad en frutos y semillas de Cucurbita moschata Duch, y Curcubita argyrosperma subsp. sororia L.H. Bailey Merrick & D.M. Bates. *Acta Agronómica*, 63(3), 282-293.
- Vargas, O. (2007). *Guía metodológica para la restauración ecológica del bosque altoandino*. Universidad Nacional De Colombia. Bogotá.
- Verbist, B., Poesen, J., van Noordwijk, M., Suprayogo, D., Agus, F., & Deckers, J. (2010). Factors affecting soil loss at plot scale and sediment yield at catchment scale in a tropical volcanic agroforestry landscape. *Catena*, 80(1), 34-46
- Viglizzo, E. F. (2010). Dinámica de la frontera agropecuaria y cambio tecnológico. *Expansión De La Frontera Agropecuaria En Argentina Y Su Impacto Ecológico-Ambiental*, 9-16.
- Villacorta Flores, A. (2013). Análisis de la estructura horizontal y composición florística de dos bosques secundarios en la carretera Iquitos-nauta, Loreto, Perú.
- Wu, J.J. 2013. Landscape ecology. In: Leemans, R. (Ed.). *Ecological Systems*. Nueva York, Springer New York. Pp. 179-200.
- Zepeda Gómez, C., Nemiga, X. A., Lot Helgueras, A., & Madrigal Uribe, D. (2012). Análisis del cambio del uso del suelo en las ciénegas de lerma (1973-2008) y su impacto en la vegetación acuática. *Investigaciones Geográficas*, (78), 48-61.

9. ANEXOS

Anexo 1. Lista de especies que se encontraron en el inventario forestal en Providencia, Costa Rica.

<i>Especies</i>
<i>Cedrela tonduzii</i>
<i>Cinnamomun sp</i>
<i>Citharexylum donnell-smithii</i>
<i>Citronella costarricensis</i>
<i>Claudia sp</i>
<i>Dendropanax sp</i>
<i>Ficus tuerckheimii</i>
<i>Guarea microcarpa</i>
<i>Ladenbergia brenesii</i>
<i>Laura sp</i>
<i>Ocotea sp</i>
<i>Solanum sp</i>
<i>Sorocea sp</i>
<i>Symphonia sp</i>
<i>Trophis mexicana</i>
<i>Ulmus mexicana</i>
