



# **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 Ingeniero Forestal**

### **TEMA**

**“CONSERVACIÓN DE AGUA EN SUELOS DEGRADADOS, MEDIANTE  
RESTAURACIÓN HIDROLÓGICO-FORESTAL EN EL SECTOR DE SANTIAGUILLO,  
CANTÓN MIRA”**

### **AUTOR:**

Christian Santiago Villalba Calderón

### **DIRECTOR:**

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

“CONSERVACIÓN DE AGUA EN SUELOS DEGRADADOS, MEDIANTE RESTAURACIÓN HIDROLÓGICO-FORESTAL EN EL SECTOR DE SANTIAGUILLO, CANTON MIRA”

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

**INGENIERO FORESTAL**

**APROBADO**

Ing. Mario José Añazco Romero, PhD.  
Director de Trabajo de Titulación



Ing. María Isabel Vizcaíno Pantoja, Esp.  
Tribunal de Titulación



Ing. María José Romero Astudillo, Mgs.  
Tribunal de Titulación



Ing. Carlos Ramiro Arcos Unigarro, Mgs.  
Tribunal 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:

DATOS DE CONTACTO	
<b>Cédula de identidad:</b>	100264264-1
<b>Apellidos y nombres:</b>	Villalba Calderón Christian Santiago
<b>Dirección:</b>	Ibarra, Calle Mejía 2-73 y Rocafuerte
<b>Email:</b>	<a href="mailto:villalbasantiago84@gmail.com">villalbasantiago84@gmail.com</a>
<b>Teléfono fijo:</b>	062-958-260
<b>Teléfono móvil:</b>	0986-938-384

DATOS DE LA OBRA	
<b>Título:</b>	“CONSERVACIÓN DE AGUA EN SUELOS DEGRADADOS, MEDIANTE RESTAURACIÓN HIDROLÓGICO-FORESTAL EN EL SECTOR DE SANTIAGUILLO, CANTÓN MIRA”.
<b>Autor:</b>	Villalba Calderón Christian Santiago
<b>Fecha:</b>	15 de febrero del 2018
<b>Solo para trabajos de titulación</b>	
<b>Programa:</b>	Pregrado
<b>Título por el que opta:</b>	Ingeniero Forestal
<b>Director:</b>	Ing. Añazco Romero Mario José, PhD.

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

Yo, **Villalba Calderón Christian Santiago**, con cédula de ciudadanía N° 1002642641; en calidad de autor y titular de los derechos patrimoniales de la obra o trabajo de titulación 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 esta y saldrán en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, 15 de febrero del 2017.

**EL AUTOR:**



Christian Santiago Villalba Calderón  
C.I.:1002642641



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

Yo, **Villalba Calderón Christian Santiago**, con cédula de identidad Nro. 1002642641; 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 denominada “CONSERVACIÓN DE AGUA EN SUELOS DEGRADADOS, MEDIANTE RESTAURACIÓN HIDROLÓGICO-FORESTAL EN EL SECTOR DE SANTIAGUILLO, CANTÓN MIRA” que ha sido desarrolla para optar por el título de Ingeniero 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.



.....  
Christian Santiago Villalba Calderón  
C.I.:1002642641

Ibarra, a los 15 días del mes de febrero del 2018

## REGISTRO BIBLIOGRÁFICO

**Guía:** FICAYA -UTN

**Fecha:** 15 de febrero del 2018

**Christian Santiago Villalba Calderón:** “Conservación de agua en suelos degradados, mediante técnicas de restauración hidrológico-forestal en el sector de Santiaguillo, Cantón mira” / TRABAJO DE TITULACIÓN. Ingeniero Forestal. Universidad Técnica del Norte. Carrera de Ingeniería Forestal Ibarra, 15 de febrero del 2018. 94 páginas.

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

El objetivo principal de la presente investigación fue: Generar información sobre el efecto de las técnicas de restauración Hidrológico-Forestal, empleadas para la conservación de agua en suelos degradados del sector Santiaguillo, Cantón Mira.

Entre los objetivos específicos se encuentra: Evaluar el efecto de las técnicas conservacionistas sobre el contenido de humedad y compactación del suelo. Determinar los parámetros químicos y físicos en el suelo bajo la influencia de las especies Tara (*Caesalpinia spinosa*), Acacia negra (*Acacia melanoxylon*) y Aguacate (*Persea americana*). Determinar los costos de implementación de las estructuras conservacionistas en el sistema agroforestal y compararlas con el tratamiento testigo.

Fecha: 15 de febrero del 2018

Ing. Mario José Añazco Romero, PhD.

Director de Trabajo de Grado

Christian Santiago Villalba Calderón

Autor

## **DEDICATORIA**

*Dedico este trabajo a mis padres, hermanos, esposa y mi hija, que son la fuerza que me impulsa todos los días a ser una mejor persona.*

## **AGRADECIMIENTO**

*Agradezco al todo poderoso por darme la fe y la lucidez para superar los retos del aprendizaje diario.*

*Sin dejar de expresar un sincero agradecimiento al personal docente y administrativo de la Carrera de Ingeniería Forestal de la Universidad Técnica del Norte, siendo parte importante de mi formación profesional y al excelente equipo asesor que me brindaron inestimables conocimientos académicos y morales para culminar de la mejor manera una etapa más en mi vida.*



# ÍNDICE DE CONTENIDO

HOJA DE APROBACIÓN DEL COMITÉ ASESOR.....	ii
IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA.....	ii
AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UTN.....	iv
CONSTANCIA.....	iv
SESIÓN DE DERECHOS DEL AUTOR.....	v
REGISTRO BIBLIOGRÁFICO.....	vi
DEDICATORIA.....	vii
AGRADECIMIENTO.....	viii
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	ix
ÍNDICE DE TABLAS.....	xiii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiii
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xiv
RESUMEN.....	xvi
ABSTRACT.....	xviii
<b>CAPÍTULO I.....</b>	<b>1</b>
<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
1.1 Objetivos.....	2
1.1.1 General .....	2
1.1.2 Específicos.....	2
1.2 Hipótesis .....	2
<b>CAPÍTULO II.....</b>	<b>3</b>
<b>MARCO TEÓRICO</b>	<b>3</b>
2.1 Fundamentación legal.....	3
2.1.1 Plan Nacional de Desarrollo (20017-2021) Toda una Vida.....	3
2.1.2 Línea de investigación.....	3
2.2 Fundamentación teórica .....	4
2.2.1 Los bosques y el agua.....	4

2.2.2	Cuencas hidrográficas .....	4
2.2.3	Componente socioeconómico.....	5
2.3	Estructuras conservacionistas para controlar la erosión.....	6
2.4	Importancia ambiental del suelo.....	6
2.5	Degradación del suelo .....	6
2.5.1	Tipos de degradación.....	7
2.6	Conservación de suelos .....	9
2.6.1	Técnicas de conservación de suelos .....	9
2.7	Prácticas agronómicas y vegetativas .....	10
2.8	Prácticas mecánicas para el control de la erosión hídrica .....	10
2.9	Estructuras de conservación de suelos empleadas en el Ecuador .....	11
2.9.1	Árboles en curvas a nivel .....	11
2.10	Restauración hidrológica – forestal.....	15
2.10.1	Estructuras de carácter biológico .....	15
2.10.2	Obras de infraestructura .....	16
2.10.3	Obras de hidrotecnias .....	16
2.10.4	Obras de conservación de suelos.....	16
2.10.5	Obras de otra índole.....	16
2.11	Agroforestería.....	16
2.11.1	Objetivos de la agroforestería.....	17
2.11.2	Ventajas y desventajas de la agroforestería.....	18
2.11.3	Componentes Agroforestales .....	18
2.11.4	Clasificación de los sistemas agroforestales .....	19
2.11.5	Prácticas y técnicas agroforestal validadas para el Ecuador .....	20
2.12	Descripción de las especies forestales.....	22
2.12.1	Tara.....	22
2.12.2	Acacia negra .....	24
2.12.3	Aguacate .....	25
2.13	Retenedores de agua .....	27
2.13.1	Origen .....	27
2.13.2	Campos de utilización del retenedor de agua en el área forestal .....	27

2.13.3	Dosificación en el área forestal .....	27
2.13.4	Ventajas del hidrotenedor en plantaciones.....	28

**CAPÍTULO III..... 29**

**MATERIALES Y MÉTODOS..... 29**

3.1	Ubicación del estudio .....	29
3.1.1	Política.....	29
3.1.2	Geográfica .....	29
3.1.3	Limite .....	29
3.1.4	Datos climáticos .....	30
3.1.5	Clasificación ecológica.....	32
3.1.6	Característica edáfica.....	32
3.1.7	Vegetación característica.....	33
3.2	Materiales, equipos e insumos.....	33
3.2.1	Materiales .....	33
3.2.2	Equipo.....	34
3.2.3	Insumos.....	34
3.3	Metodología.....	34
3.3.1	Reconocimiento de sitio .....	34
3.3.2	Práctica agroforestal .....	34
3.3.3	Establecimiento de la práctica agroforestal.....	35
3.3.4	Factores de estudio .....	38
3.3.5	Características del ensayo. ....	39
3.4	Recopilación de datos.....	39
3.4.1	Fertilidad del suelo .....	39
3.4.2	Propiedades Químicas del sitio de estudio .....	40
3.4.3	Propiedades Física del suelo en el sitio de estudio.....	40
3.4.4	Contenido de agua en el suelo en el sitio de estudio .....	40
3.5	Diseño experimental.....	41
3.5.1	Modelo estadístico:.....	41
3.6	Análisis de información.....	41

3.6.1	Análisis de varianza.....	41
3.6.2	Prueba de rango multiple.....	42
3.6.3	Análisis de Correlación .....	42
3.7	Análisis de costos .....	43
<b>CAPITULO IV.....</b>		<b>44</b>
<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>		<b>44</b>
4.1	Contenido de humedad .....	44
4.2	Parámetros físicos del suelo bajo la influencia de las especies .....	45
4.3	Parámetros químicos del suelo bajo la influencia de las especies .....	47
4.3.1	Potencial hidrógeno (pH).....	47
4.3.2	Materia orgánica .....	48
4.3.3	Nitrógeno N (%) .....	49
4.3.4	Fósforo P (ppm).....	50
4.3.5	Potasio K (cmol/kg).....	51
4.4	Análisis de correlación .....	52
4.4.1	Análisis de correlación de los parámetros químicos por técnicas .....	52
4.4.2	Análisis de Correlaciones de parámetros químicos por especies .....	53
4.5	Costos de implementación de las estructuras conservacionistas .....	54
<b>CAPÍTULO V.....</b>		<b>55</b>
<b>CONCLUSIONES.....</b>		<b>55</b>
<b>CAPÍTULO VI.....</b>		<b>56</b>
<b>RECOMENDACIONES.....</b>		<b>56</b>
<b>CAPITULO VII.....</b>		<b>57</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>		<b>57</b>
<b>CAPÍTULO VIII.....</b>		<b>60</b>
<b>ANEXOS.....</b>		<b>60</b>
8.1	Anexo 1. Análisis de varianza de los Análisis químico.....	60

8.2	Anexo 2. Análisis de varianza del Contenido de humedad .....	62
8.3	Anexo 3 Cuadros generales de correlaciones .....	64
8.4	Anexo 4 Cuadros de análisis de costos.....	65
8.5	Anexo 5 Fotografías .....	71

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b>	Categorías del estado de erosión en el Ecuador continental.....	7
<b>Tabla 2.</b>	Codificación simbólica de la delimitación del ensayo.....	37
<b>Tabla 3.</b>	Tratamientos de estudio .....	39
<b>Tabla 4.</b>	Características del ensayo .....	39
<b>Tabla 6.</b>	Correlaciones realizadas .....	42
<b>Tabla 7.</b>	Parámetros físicos del suelo por técnica.....	46
<b>Tabla 8.</b>	Correlación de parámetros químicas por técnicas .....	53
<b>Tabla 9.</b>	Correlación de parámetros químicas con especies.....	54

## ÍNDICE DE FIJURAS

<b>Figura 1.</b>	Mapa de ubicación del ensayo.....	29
<b>Figura 2.</b>	Diagrama Bioclimático, temperatura en °C, precipitación y evapotranspiración en mm. Periodo 1979-2014.....	31
<b>Figura 3.</b>	Diagrama Bioclimático, temperatura en °C, precipitación y evapotranspiración en mm. ....	31
<b>Figura 4.</b>	Croquis del ensayo. ....	35
<b>Figura 5.</b>	Porcentaje de contenido de humedad por especie y tratamiento.....	44
<b>Figura 7.</b>	Propiedades físicas del suelo en las variables Densidad aparente, densidad real y porosidad.....	47
<b>Figura 9.</b>	Promedio y rangos de la prueba de Tukey para pH por técnicas, especies.....	49
<b>Figura 10.</b>	Promedio y rangos de la prueba de Tukey para pH por técnicas, especies .....	50
<b>Figura 11.</b>	Promedio y rangos de la prueba de Tukey para pH por técnicas, especies.....	51
<b>Figura 12.</b>	Promedio y rangos de la prueba de Tukey para pH por técnicas, especies.....	52

## ÍNDICE DE ANEXOS

### Anexo 1. Tablas análisis de varianza de analisis químico.

<b>Tabla 1.</b> Análisis de varianza de pH .....	60
<b>Tabla 2.</b> Análisis de varianza de contenido de Materia orgánica.....	60
<b>Tabla 3.</b> Análisis de varianza de contenido de Nitrógeno.....	61
<b>Tabla 4.</b> Análisis de varianza de contenido de Fósforo.....	63
<b>Tabla 5.</b> Análisis de varianza de contenido de Potasio .....	62

### Anexo 2. Análisis de varianza del Contenido de Humedad

<b>Tabla1.</b> Análisis de varianza del contenido de humedad – Primera medición.....	62
<b>Tabla 2.</b> Análisis de varianza del contenido de humedad – segunda medición .....	63
<b>Tabla 3.</b> Análisis de varianza del contenido de humedad – tercera medición .....	63

### Anexo 3. Cuadros generales de correlaciones

<b>Tabla 1.</b> Análisis de correlaciones variables químicas –tratamiento camellones .....	64
<b>Tabla 2.</b> Análisis de correlaciones variables químicas –tratamiento franjas vivas.....	64
<b>Tabla 3.</b> Análisis de correlaciones variables químicas –tratamiento testigo.....	66

### Anexo 4. Cuadros análisis de costos

<b>Tabla 1.</b> Costos de investigación.....	65
<b>Tabla 2.</b> Costos de preparación del terreno.....	66
<b>Tabla 3.</b> Cotos del establecimiento y manejo la técnica curvas a nivel con camellón.....	66
<b>Tabla 4.</b> Costos del establecimiento y manejo de la técnica curvas a nivel con franjas vivas	67
<b>Tabla 5.</b> Costos del establecimiento y manejo del testigo .....	67
<b>Tabla 6.</b> Costos tratamiento C+A (Curvas a nivel con camellón + <i>Acacia melanoxylon</i> ) .....	68
<b>Tabla 7.</b> Costos tratamiento C+C (Curvas a nivel con camellón + <i>Caesalpinia spinosa</i> ).....	69
<b>Tabla 8.</b> Costos tratamiento C+P (Curvas a nivel con camellón + <i>Persea americana</i> ).....	68

<b>Tabla 9.</b> Costos tratamiento F+A (Curvas a nivel con franjas vivas + Acacia melanoxylon)	68
<b>Tabla 10.</b> Costos tratamiento F+C (Curvas a nivel con franjas vivas + <i>Caesalpinia spinosa</i> )	69
<b>Tabla 11.</b> Costos tratamiento F+P (Curvas a nivel con franjas vivas+ <i>Persea americana</i> )	69
<b>Tabla 12.</b> Costos tratamiento T+A (Testigo + Acacia melanoxylon)	69
<b>Tabla 13.</b> Costos tratamiento T+C (Testigo + <i>Caesalpinia spinosa</i> )	69
<b>Tabla 14.</b> Costos tratamiento T+P (Testigo + <i>Persea americana</i> )	70

## **Anexo 5.** Fotografías

<b>Fotografía 1.</b> Letrero de identificación del ensayo.	71
<b>Fotografía 2.</b> Especies forestales en la técnica de conservación curvas a nivel con franjas ..	71
<b>Fotografía 3.</b> Establecimiento de <i>Persea americana</i> en tratamiento testigo.	72
<b>Fotografía 4.</b> Especies forestales en la técnica de conservación curvas a nivel con camellón.	72
<b>Fotografía 5.</b> Elaboración de calicata (análisis de suelo).	73
<b>Fotografía 7.</b> Muestras para análisis químico (calicata).	74
<b>Fotografía 8.</b> Toma de muestras de suelo para análisis de contenido de humedad.	74
<b>Fotografía 9.</b> Toma de muestras de suelo para análisis de contenido de humedad.	75
<b>Fotografías 10.</b> Formación de surcos, con arado de fuerza animal (para cada cultivo agrícola).	75

**TITULO:** “CONSERVACIÓN DE AGUA EN SUELOS DEGRADADOS, MEDIANTE RESTAURACIÓN HIDROLÓGICO-FORESTAL EN EL SECTOR DE SANTIAGUILLO, CANTÓN MIRA”

**Autor:** Christian Santiago Villalba Calderón

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

**Año:** 2018

## RESUMEN

Alrededor del 48% de la superficie continental del Ecuador está afectada por erosión, lo que requiere el uso de sistemas conservacionistas para mitigar los procesos erosivos. El presente estudio tuvo por objetivos: a) determinar el crecimiento inicial de las especies arbóreas en base a: el diámetro basal, altura de la planta, diámetro de copa y estado fitosanitario; b) evaluar la sobrevivencia de las especies de uso agroforestal en las técnicas conservacionistas establecidas; c) identificar el rendimiento del cultivo de fréjol en cada tratamiento; d) determinar los costos de plantación de las especies en cada sistema.

Se establecieron tres parcelas agroforestales empleándose las especies forestales *Acacia melanoxylon*, *Caesalpinia spinosa* y *Persea americana* en asocio a cultivos agrícolas. La parcela testigo estuvo exenta de estructura de conservación alguna; en la segunda parcela se estableció la estructura de conservación utilizando curvas de nivel con camellón, y en la tercera parcela se establecieron franjas vivas con un pasto nativo del sector.

El análisis se realizó por medio del diseño de parcelas subdivididas, con nueve tratamientos y tres repeticiones: C+A (Curvas a nivel con camellón + *Acacia melanoxylon*), C+C (Curvas a nivel con camellón + *Caesalpinia spinosa*), C+P (Curvas a nivel con camellón + *Persea americana*), F+A (Curvas a nivel con franjas vivas+ *Acacia melanoxylon*), F+C (Curvas a nivel con franjas vivas + *Caesalpinia spinosa*), F+P (Curvas a nivel con franjas vivas+ *Persea americana*) T+A (Testigo + *Acacia melanoxylon*) T+C (Testigo + *Caesalpinia spinosa*) T+P (Testigo + *Persea americana*).

