INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA

ESCUELA DE INGENIERÍA FORESTAL

DISEÑO DE UN SISTEMA SILVOPASTORIL EN ÁREAS DE POTRERO, FINCA LARA, COLIBLANCO, CARTAGO, COSTA RICA

TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE INGENIERA FORESTAL CON ÉNFASIS EN MANEJO Y PRODUCCIÓN FORESTAL CON EL GRADO ACADÉMICO DE LICENCIATURA

KISHA NOELY ESQUIVEL PRADO

CARTAGO, COSTA RICA

NOVIEMBRE 2024

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA

ESCUELA DE INGENIERÍA FORESTAL

DISEÑO DE UN SISTEMA SILVOPASTORIL EN ÁREAS DE POTRERO, FINCA LARA, COLIBLANCO, CARTAGO, COSTA RICA

TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE INGENIERA FORESTAL CON ÉNFASIS EN MANEJO Y PRODUCCIÓN FORESTAL CON EL GRADO ACADÉMICO DE LICENCIATURA

KISHA NOELY ESQUIVEL PRADO

CARTAGO, COSTA RICA

NOVIEMBRE 2024

DISEÑO DE UN SISTEMA SILVOPASTORIL EN ÁREAS DE POTRERO, FINCA LARA, COLIBLANCO, CARTAGO, COSTA RICA.

Kisha Noely Esquivel Prado*

Resumen

La Finca Lara posee grandes extensiones de terreno para actividades de ganadería de carne, sin embargo, en sus lotes existe casi únicamente potreros, sin poseer una conectividad y diversidad del paisaje. Esto ha generado a lo largo de los años problemas ambientales como la pérdida de agua y de suelo, además de la degradación del sitio y una productividad menor al potencial existente. Con este trabajo se diseñó un sistema silvopastoril modelo, para uno de los lotes de la finca, incluyendo en ese diseño los intereses y necesidades del productor para resolver o contribuir de manera positiva a las problemáticas encontradas.

Este diseño se realizó siguiendo la metodología de Planificación Agroforestal de Fincas, donde se diagnosticó el lote para determinar sus características y su potencial para proponer el diseño, utilizando búsquedas bibliográficas e información de la empresa y otras, se recomendaron las especies posibles, los viveros y otras características importantes del diseño como un resumen de los costos de la propuesta y su adoptabilidad para la empresa propietaria. Se logró proponer un diseño acorde con las condiciones del sitio generando un mapa demostrativo de la propuesta, la distribución, especies, cantidad y detalles específicos como costos, espaciamientos y argumentos de las recomendaciones fueron descritos en diferentes cuadros y párrafos.

Palabras clave: Agroforestería, Biodiversidad, Planificación.

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

Abstract

The Lara Farm has large tracts of land for beef cattle farming activities; however, its lots are almost exclusively pastures, without having connectivity and diversity of landscape. This has generated over the years environmental problems such as water and soil loss, in addition to site degradation and lower productivity than the existing potential. With this work, a model silvopastoral system was designed for one of the farm's lots, including in this design the interests and needs of the producer to solve or contribute positively to the problems found.

This design was carried out following the methodology of Agroforestry Farm Planning, where the lot was diagnosed to determine its characteristics and its potential to propose the design, using bibliographic searches and information from the company and others, the possible species, nurseries and other important characteristics of the design were recommended as a summary of the costs of the proposal and its adoptability for the owner company. A design was proposed in accordance with the site conditions, generating a demonstration map of the proposal, the distribution, species, quantity and specific details such as costs, spacing and arguments for the recommendations were described in different tables and paragraphs.

Keywords: Agroforestry, Biodiversity, Planning.

*Esquivel Prado, K. 2024. Diseño de un sistema silvopastoril en áreas de potrero, Finca Lara, Coliblanco, Cartago, Costa Rica. Tesis de Licenciatura. Escuela de Ingeniería Forestal, Instituto Tecnológico de Costa Rica, Cartago, Costa Rica.

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, M. Sc. Maribel Jiménez Montero y M.Sc. Dorian Carvajal Vanegas como requisito parcial para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Forestal con énfasis en Manejo y Producción Forestal , del Instituto Tecnológico de Costa Rica.

MARIO GUEVARA BONILLA (FIRMA)
Firmado digitalmente por MARIO GUEVARA BONILLA (FIRMA)
Fecha: 2024.11.28 12:34:23 -06'00'

Mario Guevara Bonilla M. Sc.

Director de tesis

MARIBELL JIMENEZ MONTERO (FIRMA)
Firmado digitalmente por MARIBELL JIMENEZ MONTERO (FIRMA)
Fecha: 2024.11.28 20:10:04 -06'00'

Maribel Jiménez Montero M. Sc.

Profesora lectora

TEC | Tecnológico de Costa Rica
Firmado digitalmente por DORIAN MAURICIO CARVAJAL VANEGAS (FIRMA)
Fecha: 2024.11.28 08:22:36 -06'00'

Dorian Carvajal Vanegas M.Sc.

Profesor lector

TEC | Tecnológico de Costa Rica
Firmado digitalmente por DORIAN MAURICIO CARVAJAL VANEGAS (FIRMA)
Fecha: 2024.11.27 11:05:19 -06'00'

Dorian Carvajal Vanegas M.Sc.

Coordinador Trabajos Finales de Graduación

Kisha Esquivel Prado

Kisha Noely Esquivel Prado

Estudiante

Dedicatoria

Este trabajo y todo mi proceso universitario quiero dedicarlo primeramente a Dios, por haberme dado la oportunidad de entrar en una universidad como esta y cumplir un sueño personal, por darme la salud, la disciplina y la constancia para llegar hasta aquí. Por darme la fortaleza y sabiduría para tomar las oportunidades que se presentaban y para afrontar las dificultades y momentos de crisis en tantos años.

A mi familia, les dedico y comparto con ellos este triunfo. Porque siempre estuvieron presentes, apoyándome en todo lo posible y sin ellos no podría haber llegado hasta aquí. Siempre me mantuvieron motivada cuando lo necesitaba, siempre estuvieron ahí para ayudarme y apoyarme en cualquier situación, siempre tuve un lugar seguro al que llegar después de días duros en la U, comida caliente, momentos de distracción y felicidad gracias a ellos. Estuvieron en las trasnochadas y madrugadas acompañándome, dándome consejos, ayudándome en las giras, trabajando conmigo. Por eso y todo lo demás que pasamos juntos, este logro lo comparto con ustedes.

Agradecimientos

A Walter Méndez, por todo el apoyo y la confianza puesta en mi para este proyecto y por recibirme tan amablemente y compartir su conocimiento conmigo. También a la empresa Hacienda Juan Viñas S.A por brindarme la oportunidad para realizar mi trabajo final.

A la Escuela de Ingeniería Forestal, por ser un lugar de apoyo a los estudiantes, con personal muy muy colaborador y cercano que de una u otra manera transmiten su conocimiento, apoyan y están ahí para nosotros. Específicamente agradecerle a mi tutor Mario Guevara y a Maribel Jiménez, Dorian Carvajal y Luis Acosta por el conocimiento que compartieron conmigo amablemente, por los consejos, la guía y los ánimos en todo este proceso.

A todas esas personas que de una u otra manera estuvieron en estos años ayudándome.

Tabla de contenido

Resumen I
Abstract II
Dedicatoria IV
Agradecimientos IV
1. Introducción 1
2. Objetivos 3
2.1 Objetivo General 3
2.2 Objetivos Específicos 3
3. Material y métodos 4
3.1 Área de estudio 4
3.2 Caracterización a nivel biofísico, agroforestal y socioeconómico del lote de la Finca Lara 5
3.3 Propuesta de elementos clave como especies, disposición de individuos, densidad y arreglos que mejor se adecúen a la zona y sus costos 9
3.4 Adoptabilidad de la propuesta 11
4. Resultados 13
4.1 Caracterización a nivel biofísico, agroforestal y socioeconómico del lote de la Finca Lara 13
4.2 Propuesta de elementos clave como especies, disposición de individuos, densidad y arreglos del diseño agroforestal que mejor se adecúen a la zona y sus costos 19
4.3 Adoptabilidad de la propuesta 26
5. Discusión 27
5.1 Caracterización a nivel biofísico, agroforestal y socioeconómico del lote de la Finca Lara 27
5.2 Propuesta de diseño silvopastoril 29
5.3 Adoptabilidad de la propuesta 31
6. Conclusiones 33
7. Recomendaciones 34
8. Referencias 35

Índice de cuadros

Cuadro 1. Parámetros para determinación de capacidad de uso de suelo y métodos de medición 6
Cuadro 2. Ponderación de análisis de adoptabilidad 11
Cuadro 3. Determinación de factores limitantes de la capacidad de uso de la tierra en el lote, Finca Lara, Cartago 15
Cuadro 4. Análisis FODA Finca Lara, Cartago 18
Cuadro 5. Características del historial de uso de la tierra de la Finca Lara, Cartago 18
Cuadro 6. Costos de producción de la actividad ganadera en la Finca Lara 19
Cuadro 7. Sitios de producción de especies forestales adaptables a la zona 24
Cuadro 8. Costos de establecimiento aproximados para la propuesta definida 25
Cuadro 9. Análisis de adoptabilidad de la propuesta 26

Índice de figuras

Figura 1. Ubicación de la Finca Lara y lote seleccionado 4
Figura 2. Mapa de uso actual del lote, Finca Lara, Cartago 13
Figura 3. Condición del agua en los potreros 14
Figura 4. Grupo de madres y crías dentro del lote 14
Figura 5. Resultados de análisis de suelos 16
Figura 6. Área de potrero sin arboles 17
Figura 7. Propuesta de diseño para el sistema silvopastoril del lote, Finca Lara, Cartago 20
Figura 8. Ejemplo de zona de protección para conectividad 22
Figura 9. Ejemplo de árboles maderables en fila de ciprés y cedro dulce 23

1. Introducción

El cambio de uso de la tierra, la implementación de prácticas no sostenibles o degradantes y la ausencia de cobertura arbórea en los suelos, son algunas de las causas del deterioro ambiental [1]. La deforestación a nivel mundial ha aumentado y cada vez genera más problemas, no solo a nivel ambiental, sino social y económico [2]. En el caso de la ganadería tradicional, las prácticas y el manejo inadecuado causan el deterioro de los recursos y la fragmentación del paisaje[3]. El pastoreo intensivo reduce la infiltración, aumenta la escorrentía superficial y cambia el comportamiento de los cauces de agua [4], además de generar otras problemáticas.

