

Estudio de viabilidad ambiental y forestal, para el establecimiento de un modelo agroforestal en
Macaravita Santander

Sergio Ferney Pérez Duarte

Propuesta de trabajo para optar por el título de Ingeniero Forestal

Director

Ricardo Andrés Oviedo Celis

MSc. Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente

Codirector

Doris Duarte Hernández

MSc. Manejo Uso y Conservación del Bosque

Universidad Industrial De Santander

Instituto de Proyección Regional y Educación a Distancia IPRED

Programa De Ingeniería Forestal

Bucaramanga

2023

Dedicatoria

En primer lugar, dar gracias a Dios por darme la oportunidad de cumplir mi meta de ser ingeniero forestal, seguidamente a mi madre *María Eugenia Pérez Duarte*, a mi abuela *Estefanía Duarte de Pérez* y, especialmente, a mis hermanos *Herly Johana Pérez* y *Ferney David Pérez* por su apoyo incondicional en momentos de dificultad y a toda mi familia en general que a pesar de las dificultades nunca perdieron la esperanza de verme profesional.

Sergio

Agradecimientos

En primer lugar, quiero dejar plasmado el nombre de mi madre *María Eugenia Pérez Duarte* quien me dio la vida y me apoyó en los momentos más importantes de mi trasegar estudiantil. Igualmente, a mi abuela *Estefanía Duarte de Pérez* que sin sus consejos y su apoyo psicológico tampoco hubiera sido posible poder sostenerme en esta etapa de la vida.

A mis hermanos a mis tíos, al señor profesor Ricardo Andrés Oviedo y la profesora Doris Duarte Hernández por el acompañamiento en el desarrollo de este trabajo de grado y en general a todo el cuerpo docente y administrativo de esta prestigiosa universidad ya que sin ustedes este logro tampoco hubiese sido posible, sus esfuerzos y liderazgo lograron los objetivos de formar personas con un alto grado de competencia en las diferentes áreas aportando un grano de arena a la sociedad y al estado colombiano. Sin duda, donde quiera que esté los recordaré, los más gratos momentos que pasé en este centro educativo que nos da la posibilidad a nosotros y las personas de más escasos recursos a que se cumplan nuestros sueños y podamos ver otra posibilidad de vida que mejore nuestra dignidad y la de nuestras familias.

Tabla de contenido

Introducción	10
1. Objetivos	12
1.1 Objetivo general.....	12
1.2 Objetivos Específicos	12
2. Marco Teórico	13
2.1 Sistemas de Producción	13
2.1.2 Sistemas de producción en tierras altas y áreas escarpadas	13
2.1.2 Modelos de producción rural extensiva	14
2.1.3 Sistemas de producción intensivos o tecnificados	14
2.2 Agroforestería tropical.....	15
3. Metodología.....	16
3.1 Área de estudio	16
3.2 Caracterización de las prácticas de manejo	17
3.3 Caracterización del componente biótico.....	18
3.4 Caracterización del componente abiótico	18
3.5 Suelo	18
3.6 Procesamiento de datos.....	20

VIABILIDAD SISTEMA AGROFORESTAL	5
3.6.1 Prácticas de manejo del suelo	20
3.6.2 Índice de calidad del suelo	21
3.6.3 Textura.....	22
3.6.4 Densidad Real	23
3.6.5 Densidad Aparente	24
3.6.6 Porosidad.....	25
3.6.7 Características biofísicas del entorno ambiental y forestal	25
3.7 Lineamientos del modelo agroforestal.....	27
4. Resultados.....	29
4.1 Caracterización de las prácticas implementadas.....	29
4.2 Caracterización biofísica de la zona de estudio	30
4.2.1 Componente forestal	30
4.2.2 Componente suelo.....	32
4.3 Lineamientos del modelo agroforestal.....	34
5. Discusión	37
6. Conclusiones.....	39
7. Recomendaciones	40
Referencias bibliográficas.....	41

Lista de tablas

Tabla 1. Relación parámetros análisis edáfico.....	20
Tabla 2. Índice de calidad del suelo.....	21
Tabla 3. Clases texturales del suelo.....	23
Tabla 4. Criterios análisis de sostenibilidad modelo agroforestal café – madera.....	28

Lista de figuras

Figura 1. Localización área de estudio.	17
Figura 2. Sistema de muestreo de suelo.	19
Figura 3. Abundancia por familia de especies forestales.	31
Figura 4. Reservas de volumen de madera por especie.	32
Figura 5. Índice de calidad del suelo.	33
Figura 6. Indicadores de sostenibilidad antes del cultivo agroforestal.	34
Figura 7. Indicadores de sostenibilidad durante el cultivo agroforestal.	36
Figura 8. Indicadores de sostenibilidad después del cultivo agroforestal.	37

Resumen

Título: Estudio de viabilidad ambiental y forestal, para el establecimiento de un modelo agroforestal en Macaravita Santander*

Autor: Sergio Ferney Pérez Duarte **

Palabras clave: Suelo, Comunidades rurales, gestión territorial, Manejo de recursos naturales, Productividad de fincas

Descripción:

El uso del suelo en los territorios puede presentar alteraciones que afecten su condición natural y llevarlo a la degradación, por tanto, es necesario que los propietarios tengan nuevas alternativas para su aprovechamiento. El presente estudio, exploró las alternativas ambientales y forestales para implementar un modelo agroforestal en el municipio de Macaravita, Santander. Para esto, inicialmente se llevó a cabo la caracterización social de la zona, donde también fueron incluidos elementos de análisis técnicos, ambientales y forestales sobre los cuales se establecieron escenarios antes, durante y después de una posible implementación del modelo. Los resultados indican que las comunidades quieren hacer un cambio en los modelos de producción, sin embargo, es nulo el grado de conocimiento que tienen sobre sistemas agroforestales con café, de igual forma, el estado de los recursos naturales dificultaría inicialmente establecer el cultivo. Se concluye, que el sector cuenta con la extensión para un proyecto agroforestal de café, pero las condiciones ambientales y forestales requieren ser ajustadas para garantizar el éxito productivo del cultivo, esto por bajas condiciones de calidad en el suelo. Por último, se reconoce la necesidad de este tipo de estudios en toda la provincia de García Rovira.

*Trabajo de grado

** Instituto de proyección regional y Educación a distancia IPRED. Programa Ingeniería Forestal. Director Ricardo Andrés Oviedo Celis MSc. Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente. Codirector: Doris Duarte Hernández MSc. Manejo Uso y Conservación de Bosques.

Abstract

Title: Environmental and forestry feasibility study for the establishment of an agroforestry model in Macaravita Santander*

Author: Sergio Ferney Pérez Duarte**

Key Words: Soil, Rural communities, Land management, Natural resource management, Farm productivity.

Description:

Land use in the territories can present alterations that affect its natural condition and lead to degradation; therefore, it is necessary for the owners to have new alternatives for its use. This study explored environmental and forestry alternatives to implement an agroforestry model in the municipality of Macaravita, Santander. For this purpose, a social characterization of the area was initially carried out, where technical, environmental and forestry analysis elements were also included, on which scenarios were established before, during and after a possible implementation of the model. The results indicate that the communities want to make a change in the production models, however, the degree of knowledge they have about agroforestry systems with coffee is null, and also the state of the natural resources would initially make it difficult to establish the crop. It is concluded that the sector has the extension for a coffee agroforestry project, but the environmental and forestry conditions need to be adjusted to guarantee the productive success of the crop, due to low soil quality conditions. Finally, the need for this type of study is recognized throughout the province of Garcia Rovira.

*Undergraduate Work

** Institute of Regional Projection and Distance Education IPRED. Forest Engineering Program. Director: Ricardo Andrés Oviedo Celis MSc. Sustainable Development and Environment. Codirector: Doris Duarte Hernández. MSc. Forest Use and Conservation Management.

Introducción

Colombia es un país con vocación forestal y agrícola, esta condición le ha permitido por décadas hacer uso del suelo en diferentes actividades de producción y comercialización de materias primas como alimentos. Sin embargo, este panorama desde el punto de vista económico ha tenido implicaciones negativas en los recursos naturales (García, 2004). Dentro de los beneficios de estas actividades, se tiene el suministro de comida para la población que está en constante crecimiento a nivel global y nacional (Miranda, 2011). Bajo este contexto, surgen nuevas formas de usar y aprovechar los recursos naturales a nivel global. En tal sentido, hacia 1977 se plantea como alternativa la combinación de cultivos agrícolas y forestales para la producción mixta, Nair (1981) reconoce la importancia de las actividades económicas locales en el campo y expone que desde esta escala se pueden implementar nuevas formas de uso del suelo productivo.

