



# **UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**

## **FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES CARRERA DE INGENIERÍA FORESTAL**

**Trabajo de titulación presentado como requisito previo a la obtención  
del título de Ingeniera Forestal**

**IMPACTOS DE LA SOMBRA DE ESPINO *Vachellia macracantha* Seigler &  
Ebinger EN ASOCIO CON CAFÉ *Coffea arabica* L var. Caturra rojo EN LA  
PARROQUIA SANTA CATALINA DE SALINAS, PROVINCIA DE IMBABURA.**

### **AUTORA**

Ana Yesenia Espinosa Marquez

### **DIRECTOR SUGERIDO**

Ing. Mario José Añazco Romero, PhD.

**IBARRA – ECUADOR**

2018

# UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS  
AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES  
CARRERA DE INGENIERÍA FORESTAL

**IMPACTOS DE LA SOMBRA DE ESPINO *Vachellia macracantha* Seigler & Ebinger EN ASOCIO CON CAFÉ *Coffea arabica* L var. Caturra rojo EN LA PARROQUIA SANTA CATALINA DE SALINAS, PROVINCIA DE IMBABURA.**

Trabajo de titulación revisado por el Comité Asesor, por lo cual se autoriza la presentación como requisito parcial para obtener el título de:

**INGENIERA FORESTAL**

**APROBADO**

Ing. Mario José Añazco Romero, PhD.  
**Director de trabajo de titulación**



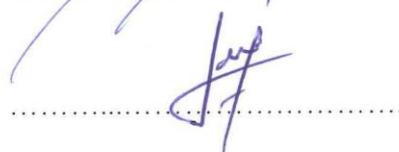
Ing. María Isabel Vizcaíno Pantoja, Esp.  
**Tribunal de trabajo de titulación**



Ing. Hugo Vinicio Vallejos Álvarez, MSc.  
**Tribunal de trabajo de titulación**



Ing. Jorge Luis Cué García, PhD.  
**Tribunal de trabajo de titulación**



**Ibarra - Ecuador**

2018



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
**BIBLIOTECA UNIVERSITARIA**  
**AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR**  
**DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**

## 1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

La Universidad Técnica del Norte dentro del proyecto repositorio digital institucional, determinó la necesidad de disponer de textos completos en formato digital con la finalidad de apoyar los procesos de investigación, docencia y extensión de la Universidad.

Por medio del presente documento dejo sentada mi voluntad de participar en este proyecto, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

<b>DATOS DE CONTACTO</b>			
<b>Cédula de ciudadanía:</b>	100388763-3		
<b>Nombres y apellidos:</b>	Ana Yesenia Espinosa Marquez		
<b>Dirección:</b>	Ibarra – Princesa Pacha y via Santa Lucia Cond. Plaza Retorno		
<b>Email:</b>	<a href="mailto:arenita_sos@hotmail.com">arenita_sos@hotmail.com</a>		
<b>Teléfono fijo:</b>	2 517 580	<b>Teléfono</b>	0990348913

<b>DATOS DE LA OBRA</b>	
<b>Título:</b>	<b>IMPACTOS DE LA SOMBRA DE ESPINO <i>Vachellia macracantha</i> Seigler &amp; Ebinger EN ASOCIO CON CAFÉ <i>Coffea arabica</i> L var. Caturra rojo EN LA PARROQUIA SANTA CATALINA DE SALINAS, PROVINCIA DE IMBABURA.</b>
<b>Autor:</b>	Ana Yesenia Espinosa Marquez
<b>Fecha:</b>	23 de octubre de 2018
<b>SOLO PARA TRABAJOS DE TITULACIÓN</b>	
<b>Programa:</b>	Pregrado
<b>Título por el que opta:</b>	Ingeniera Forestal
<b>Director:</b>	Ing. Mario José Añazco Romero, PhD.

## 2. AUTORIZACIÓN DE USO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD

Yo, Ana Yesenia Espinosa Marquez, con cédula de ciudadanía Nro. 100388763-3 en calidad de autor y titular de los derechos patrimoniales de la obra o trabajo de grado descrito anteriormente, hago la entrega del ejemplar respectivo en formato digital y autorizo a la Universidad Técnica del Norte, la publicación de la obra en el Repositorio Digital Institucional y uso del archivo digital en la Biblioteca de la Universidad con fines académicos, para ampliar la disponibilidad del material y como apoyo a la educación, investigación y extensión; en concordancia con la Ley de Educación Superior, Artículo 144.

## 3. CONSTANCIA

El autor manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló sin violar derechos de autor de terceros; por lo tanto, la obra es original y es el titular de los derechos patrimoniales, por lo que asumen la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrán en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, 23 de octubre de 2018

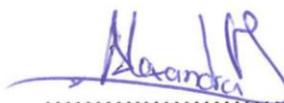
**EL AUTOR:**



Ana Yesenia Espinosa Marquez

**C.C.: 100388763-3**

**ACEPTACIÓN:**



Ing. Betty Mireya Chávez Martínez

**JEFA DE BIBLIOTECA**



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
**CESIÓN DE DERECHOS DEL AUTOR DEL TRABAJO DE**  
**TITULACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD**

**CESIÓN DE DERECHOS DEL AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A**  
**FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**

Yo, Ana Yesenia Espinosa Marquez, con cédula de ciudadanía Nro. 100388763-3; manifiesto la voluntad de ceder a la Universidad Técnica del Norte los derechos patrimoniales consagrados en la Ley de Propiedad Intelectual del Ecuador, artículos 4, 5 y 6, en calidad de autor de la obra o trabajo de titulación denominado **IMPACTOS DE LA SOMBRA DE ESPINO *Vachellia macracantha* Seigler & Ebinger EN ASOCIO CON CAFÉ *Coffea arabica* L var. Caturra rojo EN LA PARROQUIA SANTA CATALINA DE SALINAS, PROVINCIA DE IMBABURA**, que ha sido desarrollada para optar por el título de Ingeniera Forestal en la Universidad Técnica del Norte, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente. En mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Técnica del Norte.

.....  
Ana Yesenia Espinosa Marquez

**C.C.: 100388763-3**

Ibarra, a los 23 días del mes de octubre de 2018

## REGISTRO BIBIOGRÁFICO

**Guía:** FICAYA - UTN

**Fecha:** 23 de octubre de 2018

Ana Yesenia Espinosa Marquez: **IMPACTOS DE LA SOMBRA DE ESPINO *Vachellia macracantha* Seigler & Ebinger EN ASOCIO CON CAFÉ *Coffea arabica* L var. Caturra rojo EN LA PARROQUIA SANTA CATALINA DE SALINAS, PROVINCIA DE IMBABURA** /Trabajo de titulación. Ingeniera Forestal. Universidad Técnica del Norte. Carrera de Ingeniería Forestal. Ibarra, 16 de octubre de 2018. 76 páginas.

**DIRECTOR:** Ing. Mario José Añazco Romero, PhD.

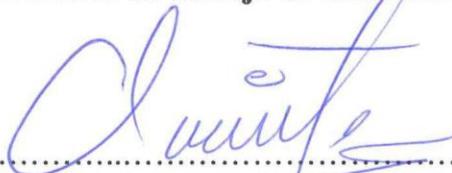
El objetivo principal de la presente investigación fue: Determinar los impactos de la sombra de *Vachellia macracantha* Seigler & Ebinger en asocio con *Coffea arabica* L var. Caturra rojo, en la parroquia Santa Catalina de Salinas, provincia de Imbabura. Entre los objetivos específicos se encuentran: Comparar la productividad del café cultivado bajo sombra y aquel sin sombra, Determinar la rentabilidad financiera del sistema agroforestal, espino con café, Analizar los impactos ambientales de la sombra del espino sobre el cultivo de café.

**Fecha:** 23 de octubre de 2018



.....  
Ing. Mario José Añazco Romero, PhD.

**Director de trabajo de titulación**



.....  
Ana Yesenia Espinosa Marquez

**Autor**

## DEDICATORIA

*A Dios por haberme permitido llegar hasta este punto y haberme dado salud para lograr mis objetivos, A mis padres por haberme apoyado en todo momento, por sus consejos, sus valores, por la motivación constante que me ha permitido ser una persona de bien, a mi abuelito Segundo por los ejemplos de perseverancia y constancia que lo caracterizaban, por el valor mostrado para salir adelante, pero más que nada, por su amor.*

*De manera muy especial a mis pequeños José y Esther que son mi inspiración para ser mejor cada día.*

## AGRADECIMIENTO

*A Dios por protegerme y darme fuerzas para superar obstáculos y dificultades a lo largo de esta época de mi vida.*

*A mis hermanos Joconda, Lore y Henry, mis cuñad@s por estar conmigo en los momentos buenos y sobre todo en los difíciles dándome palabras de aliento para salir adelante.*

*A mi equipo de trabajo PhD. Mario Añazco, Ing. María Vizcaino, Ing. Hugo Vallejos, Abg. Segundo De la Torre, PhD Jorge Cue y a la Ing. Karla Dávila por su tiempo, su apoyo, así como su sabiduría que me transmitieron en el desarrollo de mi formación profesional.*

*A mis amigos Liniker, David, Willian, Isaac y Moisés que estuvieron presentes durante toda o la mayor parte de la realización y el desarrollo de esta tesis, que no lo puedo catalogar como algo fácil, pero lo que sí puedo hacer, es afirmar que durante todo este tiempo pude disfrutar de cada momento, que cada investigación, proceso, que se realizó dentro de esta, lo disfruté mucho, y no fue porque simplemente me dispuse a que así fuera, fue porque mis amigos siempre estuvieron ahí.*

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

	<b>Págs.</b>
<b>PORTADA</b> .....	<b>i</b>
<b>APROBACIÓN</b> .....	<b>ii</b>
<b>IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA</b> .....	<b>iii</b>
<b>AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN</b> .....	<b>iv</b>
<b>CESIÓN DE DERECHOS DEL AUTOR</b> .....	<b>v</b>
<b>REGISTRO BIBLIOGRÁFICO</b> .....	<b>vi</b>
<b>DEDICATORIA</b> .....	<b>vii</b>
<b>AGRADECIMIENTO</b> .....	<b>viii</b>
<b>ÍNDICE DE CONTENIDOS</b> .....	<b>ix</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b> .....	<b>xiii</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	<b>xiii</b>
<b>RESUMEN</b> .....	<b>xiv</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>xv</b>
<b>CAPÍTULO I</b> .....	<b>1</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
1.1 Objetivos .....	<b>2</b>
1.1.1 General .....	<b>2</b>
1.1.2 Específicos .....	<b>2</b>
1.2 Hipótesis.....	<b>2</b>
1.2.1 Nula.....	<b>2</b>
1.2.2 Alterna.....	<b>2</b>
<b>CAPÍTULO II</b> .....	<b>3</b>
<b>MARCO TEÓRICO</b> .....	<b>3</b>
2.1 Fundamentación legal .....	<b>3</b>
2.1.1 Plan Nacional de Desarrollo 2017 – 2021. Toda una Vida.....	<b>3</b>

2.1.2 Línea de Investigación .....	3
2.2 Fundamentación teórica .....	3
2.2.1 Revolución verde .....	4
2.2.1.1 Los impactos negativos de la Revolución Verde .....	4
2.2.1.2 Monocultivos.....	5
2.2.2 La agroforestería una alternativa para el monocultivo.....	5
2.2.2.1 Árboles con cultivos perennes .....	6
2.2.2.1.1 Café .....	7
2.2.2.1.2 Espino <i>Vachellia macracantha</i> .....	8
2.2.2.2 La sombra y sus impactos en el café.....	8
2.2.2.2.1 Aspectos positivos de la sombra .....	9
2.2.2.2.2 Aspectos negativos de la sombra .....	12
2.2.3 Experiencias .....	12
2.2.3.1 Árboles de <i>Mimosa scabrella</i> aumentan la producción .....	12
2.2.3.2 Manejo del sombrío y fertilización del café en la zona central colombiana .....	13
2.2.3.3 Árboles dispersos con café en Ecuador.....	13
2.2.3.4 Rentabilidad financiera de <i>Cedrela odorata</i> L.....	13
2.2.3.5 Cambios en la fertilidad del suelo con plantaciones de café.....	14
<b>CAPÍTULO III.....</b>	<b>15</b>
<b>MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>	<b>15</b>
3.1 Ubicación del sitio.....	15
3.1.1 Política.....	15
3.1.2 Geográfica .....	15
3.1.3 Límites.....	15
3.2 Datos climáticos .....	15
3.3 Materiales y equipos .....	16
3.3.1 Materiales.....	16
3.3.2 Equipos.....	16

3.3.3 Software .....	16
3.4 Metodología .....	17
3.4.1 Universo y muestra representativa .....	17
3.4.2 Parámetros dasométricos.....	17
3.4.3 Metodología y variables a medir por objetivo .....	19
3.4.3.1 Comparar la productividad del café bajo sombra y sin sombra .....	19
3.4.3.2 Determinar la rentabilidad financiera.....	21
3.4.3.2.1 Variable a medir .....	21
3.4.3.3 Análisis de los impactos ambientales.....	22
3.4.3.3.1 Suelo.....	22
3.4.3.3.2 Biodiversidad .....	24
3.4.3.3.3 Humedad .....	25
3.4.3.3.4 Contenido de carbono .....	26
3.4.4 Análisis estadístico.....	27
3.4.4.1 Estimadores estadísticos.....	27
3.4.4.2 Prueba de t de Student.....	28
3.4.4.3 Análisis de correlaciones.....	28
<b>CAPÍTULO IV .....</b>	<b>29</b>
<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>29</b>
4.1 Productividad del café bajo sombra y sin sombra.....	29
4.2 Rentabilidad financiera .....	30
4.3 Impactos ambientales .....	31
4.3.1 Suelo.....	31
4.3.1.1 Análisis de suelo con sombra.....	31
4.3.1.2 Análisis de suelo sin sombra .....	32
4.3.2 Biodiversidad .....	33
4.3.2.1 Flora .....	33
4.3.2.2 Fauna .....	34

4.3.3 Humedad .....	36
4.3.3.1 Humedad relativa .....	36
4.3.3.2 Humedad del suelo .....	37
4.3.4 Contenido de Carbono.....	38
4.4 Análisis estadístico.....	39
4.4.1 Estimadores estadísticos.....	39
4.4.2 Prueba de t de student .....	39
4.4.3 Análisis de correlaciones.....	40
<b>CAPÍTULO V.....</b>	<b>41</b>
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>41</b>
5.1 Conclusiones .....	41
5.2 Recomendaciones.....	41
<b>CAPÍTULO VI .....</b>	<b>43</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>43</b>
<b>CAPÍTULO VII.....</b>	<b>47</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>47</b>
<b>FOTOGRAFÍAS .....</b>	<b>58</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> Estimadores estadísticos.....	27
<b>Tabla 2</b> Rentabilidad financiera .....	30
<b>Tabla 3</b> Número de especímenes por orden / ha .....	35
<b>Tabla 4</b> Número de especímenes por familia / ha .....	36
<b>Tabla 5</b> Datos humedad relativa en el SAF y en el cafetal sin sombra .....	37
<b>Tabla 6</b> Estimadores estadísticos.....	39
<b>Tabla 7</b> Prueba de “t” de Student .....	40
<b>Tabla 8</b> Análisis de correlaciones SAF café - espino .....	40
<b>Tabla 9</b> Flujo de costos e ingresos SAF café - espino.....	48
<b>Tabla 10</b> Flujo de costos e ingresos monocultivo de café.....	50

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Sistema agroforestal asocio espino y café .....	6
<b>Figura 2.</b> Procesos ecológicos en un sistema agroforestal cafetero .....	9
<b>Figura 3.</b> Sitio de estudio y parcelas .....	17
<b>Figura 4.</b> Toma de submuestras en forma de zig – zag.....	23
<b>Figura 5.</b> Toma de muestras de suelo, corte en V .....	23
<b>Figura 6.</b> Productividad del café bajo sombra y sin sombra .....	29
<b>Figura 7.</b> Índice de Shannon ordenes de insectos .....	34
<b>Figura 8.</b> Índice de Shannon aves .....	35
<b>Figura 9.</b> Humedad del suelo .....	37
<b>Figura 10.</b> Ubicación del sitio de estudio.....	47
<b>Figura 11.</b> Periodo de recuperación sistema agroforestal .....	49
<b>Figura 12.</b> Periodo de recuperación cafetal sin sombra .....	51
<b>Figura 13.</b> Resultados análisis de suelo muestra parcela con sombra.....	52
<b>Figura 14.</b> Resultados análisis de suelo muestra parcela con sombra.....	53
<b>Figura 15.</b> Resultados análisis de suelo muestra parcela sin sombra.....	54
<b>Figura 16.</b> Resultados análisis de suelo muestra parcela sin sombra.....	55
<b>Figura 17.</b> SAF libre de plantas rastreras o herbáceas .....	56
<b>Figura 18.</b> Regresión productividad café sin sombra.....	57
<b>Figura 19.</b> Regresión productividad café con sombra.....	57

**TITULO: IMPACTOS DE LA SOMBRA DE ESPINO *Vachellia macracantha* Seigler & Ebinger EN ASOCIO CON CAFÉ *Coffea arabica* L var. Caturra rojo EN LA PARROQUIA SANTA CATALINA DE SALINAS, PROVINCIA DE IMBABURA.**

**Autor:** Ana Yesenia Espinosa Marquez

**Director de trabajo de titulación:** Ing. Mario José Añazco Romero, PhD.

**Año:** 2018

**RESUMEN**

El censo agropecuario del 2010 en la zona 1 registra 3129 Unidad de Producción Agropecuaria (UPAs) dedicadas a la caficultura, las cuales manejan diferentes sistemas productivos con árboles, no obstante, se desconocen los efectos que estos a través de la sombra generan sobre el cultivo de café. El objetivo de la presente investigación fue determinar los impactos de la sombra de *Vachellia macracantha* en asocio con *Coffea arabica* L var. caturra rojo, en la parroquia Santa Catalina de Salinas, provincia de Imbabura. La metodología aplicada fue un muestreo estratificado que consistió en dividir la población en sub poblaciones (estratos), luego en cada estrato se seleccionó una muestra simple al azar de dos unidades en cada sub población. Se establecieron ocho parcelas de 500 m<sup>2</sup>, que representan el 10% de la población (4000 m<sup>2</sup>), de cada una de las parcelas se tomaron los datos dasométricos altura, DAP y diámetro de copa; para la productividad se recolectó y se pesó el grano de café en cereza, en el análisis financiero se analizaron los indicadores valor actual neto (VAN), tasa interna de retorno (TIR) y relación beneficio costo (B/C) con base a la información proporcionada por el propietario, para los impactos ambientales se utilizaron cuatro variables: biodiversidad, suelo, humedad y captura de carbono, el nivel de biodiversidad se determinó mediante el Índice de Shannon, para el suelo se realizaron análisis bajo los protocolos del laboratorio de AGROCALIDAD y el contenido de carbono se obtuvo mediante el análisis de conversión de biomasa viva a carbono según el IPCC. La productividad del sistema espino – café fue superior a la del cafetal sin sombra, los indicadores financieros muestran que el sistema agroforestal es financieramente rentable comparado con el monocultivo donde la inversión en ochos aún no ha sido posible recuperarla mientras en el arreglo agroforestal la misma ya fue recuperada en el cuarto año se concluye que los impactos ambientales ocasionados por la sombra de espino generan externalidad positivas que influyen en la sostenibilidad del sistema agroforestal.