La agroforestería, es un uso de la tierra con alto potencial para restaurar las áreas degradadas y a su vez mantener una producción sostenible. Este tipo de sistemas están siendo recomendados para diversos sectores productivos como la ganadería y los cultivos agrícolas [1], [2]. El establecimiento e implementación de estas tecnologías generan una serie de aportes como lo son la diversificación de productos en una sola propiedad que posibiliten aumentar las ganancias y bajar el riesgo económico del productor, además de beneficios ambientales como la regulación micro climática y fijación de carbono [5], conservación y aumento de la biodiversidad dentro de las fincas y la protección de los recursos suelo y agua [6], [7].

Dentro de los sistemas agroforestales, se encuentran los sistemas silvopastoriles en donde varios componentes del sistema productivo y uso de tierra comparten el espacio y el tiempo [5], [8] y poseen una relación entre especies vegetales leñosas, no leñosas y animales. En el caso de la ganadería se combinan los pastos, el ganado y los árboles con diferentes usos como leña, madera, sombra, forraje o frutos,[9],[10]. La adopción de sistemas silvopastoriles en las fincas ganaderas permite un manejo sostenible de las mismas[11]y potencia los beneficios económicos, sociales y ambientales gracias a los diseños de fincas[12]. Las especies utilizadas para estos sistemas han sido evaluadas en países como Brasil, Venezuela, Colombia, Cuba y Costa Rica, determinando las características que deben desempeñar dichas especies para cumplir con los objetivos de los sistemas, como resistencia a plagas, adaptación, crecimiento y otros [13], [14], [15].

Para obtener los beneficios y aportes mencionados, en Costa Rica se ha utilizado la metodología de Planificación Agroforestal de Fincas (PAF) y la Metodología de capacidad de uso de las tierras, para la ordenación, manejo y caracterización de los recursos [16], [17].

Esto con el fin de adecuar los diseños, especies, manejo u otras características del sistema a las cualidades del sitio como texturas, composición, drenaje y capacidad de sitio. Ya que cada propiedad y propietario tiene necesidades y posibilidades diferentes, las cuales deben ser tomadas en cuenta[16], [17] .

La Finca Lara, ubicada en Coliblanco y Santa Teresa en Cartago, propiedad de la Hacienda Juan Viñas S.A, posee alrededor de 556 ha y 4252,95 m^2[18], las cuales se dividen en potreros para ganadería extensiva de carne y áreas de bosque. El objetivo del presente trabajo fue diseñar un sistema silvopastoril con el fin de brindar herramientas para el manejo sostenible de la finca y sus diferentes usos, al cambiar las prácticas tradicionales y mejorar ambientalmente las labores productivas diversificando el sistema. Ya que en los últimos años se ha visto un deterioro de la finca, las fuentes de agua y biodiversidad cercana están siendo alteradas por las prácticas actuales.

2. Objetivos

2.1 Objetivo General

Diseñar un sistema silvopastoril en potreros de un lote de la Finca Lara, Coliblanco, Cartago.

2.2 Objetivos Específicos

- Caracterizar a nivel biofísico, agroforestal y socioeconómico un lote de la finca.
- Proponer elementos clave como especies, disposición de individuos, densidad y arreglos del diseño agroforestal que mejor se adecúen a la zona y sus costos.
- Análisis de adoptabilidad del sistema agroforestal propuesto.

3. Material y métodos

3.1 Área de estudio

El proyecto se realizó en la Finca Lara, ubicada en la provincia de Cartago, en los cantones de Alvarado y Jiménez, distritos de Capellades y Juan Viñas, entre los poblados de Coliblanco, Santa Teresa y El Sitio (figura 1). La propiedad se localiza en la hoja cartográfica Istarú y Tucurrique entre las coordenadas 9° 56’ 26.98’’N y 83° 46’ 32.36’’ O. La finca colinda según el plano catastrado y Google Earth [19], al norte con el río Coliblanco y Turrialba, al sur con el río la Maravilla y otros propietarios, al este con bosque y otras fincas de la Hacienda Juan Viñas S.A y al este con otros propietarios y calle pública.

El sitio posee una altitud de 1730 msnm aproximadamente, una temperatura mínima promedio de 12° C y una máxima de 24° C, con una precipitación media anual entre 1500 y 2200 mm, una humedad relativa de 70% y vientos de 24,2 km/h máximo [20], [21]. En cuanto a las zonas de vida de Holdridge, la finca se divide en bosque muy húmedo premontano y bosque muy húmedo montano bajo, además tiene suelos poco evolucionados, de cenizas volcánicas, pesados y poco profundos, compactos y con pedregosidad. Posee una topografía variada, con pendientes pronunciadas en algunas zonas y otras con terrenos planos [22].

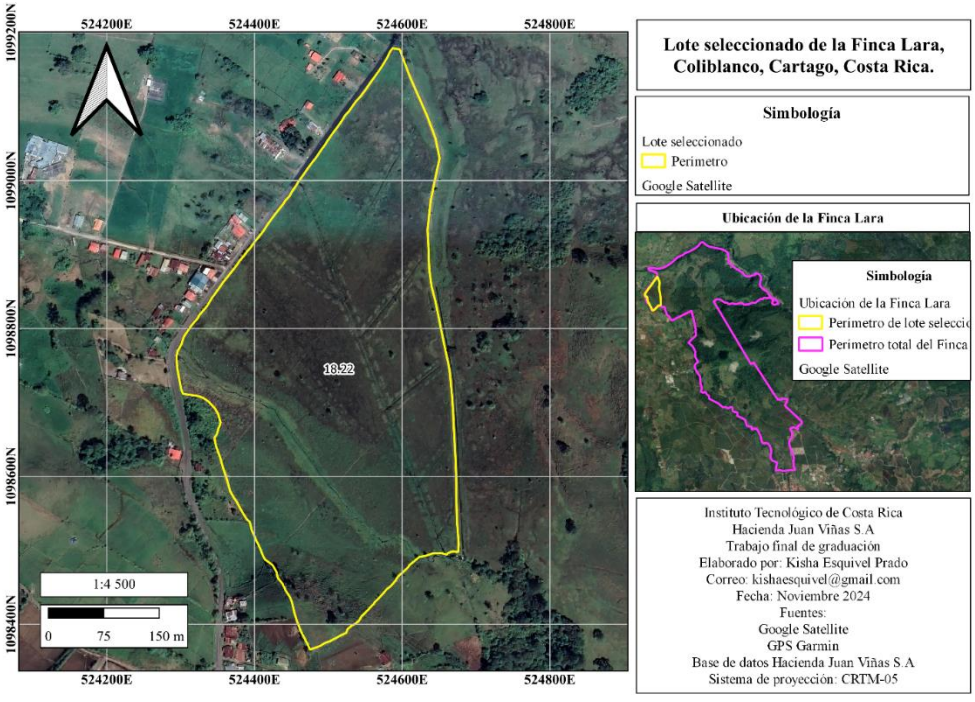

Figura 1. Ubicación de la Finca Lara y lote seleccionado

El componente hidrológico está formado por el río Turrialba que limita con la finca en la parte noreste y el río La Maravilla que limita en la parte sur, quebrada La Danta y diferentes nacientes de agua que están dentro de la finca. La cobertura presente en la finca y sus alrededores se basa en parches de bosque por lo general y potreros para ganadería, además de algunas zonas para cultivos agrícolas como papa, cebolla u otros.

A nivel de paisaje se observa el volcán Turrialba y más lejos el volcán Irazú, resaltan los potreros en áreas de pendiente muy pronunciada y algunas zonas de concentración de población específicas[18].

La finca colinda con corredores biológicos como el Volcánica Central Talamanca[22]. Específicamente en la Finca Lara se realizan actividades de ganadería extensiva[18], la finca está compuesta por aproximadamente 170 hectáreas dedicadas a la ganadería y 380 ha aproximadamente de bosque y otros usos. Se determinó para este trabajo reducir el área de estudio según las prioridades de la empresa y sus necesidades, el lote seleccionado se muestra en la figura 1.

3.2 Caracterización a nivel biofísico, agroforestal y socioeconómico del lote de la Finca Lara

Para la caracterización de la propiedad se implementó la metodología de Planificación Agroforestal de Fincas [23], la cual se divide en tres diagnósticos.

Diagnóstico biofísico:

Mediante una reunión con el encargado de la propiedad se recopiló información general de la finca, como planos catastrados y sus condiciones agroecológicas. Con un GPS Garmin MAP 64s, se realizó un levantamiento del área del lote y una clasificación del uso actual de la finca, determinando el área de potreros, número de apartos, infraestructura presente, áreas no productivas, nacientes o fuentes de agua. La información tomada en campo se analizó en el programa QGIS Desktop 3.16.9, creando capas de archivo shape para la elaboración de mapas según lo necesario. Por ejemplo, un mapa de uso actual de la finca con sus áreas por uso, límites, quebradas, cercas y todo lo relacionado al levantamiento topográfico.

También se identificaron las razas de ganado usadas, el número de animales, el tipo de ganadería y características de la actividad productiva como días de rotación, apartos actuales, manejo actual de la actividad, tipo de pasto.

Se utilizó la Metodología para la Determinación de la Capacidad de Uso de las Tierras de la Norma N° 23214 [24] (cuadro 1). Los catorce parámetros a evaluar se determinaron mediante mediciones en el campo y con base en información adicional como las capas y metadatos del Atlas Digital de Costa Rica y las bases de datos de la empresa.

Cuadro 1. Parámetros para determinación de capacidad de uso de suelo y métodos de medición

Parámetros evaluadores de la capacidad de uso	Fuente de información
Erosión	
Pendiente	Clinómetro en visita de campo
Erosión sufrida	Bases de datos de la empresa y observación en visita de campo
Suelo	
Profundidad efectiva	Muestreo de suelo
Textura de suelo	Análisis de suelos
Pedregosidad	Observación en visita de campo
Fertilidad	Análisis de suelos
Toxicidad de cobre	Análisis de suelos
Salinidad	Análisis de suelos
Drenaje	
Drenaje	Bases de datos de la empresa y observación en visita de campo
Riesgo de inundación	Bases de datos de la empresa y observación en visita de campo
Clima	
Zonas de vida	Capas del Atlas Digital de Costa Rica
Periodo seco	Bases de datos de la empresa
Neblina	Bases de datos de la empresa
Viento	Bases de datos de la empresa

Fuente:[24] y elaboración propia.

Se realizó un muestreo de suelos en las áreas de potrero para determinar la fertilidad del sitio [25]. A partir de un muestreo al azar se tomaron 16 submuestras de suelo con el fin de obtener dos muestras compuestas, a profundidades de 0-20cm y 20-40cm. Además, se tomaron seis muestras de profundidad efectiva de manera aleatoria, así como la pedregosidad de manera visual. La pendiente del sitio se determinó utilizando un clinómetro Suunto y realizando seis mediciones aleatorias.