En consecuencia, la investigación muestra que el mayor contenido de humedad se expresan en el tratamiento F+P (Curvas a nivel con franjas vivas+ *Persea americana*), donde franjas vivas arrojó un 2,10% de retención de humedad y *Persea americana* con 1,84%; el pH en F+A (Curvas a nivel con franjas vivas+ *Acacia melanoxylon*) con 8,35, MO en T+P (Testigo +



*Persea americana*), Nitrógeno (%) en T+P (Testigo + *Persea americana*), Fosforo en C+C (Curvas a nivel con camellón + *Caesalpinia spinosa*) y Potasio en F+C (Curvas a nivel con franjas vivas + *Caesalpinia spinosa*).

**TITLE:** “CONSERVACIÓN DE AGUA EN SUELOS DEGRADADOS, MEDIANTE RESTAURACIÓN HIDROLÓGICO-FORESTAL EN EL SECTOR DE SANTIAGUILLO, CANTÓN MIRA”

**Author:** Christian Santiago Villalba Calderón

**Director of gradue:** Ing. Mario José Añazco Romero, PhD.

**Year:** 2018

### ABSTRACT

Around 48% of the surface in Ecuador is affected by erosion, which requires the use of conservation systems to mitigate the erosive process. Our objectives were a) to determine the initial growth of tree species based on: the plant height, basal diameter, cup diameter and plant health; b) to evaluate the survival species of agroforestry by using the established conservation techniques; c) to identify the bean crop yield in each treatment; d) to determine the costs of the establishing species in each system.

Three agroforestry plots were established in the planting line, by using forest species: *Acacia melanoxylon*, *Caesalpinia spinosa* and *Persea americana*, with association of agricultural crops. The control plot was without conservation structures; in the second plot, the conservation structure was contour lines with ridge; and the third plot was established with barrier hedges using a native pasture from the sector.

The analysis was carried out using Split-Plot Design with nine treatments and three replicates: C+A (contour lines with ridge + *Acacia melanoxylon*), C+C (contour lines with ridge + *Caesalpinia spinosa*), C+P (contour lines with ridge + *Persea americana*), F+A (contour lines with live bands + *Acacia melanoxylon*), F+C (contour lines with live bands + *Caesalpinia spinosa*), F+P (contour lines with live bands + *Persea americana*), T+A (Control + *Acacia melanoxylon*), T+C (Control + *Caesalpinia spinosa*), T+P (Control + *Persea americana*).

Consequently, the research shows that the highest moisture content is expressed in the F+P treatment (contour lines with live bands + *Persea americana*), where Live Strips gave 2.10% humidity retention and *Persea americana* with 1, 84%; pH in F+A (contour lines with live bands + *Acacia melanoxylon*) with 8.35, MO in T+P (Control + *Persea americana*), Nitrogen (%) in T+P (Control + *Persea americana*), Phosphorus in C+C (contour lines with ridge +

*Caesalpinia spinosa*) and Potassium in F+C (contour lines with live bands + *Caesalpinia spinosa*).

# CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN

El recurso suelo es crucial para el desarrollo y la continuidad de la vida en el planeta. El suelo ha sido definido, en forma muy usual, como la frágil película que cubre la superficie terrestre y que cumple con variadas funciones. El vislumbrar la importancia del suelo para el desarrollo sustentable de las sociedades pasa por entender en qué consiste, cómo funciona este recurso y las causas que originan su destrucción.

El deterioro de las cuencas hidrográficas es debido a varias causas como la deforestación, erosión, malas prácticas agropecuarias, presiones antropogénicas sobre los recursos naturales y el cambio climático, han dejado vastas áreas del Ecuador improductivas, se estima que el 45% de la superficie del Ecuador sufre algún tipo de erosión (Ministerio del Ambiente Ecuador, 2008), lo cual requiere medidas urgentes para recuperar superficies productivas para el bienestar de la población del país.

La restauración consiste en un grupo de tecnologías orientadas a restablecer ecosistemas, con el propósito de recuperen su estructura y funcionalidad para recobrar la prestación de servicios ambientales tales como aquellos vinculados al agua. En este marco la restauración hidrológico-forestal, cumple un rol fundamental en los suelos, especialmente en aquellos expuestos a procesos erosivos, como ocurre en la cuenca media del Río Mira, donde se desarrolló la presente investigación.

Los actores principales encargados de la reforestación en zonas secas, como instituciones y comunidades, se ven limitados debido a las bajas precipitaciones propias de estas áreas, donde el agua necesaria para esta actividad es muy reducida lo que no permite el desarrollo de plantaciones enfocadas a la protección de estos suelos degradados.

Los aspectos señalados anteriormente se constituyeron en insumos para el diseño y posterior ejecución del Proyecto Prometeo cuyo objetivo principal fue “Recuperación de suelos degradados de la cuenca media del Río Mira”. En este marco se desarrolló la presente investigación orientada a obtener información que permita mejorar la cobertura vegetal de los suelos desnudos, expuestos a la erosión hídrica y eólica, para lo cual se utilizaron técnicas de

recuperación de suelo y conservación de agua, tendientes a mejorar las condiciones físicas, químicas y biológicas del suelo.

## 1.1 Objetivos

### 1.1.1 General

Evaluar el efecto de las técnicas de restauración Hidrológico-Forestal, empleadas para la conservación de agua en suelos degradados del sector Santiaguillo, Cantón Mira.

### 1.1.2 Específicos

❖ Evaluar el efecto de las técnicas conservacionistas sobre el contenido de humedad del suelo.

❖ Determinar los parámetros químicos y físicos en el suelo bajo la influencia de las especies Tara (*Caesalpinia spinosa*), Acacia negra (*Acacia melanoxylon*) y Aguacate (*Persea americana*).

❖ Determinar los costos de implementación de las estructuras conservacionistas en el sistema agroforestal y compararlas con el tratamiento testigo.

## 1.2 Hipótesis

Nula (H<sub>0</sub>): Las técnicas de restauración hidrológica-forestal no presentan diferencia en las variables evaluadas.

$$u_1 = u_2 \dots = u_n$$

Alternativa (H<sub>a</sub>): Por lo menos una de las técnicas presenta diferencia en las variables evaluadas.

$$u_1 \neq u_2 \dots \neq u_n$$

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1 Fundamentación legal**

##### **2.1.1 Plan Nacional de Desarrollo (2007-2013) Toda una Vida**

El presente trabajo está enmarcado en el Plan Nacional de Desarrollo (2007- 2013), Toda una Vida, de la Zona de planificación 1 (Carchi, Esmeraldas, Imbabura y Sucumbíos).

Eje 1: Derechos para todos durante toda una vida, Objetivo 3: Garantizar los derechos de la naturaleza para las actuales y futuras generaciones Mejorar la calidad de vida de la población. Política y Lineamiento Estratégico 3.11. Garantizar la preservación y protección integral del patrimonio cultural y natural y de la ciudadanía ante las amenazas y riesgos de origen natural o antrópico. Literal g) Aumentar las capacidades para conservar el patrimonio natural e hídrico, incentivando prácticas que permitan aumentar la resiliencia y la adaptación frente a los riesgos y desastres. (Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo, [SEMPLADES], 2013, p. 64-65)

Objetivo 7. Garantizar los derechos de la naturaleza y promover la sostenibilidad ambiental, territorial y global; política y lineamientos estratégicos.7.3. Consolidar la gestión sostenible de los bosques, enmarcada en el modelo de gobernanza foresta. Literal b. Incluir esquemas de agroforestería y silvicultura con perspectivas paisajística en los planes de manejo y gestión de los recursos forestales maderables y no maderables. (Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo, [SEMPLADES], 2013, p. 234-235)

##### **2.1.2 Línea de investigación**

El presente estudio se enmarca en la línea de investigación de la carrera: Producción y protección sustentable de los recursos forestales.

## **2.2 Fundamentación teórica**

### **2.2.1 Los bosques y el agua**

Entre los factores que influyen en el uso del agua por los bosques están el clima, el tipo de bosque y el tipo de suelo. En general, los bosques usan mayor cantidad de agua que otros tipos de vegetación más corta a causa de la más elevada evaporación, en los bosques, la escorrentía superficial, la tasa de recarga de agua subterránea y los rendimientos de agua también son menores. Las prácticas de ordenación forestal pueden tener repercusiones determinantes en el uso del agua por los bosques porque inciden en la mezcla de especies de árboles y sus edades, la estructura de los bosques y la extensión de la superficie cosechada y la superficie sin cultivar (García, *et al.*, s.f).

Los bosques reducen los flujos de época seca tanto o más de cuanto reducen los rendimientos hídricos anuales. Sería posible teóricamente que en las cuencas hidrográficas agrícolas degradadas, la infiltración adicional asociada a las tierras embosquecidas tuviese más peso que las pérdidas por evaporación adicional de los boques y ocasione flujos de estación seca mayores – y no menores -, aunque este fenómeno se ha constatado rara vez (García, *et al.*, s.f).

### **2.2.2 Cuencas hidrográficas**

En el Tercer Congreso Latinoamericano de Manejo de Cuencas Hidrográficas, señala que la cuenca no es solo un ámbito geográfico, ella acoge una población humana que aprovecha los recursos que hay en ella, ese uso genera a menudo conflictos en un escenario que es social y económico y que requiere también mecanismos de concertación. En este sentido, la cuenca debe ser considerada como una unidad de planificación, en ella los habitantes deben ser los actores protagónicos y sus organizaciones comunitarias deben constituirse en la base del desarrollo local (Jiménez , Freire, Silva y Tovar, 2011).

Los Recursos Hídricos de la República del Ecuador están sujetos a una presión que es una función de la demanda del agua para satisfacer las múltiples necesidades que dependen de ella y de la desigual distribución del agua tanto en el espacio como en el tiempo. Muchas instituciones públicas y privadas nacionales tienen que ver con este cada vez más escaso

recurso natural, lo cual perjudica su racional accionar al momento de servir a las comunidades y habitantes asentados dentro de sus fronteras, los cuales, en muchos de los casos, comparten y litigan con fronteras naturales, políticas y administrativas (Galárraga, 2001).

#### **2.2.2.1 Componente biológico**

Los bosques, los cultivos y en general los vegetales conforman la flora, constituyendo junto con la fauna el componente biológico. La vegetación que cubre la cuenca está compuesta de restos de un bosque secundario, frutales, arbustos, pastos naturales, en cuanto a su fauna silvestre, esta ha sido reducida a punto de que muchas especies han desaparecido (Caicedo, 2013).

#### **2.2.2.2 Componente físico**

El agua, el suelo, el subsuelo, y el aire constituyen el componente físico. La cuenca presenta desde su parte más alta hasta su base, un relieve inclinado y cortado por quebradas. Los suelos que se encuentran en el área de la cuenca son variados, en la parte alta los suelos están relacionados con bosques naturales, estos mantienen humedad y tienen una fertilidad natural.

#### **2.2.3 Componente socioeconómico**

Son las comunidades que habitan en la cuenca, las que aprovechan y transforman los recursos naturales para su beneficio, construyen obras de infraestructura, de servicio y de producción, los cuales elevan el nivel de vida de estos habitantes (Jiménez, 2011).

Los habitantes de la cuenca no disponen de muchos recursos económicos y su medio de sobrevivencia se basa en los cultivos, artesanía, turismo, comercio y pesca. Se puede decir que la cuenca cuenta con buena red vial (carreteras y caminos), Dentro de la cuenca existe presencia de fundaciones e instituciones y programas gubernamentales e internacionales como la prefectura de Santa Elena, ESPOL, Fundación Natura, la KFW, Fundación Aves Ecuador, Fundación Lifenetnature (Jiménez, 2011).



### **2.3 Estructuras conservacionistas para controlar la erosión**

El suelo está compuesto de materia orgánica y mineral, presenta diversas propiedades o características, como textura, estructura, acidez, entre otros, que influyen en el desarrollo biológico presente sobre ella. El suelo es un sistema abierto, cuyas entradas son del tipo atmosféricas y las salidas superficiales, en forma de escurrimiento y erosión; en él, se producen diversos procesos y transformaciones químicas y biológicas como: el intercambio de gases, descomposición de materia orgánica, neo formaciones y muchos más, donde participan los microorganismos, agua y raíces de las plantas (Cotler, *et al.*, 2007).

### **2.4 Importancia ambiental del suelo**

El suelo cumple importantes funciones en todos los ecosistemas, de los cuales se derivan diversos servicios ambientales indispensables para el sostenimiento y mantenimiento de todo proceso biológico, incluyendo la vida humana (Florez, 2016).

Funciones importantes que cumple el suelo, como: soporte y suministro de nutrientes a las plantas, medio filtrante que permite la recarga de los acuíferos, influye también en la calidad del agua, medio donde se realizan ciclos biogeoquímicos necesarios para el reciclaje de los compuestos orgánicos, secuestro de carbono en el suelo (reduce su liberación a la atmósfera como CO<sub>2</sub>), hábitat para una gran biodiversidad de organismos, material de construcción y cimiento para infraestructuras (Cotler, *et al.*, 2007).

### **2.5 Degradación del suelo**

Es considerada actualmente uno de los problemas medioambientales más preocupantes que amenaza la producción mundial de alimento. La FAO considera que la degradación del suelo es el cambio en la salud de este, que conduce a la disminución de la capacidad del ecosistema para producir bienes o prestar servicios para sus beneficiarios (Florez, 2016).

## 2.5.1 Tipos de degradación

Se diferencian dos grandes grupos de degradación edáfica: la degradación erosiva (por agua, viento y gravedad) y la degradación no erosiva (sea química, física o biológica).

### 2.5.1.1 Degradación por erosión

En el Ecuador se estima que alrededor del 48% de la superficie terrestre, presenta suelos con algún grado de vulnerabilidad erosiva (Ministerio del Ambiente Ecuador [MAE], 2008). En la Tabla N°1 se detalla el porcentaje de superficie de Ecuador continental, en diferentes estados de la erosión.

**Tabla 1.**

*Categorías del estado de erosión en el Ecuador continental.*

Categorías de intensidad de los procesos erosivos	Superficie (ha)	Porcentajes estimados en relación con la superficie del Ecuador 26'076 600 ha
Muy activa	339 035	1,3
Activa	808 468	3,1
Activa y potencial	2'008 200	7,7
Potencial	9'692 000	35,8
Total	12'492 129	47,9

**Fuente:** (MAG, 2000).

En el Ecuador la pérdida de suelo superficial por erosión, incrementada por la pendiente es: entre 30 y 50 t/ha/año en áreas de estribaciones con pendientes superiores a 25%. En zonas con pendientes que varían entre 12 y 25%, la erosión comprende 10 a 30 t/ha/año y, en suelos con pendientes menores al 12% la erosión puede ser menor a 5 o llegar a 10 t/ha/año (Suquilanda , 2008).

Los procesos erosivos ya sea naturales o antrópicos, afectan principalmente los horizontes superficiales, donde los ciclos biogeoquímicos favorecen la concentración de materia orgánica, nutrientes y, una alta y diversa presencia de microorganismos que mantienen la fertilidad de los suelos, el cual se forma en un lapso de centenas a miles de años, y sin embargo su manejo inadecuado puede destruirlo en cortos periodos de tiempo (Cotler *et al.*, 2007).

### **2.5.1.1.1 Tipos de erosión**

Es posible clasificar los procesos erosivos en dos grandes grupos: erosión geológica o natural y la erosión acelerada (Raudes y Sagastume , 2009).

#### *a) Erosión geológica o natural*

Proceso imperceptible, producido por la dinámica del medio ambiente: lluvias, corriente de los ríos, el viento, clima y la topografía (Centro Agronómico Tropicales de Investigaciones y Enseñanza [CATIE], 2008).

#### *b) Erosión acelerada*

Se presenta cuando un ecosistema natural es transformado por la práctica productiva del hombre, que rompen y alteran el ciclo básico del ecosistema natural (flujo equilibrado entre los suelos, la vegetación, el agua y los animales) (CATIE, 2008).

### **2.5.1.1.2 Formas de erosión**

De acuerdo con Raudes y Sagastume (2009), las formas de erosión son: erosión hídrica y la erosión eólica; a lo cual Ibáñez y García (2006), también incluye la erosión por gravedad y la erosión antrópica, descritas a continuación:

#### *a) Erosión hídrica,*

Erosión producida principalmente por efecto de la lluvia o riegos intensos. El impacto de las gotas de agua en el suelo descubierto ocasiona el desprendimiento de sus partículas y su remoción por el agua de esorrentía (Raudes *et al.*, 2009).

### *b) Erosión eólica*

Causada por el viento, que remueve grandes cantidades de partículas livianas y fértiles del suelo; predomina en áreas localizadas en regiones con vientos fuertes, altas temperaturas y baja precipitación (Raudes *et al.*, 2009).

### *c) Erosión por gravedad*

Implica movimientos de masas edáficas por procesos gravitatorios, causados por la saturación por agua y la fuerza de la gravedad, que son evidenciadas principalmente en zonas con pendientes elevadas (Ibáñez, 2006).

### *d) Erosión antrópica*

Ocasionada por la acción del hombre, que irrumpe y modifica el paisaje natural, causando una erosión acelerada, e incluso llegar a la degradación abrupta e irreversible de los suelos (Ibáñez, 2006).

## **2.6 Conservación de suelos**

En el contexto de la WOCAT (La Reseña Mundial de Enfoques y Tecnologías de la Conservación), se define la conservación del suelo y del agua como, las actividades a nivel local que mantienen o aumentan la capacidad productiva de la tierra en áreas afectadas o propensas a la degradación. Incluyendo la prevención o reducción de la erosión del suelo, la conservación o drenaje del suelo, el mantenimiento o mejoramiento de la fertilidad del suelo (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, [FAO], s.f).

### **2.6.1 Técnicas de conservación de suelos**

Existen básicamente dos tipos de medidas conservacionistas, las medidas estructuras mecánico-estructurales y las medidas agronómicas- vegetativas; previo al análisis exhaustivo del área a ser intervenida, se deben aplicar una combinación complementaria de varias

técnicas, que ayuden a lograr el éxito en la protección y recuperación del suelo, sin dejar de lado el aumento en la productividad (Florez, 2016).

## **2.7 Prácticas agronómicas y vegetativas**

Las prácticas agronómicas, consisten en las diversas formas de manipulación de labranza mecánica del suelo, cuyo fin es mantenerlo en condiciones óptimas para el desarrollo de los cultivos (reducir la densidad del suelo, aumentar la capacidad de infiltración, disminuir el escurrimiento y conservar la humedad). El beneficio de estas prácticas depende del tipo de implementos, la intensidad y la forma en que son empleados. Entre las prácticas más empleadas destacan: el barbecho, subsoleo, labranza de conservación, labranza cero, labranza en camellones, labranza en franjas y de cobertura (Loredo y Beltran, 2005).

En cambio las prácticas vegetativas, se enfocan en el desarrollo de plantas o cultivos y el manejo de vegetación natural, cuya finalidad es mejorar la productividad de los terrenos y la disminución de la erosión del suelo. Entre las más empleadas, se tiene: rotación de cultivos, cultivos en fajas, cultivos asociados, cultivos de cobertura, abonos verdes y los sistemas agroforestales (Loredo y Beltran, 2005).

## **2.8 Prácticas mecánicas para el control de la erosión hídrica**

Las prácticas mecánicas, consisten en realizar movimiento de tierra empleando instrumentos agrícolas y mano de obra, con el fin de disminuir el escurrimiento superficial y la erosión de terrenos en pendiente. Para el establecimiento de cualquier prácticas de conservación mecánica, es necesario tener información de tallada sobre la precipitación (intensidad y duración) y la cantidad de escurrimiento máximo que se genera en diferentes periodos de retorno, la elección de práctica estará en función a la clase y uso del suelo, el valor del terreno y los recursos ecocómicos disponibles (Loredo, Serreon, Serreón, y Marcos , 2005). En este grupo se encuentran: surcado en contorno, terrazas de formación sucesiva, zanjas trincheras, dren interceptor, entre otros.