**Palabras claves:** Agroforestería, café, espino, sombra, impactos, rentabilidad, productividad.

**TITLE: IMPACTS OF THE SHADOW OF ESPINO *Vachellia macracantha* Seigler & Ebinger IN ASSOCIATION WITH COFFEE *Coffea arabica* L var. Caturra rojo IN THE SANTA CATALINA DE SALINA PARISH, IMBABURA PROVINCE**

**Author:** Ana Yesenia Espinosa Marquez

**Director of thesis:** Ing. Mario José Añezco Romero,  
PhD.

**Year:** 2018

**ABSTRACT**

The objective of the present investigation was to determine the impacts of the shadow of *Vachellia macracantha* in association with *Coffea arabica* L var. caturra rojo, in the parish of Santa Catalina de Salinas, province of Imbabura. The methodology applied was a stratified sampling that consisted in dividing the population into sub-populations (strata), then in each stratum a simple random sample of two units in each sub-population was selected. Eight plots of 500 m<sup>2</sup> were established, representing 10% of the population (4000 m<sup>2</sup>), from each of the plots the height, DAP and cup diameter data were taken; For productivity, the coffee bean was harvested and weighed in cherry, in the financial analysis the indicators net present value (NPV), internal rate of return (IRR) and cost benefit ratio (B / C) were analyzed based on the information provided by the owner, for environmental impacts four variables were used: biodiversity, soil, humidity and carbon capture, the level of biodiversity was determined by the Shannon Index, for the soil analyzes were performed under the protocols of the AGROCALIDAD laboratory and the carbon content was obtained by the conversion analysis of live biomass to carbon according to the IPCC; The productivity of the hawthorn system was higher than that of the shadeless coffee plantation, financial indicators show that the agroforestry system is financially profitable compared to monoculture where the investment in eight has not yet been possible to recover it while in the agroforestry arrangement it is already It was recovered in the fourth year, it is concluded that the environmental impacts caused by the hawthorn shade generate positive externality that influence the sustainability of the agroforestry system.

**Keywords:** Agroforestry, coffee, hawthorn, shade, impacts, profitability, productivity.

# CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN

Los ecosistemas naturales que brindan bienes y servicios a la población rural están siendo afectados por la transformación de sus hábitats y la ampliación de la frontera agropecuaria. El modelo de la revolución verde patentó el uso de monocultivos agrícolas y con ello se incrementó la demanda de agua y nutrientes; la parroquia Santa Catalina de Salinas no es la excepción, por otra parte algunos agricultores del sitio para contrarrestar dicha demanda han implementado sistemas agroforestales bajo diseños de prácticas donde combinan árboles dispersos con cultivos perennes como por ejemplo café *Coffea arabica* en asocio con espino o también llamado faique *Vachellia macracantha* que es considerado una especie forestal de sombra permanente el cual se introduce para proteger al cultivo de café del exceso de radiación y luminosidad.

Según el censo agropecuario del 2010 en la Zona 1 se registran 3129 UPAs (Unidad de Producción Agropecuaria) de esto se colige que existen 3129 familias que se dedican a la caficultura, la gran mayoría mantienen sistemas productivos asociados con árboles, no obstante, se desconocen los efectos que estos árboles a través de la sombra están generando sobre la macro y micro fauna del suelo y la economía de los dueños de estos predios (Instituto Nacional de Estadística y Censos [INEC], 2010).

Por otra parte, cabe recalcar que los precios internacionales del café varían permanentemente, situación que genera como resultado el abandono de la actividad por parte de los varios caficultores, Ecuador no es la excepción, en varias zonas rurales del país algunos agricultores durante los últimos años dejaron de ser productores de café; una alternativa para mejorar esta situación es acceder a mejores precios del café siendo para ello una opción la producción del grano ecológico, orgánico u otras denominaciones, lo cual genera un plus al precio vigente del café corriente; los sistemas que manejan árboles con el cultivo, como es el caso de la presente investigación, pueden ayudar a los agricultores para obtener mejores precios y enlazarse con este tipo de mercados que prefieren un café ecológico u orgánico; por esta razón es necesario estudiar los impactos de la sombra sobre el cafeto, para evidenciar si esta causa beneficios o pérdidas para el cultivo.

## 1.1 Objetivos

### 1.1.1 General

Determinar los impactos de la sombra de *Vachellia macracantha* Seigler & Ebinger en asocio con *Coffea arabica* L var. caturra rojo, en la parroquia Santa Catalina de Salinas, provincia de Imbabura.

### 1.1.2 Específicos

- Comparar la productividad del café cultivado bajo sombra y aquel sin sombra.
- Determinar la rentabilidad financiera del sistema agroforestal, espino con café.
- Analizar los impactos ambientales de la sombra del espino sobre el cultivo de café.

## 1.2 Hipótesis

### 1.2.1 Nula

**Ho:** La sombra de *Vachellia macracantha* Seigler & Ebinger no genera impactos sobre el cultivo de café.

### 1.2.2 Alterna

**Ha:** La sombra de *Vachellia macracantha* Seigler & Ebinger genera impactos sobre el cultivo de café.

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1 Fundamentación legal**

##### **2.1.1 Plan Nacional de Desarrollo 2017 – 2021. Toda una Vida**

El presente estudio se enmarca en los objetivos, políticas y lineamientos estratégicos siguientes:

**Eje 1:** Derechos para Todos Durante Toda la Vida.

**Objetivo 1.** Garantizar una vida digna con iguales oportunidades para todas las personas.

**Política 1.9** Garantizar el uso equitativo y la gestión sostenible del suelo, fomentando la corresponsabilidad de la sociedad y el y el Estado, en todos sus niveles, en la construcción del hábitat (Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo [SENPLADES], 2017 p.58).

**Objetivo 3.** Garantizar los derechos de la naturaleza para las actuales y futuras generaciones.

**Política 3.4** Promover buenas prácticas que aporten a la reducción de la contaminación, la conservación, la mitigación y la adaptación a los efectos del cambio climático, e impulsar las mismas en el ámbito global (SENPLADES, 2017 p.58).

##### **2.1.2 Línea de Investigación**

El estudio se enmarca en la línea de investigación de la Carrera de Ingeniería Forestal: Desarrollo Agropecuario y Forestal Sostenible.

#### **2.2 Fundamentación teórica**

A continuación, se presentan las temáticas que sustentan el trabajo de investigación.

### **2.2.1 Revolución verde**

En la década de los 50 y 60 se dio un gran cambio a la historia agrícola, ya que aquí comenzó la Revolución Verde la misma que ofertaba un paquete tecnológico basado en el consumo de energía de origen fósil como es el uso de maquinaria agrícola y agroquímicos . En 1963 la Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) realizó un congreso mundial de la alimentación, después de esto, se decidió impulsar un plan de desarrollo a nivel mundial conocido como World Plan for Agricultural Development. La justificación para la implementación de este plan fue el cubrir la necesidad de alimentos al existir un aumento de la población mundial, el mismo que tenía como fin de aumentar la rentabilidad y el rendimiento de los cultivos, incitando a los países a transformar sus terrenos en monocultivos de trigo, maíz y arroz, utilizando tecnologías dependientes de fertilizantes químicos y pesticidas. La aplicación de este modelo de agricultura no solo representó el cambio de un cultivo por otro, si no la destrucción de todo un conocimiento acumulado durante milenios (Queirós y Barg, 2007).

Para cumplir con el objetivo de la revolución verde se implementaron además de las ya mencionadas otras tecnologías tales como: el mejoramiento genético tendiente a mejorar los rendimientos de los cereales trigo y arroz, el riego se tecnificó y se fomentó el uso de semillas híbridas; esto ocasiono problemas de tipo económico, social y ambiental (Food and Agriculture Organization of the United Nations [FAO], 1996).

#### ***2.2.1.1 Los impactos negativos de la Revolución Verde***

Sin lugar a duda la revolución verde tuvo resultados positivos durante muchos años, pero las cosas fueron cambiando y hubo un retroceso, el incremento de plagas en los cultivos propicio el uso indiscriminado de agrotóxicos y al mismo tiempo el uso de fertilizantes aumento 1290% mientras que la productividad se incrementó en un 4,9%. Las secuelas de la revolución verde fueron evidentes, los suelos agrícolas se transformaron en simples espacios de sustentación de plantas que exigen técnicas artificiales cada vez más caras, y el síntoma más aparente de degradación la erosión de estos suelos. (Ceccon, 2008)

Primavesi (1984) La investigadora brasileña en manejo ecológico de suelos, sustenta que la erosión no es un fenómeno natural, pero si el fruto de un manejo inadecuado del suelo. Esta

autora agrega también que el uso excesivo de fertilizantes químicos ha esterilizado el suelo, reduciendo al mínimo la actividad microbiana y la fauna del suelo.

### **2.2.1.2 Monocultivos**

Una de las tecnologías que patentó la Revolución Verde fue el monocultivo; el mismo que se refiere al cultivo de gran extensión de plantas de una sola especie. En la realidad del Ecuador solo en una parte se concuerda con la definición, aquella que se refiere a una sola especie; en cuanto a la superficie grande, no es necesariamente así, puesto que una cantidad importante de pequeñas superficies están bajo monocultivos. (Añazco, 2017)

El paisaje agrario del Ecuador se caracteriza cada vez más por el dominio de monocultivos de unas pocas especies de cultivos agrícolas y/o pastos, sean estas de ciclos cortos o perennes, ejemplos en la región andina son los monocultivos de papa *Solanum tuberosum*, maíz *Zea mays* y pasto kikuyo *Pennisetum clandestinum*; en la costa el banano *Musa paradisiaca*, caña de azúcar *Saccharum officinarum* y un gran porcentaje de cacao *Theobroma cacao* L; en la Amazonía es muy común el monocultivo de pastos con especies tales como *Axonopus scoparius*, *Brachiaria decumbens* y *Echinochloa polystachia*. (Añazco, 2017)

### **2.2.2 La agroforestería una alternativa para el monocultivo**

La agroforestería se sustenta en tres ámbitos: ambiental, social y económico; si se logra un equilibrio en estos tres ámbitos se tiene una producción sustentable la misma que garantiza rentabilidad para los agricultores y genera beneficios al ambiente.

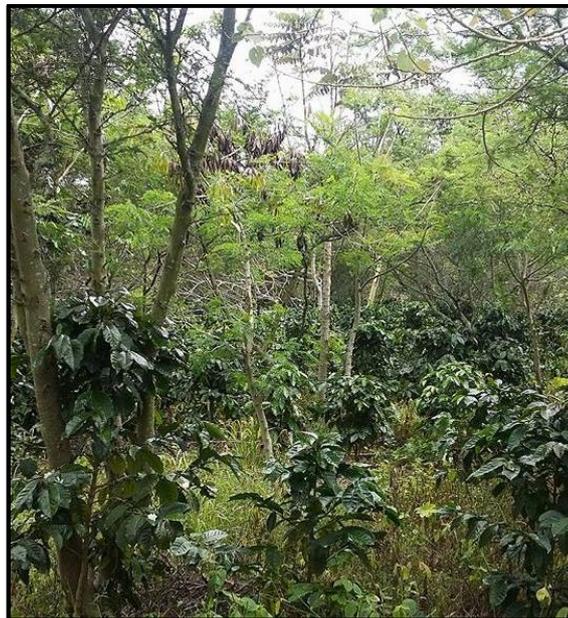
La agroforestería comprende un conjunto de sistemas, prácticas y técnicas orientadas a dar usos alternativos a la tierra donde, especies leñosas como árboles, arbustos, bejucos y guadales se combinan o asocian de una manera interactiva con cultivos y/o animales para múltiples propósitos y así darle un manejo sostenible a la tierra.

Con base a los componentes que integran los sistemas agroforestales, estos se clasifican en: agrosilvícola, silvopastoril y agrosilvopastoril. Dentro del sistema agrosilvícola se pueden

realizar varias prácticas, una de ellas es el asocio de árboles con cultivos perennes (Krishnamurthy y Ávila, 1999).

### ***2.2.2.1 Árboles con cultivos perennes***

El objetivo de esta práctica es obtener una buena producción con el mínimo deterioro del suelo y otros recursos. Bajo este sistema es posible disminuir la erosión, reducir los costos de insumos agropecuarios con el uso de especies fijadoras de N y obtener productos adicionales tales como frutos, forraje, leña y madera, a fin de garantizar la sostenibilidad y el fortalecimiento del desarrollo social y económico de las familias que se dedican a esta práctica. En el Ecuador los cultivos de café y cacao se asocian con especies de los géneros *Musa*, *Citrus*, *Eyithrina*, *Cedrela*, *Cordia*, *Inga*, que son los más utilizados en la Costa y Amazonía, mientras que en la Sierra se implementan estos cultivos con especies de los géneros *Vachellia*, *Persea* y *Citrus* como se observa en la figura 1. (Añazco, comunicación personal, 18 de noviembre de 2016).



*Figura 1.* Sistema agroforestal asocio espino y café  
**Autor:** Ana Yesenia Espinosa Marquez

### 2.2.2.1.1 Café

Es una planta nativa de los bosques de Etiopía en África, su crecimiento y desarrollo se realiza bajo la sombra de árboles. La domesticación de este cultivo ha permitido que se maneje bajo monocultivo o en asocio con especies arbóreas. Los cafetales bajo sombra pueden producir una gran cantidad de productos adicionales al café, lo cual incrementa la agrobiodiversidad de la finca (Miranda, s.f).

Las variedades de café arábica y robusta son las más utilizadas en el Ecuador, por otra parte, el arábica es considerado por su aroma complejo y su acidez pronunciada de mayor calidad y por ello es mucho más apreciado en el mercado de cafés especiales; las principales variedades arábicas en el país son: typica, bourbón, caturra, pacas, catuaí, catimor, salchimor y cavimor (Alarcó, 2011).

La variedad caturra procede de una mutación de la variedad bourbón. A pesar de su tamaño reducido se ha hecho popular gracias a sus grandes producciones. Las hojas son más grandes y anchas que las de la variedad bourbon, las hojas jóvenes tienen una coloración verde claro, y en la madurez alcanzan un color verde oscuro. Las ramas primarias tienen un ángulo menos agudo que el de la variedad bourbón, las ramificaciones secundarias son abundantes y compactas. Presenta muchas inflorescencias por axila y muchas flores por inflorescencia. A nivel individual las plantas de bourbón producen más, pero por unidad de área, puede ser que la plantación de caturra rinda más, ya que necesita menor distancia de siembra para su buen establecimiento (Alarcó, 2011).

Los cafetales necesitan de sombra transitoria o permanente, siendo esta última la más utilizada ya que protege al cultivo del exceso de radiación y luminosidad, de la época seca y de los fuertes vientos de forma definitiva. En Ecuador los terrenos son muy accidentados por lo que hay que preferir especies de sombra permanente que conserven el suelo tales como guabo o guaba *Inga spp.*, laurel *Cordia alliodora*, cedro *Cedrela odorata*, poró *Erythrina poeppigiana*, espino o faique *Vachellia macracantha* (Alarcó, 2011).