El muestreo de suelos se envió al Laboratorio de Análisis Agronómicos del Instituto Tecnológico de Costa Rica, del Campus Tecnológico de San Carlos, para un análisis químico completo. La profundidad efectiva se determinó mediante un promedio de las muestras tomadas en campo, la pedregosidad se analizó visualmente en campo y se le asignó el valor según Norma N° 23214 [24] y la pendiente fue promediada por las muestras tomadas.

La densidad aparente fue determinada por el método del terrón o parafina según lo explicado por el Ministerio de desarrollo agrario y riego [26], [27], [28]. Se tomó una muestra representativa del suelo (diez repeticiones en este caso) y en laboratorio, cada una de estas muestras se procesó según la metodología. Se debe conocer la densidad de la parafina la cual oscila entre 0,8-0,9 g/cm^3[26], la densidad del agua (1g/cc) y para mejorar la precisión del dato puede considerar el peso del hilo usado[29].

La densidad aparente se obtuvo con las siguientes fórmulas [29] y un promedio final de las diez muestras.

$$Peso\ de\ parafina\ (Pp) = Peso_{(terrón\ seco+parafina)} - Peso_{(terrón\ seco)} \quad (1)$$

$$Volumen\ de\ parafina\ (Vp) = \frac{Pp}{Densidad_{\ (parafina)}} \quad (2)$$

$$Volumen\ de\ terrón\ (Vt) = Peso_{(agua+t.seco+parafina)} - Peso_{(agua)} * Densidad_{(agua)} \quad (3)$$

$$Volumen\ del\ suelo\ (Vs) = Vt - Vp \quad (4)$$

$$Densidad\ aparente\ (Da) = \frac{Peso_{(terrón\ seco)}}{Vs} \quad (5)$$

Además, se hizo un aforado de las áreas de potrero para determinar la capacidad de producción de forraje aprovechable. El aforo se hizo mediante la metodología descrita por Rúa [30], para este caso el método de zigzag, que es muy similar al usado para el muestreo de suelos. Los datos se analizaron mediante las fórmulas expresadas a continuación, con el fin de determinar la cantidad de forraje aprovechable y el tamaño ideal de los apartos según la carga animal.

$$Consumo\ diario\ de\ \ forraje\ en\ verde = A * L \quad (6)$$

Con:

A=Consumo diario por unidad animal en verde (con un factor de 15%)

L=Número total de unidades animales del hato

$$Producción\ de\ forraje\ aprovechable = \left(\frac{B}{C}\right) * E * \%a \quad (7)$$

Con:

B=Peso total de la muestra (Kg masa verde)

C= Número de muestras

E= Área de pradera (m^2)

%a= Porcentaje de pasto aprovechable (50%)

Diagnóstico agroforestal:

Se determinó la presencia de tecnologías agroforestales y sus características [23], con el fin de evaluar su importancia para el diseño de la propuesta y conocer la disposición, arreglo, especies y servicios que brindan en el sistema actual. Además, se hizo una valoración general del bosque cercano determinando las especies más comunes.

Para la identificación de las especies presentes se utilizó el apoyo de la aplicación de celular PlantNet hecha por el Instituto Tecnológico de Costa Rica y la Organización de estudios tropicales, por medio de revisión de literatura y en casos específicos fotografías o muestras llevadas a la Escuela de Ingeniería Forestal para su identificación.

Se determinó el número, la ubicación y estado de cada especie del componente arbóreo del lote y del área de bosque se hizo una valoración general de tres parches cercanos y se enlistaron las especies en común. La idea de valorar el bosque cercano fue con el fin de determinar las especies presentes en el paisaje general para la futura recomendación del diseño. La información recopilada se ordenó en Excel o en párrafos descriptivos, para resumir las características agroforestales presentes.

Diagnóstico socioeconómico:

Se basó en obtener información sobre la empresa, sus expectativas, posibilidades económicas, necesidades en cuanto al sistema silvopastoril, mano de obra presente, visión a futuro. Por esta razón se recopiló información mediante una reunión sobre dichos aspectos.

Con la información recolectada se realizó un FODA para identificar las fortalezas, debilidades, oportunidades y amenazas de la actividad. Este análisis se hizo en conjunto con el encargado de la finca. También se reconstruyó el historial de uso de la tierra, procesando la información recopilada en un cuadro.

Se solicitó la base de datos de costos de producción de la actividad, en la que se presentan los costos de la actividad por año según el presupuesto, además del monto total de inversión por año que se utiliza en toda la finca. Esta información se resumió y se destacó lo más relevante por medio de Excel y párrafos descriptivos.

3.3 Propuesta de elementos clave como especies, disposición de individuos, densidad y arreglos que mejor se adecúen a la zona y sus costos

Para elaborar una propuesta de diseño adecuada, se tomó en cuenta la información recopilada en el objetivo uno y los intereses del propietario sobre el sistema. Mediante la evaluación de campo y revisión de literatura se seleccionaron las especies más adecuadas a la zona, de acuerdo con los servicios que se requería incorporar al diseño. Además, la densidad, disposición y arreglo del sistema en sus diferentes tecnologías se determinó por este mismo medio, realizando una búsqueda bibliográfica de lo que mejor se adecue a las condiciones del sistema silvopastoril.

La propuesta de diseño se realizó por medio de un mapa donde se detalló cada aspecto para una mejor comprensión, por medio de QGIS Desktop 3.16.9, también con cuadros o párrafos descriptivos se especificaron otras características importantes del diseño, así como las actividades y sitios recomendados. También se realizó una búsqueda de viveros forestales donde se pueden producir las especies de la propuesta, por medio de búsquedas bibliográficas y consultas telefónicas. Y se describe una lista básica de actividades prioritarias a realizar en el lote para poder establecer le diseño.

La estructura de costos de establecimiento se realizó tomando en cuenta la cantidad de árboles máxima requerida por cada distanciamiento según las tres labores a realizar (reforestación, arboles maderables y cercas vivas), estos precios unitarios fueron determinados mediante consulta telefónica a los viveros. La empresa ya paga el salario de 2,5 personas con su presupuesto anual para la actividad, por lo que para este rubro se tomó en cuenta solo el salario de extra de 1,5 personas las cuales estarían colaborando para el periodo de establecimiento de un año, formando una mano de obra total de 4 personas para las labores de establecimiento.

El costo fue calculado basándose en el salario mínimo por la cantidad de tiempo y de personal. La maquinaria que sería requerida para las labores de limpieza y rectificación de drenajes se calculó basándose en el costo de alquiler por hora que ellos como empresa tienen cotizado, esperando que las labores se realicen en aproximadamente 16 horas. Las cercas eléctricas, son un rubro en el cual se utilizarán las existentes y solo deben tomarse en cuenta la compra de algunas extras para las zonas que así lo requieren según la propuesta, la empresa en su presupuesto anual tiene asignado a este costo por unidad que incluye los alambres, los pulsadores, conectores y todo el material necesario para su funcionamiento. Por lo que se calculó multiplicando ese monto por el total de unidades necesarias según los metros a necesitar, se estimó un total de 6 mínimo las cuales tienen 500 metros de cable. En otros materiales como herbicidas, abono, equipo y herramientas se obtuvo el costo por hectárea de las bases de datos de la empresa y se multiplicó por el área total para determinar su costo aproximado para le lote.

3.4 Adoptabilidad de la propuesta

Se realizó un análisis de adoptabilidad basado en la metodología de planificación agroforestal de fincas (PAF) [23] para determinar el grado de aceptación de la propuesta por parte de la empresa.

Con la información generada en los diagnósticos se determinaron los ponderados para los atributos del análisis de adoptabilidad desde la perspectiva técnica y la del encargado por medio de una reunión, con el fin de obtener esos valores.

Los atributos estudiados fueron la observabilidad, factibilidad, superioridad, simplicidad y compatibilidad. Estos fueron valorados por ambas partes con una escala de 0 a 1, siendo el 0 el punto más bajo y 1 el punto más alto de importancia para cada atributo. En el cuadro 2 se explica la información para cada atributo según la metodología PAF.

Cuadro 2. Ponderación de análisis de adoptabilidad

Atributos	Preguntas para determinar importancia de 0 a 1
Observabilidad	¿Qué tan pronto deben observarse los cambios generados?
Factibilidad	¿Qué tanto debe ajustarse la propuesta a las posibilidades de escala, costo y riesgo del grupo propietario?
Superioridad	¿Qué tan ventajosa debe ser la propuesta si se compara con lo existente?
Simplicidad	¿Qué tan sencilla de comprender para los propietarios y de implementar debe ser la propuesta?
Compatibilidad	¿Qué tan acorde debe estar la propuesta con el contexto y con los intereses y necesidades de las personas propietarias?

Fuente: [23] y [31].

Al tener la propuesta, se procedió con la segunda parte del análisis de adoptabilidad en una reunión corta, la cual consistió en calificar dichos atributos antes ponderados, dándoles una calificación a cada uno según la propuesta final con una escala de 1 a 5, siendo el 1 el valor más bajo y 5 el más alto. Se estimó el valor de la recomendación y la probabilidad de adopción de la propuesta; con los valores obtenidos de ponderación y calificación de los atributos tanto en la parte técnica como del encargado. Esto se hizo aplicando la siguiente fórmula:

$$Puntaje\ obtenido = Ponderación\ (0\ a\ 1) * Calificación\ (1\ a\ 5) \quad (8)$$

Para obtener el valor de la recomendación del diseño se suman todos los puntajes obtenidos en cada atributo y se aplica la siguiente fórmula para determinar la probabilidad de adoptabilidad de la propuesta y comparar los porcentajes dados.

$$Pa = 100 * \left(\frac{v_a}{25}\right) \quad (9)$$

$$Pf = 100 * \left(\frac{v_f}{25}\right) \quad (10)$$

Con:

Pa: Probabilidad de adoptabilidad desde la perspectiva técnica

Pf: Probabilidad de adoptabilidad desde la perspectiva del productor

Va: Valoración de adoptabilidad desde la perspectiva técnica

Vf: Valoración de adoptabilidad desde la perspectiva del productor

4. Resultados

4.1 Caracterización a nivel biofísico, agroforestal y socioeconómico del lote de la Finca Lara

Diagnostico biofísico:

En la figura 2 se muestra el mapa de uso actual del lote y sus características más relevantes para el diagnóstico. El lote de 18,22 hectáreas está dividido en tres apartos con tamaños diferentes entre sí y algunos caminos en buen estado. El lote posee gran cantidad de canales o drenajes por donde se mueve el agua, además de algunas zonas donde el cause se ensancha en la propiedad y hace un tipo de lagunas (figura 3). Durante la época seca, drena bien el agua y el suelo es firme, sin embargo, en época lluviosa los suelos parecen tener problemas para drenar la gran cantidad de agua, lo que provoca encharcamientos en toda el área. Además, según lo indicado por Méndez [18], hace unos 7 o 10 años no se rectifica el nivel de los drenajes ni se les da buen mantenimiento.