De esta forma, el término agroforestería se hace popular en la comunidad internacional y actualmente goza de amplia aceptación (Mazo, 2016). En Colombia, esta forma de producir es común en algunas regiones como la Andina, donde se concentra la producción del cultivo insignia nacional, el café. Específicamente, en el departamento de Santander el café es dinamizador de la economía al ser cultivado en 37.000 fincas que cubren una extensión de 51.000 ha (Oviedo, 2021). Sin embargo, no todas las posibilidades son favorables en las fincas para el establecimiento del café, cuando se siembra sin el estudio previo se pueden generar pérdidas considerables para el propietario. Por tanto, este trabajo de grado explora y analiza el contexto actual ambiental, social y forestal para implementar un modelo agroforestal café - madera. Su desarrollo, aporta un elemento importante al momento de contemplar la posibilidad por parte de los productores de

implementar este tipo de cultivos, especialmente, en este tiempo donde los precios del grano motivan para que así sea. Sin embargo, es fundamental identificar antes de hacer este tipo de inversiones, la realidad de oferta ambiental y forestal en las fincas. El trabajo, presenta estos aspectos y los analiza en el antes, durante y después, con el fin de visualizar el panorama real de la finca seleccionada. En tal sentido, los resultados que se plasman en esta investigación son una base académica para orientar la decisión del propietario, y no un concepto final. Esto por el alcance netamente académico, donde se buscó evidenciar la aplicación de conceptos forestales del autor durante su etapa de formación en la universidad.

1. Objetivos

1.1 Objetivo general

Analizar las condiciones de oferta ambiental y forestal, para definir la viabilidad del establecimiento de un modelo agroforestal (Café + madera) como alternativa de uso sostenible del suelo en la vereda Juncal municipio de Macaravita Santander.

1.2 Objetivos Específicos

Identificar las prácticas de manejo del suelo empleadas por las comunidades para actividades productivas a largo del tiempo.

Determinar características biofísicas del entorno ambiental y forestal en la vereda objeto de estudio.

Establecer los lineamientos técnicos, ambientales y forestales, para la implementación de la mejor alternativa de modelo agroforestal para la región.

2. Marco Teórico

2.1 Sistemas de Producción

Los sistemas de producción agrícola son modalidades de explotación agropecuaria, tradicional y empresarial, en algunos casos poco tecnificada. Esto último, genera limitaciones que impiden óptimas condiciones de rentabilidad al productor debido a que no se planifican sus actividades que conllevan a pérdidas innumerables en la economía. Es frecuente que algunos factores no sean tenidos en cuenta, tales como el clima, uso vocacional del suelo, la mecanización y la implementación de nuevas tecnologías. (Gavilán, 2006).

Los sistemas de producción agrícola por lo general se implementan en un entorno familiar que contribuyen al mejoramiento de la economía de cada uno de los integrantes del núcleo familiar y, comúnmente se cuenta con las mismas estrategias y tecnologías artesanales que cotidianamente el campesino ha utilizado a lo largo de su vida para la producción de alimentos (Palacios et al., 2014). En la actualidad, cada país le apuesta a fortalecer nuevos métodos de producción con el objetivo de reducir el alto nivel de pobreza que presenta la comunidad campesina y conlleve a mejorar su calidad de vida (Villa et al., 2011).

En este caso de los ocho métodos de producción que existen, se van a abordar en especial los que están acordes a la topografía de la zona de estudio que son:

2.1 2 Sistemas de producción en tierras altas y áreas escarpadas

Los sistemas de producción en la región andina son poco especializados debido a que sus territorios presentan una topografía quebrada y altamente escarpada (López et al., 2000). Sin embargo, en la actualidad también se cuenta con algún nivel de mejoramiento; en cuanto a la

mecanización y tecnificación de cultivos. Esto, es un claro ejemplo de avance, ya que con la implementación de productos agroquímicos se ha contribuido al mejoramiento y rendimiento en cultivos representativos de la región, como es el caso del frijol, maíz, tabaco, entre otros. De igual manera, con el pasar del tiempo los campesinos se han dado cuenta de que la producción en monocultivos no es viable, debido a los fuertes impactos que estos ocasionan al suelo. Por lo tanto, han optado por implementar la rotación de cultivos con el propósito de restaurar las coberturas vegetales y así mismo, contribuir a la recuperación de las propiedades físicoquímicas del suelo (Tecnologías y estrategias de producción agropecuaria, 2020).

2.1.2 Modelos de producción rural extensiva

Los modelos rurales de producción extensiva son aquellos usos del suelo donde la actividad económica es la base de ejecución. Se trata de escenarios, donde los integrantes de un núcleo familiar planifican, defienden y llevan a cabo labores agrícolas, pecuarias o forestales, que en un periodo de tiempo establecido se convierten en negocio al interior de la finca. Estos modelos de producción son los más aplicados en el país debido a que emerge y liga en su totalidad a todo el núcleo familiar; como consecuencia a su limitación económica usan herramientas y técnicas rudimentarias que normalmente se hacen mediante parcelas que involucran grandes extensiones de terreno, obteniendo una baja producción y en definitiva no representa gran valor económico (Tecnologías y estrategias de producción agropecuaria, 2020).

2.1.3 Sistemas de producción intensivos o tecnificados

Este modelo de producción se enfoca básicamente en la producción a gran escala y con alto valor económico debido a que cuenta con muy buena demanda en mercados internacionales. Son mucho más modernos y especializados, cuentan con una serie de tecnologías que facilitan el

manejo de la producción. Asimismo, la caracterización de estos sistemas productivos se puede determinar y estudiar fácilmente, los factores físicos, bióticos, económicos, ambientales y socioculturales permiten entender y comprender el manejo y la estructura del sistema de producción (CORPOICA, 1996).

2.2 Agroforestería tropical

El centro mundial de la agroforestería define los cultivos agroforestales como una producción que incorpora la asociación de un cultivo forestal con un cultivo agrícola o con la ganadería. Garrett (2009), lo denota como una práctica productiva para el uso del suelo, debido a que dentro de este sistema se presentan importantes interacciones interespecíficas que por lo general presentan impactos positivos al suelo que los contiene, por lo tanto, favorecen la conservación del ecosistema tropical (Nair et al., 2008).

Los sistemas agroforestales en Colombia han tomado un alto nivel de importancia en la comunidad campesina, producto de los fuertes impactos que ha generado el cambio climático en el sector agropecuario (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [IPCC], 2007). El IPCC decretó que debido a este cambio se han presentado pérdidas económicas en las comunidades más vulnerables del país. En este orden de ideas, los sistemas agroforestales juegan un rol importante en el sector medioambiental debido a que fácilmente permiten el aprovechamiento de los recursos naturales, y de la misma manera contribuyen a la restauración de suelos que anteriormente fueron impactados por la agricultura tradicional. (MINAMBIENTE, 2000).