## **2.9 Estructuras de conservación de suelos empleadas en el Ecuador**

Entre las estructuras empleadas en el Ecuador resaltan: árboles en curvas a nivel, franjas vivas, camellones en curvas de nivel y las zanjas de infiltración.

### **2.9.1 Árboles en curvas a nivel**

El Trazado de las curvas a nivel se realiza perpendicular a la pendiente con el fin de retener el agua en el horizonte de superficie del suelo y disminuir la velocidad de escorrentía para que el agua tenga tiempo de infiltrarse en el suelo. Para el trazado de las curvas a nivel se utiliza el nivel en "A", un nivel de burbuja, o de manguera, como también puede emplear equipos especializados como: teodolitos, caballetes con nivel, entre otros (Riquelme y Carrasco, 2003).

#### *a) Ventajas*

Práctica sencilla y económica que es adoptada rápidamente por los agricultores; promueve la infiltración del agua, aumentando la capacidad de campo del terreno; disminuye la velocidad de la escorrentía, aminorando la erosión del suelo

#### *b) Desventajas*

Para ser empleada como técnica de conservación debe ser combinada con otras prácticas, ya que aislada no resuelve completamente el problema de la pérdida de suelo.

#### **2.9.1.1.1 Franjas vivas**

También conocidas como barreras vivas o fajas antierosivas, son las obras biológicas de conservación de suelos, que deben implementarse después de las prácticas de surcos en contorno con rastros y labranza mínima; aunque inicialmente fueron consideradas prácticas de control de la erosión eólica, actualmente se aplican combinadas con otras prácticas para que pueda cumplir diversas funciones además de la reducción de la escorrentía (Juarez, 2012).

También conocidas como barreras vivas o fajas antierosivas, son las obras biológicas de conservación de suelos, que deben implementarse después de las prácticas de surcos en contorno con rastros y labranza mínima; aunque inicialmente fueron consideradas prácticas de control de la erosión eólica, actualmente se aplican combinadas con otras prácticas para que pueda cumplir diversas funciones además de la reducción de la escorrentía (Juarez, 2012).

Las barreras deben quedar aproximadamente a 10 m de distancia entre sí en pendientes fuertes; para las pendientes moderadas, 15 m de distancia y para las pendientes suaves, 20 m (Conant & Fadem, 2011).

Para obtener beneficios a corto plazo se emplea plantas herbáceas de crecimiento rápido, para lograr un beneficio a largo plazo se siembra una hilera de árboles de uso múltiple y rápido crecimiento, convirtiéndose en un sistema agroforestal (Juarez, 2012). Las especies deben poseer diversas características como: multipropósito, rápido crecimiento, enraizamiento profundo, poca extensión lateral de raíces, altura media, resistentes a la poda, presencia de micorrizas, resistencia a sequías, adaptación a suelos no muy profundos, fijación de nitrógeno, no muy competitivo para los cultivos como nutrientes y agua (Florez, 2016).

#### *a) Establecimiento*

Calculado el promedio de franjas a ser establecidas, se procede a realizar el trazado de las curvas a nivel (cordel, nivel en "A" o nivel de manguera); seguido se procede a la siembra de las especies a lo largo de las curvas a nivel. Las especies pueden ser establecidas mediante siembra directa o con plantas en desarrollo; para evitar competencia entre la especie herbácea y leñosa, esta se planta a 30 centímetros pendiente abajo de la especie herbácea; deben ser establecidas al inicio de la época de lluvia (Conant y Fadem, 2011).

### *a) Ventajas*

La producción de biomasa, bajo costo de establecimiento y mantenimiento, sirve de líneas guía para los trabajos de labranza, siembra y deshierbes (Gomero & Velásquez, 1999):

### *b) Desventajas*

Según Conant y Fadem (2011), considera como desventajas que la práctica amerita un cambio significativo en el manejo del terreno, esto debido a que las especies establecidas como franjas vivas, ocupan un espacio considerable de terreno (reduciendo el área del cultivo agrícola), necesitan protección del pastoreo, generan competencia de luz y nutrientes con los cultivos, además que podrían ser hospedera de algún tipo de plaga que afecten a los cultivos y/o animales.

### *c) Manejo*

El manejo debe realizarse según el desarrollo de las barreras, las necesidades del productor y el comportamiento de las especies. Conant y Fadem (2011), mencionan que las plantas ameritan de riego después del trasplante hasta su prendimiento, la poda debe realizarse de acuerdo con la especie (evitando la invasión del terreno o producción de sombra a cultivos aledaños), se deben vigilar los espacios vacíos y resembrar si es necesario, controlar la acumulación de residuos orgánicos.

#### **2.9.1.1.2 Camellones en curvas a nivel**

Bordes o montículos contruidos de tierra, o de tierra y piedras, a nivel o a desnivel. La distancia entre bordes depende de la pendiente y de factores climáticos y del suelo. Los camellones de tierra tienen la finalidad de reducir la escorrentía de agua en terrenos con pendientes suaves a moderadas. Se puede incentivar la formación paulatina de terrazas, dejando crecer vegetación en el borde inferior del camellón o sembrando una barrera viva sobre el camellón (Programa para la Agricultura Sostenible en Laderas de America Central [PASLAC], 2005).



#### *a) Establecimiento*

Para la elaboración de los camellones primero se deben marcar las curvas a nivel con el nivel en “A”, en suelos poco pedregosos se forman lomillos de tierra de 1-1.5 m de ancho y 0.5-0.75 m de alto. Los camellones se pueden hacer con maquinaria (arado de vertedera o disquadora) o con el arado de bueyes, raras veces se hacen a mano; el distanciamiento depende de la pendiente (PASLAC, 2005).

#### **2.9.1.1.3 Zanjas de infiltración**

Son canales, perpendiculares a la pendiente del terreno, que captan el agua lluvia y, la acumulan mientras se infiltra en el suelo; reduciendo el volumen y la velocidad del agua ladera abajo (Martinez y Uribe, 2010)

Son empleadas en zonas de secano para pastos o plantaciones permanentes, en terrenos con pendientes de 10 a 40 %, de textura franco, no recomendable en terrenos de textura suelta, que puedan derrumbarse o suelos con poca capacidad de infiltración (Martinez *et al.*, 2010).

El espaciamiento entre las zanjas depende de diversas condiciones como: intensidad de precipitaciones, capacidad de infiltración de suelo, dimensiones de la zanja y de la proporción de agua lluvia que llega a la zanja, que no se infiltra en el trayecto. Martinez *et al.* (2010), sugieren un espaciamiento entre zanjas de 4,5 m para suelos de baja velocidad de infiltración y, 13 m en suelos de alta velocidad de infiltración.

#### *a) Establecimiento*

Previamente trazadas las líneas a nivel, se excavan la zanja con un ancho de 40 cm y 40 cm de profundidad, todo el material extraído de la excavación se coloca en el borde inferior a la zanja, apisonando capa por capa, formando el borde o camellón, para minimizar el desmoronamiento de las zanjas se dejan tabiques (ejemplo cada 10 metros), quedando dividida en numerosas secciones, que almacena y facilitan la infiltración del agua (Ministerio de agricultura y riego [MINAGRI], 2014).

### *b) Ventajas*

Es una práctica de fácil realización, intercepta el agua de escorrentía y facilita su infiltración al suelo, aumenta la humedad en el suelo (principalmente en los primeros 50 cm de profundidad), contribuye a la recarga de manantiales, permite la regeneración de la vegetación natural y recuperar se los suelos desnudos en laderas; favorece la producción, el crecimiento rápido y aumento del fuste de las plantas cercanas, a las zanjas por la disponibilidad de humedad; en terrenos en pendiente reduce la erosión hídrica y pérdida de agua hacia las partes bajas (Martinez *et al.*, 2010).

### *c) Desventajas*

Pueden constituir obstáculos al normal tránsito del ganado, si no se realiza la limpieza periódica del canal, puede provocar el desborde del agua almacenada y la formación de cárcavas laderas abajo (MINAGRI, 2014).

## **2.10 Restauración hidrológica – forestal**

La restauración hidrológico–forestal comprende el conjunto de planes, trabajos y acciones necesarias para la conservación, defensa y recuperación de la estabilidad y fertilidad de los suelos, la regulación de escorrentías, la consolidación de cauces fluviales y laderas, la contención de sedimentos y acarreos y, en general, la defensa del suelo contra la erosión (Ferrer, s.f):

### **2.10.1 Estructuras de carácter biológico**

- Repoblaciones: de primera implantación, reforestaciones.
- Trabajos culturales: aclareos, podas y raleos.
- Consolidación de dunas.
- Creación de pastizales.

### **2.10.2 Obras de infraestructura**

- Viales y caminos.
- Defensa del monte contra el fuego: balsas, depósitos, áreas cortafuegos.
- Puentes y pasos de agua.
- Badenes.

### **2.10.3 Obras de hidrotecnias**

- Obras longitudinales: espigones, malecones, defensa de márgenes, canalizaciones, encauzamientos, escolleras.
- Obras transversales: diques de consolidación, diques de retención de materiales, diques de laminación de avenidas, diques mixtos.

### **2.10.4 Obras de conservación de suelos**

- Subsolados, terrazas por curvas de nivel, terrazas, camellones, confección de fajas, muros de contención, albarradas, muros de contención, redes de drenaje.

### **2.10.5 Obras de otra índole**

- Corrección de impactos ambientales, prospecciones y ensayos, estudios de evaluación y control, estudios geotécnicos, trabajos cartográficos, etc.

## **2.11 Agroforestería**

Existe una gran diversidad de definiciones y conceptos para esta disciplina, de los cuales podemos resaltar a Ospina (2006), que define la agroforestería como la “interdisciplina y modalidad de uso productivo de la tierra donde se presenta interacción espacial y/o temporal de especies leñosas, o no leñosas y animales. Cuando todas son especies leñosas, al menos una se maneja para producción agrícola y/o pecuaria permanente” (p.19).

FAO (como se citó en Ramírez, 2010) define a la agroforestería como:

Un sistema de manejo sostenido de la tierra que incrementa el rendimiento de ésta; combina la producción de cultivos y plantas forestales y/o animales simultánea o consecutivamente en la misma unidad de terreno y aplica prácticas de manejo que son compatibles con las prácticas culturales de la población local (19).

Como se observa la agroforestería combina árboles con cultivos agrícolas y/o animales, de manera simultánea y en el mismo espacio, buscando una producción rentable haciendo uso de los recursos naturales de manera sustentable.

### **2.11.1 Objetivos de la agroforestería**

Añazco (2000), resalta los siguientes objetivos biológicos y socioeconómicos de la agroforestería:

#### *a) Biológicos*

Aporta en la conservación de la biodiversidad y, sostenibilidad de la producción agropecuaria y forestal, amplía el rendimiento vegetal y animal, mantiene y mejora la fertilidad del suelo, recobra la fertilidad en suelos degradados, favorece al mejoramiento de las condiciones microclimáticas, diversifica la producción del predio, disminuye la pérdida del material genético, colabora con el manejo de plagas y enfermedades.

#### *b) Socioeconómicos:*

Asegura y aumenta los productos alimenticios para las personas, provee de numerosos productos medicinales, disminuye los egresos del agricultor e incrementa los ingresos económicos, garantiza el abastecimiento de energía (material combustible), entre otros.

## **2.11.2 Ventajas y desventajas de la agroforestería**

### **2.11.2.1 Ventajas**

La gran mayoría de los autores coinciden en que las ventajas más importantes de los sistemas agroforestales son: aportar gran cantidad de biomasa al suelo de forma constante, proteger el suelo de la erosión hídrica y eólica, brindar protección a los animales y cultivos (de los fuertes vientos, la exposición solar, el calor, heladas, entre otros), diversificar la producción, mejorar los rendimientos de la producción por hectárea, garantizar alimentación diversificada a las familias, incrementar ingresos económicos y aminorar gastos de reinversión (CATIE, 2008).

### **2.11.2.2 Desventajas**

Entre las desventajas resaltan: la competencia por agua y nutrientes entre árboles y cultivos contiguos (que se intensifica cuando los árboles presentan raíces superficiales), efectos alelopáticos (especies que produzcan sustancias químicas que inhiben el crecimiento de otras especies), recuperación económica a largo plazo, complejidad en el trabajo (CATIE, 2008).

## **2.11.3 Componentes Agroforestales**

La agroforestería como su mismo nombre lo indica está conformada por dos componentes, el componente vegetal (leñoso y/o no leñoso) y el componente animal, se definen de la siguiente forma (Ospina, 2006):

### **2.11.3.1 Componente vegetal**

#### *a) Vegetal leñoso*

Las especies vegetal leñosas son el componente central de la agroforestería; presentan como características, lignina u otra sustancia similar que les proporcione consistencia rígida, cuentan con morfología erguida de apariencia arbórea y, presentan ciclos de vida duraderos (más de dos años); especies que pueden ser cultivadas, protegidas o silvestres.

#### *b) Vegetal no leñoso*

En este componente se ubican: cultivos agrícolas transitorios (anuales) y semiperennes (bienales), pasturas, hierbas; que pueden ser especies cultivadas, protegidas y silvestres.

#### **2.11.3.2 Componente animal**

Incluye todo tipo de animal que pueda interactuar con el sistema agroforestal; que van desde vertebrados (mamíferos, reptiles, aves y peces) e invertebrados (crustáceos, moluscos e insectos), que pueden ser especies criadas, protegidas y silvestres.

#### **2.11.4 Clasificación de los sistemas agroforestales**

Existen diversos tipos de clasificación para los sistemas agroforestales, los cuales se basan en criterios ecológicos, socioeconómicos, funcionales, estructurales, temporales, entre otros. A continuación, se encuentran algunas clasificaciones referenciales más empleadas (Ramírez, 2010).

##### **2.11.4.1 Clasificación a de acuerdo a sus componentes**

De acuerdo a su composición la agroforestería se clasifica en sistemas agro-silvícolas, silvopastoriles y agrosilvopastoriles (Ramírez, 2010):

#### *a) Silvoagrícola o agro silvícola*

Es la combinación de árboles con cultivos agrícolas anuales, bianuales, semiperennes y perennes. Por ejemplo: huertos hortícolas, cultivos agrícolas anuales, plantaciones con café, cacao, banano, piña, entre otros.

#### *b) Silvopastoriles*

Restrepo *et. al.* (Citado por Arévalo, 2012) mencionan que, bajo un mismo sistema integral, interactúan los elementos árboles o arbusto (maderable o no) en asocio al pasto o forraje, que interactúan con los animales destinados a la producción (ganado, bovino, ovino, equino y más).

#### *c) Agrosilvopastoril*

Segarra (como se citó en Arévalo, 2012), los sistemas agrosilvopastoriles son muy complejos, cuentan con una gama de combinaciones con distintos componentes como: árboles con pastos en bosques naturales, plantaciones agrícolas como frutales en combinación de pasturas, cultivos anuales o perennes, y la implementación del componente animal en la misma superficie. Las técnicas más conocidas: cercas vivas y cortinas rompe vientos.

### **2.11.4.2 Sistemas Agroforestales Secuenciales**

Sistemas en el cual existe una relación cronológica entre la cosecha de los cultivos anuales y la producción de los árboles. En esta clasificación se encuentran la agricultura migratoria y el sistema Taungya (Florez, 2016).

### **2.11.4.3 Sistemas agroforestales simultáneos**

Compuesto por todo aquel sistema que integra en el mismo espacio, simultáneamente y de forma continua, cultivos anuales y perennes; integrados por árboles maderables o frutales, asociados a cultivos anuales o pastizales para producción pecuaria (Ramírez, 2010).

### **2.11.5 Prácticas y técnicas agroforestal validadas para el Ecuador**

Existe un gran número de prácticas y técnicas agroforestales adoptadas y validadas para el Ecuador como: árboles en cultivos transitorios, árboles en asocio a cultivos perennes, árboles en contorno, plantación lineal, cercas vivas, cortinas rompevientos, agricultura migratoria,

barbechos mejorados, sistema Taungya, cultivo en callejones, huertos caseros, entre otros. De las cuales en la región sierra resaltan (Arevalo, 2012).

#### **2.11.5.1 Árboles en asocio a cultivos transitorios**

Las especies leñosas se presentan dispersas en campos destinados a cultivos agrícolas transitorios. La función principal es mejorar las condiciones microclimáticas y del suelo, que favorezcan el desarrollo de los cultivos, brindando sombra durante los meses de intensa sequía, conservación de la humedad, el aporte de materia orgánica al suelo y/o fijación del nitrógeno atmosférico. Las especies leñosas adicionalmente generan abono verde, leña, madera, frutos, forrajes de corte, estructuras melíferas; cumplen además con servicios de mejora del paisaje de las fincas, control biológico y tutores de cultivos (Movimiento Agrícola De America Latina y El Caribe [MAELA], 2001).

#### **2.11.5.2 Árboles en contorno**

Las especies leñosas, están dispuestas en curvas a nivel o dispersos en terrazas, en áreas de ladera de distinta magnitud, contienen el suelo con sus sistemas radiculares y, bajo su cobertura se desarrollan cultivos agrícolas transitorios (MAELA, 2001).

La función principal es conservar el suelo, brindando control de la erosión hídrica, en áreas con pendientes; las especies leñosas pueden brindar otros productos y servicios de gran utilidad (frutas, madera, leña, forraje, sombra, entre otros). Pueden estar acompañados de terrazas de formación lenta y pequeñas obras de infraestructura, para aminorar la fuerza de la escorrentía. El manejo consiste en riego, podas, raleo, manejo de rebrotes, deshierbas, abonado, manejo fitosanitario, mantenimiento de la estructura y resiembra (Ospina, 2006).

#### **2.11.5.3 Plantación lineal o en hileras**

Las especies forestales, son establecidas siguiendo cercos, linderos de terrenos o cultivos, o hileras simples intermedios en cultivos. Su función principal es brindar protección a los cultivos contra el viento, fortalecimiento de los cercos y protección del suelo de la erosión hídrica y eólica (Ramírez, 2010)



#### **2.11.5.4 Cercas vivas**

Conformado por más de una hilera de especies leñosas, pudiendo estar combiandas con no leñosas, generalmente se encuentran asociadas a cultivos agrícolas, pasturas o vegetación natural. Cumplen la función principal de delimitar o sepearar un terreno de otro, además de proporcionar diversos productos y servicios, como: forraje, frutas, madera, leña, abono verde, sombra para el ganado, control de erosión, diversidad paisajistica, entre otros (MAELA, 2001).

#### **2.11.5.5 Cortinas rompevientos**

Conformada por una a diez líneas de árboles que brindan protección de los vientos, a un determinado terreno.

Mendieta y Rocha (2007), esta práctica tiene como objetivos principales: reducir la velocidad del viento en parcelas con fines agropecuarios, controlar la erosión eólica, para prevenir la pérdida de fertilidad del suelo, reducir la acción mecánica del viento sobre los cultivos y animales, desviar las corrientes de aire, regular condiciones de microclima, controlar el transporte de sólidos por efecto del viento (contaminación). A demás de estos servicios resaltan diversos beneficios como: producción de forraje, leña, madera, frutos, las flores promueven la apicultura (producción de miel), postes, lindero.

