



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

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

**Trabajo de grado presentado como requisito para optar por el título de:
INGENIERO FORESTAL**

**“IMPLEMENTACIÓN DE TÉCNICAS CONSERVACIONISTAS CON
ESPECIES FORESTALES PARA LA RECUPERACIÓN DE CÁRCAVAS
EN LA PARROQUIA AMBUQUÍ, PROVINCIA DE IMBABURA”**

AUTORES

Cancán Ichau Edwin Edison
Pantoja Delgado Mayra Gabriela

DIRECTOR

Ing. Lenin Paspuel Revelo, MSc.

IBARRA – ECUADOR

2015

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS

AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES

CARRERA DE INGENIERÍA FORESTAL

“IMPLEMENTACIÓN DE TÉCNICAS CONSERVACIONISTAS CON
ESPECIES FORESTALES PARA LA RECUPERACIÓN DE CÁRCAVAS EN LA
PARROQUIA AMBUQUÍ, PROVINCIA DE IMBABURA”

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

INGENIERO FORESTAL

APROBADO

Ing. Lenin Paspuel Revelo, MSc.

Director de Trabajo de Grado

.....

Ing. Mario Añazco Romero, Mgs.

Tribunal de Grado

.....

Ing. María Vizcaíno Pantoja.

Tribunal de Grado

.....

Ing. María José Romero, MBA.

Tribunal de Grado

.....

Ibarra - Ecuador

2015



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 dejamos sentada nuestra voluntad de participar en este proyecto, para lo cual ponemos a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO		
Cédula de identidad:	100356288-9	
Apellidos y nombres:	Cancán Ichau Edwin Edison	
Dirección:	Angochagua Bajo	
Email:	utn1913@hotmail.com	
Teléfono fijo:	062 575 112	Teléfono móvil: 0968816706
Cédula de identidad:	040161528-1	
Apellidos y nombres:	Pantoja Delgado Mayra Gabriela	
Dirección:	Barrio El Olivo – Ibarra	
Email:	pantojagabriela18@gmail.com	
Teléfono fijo:	062 280 858	Teléfono móvil: 0990266884

DATOS DE LA OBRA	
Título:	“IMPLEMENTACIÓN DE TÉCNICAS CONSERVACIONISTAS CON ESPECIES FORESTALES PARA LA RECUPERACIÓN DE CÁRCAVAS EN LA PARROQUIA AMBUQUÍ, PROVINCIA DE IMBABURA”
Autores:	Cancán Ichau Edwin Edison Pantoja Delgado Mayra Gabriela
Fecha:	2015-12-21
Solo para trabajos de grado	
Programa:	Pregrado
Título por el que opta:	Ingeniero Forestal
Director:	Ing. Lenin Paspuel Revelo, MSc.

2. AUTORIZACIÓN DE USO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD

Nosotros, **Cancán Ichau Edwin Edison y Pantoja Delgado Mayra Gabriela**, con cédulas de ciudadanía Nro. **100356288-9** y **040161528-1** respectivamente; en calidad de autores y titulares de los derechos patrimoniales de la obra o trabajo de grado descrito anteriormente, hacemos la entrega del ejemplar respectivo en formato digital y autorizamos 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

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


Ibarra, 21 de diciembre de 2015.

LOS AUTORES:

ACEPTACIÓN:



.....
Cancán Ichau Edwin Edison
C.I.: 100356288-9



.....
Pantora Delgado Mayra Gabriela
C.I.: 040161528-1



.....
Ing. Betty Chávez
JEFE DE BIBLIOTECA




UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

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

Nosotros, **Cancán Ichau Edwin Edison y Pantoja Delgado Mayra Gabriela**, con cédulas de ciudadanía Nro. **100356288-9** y **040161528-1** respectivamente; manifestamos 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 autores de la obra o trabajo de grado denominada: **"IMPLEMENTACIÓN DE TÉCNICAS CONSERVACIONISTAS CON ESPECIES FORESTALES PARA LA RECUPERACIÓN DE CÁRCAVAS EN LA PARROQUIA AMBUQUÍ, PROVINCIA DE IMBABURA"**, que ha sido desarrollada 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 nuestra condición de autores nos reservamos los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia suscribimos este documento en el momento que hacemos entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Técnica del Norte.


.....
Cancán Ichau Edwin Edison

C.I.: 100356288-9


.....
Pantoja Delgado Mayra Gabriela

C.I.: 040161528-1

Ibarra, a los 21 días del mes de diciembre de 2015

REGISTRO BIBLIOGRÁFICO

Guía: FICAYA -UTN

Fecha: 21 de diciembre de 2015

Cancán Ichau Edwin Edison - Pantoja Delgado Mayra Gabriela

“Implementación de técnicas conservacionistas con especies forestales para la recuperación de cárcavas en la parroquia Ambuquí, provincia de Imbabura” / TRABAJO DE GRADO. Ingeniero Forestal.