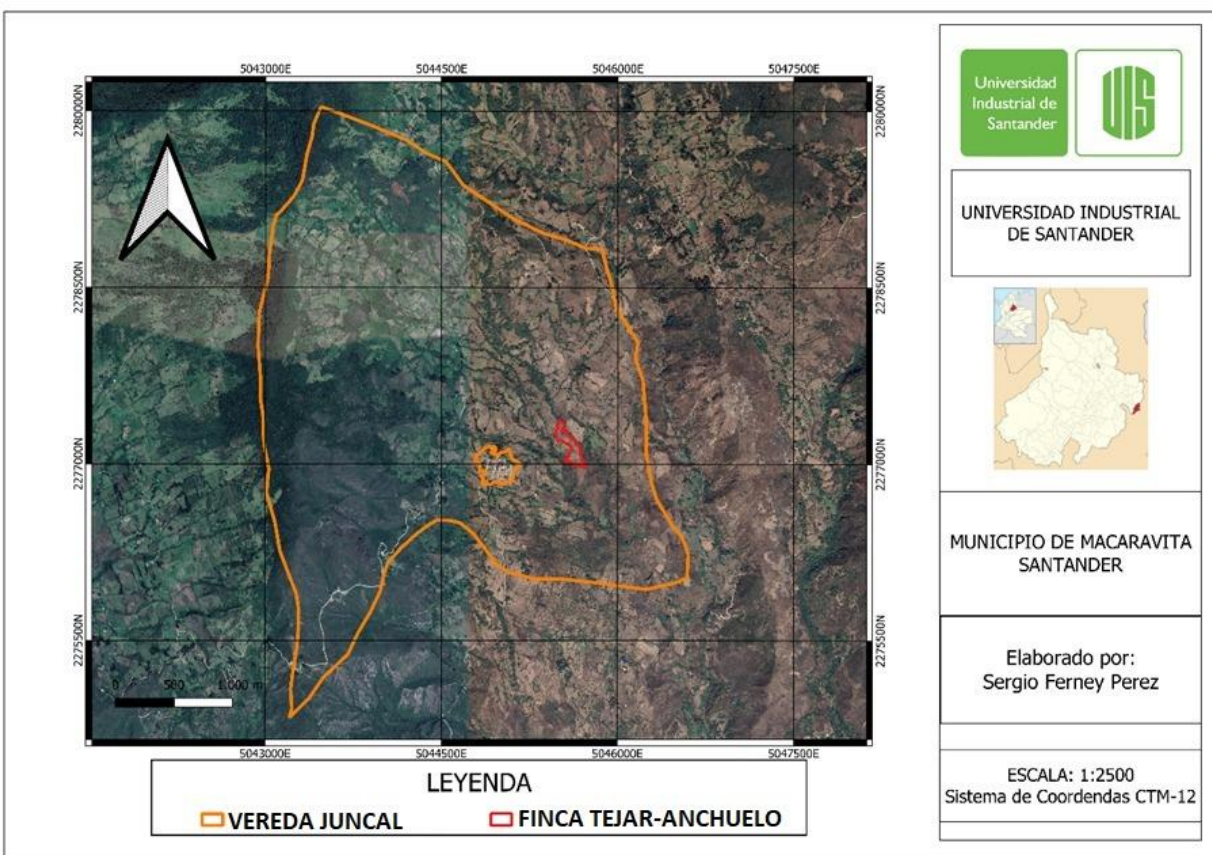
Estos sistemas de producción presentan una relevante diferencia con los monocultivos a corto tiempo; ya que tienden a ser vulnerables y generan baja rentabilidad y altas pérdidas

económicas al propietario (Nair et al., 2008). Una comparación de ambos sistemas de producción en el ámbito ambiental muestra como la agroforestería aporta una serie de servicios ecosistémicos que contribuyen, a la captura de carbono, mejoramiento de la fertilidad del suelo, conservación de la fauna, conservación del agua, conservación de la calidad del aire. En Colombia, reportes del Instituto Geográfico Agustín Codazzi contabilizan alrededor de 21 millones de hectáreas que cuentan con las condiciones adecuadas para ser ocupadas por cultivos agroforestales y se espera que para los próximos años estos territorios aumenten (IGAG, 2002).

3. Metodología

3.1 Área de estudio

El estudio se realizó en la finca El Tejar Anchuelo ubicada en la vereda Juncal municipio de Macaravita-Santander (Figura 1), a la cual se accede por vía terciaria en un trayecto de 10 minutos partiendo desde el pueblo. El predio cuenta con una extensión de 3 ha, su topografía es plana a levemente escarpada, y a una altura de 2160 m s. n. m. La temperatura ambiente oscila entre los 18° y 23°C, con una precipitación promedio anual de 950 mm (IDEAM, 2021). Actualmente, el predio se dedica a la ganadería y lotes de agricultura de barbecho natural.

Figura 1.*Localización área de estudio.*

3.2 Caracterización de las prácticas de manejo

La caracterización de las diferentes prácticas de manejo implementadas en la finca El Tejar Anchuelo y predios vecinos se realizó inicialmente mediante un diagnóstico preliminar de las condiciones actuales de uso del suelo y otros aspectos biofísicos. Para esto, se tuvieron en cuenta indicadores visuales y la consulta directa a los propietarios y trabajadores de la vereda. Un segundo momento de la fase, buscó explorar a profundidad las prácticas de manejo implementadas en el tiempo, esto con el fin de conocer los diferentes sistemas de producción, usos dados al suelo, al patrimonio ambiental y forestal. Su desarrollo fue posible mediante la construcción de un instrumento de campo compuesto por diferentes aspectos relacionados a la actividad productiva

que tuvo como base la guía de buenas prácticas para la gestión y uso sostenible de los suelos en áreas rurales (FAO, 2018).

3.3 Caracterización del componente biótico

Para el estudio, se determinó como componente biótico las coberturas vegetales naturales y artificiales presentes en la finca. Las primeras fueron estudiadas por medio de un inventario forestal del 100% de los individuos arbóreos, debido a que la zona no presenta área boscosa abundante sino franjas en riveras de quebradas. Por tanto, no se contempló la implementación de parcelas por el estado de dispersión y fragmentación del componente forestal. Respecto de las coberturas artificiales no se caracterizaron, ya que se pudo determinar por los recorridos iniciales de campo donde estas no estaban presentes (plantaciones forestales y/o sistemas agroforestales).

3.4 Caracterización del componente abiótico

Para esta caracterización solo se tuvo en cuenta el suelo. La propuesta inicial contempló análisis hidrológicos, sin embargo, las limitantes para acceso a bases de datos de precipitación y temperatura no permitieron generar productos como balance hídrico y patrones de lluvias para la zona.

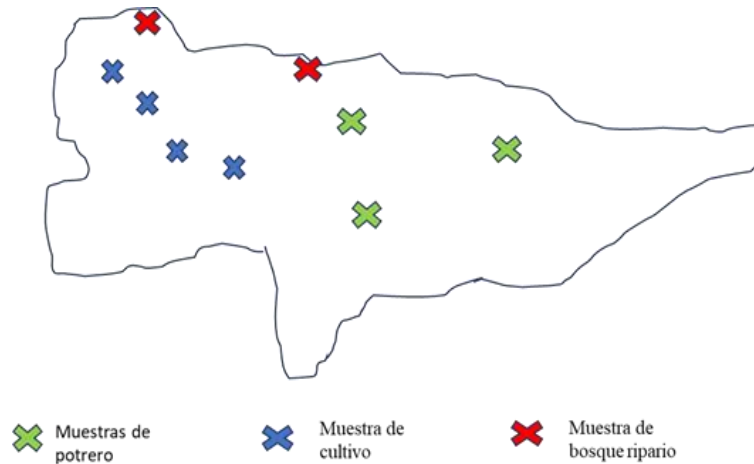
3.5 Suelo

Se realizaron dos análisis de suelo según las recomendaciones del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC, 2019). Esto, con el objetivo de construir un índice de calidad que permitiera comprender el estado actual del suelo desde sus propiedades internas. Para la toma de muestras, se realizó un recorrido ubicando puntos al azar en el terreno (Figura 2). La extracción se llevó a cabo mediante el uso de barreno a 30 cm de profundidad, extrayendo entre 15 y 20

submuestras mezcladas, para conformar una muestra de 1 kg de peso la cual se envió al laboratorio de Reconversión Ganadera y Agroforestal de la Universidad Industrial de Santander Sede Málaga.

Figura 2.

Sistema de muestreo de suelo.



Nota: Adaptado del IDEAM, 2019

Los parámetros seleccionados para el análisis del suelo se describen a continuación (Tabla 1).

Tabla 1.*Relación parámetros análisis edáfico.*

Parámetro	Símbolo	Unidad
Potencial de hidrogeno	(pH)	Unidades de ph
Materia Orgánica	(M.O)	%
Fosforo disponible	(P)	Mg/kg
Calcio intercambiable	(Ca)	meq/100g
Magnesio intercambiable	(Mg)	meq/100g
Sodio intercambiable	(Na)	meq/100g
Capacidad de intercambio cationico	(CICE)	meq/100g
Hierro intercambiable	(Fe)	mg/kg
Manganeso intercambiable	(Mn)	mg/kg
Zinc intercambiable	(Zn)	mg/kg
Cobre intercambiable	(Cu)	mg/kg
Saturación de calcio	(Ca)	%
Saturación de magnesio	(Mg)	%
Saturación de potasio	(k)	%
Saturación de sodio	(Na)	%
Saturación de aluminio	(Al)	%
Textura	Arena, Arcilla, Limo	%
Densidad	(ϕ)	g/cm ³ y g/ml

Nota: Elaboración según propuesta de laboratorio.

3.6 Procesamiento de datos

3.6.1 Prácticas de manejo del suelo

Las prácticas de manejo fueron analizadas mediante técnicas estadísticas descriptivas. Estas permitieron conocer los patrones medios de cada una de las variables que conformaron el instrumento de campo. Los resultados generados, corresponden a tendencias generales, y solo aplican para el contexto del área de estudio donde se llevó a cabo la recolección de datos.