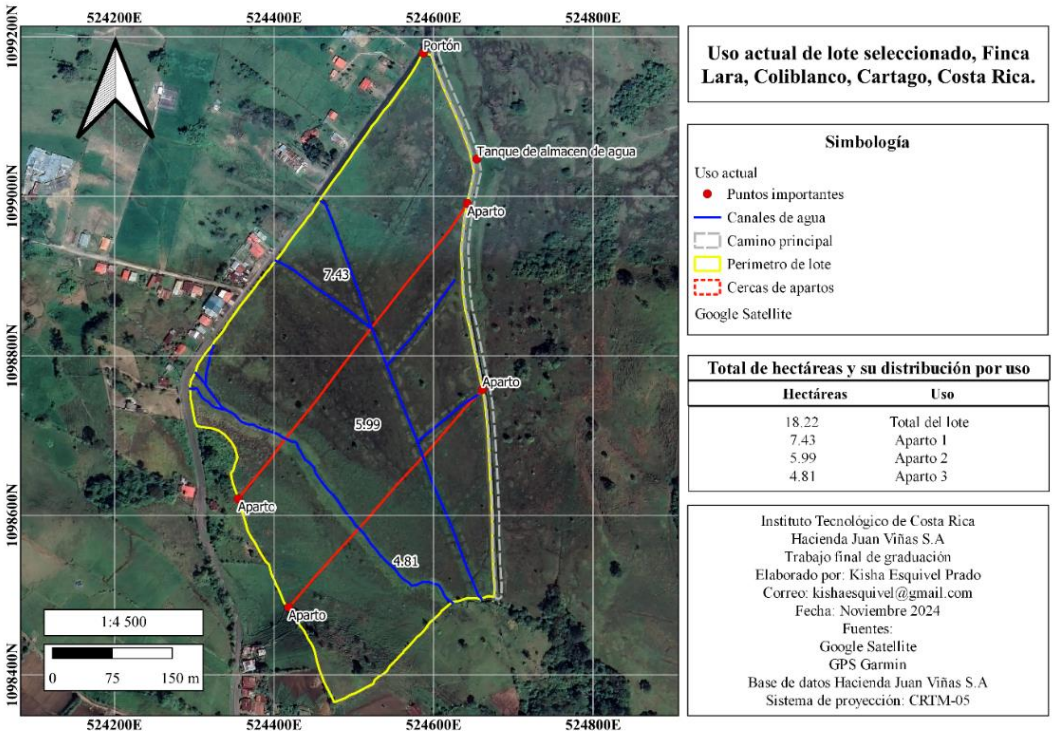

Figura 2. Mapa de uso actual del lote, Finca Lara, Cartago

Figura 3. Condición del agua en los potreros

El modelo actual de producción es el de cría y venta de animales con un peso de 200 kg aproximadamente (figura 4), con un total de 220 animales divididos en 4 grupos. En el lote, por lo general se rota al grupo de "maternidad" de 29-30 unidades animales, formado por las madres de 400 kg, sus crías y un macho. El pasto del lote es pasto estrella (*Cynodon niemfuensis*) y en los sitios con problemas de agua se encuentra en su mayoría cubierto por *Scleria melaleuca* o navajuela.

Figura 4. Grupo de madres y crías dentro del lote

La determinación de la capacidad de uso de la tierra dio como resultado una clase $IV_{e12s1234d12c1234}$. Además en el cuadro 3 se detallan los factores que dieron como resultado esa clase y en cuales subclases hay limitantes.

Cuadro 3. Determinación de factores limitantes de la capacidad de uso de la tierra en el lote, Finca Lara, Cartago

Factor y limitantes	Subclase	Categoría	Clase
Erosión			
Pendiente	e1	Ligeramente ondulado	II
Erosión sufrida	e2	Ligera o leve	II
Suelo			
Profundidad efectiva	s1	Moderadamente profundo	III
Textura de suelo	s2	Moderadamente fina	II
Pedregosidad	s3	Ligeramente pedregoso	II
Fertilidad	s4	Media	II
Toxicidad de cobre	s5	Nula	I
Salinidad	s6	Nula	I
Drenaje			
Drenaje	d1	Moderadamente lento	III
Riesgo de inundación	d2	Moderado	IV
Clima			
Zonas de vida	c1	bmh-MB	II
Periodo seco	c2	Ausente	II
Neblina	c3	Moderada	II
Viento	c4	Moderada	II

En cuanto al análisis de suelos (figura 5) se observaron datos de acidez intercambiable con un valor de 0,9 y un pH de 5 aproximadamente. Un porcentaje de saturación de acidez mayor al 10% y niveles de calcio, magnesio y potasio menores o cercanos al valor mínimo. Además, la densidad aparente arrojó valores promedio de 1,05 g/cm^3, una profundidad efectiva promedio de 0,67 m, con una ligera pedregosidad y pendiente promedio menor al 5%.

CAMPUS TECNOLÓGICO LOCAL SAN CARLOS
ESCUELA DE AGRONOMÍA
2401-3250
laboratoriosuelos@itcr.ac.cr

TEC | Tecnológico de Costa Rica
Laboratorio de Análisis Agronómicos

INFORME DE RESULTADOS DE ANÁLISIS DE SUELO

Cliente: FINCA LARA / KISHA ESQUIVEL — Fecha: 27/08/2024
Provincia: Cartago — Cantón: Alvarado
Distrito: Capellades — Cultivo: Potreros

			cmol(+)/L				mg/L										%
N° Lab	Identificación de campo	pH	Acidez ext.	Ca	Mg	K	Cu	Mn	Fe	Zn	P	Ca/Mg	Ca/K	Mg/K	(Ca+Mg)/K	C.I.C.E	Saturación de acidez
S24-566	0 - 20 cm	5,02	0,94	2,52	1,79	0,28	21	24	749	2,38	18,76	1,41	9,00	6,39	15,39	5,53	17,00
S24-567	20 - 40 cm	5,08	0,91	2,29	1,65	0,18	23	15	660	2,20	15,14	1,39	12,72	9,17	21,89	5,03	18,09
Rangos	Mínimos	5,50		4,00	1,00	0,20	1,00	5,00	5,00	3,00	10,00	2,00	5,00	2,50	10,00	>5	≤ 10
	Máximos	7,00	< 0,5	15,00	6,00	0,80	20,00	50,00	50,00	10,00	40,00	5,00	25,00	15,00	40,00		

		%m/m				
N° Lab	Identificación de campo	N	C	S	Relación C/N	Materia Orgánica
S24-566	0 - 20 cm	0,52	6,09	0,09	11,71	10,50
S24-567	20 - 40 cm	0,37	4,43	0,08	11,97	7,64

Figura 5. Resultados de análisis de suelos

Se determinó que el promedio de pasto estrella producido en el lote en verde es de 1,55 ± 0,85 Kg/m^2. El consumo diario de forraje en verde del hato es de 1957,50 Kg , por lo que al día se necesitan 2525,80 m^2 para que los animales coman lo necesario ya que se utilizó un 50% de desperdicio, un total de animales de 29 con un peso promedio de 450 Kg . Según el manejo dado a la finca los animales pasan en el lote seleccionado 15 días por aparto, por lo que el área óptima para producir dicha cantidad de alimento es de 37887,09 m^2.

Diagnóstico agroforestal:

El área evaluada corresponde a un potrero con poste muerto y cerca eléctrica. La única presencia de árboles en todo el lote fue de cinco árboles muertos que sostenían las cercas eléctricas y algunas Dracaenas, once árboles frutales de aguacate (*Persea* spp) en la cerca colindante con los vecinos y siete árboles de regeneración natural los cuales crecen bien en las condiciones de mal drenaje (*Magnolia poasana*). Además, se registraron en el camino un árbol de *Inga oerstediana* y diez postes de *Erythrina* spp dispersos por toda la cerca. En la figura 6 se muestra una parte del lote para ejemplificar la ausencia de componente arbóreo.

Figura 6. Área de potrero sin arboles

La composición florística del bosque cercano y de las zonas aledañas poseen especies como *Cedrela tonduzii* (cedro dulce), *Hampea appendiculata* (burío), *Cupressus lusitanica* (ciprés), *Alnus acuminata* (jaúl), *Eucaliptus* spp (eucaliptos), *Zygia longifolia* (sota caballo), *Inga* spp (guabas), *Citharexylum donnell-smithii* (dama), *Croton draco* (croton), *Cecropia* spp (guarumo), *Ficus* spp (higuerón), *Hedyosmum bonpladianum*, *Quercus* spp. (robles), algunas especies de Sapotaceas, Pouterias y arbustos más bajos como Melastomataceas. Todos estos presentes en alrededor de 2 estratos, perteneciendo algunos al bosque original, regeneración natural y otros a introducciones pasadas o procesos de siembra actuales con algún objetivo específico. Conocer esta composición fue de ayuda para la elección de especies del diseño.

Diagnostico socioeconómico:

El propietario registrado de la finca es la Hacienda Juan Viñas S.A y tiene como encargado de la actividad ganadera a Walter Méndez Pérez quien es el administrador, posee dos colaboradores que se encargan del cuidado de los animales y las instalaciones. La inversión anual que hacen en esta finca es de aproximadamente 30 millones en los diferentes rubros como salarios, materiales, insumos, imprevistos, depreciaciones, gastos administrativos entre otros.

En el cuadro 4 se presenta el análisis de fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas (FODA) que tiene la empresa para la implementación futura de la propuesta.

Cuadro 4. Análisis FODA Finca Lara, Cartago

Fortalezas	Oportunidades	Debilidades	Amenazas
Experiencia de la empresa	Captura de carbono	Poca mano de obra	Robo de animales
Colaboradores capacitados	Agroturismo	Suelos anegados en época lluviosa	Precios de mercado inestables (ganado)
Posible capital disponible	Diversificación de finca	Cantidad de trabajo en otras tareas	Cantidad de agua disponible en verano
	Pago por servicios ambientales	Labores de mantenimiento	

Para el historial de uso de la tierra (cuadro 5) se recopiló la información ,donde se indican los usos a través de los años en toda la finca y algunas observaciones importantes como especies forestales presentes en cada periodo.