Universidad Técnica del Norte. Carrera de Ingeniería Forestal Ibarra, 21 de diciembre de 2015. 128 páginas.

DIRECTOR: Ing. Lenin Paspuel Revelo, MSc.

El objetivo General de la presente investigación fue:

- Evaluar las técnicas conservacionistas en su fase inicial para la recuperación de cárcavas.

Entre los objetivos específicos se encuentran:

- Determinar el comportamiento inicial de las especies forestales en estudio,
- Evaluar la erosión superficial, Determinar el nivel de recuperación de las cárcavas, y
- Calcular los costos de implementación de las técnicas conservacionistas.

Fecha: 21 de diciembre de 2015

.....
Ing. Lenin Paspuel Revelo, MSc.

Director de Trabajo de Grado

.....
Cancán Ichau Edwin Edison

Autor

.....
Pantoja Delgado Mayra Gabriela

Autora

DEDICATORIAS

A mi familia, especialmente a mis padres quienes han creído en mi superación personal y que mi triunfo hoy sea su triunfo.

Edison C.

Con mucho cariño, dedico este trabajo a mis padres: Marina Delgado y Guillermo Pantoja, quienes han sido siempre una fuente inagotable de amor y apoyo incondicional.

Gabriela Pantoja Delgado

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por brindarme la oportunidad de llegar a esta etapa de mis estudios, bendecirme en todo momento con infinita sabiduría. A mis padres, Tarquino Cancán Gómez y María Hermelinda Ichau que con su esfuerzo y respaldo han sido un ejemplo para escalar y alcanzar mis metas.

A mis hermanos David y Anderson, por su incondicional apoyo y quienes a través del tiempo me brindaron su ayuda, cariño y comprensión. A toda mi familia y amigos que de algún modo colaboraron para este logro de mi vida.

Un especial agradecimiento al Ing. Lenin Paspuel Revelo, por contribuir en mi formación como profesional, brindándome su oportuna atención y conocimientos para la elaboración de mi tesis de grado.

Edison C.

Agradezco en primera instancia a Dios, por darme la oportunidad de llegar a cumplir una de las metas más importantes de mi vida, con la fortaleza y sensatez necesarias para seguir adelante cada día.

*A mis amados padres, **Marina Delgado** y **Guillermo Pantoja**, quienes con su amor, apoyo incondicional, responsabilidad y firmeza, han sido la guía e inspiración más importante en mi vida para cumplir este sueño.*

*A mi hermano **Sergio Castro Delgado** y a toda mi familia y amigos, por su apoyo y palabras de bondad y cariño en el transcurso de mi vida y la obtención de este logro.*

A mis abuelitos que cuando estuvieron presentes y ahora en su gloria, fueron mi ejemplo de persistencia y superación.

*Al Ing. **Lenín Paspuel Revelo**, que en papel de director de tesis me ha brindado su apoyo incondicional en mi formación académica y en el desarrollo de mi trabajo de grado.*

Gabriela Pantoja Delgado

A nuestros asesores: Ing. Mario Añazco Romero, Ing. María Vizcaíno, Ing. María José Romero, así como también a los supervisores del proyecto Prometeo Dra. Ingrid Martínez, PhD., Dr. Jorge Luis Cué, y al Ing. Carlos Arcos, quienes con sus acertadas sugerencias, aportes, experiencia y conocimiento permitieron que éste trabajo culmine con éxito.

A la Municipalidad de Ibarra, por facilitarnos el campo experimental y por su valioso apoyo durante el desarrollo de la investigación.

Los Autores.

**TITULO: “IMPLEMENTACIÓN DE TÉCNICAS CONSERVACIONISTAS
CON ESPECIES FORESTALES PARA LA RECUPERACIÓN
DE CÁRCAVAS EN LA PARROQUIA AMBUQUÍ,
PROVINCIA DE IMBABURA”**

Autores: Cancán Ichau Edwin Edison
Pantoja Delgado Mayra Gabriela

Director de trabajo de grado: Ing. Lenin Paspuel Revelo, MSc.