3.6.2 Índice de calidad del suelo

La determinación del índice de calidad del suelo se hizo mediante los parámetros químicos de los dos análisis de suelo, donde inicialmente se calculó el promedio de cada uno de los parámetros para luego remplazarlos cada uno mediante la siguiente fórmula:

$$v_n = (I_m - I_{min}) / (I_{max} - I_{min})$$

Donde,

v_n : Valor normal

I_m : Promedio de los parámetros

I_{min} : Valor mínimo del parámetro

I_{max} : Valor máximo del parámetro

Finalmente, cada uno de los parámetros se compraron en una escala de 0 a 1 para determinar la calidad mediante la Tabla 2.

Tabla 2.

Índice de calidad del suelo.

Índice de calidad	Escala	Clase
Excelent calidad	0.80 - 1	1
Alta calidad	0.60 - 0.79	2
Moderada calidad	0.40 - 0.59	3
Baja calidad	0.20 - 0.39	4
Muy baja calidad	0 - 0.19	5

3.6.3 *Textura*

El cálculo de la textura del suelo se hizo mediante el método del hidrómetro o método de Bouyoucos que consiste en dejar sedimentar la muestra debidamente tratada por un tiempo aproximado de dos horas, para posteriormente calcular el % de arena, el % de arcilla y el % de limo mediante las siguientes ecuaciones:

$$\% \text{ Arena} = 100 - \frac{\text{Lectura del hidrómetro a los 40s}}{\text{peso de la muestra}} * 100$$

$$\% \text{ Arcilla} = \frac{\text{Lectura del hidrómetro a los 2h} * 100}{\text{peso de la muestra}}$$

$$\% \text{ Limo} = 100 - (\% \text{ Arena} - \% \text{ Arcilla})$$

Finalmente, los porcentajes obtenidos de las ecuaciones se compararon con el triángulo de las clases texturales para luego identificar la clase textural que presentan los suelos del área de estudio teniendo en cuenta la Tabla 3.

Tabla 3.*Clases texturales del suelo.*

Clase textural	Rango (%) en contenido de		
	Arena	Limo	Arcilla
Arenosa	100 - 85	15 - 0	10 - 0
Arenosa franca	90 - 70	30 - 0	15 - 0
Franco arenosa	85 - 43	50 - 0	20 - 0
Fanca	52 - 23	50 - 32	27 - 7
Franco Limosa	50 - 0	87 - 50	27 - 0
Limosa	20 - 0	100 - 80	12 - 0
Franco arcillo arenosa	80 - 45	28 - 0	35 - 20
Franco arcillosa	45 - 20	53 - 15	40 - 27
Franco arcillo limosa	20 - 0	73 - 40	40 - 27
Arcillo arenosa	67 - 45	20 - 0	55 - 35
Arcillo limosa	20 - 0	60 - 40	60 - 40
Arcillosa	45 - 0	40 - 0	100 - 40

3.6.4 *Densidad Real*

La densidad real se calculó para cada una de las nueve muestras tomadas al azar en el área de estudio, para ello, se llevaron al laboratorio de la Universidad Industrial de Santander donde por medio del método del picnómetro se determinó el desplazamiento del agua por el volumen de sólidos mediante la siguiente ecuación:

$$v = p2 - (p3 - p1)$$

Donde,

$p1$: Peso del suelo en g

$p2$: Peso del picnómetro + el agua g

$p3$: Peso del picnómetro + el agua + suelo g

v : Volumen cm^3

Finalmente, se determinó la densidad del suelo mediante la siguiente fórmula:

$$\varphi_r = \frac{m}{v}$$

Donde,

φ_r : Densidad real

m : Masa del suelo

v : Volumen calculado por la anterior ecuación

3.6.5 *Densidad Aparente*

Para determinar la densidad aparente se tomaron tres muestras, una en el área de potrero, otra en el área de cultivos y la otra en el área conservada. Mediante el uso de un tubo metálico que se enterró en el suelo y con la ayuda de un mazo pesado se enterró primero de un lado y posteriormente se procedió a desenterrar el tubo y volver a enterrarlo por el otro extremo con el propósito de tomar la mayor muestra posible. Luego, se hizo el debido pesado de cada una de las muestras para finalmente dejarlas secar a temperatura ambiente y poder determinar el peso total de suelo seco que contenía cada una de las muestras. Finalmente, se calculó la densidad aparente mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Densidad aparente} = \frac{\text{masa del suelo seco } g}{\pi * r^2 * h}$$

Donde,

r : Radio del tubo

h: Altura del tubo

3.6.6 Porosidad

Para la determinación de la porosidad del suelo se tuvo en cuenta la densidad aparente y la densidad real mediante la siguiente ecuación:

$$Po = \frac{Dr - Da}{Dr} * 100$$

Donde,

Po: Porosidad

Dr : Densidad real

Da: Densidad aparente

3.6.7 Características biofísicas del entorno ambiental y forestal

La recolección de datos forestales se hizo mediante censo forestal del 100% de los árboles presentes en el área de estudio. Inicialmente, se registró el CAP (circunferencia a la altura del pecho) con cinta diamétrica. Algunos árboles por su diámetro se midieron con el uso de decámetro. Seguido, se midió la altura total y la altura comercial con instrumentos de precisión en altimetría como nivel el nivel Sunto. Los datos colectados permitieron calcular variables como volumen total y comercial, sobre el cual se analizó el componente. Estos procedimientos se llevaron a cabo en Excel donde se tabularon. Las fórmulas empleadas para los cálculos fueron:

$$DAP = \frac{CAP(cm)}{\pi}$$

Donde,

DAP: Diámetro a la altura del pecho

CAP: Circunferencia a la altura del pecho

Luego, se halló el are basal en m² de cada uno de los individuos mediante la fórmula:

$$g = \frac{\pi.d^2}{40.000} \quad g = \frac{\pi.d^2}{4}$$

Donde

g: Área basal

d²: Diámetro a la altura del pecho al cuadrado

40.000: Constante cuando el diámetro está en cm

4: Constante cuando el diámetro está en m

Finalmente, se determinó el volumen en m³ de madera aprovechable mediante la fórmula:

$$v = Ff * h * g$$

Donde

V: Volumen

Ff: Factor de forma que oscila entre 0 y 1 dependiendo la forma del árbol

h: Altura del árbol

g: Área basal

Finalmente, este censo forestal se llevó al programa R-Studio donde se hizo el análisis estadístico para cada una de las variables calculables en el censo forestal.

3.7 Lineamientos del modelo agroforestal

Para determinar la viabilidad del modelo agroforestal se definieron lineamientos de sostenibilidad; con el fin de evaluar cada uno de ellos con el antes del cultivo agroforestal durante el cultivo y después del cultivo agroforestal. Para ello, se determinó un puntaje de 1 hasta 5 donde 1 es deficiente y 5 es óptimo. Para el tratamiento estadístico de los datos se computaron en Excel cada uno de los indicadores con su respectiva puntuación en cada una de las etapas del cultivo con el propósito de identificar y comparar la viabilidad del cultivo agroforestal antes, durante y después de ser implementado.

Tabla 4.*Criterios análisis de sostenibilidad modelo agroforestal café – madera.*

Criterios a evaluar	DESCRIPCIÓN
Disponibilidad mano de obra local	Cantidad de mano de obra activa disponible para trabajar
Aceptación de modelos Agroforestales	Aceptación de nuevas formas de cultivo por el campesino del área de estudio
Disponibilidad hídrica	Calidad y cantidad de agua disponible en el área de estudio
Presencia de plagas	Aumento y/o disminución de plagas
Vías de acceso	Cantidad y calidad de las vías de acceso
Disponibilidad de infraestructura	cantidad y calidad de infraestructura para realizar cada una de las actividades
Riesgos Naturales	susceptibilidad a incendios deslizamientos etc.
Acceso a tecnologías de mecanización	Adaptación de nuevas tecnologías para el campo
Conectividad del paisaje	Si presenta no conectividad para la fauna
Desarrollo económico	Reducción de la pobreza en la zona de estudio
Promover la Empleabilidad	generación de empleos fijos
Fomento de la investigación	Implementación de nuevas investigaciones en cualquier ámbito
Posibilidades de comercio local	Apertura de sitios de acopio para distribución y comercialización del producto en el área de estudio
Posibilidades de comercio regional	Apertura de sitios de acopio para distribución y comercialización del producto en García Rovira
Calidad del suelo	Índice de recuperación del recurso suelo
Alternativa de producción local	generación de empleos, turismo etc.
Competencia entre modelos tradicionales	Cambio del sistema de agricultura tradicional a tecnificada
Alternativa económica	total dependencia económica del cultivo agroforestal
Acceso a recursos estatales	Regalías y programas que puede acceder el campesino ya sea local, regional o nacional
Nivel de inversión inicial	Disponibilidad de dinero para implementar el cultivo

Nota: Criterios obtenidos en el estudio.