### **2.12 Descripción de las especies forestales**

#### **2.12.1 Tara**

##### **2.12.1.1 Taxonomía**

Familia: CAESALPINACEAE  
Nombre científico: *Caesalpinia spinosa* (Molina) Kuntze.  
Nombre común: Tara, taya, guarango, espino, vainillo, changue, campeche.

### **2.12.1.2 Caracterización dendrológica**

Árbol pequeño en sus inicios, de tres a ocho metros de altura. El fuste redondo, espinoso y a veces torcido, generalmente se ramifica desde la base dando la impresión de varios tallos. Corteza fisurada de color café oscuro. De copa muy frondosa, irregular, aparasolada, con ramas ascendentes y alcanza un diámetro de 15m, las ramitas densamente pobladas contienen espinas pequeñas (Palacios, 2017).

Las hojas verde oscuras, lisas y espinosas que llegan a medir 10 cm; son bipinnaticompuestas paripinnadas, con 5 a 8 pares de foliolulos opuestos, elípticos a aovados, de nerviación reticulada, envés pubescente y ápice obtuso a emarginado (Nicolas, Roque, Brokamp, Cano, La Torre, y Weigend, 2009). Las inflorescencias en racimos de flores hermafroditas con sépalos color amarillo con manchas rojizas (Aguirre, 2012). Frutos en vainas aplanadas e indehiscentes de color naranja de 8 cm a 10 cm de largo y 2 cm de ancho aproximadamente, que contienen de 4 a 7 granos de semilla redondeada de color pardo negruzco cuando están maduros (De La Cruz, 2013).

### **2.12.1.3 Distribución geográfica**

Árbol nativo de los Andes que crece, de forma silvestre o cultivada, en varios países de la región andina de Sudamérica. En el Ecuador se encuentra en las provincias de Carchi, Imbabura, Pichincha, Cotopaxi, Tungurahua, Chimborazo, Azuay y Loja, dentro de un rango altitudinal que va desde los 1 500 msnm hasta 3000 metros sobre el nivel del mar (MAE, 1999).

### **2.12.1.4 Usos**

Considerada como una planta de propósito múltiple, posee gran importancia en el mejoramiento y la recuperación de suelos; su importancia económica radica en el uso del fruto en la industria de curtiembre, alimenticia y la farmacéutica.

Utilizada como cerco vivo, árbol de sombra, en barreras vivas, control de cárcavas y otras prácticas vinculadas a conservación de suelos en general, sobre todo en zonas áridas o

semiáridas; usada frecuentemente en asociación con cultivos agrícolas y, como fuente de forraje cuando las plantas son pequeñas (Nicolas *et al.*, 2009; De La Cruz, 2004).

#### **2.12.1.5 Crecimiento**

Crecimiento juvenil muy lento, el crecimiento anual en los primeros años es de sólo 5 a 15 cm de altura; después del establecimiento, muestra una alta resistencia a la sequía fisiológica; la edad media de 60 años, pero puede llegar hasta 100 años (Nicolaste, *et al.*, 2009)

#### **2.12.2 Acacia negra**

##### **2.12.2.1 Taxonomía**

Familia: FABACEAE.

Nombre científico: *Acacia melanoxylon* R. BR.

Nombre común: acacia negra, acacia japonesa, aromo australiano, aromo negro.

##### **2.12.2.2 Caracterización dendrológica**

En Chile, usualmente alcanza los 10 a 20 m de altura y 50 cm de diámetro; en tierras bajas del NW de Tasmani, alcanza 40 m en altura y 1,5 m de diámetro (Barros, 2007); de corteza color cafégrisáceo, con grandes surcos longitudinales en su estado adulto, copa redondeada, de follaje tupido, persistente y atractivo (Siebert y Bauerle, 1995); la hojas son compuestas, con pequeños folíolos en la fase juvenil, siendo reemplazadas luego por filodios lanceolados de 8-10 cm de largo y 2 cm de ancho, de aspecto coriáceos (Carranza, 2007). Inflorescencia en racimos de cabezuelas, con flores de color blanco cremoso; el fruto en vaina alargada, aplastada y las semillas negras, lustrosas y con un funículo rojo que las rodea (Orwa, Mutua, Kindt, Jamnadass, y Anthony, 2009).

##### **2.12.2.3 Distribución geográfica**

La especie se desarrolla naturalmente desde el norte de Queensland hasta el sur de Tasmania, desde el nivel del mar hasta los 1500 m.s.n.m., y a mayor altitud, en la parte tropical (Barros, 2007) .

Acacias australianas son cultivadas en más de 70 países del mundo; como: Albania, Etiopía, Grecia, India, Italia, Kenia, Malta, Nueva Guinea, Portugal, Sudáfrica, España, Tanzania, Uruguay, Brasil, Chile, Argentina, Ecuador, entre otros.

#### **2.12.2.4 Usos**

Madera, moderadamente dura y su densidad es relativamente baja, que adquiere un buen pulido; ha sido introducida en muchos lugares del mundo para producción de madera y leña, muy cotizada para mueblería, instrumentos musicales de cuerdas, para revestimiento de tableros de partículas y, combustible de uso doméstico o en la industria de producción de carbón, aunque de baja calidad (Barroso, 2007). Considera internacionalmente como una de las maderas más decorativas del mundo, perteneciendo a la categoría del nogal, caoba y teca; empleada en la industria de muebles finos de Tasmania (Pinalla, Molina, Briones, y Hernández, 2006)

#### **2.12.2.5 Crecimiento**

Al Noroeste de Tasmania, en plantaciones puras de 16 años, se han registrado incrementos de, 1,26 cm/año de diámetro basal (Bradbury, 2007).

De acuerdo a Pinkard y Beadle, (citado por Carranza, 2007) menciona que en Nueva Zelanda, en sitios protegidos y de alta productividad, la especie alcanza crecimientos de 1 m/año en altura y 1,5 cm/año en diámetro, en plantaciones de 10 a 11 años; en Sudáfrica se registraron incrementos de 2 m/año de altura total y 3,5 cm en diámetro, en plantaciones de 4 años.

### **2.12.3 Aguacate**

#### **2.12.3.1 Taxonomía**

Familia: LAURACEAE  
Nombre científico: *Persea americana* Mill. Variedad. Hass,  
Nombre común: Aguacate, palta, palto.

### **2.12.3.2 Caracterización dendrológica**

Planta leñosa, que se distingue por sus hojas coriáceas y sus semillas dicotiledóneas. En su hábitat natural llega a alcanzar de 8 a 12 metros de altura y de 30 a 60 cm de diámetro. Sus hojas son enteras, rojizas cuando jóvenes y verde oscuras al madurar (Orwa *et al.*, 2009). En plantaciones comerciales se tiende a mantenerlas con 7 m de altura para facilitar el manejo y recolección de los frutos.

Posee un sistema radicular poco profundo de extensión no mayor al perímetro de la copa, y en ocasiones llegan a penetrar hasta los 4 m de profundidad (Alcazar, 2009). Las hojas, son alternas, verde oscuras y de superficie lustrosa, de forma variada de lanceoladas a ovoide y aromatzadas (Flores, 2009). Las flores pequeñas de color verde amarillento, hermafroditas, actinomorfas, agrupadas en panículas axilares o terminales; el cáliz de seis tépalos unidos en la base; las inflorescencias pueden ser determinadas o indeterminadas, permitiendo o no continuar el crecimiento vegetativo del árbol (Alcazar, 2009). El Fruto, de forma de pera u ovalada, la piel es rugosa pero flexible que se oscurece al madurar, de hueso pequeño y su carne abundante de color verde pálido, amantequillada, con sabor a nuez (Vera, 2010).

### **2.12.3.3 Distribución geográfica**

El aguacate se dispersó hacia Norteamérica por México hasta el Sudeste de los EE. UU.; hacia Las Antillas, todo Centroamérica y gran parte de Sudamérica: Colombia, Venezuela, Las Guayanas, Brasil, Ecuador, Perú, Bolivia y Chile. Evidenciándose una domesticación y dispersión, posiblemente desde hace unos 6.000 años (Sanchez, 1999).

### **2.12.3.4 Usos**

El fruto contiene grana cantidad de vitaminas, minerales y ácidos grasos monoinsaturados. Es considerada la cuarta fruta tropical más importante en el mundo, se estima una producción global de 2.6 millones de toneladas, siendo México uno de los principales países productores, seguido por Indonesia y Estados Unidos (Bobadilla Soto, Martínez De La Cruz, Rubí Arriaga, Rebollar Rebollar, Franco Malvaíz, y Siles Hernández, 2013).

### **2.12.3.5 Crecimiento**

En 11 cultivares de diferentes variedades de *Persea americana*, la especie alcanzó a los 12 años; un perímetro de tronco de 172,1 cm (a 30 cm de altura); y 12,95 m diámetro de copa, dato tomado a 1,50 m de altura (Jimenez, Simón, Lima, Gonzáles, Armentos, y Gonzáles, 2000).

## **2.13 Retenedores de agua**

Los retenedores de agua son polímeros reticulados biodegradables con sal sódica o potásica que, debido a su estructura reticulada tridimensional, tienen la capacidad de absorber reversiblemente 350 veces su peso en agua y los nutrientes disueltos en ella, permitiendo que del 95 al 99% del líquido sea tomado por el sistema radicular, optimizando el crecimiento de las plantas, incluso en épocas secas (Idrobo, Rodríguez y Díaz, 2010).

### **2.13.1 Origen**

Originados en Alemania, Francia y Estados Unidos. Sujetos a un sin número de investigaciones, demostrando eficiencia en la absorción y retención de grandes cantidades de líquido y nutrientes.

### **2.13.2 Campos de utilización del retenedor de agua en el área forestal**

Es utilizado en viveros, trasplante, transporte y protección. Está demostrado que las reforestaciones son más efectivas, el hidrogel reduce el shock del trasplante y, minimiza el riesgo de secado del sistema radicular durante el transporte y la plantación (Piñuelos y Ocaña, 2000).

### **2.13.3 Dosificación en el área forestal**

En vivero: de 1 a 3 gramos de hidrotretenedor por plántula, mezclado uniformemente con el sustrato; al momento de trasplante al sitio definitivo aplicar de 3 a 5 g por la plántula (PROFAFOR, 2007).

En árboles establecidos: son necesarios 10 gramos de hidroretenedor por planta, dividido en proporciones iguales y colocados en cuatro hoyos equidistantes alrededor del árbol (2,5gr/hoyo) (PROFAFOR, 2007).

#### **2.13.4 Ventajas del hidroretenedor en plantaciones**

El semillero (2006), el hidrogel presenta diversa ventajas entre ellas: permiten un mejor crecimiento de la planta en regiones de escasas lluvias, proveen a las plantas de un suplemento regular de humedad, reducen los ciclos de irrigación y las cantidades de agua utilizada, reducen al menos un tercio la pérdida de nutrientes en el suelo, incrementan las reservas de agua de los suelos, mejoran la circulación de aire, mejoran la retención de humedad en suelos, incrementan la provisión de fertilizante a la planta gracias a un efecto retardado de liberación.

# CAPÍTULO III

## MATERIALES Y MÉTODOS

### 3.1 Ubicación del estudio

#### 3.1.1 Política

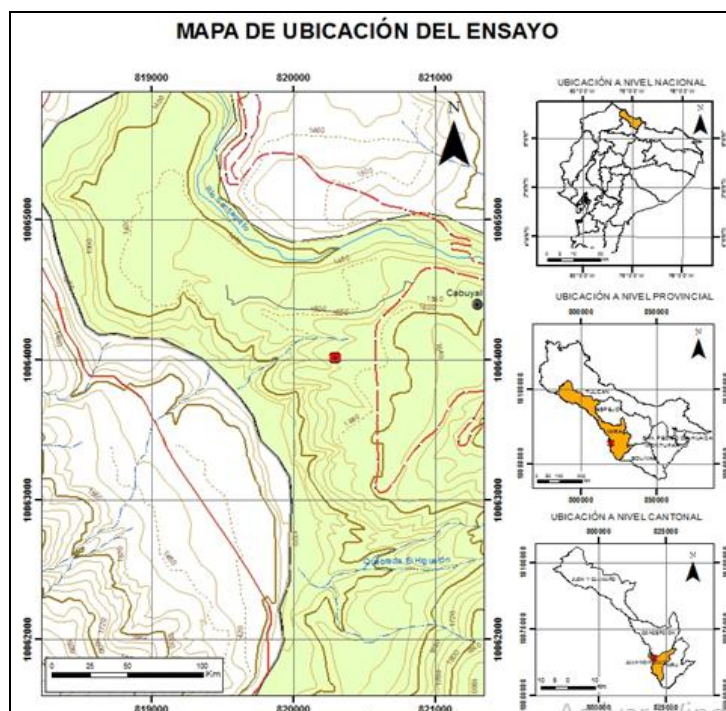
Se realizó en el sector Santaguillo, parroquia Juan Montalvo, cantón Mira, provincia del Carchi.

#### 3.1.2 Geográfica

El sector Santaguillo se encuentra entre las coordenadas X: 820323 m y Y: 10064016 m, a un altitud de 1574 m.s.n.m..

#### 3.1.3 Limite

El sector Santaguillo limita, al norte con la parroquia Juan Montalvo, al sur el río Mira, al este la parroquia Mira y al oeste la comunidad parroquia la Concepción.





### 3.1.4 Datos climáticos

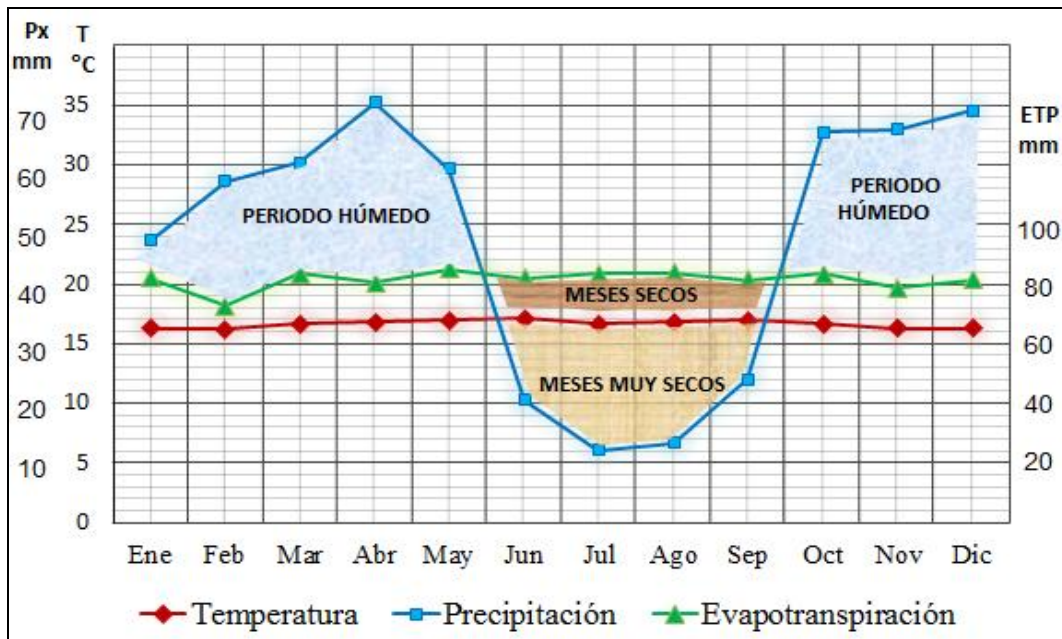
Los datos fueron tomados de la estación meteorológica Mira-FAO Granja La Portada, código M0104, ubicada en el cantón Mira; cuyos valores que a continuación se detallan fueron recopilados desde el año 1979 al 2014.

- Temperatura media anual: 16,7 °C (14,5 °C mínima; 18,8 °C máxima)
- Velocidad media del viento: 20,16 km/h (7,2 km/s mínima; 39,6 km/h máxima)
- Humedad relativa: 78%
- Nubosidad: 2/7 octas
- Precipitación anual: 566,9 mm/año

Para mayor claridad de los datos expuestos, se elaboró las figura 1 y 2, donde:

Px	= precipitación media mensual
Tm	= temperatura media mensual
ETP	= evapotranspiración media mensual
VV. máxima	= velocidad máxima del viento
VV. mínima	= velocidad mínima del viento

Los meses con menor precipitación en el año son: junio, julio, agosto y septiembre, considerados ecológicamente meses secos a muy secos; por otro lado, el periodo húmedo estaría comprendido entre los meses de octubre a mayo como se indica en la figura 2.

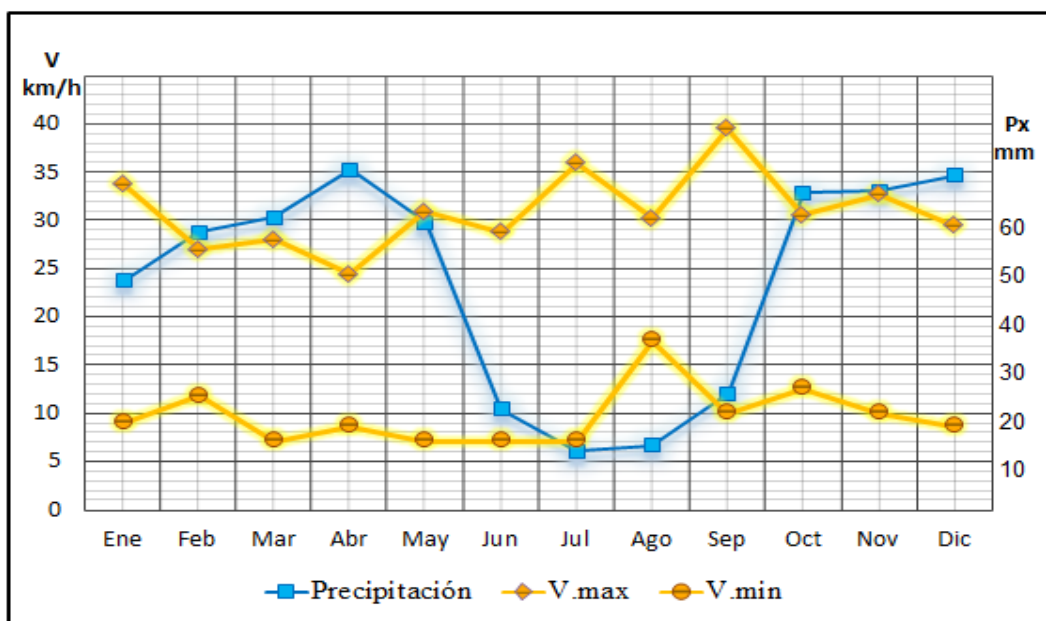


**Figura 2.** Diagrama Bioclimático, temperatura en °C, precipitación y evapotranspiración en mm. Periodo 1979-2014.

**Fuente:** Estación Mira-FAO Granja La Portada

**Elaborado por:** Santiago Villalba

En la figura 3 se indica que, julio, agosto, septiembre, octubre noviembre y enero, son los meses que históricamente presentan el mayor promedio mensual de velocidad del viento, coincidiendo con los meses de menor precipitación considerados ecológicamente secos a muy secos. Escribir como el párrafo anterior



**Figura 3.** Diagrama Bioclimático, temperatura en °C, precipitación y evapotranspiración en mm. Periodo 1979-2014.

**Fuente:** Estación Mira-FAO Granja La Portada

**Elaborado por:** Santiago Villalba

### **3.1.5 Clasificación ecológica**

Según la última clasificación de Ecosistemas realizado por el Ministerio de Ambiente del Ecuador en el año 2013, la zona donde se ubica la presente investigación pertenece a la clasificación; BmMn01. Bosque y Arbustal semidecíduo del norte de los Valles (Aguirre y Medina-Torres, 2013).