El café, uno de los productos agrícolas más exportados en el mundo, es producido principalmente en sistemas agroforestales. Históricamente se ha debatido la conveniencia de cultivar el café a pleno sol o en asocio con árboles. (Montagnini, Somarriba, Murgueitio, Fassola y Eibl, 2015)

#### 2.2.2.1.2 *Espino Vachellia macracantha*

Granda y Guamán citados en Aguirre, (2012) mencionan que este árbol pertenece a la familia de las Fabáceas, su altura varía entre los 6 -12 m y 20 cm de DAP. Fuste delgado, muy ramificado, tortuoso o sinuoso, ocasionalmente recto. Copa amplia, horizontal, aparasolada (forma de sombrilla), con las ramas y ramitas espinosas.

El espino o faique es un árbol nativo de las zonas secas, se encuentra distribuido en Loja, Azuay, Imbabura, El Oro, Guayas y Santa Elena. En la provincia de Loja se encuentra distribuido en todos los cantones, la mayoría de ellos alcanzan una altura de 3 a 6 m, y 20 a 80 cm de fuste, es una especie nativa con un gran potencial de regeneración natural; pero lamentablemente no existen pocas investigaciones que reflejen su verdadero potencial económico, social y ambiental (Ruiz, 2012). En la provincia de Imbabura se lo encuentra en el Valle del Chota formando parte de sistemas agroforestales, en bosquetes y también es posible observar ejemplares aislados.

Leguminosa de gran valor económico gracias a su utilidad como especie forrajera y a su madera para la industria de la construcción. Contribuye a la mejora de suelos empobrecidos debido a su capacidad de fijar nitrógeno. Por la cantidad de flores que produce, también tiene gran repercusión en la apicultura. Asimismo, se utiliza como especie ornamental y de sombra (Alarcó, 2011).

#### 2.2.2.2 *La sombra y sus impactos en el café*

La función principal de la sombra se refleja en los efectos directos sobre la planta de café. La sombra actúa como un filtro a la luz solar, modificando la intensidad y calidad con que esta llega a las hojas del cafeto, ejerciendo un efecto directo, regulando y optimizando la fotosíntesis y respiración. Existen tres tipos de sombra según el uso o función: la sombra provisional, temporal y definitiva. La densidad de la sombra puede variar en cada región, según las condiciones agroclimáticas de cada lugar. La sombra de mayor densidad es la de cobertura entre un 50-70% y la de menor densidad se encuentra entre el 25-30% (Aguilar, 2012).

### 2.2.2.2.1 Aspectos positivos de la sombra

#### a) Aspectos climáticos

Mejoramiento de las condiciones micro climáticas especialmente por la reducción de los eventos extremos de la temperatura del aire y del suelo; reducción de la velocidad del viento; mantenimiento de la humedad relativa (HR) y aumento de la regulación hídrica en el suelo. Como consecuencia, los cafetales arborizados están mejor protegidos contra las heladas y se crea un ambiente más adecuado para el intercambio gaseoso (Farfán, 2014).

#### b) Aspectos edáficos

Mejoramiento y/o mantenimiento de la fertilidad del suelo debido al aumento en la capacidad de reciclaje de nutrientes y adición de residuos. La estabilidad de la temperatura del suelo converge con menores pérdidas por volatilización del nitrógeno. Además, la capacidad de absorción e infiltración del agua se incrementa, lo cual favorece la reducción de la erosión como se observa en la figura 2. Sin embargo, de modo general, la utilización y la respuesta a la aplicación de nutrientes en cafetales sombreados es menor que en aquellos que crecen a pleno sol (Farfán, 2014)

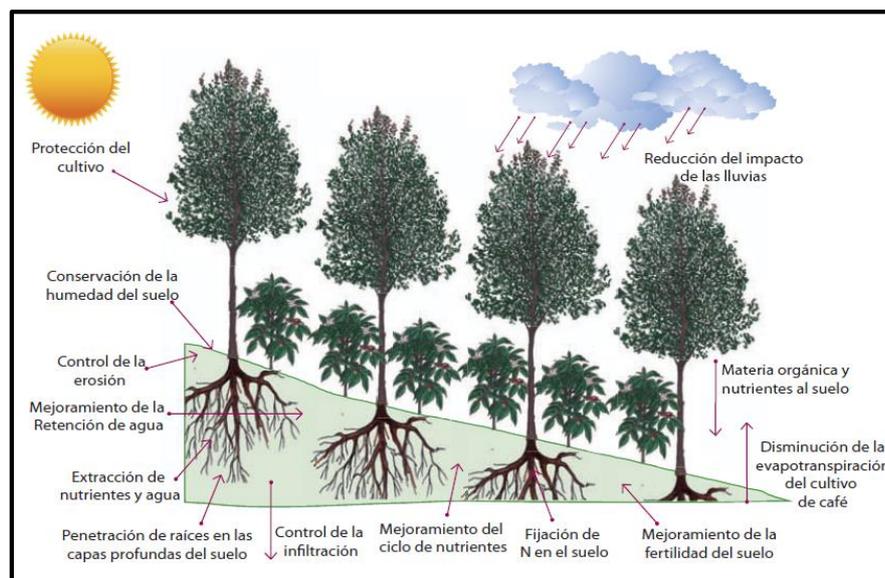


Figura 2. Procesos ecológicos en un sistema agroforestal cafetero

Fuente: Farfán, 2014

### **c) Aspectos de la avifauna**

La avifauna está totalmente relacionada con la abundancia de árboles, por lo que el establecimiento de sistemas agroforestales contribuye a protección y/o conservación de aves. Contrariamente en las zonas dedicadas a monocultivos al no albergar recursos alimenticios ni de hospedaje para las aves, suelen ser sistemas bastante pobres en este sentido. Ecuador es uno de los países con mayor diversidad avifaunística del mundo (Alarcó, 2011)

### **d) Aspectos bióticos**

Reducción de la incidencia del hongo *Cercospora coffeicola* agente causante de la enfermedad conocida como mancha de hierro que ataca a las hojas y frutos del faceto, amplia incidencia y severidad en cultivos establecidos a plena exposición solar (DaMatta y Rodríguez, 2007).

### **e) Aspectos endógenos**

Atenuación de las cosechas altas alternadas con bajas cosechas, lo que se conoce como ciclo bienal de producción de café, disminuyendo el estímulo a la superproducción que, a su vez, reduce el agotamiento de la planta y el secamiento de las yemas apicales y, en última instancia, hace el cultivo más perdurable. Además, el tamaño de los frutos producidos es mayor. Así mismo, hay un alargamiento del período de maduración del fruto que permite mayor flexibilidad en la cosecha (DaMatta y Rodríguez, 2007).

### **f) Aspectos económicos**

Ganancias adicionales derivadas de la explotación de la especie usada para la arborización (madera, frutos, resinas, leña, entre otros) (DaMatta y Rodríguez, 2007).

### **g) Materia orgánica y fauna del suelo**

El mantenimiento de altos niveles de materia orgánica en el suelo cubierto por sistemas agroforestales ayuda a estabilizar las poblaciones de nemátodos (por debajo del nivel crítico para el cultivo del café). Al mismo tiempo, la reducción de restos orgánicos debido al sombrero promueve el incremento de la tolerancia del cafeto a los nemátodos. No obstante, errores en la elección de la especie que se usa para brindar el sombrero pueden resultar en efectos negativos,

como se observa con *Inga* sp., que puede ser hospedera alternativa para nemátodos que afectan los cafetales (DaMatta y Rodríguez, 2007).

#### **h) Fijación biológica de nitrógeno**

Algunas prácticas de manejo pueden afectar la fijación biológica de nitrógeno (N) en plantaciones de café asociadas con especies arbóreas y, por supuesto, la disponibilidad de N en el suelo. Cuando las especies utilizadas como sombrío tienen la capacidad de fijar nitrógeno atmosférico, generalmente se plantan en una densidad de 100 a 300 árboles/ha. No obstante, en muchas plantaciones estas especies son manejadas de forma dispersa. Cuando se practican podas a los árboles de sombra asociados con cultivos de café, se sugiere que los restos vegetales o residuos derivados de la poda se conviertan en pequeños pedazos para ser depositados alrededor de los árboles o ser utilizados como leña (DaMatta y Rodríguez, 2007).

#### **i) Erosión del suelo**

La erosión superficial y la pérdida del suelo son menores en plantaciones bajo sombrío que en aquellas a plena exposición solar. Sin embargo, beneficios similares se pueden obtener mediante la utilización de la cobertura muerta en las áreas a pleno sol. También la caída natural de hojas que constituye el litter y/o los residuos de la poda, resultan en el mantenimiento una capa de cobertura vegetal muerta; en ese escenario, una baja descomposición del litter puede ser ventajosa (DaMatta y Rodríguez, 2007).

En las épocas de precipitaciones altas, el dosel denso formado por los árboles utilizados para el sombrío resulta en una mejor protección del suelo en comparación con árboles que forman dosel abierto o menos denso. Sin embargo, los árboles pueden eventualmente redistribuir la precipitación como ocurre con las lluvias de baja o moderada intensidad en donde la coalescencia y goteo a partir de las hojas de las especies más altas (árboles) pueden promover la quiebra de las partículas del suelo y favorecer la erosión superficial del suelo. Por lo tanto, el uso de árboles con copas y hojas pequeñas pueden evitar los daños causados por el goteo intenso durante las lluvias (Alarcó, 2011).

#### 2.2.2.2.2 Aspectos negativos de la sombra

DaMatta y Rodríguez (2007) refieren que los aspectos negativos de la arborización están íntimamente asociados con el uso de especies inadecuadas que compiten significativamente con el cafeto, con la sombra excesiva y las dificultades en las operaciones de la cosecha. Bajo este contexto, se consideran los siguientes:

a) En regiones con estaciones de sequía prolongada, con suelos pobres tanto en su estructura como en su contenido de nutrientes, o cuando se usan especies cuyo sistema radicular sea demasiado superficial, puede ocurrir competencia severa entre el cafeto y el árbol de sombrío (DaMatta y Rodríguez, 2007).

b) Mayor incidencia de la broca del fruto (*Hipotenemus hampei*) y de la roya (*Hemileia vastatrix*) (DaMatta y Rodríguez, 2007).

c) Limitaciones para la cosecha mecanizada; para minimizar ese problema se pueden plantar los árboles para sombrío en las líneas de la plantación de café cada 8 o 16 líneas, lo que favorece la cosecha manual (DaMatta y Rodríguez, 2007).

d) Dependiendo de las especies usadas, la poda o desbaste puede ser frecuente, ya que la densidad se puede tornar excesiva. Esas operaciones son costosas; además, los ramos caídos pueden causar daños mecánicos al cafeto (DaMatta y Rodríguez, 2007).

### 2.2.3 Experiencias

#### 2.2.3.1 Árboles de *Mimosa scabrella* aumentan la producción de café en Brasil al protegerlo de las heladas

En las zonas cafetaleras del sur de Brasil, las temperaturas bajas y heladas dañan los cafetos ocasionalmente. Los cafetales sin árboles son los más afectados. La plantación de árboles de *Mimosa scabrella*, una especie nativa del sur de Brasil, dentro de cafetales redujo fuertemente los daños al café por heladas y, consecuentemente, aumento la producción acumulada durante los siete años del estudio (1988 – 1994) en más del 50%. Conforme aumentó el número de árboles, aumento la producción del café. Este efecto de abrigo por los árboles puede ser importante también en otras zonas cafetaleras donde temperaturas bajas y viento son problemas (Muschler , 2000).

### **2.2.3.2 Manejo del sombrío y fertilización del café en la zona central colombiana**

El estudio se realizó en la Estación Central Naranjal, situada en el municipio de Chinchiná, departamento de Caldas, zona cafetera central de Colombia. Los componentes utilizados en el sistema agroforestal fueron guamo santaferense *Inga edulis* como componente arbóreo y café *Coffea arabica* variedad colombiana. Los tratamientos estuvieron compuestos por la combinación de tres distancias de siembra de los guamos y cuatro niveles de fertilización del café.

Bajo sombrío de guamo, la máxima producción de café pergamino seco fue de 2188,43 kg equivalente a 193,5 @/ha/año ocurrió con un nivel de sombra del 45% (sombrío establecido a 12,0 x 12,0 m). Pasar de una distancia de siembra del sombrío de 6,0 x 6,0 m a 9,0 x 9,0 m significó aumentar la producción de café en un 67,4%, y al ampliarla a una distancia de 12,0 x 12,0 m se aumenta la producción en un 152,3%. (Farfán y Mestre, 2014)

### **2.2.3.3 Árboles dispersos con café en Ecuador**

La práctica agroforestal árboles dispersos con café se encuentra ubicada en la comunidad San José, parroquia Plaza Gutiérrez, cantón Cotacachi, provincia de Imbabura. El cultivo de café arábica tiene una superficie de una ha y 20 años de edad, se realizó el análisis financiero pertinente y sus resultados fueron VAN 2 436,4 TIR 37,8% y B/C 1,27 y la inversión fue recuperada al quinto año. (Añazco, 2016)

### **2.2.3.4 Rentabilidad financiera de *Cedrela odorata* L. en sistemas agroforestales con café en Pérez Zeledón, Costa Rica**

En el cantón de Pérez Zeledón, provincia de San José, Costa Rica. Se realizó un estudio donde se establecieron 30 parcelas temporales de muestreo de 1 000 m<sup>2</sup> en SAF con cedro entre cinco y 17 años. Se realizó el análisis financiero del SAF café – cedro de 17 años, el cual generó un VAN de ₡8 198 601,5, una TIR de 16 % y una relación B/C de ₡1,34 estos valores nos indican que el SAF es rentable ya que el VAN es positivo y la TIR supera al promedio del interés anual del Banco Central de Costa Rica (BCCR) del 2006 al 2015 que es del 6,1 %. La relación B/C del SAF señala que el productor recuperó cada colón invertido y por cada uno obtuvo una ganancia ₡0,34 (González, Murillo, y Ávila, 2018).

#### *2.2.3.5 Cambios en la fertilidad del suelo con plantaciones de café y sombrío de tres especies forestales*

La investigación fue realizada en la Subestación Experimental Paraguaicito, donde se evaluó la interacción de los componentes de un sistema agroforestal, café - especies forestales, y su efecto en los cambios químicos del suelo, los valores para cada variable evaluada al inicio del estudio 1995 y al final de éste 2005, dieron como resultado que el pH disminuye en cualquier sistema de cultivo del café. Al final del período, el pH no es limitativo para la productividad del café y, por el contrario, se mantiene dentro de los rangos óptimos definidos para el cultivo. Los valores iniciales de materia orgánica y fósforo, se encontraron por debajo de los rangos óptimos establecidos para el desarrollo del café.

Los niveles de potasio en el suelo, al final del período, disminuyeron sus concentraciones significativamente (entre el 42% y 59%), en las parcelas establecidas con café y sombrío de especies forestales, y esta disminución fue más crítica con sombrío de pino, donde los valores de potasio estuvieron por debajo del nivel mínimo establecido para café (Farfán, 2005).

## **CAPÍTULO III**

### **MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **3.1 Ubicación del sitio**

##### **3.1.1 Política**

El estudio se realizó en el sector Chinchinal, parroquia Santa Catalina de Salinas, ubicado a 25,5 km al norte de la cabecera cantonal San Miguel de Ibarra, provincia de Imbabura. (Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial [PDOT] de la parroquia de Santa Catalina de Salinas, 2011)

##### **3.1.2 Geográfica**

El sector se encuentra a 104°32'21,228 de longitud W, 01°29'36,67de latitud N, a 1714 m.s.n.m. de altitud (*Ver figura 6 – anexo 1*)

##### **3.1.3 Límites**

Limita, al norte con cabecera parroquial Salinas, al sur hacienda Palacara, al este Panamericana vía Lita y al oeste río Mira (Quilca, comunicación personal, 13 de mayo de 2017).

#### **3.2 Datos climáticos**

La temperatura media anual es de 22,5 °C, la precipitación media anual es de 481 mm, los meses más lluviosos son noviembre y diciembre, mientras que los meses de menor precipitación son julio, agosto y septiembre (Quilca, comunicación personal, 13 de mayo de 2017).

### **3.3 Materiales y equipos**

Los materiales y equipos que se utilizaron para el desarrollo de la investigación fueron:

#### **3.3.1 Materiales**

- Cinta diamétrica
- Cinta métrica
- Tijera podadora
- Útiles de escritorio
- Fundas zipper
- Pala
- Red entomológica

#### **3.3.2 Equipos**

- Computadora
- GPS
- Cámara fotográfico
- Hipsómetro Suunto
- Higrómetro
- Tensiómetro
- Balanza

#### **3.3.3 Software**

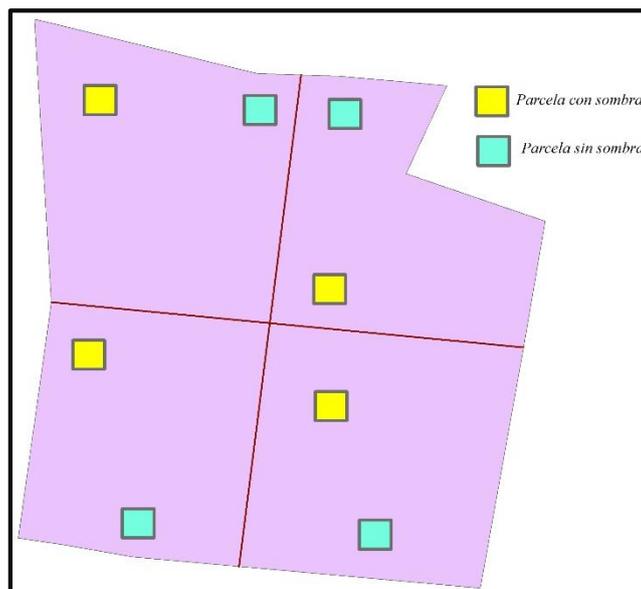
- Programa ArcGIS 10.3 ®.
- Word
- Excel
- BioDiversity Pro
- Past
- InfoStat

### 3.4 Metodología

#### 3.4.1 Universo y muestra representativa

El predio donde se realizó la investigación es de 4,02 ha que corresponde al universo, en donde existen dos categorías definidas: cultivo de café con sombra y sin sombra; el área se encuentra dividida por caminos, a cada unidad se le considerará un estrato. La edad de las dos unidades de investigación es ocho años y ambos poseen riego por aspersión.