4. Resultados

4.1 Caracterización de las prácticas implementadas

En total se realizaron 15 encuestas, correspondientes a 15 familias. Los resultados de estas encuestas indican que el 73,33% de las fincas tienen propiedad legalmente constituida, el restante 26,67% corresponde a arrendatarios y vivientes. Las personas que habitan las fincas son padres, con más de dos hijos que representan el 46,67% de la muestra, y respecto al grado de escolaridad el 90% solo cuenta con estudios de primaria.

El 93,33% de la muestra afirma desarrollar actividades productivas dentro de sus predios, siendo la agricultura y la ganadería las actividades más realizadas por las familias; bajo un sistema de producción netamente tradicional, asimismo, el 73,33% de los encuestados afirman no abandonar su finca en ningún momento para dedicarse a la minería, dicen que desde hace varios años han tomado un alto grado de importancia en la zona de estudio; sin embargo, el 33,33% de los encuestados manifiestan tener algún familiar directamente vinculado en la minería. De igual manera, se indagó sobre el conocimiento que los campesinos tienen sobre la agroforestería, resultando que el 100% de los encuestados afirmaron no tener conocimiento de cultivos agroforestales; sin embargo, se les explicó en qué consistía y el 73,33% de los encuestados presentó un gran interés en implementar un cultivo agroforestal dentro de su finca.

En cuanto al aspecto económico de los habitantes, el 60% manifestaron estar insatisfechos con los dineros recibidos por los productos que se generan en su finca, asimismo, el 26,67% de los encuestados manifiesta estar satisfechos. Por otro lado, se pudo evidenciar que el 86% no lleva

contabilidad de los recursos generados por las cosechas, pero, sin embargo, un 80% siente que los precios de sus productos son muy bajos lo que implica que el 73,33% de los propietarios no tengan la capacidad de remunerar las labores realizadas por los familiares dentro de la finca, lo que implica que el 73% de los encuestados contrata mano de obra independiente bajo la modalidad de empleo del jornal con un 93%. Por esta razón el 60% de la muestra afirma que la ganadería y la agricultura actualmente es rentable para su economía.

Por otro lado, el 93,33% realiza abonado, control y manejo de plagas en los cultivos y potreros, sin embargo, se puede evidenciar que tanto el abonado de cultivos y el control de enfermedades y plagas lo hacen netamente con pesticidas (87%) y abonos químicos (66,67%), por tal razón, el 100% de los encuestados dicen no estar de acuerdo con los elevados precios de los insumos agrícolas, pero de igual manera este mismo porcentaje dice afirmar que los residuos de sus cosechas no son manejados lo que implica pérdida de materia orgánica para su finca.

Finalmente, en el ámbito ambiental y forestal el 73,33% de la comunidad manifiesta que frecuentemente realizan prácticas que favorecen con la conservación del suelo, pero evidentemente el 46,67% de los predios no poseen bosque y el 53,33% de los predios no poseen fuentes de agua propia lo que implica que sea suministrada de otros predios, esto se puede verificar con el 46,67% de la muestra que no realizar ningún tipo de conservación del bosque en su finca.

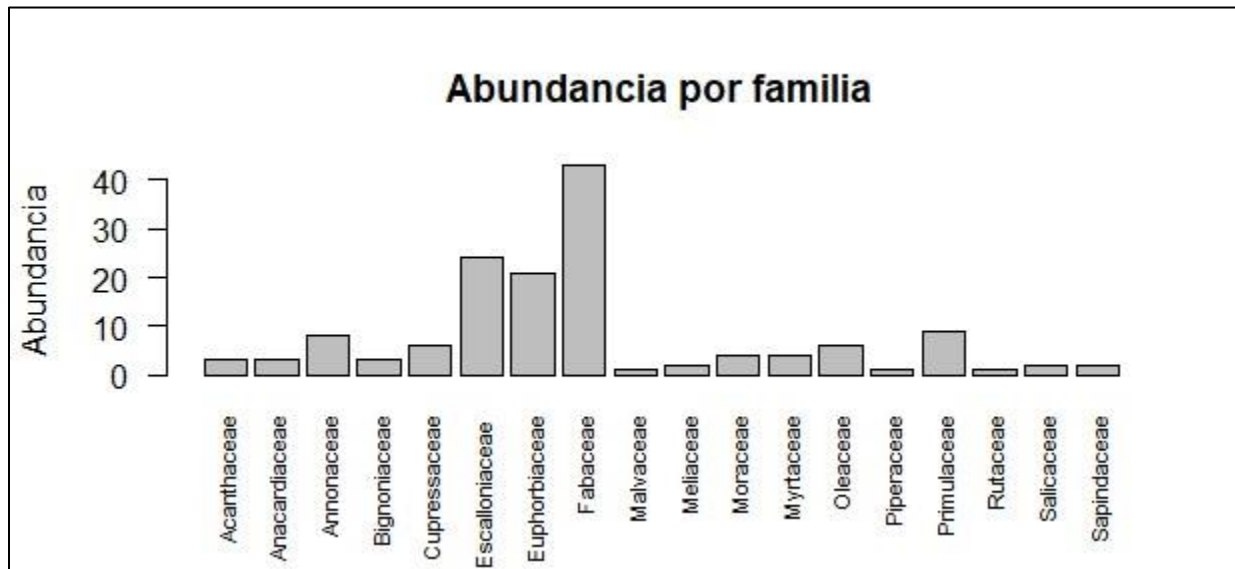
4.2 Caracterización biofísica de la zona de estudio

4.2.1 Componente forestal

El censo del componente forestal reporta un total de 131 individuos, estos se agrupan en 18 familias y 21 especies. La familia Fabaceae fue la más abundante con el 32,82%, mientras que las familias menos abundantes fueron Malvaceae, Rutaceae y Piperaceae con un 0,76%, respectivamente (Figura 3).

Figura 3.

Abundancia por familia de especies forestales.

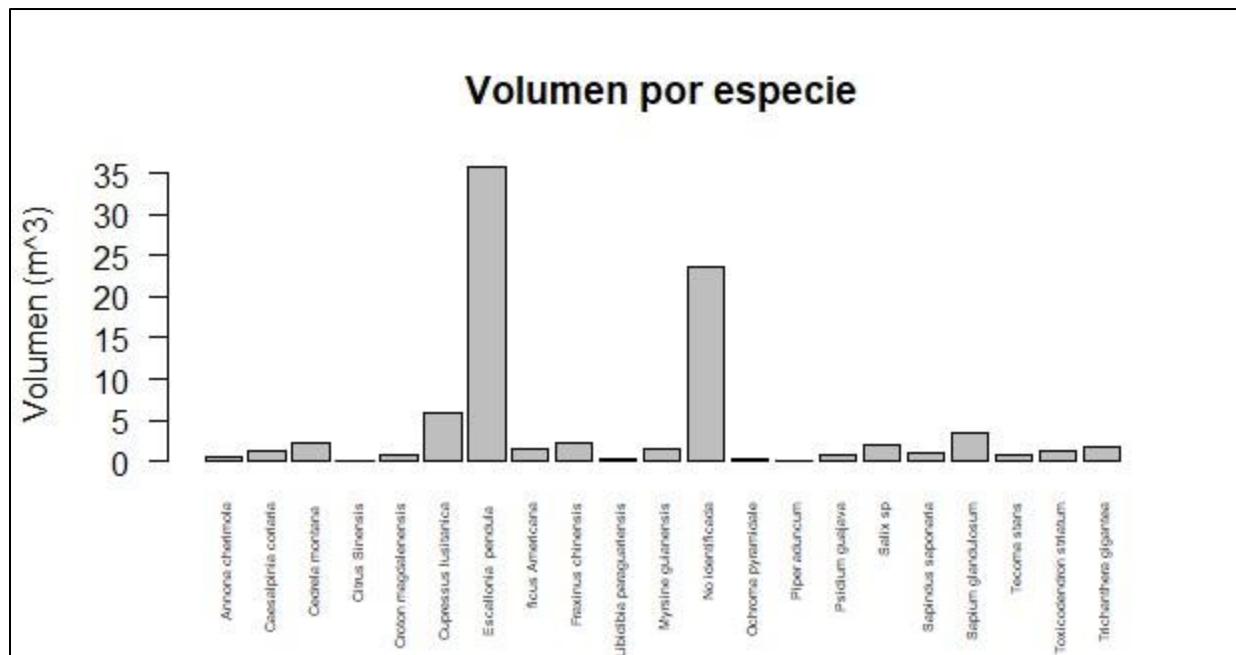


Respecto a las reservas de madera del componente forestal, los análisis indican que la familia Escalloniaceae reporta un volumen de 35,74 m³, siendo la que más acumula reservas de madera en la zona de estudio (Figura 4). Este valor, no garantiza suministro constante de madera más aun en una especie forestal (*Escallonia pendula*) que no tiene patrones de crecimiento ideales en términos de rectitud. Sin embargo, la calidad de esta madera es alta por su densidad y se usa en labores domésticas y arreglos de las fincas. Ahora bien, para la zona la familia más abundante no fue la que presentó mayor volumen de madera, lo cual se pudo validar con Fabaceae que aun teniendo un 14,5 % más de individuos reporta solo 26 m³, de la cual el 62,7% pertenece a una especie no identificada con 23,72 m³ de madera aprovechable (Figura 4). En términos generales, esta zona de estudio presenta condiciones críticas respecto del componente forestal, lo que refleja una alta afectación de bosques y especies nativas. De las especies identificadas en el censo,