### **3.1.6 Característica edáfica**

El análisis de perfil del suelo se realizó mediante una calicata, excavación de 1 m<sup>2</sup> de base y 1 m de alto; en el cual observó, en los primeros 20 cm la presencia de raíces medias a finas y rocas de 3.5 cm de diámetro en promedio; de 20 a 60 cm de profundidad, suelo endurecido o cangagua, con presencia de raíces finas a muy finas; a partir de los 60 cm de profundidad suelo areno y endurecido.

Para el análisis fisicoquímico del suelo, se tomaron muestras de la calicata cada 20 cm de profundidad y, de diferentes puntos del área en estudio, con un barreno manual de 3 cm de diámetro, desde la superficie del suelo hasta los 20 cm de profundidad. El análisis de las muestras extraídas fue realizado en el Laboratorio Acreditado de manejo de suelos y aguas de la Estación Experimental “Santa Catalina”- INIAP; el cual tuvo el siguiente:

- Textura: arena 41%, limo 34%, arcilla 25%
- Clase textural: franco
- Según la profundidad: suelo poco profundo, con presencia de cangagua a los 20 o 30 cm de profundidad
- pH: 6,53 prácticamente neutro
- Materia orgánica: 2,3% notablemente bajo
- Topografía: del 20 al 25% inclinada.

### 3.1.7 Vegetación característica

**Especies diagnósticas:** espino (*Vachellia macracantha*), guarango (*Caesalpinia spinosa*), leucaena (*Leucaena leucocephala*), molle (*Schinus molle*), cholán (*Tecoma stans*), mosquera (*Croton elegans*, *C. wagneri*), chilca (*Baccharis trinervis*), mutuy (*Senna multiglandulosa*), verbena (*Alternanthera porrigens*); plantas suculentas y algunas cactáceas como la tuna (*Opuntia soederstromiana*), agave (*Agave americana*) y, los pastos que se muestran abundantes en la zona de las especies *Pappophorum pappiferum* y *Setaria cernua*, entre otros.

**Cultivos agrícolas:** los más comunes en la zona son: papa (*Solanum tuberosum*), maíz (*Zea mays*), guandul (*Cajanus cajan*), fréjol (*Phaseolus vulgaris*), cebolla paiteña (*Allium cepa*), cebolla larga (*Allium fistulosum*), camote (*Ipomoea batatas*) y arveja (*Pisum sativum*).

**Otras especies cultivadas:** tomate de árbol (*Solanum betaceum*), limón (*Citrus limon*), aguacate (*Persea americana*), chamburo (*Vasconcellea* sp.), trébol (*Trifolium* sp.), alfalfa (*Medicago sativa*) entre otros.

## 3.2 Materiales, equipos e insumos

### 3.2.1 Materiales

- Formulario para toma de datos
- Barras
- Barreno
- Cinta o regla graduada al centímetro completo
- Calibrador
- Estacas
- Letreros
- Martillos
- Nivel en “A”

- Soga
- Flexómetro

### 3.2.2 Equipo

- Navegador GPS
- Cámara fotográfica

### 3.2.3 Insumos

- Hidrogel
- Plantas
  - *Acacia melanoxylon*
  - *Caesalpinia spinosa*
  - *Persea americana*

## 3.3 Metodología

### 3.3.1 Reconocimiento de sitio

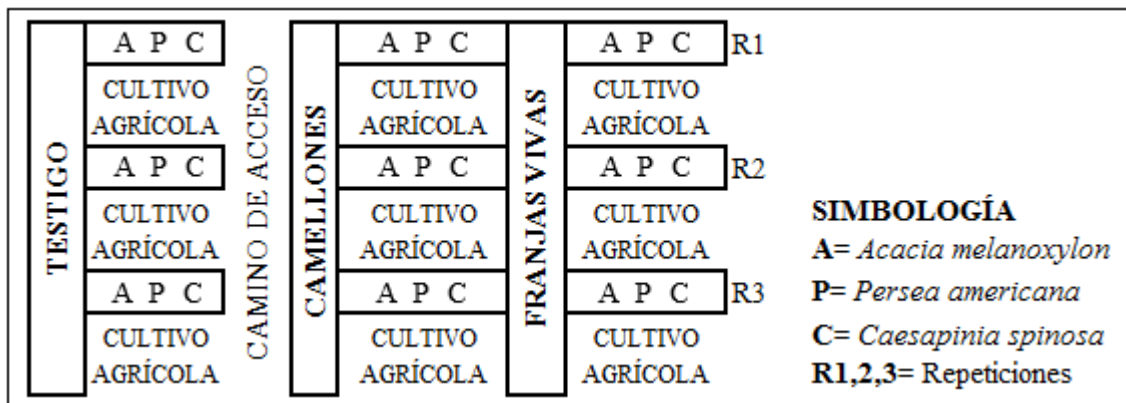
El reconocimiento de sitio del ensayo se realizó conjuntamente con el propietario y el equipo asesor de la Universidad Técnica del Norte involucrado en el proyecto.

Con base en las características del sitio, el interés del propietario y la guía técnica del equipo asesor, se eligió la metodología adecuada y las especies apropiadas que mejor se ajustaron a los objetivos del proyecto macro “**Recuperación de suelos degradados, de la cuenca media del río Mira**”.

### 3.3.2 Práctica agroforestal

En una superficie de 0,2 ha de terreno en proceso de erosión, con pendientes de 20 a 25% y una profundidad efectiva de suelos de 25 cm aproximadamente; se estableció un sistema agroforestal de plantación lineal en curvas a nivel, empleando técnicas o estructuras de conservación.

El terreno fue dividido en tres parcelas de 500 m<sup>2</sup>, donde: la parcela uno o testigo estuvo exenta de estructura de conservación alguna, en la parcela dos se forjó la estructura de conservación curva de nivel con camellón y, en la parcela tres la estructura franjas vivas; cada parcela se subdividió en tres tratamientos, conformados por las especies forestales: *Acacia melanoxylon*, *Persea americana* y *Caesalpinia spinosa*, en asocio a dos cultivos agrícolas sucesivos (fréjol rojo y cebolla roja criolla).



**Figura 4.** Croquis del ensayo.  
**Elaborado por:** Santiago Villalba.

### 3.3.3 Establecimiento de la práctica agroforestal

#### ❖ Preparación del terreno

El deshierbe inicial del terreno (eliminación de la vegetación herbácea), se realizó ocho días antes del establecimiento del ensayo; para lo cual se aplicó una solución al 25 % de concentración de Glifosato (5 ml de herbicida por cada 20 litros de agua), el cual fue disperso en el terreno haciendo uso de una bomba de mochila.

El día del establecimiento del ensayo, se realizó un rastrado superficial con un tractor agrícola, para eliminar los surcos de cultivos agrícolas anteriores.

Con un nivel en “A”, se marcaron las curvas a nivel a lo largo de todo el terreno; manteniendo una distancia de 15 m entre cada una de ellas, haciendo un total de tres curvas a nivel (repeticiones).

### ❖ **Establecimiento de las estructuras de conservación**

Parcela dos: los camellones fueron forjados siguiendo las curvas a nivel previamente trazadas; para ello se abrió un surco de aproximadamente 20 cm de profundidad y 30 cm de ancho semejante a una zanja de infiltración, la tierra que se extrajo de este se colocó uniformemente en el borde inferior a la zanja, elevándose así una estructura de 20 cm de alto sobre el nivel del suelo y 30 cm de ancho; la zanja formada cumplió la función de captar agua lluvia o de riego y, la acumulación sedimentos.

Parcela tres: las franjas vivas fueron establecidas con el pasto *Pappophorum pappiferum* en línea continua, sobre una estructura similar al camellón (de dimensiones: 10 cm de alto, y 20 cm de ancho). El pasto *Pappophorum pappiferum*, fue previamente extraído de terrenos colindantes, con gran parte de su sistema radicular para que pudiese sobrevivir al trasplante.

### ❖ **Hoyado**

Se mantuvo una distancia de 1 m, se señaló la ubicación de los hoyos; siguiendo las curvas a nivel en la parcela uno o testigo; sobre la estructura del camellón en la parcela dos; o a 10 cm de distancia pendiente arriba de las franjas vivas, en la parcela tres.

Con el uso de barras y palas rectas, se procedió a la apertura de los hoyos, cada uno con dimensiones: 30 cm de largo, 30 cm de ancho y 30 cm de profundidad.

### ❖ **Proceso de plantación**

Previamente se hidrató 5 g de hidrogel por cada planta a ser establecida.

En cada hoyo, se mezcló la primera mitad de tierra con los 5 g de hidrogel pre-hidratado; seguidamente se colocó una capa de aproximadamente 5 cm de tierra libre de hidrogel, para evitar que el mismo entre en contacto directo con las raíces de la planta; realizada la poda de raíces, se ubicó la planta en el centro del hoyo para llenar el espacio circundante con tierra del sitio y, finalizar con el apisonamiento.

Como punto guía para la toma de datos de las variables altura total y diámetro basal, se colocó una estaca de madera, a una distancia de 5 cm de cada planta.










En cada parcela se estableció un total de 45 plantas, 15 por repetición, cinco de cada especie forestal, en el orden: *Acacia melanoxylon*, *Persea americana* y *Caesalpinia spinosa*.

### ❖ Señalización y delimitación

El área del ensayo se delimitó con estacas de 1,30 m de altura, pintadas cada una en la parte superior con tres o cuatro diferentes colores, para diferenciar las parcelas, tratamientos y repeticiones (*Ver anexo*, fotografías N° 1 y 2). La codificación simbólica se detalla en la siguiente Tabla.

Tabla 2

*Codificación simbólica de la delimitación del ensayo*

Color	Simbología
	Parcela 1 (testigo)
	Parcela 2 (camellones)
	Parcela 3 (franjas vivas)
	Repetición 1
	Repetición 2
	Repetición 3
	<i>Acacia melanoxylon</i>
	<i>Persea americana</i>
	<i>Caesalpinia spinosa</i>

Elaborado por: Santiago Villalba

### ❖ Manejo

Se realizaron deshierbes de manera progresiva, cada tres meses en la época seca y una vez al mes en la época de lluvia; se formaron coronas de deshierbe de 1 m de radio alrededor de cada planta, con el objeto de evitar la competencia por luz, agua y nutrientes, con la maleza circundante.



### ❖ Riego

Se empleó la técnica de riego por inundación, cada 15 días cuando el ensayo estuvo exento de cultivo agrícola y, cada ocho días mientras los cultivos agrícolas estuvieron establecidos.

### 3.3.4 Factores de estudio

#### 3.3.4.1 Factor A:

A1: Curvas a nivel con camellón

A2: Curvas a nivel con franjas vivas

A3: Curvas a nivel

#### 3.3.4.2 Factor B:

B1: *Caesalpinia spinosa*

B2: *Persea americana*

B3: *Acacia melanoxylon*

#### 3.3.4.3 Tratamientos de estudio.

En la Tabla N°3, se describen cada uno de los tratamientos analizados con su codificación respectiva:

Tabla 3  
Tratamientos de estudio

Trat.	Factores		Descripción		Código
T1	A1	B1	Curvas de nivel con camellón	<i>Acacia melanoxylon</i>	C+A
T2	A1	B2	Curvas de nivel con camellón	<i>Persea americana</i>	C+P
T3	A1	B3	Curvas de nivel con camellón	<i>Caesalpinia espinosa</i>	C+C
T4	A2	B1	Franjas vivas	<i>Acacia melanoxylon</i>	F+A
T5	A2	B2	Franjas vivas	<i>Persea americana</i>	F+P
T6	A2	B3	Franjas vivas	<i>Caesalpinia espinosa</i>	F+C
T7	A3	B1	Testigo	<i>Acacia melanoxylon</i>	T+A
T8	A3	B2	Testigo	<i>Persea americana</i>	T+P
T9	A3	B3	Testigo	<i>Caesalpinia espinosa</i>	T+C

Elaborado por: Santiago Villalba

### 3.3.5 Características del ensayo

En la Tabla N° 4, se presenta un resumen de la superficie parcial de cada uno de los tratamientos y del total de la investigación.

Tabla 4  
Características del ensayo

Variable	Cantidad	Unidad
Especies forestales por unidad experimental	5	Plantas
Unidad experimental	15	Parcela
Tratamientos	9	Tratamientos
Especies forestales por tratamiento	15	Plantas
Especies forestales en el ensayo	135	Plantas
Distancias de plantación	1 x 15	metros
Superficie por unidad experimental	50	m <sup>2</sup>
Superficie por tratamiento	150	m <sup>2</sup>
Superficie total	1990,44	m <sup>2</sup>

Elaborado por: Santiago Villalba

## 3.4 Recopilación de datos

### 3.4.1 Fertilidad del suelo

Con un barreno Edelman recto de media caña, se procedió a realizar la toma de 10 submuestras, mismas que resultaron en una muestra representativa del área del ensayo, esta

muestra fue llevada a los Laboratorios del INIAP en Santa Catalina para su análisis químico completo (macro nutrientes, micro nutriente, materia orgánica, pH), este procedimiento se realizó previo y posterior a los ciclos de los cultivos (fréjol y cebolla).

### **3.4.2 Propiedades Químicas del sitio de estudio**

Se realizó una calicata de 1 m<sup>3</sup>, en un área ubicada en la parte superior del ensayo, con la finalidad de caracterizar el perfil del suelo hasta una profundidad de 1 m. Se tomaron muestras de suelo cada 20 cm de profundidad, las mismas que fueron enviadas al Laboratorio de suelos del INIAP de la estación Santa Catalina donde se realizaron los análisis de:

- Potencial hidrógeno (pH)
- Contenido de materia orgánica
- Macro nutrientes (N, P, K, )

### **3.4.3 Propiedades Física del suelo en el sitio de estudio**

Se hizo necesaria la toma de cinco muestras de suelo con su respectivo duplicado, en el cuadrante superior e inferior del ensayo respectivamente, en tubos PVC de 100 ml, introduciéndolos en el horizonte “A” del suelo (10 cm) de manera aleatoria, todo esto en el periodo inicial y final del ensayo, misma área que fue previamente humedecida para que sea posible la formación del cilindro para su posterior análisis (densidad aparente, densidad real y porosidad) mismos que fueron realizado en los Laboratorios de AGROCALIDAD en Tumbaco.

### **3.4.4 Contenido de agua en el suelo en el sitio de estudio**

Se tomaron cinco submuestras de suelo con un barreno Edelman recto de media caña a una profundidad de 20 cm, las mismas que conformaron una muestra representativa de cada uno de los tratamientos en estudio, al principio del ensayo y luego de la cosecha de los cultivos de ciclo corto que se establecieron en el mismo. Posteriormente las muestras fueron procesadas en el Laboratorio de Análisis Físicos, Químicos y Microbiológicos - FICAYA de la Universidad Técnica del Norte.

### 3.5 Diseño experimental

Se aplicó el diseño de parcelas subdivididas, con nueve tratamientos; siendo la parcela grande las técnicas de conservación y las sub parcelas las especies.

#### 3.5.1 Modelo estadístico:

$$Y_{ij} = \mu + \tau + \varepsilon_a + \alpha + \tau\alpha + \varepsilon_b$$

Dónde:  $Y_{ij}$  = observación individual

$\mu$  = media común

$\tau$  = efecto de técnicas de conservación

$\alpha$  = Efecto de especies

$\tau\alpha$  = Interacción de técnicas de conservación por especies

$\varepsilon_a$  = error tipo a

$\varepsilon_b$  = error tipo b

### 3.6 Análisis de información

#### 3.6.1 Análisis de varianza

El análisis de varianza del diseño en parcelas divididas se realizó de acuerdo al desglose presentado en la Tabla 5.

Tabla 5

*Análisis de varianza del Diseño de Parcelas Divididas*

<b>Fuentes de variación</b>		<b>Grados de libertad</b>
Técnicas de conservación	$T_c - 1$	$3 - 1 = 2$
Error tipo "a"	$T_c \times (n-1)$	$3 \times (3-1) = 6$
Especies	$S_p - 1$	$3 - 1 = 2$
Técnicas de conservación x especies	$(T_c-1)(S_p-1)$	$(3 - 1)(3-1) = 4$
Error tipo "b"	$T_c \times (S_p-1) \times (n-1)$	$3 \times (3-1)(3-1) = 12$
Total	$(n \times T_c \times S_p) - 1$	$(3 \times 3 \times 3) - 1 = 26$

Elaborado por: Santiago Villalba

### 3.6.2 Prueba de rango multiple

Con la finalidad de determinar el o los mejores tratamientos se aplicó la prueba de Tukey al 95% de probabilidad estadística.

### 3.6.3 Análisis de Correlación

Se realizaron 10 análisis de correlación para determinar el grado de asociación existente entre las variables, mismas que se detalla en la Tabla 6.

Tabla 6

*Correlaciones realizadas*

<b>VARIABLES</b>		
pH	-	K(cmol/kg)
pH	-	MO (%)
pH	-	N (%)
pH	-	P(ppm)
MO (%)	-	K(cmol/kg)
MO (%)	-	N (%)
MO (%)	-	P(ppm)
N (%)	-	K(cmol/kg)
N (%)	-	P(ppm)
P(ppm)	-	K(cmol/kg)

Elaborado por: Santiago Villalba

### **3.7 Análisis de costos**

Se realizó el análisis detallado de los costos de producción, establecimiento y manejo de la práctica agroforestal en general, de cada parcela (técnica de conservación) y de cada sub parcela (tratamientos).

## CAPÍTULO IV

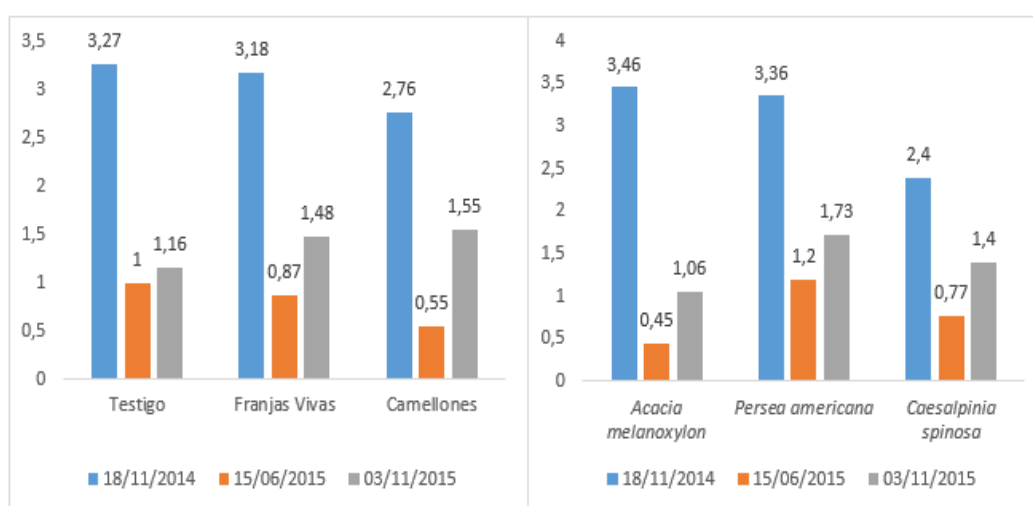
### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De los datos obtenidos en el campo, previamente tabulados y sometidos al análisis pertinente, se obtuvieron los siguientes resultados:

#### 4.1 Contenido de humedad

Al no existir diferencias estadísticas entre las fuentes de variación investigadas no se realizó las pruebas de medias; pero en el análisis matemático se evidencia que, las franjas vivas son las que presentan el mayor valor promedio de contenido de humedad con 2,10%. En lo que respecta a las especies, la que obtuvo el contenido de humedad promedio más alto fue *Persea americana*, con 1,84%.