Se aplicó la metodología del muestreo estratificado propuesta por Aguirre y Vizcaíno (2010) que sugiere dividir la población en subpoblaciones (estratos), de tamaño conocido; para luego en cada estrato escoger una muestra simple al azar de dos unidades en cada sub población. Se establecieron ocho parcelas de 500 m<sup>2</sup>, que constituyen el 10% de la población (4000m<sup>2</sup>) como se indica a continuación en la *figura 3*.



*Figura 3.* Sitio de estudio y parcelas

**Elaborado por:** Ana Yesenia Espinosa Marquez

#### 3.4.2 Parámetros dasométricos

Se tomaron mediciones de las variables altura total, DAP y diámetro de copa tanto en la especie forestal espino, como en el cultivo de café; el número de individuos medidos son de cinco y 15 respectivamente por parcela.

### a) Altura total

Con cinta métrica se midió una distancia horizontal de 20 m, con el hipsómetro Suunto se determinó los porcentajes mayores y menores, se aplicó la ecuación y se obtuvo las alturas totales de los árboles.

$$h = \frac{(\% \text{mayor} - \% \text{menor})}{100} \times 20 \text{ m}$$

Ec. (1)

Fuente: Romahn y Ramírez, 2010

Donde:

**h** = altura

**20 m** = distancia del árbol hacia la persona

### b) Diámetro a la altura del pecho (dap)

Se hizo la limpieza del fuste y posteriormente se procedió con una cinta diamétrica a tomar el DAP de cada árbol utilizando los criterios que para el efecto se tienen.

### c) Diámetro de copa

Con cinta métrica se tomaron dos mediciones de un extremo de la copa hacia otro en dirección horizontal y perpendicular (en forma de cruz +), con estos datos se hizo un promedio y se obtuvo el diámetro respectivo. Posteriormente se calculó el porcentaje de sombra.

$$DC = \frac{(DC1 + DC2)}{2}$$

Ec. (2)

Fuente: Romahn y Ramírez, 2010

Donde:

**DC** = Diámetro de copa

**DC1** = primera medición en cruz + de la copa del árbol

**DC2** = segunda medición en cruz + de la copa del árbol

#### d) Área de copa

Una vez calculado el diámetro de copa, se aplico la siguiente formula:

$$A_c = \frac{\pi (DC)^2}{4}$$

Ec. (3)

Fuente: Añazco, 2017

Donde:

**A<sub>c</sub>** = Área de copa

**DC** = Diámetro de copa

**π** = pi 3,1416

#### e) Porcentaje de sombra

$$\% \text{ de sombra} = \frac{\text{área de parcela m}^2}{\text{área de copa m}^2}$$

Ec. (4)

Fuente: Añazco, 2017

Donde:

**% de sombra** = Porcentaje de sombra

**Área de parcela** = Parcela de 500 m<sup>2</sup>

**Área de copa** = valor calculado con la ecuación que antecede

### 3.4.3 Metodología y variables a medir por objetivo

#### 3.4.3.1 Comparar la productividad del café bajo sombra y sin sombra

Se realizó el siguiente procedimiento de manera cronológica:

a) El café fue cosechado de cada planta ubicada en las parcelas respectivas.

b) La recolección se hizo una vez que el grano de café haya adquirido la madurez necesaria (grano cereza).

c) Se realizó un muestreo de 15 plantas al azar por parcela, en cada una se pesó la cantidad recolectada por planta en kg, para la extrapolación de todos los individuos, se aplicó los siguientes modelos de regresión:

$$y = 0,9087x^{-0,179}$$
$$R^2 = 0,7396$$

Ec. (5)

**Ecuación:** regresión café sin sombra  
**Fuente:** Elaboración propia

$$y = -0,0172x + 1,6397$$
$$R^2 = 0,8371$$

Ec. (6)

**Ecuación:** regresión café con sombra  
**Fuente:** Elaboración propia

d) Con los datos obtenidos se procedió a realizar los análisis estadísticos, de productividad y financieros respectivos.

Los registros fueron transformados de kilogramos de café cereza a kilogramos de café seco despulpado; el factor de conversión aplicado fue de 5:1, dicha conversión se la obtuvo de la experimentación en campo, de los pesajes de las diferentes muestras colectados en distintos días.

Se peso 5kg de café cereza, se despulpo y seco dicha cantidad, posterior a esto se volvió a pesar la muestra y dio como resultado 1kg de café seco despulpado; esta cantidad se repitió por 4 veces.

Para corroborar el factor de conversión se peso 10 kg de café cereza, se despulpo y seco la muestra, se procedió al pesaje de la muestra seca obteniendo 2kg de café seco despulpado, repitiendo este proceso en 4 ocasiones más.

### 3.4.3.2 Determinar la rentabilidad financiera

La metodología utilizada consiste en determinar los indicadores representativos de un análisis financiero tradicional; previamente se estableció el flujo de costos e ingresos, utilizando para los costos el valor de la mano de obra que establece la ley laboral para un trabajador agrícola de la sierra; y para los ingresos se utilizó los precios vigentes en el mercado.

Para la discusión de este objetivo en el caso donde se confrontó un estudio realizado en Costa Rica, se transformaron los colones a dólares americanos a efectos de disponer de las mismas variables para el análisis

#### 3.4.3.2.1 Variable a medir

Las variables medidas fueron los indicadores financieros VAN, TIR y B/C.

Para los cálculos se utilizó el año de referencia de la cosecha actual (ocho años), y la tasa de descuento del 12 % que corresponde a un promedio de las tasas vigentes del sistema financiero nacional de la banca pública y privada (Banco Central del Ecuador [BCE], 2017).

Las ecuaciones utilizadas fueron las siguientes:

#### a) Valor actualizado neto (VAN).

$$\text{VAN} = \sum \frac{B_t - C_t}{(1 + r)^t}$$

Fuente: Yáñez, 2015

Ec. (4)

Donde:

**B** = Beneficios en el año t

**C** = Costos en el año t

**r** = Tasa de descuento aplicada

**t** = año de referencia de la cosecha actual

**b) Tasa interna de retorno (TIR).**

$$\text{TIR} = \sum \frac{B_t - C_t}{(1 + p)^t}$$

Ec. (5)

Fuente: Yáñez, 2015

Donde:

**B** = Beneficios alcanzados en el año t

**C** = Los costos incurridos en el año t

**p** = La tasa interna de retorno aplicada

**c) Relación beneficio costo (B / C).**

$$B / C = \frac{\text{Total beneficios encontrados}}{\text{Total costos descontados}}$$

Ec. (6)

Fuente: Yáñez, 2015

**3.4.3.3 Análisis de los impactos ambientales**

Las variables medidas fueron suelo, biodiversidad, humedad y contenido de carbono.

**3.4.3.3.1 Suelo**

Se analizaron las propiedades químicas donde se tomó en cuenta el pH, materia orgánica, nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg), hierro (Fe), manganeso (Mn), cobre (Cu), zinc (Zn); y por otra parte las físicas donde se determinó la porosidad, densidad aparente y la densidad real.

Para los análisis se tomaron en cuenta los protocolos del laboratorio de la (Agencia Ecuatoriana de Aseguramiento de la Calidad del Agro [AGROCALIDAD], 2010):

a) Se tomó la muestra de suelo en un recorrido en zig – zag en cada una de las parcelas (ver figura 4).

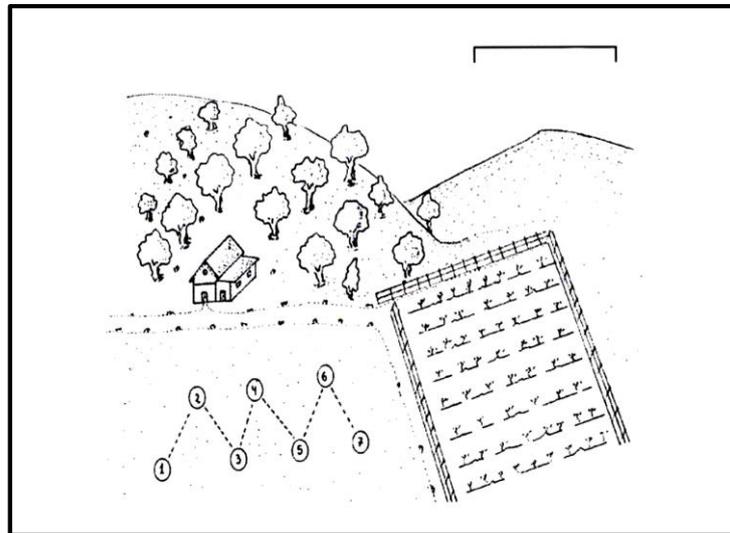


Figura 4. Toma de submuestras en forma de zig – zag  
Fuente: AGROCALIDAD, 2010

b) Se cavó un hoyo de profundidad adecuada de acuerdo con lo indicado en la figura 3, con las paredes inclinadas corte en V (ver figura 5).

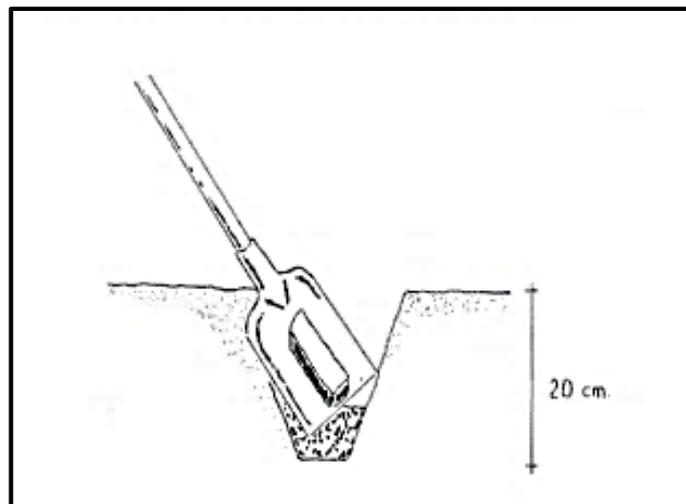


Figura 5. Toma de muestras de suelo, corte en V  
Fuente: AGROCALIDAD, 2010

- c) De una de las paredes del hoyo se sacó una tajada de suelo de cinco cm de grosor.
- d) Con un cuchillo se eliminó los extremos laterales del bloque de suelo, dejando una tajada de 5 cm de ancho.
- e) Se depositó las submuestras en un balde plástico y se homogenizó.

f) Se recolectó un kilogramo de muestra homogenizada en doble funda plástica.

g) Se identificó la muestra claramente con una etiqueta colocada entre las dos fundas plásticas, la misma que deberá llevar los siguientes datos:

- Identificación de la muestra
- Fecha de toma de muestra
- Responsable de la toma de muestra
- Número o nombre de la parcela al que pertenece la misma
- Localización: Provincia, cantón, parroquia
- Nombre del cliente propietario de la muestra, dirección y correo electrónico
- Último cultivo
- Próximo cultivo
- Tipo de fertilización
- Edad del cultivo
- Georeferenciación

h) Con base a los protocolos de agrocalidad se estableció la valoración de los resultados obtenidos en los diferentes análisis

#### *3.4.3.3.2 Biodiversidad*

La metodología utilizada para determinar la biodiversidad es una adaptación de la metodología utilizada por (Núñez, 2008)

Se estudió los principales componentes de la flora y fauna; en cuanto a la flora se recolectaron muestras botánicas de las especies vegetales que se encuentran en cada parcela dentro y en límite de la misma; para la fauna se subdividió en macro fauna y micro fauna.

En cuanto a la macro fauna se inventarió el tipo de aves con base a información proporcionada por habitantes locales, a quienes se les formuló las siguientes preguntas:

- ¿Qué aves existen en el sitio de estudio?
- ¿Cuál es la época de mayor presencia de las aves en el sitio?

Con los datos obtenidos se cuantificó las aves existentes y se las clasificó por familia, y el número de aves por parcela se las extrapolo a ha.

La micro fauna se determinó únicamente por la presencia de los principales ordenes de insectos, utilizando trampas caseras entomológicas, se realizó el conteo con una frecuencia cada dos semanas, y el número de individuos se le extrapolo a ha.

Para el análisis de las poblaciones de insectos y aves se utilizó el índice de Shannon, empleando el software BioDiversity Pro.

#### 3.4.3.3.3 Humedad

Se determinó el contenido de humedad tanto en las parcelas con la presencia de árboles, y en las otras sin estos.

a) Para medir la humedad relativa se utilizó un higrómetro tomando mediciones en distintas horas del día (mañana, tarde y noche) durante cinco días, un día por semana, el equipo se lo instalo en la mitad de cada parcela.

b) Para calcular la humedad del suelo se recolecto una muestra de suelo en forma de zig -zag en el sistema de café – espino y en el cafetal, la muestra se la recolecto el último día de medición de la Humedad Relativa, posterior a esto se aplicaron los protocolos del método gravimétrico establecidos por el Laboratorio de Relación Suelo-Agua-Planta [SAP] (2011) que menciona que el contenido de humedad es determinado por la diferencia en peso de la muestra húmeda con la seca. Típicamente, con el método gravimétrico la muestra de suelo es recogida y pesada, luego se seca la muestra en un horno durante 24 horas a 105 °C y después se pesa la misma. La ecuación básica para expresar el contenido de humedad en base a la masa seca es:

$$W = M_w / M_s$$

Fuente: SAP, 2011

Ec. (8)

Donde:

**W** = Contenido de humedad del suelo (gr/gr)

**M<sub>w</sub>** = Masa de agua en la muestra de suelo (gr);  $M_w = M_t - M_s$

**M<sub>s</sub>** = Masa de la muestra de suelo secado al horno (gr)

**M<sub>t</sub>** = Peso de la muestra recolectada

#### 3.4.3.3.4 *Contenido de carbono*

Para calcular el contenido de carbono en el sistema agroforestal café – espino y en el cafetal sin sombra se siguió el mismo procedimiento para los dos casos:

Se tomó una muestra del fuste del árbol de espino y otra del tallo del arbusto de café, para ello se utilizó el barrenador de Presley, las dos muestras fueron empaquetadas y llevadas al laboratorio donde fueron pesadas en verde y en seco, se obtuvo así las densidades del fuste y tallo, esto fue multiplicado por el volumen del árbol y peso, de dicha operación resultó la biomasa del fuste.

Además, se calculó la biomasa de las ramas que fue el resultado de la multiplicación entre el volumen de la rama, su peso y la densidad. Posterior a esto se determinó la biomasa de las hojas, para ello se obtuvo el volumen mediante el principio de Arquímedes que consistió en sumergir una cantidad de hojas previamente pesadas kg en un recipiente con 100 ml de agua, se procedió a medir el agua derramada del recipiente donde se sumergieron las hojas, con ayuda de una pipeta por consiguiente se obtuvo la densidad y con ello la biomasa de las hojas.

Se finalizó el proceso realizando una suma entre la biomasa del fuste, ramas y hojas de cada árbol muestreado, a este resultado se lo multiplicó por el porcentaje que establece el Panel Intergubernamental para el Cambio Climático (IPCC), y como resultado final se obtuvo la cantidad de carbono presente en el espino y en el café.

Para el cafetal sin sombra se siguió el mismo proceso tomando solo mediciones en el cultivo de café.

### 3.4.4 Análisis estadístico

#### 3.4.4.1 Estimadores estadísticos

Se realizaron las comparaciones entre las variables del cultivo y de los árboles de espino como se indica en la tabla 1.

**Tabla 1**

*Estimadores estadísticos*

Medida estadística	Fórmula
Media:	$\bar{x} = \frac{\sum x}{n}$
Varianza	$S^2 = \frac{\sum x^2 - (\sum x)^2 / n}{n - 1}$
Desviación estándar	$S = \sqrt{S^2}$
Coficiente de variación	$CV = \frac{S}{\bar{x}} \times 100$
Error estándar de la media	$S_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{S^2}{n}}$
Prueba de “t” de Student	$t_c = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{S_{x_c}}$

---

**Fuente:** Aguirre y Vizcaíno, 2010

**Elaborado por:** Ana Yesenia Espinosa Marquez

#### ***3.4.4.2 Prueba de t de Student***

Previo a la aplicación de la prueba se realizó la verificación de la distribución normal de los datos con el programa Past 3.0. Se tomaron en cuenta los parámetros dasométricos y la productividad del cultivo bajo sombra y sin sombra.