ninguna sería potencialmente útil para un modelo agroforestal, aspecto que será tratado más adelante.

Figura 4.

Reservas de volumen de madera por especie.



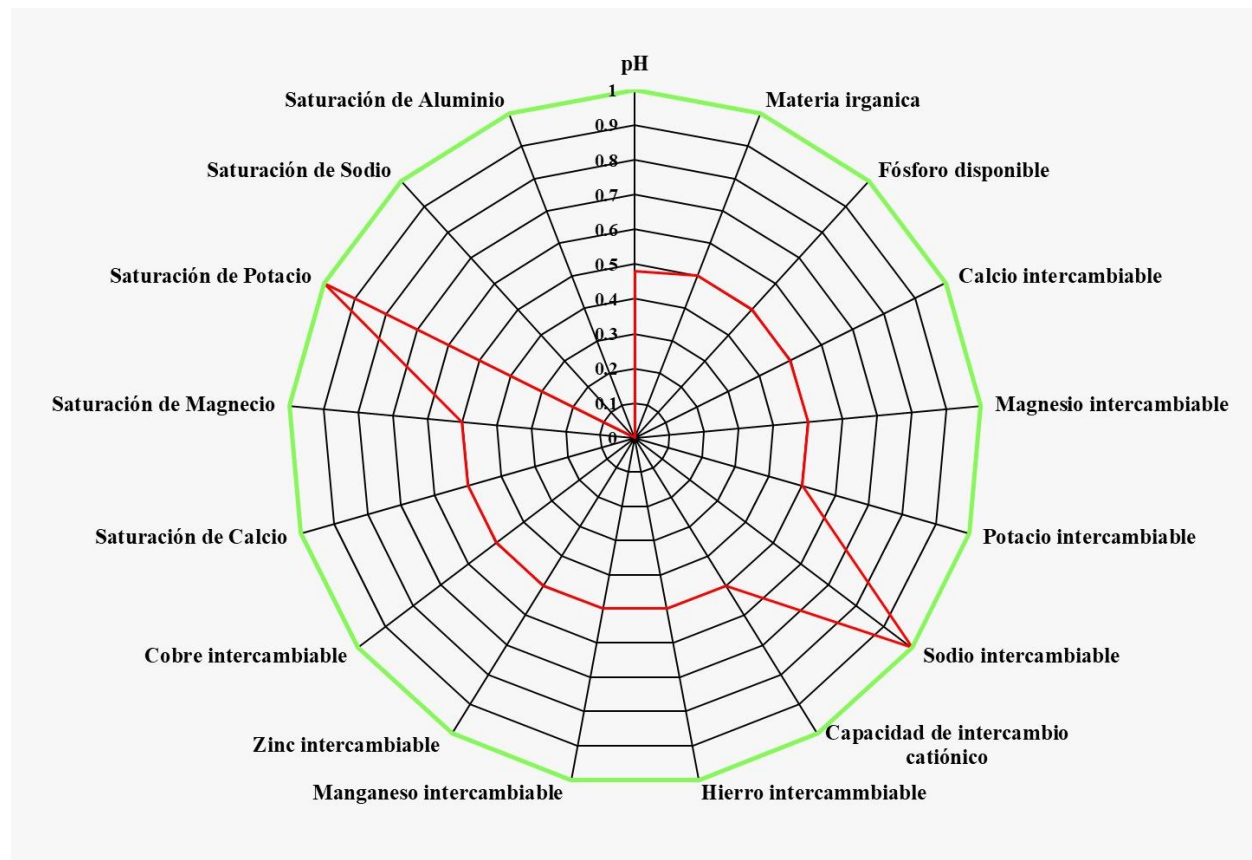
4.2.2 *Componente suelo*

El índice de calidad del suelo para el área de estudio corresponde a calidad moderada. Los indicadores de mayor puntuación fueron sodio intercambiable y potasio con valores de 1,0 en ambos casos. Los restantes indicadores mostraron un valor medio de 0,5 que representa condiciones no ideales de calidad del suelo, en tal sentido, los análisis iniciales evidencian que el suelo de la finca presentaría problemas en términos de calidad para implementar el modelo agroforestal. Sin embargo, estos indicadores pueden ser objeto de manejo previo por parte del

propietario bajo un esquema de fertilización y aplicación de enmiendas que inviertan el resultado obtenido (Figura 5).

Figura 5.

Índice de calidad del suelo.



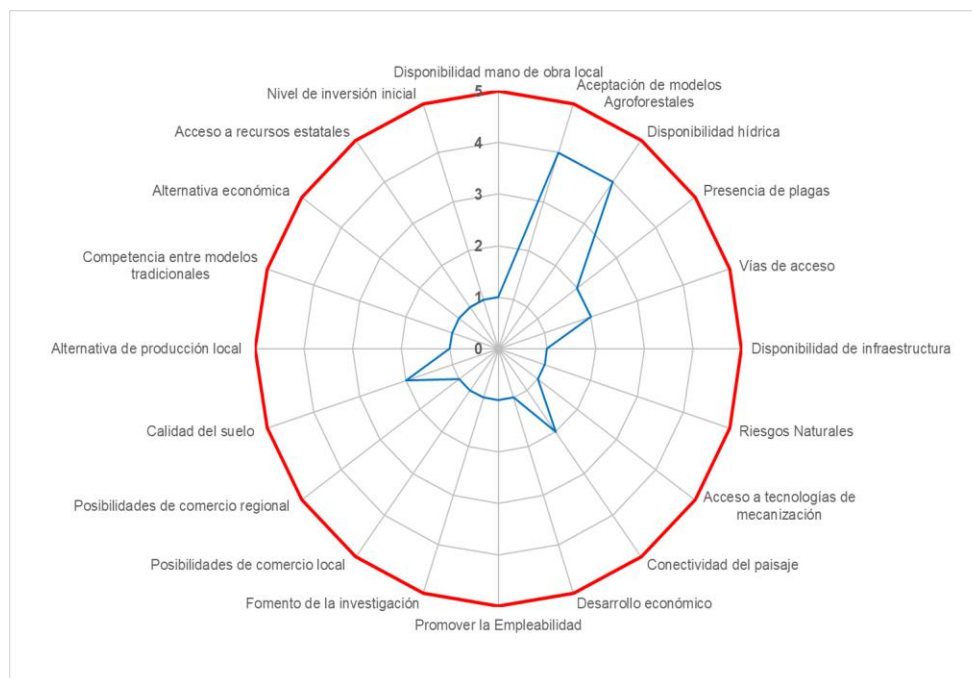
El suelo del área de estudio mostró dos clases texturales que fueron arena francosa y franco arenoso, suelos que evidentemente presentan excelentes características para el desarrollo de cultivos, pero debido a los bajos niveles de densidad aparente y real evidencian un alto nivel de compactación, esto por la sobreexplotación agrícola y ganadera que progresivamente ha impactado en el recurso. Por otra parte, la zona conservada presentó buenos niveles de porosidad con un total del 63% y un pH de 6,98 lo que indica un suelo en excelentes condiciones.