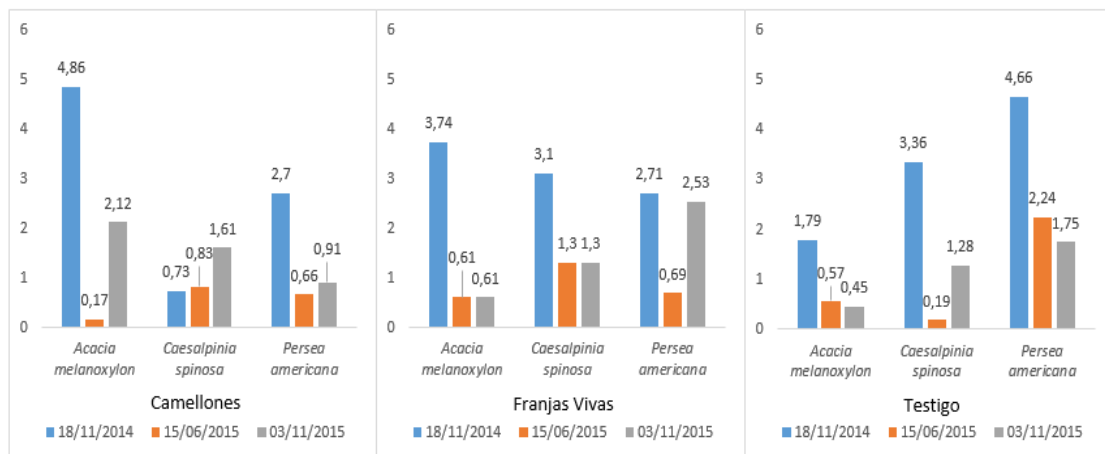
En el análisis de varianza se observa que para todas las fuentes de variación obtuvieron valores de Fisher calculado no significativos en comparación a los correspondientes tabulares al 95% de probabilidad estadística; por lo tanto, se acepta la hipótesis nula, en vista de que el comportamiento de las técnicas, especies y su interacción son estadísticamente similares. (Ver anexo 2)



**Figura 5.** Porcentaje de contenido de humedad por especie y tratamiento.  
**Elaborado por:** Santiago Villalba

Pijal (2015), bajo las condiciones de Zona de Vida de Bosque Húmedo Pre Montano, y conjuntamente con la cobertura vegetal de pasto cultivado y pendientes con relieves del 5 al 12%, registra un contenido de agua del 70% en época lluviosa, mientras que en época seca en las estructuras conservacionistas oscila entre 15 y 23%; esta marcada diferencia se debe a que la capa freática está ubicada superficialmente mientras que en este estudio el perfil del suelo presenta endurecimiento (cangagua) en una capa ubicada a 20 cm de profundidad.

En cuanto a los tratamientos, al realizar el análisis matemático se observa que, Curvas a nivel con franjas vivas + *Persea americana* presentó el mayor valor promedio de contenido de humedad; es preciso indicar que, por el contrario, el Testigo (cultivo tradicional o labranza) + *Acacia melanoxylon* presentó el menor promedio.



**Figura 6.** Porcentaje de contenido de humedad de correlaciones entre especie y tratamiento.  
**Elaborado por:** Santiago Villalba

## 4.2 Parámetros físicos del suelo bajo la influencia de las especies

En lo referente a las propiedades físicas del suelo se evidencia que existen diferencias mínimas entre las tres técnicas, en los parámetros de densidad aparente y real, así como también en la porosidad.



**Tabla 7***Parámetros físicos del suelo por técnica.*

<b>Parámetro</b>	<b>Método</b>	<b>Unidad</b>	<b>Camellones</b>	<b>Franjas Vivas</b>	<b>Testigo</b>
Densidad Aparente	Gravimetría	g/ml	1,8225	1,9625	1,85
Densidad Real	Pictómetro	g/ml	2,3025	2,325	2,35
Porosidad	Cálculo	%	20,295	15,6525	21,82

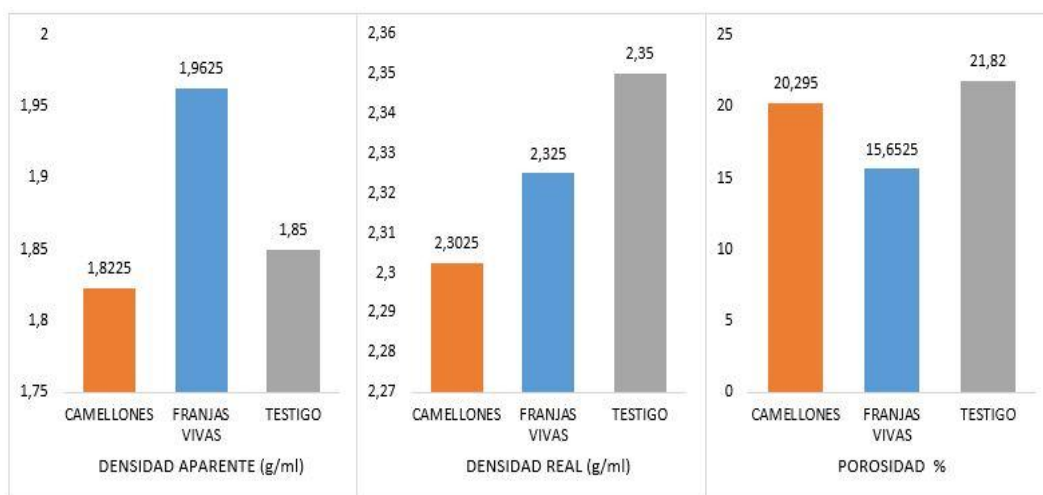
**Elaborado por:** Santiago Villalba

Estos datos son similares a lo encontrado por Cáceres (2017), donde la densidad real alcanza valores de 2,28 g/cm<sup>3</sup> plantaciones, esto posiblemente se debe a que las muestras fueron tomadas con exceso de materia orgánica, lo cual suelen repercutir en los resultados de esta variable.

Los resultados fueron similares al estudio desarrollado en Cuba por García, *et al.*, (2009) donde la localidad de Sabanalamar con suelos arenosos presentó mayor densidad aparente en relación a las localidades Viñales y Galalón de suelos arcillosos. A través de esto se deduce que los suelos arcillosos tienden a poseer menor densidad aparente coincidiendo con el reporte sobre suelos de textura fina con *Pinus radiata* en Galicia, donde se evidenció densidades aparentes relativamente bajas entre 1,0 y 1,2 g/cm<sup>3</sup> (Merino, Rey, Brañas, y Rodríguez, 2003).

Por otra parte, la porosidad presentó una tendencia mayor en la técnica Testigo con valores de 21,82%, seguida de la técnica Camellones con 20,29% y finalmente la técnica Franjas Vivas con un valor de 15,65%, debido al contenido de materia orgánica.

Esto se comprueba en la investigación de Gómez (2011) donde la porosidad total fue mayor en suelo arcilloso que en suelo arenoso, motivo se presencié un aumento de porosidad en suelo franco que en franco arenoso; puesto que un suelo arenoso posee menor porosidad en lo que respecta a espacios grandes, mientras un suelo arcilloso posee mayor porosidad con relación a pequeños espacios. Esto se evidencia en la investigación de Murray *et al.*, (2011) quienes en suelos de textura arcillosa con sistemas agroforestales, obtuvieron una porosidad promedio de 51,06 %; valores superiores a la presente investigación.



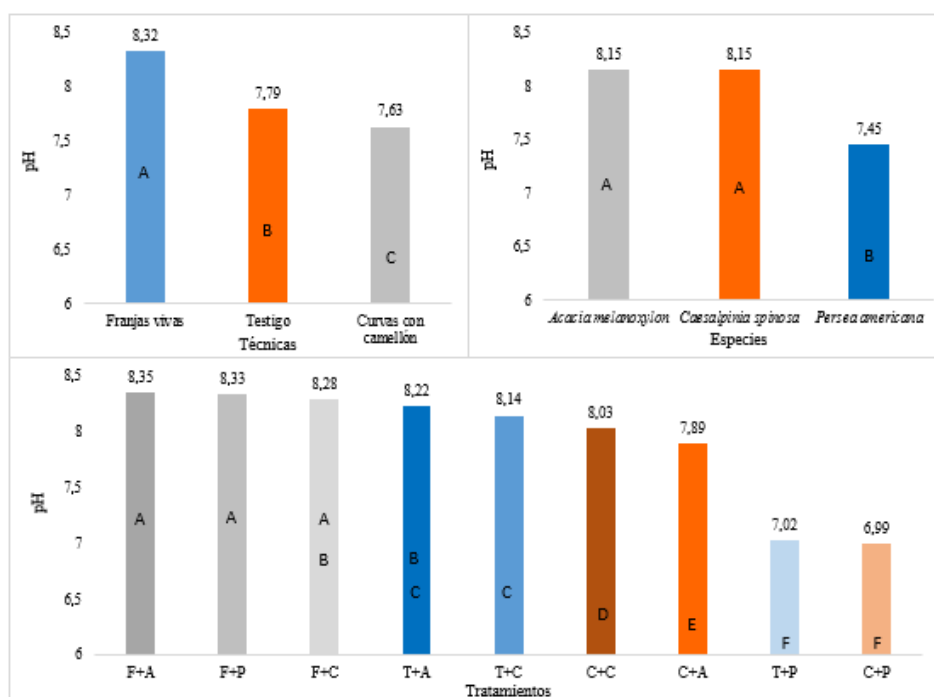
**Figura 7.** Propiedades físicas del suelo en las variables densidad aparente, densidad real y porosidad.  
**Elaborado por:** Santiago Villalba

### 4.3 Parámetros químicos del suelo bajo la influencia de las especies

#### 4.3.1 pH

Se registraron valores de pH siendo el promedio general de 7,92 que se clasifica como neutro a alcalino. En la prueba de Tukey para el Factor A técnicas se evidencia la formación de tres rangos, destacándose la técnica de Franjas Vivas con el mayor pH, mientras que para el Factor B especies se formaron únicamente dos rangos, siendo el menor y estadísticamente diferente *Persea americana*. En lo que respecta a la interacción de los factores antes mencionados se observa la formación de seis rangos, donde se destaca que las tres especies en la técnica franjas vivas tienen los mayores pH, mientras que el tratamiento Curvas con camellón y *Persea americana*, con un pH de 6,99, es el único que presenta valores considerados ácidos o casi neutros.

En el análisis de varianza se observa que existen diferencias altamente significativas al nivel del 1% de probabilidad estadística para las fuentes de variación técnicas, especies y la interacción; el coeficiente de variación fue de 0,38 %, que permite inferir que, si bien las técnicas y especies son estadísticamente muy diferentes, el ensayo, en lo que respecta al pH, se considera muy homogéneo. (Ver Anexo 1.1).



**Figura 8.** Promedio y rangos de la prueba de Tukey para pH por técnicas, especies y tratamientos.

**Elaborado por:** Santiago Villalba

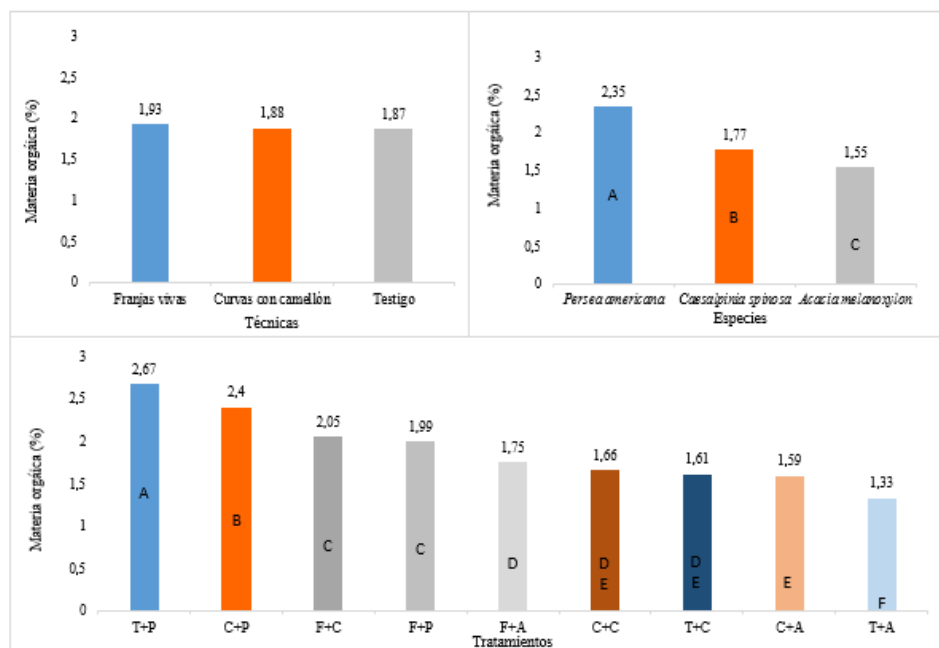
Los resultados coinciden con lo reportado por Mahecha (2011) donde el bosque junto a plantación forestal mostraron pH ácido, y suelos con cultivo de cebollas ligeramente ácido; igualmente las haciendas de San Joaquín, Santa Ana y Colcas presentaron un pH que varió de 5,50 a 6,80 que va de ácido, ligeramente ácido a neutro (Vargas, 2012). La similitud de los resultados con los estudios reportados, es debido a la ubicación de los sitios en la región andina de Ecuador y Colombia. Se logró evidenciar que la materia orgánica y la clase textural mantuvieron una fuerte participación en la variación de la acidez del suelo.

### 4.3.2 Materia orgánica

Se evidenciaron el valor promedio general de Materia Orgánica en 1,89 % que se clasifica como bajo. En la prueba de Tukey para el Factor A técnicas se evidencia la formación de tres rangos, destacándose la técnica de franjas vivas con el mayor contenido de Materia Orgánica, de la misma manera, para el Factor B especies se formaron tres rangos, siendo el menor y estadísticamente diferente *Persea americana*, mientras que para el Factor B especies se formaron únicamente dos rangos, siendo el menor y estadísticamente diferente *Acacia melanoxylon*. En lo que concierne a la interacción de los factores antes mencionados se

observa la formación de seis rangos, donde se destaca que la especie *Persea americana* en relación a los tratamientos curvas con camellón y Testigo tiene el mayor contenido de Materia Orgánica, mientras que el tratamiento testigo y *Acacia melanoxylon* contiene la menor concentración de Materia Orgánica con 1,33%.

En el análisis de varianza se observa que existen diferencias altamente significativas al nivel del 1% de probabilidad estadística para las fuentes de variación técnicas, especies y la interacción; el coeficiente de variación fue de 2,51%, que permite identificar que, si bien las técnicas y especies son estadísticamente muy diferentes, el ensayo, en lo que respecta la Materia Orgánica (MO), se considera muy homogéneo. (Ver Anexo 1.2).



**Figura 9.** Promedio y rangos de la prueba de Tukey para pH por técnicas, especies y tratamientos.

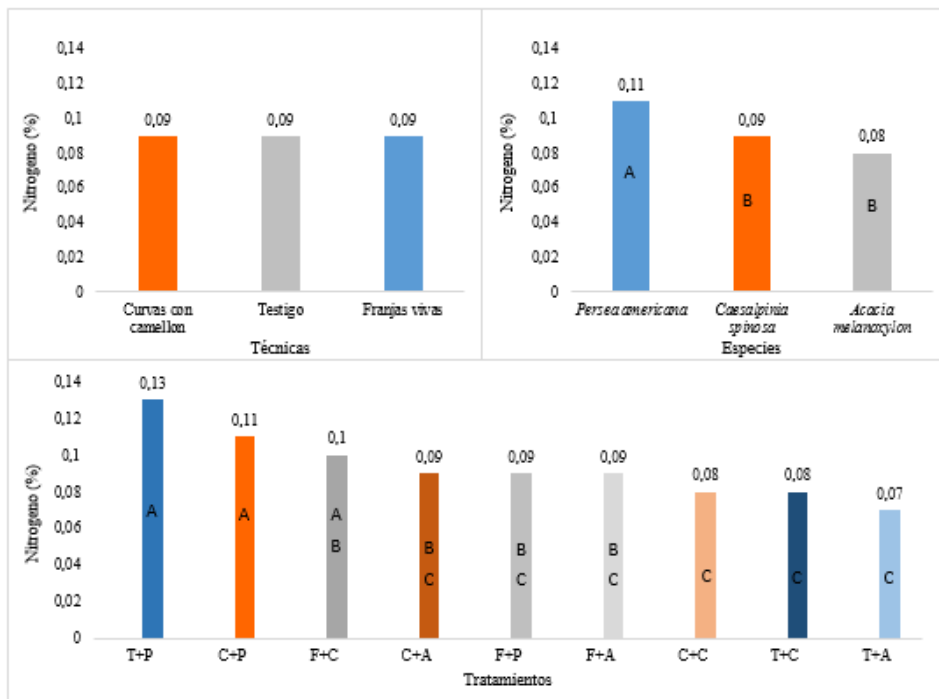
**Elaborado por:** Santiago Villalba

### 4.3.3 Nitrógeno

Se registraron valores de Nitrógeno siendo el promedio general de 0,093% que se clasifica como bajo. En la prueba de Tukey para el Factor B especies se formaron únicamente dos rangos, siendo el menor y estadísticamente diferente *Acacia melanoxylon*. En lo que respecta a la interacción de los factores antes mencionados se observa la formación de 3 rangos, donde se destaca que la especie *Persea americana* en relación con las técnicas curvas con camellón

y testigo son mayores en contenido de Nitrógeno (%), por otra parte, la relación entre la especie *Acacia melanoxylon* y el testigo muestra un contenido de 0,07% de Nitrógeno.

En el análisis de varianza se observa que existen diferencias altamente significativas al nivel del 1% de probabilidad estadística para las fuentes de variación técnicas, especies y la interacción; el coeficiente de variación fue de 8,75%, que permite inferir que, si bien las técnicas y especies son estadísticamente muy diferentes, el ensayo, en lo que respecta al Nitrógeno (%), se considera homogéneo. (Ver Anexo 1.3).