Cuadro 5. Características del historial de uso de la tierra de la Finca Lara, Cartago

Uso	Periodo de tiempo	Observaciones
Bosque	antes de 1980	Especies como *Cedrela tonduzii* (cedro dulce), *Ulmus mexicana* (tirrá), *Quercus* sp. (Robles), *Pouteria* sp. (níspero).
Potreros	1980-1987	Uso de ganadería extensiva
Reforestación comercial	1987-2015	Especies como *Cupressus lusitanica* (ciprés), *Eucaliptus* spp (eucalipto), *Alnus acuminata* (jaúl).
Potreros y reforestación con fines de conservación	2015-actualidad	Venta de animales en subasta y reforestación de zonas de protección.

Los costos de producción de la actividad se resumieron en el cuadro 6, donde se expresan los rubros y su costo total basándose en el presupuesto anual de la empresa. Los salarios de operación y los gastos administrativos son los rubros con mayor peso, representando casi el 63% de todos los costos. Junto con los materiales que representan otro 20% del total de costos de producción.

Cuadro 6. Costos de producción de la actividad ganadera en la Finca Lara

Rubro	Costo anual presupuestado
Salarios de operación	₡10.878.866,00
Materiales	₡6.295.116,00
Otros gastos	₡3.308.792,00
Costos de venta de ganado	₡471.835,00
Salarios de operarios	₡387.519,00
Herbicida	₡91.779,00
Acarreo de trabajadores	₡91.779,00
Varios	₡203.961,00
Depreciaciones	₡132.972,00
Gastos administrativos y de cierre	₡8.137.381,00
TOTAL	**₡30.000.000,00**

4.2 Propuesta de elementos clave como especies, disposición de individuos, densidad y arreglos del diseño agroforestal que mejor se adecúen a la zona y sus costos

Se determinó que las tecnologías agroforestales y especies deseadas para los propietarios y el encargado son especies forestales de doble propósito (aporte de sombra y protección contra el viento) para el beneficio directo del componente animal, las cercas vivas para embellecer la zona, dar conectividad al paisaje y principalmente mejorar la seguridad del ganado. La protección del recurso hídrico fue importante ya que se usa para muchas actividades de la empresa y por último; especies maderables ubicadas en linderos o hileras fueron necesidades expresadas por la empresa. Todo esto tomando en cuenta las posibilidades del lote y las especies que se adapten a sus condiciones.

En la figura 7 se presenta el mapa de la propuesta de diseño silvopastoril generado para el lote de la finca, según las condiciones encontradas y las necesidades expuestas.

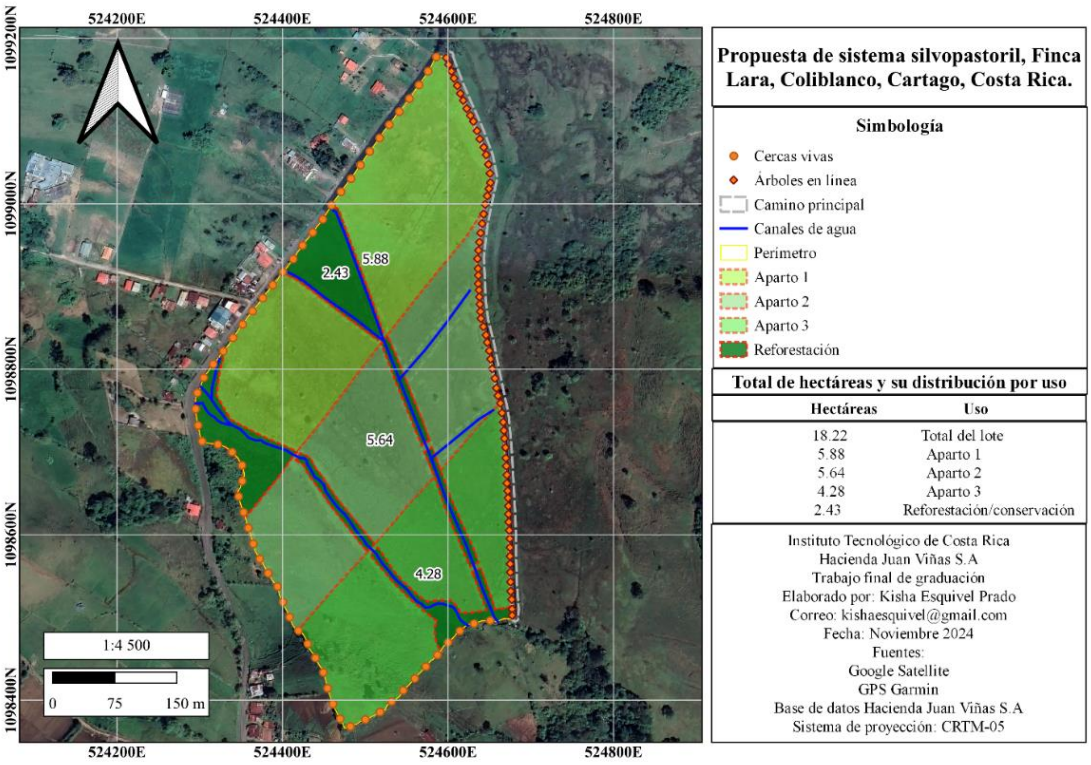

Figura 7. Propuesta de diseño para el sistema silvopastoril del lote, Finca Lara, Cartago

Con base en la evaluación biofísica realizada se determinó el tamaño adecuado de los apartos y la cantidad de área que se puede utilizar con otros fines en la propuesta. Además, se determinó que no sería posible cambiar la disposición de las cercas presentes y por esto se debía adaptar el diseño a la forma actual de los apartos por la disponibilidad de agua para los animales[18].

Uno de los intereses o necesidades más importantes es la protección de las fuentes hídricas existentes en la propiedad que sirven no solo para la actividad ganadera, sino, para abastecer a otras comunidades aledañas y otras actividades económicas. Por esta razón, se plantea en la propuesta un área de reforestación con fines de conservación del suelo y el recurso hídrico en zonas estratégicas de la finca.

En total serían 2,43 ha destinadas a ese fin, con especies de la zona vistas en el diagnóstico agroforestal como *Hampea appendiculata* , *Croton draco* , *Ficus* spp , *Inga* spp, *Ulmus mexicana*, *Sapium glandulosum*, *Cecropia* spp, *Hedyosmum bonpladianum*, Lauraceas y otras especies nativas presentes en los parches cercanos de bosque[32], [33], las cuales permitirían mejorar la conectividad del paisaje y sus parches de bosque, sirviendo como trampolines ecológicos y protegiendo los recursos.

Las zonas a reforestar son zonas con problemas o alguna característica específica los cuales quedarían resguardados por cerca eléctrica, aproximadamente se deberá cubrir 1865 m de longitud, lo que resulta en 3728 m de cable de cerca eléctrica nuevos a necesitar. Los parches más grandes se destinaron ahí por estar ubicados en zonas de convergencia de fuentes o canales de agua dirigidos y por estar estratégicamente ubicados cerca de otras zonas de protección (figura 8). Además esas áreas no son útiles para los animales actualmente, por la dificultad del acceso que poseen al tener que pasar de alguna manera por el canal de 1,5m de ancho aproximadamente. Para poder establecer estos parches se recomienda primero hacer un trabajo en los drenajes para rectificar el nivel de inclinación y su debida limpieza para evitar el encharcamiento de la zona. Se recomienda un distanciamiento de 3 x 3 m para las áreas a reforestar con fines de conservación, representando un máximo de árboles de dos mil setecientos, ya que dependiendo del tiempo, mantenimiento, disponibilidad de mano de obra u otros, podrían plantarse más o menos densos, sin embargo para efectos de este caso, se recomienda este distanciamiento ya que se haría en una sola intervención y la finalidad es que las copas cierren lo más rápido posible.

Figura 8. Ejemplo de zona de protección para conectividad

Sobre el camino principal se discutió la idea de árboles maderables con buen mercado para generar un beneficio económico a futuro y diversificar el lote. Las especies acordadas que mejor se comportan en la zona y son de agrado para los propietarios son el *Cedrela tonduzii* y *Cupressus lusitanica.* La idea es que además del uso maderable la línea funcione en el sistema silvopastoril como una barrera para reducir la incidencia del viento y como sombra en ciertas horas de la mañana. La propuesta indica un posible distanciamiento de 6 o 8m entre árboles, intercalando las 2 especies para evitar lo más posible la incidencia de *Hypsipyla grandella* (plaga del cedro) al tenerlo separado por el ciprés. Estas serían colocadas sobre el camino y no dentro del área de potrero para usar las cercas como protección ante el posible ramoneo por parte de los animales. El camino tiene aproximadamente 700 m de largo, por lo que se necesitan un máximo ciento dieciséis árboles, los cuales serían setenta y seis de ciprés y cuarenta de cedro dulce para colocar intercalados dos árboles de ciprés y uno de cedro dulce (figura 9).

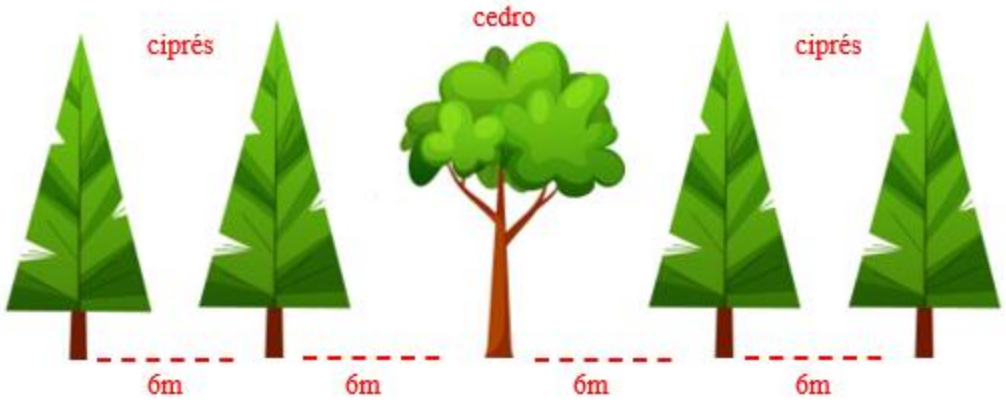

Figura 9. Ejemplo de árboles maderables en fila de ciprés y cedro dulce

Por último, las cercas vivas en el resto del perímetro de la finca servirán como conectores del paisaje, contribuyen al ciclaje de nutrientes, sombra, protección del viento para los animales y belleza escénica. Las especies recomendadas para las características de la zona en cercas vivas son *Erythrina berteroana* y *Croton niveus* , las cuales pueden colocarse cada 5 o 6 m el poró y cada 2 m el colpachí en zonas donde se requiera más densidad de cerca. La longitud total de la cerca viva es de unos 1300 m, por lo que serían necesarias máximo cuatrocientas treinta estacas o árboles de las especies mencionadas.