4.3 Lineamientos del modelo agroforestal

Según los indicadores de sostenibilidad, en la etapa inicial del cultivo agroforestal es donde se concentra la mayor problemática, debido a que en el área de estudio actualmente los únicos parámetros con que se cuenta son el recurso hídrico y la aceptación del modelo agroforestal por parte del campesinado de la zona. Sin embargo, carece de pilares más importantes, como lo es la escasa mano de obra, la competencia con la agricultura tradicional, el mal estado de las vías y la disponibilidad de recursos económicos capaces de cubrir las inversiones iniciales del cultivo; como lo es la infraestructura y la búsqueda de sociedades que permitan la comercialización del producto en mercados locales, regionales, nacionales e internacionales (Figura 6).

Figura 6.

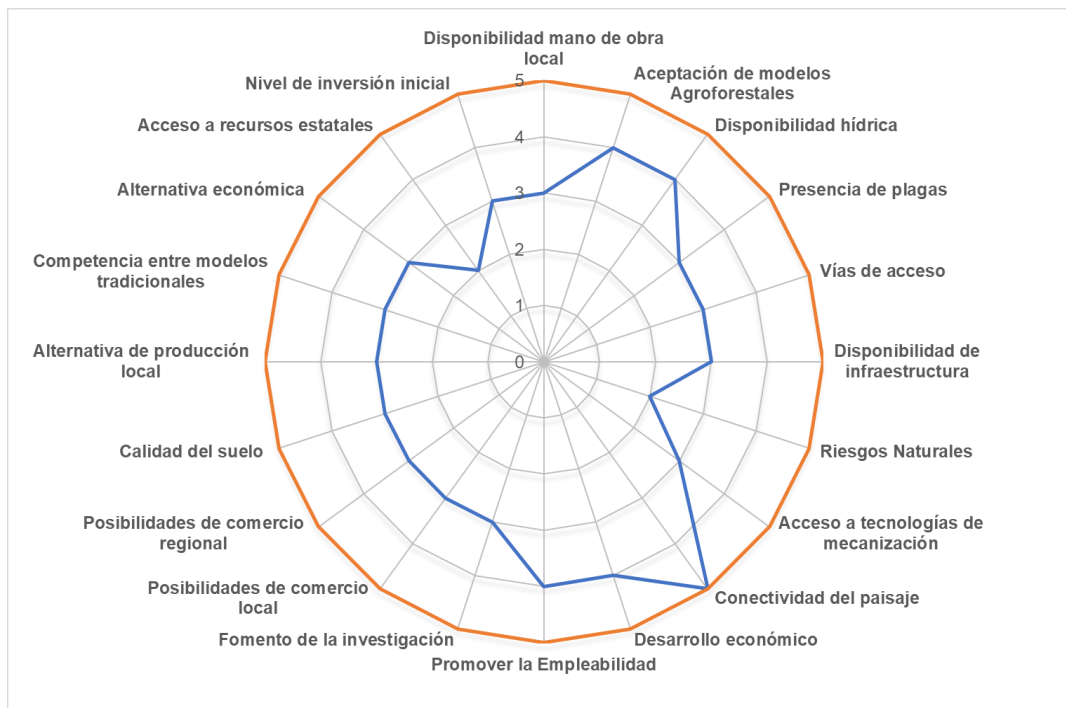
Indicadores de sostenibilidad antes del cultivo agroforestal.



Para él durante de la implementación del cultivo agroforestal, se evidencian mejoras significativas en la mayoría de los índices de sostenibilidad. No obstante, se presentan problemas serios en la obtención de recursos estatales, y en el manejo de riesgos naturales probablemente porque el área de estudio en su etapa inicial se encontró altamente degradado, producto de malas prácticas de manejo de los recursos en el ámbito agrícola y ganadero que por años ha sido el sustento económico de la comunidad de la vereda El Juncal. Por otro lado, se evidencia que la conductividad del paisaje mejora hasta llegar al punto óptimo de la escala evaluada, punto que favorece las relaciones interespecíficas, en especial de la fauna, lo que conlleva a un equilibrio ecosistémico que año tras año se ha fragmentado por la implementación de cultivos transitorios. Finalmente, se evidencia que la mayoría de los indicadores de sostenibilidad se encuentran en un punto aceptable pero aún no superan la situación esperada que es llegar al punto óptimo de éstos (Figura 7).

Figura 7.

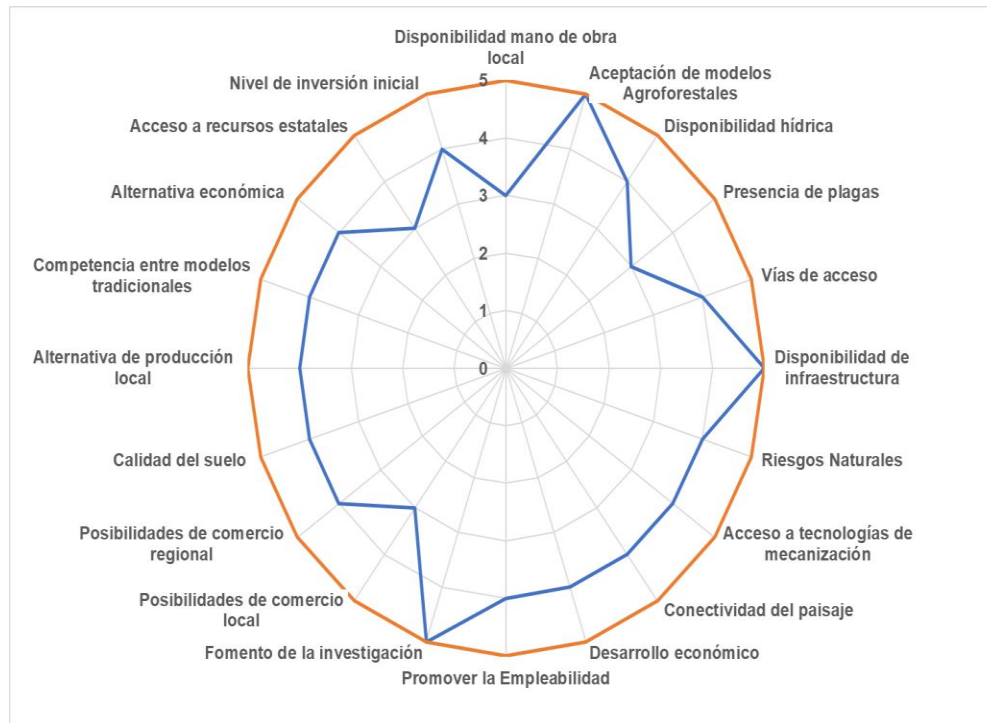
Indicadores de sostenibilidad durante el cultivo agroforestal.



Después de la implementación del modelo agroforestal, los índices de sostenibilidad manifiestan niveles aceptables; aunque teniendo una leve problemática con el asunto de plagas, mano de obra local, acceso a los recursos estatales y como tal el mercadeo local del producto. Estos últimos, son aspectos que poco a poco se pueden ir mejorando; sin embargo, se evidencia gran éxito con el tema de la investigación, ya que es un pilar muy importante debido al poco conocimiento que hay en este ámbito agroforestal. Se resalta el mejoramiento de las vías de acceso, la mecanización, la disposición de infraestructura y la obtención de nuevas tecnologías que son indicadores muy importantes del éxito del cultivo y el desarrollo de la región en esta fase (Figura 8).

Figura 8.

Indicadores de sostenibilidad después del cultivo agroforestal.



5. Discusión

En términos generales, el análisis social, económico y ambiental de la vereda muestra que las comunidades tienen un interés en cambiar o migrar a nuevas formas de producción y uso del suelo, esto motivado por las crisis agrícolas como la generada por el cultivo de tabaco y los precios de insumos agrícolas, resultados que coincide con Gaona et al. (2018), quienes evidencian este patrón en sectores rurales agrícolas de México (Prieto, 2013). Respecto de los recursos naturales presentes, el estudio valida la situación crítica de los mismos, donde el suelo y el componente

forestal son los afectados, esto por las formas tradicionales de uso dado, en tal sentido, Arroyave y Correa (2009) validan igualmente esta situación, y se refieren a ella como causante de los problemas de eficiencia en la producción rural con implicaciones económicas relevantes.

El patrimonio forestal en el sector de estudio no presentó una composición y estructura boscosa. Solo se dispone de pequeñas franjas de árboles, donde no se tiene una posibilidad en términos económicos de las maderas producidas. En tal sentido, este aspecto es crítico al momento de implementar modelos agroforestales sostenibles, ya que la diversidad de sombra es un aspecto fundamental para garantizar la estabilidad del modelo, como lo expresa Fonseca (2006), quien también hace mención el rol de este componente en el contexto de pago por servicios ambientales, donde la zona tendría una brecha grande de aportes. Sobre el suelo, el panorama mostró que la calidad del recurso natural no es la óptima para un proyecto productivo, en tal sentido es necesario ampliar el alcance de los análisis y establecer un escenario más integral para este recurso natural que será el encargado de soportar el cultivo.