**Figura 10.** Promedio y rangos de la prueba de Tukey para pH por técnicas, especies y tratamientos.

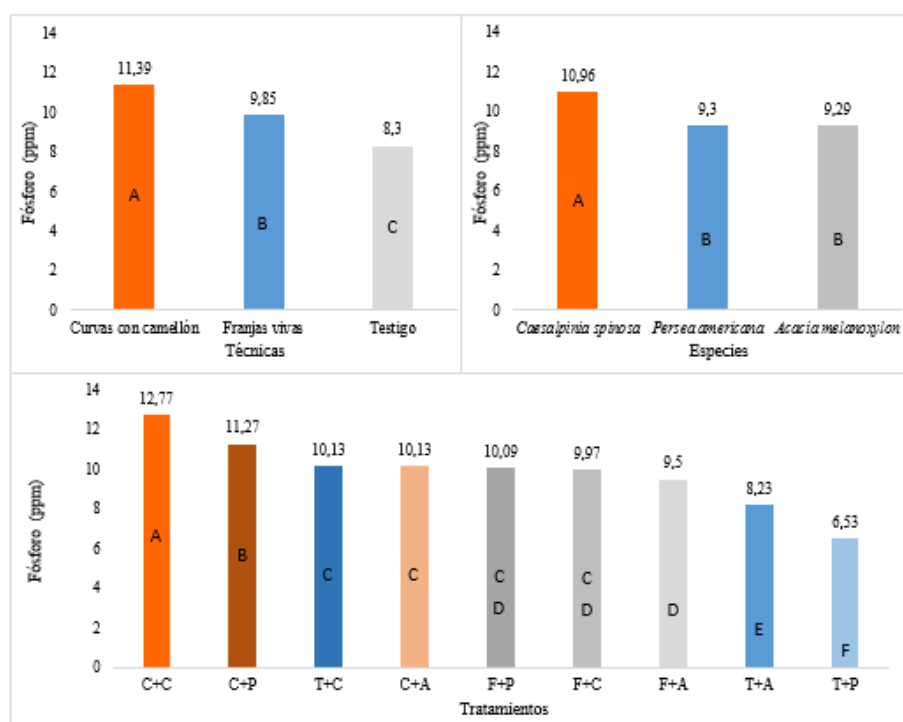
**Elaborado por:** Santiago Villalba

#### 4.3.4 Fósforo

Se reconocieron valores de Fósforo (ppm) siendo el promedio general de 9,85 que se clasifica como bajo. En la prueba de Tukey para el Factor A técnicas se evidencia la formación de tres rangos, destacándose la técnica de curvas con camellón con el mayor contenido de Fósforo, mientras que para el Factor B especies se formaron únicamente dos rangos, siendo el menor y estadísticamente diferente *Acacia melanoxylon*. En lo que respecta a la interacción de los factores antes mencionados se observa la formación de seis rangos,

donde se destaca que las técnicas curvas con camellón y su correlación con las especies *Caesalpinia spinosa* y *Persea americana* tienen los mayores contenidos de Fósforo.

En el análisis de varianza se observa que existen diferencias altamente significativas al nivel del 1% de probabilidad estadística para las fuentes de variación técnicas, especies y la interacción; el coeficiente de variación fue de 2,11%, que permite inferir que, si bien las técnicas y especies son estadísticamente muy diferentes, el ensayo, en lo que respecta al Fósforo (ppm), se considera muy homogéneo. (Ver Anexo 1.4).



**Figura 11.** Promedio y rangos de la prueba de Tukey para pH por técnicas, especies y tratamientos.

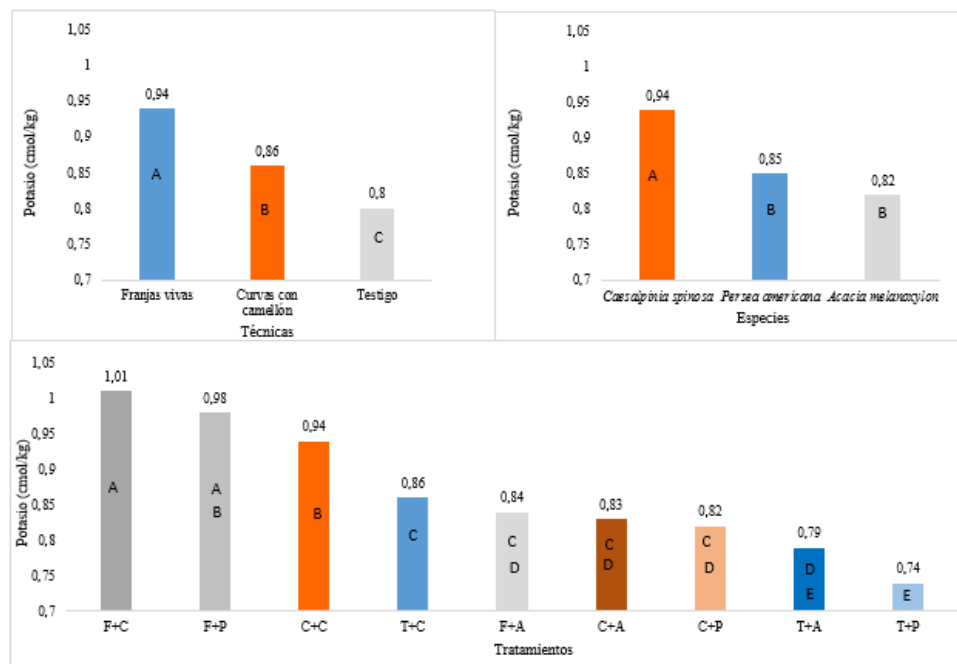
**Elaborado por:** Santiago Villalba

#### 4.3.5 Potasio

Se reconocieron valores de Potasio siendo el promedio general de 0,86 cmol/kg que se clasifica como alto. En la prueba de Tukey para el Factor A técnicas se evidencia la formación de tres rangos, destacándose la técnica de franjas vivas con el mayor contenido de Potasio, mientras que para el Factor B especies se formaron únicamente dos rangos, siendo el

menor y estadísticamente diferente *Acacia melanoxylon*. En lo que respecta a la interacción de los factores antes mencionados se observa la formación de seis rangos, donde se destaca que las técnica franjas vivas y su correlación con las especies *Caesalpinia spinosa* y *Persea americana* tienen los mayores contenidos de Potasio.

En el análisis de varianza se observa que existen diferencias altamente significativas al nivel del 1% de probabilidad estadística para las fuentes de variación técnicas, especies y la interacción; el coeficiente de variación fue de 0,87%, que permite inferir que, si bien las técnicas y especies son estadísticamente muy diferentes, el ensayo, en lo que respecta al Potasio (cmol/kg), se considera muy homogéneo. (Ver Anexo 1.5).



**Figura 12.** Promedio y rangos de la prueba de Tukey para pH por técnicas, especies y tratamientos.

**Elaborado por:** Santiago Villalba

## 4.4 Análisis de correlación

### 4.4.1 Análisis de correlación de los parámetros químicos por técnicas

En las técnicas evaluadas se evidencia que, existen relaciones inversamente proporcionales entre el parámetro pH con potasio en las franjas vivas, al igual que en las relaciones del pH con materia orgánica y nitrógeno, en curvas de nivel con camellón y testigo, por lo que se infiere que mientras los niveles de pH son más alcalinos, para el caso de franjas vivas, los

niveles de potasio son menores, al igual que, para las técnicas restantes el contenido de materia orgánica y por ende el nitrógeno se presentan en bajas concentraciones. (Ver tabla 7).

**Tabla 8**

*Correlación de parámetros químicas por técnicas.*

		Testigo			Camellones				
Variables		R	p-valor	Sig.	Variables		r	p-valor	Sig.
pH	MO	-0,98	<0,0001	**	pH	MO	-0,98	<0,0001	**
pH	N	-0,94	0,0002	**	pH	N	-0,85	0,0036	**
pH	P	0,81	0,0081	**	pH	K	0,67	0,0491	*
pH	K	0,72	0,0296	**	MO	N	0,83	0,006	**
MO	N	0,94	0,0001	**	P	K	0,84	0,0046	**
MO	P	-0,71	0,032	*					
N	P	-0,71	0,0331	*					
P	K	0,87	0,0023	**					
		Franjas							
Variables		r	p-valor	Sig.	Variables		r	p-valor	Sig.
pH	K	-0,67	0,048	*	MO	K	0,96	<0,0001	**
MO	P	0,79	0,0111	**	P	K	0,79	0,0117	*

Elaborado por: Santiago Villalba

#### 4.4.2 Análisis de Correlaciones de parámetros químicos por especies

Los parámetros químicos pH, nitrógeno, fósforo y potasio presentaron correlaciones altamente significativas; el 38% de las correlaciones obtenidos exponen resultados inversamente proporcionales; cabe recalcar que en los valores de la especie *Presea americana*, únicamente dos de ellos son directamente proporcionales.



**Tabla 9***Correlación de parámetros químicas con especies*

<i>Acacia melanoxylon</i>					<i>Caesalpinia spinosa</i>				
Variables		r	p-valor	Sig.	Variables		R	p-valor	Sig.
MO	P	0,75	0,0202	**	pH	MO	0,79	0,0114	**
MO	K	0,74	0,0234	**	pH	P	-0,80	0,0090	**
N	P	0,76	0,0175	**	MO	K	0,88	0,0017	**
P	K	0,67	0,0495	*					

PERSEA									
Variables		R	p-valor	Sig.	Variables		r	p-valor	Sig.
pH	MO	-0,90	0,0011	**	N	K	-0,77	0,0142	**
pH	N	-0,73	0,0241	**	MO	N	0,84	0,0048	**
pH	K	0,92	0,0004	**	MO	K	-0,99	<0,0001	**

TRATAMIENTOS									
T5					T8				
Variables		r	p-valor	Sig.	Variables		r	p-valor	Sig.
N	P	1,00	0,0334	*	K	P	-1,00	0,0579	**
P	K	1,00	0,0334	*					

Elaborado por: Santiago Villalba

#### 4.5 Costos de implementación de las estructuras conservacionistas

El costo de establecimiento y manejo de las parcelas curvas de nivel con camellón y testigo presentaron sumas angostamente equivalentes entre sí, ambas con un monto de tan solo 6% inferior a la parcela curvas de nivel con franjas vivas.

Las sub parcelas asociadas a *Caesalpinia spinosa* y *Acacia melanoxylon* alcanzaron costos significativamente inferiores a las sub parcelas de *Persea americana*, debido principalmente a elevado costo de adquisición de la misma.

Por otra parte también se registraron diferencias significativas de costos, entre las sub parcelas asociadas a *Persea americana*, donde: el costo más económico fue cuantificado en el tratamiento T+C (Testigo + *Caesalpinia spinosa*) con un monto de 2970,81 USD/ha; mientras que el costo más elevado fue de 8239,75 USD/ha en el tratamiento F+P (Franjas vivas + *Persea americana*), debido al elevado número de replante realizados en el primer trimestre de evaluación.

## CAPÍTULO V

### CONCLUSIONES

Las franjas vivas constituyeron la técnica conservacionista que obtuvo la mayor contenido de humedad con un valor de 2.10%, esto en contraste con el valor inferior que evidenció la técnica de camellones en curva de nivel con un valor de 1,62%, inclusive mostrándose menor al del tratamiento testigo; por otra parte, la especie *Persea americana* con un valor promedio de 1,84%, expone el mayor porcentaje de retención de humedad en el estudio realizado.

La porosidad en el testigo muestra un valor de 21,82%, siendo el más alto evidenciado en el estudio, seguido de la técnica Camellones en curvas de nivel con un valor de 20,29% y el tratamiento franjas vivas el que presentó menor porosidad en el suelo con un valor de 16,65%.

En los parámetros químicos del suelo y la relación con las técnicas conservacionista con respecto a los elementos Nitrógeno, Potasio, Potencial Hidrógeno y Materia Orgánica, se destaca la técnica de franjas vivas, con las mayores concentraciones de estos elementos, el macronutriente Fosforo tiene sus mayores valores en la técnica camellones en curvas de nivel

En relación a las especies establecidas en el estudio y su interacción con las propiedades químicas del suelo, muestran que *Persea americana* presenta sus mayores valores en los elementos Nitrógeno y Materia Orgánica, la especie *Caesalpinia spinosa* en los elementos Fósforo y Potasio, el Potencial Hidrogeno en la especie *Acacia melanoxylon* con las mayores concentración.

Los costos de establecimiento y manejo en las técnicas de conservación (parcelas), no presentaron diferencias significativas. Referente a las especies (sub parcelas), *Persea americana* por su elevado costo de adquisición, alcanzó un monto 41% más elevado en comparación *Acacia melanoxylon* y *Caesalpinia spinosa*.

## **CAPÍTULO VI**

### **RECOMENDACIONES**

En concordancia de los resultados conseguidos en la vigente investigación se recomienda:

Continuar con la evaluación de la variable contenido de humedad, por cuanto los datos de la presente investigación se podrían considerar como datos preliminares del efecto de las estructuras conservacionistas para la retención de agua en suelos degradados, direccionando los términos del análisis hacia el concepto de erosión eólica.

En lo que concierne a la composición química del suelo influida por la acción fisiológica de las especies forestales (*Acacia melanoxylon* y *Caesalpinia spinosa*) y frutales (*Persea americana*) establecidas en el estudio, se recomienda seguir evaluando el comportamiento del suelo en instancias de madures filosófica de las especies que intervienen en el mismo, por cuanto el estado inicial de cremento de las mismas no infiere cambios significativos en la composición química y física del suelo.

## **CAPÍTULO VII**

### **BIBLIOGRAFÍA**

- Aguirre, C., & Vizcaíno, M. (2010). *Aplicación de estimadores estadísticos y diseños experimentales en investigaciones forestales*. Ibarra: Universitaria.
- Arevalo, C. (2012). *Técnicas y Prácticas Agroforestales Validados para el Ecuador*. Cuenca.
- Barros, S. (2007). El Genero Acaacia Especies Multiproposito. *Ciencia e Investigación Forestal*.
- Bradbury, G. (2007). Acacia Utilisation and Management. *How is Wood Quality Affected by Growth Rate and Silviculture?*, 26.
- Caicedo, M. (2013). *Manejo de la Cuenca del Río Cary Yacu, Cantón Espejo, Provincia del Carchi*. Ibarra.
- Carranza, L. (2007). Revisión Bibliografica Sobre Acacia melanoxyton: Su Silvicultura y su Madera. *Revista de la Facultad de Agronomia UNLP*, 145-154.
- Centro Agronómico Tropicales de Investigaciones y Enseñanza. (2008). *Manejo de la Cuenca del Río Birris*. San Jose.
- Conant, J., & Fadem, P. (2011). *Guía Comunitaria para la Salud Ambiental*. Galicia .
- Cotler, H., Sotelo, E., Dominguez, J., Zorilla, M., Cortina, S., & Quiñones, L. (2007). La conservación de suelos: un asunto de interés público. *Gaceta Ecológica*.
- De La Cruz, I. (2013). *Situación Actual del Cultivo del Aguacate (Persea americana Mill) en el Estado de Mexico*. DF Mexico.
- Ferrer, M. (s.f). *La Restauración Hidrológica - Forestal*. Aragón .
- Florez, G. (2016). *TÉCNICAS CONSERVACIONISTAS EN SISTEMAS AGROFORESTALES EN SECTOR SANTIAGUILLO, CANTÓN MIRA*. Ibarra.

- Galárraga, R. (10 de Marzo de 2001). *HidroRed*. Recuperado el 12 de Octubre de 2017, de [tierra.rediris.es/hidrored/basededatos/docu1.html](http://tierra.rediris.es/hidrored/basededatos/docu1.html)
- García, I., Martínez, A., Ramírez, A., Niño, A., Rivas, J., & Domínguez, L. (s.f). *LA RELACIÓN AGUA-BOSQUE: DELIMITACIÓN DE ZONAS PRIORITARIAS PARA EL PAGO DE SERVICIOS AMBIENTALES HIDROLÓGICOS EN LA CUENCA DEL RÍO GAVILANES, COATEPEC, VERACRUZ*. Veracruz.
- Gomero, O., & Velásquez, A. (1999). *Manejo Ecológico de Suelos Conceptos Experiencias y Técnicas*. Lima.
- Jiménez, E., Freire, F., Silva, D., & Tovar, G. (2011). *Manejo de Cuencas Hidrográficas: Usuarios de la Cuenca del Río Valdivia - California*. Guayaquil.
- Juarez, M. (2012). *Barreras Vivas*. San Salvador.
- Loredo, O., Serreón, L., Serreón, L., & Marcos, C. (2005). *Prácticas Mecánicas para el Control de la Erosión Hídrica*. San Luis.
- Martínez, I., & Uribe, J. (2013). *Conservación de los recursos naturales para una Agricultura sostenible: Manejo de la humedad del suelo*. Concepción.
- Ministerio de agricultura y riego. (2014). *Cartilla para la conservación de suelos: Zanjas de Infiltración*. Lima.
- Ministerio del Ambiente Ecuador. (1999). *Especies Forestales Bosques Secos Ecuador*. Quito.
- Ministerio del Ambiente Ecuador. (2008). *Informe Sobre el Estado del Medio Ambiente*. Quito.
- Movimiento Agrícola De América Latina y El Caribe. (2001). *Agroforestería en Latinoamérica Experiencias Locales*. Buga.
- Nicolaste, D., Roque, J., Brokamp, G., Cano, A., La Torre, M., & Weigend, M. (2009). *Desarrollo de Monografías Botánicas (FACTSHEETS) para Cinco Cultivos Peruanos*. Lima.

- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (s.f). *Corporation FAO 2018*. Recuperado el 05 de 02 de 2018, de <http://www.fao.org/soils-portal/soil-management/conservacion-del-suelo/es/>
- Ospina, A. (2006). *Agroforesteria, aportes conceptuales, metodológicos y prácticos para e estudio agroforestal*. Cali.
- Palacios, W. (2017). *Árboles del Ecuador*. Quito.
- Pinalla, J., Molina, M., Briones, R., & Hernández, G. (2006). Opciones de Productos a Partir de la Madera de Acacia: Antecedentes de una Experiencia en Acacias en Chile . *UHU*, 73-92.
- Programa para la Agricultura Sostenible en Laderas de America Central. (2005). *Guía Técnica de Conservación de Suelos y Agua* . San Salvador.
- Ramírez, E. (2010). *Agroforesteria: Proyecto Río Blanco*. Cuenca.
- Raudes, M., & Sagastume , N. (2009). *Manual Conservación de Suelos*. Tegucigalpa.
- Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo. (2013). *Plan Nacional para el Buen vivir (2013 – 2017)*. Quito.
- Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo. (2017). *PLAN NACIONAL DE DESARROLLO 2017-2021*. Quito.
- Siebert , H., & Bauerle, P. (1995). Aromo australiano (Acacia menaloxylon) en Plantaciones Mixtas . *Ciencias Forestales*, 25-36.
- Suquilanda , V. (2008). *Deterioro de los Suelos en el Ecuador y la Producción Agrícola*. Quito.
- Vargas, C. (2012). *Caracterización físico químicas de suelos en plantaciones de pinus radiata en ACOSA*. Latacunga.