#### ***3.4.4.3 Análisis de correlaciones***

Con un total de 824 individuos, se realizaron las siguientes correlaciones con la unidad experimental con sombra:

- Dap vs altura.
- Dap vs producción
- Altura vs producción
- Diámetro de copa DC vs producción

## CAPÍTULO IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1 Productividad del café bajo sombra y sin sombra

El cafetal bajo sombra y sin sombra tienen ocho años desde su establecimiento, poseen riego constante por medio de aspersores en toda el área de estudio, esto hace que el grano de café sea cosechado durante todo el año. La productividad del cafetal seco despulpado bajo una sombra de 46% fue de 1197,24 Kg/año, mientras sin sombra fue de 518,63 Kg/año, a pesar de que el cafetal sin sombra cuenta con riego la productividad es más baja, se infiere que esto sucede porque la planta de café está expuesta al exceso de radiación y luminosidad lo cual provoca que la planta trabaje más en su proceso fisiológico ya que el café es un arbusto que necesita de sombra para su desarrollo (ver gráfico 1).

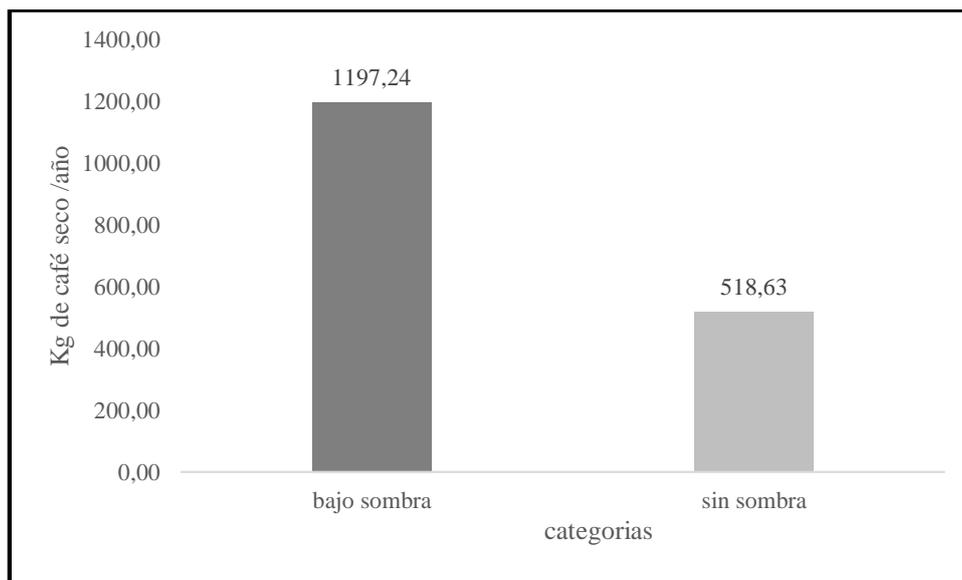


Figura 6. Productividad del café bajo sombra y sin sombra

**Elaborado por:** Ana Yesenia Espinosa Marquez

Farfán y Mestre (2014) realizaron un estudio en la Estación Central Naranjal, situada en el municipio de Chinchiná, departamento de Caldas, zona cafetera central de Colombia, los componentes utilizados en el sistema agroforestal fueron guamo santafereño *Inga edulis* como componente arbóreo y café *Coffea arabica*, la máxima producción de café seco fue de 2188,43 kg/ha/año, ocurrió con un nivel de sombra del 45% (sombrió establecido a 12,0 x 12,0 m), mientras que en el sistema en estudio la máxima producción fue 1197,24 kg/ha/año bajo un

nivel de sombra de espino de 46% (densidad de 10 x 9 m), de esto se refiere que la producción del sistema en estudio es menor, aunque hay una similitud en el porcentaje de sombra, la producción varia puede ser por las condiciones climáticas, edáficas en las que se encuentran los ensayos.

En Brasil un estudio realizado por Muschler (2000) menciona que la productividad de *Coffea arabica* var. Catuai en asocio con *Mimosa scabrella* fue de 1028 kg/ha con una densidad de 250 árboles/ha; mientras que en el presente estudio fue de 1197,24 kg/ha con 111 árboles/ha; si bien es cierto en el sistema asociado con *Mimosa* el componente arbóreo es mayor y la producción disminuye con referencia al sistema café – espino, esto se debe que el sistema estudiado tiene riego constante.

#### 4.2 Rentabilidad financiera

En el sistema agroforestal café – espino el VAN fue positivo y la TIR supera a la tasa de interés referencial, por lo cual es pertinente señalar que el sistema productivo es rentable para el agricultor, la relación B/C es de \$ 1,33 ctvs., lo que refleja que por cada dólar que se invierte se obtiene una ganancia de US \$ 0,33 ctvs. (Ver tabla 2). El tiempo de recuperación del sistema fue al cuarto año desde su establecimiento con base al flujo de caja de costos e ingresos (Ver anexo 2).

En el cafetal sin sombra se obtuvo un VAN negativo, la TIR es menor a la tasa de interés del 12% lo que indica que el cafetal no es rentable y la relación B/C refleja que no ha producido ganancias. (Ver tabla 2). Con base al cálculo del flujo de costos e ingresos del cafetal sin sombra el tiempo de recuperación es negativo por lo que se asume que la inversión aún no ha sido recuperada, una proyección del tiempo de recuperación es a los 13 años. (Ver anexo 2).

**Tabla 2**

*Rentabilidad financiera*

Indicadores Financieros					
Con sombra			Sin Sombra		
VAN	TIR	B/C	VAN	TIR	B/C
US \$	%	US \$	US \$	US \$	US \$
12 695,82	20,72	1,33	-28 801,43	-23,59	0,23

Elaborado por: Ana Yesenia Espinosa Marquez

Añezco (2016) analizó 14 prácticas agroforestales, una de ellas fue árboles dispersos en asocio con cultivos perennes (*Alnus nepalensis* con café), a la edad de 20 años de dicha práctica, sus resultados fueron VAN US \$ 2 436,94; TIR 37.8% y B/C 1,27 y la inversión fue recuperada al quinto año; en el sistema espino- café el VAN y el B/C son mayores, pero a su vez el TIR disminuye esto se debe a que la inversión del sistema espino-café fue muy costosa ya que cuenta con sistema de riego por aspersores a pesar de eso el tiempo de recuperación es al cuarto año mientras que en la práctica analizada por Añezco es al quinto año.

González et al. (2018) mencionan que el SAF café – cedro de 17 años de edad, generó un VAN de US \$ 14 496,02; una TIR de 16 % y una relación B/C de > 0,05 centavos de dólar estos valores nos indican que el SAF es rentable ya que el VAN es positivo y la TIR supera al promedio del interés anual del Banco Central de Costa Rica (BCCR) del 2006 al 2015 que es del 6,1 %. comparando los resultados de los dos SAFs, los dos casos son rentables, con una diferencia que el sistema espino – café tiene un VAN menor en comparación al estudio de González (2018); esto se debe a las condiciones edafoclimáticas en las cuales se desarrollaron los estudios, en Costa Rica dichas condiciones son más concordantes con los requerimientos del café, sin embargo los otros indicadores como B/C y TIR muestran rentabilidad para el contexto local.

## **4.3 Impactos ambientales**

### **4.3.1 Suelo**

#### ***4.3.1.1 Análisis de suelo con sombra***

El resultado del análisis de suelo de la muestra tomada en las parcelas bajo sombra muestran un pH de 8,08 lo que indica que el suelo es alcalino y este sobrepasa el valor aceptable para cultivos de café, materia orgánica registra 1,42% que se lo considera muy bajo para el cafetal, con referencia a los macronutrientes el potasio es el que más sobresale con una cantidad de 0,46 cmol/kg que se considera un valor alto, el nitrógeno 0,07% y el fósforo 4,00 mg/kg valores considerados bajos, por otra parte, los micronutrientes están entre los rangos de bajo a medio, así: el magnesio es de 1,74 cmol/kg conjuntamente con el hierro 35,8 mg/kg valores definidos como medios; calcio 4,05 cmol/kg, manganeso 3,51 mg/kg, y zinc < 1,60, estos últimos son

valores bajos; la interpretación de los valores fueron tomados de los parámetros del Laboratorio AGROCALIDAD.

De todo lo antes mencionado se colige que el suelo esta con una deficiencia nutricional posiblemente esto se debe a que el suelo ha sido sobre explotado ya que el grano de café es cosechado todos los días durante todo el año desde hace ocho años atrás y no ha sido implementado ningún fertilizante químico en el sitio. Si bien es cierto la producción de café es muy rentable a pesar de que el suelo registre un déficit de nutrientes, se presume que la presencia de riego constante y algún nivel de reciclaje de nutrientes aportados desde la materia orgánica que generan los árboles de espino estén contribuyendo a esta productividad del café.

En cuanto a las propiedades físicas del suelo, la densidad aparente es de 1,59 g/ml, densidad real 2,67 g/ml y porosidad 40,65%, estos valores antes mencionados según (FAO, 2009) se los considera altos, lo que indica que el suelo tiene un ambiente pobre para el crecimiento de raíces, aireación reducida, y cambios indeseables en la función hidrológica como la reducción de la infiltración del agua (*ver anexo 3*).

#### ***4.3.1.2 Análisis de suelo sin sombra***

La muestra recolectada en el cafetal sin sombra evidencia un pH de 8,26 el cual es considerado alcalino, la materia orgánica 1,59% un valor bajo; los macronutrientes presentan los siguientes niveles: nitrógeno 0,08% bajo, fósforo 11,00 mg/kg medio, potasio 0,59 cmol/kg alto; por otra parte los micronutrientes presentan valores que se encuentran un rango entre bajo a medio como se evidencian los resultados de cobre 0,88 y zinc < 1,60 bajo; calcio 5,61, magnesio 2,10 y hierro 29,8 mg/kg medio; en cuanto a las propiedades físicas la densidad aparente es de 1,41 g/ml, densidad real 2,59, porosidad 45,41%; según estos valores y porcentajes se deduce que el suelo esta degradado y ha sido sobre explotado en estos últimos siete años de producción sin añadir al suelo ningún fertilizante químico (*ver anexo 3*).

Farfán (2005) su estudio Cambios en la fertilidad del suelo con plantaciones de café y sombrío de tres especies forestales, sus resultados los comparo con la tabla de condiciones Físico – Químicas de suelos apta para café propuesta por Valencia y Carrillo, 2000; en los cuales se evidencia un pH de 5,40 el cual no es limitativo para la productividad del café y, por el contrario, se mantiene dentro de los rangos óptimos definidos para el cultivo. Los valores de

materia orgánica 6,60 % y fósforo 2 mg/kg, este porcentaje de la materia orgánica es óptima para otros cultivos, en otras zonas o países; contrariamente en este caso a estos valores se los considera por debajo de los rangos óptimos establecidos para el desarrollo del café en Colombia, a pesar de que no se cumple con los requerimientos del café, ambos casos de estudio en Ecuador y Colombia, tienen una buena producción, esta condición se debe a que los cafetos se encuentran en asocio con especies forestales y la sombra de estos ayuda a mantener en equilibrio al cultivo.

### **4.3.2 Biodiversidad**

#### **4.3.2.1 Flora**

En la práctica agroforestal no se registra ninguna especie vegetativa en el estrato bajo; se debe en parte a la sombra que proporciona el componente arbóreo con una cobertura de copa del 46% y la auto sombra que brinda el cafeto. (*Ver anexo 4*)

El café expuesto al sol tiene un panorama muy diferente al antes mencionado, en las parcelas ubicadas en esta sub población se registraron 33 individuos por cada metro cuadrado: seis de la especie *Dodonaea viscosa* de la familia SAPINDACEAE, cuatro de la especie *Ricinus communis* de la familia EUPHORBIACEAE, siete del género *Sida* de la familia MALVACEAE, cuatro del género *Otholobium* de la familia FABACEAE y de la familia URTICACEAE los géneros *Urtica* y *Phenax* con un número de individuos de siete y cinco respectivamente.

Diversos estudios confirman las bondades de especies leguminosas (FABACEAE) para ser empleadas como sombrío para el café, pero muy poco o nada se ha estudiado sobre las interacciones biofísicas de sistemas agroforestales los cuales involucran a especies forestales como componente arbóreo, son muchas las especulaciones sobre los efectos que estas especies tendrían sobre los suelos y sobre los cultivos; algunos autores afirman que se reduce la biodiversidad y son inhóspitas para el crecimiento de plantas herbáceas, afectando además el clima (Chang, et al. 2002 y Dijkstra 2001 como se citó en Farfán, 2008).

Los resultados obtenidos en el estudio realizado en Guatemala por la organización SCAN fueron similares a los del presente estudio ya que ellos afirman que la sombra dificulta el desarrollo normal de las malezas. En un cafetal manejado con sombra, la cobertura de malezas

es menor al 5%; la cobertura de malezas en un cafetal al sol, es del 80% (Sustainable Commodity Assistance Network [SCAN], 2015).

Las dos afirmaciones antes mencionadas concuerdan con los resultados obtenidos en el presente estudio, pese a que estos se encuentran en diferentes condiciones edafoclimáticas se evidencia la ausencia de malezas, condición que responde al aporte de la sombra del componente arbóreo y la auto sombra del cafeto; por otra parte, se realizó una proyección en el cafetal expuesto al sol y se registró 330,000 plantas de 5 familias diferentes por hectárea.

#### 4.3.2.2 Fauna

- **Micro fauna (ordenes de insectos)**

Según el índice de Shannon en el sistema agroforestal café – espino se obtuvo un valor de 0,565 y el cafetal sin sombra alcanzó un valor de 0,507, por consiguiente, haciendo referencia a los valores antes mencionados el SAF café – espino indica un valor superior con respecto al sistema tradicional de café (*Ver gráfico 2*). Por otra parte, al comparar estos valores con los rangos del índice de Shannon, valor normal está entre 2 y 3; valores inferiores a 2 se consideran bajos en diversidad y superiores a 3 son altos en diversidad de especies; la biodiversidad en la presente investigación es baja. (Pla, 2006)

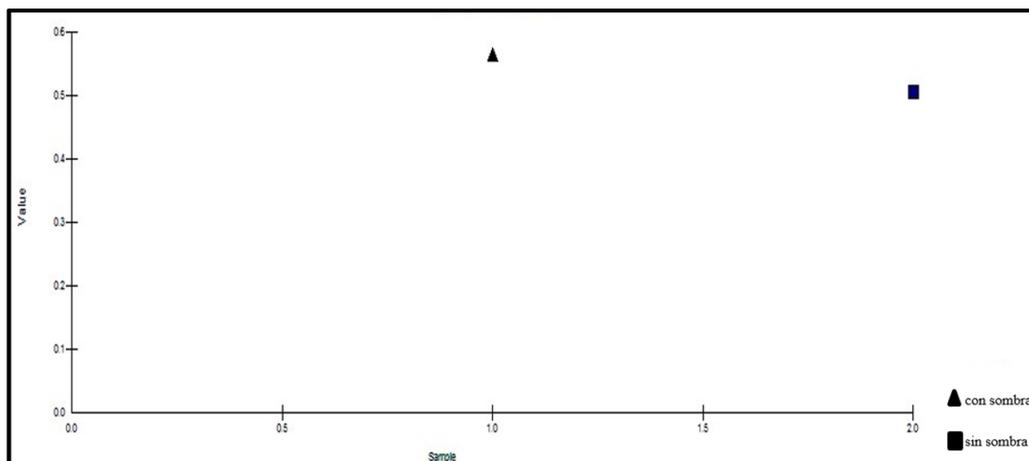


Figura 7. Índice de Shannon ordenes de insectos  
Elaborado por: Ana Yesenia Espinosa Marquez

Los órdenes de insectos encontrados tanto en el SAF y en el cafetal sin sombra fueron Coleóptera, Díptera, Lepidóptera e Hymenóptera como se muestra en la tabla 3.

**Tabla 3**

*Numero de especímenes por orden / ha*

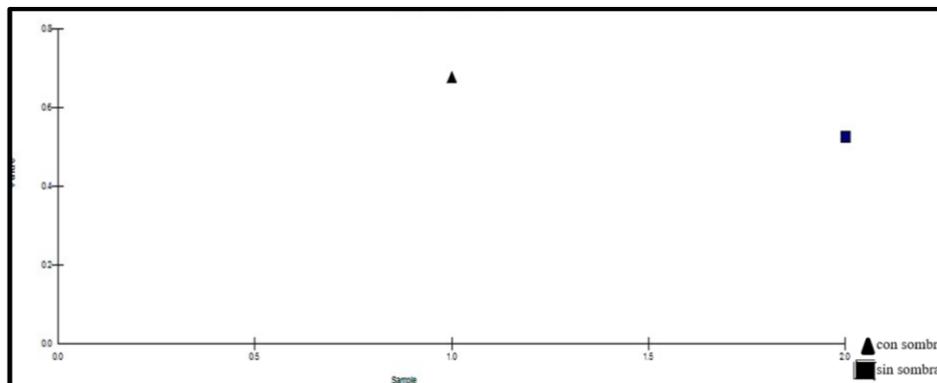
Orden	Con Sombra	Sin Sombra
COLEOPTERA	3000	1600
DIPTERA	5000	5800
LEPIDOPTERA	2200	1000
HYMENOPTERA	6600	5600

**Elaborado por:** Ana Espinosa Marquez

Giraldo y Benavides (2015) en su estudio realizado en seis fincas cafeteras de Colombia en los departamentos de Caldas, Risaralda, Quindío y Valle del Cauca, en cultivos de café con tres sistemas de producción: plena exposición solar, sombrío y producción orgánica, encontraron nueve especies de moscas de las frutas de la familia Tephritidae, orden DIPTERA, con un promedio de 6000 especímenes en el sistema con sombrío; en comparación con el presente estudio el número de especímenes por dicha familia están casi iguales con un número de 5000 especímenes, a pesar de que las condiciones edáficas, climáticas y de altura y difieren.