Finalmente, el análisis de sostenibilidad desde el antes, mostró que no se tiene un total de aspectos favorables para iniciar un modelo agroforestal, solo la disponibilidad hídrica y el interés de las personas obtuvieron puntuación alta y el restante grupo de 18 indicadores validan que no es posible o que se requieren acciones de ajuste para un cultivo de café algo en que Figueroa (2016) coincide con los resultados generados. Para la fase del durante se tendrían mejoras en algunos indicadores, donde se descarta la conectividad generada por el modelo a nivel de paisaje, sin embargo, se trata de procesos a largo plazo que inicialmente se pueden validar como favorables, pero demandarían una planificación integral a un costo elevado para el contexto actual. Por último, en un escenario del después (10 años de turno del café) los indicadores empleados para el análisis mostraron mejor comportamiento, este resultado puede tomarse como base para análisis de mayor

detalle por parte de los propietarios, sin embargo, se requieren inversiones altas para alcanzar este comportamiento de los 20 indicadores donde el promedio de valoración fue 4 sobre 5.

6. Conclusiones

Respecto la identificación de las prácticas de manejo del suelo, se concluye que la comunidad de la vereda El Juncal municipio de Macaravita tradicionalmente ha dado un uso al suelo netamente enfocado a la ganadería y a la agricultura no tecnificada. Siendo el tabaco *Nicotiana tabacum* el cultivo con mayor demanda en el área, aunque años atrás entro en quiebra, lo que implica que la comunidad de la zona se de en la necesidad de buscar nuevas alternativas de empleo.

De las características biofísicas y forestales del entorno cabe resaltar que las reservas de madera son muy bajas debido a que tradicionalmente la agricultura y la ganadería extensiva han sido prioridad. Por ende, las reservas de madera básicamente están en árboles muy longevos que presentan abundantes problemas fitosanitarios. En cuanto al recurso suelo se concluye que el área de estudio presenta suelos con malos manejos, y esto causa problemáticas que pueden limitar la implementación de cultivos agroforestales.

Finalmente, se puede concluir que los cultivos agroforestales en el área de estudio son viables desde el interés de las personas en la vereda El Juncal. Sin embargo, los análisis desde los indicadores de sostenibilidad aplicados como instrumento para el estudio mostraron algunos aspectos a considerar para no caer en falsas expectativas sobre el cultivo de café en la zona. Por tanto, recalcamos que este trabajo corresponde a una línea base sobre la cual se deben profundizar

los análisis y no se puede tomar como un resultado definitivo, debido al carácter académico del mismo.

7. Recomendaciones

Hacer que las comunidades de la vereda tengan acceso a documento y sus resultados, para que conozcan la realidad de los aspectos a tener en cuenta al momento de proyectar un modelo agroforestal en sus fincas.

Cada que se proponga un proyecto de esta índole en el municipio, se recomienda desarrollar las debidas investigaciones en cada uno de los ámbitos biofísicos del entorno ambiental y forestal con el objetivo de que las inversiones planificadas sean las proyectadas y tengan un margen mínimo que garantice al agricultor la sostenibilidad.

Aplicar los instrumentos metodológicos del estudio a otras veredas del municipio donde se tengan proyectado el cultivo de café, esto con el fin de validar, comparar y mejorar los resultados generados de este estudio exploratorio inicial.

Por último y no menos importante realizar acercamiento con la comunidad estudiantil y entes político-administrativos, a fin de generar alianzas donde se busque ayudar la mano de obra no calificada del personal campesinado que habita en este territorio a fin de garantizar su productividad y mejorar las condiciones de vida.

Referencias bibliográficas

- Alvares, J (2000) Sistemas de Producción Rurales en La Región Andina Colombiana Red De Desarrollo Sostenible De Colombia.
- Aguirre Forero, S. E., Piraneque Gambasica, N. V., & Pérez Mojica, I. (2012). Sistema de producción de tubérculos andinos en Boyacá, Colombia. Cuadernos de desarrollo rural, 9(69), 257-273.
- Banrepublica, (2005). Características del cultivo del tabaco en Santander. Ensayos sobre economía regional. Centro regional de estudios económicos Bucaramanga. Banco de la república de Colombia. Recuperado de: https://www.banrep.gov.co/sites/default/files/publicaciones/archivos/2005_diciembre.pdf
- Borja de la Rosa, A. Revista Chapingo serie ciencias forestales y del ambiente (No. JOURNAL). Universidad Autonoma Chapingo. <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2015.06.029>
- Bolívar, H. (2011). Metodologías e indicadores de evaluación de sistemas agrícolas hacia el desarrollo sostenible. CICAG: Revista del Centro de Investigación de Ciencias Administrativas y Gerenciales, 8(1)1-18
- Cuesta, F., Peralvo, M., Valarezo, N., & ECOBONA-Intercooperation, P. R. (2009). *Los bosques montanos de los Andes Tropicales*. Programa Regional ECOBONA-Intercooperation. Chalco, R. J. V., Campoverde, J. M. Q., Romero, H. C., & Alava, A. R. C.

(2021). Análisis migratorio del sector agropecuario en el cantón Zaruma de la provincia de El Oro. *Revista Metropolitana de Ciencias Aplicadas*, 4(S1), 173-182.

De los Ángeles Mazo, N., Rubiano, J. E., & Castro, A. (2016). Sistemas agroforestales como estrategia para el manejo de ecosistemas de Bosque seco Tropical en el suroccidente colombiano utilizando los SIG. *Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía*, 25(1), 65-77. [dx.doi.org/10.15446/rcdg.v25n1.41993](https://doi.org/10.15446/rcdg.v25n1.41993)

Echeverri, L; Estévez J & Bedoya J. (2014). Caracterización Física, Química y Mineralógica de Suelos con Vocación Forestal Protectora, Región Andina Central Colombiana. *Revista Facultad Nacional de Agronomía*. 67 (2), pp 7335 – 7343. DOI: <http://dx.doi.org/10.15446/rfnam.v67n2.44175>

Figueroa (2016). Evaluación de la sostenibilidad de los sistemas De producción de café en fincas-hogar del Sector san José, municipio de linares-Nariño. *Tendencias Revista de la Facultad de Ciencias Económicas y Administrativas*. 17(2). Recuperado de: <http://www.scielo.org.co/pdf/tend/v17n2/v17n2a06.pdf>

Forero, S. P., Santos, L. N. S., Castañeda, H. J. A., & Madrigal, M. A. S. (2018). Captura de carbono en biomasa en plantaciones forestales y sistemas agroforestales en Armero-Guayabal, Tolima, Colombia. *Revista de investigación agraria y ambiental*, 9(2), 121-134. <https://doi.org/10.22490/21456453.2312>

PDEA Santander (2020-2021) Plan Departamental de Extensión Agropecuaria [https://www.adr.gov.co uploads 2021/07 PDE...](https://www.adr.gov.co/uploads/2021/07/PDE...)

- Narvaez, I. (2017). Vías terciarias: motor del desarrollo económico rural. *Revista de ingeniería*, (45), 80-87.
- Loayza-Aguilar, J., Blanco-Capia, L. E., Bernabé-Uño, A., & Ayala-Flores, G. (2020). Saberes locales sobre tecnologías y estrategias de producción agropecuaria para la resiliencia climática. *Journal of the Selva Andina Biosphere*, 8(1), 32-41.
<https://doi.org/10.36610/j.jsab.2020.080100032>
- Paleologos, M. F., Iermanó, M. J., Blandi, M. L., & Sarandon, S. J. (2017). Las relaciones ecológicas: un aspecto central en el rediseño de agroecosistemas sustentables, a partir de la Agroecología.
- Prieto García, F. (2013). Indicadores e índices de calidad de los suelos (ICS) cebaderos del sur del estado de Hidalgo, México.
- Ríos, C., Rojas, J., Bello, S., Téllez, E., Osma, R., & Salcedo, J. A. R. Metodologías de toma de muestras para degradación de suelos para envío a laboratorio y/o in situ para diagnóstico rápido.
- Vargas, V. H. V., & Pico, J. E. V. (2018). Caracterización de Sistemas de Producción Agropecuarios en el proyecto de riego Guarguallá-Licto, cantón Riobamba, provincia de Chimborazo. *Revista Ciencia y Tecnología*, 11(1), 45-53.