## CAPÍTULO VIII

### ANEXOS

#### 8.1 Anexo 1. Análisis de varianza de los Análisis químicos

##### Anexo 1.1 Potencial hidrógeno

**Tabla 1**

*Análisis de varianza de pH*

F.V.	SC	gl	CM	F		F $\alpha_{0,05}$	F $\alpha_{0,01}$
Repeticiones	0,003	4	0,001	0,860	ns	3,26	5,41
Técnicas (FA)	2,320	2	1,160	1481,410	**	3,88	6,93
Error a	0,003	2	0,002				
Especies (FB)	2,960	2	1,480	1629,560	**	3,88	6,93
FA $\times$ FB	1,630	4	0,410	448,690	**	3,26	5,41
Error b	0,010	12	0,001				
Total	6,930	26	0,000				

CV= 0,38

\*significativo al nivel del 5% de probabilidad estadística

\*\*altamente significativo al 5% de probabilidad estadística

ns no significativo al 5% de probabilidad estadística

Elaborado por: Santiago Villalba

##### Anexo 1.2 Materia orgánica

**Tabla 2**

*Análisis de varianza de contenido de Materia orgánica*

F.V.	SC	gl	CM	F		F $\alpha_{0,05}$	F $\alpha_{0,01}$
Repeticiones	0,010	4	0,003	1,360	ns	3,26	5,41
Técnicas (FA)	0,020	2	0,010	2,860	ns	3,88	6,93
Error a	0,004	2	0,002				
Especies (FB)	3,060	2	1,530	679,620	**	3,88	6,93
FA $\times$ FB	1,290	4	0,320	143,050	**	3,26	5,41
Error b	0,030	12	0,002				
Total	4,410	26	0,000				

CV= 2,51

\*significativo al nivel del 5% de probabilidad estadística

\*\*altamente significativo al 5% de probabilidad estadística

ns no significativo al 5% de probabilidad estadística

Elaborado por: Santiago Villalba

### Anexo 1.3 Nitrógeno

**Tabla 3**

*Análisis de varianza de contenido de Nitrógeno*

F.V.	SC	gl	CM	F		F $\alpha_{0,05}$	F $\alpha_{0,01}$
Repeticiones	0,001	4	0,000	3,420	*	3,26	5,41
Técnicas (FA)	0,000	2	0,000	0,150	ns	3,88	6,93
Error a	0,000	2	0,000				
Especies (FB)	0,003	2	0,002	25,170	**	3,88	6,93
FA $\times$ FB	0,003	4	0,001	10,420	**	3,26	5,41
Error b	0,001	12	0,000				
Total	0,010	26	0,000				
<b>CV= 8,75</b>							

\*significativo al nivel del 5% de probabilidad estadística

\*\*altamente significativo al 5% de probabilidad estadística

ns no significativo al 5% de probabilidad estadística

**Elaborado por:** Santiago Villalba

### Anexo 1.4 Fosforo

**Tabla 4**

*Análisis de varianza de contenido de Fosforo*

F.V.	SC	gl	CM	F		F $\alpha_{0,05}$	F $\alpha_{0,01}$
Repeticiones	0,120	4	0,030	0,710	ns	3,26	5,41
Técnicas (FA)	42,940	2	21,470	702,250	**	3,88	6,93
Error a	0,010	2	0,010				
Especies (FB)	16,580	2	8,290	192,700	**	3,88	6,93
FA $\times$ FB	13,940	4	3,480	81,000	**	3,26	5,41
Error b	0,520	12	0,040				
Total	74,100	26	0,000				
<b>CV= 2,11</b>							

\*significativo al nivel del 5% de probabilidad estadística

\*\*altamente significativo al 5% de probabilidad estadística

ns no significativo al 5% de probabilidad estadística

**Elaborado por:** Santiago Villalba



## Anexo 1.5 Potasio

**Tabla 5**

*Análisis de varianza de contenido de Potasio*

F.V.	SC	gl	CM	F		F $\alpha_{0,05}$	F $\alpha_{0,01}$
Repeticiones	0,001	4	0,000	0,460	ns	3,26	5,41
Técnicas (FA)	0,100	2	0,050	231,730	**	3,88	6,93
Error a	0,002	2	0,001				
Especies (FB)	0,070	2	0,030	72,490	**	3,88	6,93
FA $\times$ FB	0,030	4	0,010	17,810	**	3,26	5,41
Error b	0,010	12	0,000				
Total	0,200	26	0,000				

CV= 2,47

\*significativo al nivel del 5% de probabilidad estadística

\*\*altamente significativo al 5% de probabilidad estadística

ns no significativo al 5% de probabilidad estadística

**Elaborado por:** Santiago Villalba

## 8.2 Anexo 2. Análisis de varianza del Contenido de humedad

### Anexo 2.1 Contenido de humedad - Primera medición

**Tabla 1**

*Análisis de varianza del contenido de humedad – Primera medición*

F.V.	SC	GL	CM	FC		Fa0,05	Fa0,01
Repeticiones	21,28	4	5,32	1,23	ns	3,26	5,41
Técnicas (FA)	1,33	2	0,66	0,12	**	3,88	6,93
Error a	1,77	2	0,89				
Especies (FB)	6,23	2	3,11	0,72	**	3,88	6,93
FA $\times$ FB	33,44	4	8,36	1,94	**	3,26	5,41
Error b	51,81	12	4,32				
Total	115,85	26					

CV= 67,64

\*significativo al nivel del 5% de probabilidad estadística

\*\*altamente significativo al 5% de probabilidad estadística

ns no significativo al 5% de probabilidad estadística

**Elaborado por:** Santiago Villalba

## Anexo 2.2 Contenido de humedad - Segunda medición

**Tabla 2**

*Análisis de varianza del contenido de humedad – segunda medición*

<b>F.V.</b>	<b>SC</b>	<b>GL</b>	<b>CM</b>	<b>FC</b>		<b>Fa0,05</b>	<b>Fa0,01</b>
Repeticiones	2,79	4	0,7	1,14	ns	3,26	5,41
Técnicas (FA)	0,95	2	0,48	0,68	**	3,88	6,93
Error a	0,69	2	0,34				
Especies (FB)	2,53	2	1,27	2,07	**	3,88	6,93
FA × FB	6,16	4	1,54	2,52	**	3,26	5,41
Error b	7,35	12	0,61				
Total	20,48	26	0				
<b>CV= 97,11</b>							

\*significativo al nivel del 5% de probabilidad estadística

\*\*altamente significativo al 5% de probabilidad estadística

ns no significativo al 5% de probabilidad estadística

**Elaborado por:** Santiago Villalba

## Anexo 2.3 Contenido de humedad –Tercera medición

**Tabla 3**

*Análisis de varianza del contenido de humedad – tercera medición*

<b>F.V.</b>	<b>SC</b>	<b>GL</b>	<b>CM</b>	<b>FC</b>		<b>Fa0,05</b>	<b>Fa0,01</b>
Repeticiones	3,13	4	0,78	0,65	ns	3,26	5,41
Técnicas (FA)	0,77	2	0,39	0,49	**	3,88	6,93
Error a	1,45	2	0,73				
Especies (FB)	2,03	2	1,01	0,84	**	3,88	6,93
FA × FB	8,48	4	2,12	1,76	**	3,26	5,41
Error b	14,41	12	1,24				
Total	30,26	26	0				
<b>CV= 78,53</b>							

\*significativo al nivel del 5% de probabilidad estadística

\*\*altamente significativo al 5% de probabilidad estadística

ns no significativo al 5% de probabilidad estadística

**Elaborado por:** Santiago Villalba

### 8.3 Anexo 3 Cuadros generales de correlaciones

**Tabla 1**

*Análisis de correlaciones variables químicas –tratamiento camellones*

Variables		R	p-valor	Sig.
K(cmol/kg)	MO (%)	-0,52	0,1718	ns
K(cmol/kg)	N (%)	-0,63	0,0714	ns
K(cmol/kg)	P(ppm)	0,84	0,0046	**
K(cmol/kg)	pH	0,67	0,0491	*
MO (%)	N (%)	0,83	0,0060	**
MO (%)	P(ppm)	0,01	0,9822	ns
MO (%)	pH	-0,98	<0,0001	**
N (%)	MO (%)	0,83	0,0060	**
N (%)	P(ppm)	-0,24	0,5326	ns
P(ppm)	pH	0,21	0,5983	ns
pH	N (%)	-0,85	0,0036	**
pH	P(ppm)	0,21	0,5983	ns

\*significativo al nivel del 5% de probabilidad estadística

\*\*altamente significativo al 5% de probabilidad estadística

ns no significativo al 5% de probabilidad estadística

**Elaborado por:** Santiago Villalba

**Tabla 2**

*Análisis de correlaciones variables químicas –tratamiento franjas vivas*

Variables		R	p-valor	Sig.
MO (%)	K(cmol/kg)	0,96	<0,0001	**
N (%)	K(cmol/kg)	0,49	0,1811	ns
P(ppm)	K(cmol/kg)	0,79	0,0117	*
pH	K(cmol/kg)	-0,67	0,0481	*
N (%)	MO (%)	0,41	0,2826	ns
P(ppm)	MO (%)	0,79	0,0111	**
pH	MO (%)	-0,61	0,0827	ns
K(cmol/kg)	N (%)	0,49	0,1811	ns
MO (%)	N (%)	0,41	0,2826	ns
P(ppm)	N (%)	0,14	0,7131	ns
pH	N (%)	-0,12	0,8011	ns
pH	P(ppm)	-0,48	0,1896	ns

\*significativo al nivel del 5% de probabilidad estadística

\*\*altamente significativo al 5% de probabilidad estadística

ns no significativo al 5% de probabilidad estadística

**Elaborado por:** Santiago Villalba

**Tabla 3***Análisis de correlaciones variables químicas –tratamiento testigo*

Variables		R	p-valor	Sig.
MO (%)	K(cmol/kg)	-0,63	0,0688	ns
N (%)	K(cmol/kg)	-0,64	0,0644	ns
P(ppm)	K(cmol/kg)	0,87	0,0023	**
pH	K(cmol/kg)	0,72	0,0296	**
N (%)	MO (%)	0,94	0,0001	**
P(ppm)	MO (%)	-0,71	0,0321	*
pH	MO (%)	-0,98	<0,0001	**
P(ppm)	N (%)	-0,71	0,0331	*
pH	N (%)	-0,94	0,0002	**
pH	P(ppm)	0,81	0,0081	**
K(cmol/kg)	pH	0,72	0,0296	**
P(ppm)	pH	0,81	0,0081	**

\*significativo al nivel del 5% de probabilidad estadística

\*\*altamente significativo al 5% de probabilidad estadística

ns no significativo al 5% de probabilidad estadística

Elaborado por: Santiago Villalba

#### 8.4 Anexo 4 Cuadros de análisis de costos

**Tabla 1***Costos de investigación*

Materiales e insumos	Unidad	Cantidad	Costo unitario (USD)	Costo parcial (USD)
Pinturas	lata	9	2,50	22,50
Pintura en spray	lata	2	4,50	9,00
Thinner	L.	2	1,40	2,80
Brochas	u	3	3,00	9,00
Flexómetro	u	1	5,00	5,00
Calibrador	u	1	5,00	5,00
Estacas de madera de 20 cm	u	135	0,30	40,50
Estacas de madera de 1m	u	48	0,75	36,00
Letreros para los tratamientos	u	27	4,00	108,00
Pingos de madera	u	4	2,50	10,00
Letrero de simbología	u	1	40,00	40,00
Letrero de identificación del ensayo	u	1	60,00	60,00
Análisis de suelo	u	1	160,00	160,00
			<b>Sub-total</b>	<b>507,80</b>

Elaborado por: Santiago Villalba

**Tabla 2**  
*Costos de preparación del terreno*

<b>Actividad</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Costo unitario (USD)</b>	<b>Costo parcial (USD)</b>
Herbicida	frasco	1	5,31	5,31
Cal agrícola	kg	11,36	5,00	5,00
Deshierbe inicial	jornales	1	16,59	16,59
Rastrado superficial (tractor agrícola)	jornales	1	20,00	20,00
Señalización de curva a nivel	jornales	1	16,59	16,59
Sub total costos de preparación de terreno				63,49
Sub total costos de preparación de terreno por técnica de conservación				21,16
Sub total costos de preparación de terreno por tratamiento				7,05

**Elaborado por:** Santiago Villalba

**Tabla 3**  
*Costos del establecimiento y manejo de la técnica curvas a nivel con camellón*

<b>Insumos/ actividades</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Costo unitario (USD)</b>	<b>Costo parcial (USD)</b>
<i>Acacia melanoxylon</i>	Plántulas	17	0,50	8,50
<i>Caesalpinia espinosa</i>	plántulas	15	0,30	4,50
<i>Persea americana</i>	plántulas	22	3,00	66,00
Transporte de la plantas	vehículo	1	26,67	26,67
Hidrogel	kg	0,3	18,00	6,00
Elaboración de los camellones	jornales	1	16,59	16,59
Hoyado	jornales	1	16,59	16,59
Plantación y aplicación de hidrogel	jornales	1	16,59	16,59
Deshierbes	jornales	2	16,59	33,18
Subtotal actividades				115,61
Subtotal actividades por tratamiento				38,54
<b>Subtotal costos de establecimiento técnica curvas a nivel con camellón</b>				<b>194,61</b>

**Elaborado por:** Santiago Villalba

**Tabla 4***Costos del establecimiento y manejo de la técnica curvas a nivel con franjas vivas*

<b>Insumos/ actividades</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Costo unitario (USD)</b>	<b>Costo parcial (USD)</b>
<i>Acacia melanoxylon</i>	plántulas	16	0,50	8,00
<i>Caesalpinia espinosa</i>	plántulas	15	0,30	4,50
<i>Persea americana</i>	plántulas	26	3,00	78,00
Transporte de la plantas	vehículo	1	26,67	26,67
Hidrogel	kg	0,3	18,00	6,00
Elaboración de las franjas vivas	jornales	1	16,59	16,59
Hoyado	jornales	1	16,59	16,59
Plantación y aplicación de hidrogel	jornales	1	16,59	16,59
Deshierbes	jornales	2	16,59	33,18
			Subtotal actividades	115,61
			Subtotal actividades por tratamiento	38,54
<b>Subtotal costos de establecimiento técnicas curvas a nivel con franjas vivas</b>				<b>206,11</b>

**Elaborado por:** Santiago Villalba**Tabla 5***Costos del establecimiento y manejo del testigo*

<b>Insumos/ actividades</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Costo unitario (USD)</b>	<b>Costo parcial (USD)</b>
<i>Acacia melanoxylon</i>	plántulas	17	0,50	8,50
<i>Caesalpinia espinosa</i>	plántulas	15	0,30	4,50
<i>Persea americana</i>	plántulas	26	3,00	78,00
Transporte de la plantas	vehículo	1	26,67	26,67
Hidrogel	kg	0,3	18,00	6,00
Hoyado	jornales	1	16,59	16,59
Plantación y aplicación de hidrogel	jornales	1	16,59	16,59
Deshierbes	jornales	2	16,59	33,18
			Subtotal actividades	99,02
			Subtotal actividades por tratamiento	33,01
<b>Subtotal costos de establecimiento del testigo</b>				<b>190,02</b>

**Elaborado por:** Santiago Villalba

**Tabla 6***Costos tratamiento C+A (Curvas a nivel con camellón + Acacia melanoxylon)*

<b>Actividad</b>	<b>Costos (USD)</b>
Sub total costos de preparación de terreno por tratamiento	7,05
Costo de la especie establecida	8,50
Subtotal actividades por tratamiento	38,54
<b>Total</b>	<b>54,09</b>

**Elaborado por:** Santiago Villalba**Tabla 7***Costos tratamiento C+C (Curvas a nivel con camellón + Caesalpinia spinosa)*

<b>Actividad</b>	<b>Costos (USD)</b>
Sub total costos de preparación de terreno por tratamiento	7,05
Costo de la especie establecida	4,50
Subtotal actividades por tratamiento	38,54
<b>Total</b>	<b>50,09</b>

**Elaborado por:** Santiago Villalba**Tabla 8***Costos tratamiento C+P (Curvas a nivel con camellón + Persea americana)*

<b>Actividad</b>	<b>Costos (USD)</b>
Sub total costos de preparación de terreno por tratamiento	7,05
Costo de la especie establecida	66,00
Subtotal actividades por tratamiento	38,54
<b>Total</b>	<b>111,59</b>

**Elaborado por:** Santiago Villalba**Tabla 9***Costos tratamiento F+A (Curvas a nivel con franjas vivas + Acacia melanoxylon)*

<b>Actividad</b>	<b>Costos (USD)</b>
Sub total costos de preparación de terreno por tratamiento	7,05
Costo de la especie establecida	8,00
Subtotal actividades por tratamiento	38,54
<b>Total</b>	<b>53,59</b>

**Elaborado por:** Santiago Villalba

**Tabla 10***Costos tratamiento F+C (Curvas a nivel con franjas vivas + Caesalpinia spinosa)*

<b>Actividad</b>	<b>Costos (USD)</b>
Sub total costos de preparación de terreno por tratamiento	7,05
Costo de la especie establecida	4,50
Subtotal actividades por tratamiento	38,54
<b>Total</b>	<b>50,09</b>

Elaborado por: Santiago Villalba

**Tabla 11***Costos tratamiento F+P (Curvas a nivel con franjas vivas+ Persea americana)*

<b>Actividad</b>	<b>Costos (USD)</b>
Sub total costos de preparación de terreno por tratamiento	7,05
Costo de la especie establecida	78,00
Subtotal actividades por tratamiento	38,54
<b>Total</b>	<b>123,59</b>

Elaborado por: Santiago Villalba

**Tabla 12***Costos tratamiento T+A (Testigo + Acacia melanoxylon)*

<b>Actividad</b>	<b>Costos (USD)</b>
Sub total costos de preparación de terreno por tratamiento	7,05
Costo de la especie establecida	8,50
Subtotal actividades por tratamiento	33,01
<b>Total</b>	<b>48,56</b>

Elaborado por: Santiago Villalba

**Tabla 13***Costos tratamiento T+C (Testigo + Caesalpinia spinosa)*

<b>Actividad</b>	<b>Costos (USD)</b>
Sub total costos de preparación de terreno por tratamiento	7,05
Costo de la especie establecida	4,50
Subtotal actividades por tratamiento	33,01
<b>Total</b>	<b>44,56</b>

Elaborado por: Santiago Villalba



**Tabla 14***Costos tratamiento T+P (Testigo + Persea americana)*

<b>Actividad</b>	<b>Costos (USD)</b>
Sub total costos de preparación de terreno por tratamiento	7,05
Costo de la especie establecida	78,00
Subtotal actividades por tratamiento	33,01
<b>Total</b>	<b>118,06</b>

**Elaborado por:** Santiago Villalba

## 8.5 Anexo 5 Fotografías



Fotografía 1. Letrero de identificación del ensayo.



Fotografía 2. Especies forestales en la técnica de conservación curvas a nivel con franjas vivas.



**Fotografía 3.** Establecimiento de *Persea americana* en tratamiento testigo.



**Fotografía 4.** Especies forestales en la técnica de conservación curvas a nivel con camellón.



*Fotografía 5.* Elaboración de calicata (análisis de suelo).



*Fotografía 6.* Toma de muestras de suelo de calicata (análisis de suelo a distinta profundidad).



*Fotografía 7.* Muestras para análisis químico (calicata).



*Fotografía 8.* Toma de muestras de suelo para análisis de contenido de humedad.



**Fotografías 9.** Toma de muestras de suelo para análisis de contenido de humedad.



**Fotografías 10.** Formación de surcos, con arado de fuerza animal (para cada cultivo agrícola).