- **Macro fauna (aves)**

El índice de Shannon muestra que el sistema agroforestal café – espino tiene un valor de 0,678 siendo superior al cafetal sin sombra 0,527 como se indica en el gráfico 3; de estos datos se discierne que el SAF café – espino es más biodiverso en referencia al cafetal sin sombra, esto se debe a que el sistema agroforestal café – espino alberga mayor número de individuos por el componente arbóreo. Sin embargo, dichos valores son bajos considerando los rangos del índice de Shannon, valor normal está entre 2 y 3; valores inferiores a 2 se consideran bajos en diversidad y superiores a 3 son altos en diversidad de especies. (Pla, 2006)



*Figura 8. Índice de Shannon aves*

**Elaborado por:** Ana Yesenia Espinosa Marquez

A continuación, en la tabla 4 se detalla el nombre común de las especies encontradas en las parcelas con sombra y sin la presencia de esta con su respectiva familia.

**Tabla 4**

*Numero de especímenes por familia / ha*

Nombre común	Familia	Con Sombra	Sin Sombra
Petirrojo o pájaro brujo	Tyrannidae	1000	0
Gorrión	Emberizidae	1600	400
tórtolas, palomas	Columbidae	2400	800
colibríes	Trochilidae	1200	200
codorniz	Phasianidae	1400	200

**Elaborado por:** Ana Espinosa Marquez

Botero, López, Espinosa y Casas (2010) en su publicación Aves de zonas cafeteras del sur de Huila, Colombia, registran 287 especies de aves pertenecientes a 50 familias, cabe recalcar que este estudio se realizó en siete localidades por lo que se refleja una diversidad mayor de familias en comparación al cafetal con sombrero de espino donde se encontraron 5 familias. En los dos estudios se registran las mismas 4 familias Tyrannidae, Emberizidae, Columbidae, Trochilidae, pero el número de individuos por familia es diferente entre los dos estudios.

El índice de Shannon de los dos componentes macro y micro fauna muestra una biodiversidad bajo en comparación a otros ecosistemas esta biodiversidad es muy baja ya que no existe la presencia significativa de diferentes especies entre insectos y aves.

### **4.3.3 Humedad**

#### **4.3.3.1 Humedad relativa**

Los promedios de los datos tomados con el higrómetro fueron de 33% y 26%, para el sistema agroforestal café – espino y para el cafetal sin sombra respectivamente (*Ver tabla 5*).

**Tabla 5**

*Datos humedad relativa en el SAF y en el cafetal sin sombra*

*CS = con sombra*

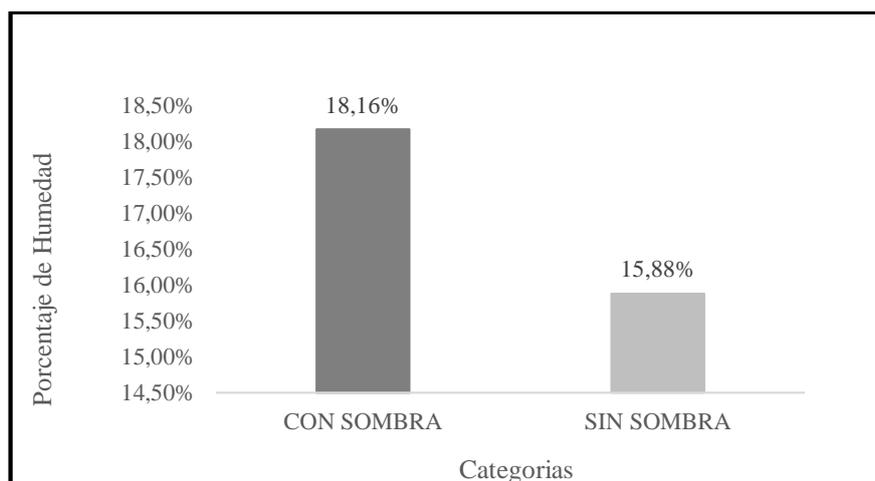
*SS = sin sombra*

Horas de medición	Mediciones durante 5 días										Promedio % HR con sombra	Promedio % HR con sombra
	Día 1		Día 2		Día 3		Día 4		Día 5			
	CS	SS	CS	SS	CS	SS	CS	SS	CS	SS		
8:00	33%	25%	33%	24.8%	32.6%	25%	32%	25.3%	33.6%	24.5%	33%	25%
12:30	37%	28%	38.2%	27%	37%	26.6%	36%	28.2%	37.5%	28%	37%	28%
17:30	30%	25%	31.5%	26%	29.5%	24.8%	30%	25.2%	31%	25%	30%	25%
<b>TOTAL</b>											<b>33%</b>	<b>26%</b>

**Elaborado por:** Ana Yesenia Espinosa Marquez

#### 4.3.3.2 Humedad del suelo

El suelo en el sistema agroforestal café – espino presenta un porcentaje de humedad de 18.16% superior al del cafetal sin sombra que tiene un valor del 15.88%, esto se presume que es ocasionado por la presencia de árboles, que influyen para que se conserve mayor humedad en el SAF (ver figura 9).



*Figura 9. Humedad del suelo*

**Elaborado por:** Ana Yesenia Espinosa Marquez

SCAN (2015) afirma que la sombra conserva la humedad del suelo mediante la formación constante de una cobertura natural de hojarasca. Mientras la cobertura de hojarasca en un

cafetal a la sombra es del 100% y la humedad en un 45%, la cobertura de hojarasca en un cafetal al sol es menor al 30% y la humedad menor al 25%; el presente estudio corrobora esta afirmación aunque los valores no son los mismos, se confirma que el sistema agroforestal supera el porcentaje de humedad del cafeto expuesto al sol.

El estudio de café en asocio con espino muestra que la humedad del suelo como la del ambiente están siendo las adecuadas para la producción de café, se hace énfasis en este punto ya que el (SCAN, 2015) en su estudio menciona que el exceso de sombra, también favorece condiciones de alta humedad en el suelo y el ambiente, así como dificulta también la adecuada ventilación dentro del cafetal, lo cual incide en el desarrollo de enfermedades fungosas como, roya (*Hemileia vastatrix* Berk y Br.), ojo de gallo (*Mycena citricolor* Beerk y Curt Sacc.) y Mal de hilachas (*Pellicularia koleroga* Cooke), principalmente, enfermedades que provocan fuertes pérdidas en las cosechas.

#### **4.3.4 Contenido de carbono**

Una vez realizados los cálculos de conversión de biomasa viva a carbono según el IPCC en el sistema agroforestal se tomó en cuenta el contenido de carbono del componente arbóreo y la del cafeto, se registraron 60 toneladas de carbono  $\text{ha}^{-1}$ , mientras que el cafetal sin sombra registro 31 toneladas de carbono por hectárea.

Según estudios realizados por la (Asociación Nacional del Café [ANACAFE], 2011) durante el período 2010-2011 en el proyecto Promoviendo Agricultura Amigable con el Clima, los árboles de sombra fijan 15,82 toneladas métricas de carbono por hectárea, equivale al 17,26% del total de carbono que fija el agro-ecosistema cafetalero, a comparación del sistema en estudio este valor es superior, se asimila que esto se debe a las condiciones microclimáticas de cada sitio.

El estudio Almacén de Carbono en Sistemas Agroforestales con Café realizado en el estado de Veracruz, México indica que el sistema agroforestal que presentó la mayor cantidad de carbono aéreo, estimado con modelos alelométricos, fue café *Coffea arabica* – cedro rosado *Cedrela fissilis* con 114 toneladas de C  $\text{ha}^{-1}$  (Espinoza, Krishnamurthy, Vázquez y Torres, 2012); este valor es superior al SAF café – espino, esto se debe a las condiciones de cada sitio y a la superficie de cada estudio.

## 4.4 Análisis estadístico

### 4.4.1 Estimadores estadísticos

Los datos tanto del SAF como el monocultivo de café indican que los mismos están agrupados en función de la desviación estándar, se consideran que estadísticamente son homogéneos en base al coeficiente de variación, *ver tabla 6*; con respecto a las medias, estas son representativas en función de sus correspondientes errores estándares ya que se encuentran dentro de los límites superiores e inferiores de cada una de las variables en estudio, hay dos factores técnicos que influyen para tener esta homogeneidad, estos son los riegos y la técnica silvicultural de podas de los árboles que permite mantener una sombra adecuada.

**Tabla 6**

*Estimadores estadísticos*

Variables cafeto		producción con sombra			producción sin sombra		
		<i>dap_cm</i>	<i>altura_m</i>	<i>Produc_Kg</i>	<i>dap_cm</i>	<i>altura_m</i>	<i>Produc_Kg</i>
Media	$\bar{x}$	8,60	1,50	0,29	6,37	1,10	0,126
Error estándar	$S\bar{x}$	0,03854	0,00375	0,00014	0,01231	0,00269	0,0000412
Desviación estándar	S	1,11	0,11	0,00396	0,35	0,08	0,00118
Varianza de la muestra	$S^2$	1,2241	0,0116	0,000016	0,1243	0,0059	0,00000139
Coeficiente de variación CV		12,87	7,18	1,36	5,54	6,99	0,93
Rango		3,50	0,30	0,02	0,78	0,20	0,0037
Mínimo		6,8	1,30	0,28	5,90	1,00	0,1249
Máximo		10,19	1,60	0,30	6,68	1,20	0,1286
Suma		7085,26	1235,10	239,45	5221,98	901,90	103,7257
Cuenta	n		824,00			820,00	
Edad				8,00			

**Elaborado por:** Ana Espinosa Marquez

### 4.4.2 Prueba de t de Student

Las tres variables (DAP, altura total y productividad) mostraron diferencias estadísticas como se indica en la tabla 7, esto se presume que es ocasionado por que existe la presencia de sombra del espino en cultivo de café y el otro estudio el cafeto está expuesto al sol.

**Tabla 7***Prueba de “t” de Student*

<b>Variab</b>	<b>tc</b>	<b>Significancia</b>	<b>95%</b>	<b>99%</b>
<i>dap_cm</i>	2231,934	**	1,960	2,576
<i>altura_m</i>	3507,819	**	1,960	2,576
<i>Produc_Kg</i>	46112,910	**	1,960	2,576

**Elaborado por:** Ana Espinosa Marquez**4.4.3 Análisis de correlaciones**

De las cuatro variables en estudio dos son altamente significativas pero negativas es decir que existe una relación inversamente proporcional entre las variables, lo que estadísticamente se refiere a mayor DAP, menor producción y a mayor altura menor producción.

**Tabla 8***Análisis de correlaciones SAF café – espino*

<b>Correlaciones Con Sombra</b>	<b>Correlación</b>	<b>Significancia</b>	<b>95%</b>	<b>99%</b>
<b>Dap y altura</b>	0.0062	ns	0,088	0,115
<b>Dap vs producción</b>	-0,9619	**	0,088	0,115
<b>altura vs producción</b>	-0,2791	**	0,088	0,115
<b>Diámetro de copa del árbol vs producción</b>	-0,0026	ns	0,088	0,115

**Elaborado por:** Ana Espinosa Marquez

## CAPÍTULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1 Conclusiones

- La sombra que genera la especie espino *Vachellia macracantha* sobre el café *Coffea arabica* var. caturra rojo genera impactos positivos en la productividad del café puesto que el rendimiento obtenido es superior en un 113% al cafetal sin sombra.
  
- El sistema agroforestal es financieramente rentable ya que supera la tasa de interés referente del 12% y los indicadores VAN y B/C son superiores al cafetal expuesto al sol, además el sistema espino – café permite recuperar la inversión en un periodo de cuatro años, mientras en el monocultivo de café la inversión hasta la fecha (ocho años) no es posible recuperarla.
  
- Los impactos ambientales que ocasiona la sombra del componente arbóreo sobre el cultivo de café generan externalidades positivas, por un lado la captura de carbono es en un 100% superior al monocultivo de café; posee mayor biodiversidad de especies de flora y fauna y la humedad del suelo y el aire es mayor que en el cafetal a pleno sol.

#### 5.2 Recomendaciones

- En el campo de la agroforestería son básicos los estudios sobre la importancia de la competencia por luz, agua y nutrientes, es primordial conocer los efectos de la arquitectura y dinámica de la copa del árbol de diferentes especies, los efectos de la sombra sobre la fenología del café; pero más importante aún es conocer las interacciones entre las densidades de plantación del árbol y del café y sus efectos sobre la producción del cultivo.

- Por los valores obtenidos del sistema agroforestal espino – café se recomienda el establecimiento de esta práctica para obtener beneficios económicamente viables, ambientalmente amigable y socialmente justa.

- Se recomienda mantener el porcentaje de sombra 46% en el que se encuentra el sistema café con espino, ya que así favorece la humedad, controla las malezas y existe un considerable número de aves que ayudan a la dispersión de semillas, todo lo mencionado hace que el sistema se encuentre en equilibrio.

## CAPÍTULO VI

### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agencia Ecuatoriana de Aseguramiento de la Calidad del Agro. (2010). *Instructivo para toma de muestras de suelos*. Atuntaqui.
- Aguilar, R. M. (2012). Importancia de la sombra en el cultivo del café. *Revista Forestal Año 9* (22), 11-12.
- Aguirre, Z. H. (2012). Especies forestales bosques secos Ecuador. *Guía dendrológica para su identificación y caracterización. Proyecto Manejo Forestal Sostenible ante el Cambio Climático*. Quito, Ecuador: MAE/FAO - Finlandia.
- Aguirre, C., y Vizcaíno, M. (2010). *Aplicación de estimadores estadísticos y diseños experimentales en investigaciones forestales*. Ibarra: Univesidad Tecnica del Norte.
- Alarcó, A. (2011). MODELO DE GESTIÓN PRODUCTIVA PARA EL CULTIVO DE CAFÉ (COFFEA ARABICA L.) EN EL SUR DE ECUADOR. *PROYECTO FIN DE CARRERA*. Madrid: UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID.
- Añazco, M. (2016). ESTRATEGIA PARA EL DESARROLLO AGROFORESTAL SUSTENTABLE DEL ECUADOR: APORTES DESDE EL ANÁLISIS DE LAS POLÍTICAS, LOS APRENDIZAJES Y LAS TECNOLOGÍAS. *Estrategia que contribuye a la sustentabilidad de los medios de vida comunitarios*. Santiago, Chile: Universidad Bolivariana.
- Añazco, M. (2017). Hacia la sustentabilidad de los sistemas agroforestales en el Ecuador continental...un aporte del árbol a la diversificación agrícola y ganadera. En Á. Calvache, & J. Filgueira, *AGRICULTURA Sostenible del Ecuador* (págs. 49-71). Guayaquil: CIDE.
- Asociación Nacional del Café [ANACAFE]. (2011). Proyecto Promoviendo Agricultura Amigable con el Clima. Guatemala: ANACAFE.
- Banco Central del Ecuador. (25 de Mayo de 2017). *BCE*. Obtenido de <https://www.bce.fin.ec/index.php/component/k2/item/754>

- Ceccon, E. (2008). La revolución verde tragedia en dos actos. *Ciencias, Vol. 1, Núm. 91, Universidad Nacional Autónoma de México, ISSN (Versión impresa): 0187-6376, 21-29.*
- DaMatta, F., y Rodríguez, N. (2007). Producción sostenible de cafetales en sistemas agroforestales del Neotrópico: una visión agrnómica y ecofisiológica. *Agronomía Colombiana 25(1), 2-6.*
- Espinoza, W., Krishnamurthy, L., Vázquez, A., y Torres, A. (2012). ALMACÉN DE CARBONO EN SISTEMAS AGROFORESTALES CON CAFÉ. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente 18(1):, 57-70.*
- FAO. (2009). Guía para la descripción de suelos. Roma: Cuarta edición. Traducido y adaptado al castellano por Ronald Vargas Rojas (Proyecto FAOSWALIM, Nairobi, Kenya- Universidad Mayor de San Simón, Bolivia).
- Farfán, F. (2005). Cambios en la fertilidad del suelo con plantaciones de café y sombrío de tres especies forestales. En *Producción de café en sistemas agroforestales* (págs. 190 - 191). Subestación Experimental Paraguaicito: CENICAFÉ.
- Farfán, F. (2014). *Agroforestería y sistemas agroforestales con café* . Manizales : ©FNC-Cenicafé - 2014.
- Farfán, F. (2008). *Producción de café en sistemas agroforestales*. Colombia: CENICAFÉ.
- Farfán, F., y Mestre-Mestre, A. (2014). *Manejo del sombrío y fertilización del café en la zona central colombiana*. Colombia: CENICAFÉ.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (13 - 17 de Noviembre de 1996). *Cumbre mundial sobre la alimentación* . Obtenido de FAO: <http://www.fao.org/docrep/003/w2612s/w2612s06.htm#1>
- González, M., Murillo, R., y Ávila, C. (2018). Rentabilidad financiera de *Cedrela odorata* L. en sistemas agroforestales con café en Pérez Zeledón, Costa Rica. *Revista de CIENCIAS AMBIENTALES Tropical Journal of Evironmental Sciences*, EISSN: 2215-3896. Vol 52(1):129-144.