En el cuadro 7 se presentan los sitios de producción de especies forestales de altura que más especies ofrecen en la zona o cercanías y en los cuales se podrían reproducir las especies que sean necesarias bajo pedido previo. En caso de las estacas para las cercas vivas, pueden adquirirse de manera local, con productores de la zona, por lo general se obtiene el contacto por recomendación de otros, también en sitios web se ofrecen los servicios de venta de los postes por unidad.

Cuadro 7. Sitios de producción de especies forestales adaptables a la zona

Lugar	Ubicación	Número de especies producidas para la zona
Vivero de Compañía Nacional de Fuerza y Luz	Dulce Nombre de Coronado	15
Vivero del Instituto Costarricense de energía	Cachí	10
Vivero Forestal del TEC	Cartago	8
Vivero Hacienda Retes	Cartago	12
Banco de semillas forestales del CATIE	Turrialba	8

En la finca, se deberá realizar algunas labores previas para la preparación del terreno y luego las actividades básicas propias de la propuesta. Por esto a continuación se detalla una lista de dichas tareas y un posible orden de prioridad para hacerlas:

1. Hacer revisión, corrección de inclinación y limpieza de drenajes, canales y fuentes de agua.
2. Realizar un control de arvenses en las áreas de potrero (plantas competidoras con el pasto).
3. Resiembra de pasto estrella (idealmente).
4. Realizar una corrección de acidez del suelo con la aplicación de cal y abonar el pasto con base en un muestreo de suelos y análisis previo. (hace más de 10 años no se da mantenimiento al suelo).
5. Adquisición de especies forestales del diseño (compra a productores o reproducción propia).
6. Establecimiento de cercas vivas y delimitación con cerca eléctrica de las áreas a reforestar.
7. Siembra de árboles maderables (rodajea de 1m al menos, corrección de acidez y manejo de compactación en el hueco).
8. Reforestación de áreas de conservación.
9. Mantenimiento y monitoreo del sistema silvopastoril y sus tecnologías.

Los costos de establecimiento del sistema silvopastoril se basaron en algunos de los rubros más importantes de la propuesta como la mano de obra extra necesaria, cantidad de árboles máxima por categoría y algunos de los insumos para un costo aproximado de establecimiento en un año (cuadro 8).

Cuadro 8. Costos de establecimiento aproximados para la propuesta definida

Rubro	Cantidad	Valor unitario	Valor total	Observaciones
Árboles para reforestación (unidades)	2700	₡1.000,00	₡2.700.000,00	Distanciamiento de 3 x 3m
Árboles de uso maderable (unidades)	116	₡1.200,00	₡139.200,00	Distanciamiento de 6m
Postes para cerca viva (unidades)	430	₡450,00	₡193.500,00	Distanciamiento de 3m
Salarios extra (persona)	1,5	₡11.800,00	₡4.248.000,00	Por un año
Maquinaria para drenajes (horas)	16	₡20.000,00	₡320.000,00	Alquiler por 16 horas
Cerca eléctrica nueva (unidades)	6	₡120.000,00	₡720.000,00	Unidades completas (conectores, alambre,)
Herbicida (ha)	18,22	₡13.775,73	₡250.993,79	Para 18,22 hectáreas
Abono y cal (ha)	18,22	₡2.352,92	₡42.870,16	Para 18,22 hectáreas
Equipo y herramientas (ha)	18,22	₡823,53	₡15.004,71	Para 18,22 hectáreas
TOTAL			**₡8.629.568,66**	

Se estimó un costo de establecimiento , el cuál fue abarcado en más de un 50% por valores de salarios extra de 1,5 colaboradores necesarios para reforzar a los ya existentes en las labores de la propuesta. El otro rubro más alto fue el de los árboles para la reforestación, esto debido a que si no se reproducen por la misma empresa, deberían ser encargados bajo pedido a algunos de los viveros recomendados y por la cantidad de área a reforestar los costos se elevan.

El otro valor más alto fue el de las cercas eléctricas y sus componentes al necesitar resguardar áreas nuevas del ganado, sin embargo es un rubro flexible, al tener otras alternativas como cerca de alambre o tener inventario extra disponible.

4.3 Adoptabilidad de la propuesta

Para el análisis de adoptabilidad se resumieron los resultados en el cuadro 9, donde se expresan los valores finales tanto de la evaluación técnica como la evaluación del encargado de la finca. Así como los valores asignados a cada atributo y su calificación.

Cuadro 9. Análisis de adoptabilidad de la propuesta

Atributo	Evaluación técnica			Evaluación del encargado		
	Peso (0-1)	Calificación (1-5)	Total	Peso (0-1)	Calificación (1-5)	Total
Superioridad	0,7	5	3,5	0,7	5	3,5
Compatibilidad	1	5	5	1	5	5
Simplicidad	1	4	4	1	4	4
Factibilidad	1	3	3	1	3	3
Observabilidad	0,6	5	3	0,7	4	2,8
Valor de la recomendación		**18,5**			**18,3**	
Porcentaje de adoptabilidad		**74,0%**			**73,2%**	

5. Discusión

5.1 Caracterización a nivel biofísico, agroforestal y socioeconómico del lote de la Finca Lara

El diagnostico biofísico de las fincas permite determinar las características más importantes de cada finca para conocer su potencial [8]. En este caso el diagnóstico permitió conocer las áreas actuales donde la actividad se lleva a cabo, sus usos y dimensiones, las cuales eran desconocidas por los propietarios y son de suma importancia en el manejo de la carga animal[34].

El análisis de la capacidad de uso de la tierra reflejó problemas en el manejo del agua (drenajes y riesgo de inundación) por lo que el lote puede ser usado para la actividad actual pero deben mejorarse las limitantes posibles para un mejor manejo. Este tipo de problemas más la pérdida de productividad, eficiencia y desconexión del paisaje están presentes como en muchos otros casos de fincas ganaderas [35] [36] [37]. Por lo que el mantenimiento constante y mejores prácticas de manejo contribuirán a la sostenibilidad.

Adicionalmente se determinaron problemas ligeros de acidez, el pasto estrella crece mejor en suelos con pH de 5,5 a 8[38], [39]. La compactación y profundidad efectiva que poseen los suelos también afectan el crecimiento de las raíces del pasto y árboles así como el drenaje. Estas limitantes podrían ser atribuidas a la cantidad de años que se han usado los terrenos para actividades de alta demanda de nutrientes, compactación por pastoreo[40] y la falta de aplicación de enmiendas y correcciones que podrían hacerse periódicamente. En este caso el lote no ha sido encalado, fertilizado, ni abonado hace más de 10 años, la empresa no tenía un estudio de suelos reciente y no tenían conocimiento sobre estos factores limitantes[18].

Un valor que resultó positivo en el análisis de suelos es la cantidad de materia orgánica presente, lo que podía relacionarse a la cantidad de lombrices vistas en las muestras tomadas, las cuales son bioindicadores de salud en el suelo[41].

Los pastos tampoco han sido abonados ni reemplazados en muchos años, por lo que la producción de alimento podría mejorar con un manejo adecuado de las áreas y además un uso adecuado según la cantidad de animales presentes. Ya que se demostró que los tres apartos encontrados son mucho más grandes del área requerida de pradera, por lo que se están subutilizando, perdiendo pasto aprovechable [30], [42]. Además, se ve una clara competencia del pasto estrella con la navajuela, lo que también contribuye a bajar los niveles de producción del alimento.

A pesar de esa competencia, el promedio de pasto obtenido fue mayor al reportado por la Red Nacional de Pastos y Forrajes, Araya, Ferrufino, Mora y Villalobos [43], [44], [45], donde se mencionan valores desde 4000 kg por hectárea hasta 8000 kg, dependiendo del tiempo de cosecha. En este caso el promedio por metro cuadrado fue de 1,55 pero el periodo de cosecha fue mayor a los 45 días.

El diagnóstico agroforestal resalta el gran potencial de la finca al estar ubicada en una zona alta donde no hay muchas fincas adoptando estas prácticas y podría llegar a servir como finca modelo para la incorporación de sistemas agroforestales en la actividad principal [9]. El bosque cercano al lote es muy diverso y parece estar en un estado de recuperación intermedio, lo que resulta en una gran variedad de especies nativas potenciales a incorporar dentro del SAF. Este tipo de práctica podría replicar casos similares que se han realizado en nuestro país y en México [46], [47], [48]. El lote actualmente posee muy poco recurso arbóreo, sin embargo, una de las curiosidades es que a pesar de las limitantes en temas de suelos, la especie *Magnolia poasana* tiene potencial de crecer adecuadamente en esas condiciones y además posee una floración muy llamativa a nivel de paisaje[49].

En el tema socioeconómico, gracias al FODA se resaltaron algunos factores importantes para la empresa a tomar en cuenta para la propuesta. La captura de carbono gracias a la implementación de SAF, la diversificación de la finca, posibles temas de agroturismo y pagos por servicios ambientales son algunas de las actividades que podrían generar un incentivo extra por la actividad [50], [51].

También los temas más importantes a mejorar en cuestión de amenazas y debilidades ; como el número de colaboradores que podrían aumentarse para un mejor manejo de la finca, ya que también el tema de carga de trabajo es muy amplio. La búsqueda de alternativas de vigilancia respecto al robo de animales, el manejo de suelos y del agua en verano son factores con los que la empresa puede trabajar a diferencia de los precios del mercado que son completamente externos de la finca.

Factores como el cambio de uso de suelo a lo largo de los años, pueden generar muchos problemas a nivel de finca, en este caso se determinó que por mucho tiempo esta finca no ha sido manejada con las técnicas adecuadas para su manejo sostenible e integral [52].

Los costos de producción de la actividad siguen un patrón similar al de un estudio de costos en Colombia [53], donde los rubros para esa determinación son insumos, materiales, herbicidas, abonos y gastos de salarios administrativos y de operación.

5.2 Propuesta de diseño silvopastoril

Para la determinación de tecnologías agroforestales y su ubicación espacialmente en el lote fueron determinantes las necesidades a cubrir con el diseño. Gracias al tamaño de los apartos y su manejo se identificó la posibilidad de reforestar las zonas más críticas del lote en cuanto a recurso hídrico y además peligrosidad para los animales. Por esta razón se establecieron los parches y franjas de reforestación en esos lugares, procurando que además de brindar servicios ecosistémicos[54]y beneficios al ganado, den una conectividad de paisaje [55] y sirva de posible paso a especies de fauna importantes y de intercambio de especies de flora para enriquecer la cobertura.