- Instituto Nacional de Estadística y Censos. (2010). INEC. *III CENSO NACIONAL AGROPECUARIO*. Ecuador.
- Krishnamurthy, L., y Ávila, M. (1999). *Agroforestería Básica*. México : Red de Formación Ambiental para América Latina y el Caribe .
- Laboratorio de Relación Suelo-Agua-Planta. (2011). Obtenido de SAP: <http://www.sap.uchile.cl/descargas/sap/MEDICION1.PDF>
- Linsley, Kholer, y Paulus. (1977). *Hidrología para ingenieros*. Bogotá, Colombia: McGrawHill.
- Miranda, L. (s.f.). *Cafetales cultivados bajo sombra. Una manera sustentable de proteger la vida silvestre*. Boquerón: U.S Fish & Wildlife service.
- Montagnini, F., Somarriba, E., Murgueitio, E., Fassola, H., y Eibl, B. (2015). *SISTEMAS AGROFORESTALES FUNCIONES PRODUCTIVAS, SOCIOECONÓMICAS Y AMBIENTALES*. Colombia/Costa Rica: Fundación CIPAV.
- Muschler , R. (2000). *Árboles en cafetales*. Turrialba, Costa Rica: CATIE.
- Núñez, M. (2008). *Evaluación de comunidades de aves en bosques secundarios restaurados en potreros abandonados ubicados en la cuenca del Río Zapotal, Hojancha, Costa Rica*. Turrialba, Costa Rica: CATIE.
- Pla, L. (2006). BIODIVERSIDAD: INFERENCIA BASADA EN EL ÍNDICE DE SHANNON Y LA RIQUEZA. *Interciencia*, INCI v.31 n.8 Caracas, ISSN 0378-1844.
- Primavesi, A. (1984). *Manejo Ecológico del suelo*. Rio de Janeiro: EL ATENEO.
- Queirós, F., y Barg, R. (2007). *Agricultura agroecológica – orgánica en el Uruguay*. Uruguay: I. Rosgal S.A. Dep. Legal N° 341017/07.
- Romahn, C., y Ramírez, H. (2010). *Dendrometría*. Chapingo: Universidad Autonoma de Chapingo División de Ciencias Forestales.
- Ruiz, H. (3 de Mayo de 2012). *Proyecto Tuna Cochinilla en el Ecuador*. Obtenido de <http://hernanruiz1944.blogspot.com/2012/05/v-behaviorurldefaultvmlo.html>

Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo . (2017). Plan Nacional de Desarrollo Toda una Vida. En SEMPLADES. Quito.

Sustainable Commodity Assistance Network [SCAN]. (2015). la regulación de la sombra una alternativa para hacer el cafetal sostenible. *Material de Capacitación desarrollado en el marco del Proyecto “Creación de Capacidades en Asistencia Técnica a Productores de Café en Guatemala”*, (págs. 1-26). Guatemala.

Valencia, y Carrillo. (2000). *Interpretación de análisis de suelos para café*. CENICAFÉ.

Yáñez, M. (2015). *Los ingresos económicos y la rentabilidad de la empresa EDUCRECER Cia. Ltda., campus Ambato en el periodo 2014*. Ambato: Bachelor's thesis, Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Contabilidad y Auditoría. Carrera de Economía.

# CAPÍTULO VII

## ANEXOS

### Anexo 1

#### Ubicación del sitio

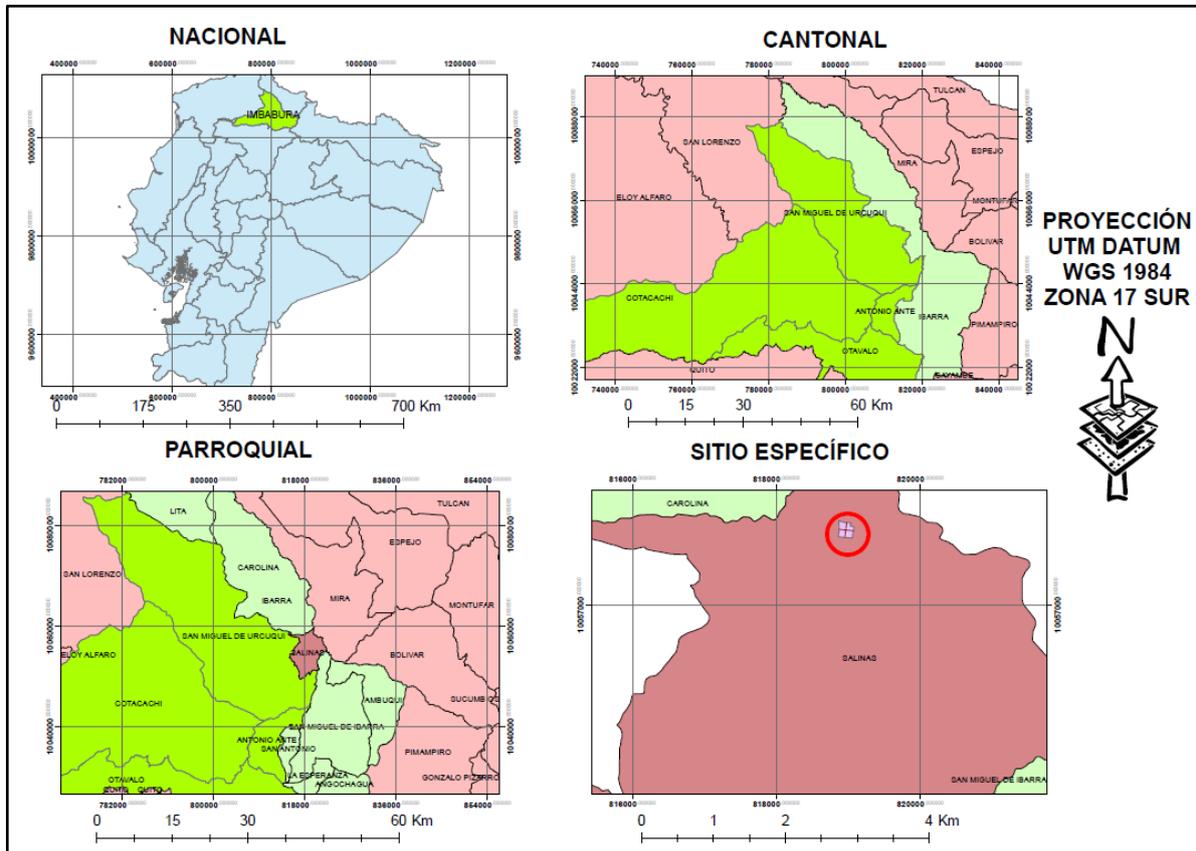


Figura 10. Ubicación del sitio de estudio.

Elaborado por: Ana Yesenia Espinosa Marquez

## Anexo 2

### Flujo de costos e ingresos y periodo de recuperación

**Tabla 9**

*Flujo de costos e ingresos SAF espino – café*

Flujo de costos e ingresos sistema agroforestal												
RUBROS	DATOS DE AJUSTE		Datos del año cero	A Ñ O S								
	Inflación	Hectáreas		0,00	1,00	2,00	3,00	4,00	5,00	6,00	7,00	8,00
<b>INGRESOS DE OPERACIÓN</b>												
cosecha café año 2	1,52%	4,02	30706,33	0,00	0,00	31173,07	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
cosecha café año 3	1,52%	4,02	19781,04	0,00	0,00	0,00	20081,71	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
cosecha café año 4	1,52%	4,02	14775,62	0,00	0,00	0,00	0,00	15000,21	0,00	0,00	0,00	0,00
cosecha café año 5	1,52%	4,02	21273,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	21596,39	0,00	0,00	0,00
cosecha café año 6	1,52%	4,02	16941,43	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	17198,94	0,00	0,00
cosecha café año 7	1,52%	4,02	17374,59	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	17638,68	0,00
cosecha café año 8	1,52%	4,02	17230,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		17492,10
<b>TOTAL INGRESOS DE OPERACIÓN</b>				0,00	0,00	31173,07	20081,71	15000,21	21596,39	17198,94	17638,68	17492,10
<b>EGRESOS</b>												
<b>EGRESOS DE OPERACIÓN</b>												
Mantenimiento año 1	1,52%	4,02	2580,00	0,00	2619,22	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Mantenimiento año 2	1,52%	4,02	8055,00	0,00	0,00	8177,44	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Mantenimiento año 3	1,52%	4,02	8055,00	0,00	0,00	0,00	8177,44	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Mantenimiento año 4	1,52%	4,02	8055,00	0,00	0,00	0,00	0,00	8177,44	0,00	0,00	0,00	0,00
Mantenimiento año 5	1,52%	4,02	8055,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	8177,44	0,00	0,00	0,00
Mantenimiento año 6	1,52%	4,02	8055,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	8177,44	0,00	0,00
Mantenimiento año 7	1,52%	4,02	8055,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	8177,44	0,00
Mantenimiento año 8	1,52%	4,02	8055,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	8177,44
<b>TOTAL EGRESOS DE OPERACIÓN</b>				0,00	2619,22	8177,44	8177,44	8177,44	8177,44	8177,44	8177,44	8177,44
<b>INVERSIONES</b>												
Establecimiento SAF 5 ha			18036,29	18036,29	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Equipos e insumos			18297,18	18297,18	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>TOTAL INVERSIONES</b>				36333,46	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>TOTAL EGRESOS</b>				36333,46	2619,22	8177,44	8177,44	8177,44	8177,44	8177,44	8177,44	8177,44
<b>FLUJO NETO DE FONDOS</b>				-36333,46	-2619,22	22995,63	11904,28	6822,77	13418,95	9021,50	9461,24	9314,66
Tasa y factores de actualización	12,00%			1,00	0,89	0,80	0,71	0,64	0,57	0,51	0,45	0,40

<b>FLUJO NETO DE FONDOS ACTUALIZADO</b>				-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
				36333,46	2338,59	18331,98	8473,23	4335,99	7614,28	4570,57	4279,79	3762,04		
<b>VAN</b>				<b>12695,82</b>										
<b>B/C</b>				<b>1,33</b>										
<b>TIR</b>				<b>20,72%</b>										

Elaborado por: Ana Yesenia Espinosa Marquez

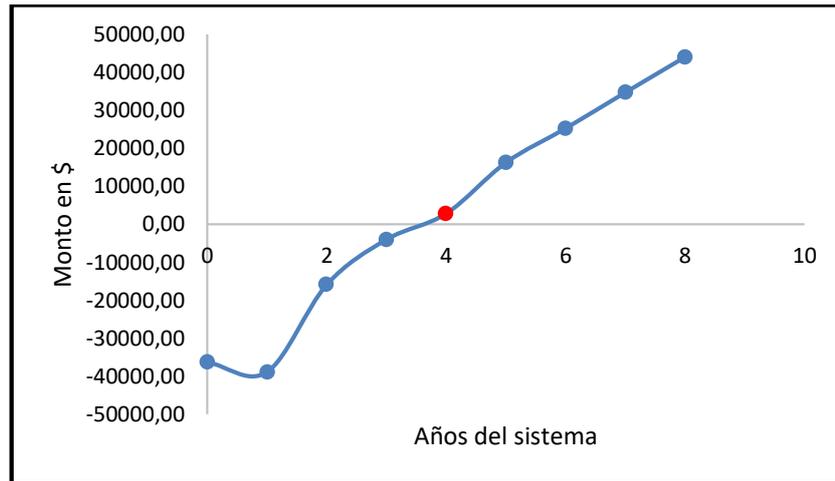


Figura 11. Periodo de recuperación sistema agroforestal

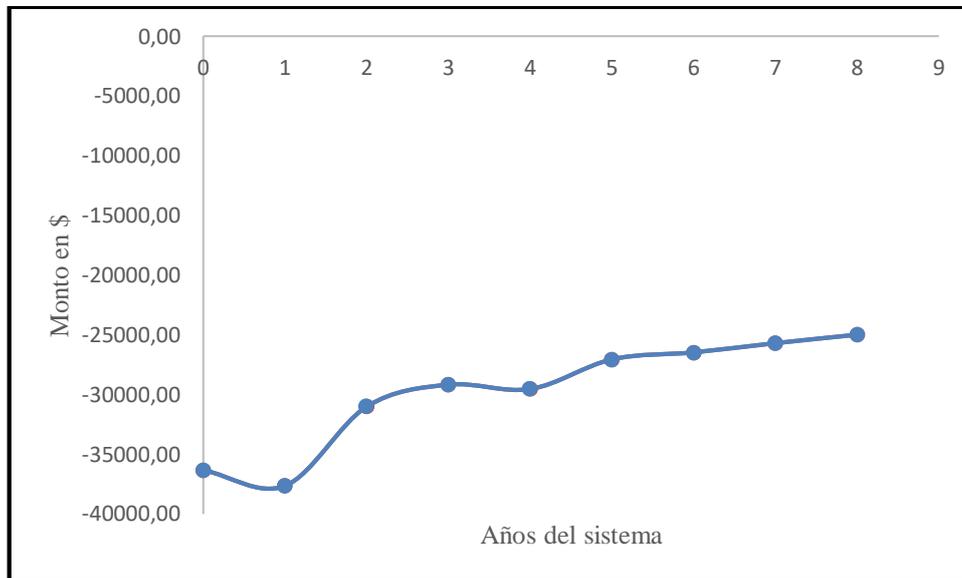
Elaborado por: Ana Yesenia Espinosa Marquez

**Tabla 10**

*Flujo de costos e ingresos monocultivo de café*

Flujo de costos e ingresos del cafetal sin sombra												
RUBROS	DATOS DE AJUSTE		Datos del año cero	A Ñ O S								
	Inflación	Hectáreas		0,00	1,00	2,00	3,00	4,00	5,00	6,00	7,00	8,00
<b>INGRESOS DE OPERACIÓN</b>												
cosecha café año 2	1,52%	4,02	13301,58	0,00	0,00	13503,77	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
cosecha café año 3	1,52%	4,02	8568,89	0,00	0,00	0,00	8699,14	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
cosecha café año 4	1,52%	4,02	6400,61	0,00	0,00	0,00	0,00	6497,90	0,00	0,00	0,00	0,00
cosecha café año 5	1,52%	4,02	9215,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	9355,28	0,00	0,00	0,00
cosecha café año 6	1,52%	4,02	7338,81	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	7450,36	0,00	0,00
cosecha café año 7	1,52%	4,02	7526,45	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	7640,85	0,00
cosecha café año 8	1,52%	4,02	7463,90	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	7577,35
<b>TOTAL INGRESOS DE OPERACIÓN</b>				0,00	0,00	13503,77	8699,14	6497,90	9355,28	7450,36	7640,85	7577,35
<b>EGRESOS</b>												
<b>EGRESOS DE OPERACIÓN</b>												
Mantenimiento año 1	1,52%	4,02	1290,00	0,00	1309,61	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Mantenimiento año 2	1,52%	4,02	6765,00	0,00	0,00	6867,83	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Mantenimiento año 3	1,52%	4,02	6765,00	0,00	0,00	0,00	6867,83	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Mantenimiento año 4	1,52%	4,02	6765,00	0,00	0,00	0,00	0,00	6867,83	0,00	0,00	0,00	0,00
Mantenimiento año 5	1,52%	4,02	6765,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	6867,83	0,00	0,00	0,00
Mantenimiento año 6	1,52%	4,02	6765,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	6867,83	0,00	0,00
Mantenimiento año 7	1,52%	4,02	6765,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	6867,83	0,00
Mantenimiento año 8	1,52%	4,02	6765,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	6867,83
<b>TOTAL EGRESOS DE OPERACIÓN</b>				0,00	1309,61	6867,83	6867,83	6867,83	6867,83	6867,83	6867,83	6867,83
<b>INVERSIONES</b>												
Establecimiento SAF 4,02 ha			18036,29	18036,29	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Equipos e insumos			18297,18	18297,18	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>TOTAL INVERSIONES</b>				36333,46	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>TOTAL EGRESOS</b>				36333,46	1309,61	6867,83	6867,83	6867,83	6867,83	6867,83	6867,83	6867,83
<b>FLUJO NETO DE FONDOS</b>				-36333,46	1309,61	6635,94	1831,31	369,93	2487,45	582,53	773,02	709,52
Tasa y factores de actualización	12,00%			1,00	0,89	0,80	0,71	0,64	0,57	0,51	0,45	0,40
<b>FLUJO NETO DE FONDOS ACTUALIZADO</b>				36333,46	1169,29	5290,13	1303,49	235,10	1411,44	295,13	349,67	286,56
<b>VAN</b>				-28801,43								
<b>B/C</b>				0,23								
<b>TIR</b>				23,59%								

Elaborado por: Ana Yesenia Espinosa Marquez



*Figura 12.* Periodo de recuperación cafetal sin sombra  
**Elaborado por:** Ana Yesenia Espinosa Marquez