Las cercas vivas y árboles en línea también cumplirán con servicios ecosistémicos como captura de carbono y producción de biomasa[56], pero también son fuente de ingreso a futuro[57], [58] para la empresa y fuente de recursos utilizables dentro de la misma finca[59], [60], bajando los costos de operación [53] y aumentando la productividad al cumplir función de cortinas rompevientos, sombra, cerca viva, lo que permite que el ganado aumente su producción de masa corporal al bajar el estrés[50].

Las especies seleccionadas para el diseño cumplían una serie de requisitos indispensables que deben analizarse para cada caso particular. Uno de los mayores retos fue la altitud sobre el nivel del mar, ya que para zonas con estas características se reduce mucho la lista de especies y más aún cuando se trata de la reproducción en viveros [15]. Debido a eso, las especies maderables para el SAF son importantes [61]en el país a nivel comercial con alto valor económico y además son especies adaptadas a las condiciones del sitio ya que se dan por regeneración. Tienen buen mercado local y aceptación por los propietarios. Se destacó la posibilidad de problemas con la plaga del cedro, sin embargo al seguir teniendo interés en la especie, se discutieron posibles labores para evitar la plaga, como aplicar más distancia entre árboles, no plantarlos simultáneamente o poner algún tipo de protección física hasta cierta altura para dificultar que la polilla llegue al árbol. También se discutió la idea de usar otras especies en lugar del cedro o diversificar la hilera, por ejemplo con *Eucaliptus grandis* o con *Alnus acuminata.*

Las especies de cerca viva deben soportar niveles de perturbación altos, al estar en contacto con los animales y la cerca, además de las condiciones del sitio como vientos fuertes y podas regulares para su manejo[62]. Los distanciamientos de cada una de las especies varían según su objetivo[63], para los maderables en línea en este caso, se recomiendan distanciamientos según el manejo a dar y el tamaño de las especies[9], el factor determinante es que tienen suficiente espacio para su desarrollo ideal sin competir de adultos, lo que permite un crecimiento óptimo para su futuro aprovechamiento.

Las cercas vivas se recomiendan de 1 a 2 m dependiendo del objetivo [1], sin embargo, las cercas del lote al ser eléctricas no necesitan tanta densidad además del factor económico y de disponibilidad de materia prima. El colpachí es recomendable usarlo en partes donde se necesite más densidad ya que sus características fenotípicas la hacen ideal para fortalecer cercas ganaderas [64]. La oferta de sitios productores de especies forestales y más de zona alta es indiscutiblemente baja, siendo en su mayor parte sólo 4 viveros los responsables de proveer de estas especies a todo el país. La Hacienda Retes, con años de experiencia en sistemas agroforestales administra su propio vivero y reproduce especies de la zona para otros productores debido a este problema, lo que indica un punto de mejora a nivel forestal del país [65].

En la lista de actividades o tareas que deben realizarse en el lote las primeras dos son las más relevantes recomendaciones para mejorar el sistema. La corrección y limpieza de fuentes de agua y el control de malezas en ella es de suma importancia para evitar competencia de nutrientes o condiciones de anegamiento como las actuales[66].

Los costos de establecimiento si bien son una inversión alta, son rentables y recuperables a mediano plazo [53], [67]. Haciendo que la empresa se beneficie no solo a nivel económico sino con todos los beneficios ambientales y sociales que implica un sistema agroforestal. Se ha demostrado que el incorporar los sistemas agroforestales en actividades como la ganadería, resulta ventajoso a mediano y largo plazo a nivel económico después de superar el tiempo de la inversión inicial. Los productos generados diversifican el posible ingreso económico de la finca productiva además de que baja costos de mantenimiento o de operaciones comparado con la ganadería tradicional [68],[69],[18]. Además, es un factor flexible respecto al tiempo, se pueden recomendar etapas de establecimiento para una transición de ganadería tradicional a sistema silvopastoril más paulatina.

5.3 Adoptabilidad de la propuesta

Por su parte, en el análisis de adoptabilidad encontramos diferencias en algunos aspectos, lo cual es importante ya que es la finalidad del análisis para poder ajustar la propuesta en lo que sea necesario.

Por parte de ambas evaluaciones se considera que la superioridad no tiene un peso tan alto, ya que con el sistema actual la actividad productiva es económicamente rentable y manejable para la empresa. En cuanto a la calificación asignada por ambas partes (cinco), expresa que la propuesta es superior al sistema actual ya que a mediano plazo reduce los costos de mantenimiento y diversifica la finca, generando no sólo posibles ingresos económicos sino beneficios ambientales los cuales son una necesidad importante actualmente.

La compatibilidad tiene un peso asignado de uno por ambas evaluaciones lo que indica que es de suma importancia y se califica con el valor más alto. Destacando que es una propuesta compatible con lo que existe en la finca, teniendo en cuenta que algunas de las especies recomendadas para reforestación pueden ser obtenidas de la misma semilla de la finca y además hay disponibilidad de las otras especies en los viveros cercanos. Además de ser compatible con las características y necesidades mostradas.

La simplicidad es de suma importancia, ya que ambas evaluaciones coinciden en el peso asignado. Debido a la gran cantidad de trabajo que representa la finca completa, la propuesta presentada debe ser lo más simple posible para su futura aplicación. Por estas mismas razones la calificación brindada por ambas partes es de un cuatro; ya que la propuesta en cuanto a tecnologías es bastante simple, sin embargo; la cantidad de especies propuestas, la obtención de todas ellas, la cantidad de árboles y las labores que requieren son amplias.

La factibilidad de implementación también se asignó con el peso más alto por ambas evaluaciones, sin embargo; se calificó muy bajo por ambas partes. De la parte técnica, la calificación se asignó debido a los costos determinados comparados con los costos presupuestados anualmente para toda la finca, lo que representa una alta inversión en poco tiempo para la empresa. El encargado indicó que la calificación a este rubro la asignó debido a la alta inversión y trabajo a realizar en corto plazo. Por esto se puede notar que en este rubro deben hacerse ajustes a la propuesta o proponer que se implemente por etapas, donde se extienda el tiempo de establecimiento y así se distribuya la carga económica y de trabajo en tareas.

El último atributo que pertenece a la observabilidad no es de un peso tan alto para ninguna de las dos evaluaciones, aunque difieren en los valores no es en gran medida. Ambas partes entienden que para ver los cambios al trabajar con árboles deben esperarse al menos dos a tres años, por esto el valor de la evaluación técnica es de cinco y la evaluación del encargado es de cuatro.

Aunque al final no hay mucha diferencia entre los porcentajes de adoptabilidad debe ajustarse la propuesta al haber una calificación tan baja para el atributo de factibilidad que tiene tanta relevancia. Esto para afinar la recomendación y procurar una adopción futura con buenos resultados.

6. Conclusiones

El lote presenta problemas de manejo de agua, suelo y desconexión de paisaje, además de la subutilización de los potreros y necesidad de cobertura arbórea.

La incorporación de sistemas silvopastoriles en la zona presenta un gran potencial y oportunidades a nivel económico, ambiental y social para la empresa según las especies recomendadas y su diseño.

La oferta de sitios para la reproducción de especies forestales de zonas con características como las de esta finca es muy baja a nivel país.

La propuesta de diseño realizada no tiene mucha diferencia en sus porcentajes de adoptabilidad, pero debe ser afinada para una mejor recomendación.

7. Recomendaciones

Continuar con el proceso de ordenamiento de la finca para aumentar la eficiencia en la producción, mejorar ambientalmente el manejo de la finca y diversificarla. Sería recomendable para facilitar cualquier labor en el lote y mejorar las condiciones del sitio hacer una pronta revisión de los drenajes y canales de agua para determinar si su funcionamiento es el adecuado, así como proteger las fuentes de agua limpia del pisoteo y contaminación por parte de los animales.

Un control de malezas dentro de las áreas de pasto actual es necesario ya que se nota la invasión de otras especies en la zona, las cuales no son aprovechadas por el ganado, compiten y extraen los nutrientes necesarios para la producción del pasto que si es aprovechable.

Realizar algunas labores o prácticas para el manejo y conservación del suelo como corrección de acidez y aplicación de fertilizantes, así como la protección del suelo con la incorporación de plantas de raíz profunda para evitar erosión, dar soporte y ayudar con la infiltración.

8. Referencias

[1] D. Pezo y M. Ibrahim, Sistemas Silvopastoriles , 2.ª ed., vol. 2. Turrialba : CATIE, 1998.

[2] Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, «El estado de los bosques del mundo 2022. Vías forestales hacia la recuperación verde y la creación de economías inclusivas, resilientes y sostenibles.», 8 de julio de 2022, FAO. doi: 10.4060/cb9360es.

[3] B. B. Dzib Castillo, «Diseño de sistemas agroforestales con base en las condiciones ecológicas y productivas de comunidades campesinas de la Península de Yucatán», El Colegio de la Frontera Sur ECOSUR, 2016.

[4] A. Y. Cárdenas, B. Reyes, N. Ríos, A. Woo, E. Ramírez, y M. Ibrahim, «Impacto de los sistemas silvopastoriles en la calidad del agua de dos microcuencas ganaderas de Matiguás, Nicaragua», Encuentro 2007, vol. 77, 2007.

[5] A. Ospina Ante, Agroforestería : aportes conceptuales, metodológicos y prácticos para el estudio agroforestal. Asociación del colectivo de Agroecología del Surocidente colombiano, 2006.

[6] Japan Forest Technology Association (JAFTA), «Proyecto de Manejo Sostenible en las Cuencas Altas de la Presa de Sabana Yegua en la República Dominicana.», Av Investig Agropecu, 2010.

[7] J. Alonso, «Los sistemas silvopastoriles y su contribución al medio ambiente», Revista Cubana de Ciencia Agrícola, vol. 45, n.º 2, 2011.

[8] Agencia de Cooperación Internacional de Japón (JICA), «Manual Técnico de Agroforestería», 2010.

[9] Oficina Nacional Forestal, Guía Técnica SAF: para la implementación de sistemas agroforestales con árboles forestales maderables. 2013.

[10] V. Arronis Díaz, «Los sistemas agroforestales como una opción de producción sostenible», 2006.

[11] L. Soto Pito, G. Jiménez Ferrer, y T. Lerner Martínez, Diseño de sistemas agroforestales para la producción y la conservación: experiencia y tradición en Chiapas, 1.ª ed. El Colegio de la Frontera Sur (ECOSUR), 2008.

[12] R. Chaves Abarca y R. Salazar Díaz, «Modelación y diseño de sistemas de especies múltiples de cultivos; Caso sistemas agroforestales en Talamanca, Costa Rica», 2018.

[13] G. Febles y T. E. Ruiz, «Evaluación de especies arbóreas para sistemas silvopastoriles», Av Investig Agropecu, vol. 12, 2008.

[14] M. García Roa, Producción de semillas forestales de especies forrajeras enfatizados en sistemas silvopastoriles. INAFOR, 2003.

[15] D. A. Muñoz G., D. A. Calvache M., y J. F. Yela O., «Especies forestales con potencial agroforestal para las zonas altas en el departamento de Nariño», Revista de Ciencias Agrícolas, vol. 29, 2013.

[16] S. Gonzáles Arroyo, «Ordenación del recurso forestal para optimizar los beneficios ambientales, sociales y económicos en la Ciudad de los Niños, Cartago, Costa Rica», Instituto Tecnológico de Costa Rica, 2022.

[17] I. R. Chacón Hernández, «Propuesta para el ordenamiento y manejo de la finca El Ceibo ubicada en el Valle de Ujarrás, Cartago, Costa Rica», Instituto Tecnológico de Costa Rica, 2023.

[18] Walter Méndez, «Comunicación personal», 2024, Juan Viñas, Cartago.

[19] «Google Earth», 2024.

[20] J. Solano y R. Villalobos, «Regiones y subregiones climáticas de Costa Rica».

[21] Instituto Meteorológico Nacional, «Estaciones meteorológicas del Valle Central».

[22] Instituto Tecnológico de Costa Rica, «Atlas Digital de Costa Rica», 2014.

[23] E. Somarriba, «Planificación agroforestal de fincas PAF », 2009, CATIE.

[24] N° 23214-MAG-MIRENEM y La Gaceta, «Metodología Determinación Capacidad Uso Tierras Costa Rica».

[25] A. Jiménez García, E. Esquivel Segura, y M. Guevara Bonilla, «Proceso correcto de un muestreo de suelos», 2023.

[26] Ministerio de desarrollo agrario y riego, Manual para el análisis de suelos agrícolas y agua para riego. Perú, 2024.

[27] D. Villaseñor Ortiz, Fundamentos y procedimientos para análisis físicos y morfológicos del suelo. Universidad Técnica de Machala, 2016.

[28] L. Ortega, «Densidad aparente con parafina», 2022.

[29] R. Rubilar Pons, E. A. Esquivel Segura, y D. Faúndez V, «Manual de laboratorio de suelos y nutrición forestal», 2011, Chile.

[30] M. Rúa, «¿Cómo aforar un potrero para pastorear correctamente?», 2010, Sitio Argentino de Producción Animal. [En línea]. Disponible en: www.produccion-animal.com.ar

[31] M. Jiménez Montero, «Curso de Sistemas Agroforestales, Escuela de Ingeniería Forestal», 2024.

[32] Trópicos de Costa Rica, «Nombres científicos de especies arbóreas ».

[33] L. D. Escobar-Pachajoa, C. Guatusmal-Gelpud, D. H. Meneses-Buitrago, J. L. Cardona-Iglesias, y E. Castro-Rincón, «Evaluación de estratos arbóreos y arbustivos en un sistema

silvopastoril en el trópico altoandino colombiano», Agronomía Mesoamericana, vol. 30, n.º 3, pp. 803-819, 2019, doi: 10.15517/am.v30i3.35645.

[34] L. F. Amador Alfaro, «Captura de carbono y capacidad de carga animal de un sistema silvopastoril en bosque tropical caducifolio», Universidad autónoma Chapingo, Chapingo, México, 2013.

[35] R. C. Auquilla Cisneros, «Uso del suelo y calidad del agua en quebradas de fincas con sistemas silvopastoriles en la Subcuenca del Río Jabonal, Costa Rica», Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, 2005.

[36] M. Alejandra Mora Marín, L. Ríos Pescador, L. Ríos Ramos, y J. Luis Almario Charry, «Impacto de la actividad ganadera sobre el suelo en Colombia», 2017, doi: 10.25054/issn.2216-1325.

[37] A. Salamanca Jiménez y S. Sadeghian Khalajabadi, «La densidad aparente y su relación con otras propiedades en suelos de la zona cafetera colombiana», 2005.

[38] R. E. Salas Camacho y G. Cabalceta, «Manejo del sistema suelo-pasto: Partida para la producción de forrajes», 2009.

[39] O. Ortega Guerra y I. Hernández Alberti, «Necesidades hídricas del pasto estrella (*Cynodon nlemfuensis*) en Guantánamo, Cuba», 2020.

[40] J. Morris, «Diagnóstico de la compactación del suelo en tierras de pastoreo», ATTRA Agricultura sustentable.

[41] A. C. Rodríguez de Lima y L. Brussaard, «Lombrices de tierra como bioindicadores de calidad de los suelos: conocimiento local y científico en sistemas de manejo de arroz», Acta Zoológica Mexicana , 2010.

[42] J. P. Molina, D. Ojeda, J. Fernando Navia, y D. Andrés Muñoz, «Caracterización biofísica y socioeconómica de las fincas ganaderas productoras de leche en el municipio de Pasto, Departamento de Nariño», 2009.

[43] Red Nacional de Pastos y Forrajes, «Fichas de forrajes. Validación y transferencia de casos de éxito, técnicas y variedades forrajeras adaptadas al cambio climático, para su uso en ganado bovino de Costa Rica.», 2020.

[44] F. Araya Quirós, «Diseño de un procedimiento de costeo de kilogramo de pasto», Universidad Técnica Nacional, 2022.

[45] A. J. Ferrufino-Suárez, D. Mora-Valverde, y L. A. Villalobos-Villalobos, «Biomasa y bromatología del pasto Estrella Africana (*Cynodon nlemfuensis* Vanderyst) con cinco períodos de rebrote», Agronomía Mesoamericana, 2022.

[46] Centro de investigación Regional Pacífico Centro, «Requerimientos agroecológicos de especies forestales », 2013.

[47] L. A. Martínez Rosas, «*Leucaena lanceolata* (Watson) Especie forestal nativa, con potencial para ser introducida en sistemas silvopastoriles», Universidad de Guadalajara, Jalisco, 2005.

[48]. Jairo Rojas M, M. Ibrahim, y H. J. Andrade, «Secuestro de carbono y uso de agua en sistemas silvopastoriles con especies maderables nativas en el trópico seco de Costa Rica», Corpoica, Ciencia y Tecnología Agropecuaria, vol. 10, 2009, [En línea]. Disponible en: http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=449945027009

[49] Mundo Forestal, «*Magnolia poasana*».

[50] F. Montagnini, E. Somarriba, E. Murgueitio, H. Fassola, y B. Eibl, Sistemas Agroforestales: Funciones productivas, socioeconómicas y ambientales, 402.ª ed. Colombia y Costa Rica : CATIE, 2015.

[51] F. Fondo Nacional de Financiamiento Forestal, «Pago por servicios ambientales. Actividades y subactividades. ».

[52] Z. Calle, E. Murgueitio, y J. Chará, Integración de las actividades forestales con la ganadería extensiva sostenible y la restauración del paisaje, vol. 63. Sitio Argentino de Producción animal , 2012.

[53] J. David Acero Henao y J. Camilo Novoa Zapata, «Comparación de costos de ganadería tradicional con sistemas ganaderos silvopastoriles, en el departamento del Meta (Colombia)», 2014. [En línea]. Disponible en: https://ciencia.lasalle.edu.co/administracion_agronegocios/113

[54] A. M. Chará-Serna y J. Chará, «Efecto de los sistemas silvopastoriles sobre la biodiversidad y la provisión de servicios ecosistémicos en agropaisajes tropicales», 2020.

[55] L. E. Garro Chacón, «Diseño de un sistema agroforestal en fincas ecológicas de café para la conectividad de dos áreas protegidas en Providencia de Copey, Costa Rica», Instituto Tecnológico de Costa Rica, 2020.

[56] N. Pérez, C. Rojas, D. Criollo, J. Moreno, y L. Guzman, «Rasgos de especies forrajeras basados en diversidad funcional asociados a la producción de biomasa que contribuyen a la decisión de ganaderos en zonas secas», Producción agropecuaria y forestal en los sistemas silvopastoriles y agroforestales, 2015.

[57] O. Murillo Gamboa y Y. Badilla Valverde, «Árboles maderables como sombra en el cafetal», Cartago , 2023.

[58] Producción de madera en sistemas agroforestales de Centroamérica. 2012. [En línea]. Disponible en: www.catie.ac.cr

[59] J. Reyes y C. Martínez, «Establecimiento y manejo de cercas vivas», 2013, Sinaloa, México .

[60] L. Zuta Zuta, «Evaluación de las cercas vivas bajo sistemas silvopastoriles en tres microcuencas ganaderas de la región Amazonas», 2022.

[61] AGRO-INNOVA, «Sistema agroforestal con granos básicos, cerca viva, forestales maderables y cosecha de agua», 2023.

[62] F. Rojas Rodríguez y G. Torres Córdoba, «Árboles del Valle Central de Costa Rica: reproducción », 2015.

[63] O. Murillo Gamboa y Y. Badilla Valverde, «Franjas de árboles en la finca ganadera », Cartago, 2023.

[64] Ecos del bosque, «Características de especies arbóreas de Costa Rica».

[65] D. Hurtado, «Comunicación personal, Hacienda Retes, Cartago», 2424.

[66] P. Bucheli et al., «Estrategias de los árboles para el uso eficiente del agua y tolerancia a la sequía en sistemas silvopastoriles», Agroforestería en las Américas, vol. 50, 2013.

[67] J. Zambrano, W. Herrera Valencia, R. Martínez, y P. Motta Delgado, «Costos de implementación de modelos silvopastoriles en el noroccidente amazónico colombiano», 2023.

[68] M. Ospino-Araya, Y. Badilla-Valverde, W. Paniagua-Madrigal, C. Campos-Granados, y O. Murillo-Gamboa, «Costos de producción de teca (*Tectona grandis*) y melina (*Gmelina arborea*) en sistemas silvopastoriles de la Zona Norte de Costa Rica.», 2020.

[69] S. Ávila Foucat y D. Revollo Fernández, «Análisis económico-financiero de un sistema silvopastoril: estudios de caso en la reserva de la Biosfera de los Tuxtlas, Veracruz, México», 2012.