## Anexo 3

### Resultados de los análisis de suelos

 <b>AGROCALIDAD</b> AGENCIA DE REGULACIÓN Y CONTROL FITO Y ZOOSANITARIO	<b>LABORATORIO DE SUELOS, FOLIARES Y AGUAS</b> Vía Interoceánica Km. 14½ y Eloy Alfaro, Granja del MAGAP, Tumbaco - Quito Teléf.: 02-2372-844/2372-845	<b>PGT/SFA/09-FO01</b>
	<b>INFORME DE ANÁLISIS DE SUELO</b>	<b>Rev. 3</b>
		<b>Hoja 1 de 2</b>

Laboratorio de ensayo acreditado por el SAE con acreditación N° SAE-LEN-16-006

Informe N°: LN-SFA-E18-0006  
 Fecha emisión Informe: 17/01/2018

#### DATOS DEL CLIENTE

Persona o Empresa solicitante: Ana Espinosa Márquez

Dirección: Av. Retorno y Av. Pacha

Provincia: Imbabura

Cantón: Ibarra

Teléfono: 0990348913

Correo Electrónico: arenita\_sos@hotmail.com

N° Orden de Trabajo: SFA-18-CGLS-0036

N° Factura/Documento: 3078

#### DATOS DE LA MUESTRA:

Tipo de muestra: Suelo	Conservación de la muestra: Lugar fresco y seco
Cultivo: Café, espino	
Provincia: Imbabura	X: ----
Cantón: Ibarra	Y: ----
Parroquia: Salinas	Altitud: ----
Muestreado por: Ana Espinosa	
Fecha de muestreo: 03-01-2018	Fecha de inicio de análisis: 05-01-2018
Fecha de recepción de la muestra: 05-01-2018	Fecha de finalización de análisis: 17-01-2018

#### RESULTADOS DEL ANÁLISIS

CÓDIGO DE MUESTRA LABORATORIO	IDENTIFICACIÓN DE CAMPO DE LA MUESTRA	PARÁMETRO ANALIZADO	MÉTODO	UNIDAD	RESULTADO
SFA-18-0006	Con Sombra	pH	Potenciométrico PEE/SFA/06 EPA 9045D	---	8,08
		Materia Orgánica*	Volumétrico PEE/SFA/09	%	1,42
		Nitrógeno*	Volumétrico PEE/SFA/09	%	0,07
		Fósforo*	Colorimétrico PEE/SFA/11	mg/kg	4,0
		Potasio*	Absorción Atómica PEE/SFA/12	cmol/kg	0,46
		Calcio*	Absorción Atómica PEE/SFA/12	cmol/kg	4,05
		Magnesio*	Absorción Atómica PEE/SFA/12	cmol/kg	1,74
		Hierro*	Absorción Atómica PEE/SFA/13	mg/kg	35,8
		Manganeso*	Absorción Atómica PEE/SFA/13	mg/kg	3,51
		Cobre*	Absorción Atómica PEE/SFA/13	mg/kg	1,12
		Zinc*	Absorción Atómica PEE/SFA/13	mg/kg	< 1,60

Figura 13. Resultados análisis de suelo muestra parcela con sombra

Fuente: Laboratorio de suelos, foliares y aguas AGROCALIDAD

 <b>AGROCALIDAD</b> AGENCIA DE REGULACIÓN Y CONTROL FITO Y ZOOSANITARIO	<b>LABORATORIO DE SUELOS, FOLIARES Y AGUAS</b> Vía Interoceánica Km. 14½ y Eloy Alfaro, Granja del MAGAP, Tumbaco - Quito Teléf.: 02-2372-844/2372-845	<b>PGT/SFA/09-FO01</b>
		<b>Rev. 3</b>
	<b>INFORME DE ANÁLISIS DE SUELO</b>	<b>Hoja 2 de 2</b>

CÓDIGO DE MUESTRA LABORATORIO	IDENTIFICACIÓN DE CAMPO DE LA MUESTRA	PARÁMETRO ANALIZADO	MÉTODO	UNIDAD	RESULTADO
SFA-18-0006	Con Sombra	Densidad Aparente*	Gravimétrico PEE/SFA/23	g/ml	1,59
		Densidad Real*	Picnómetro PEE/SFA/25	g/ml	2,67
		Porosidad*	Cálculo PEE/SFA/25	%	40,65

**Analizado por:** Daniel Bedoya, Luis Cacuango, Lucía Quishpe

**Observaciones:**

- Los ensayos marcados con (\*) NO están incluidos en el alcance de la acreditación del SAE.
- Las interpretaciones que se indican a continuación, están FUERA del alcance de acreditación del SAE.

**INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS - REGIÓN COSTA**

PARÁMETRO	MO (%)	N (%)	P (mg/kg)	K (cmol/kg)	Ca (cmol/kg)	Mg (cmol/kg)	Fe (mg/kg)	Mn (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Zn (mg/kg)
BAJO	< 3,1	0 - 0,15	0 - 10,0	< 0,2	< 5,0	< 1,6	0 - 20,0	0 - 5,0	0 - 1,0	0 - 3,0
MEDIO	3,1 - 5,0	0,16 - 0,3	11,0 - 20,0	0,2 - 0,38	5,0 - 9,0	1,6 - 2,3	21,0 - 40,0	6,0 - 15,0	1,1 - 4,0	3,1 - 6,0
ALTO	> 5,0	> 0,31	> 21,0	> 0,4	> 9,0	> 2,3	> 41,0	> 16,0	> 4,1	> 6,1

**INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS - REGIÓN COSTA Y SIERRA**

	Ácido	Ligeramente Ácido	Prácticamente Neutro	Ligeramente Alcalino	Alcalino
pH	5,5	5,6 - 6,4	6,5 - 7,5	7,6 - 8,0	8,1




**Q. A. Luis Cacuango**  
**Responsable de Laboratorio**  
**Suelos, Foliare y Aguas**

**AGROCALIDAD**  
 AGENCIA ECUATORIANA DE ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD DEL AGRO  
 LABORATORIO DE SUELOS, FOLIARES Y AGUAS  
 TUMBACO - ECUADOR

*Figura 14.* Resultados análisis de suelo muestra parcela con sombra  
**Fuente:** Laboratorio de suelos, foliars y aguas AGROCALIDAD

 <b>AGROCALIDAD</b> AGENCIA DE REGULACIÓN Y CONTROL FITO Y ZOOSANITARIO	<b>LABORATORIO DE SUELOS, FOLIARES Y AGUAS</b> Vía Interoceánica Km. 14½ y Eloy Alfaro, Granja del MAGAP, Tumbaco - Quito Teléf.: 02-2372-844/2372-845	<b>PGT/SFA/09-FO01</b>
		<b>Rev. 3</b>
	<b>INFORME DE ANÁLISIS DE SUELO</b>	<b>Hoja 1 de 2</b>

Laboratorio de ensayo acreditado por el SAE con acreditación N° SAE-LEN-16-006

Informe N°: LN-SFA-E18-0005  
 Fecha emisión Informe: 17/01/2018

**DATOS DEL CLIENTE**

**Persona o Empresa solicitante:** Ana Espinosa Márquez

**Dirección:** Av. Retorno y Av. Pacha

**Provincia:** Imbabura

**Cantón:** Ibarra

**Teléfono:** 0990348913

**Correo Electrónico:** arenita\_sos@hotmail.com

**N° Orden de Trabajo:** SFA-18-CGLS-0036

**N° Factura/Documento:** 3078

**DATOS DE LA MUESTRA:**

<b>Tipo de muestra:</b> Suelo	<b>Conservación de la muestra:</b> Lugar fresco y seco
<b>Cultivo:</b> Café	
<b>Provincia:</b> Imbabura	<b>X:</b> ----
<b>Cantón:</b> Ibarra	<b>Coordenadas Y:</b> ----
<b>Parroquia:</b> Salinas	<b>Altitud:</b> ----
<b>Muestreado por:</b> Ana Espinosa	
<b>Fecha de muestreo:</b> 03-01-2018	<b>Fecha de inicio de análisis:</b> 05-01-2018
<b>Fecha de recepción de la muestra:</b> 05-01-2018	<b>Fecha de finalización de análisis:</b> 17-01-2018

**RESULTADOS DEL ANÁLISIS**

CÓDIGO DE MUESTRA LABORATORIO	IDENTIFICACIÓN DE CAMPO DE LA MUESTRA	PARÁMETRO ANALIZADO	MÉTODO	UNIDAD	RESULTADO
SFA-18-0005	Sin Sombra	pH	Potenciométrico PEE/SFA/06 EPA 9045D	---	8,26
		Materia Orgánica*	Volumétrico PEE/SFA/09	%	1,59
		Nitrógeno*	Volumétrico PEE/SFA/09	%	0,08
		Fósforo*	Colorimétrico PEE/SFA/11	mg/kg	11,0
		Potasio*	Absorción Atómica PEE/SFA/12	cmol/kg	0,59
		Calcio*	Absorción Atómica PEE/SFA/12	cmol/kg	5,61
		Magnesio*	Absorción Atómica PEE/SFA/12	cmol/kg	2,10
		Hierro*	Absorción Atómica PEE/SFA/13	mg/kg	29,8
		Manganeso*	Absorción Atómica PEE/SFA/13	mg/kg	7,93
		Cobre*	Absorción Atómica PEE/SFA/13	mg/kg	0,88
		Zinc*	Absorción Atómica PEE/SFA/13	mg/kg	< 1,60

Figura 15. Resultados análisis de suelo muestra parcela sin sombra

Fuente: Laboratorio de suelos, foliares y aguas AGROCALIDAD

 <b>AGROCALIDAD</b> AGENCIA DE REGULACIÓN Y CONTROL FITO Y ZOOSANITARIO	<b>LABORATORIO DE SUELOS, FOLIARES Y AGUAS</b> Vía Interoceánica Km. 14½ y Eloy Alfaro, Granja del MAGAP, Tumbaco - Quito Teléf.: 02-2372-844/2372-845	<b>PGT/SFA/09-FO01</b>
		<b>Rev. 3</b>
	<b>INFORME DE ANÁLISIS DE SUELO</b>	<b>Hoja 2 de 2</b>

CÓDIGO DE MUESTRA LABORATORIO	IDENTIFICACIÓN DE CAMPO DE LA MUESTRA	PARÁMETRO ANALIZADO	MÉTODO	UNIDAD	RESULTADO
SFA-18-0005	Sin Sombra	Densidad Aparente*	Gravimétrico PEE/SFA/23	g/ml	1,41
		Densidad Real*	Picnómetro PEE/SFA/25	g/ml	2,59
		Porosidad*	Cálculo PEE/SFA/25	%	45,41

Analizado por: Daniel Bedoya, Luis Cacuango, Lucía Quishpe

**Observaciones:**

- Los ensayos marcados con (\*) NO están incluidos en el alcance de la acreditación del SAE.
- Las interpretaciones que se indican a continuación, están FUERA del alcance de acreditación del SAE.

**INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS - REGIÓN COSTA**

PARÁMETRO	MO (%)	N (%)	P (mg/kg)	K (cmol/kg)	Ca (cmol/kg)	Mg (cmol/kg)	Fe (mg/kg)	Mn (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Zn (mg/kg)
BAJO	< 3,1	0 - 0,15	0 - 10,0	< 0,2	< 5,0	< 1,6	0 - 20,0	0 - 5,0	0 - 1,0	0 - 3,0
MEDIO	3,1 - 5,0	0,16 - 0,3	11,0 - 20,0	0,2 - 0,38	5,0 - 9,0	1,6 - 2,3	21,0 - 40,0	6,0 - 15,0	1,1 - 4,0	3,1 - 6,0
ALTO	> 5,0	> 0,31	> 21,0	> 0,4	> 9,0	> 2,3	> 41,0	> 16,0	> 4,1	> 6,1

**INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS - REGIÓN COSTA Y SIERRA**

	Ácido	Ligeramente Ácido	Prácticamente Neutro	Ligeramente Alcalino	Alcalino
pH	5,5	5,6 - 6,4	6,5 - 7,5	7,6 - 8,0	8,1




**Q. A. Luis Cacuango**  
**Responsable de Laboratorio**  
**Suelos, Foliare y Aguas**

**AGROCALIDAD**  
 AGENCIA ECUATORIANA DE ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD DEL AGRO  
 LABORATORIO DE SUELOS, FOLIARES Y AGUAS  
 TUMBACO - ECUADOR

Figura 16. Resultados análisis de suelo muestra parcela sin sombra  
**Fuente:** Laboratorio de suelos, foliars y aguas AGROCALIDAD

## Anexo 4

### Sistema productivo espino – café



*Figura 17.* SAF libre de plantas rastreras o herbáceas  
**Autor:** Ana Yesenia Espinosa Marquez

## Anexo 5

### Análisis de regresión

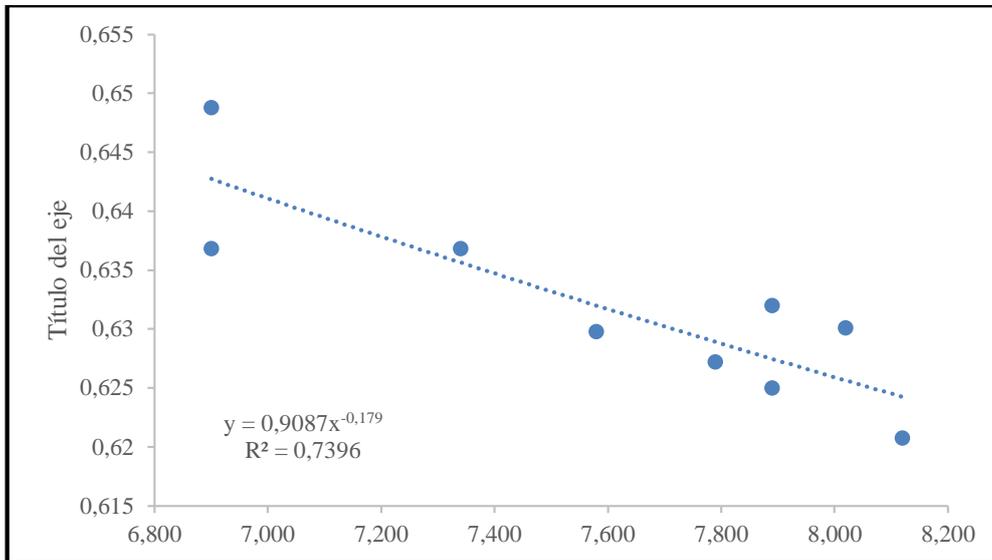


Figura 18. Regresión productividad café sin sombra

Elaborado por: Ana Yesenia Espinosa Marquez

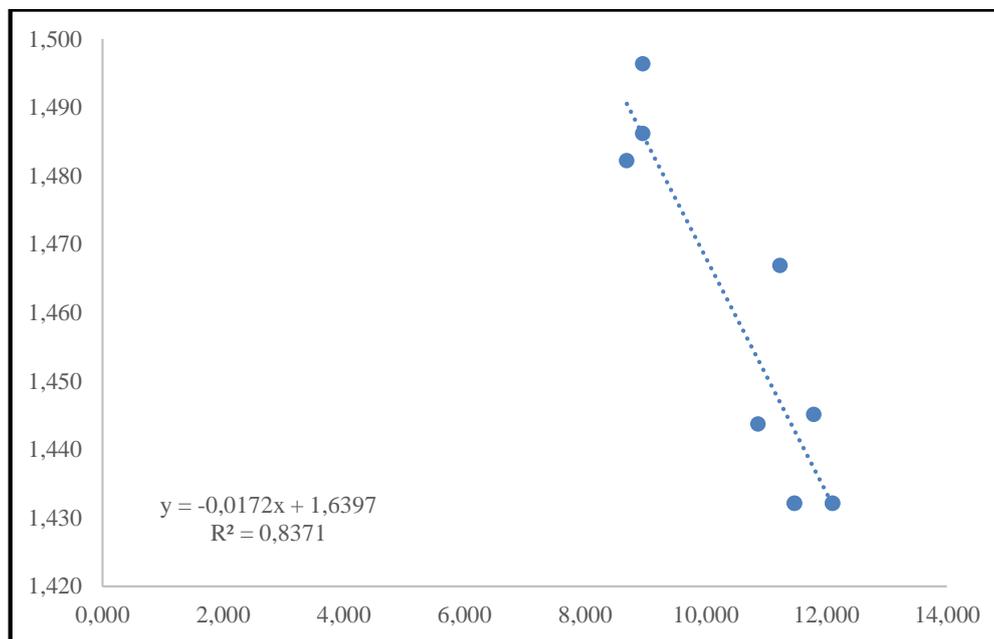


Figura 19. Regresión productividad café con sombra

Elaborado por: Ana Yesenia Espinosa Marquez

## FOTOGRAFÍAS



**Foto 1.** Selección de los granos de café



**Foto 2.** Recolección del grano de café (estado cereza)



**Foto 3.** Granos de café recolectado por parcela



**Foto 4.** Flor, grano verde y cereza, planta de café



**Foto 5.** Peso del grano de café en Kg



**Foto 6.** Medición de área basal



**Foto 7.** Colocar trampas entomológicas



**Foto 8.** Colocar trampas entomológicas



**Foto 9.** Sistema de riego por aspersores



**Foto 10.** Café bajo sombra del espino



**Foto 11.** Toma de datos con el higrómetro



**Foto 12.** Recolección de muestras vegetativas



**Foto 13.** Empaquetado ramas de espino



**Foto 14.** Recolección muestras de suelo



**Foto 15.** Toma de muestras con barreno de pressler



**Foto 16.** Recolección de ramas del café