Año: 2015

RESUMEN

La presente investigación se realizó en la parroquia Ambuquí, provincia de Imbabura, en el área contigua al Relleno Sanitario San Alfonso del cantón Ibarra. En una superficie de 0,6 ha, se implementaron dos técnicas conservacionistas con especies forestales: Árboles en curvas a nivel (Técnica 1) y Franjas vivas con Guarango (*Caesalpinia spinosa*) y pasto (*Calamagrostis spp.*) en cárcavas (Técnica 2). Para la Técnica 1 se tomaron en cuenta tres especies forestales nativas del sector: *Schinus molle* (T1), *Caesalpinia spinosa* (T2) y *Vachellia macracantha* (T3), las cuales se establecieron en cuatro bloques diferentes, siguiendo las curvas a nivel. Para la Técnica 2, se utilizó la especie *Caesalpinia spinosa*, misma que se asoció con pasto nativo del sector dentro de las tres cárcavas del ensayo, formando una franja viva. En el establecimiento de las especies forestales se utilizó 7g de hidrogel, 1kg de materia orgánica de bovino y 1 litro de agua para cada planta. Dentro del área de investigación, además se instalaron nueve parcelas de clavos de erosión y tres fuera de ella, con el fin de evaluar el movimiento del suelo superficial provocado principalmente por acción de los factores climáticos durante 12 meses de investigación. Finalmente, se instalaron nueve clavos de erosión en cada cárcava, con el objetivo de estimar el movimiento del suelo hacia el interior de las mismas. Transcurridos los 12 meses, se observó que la Técnica 1 presentó mejores resultados para la recuperación de cárcavas; dentro de ésta, la especie *Schinus molle* presentó el mejor incremento en altura total y diámetro basal con 12,1cm y 2,88 mm respectivamente. *Vachellia macracantha* fue la especie que se adaptó mejor a las condiciones del sitio, presentando el 98,08% de sobrevivencia y el 62,75% de individuos ubicados dentro de la mejor categoría (Categoría 3). Con respecto a las parcelas de clavos de erosión implementadas dentro de los tratamientos, se calculó 32,7 ton/ha/año de erosión, mientras los clavos medidores de erosión implementados dentro de las cárcavas, determinaron 74,7 ton/ha/año de sedimentación en promedio. Los costos de implementación de la Técnica 1 alcanzaron los 2555,30 USD/ha, mientras que la Técnica 2 costó 1285,75 USD/ha.

TITLE: "TECHNICAL IMPLEMENTATION OF CONSERVATION WITH FOREST SPECIES AND RETRIEVAL IN VALLEY IN AMBUQUÍ PARISH, IMBABURA - ECUADOR"

Authors: Cancán Ichau Edwin Edison
Pantoja Delgado Mayra Gabriela

Director of graduate work: Ing. Lenin Paspuel Revelo, MSc.

Year: 2015

SUMMARY

This investigation took place in the parish of Ambuquí in Imbabura province, in the landfill that is adjacent to San Alfonso in Ibarra Canton. In an area of 0.6 ha, where two techniques were implemented by using conservation forest species: trees in contour lines (Technique 1) and vivid stripes with *Caesalpinia spinosa* and native grass (*Calamagrostis spp.*) (Technique 2). For the technique 1, it was considered three native forestry species in the sector: *Schinus molle* (T1), *Caesalpinia spinosa* (T2) and *Vachellia macracantha* (T3), they were established in four different blocks, following the contour lines. For the technique 2, it was used the *Caesalpinia spinosa* specie, the same that are associated with native grass industry within three trial gullies, forming a live band. In the establishment, from the forestry species, it was used 7g hydrogel, 1 kg of organic matter from cattle and 1 liter of water for each plant. In the area of research, nine plots erosion nails were installed and three outside from it, in order to assess the movement of topsoil that is caused mainly by the action of the elements during the 12 months of investigation. Finally, nine nails in each gully erosion were installed, in order to estimate the motion of the ground into the same. After 12 months, it could be observed that the Technique 1 showed better results to the recovery of gullies; within it, the specie *Schinus molle* showed the best increase in overall height and basal diameter 12.1 cm and 2.88 mm respectively. *Vachellia macracantha* was one of the species that had the best adaption to the location conditions, introducing survival 98.08% and 62.75% of individuals located in the best category (Category 3). Regarding to the plots in the erosion nails implemented within the treatments, it was estimated that 32.7 ton / ha / year of erosion, while erosion nails meters implemented gullies, determined 74.7 t / ha / year sedimentation on an average. The implementation costs for the Technique 1 totaled \$ 2,555.30 / ha, while the Technical 2 the cost was \$ 1,285.75 / ha.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

	Págs.
CAPÍTULO I	1
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 OBJETIVOS	2
1.1.1 General.....	2
1.1.2 Específicos.....	2
1.2 HIPÓTESIS	2
1.2.1 Nula	2
1.2.2 Alternativa	2
CAPÍTULO II	3
2. MARCO TEÓRICO	3
2.1 FUNDAMENTACIÓN LEGAL	3
2.1.1 Línea de investigación	3
2.2 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	4
2.2.1 El suelo	4
2.2.1.1 Definición	4
2.2.1.2 Formación.....	4
2.2.1.3 Propiedades Físicas.....	5
2.2.1.4 Propiedades Químicas	7
2.2.1.5 Funciones e importancia.....	8
2.2.1.6 Degradación del suelo	9
2.2.2 Erosión del suelo	9

2.2.2.1	Erodabilidad y Erosividad	10
2.2.2.2	Factores que promueven la erosión	11
2.2.2.3	Impactos de la erosión	12
2.2.2.4	Tipos de erosión.....	12
2.2.2.4.1	Erosión eólica.....	12
2.2.2.4.2	Erosión por gravedad	13
2.2.2.4.3	Erosión antrópica	14
2.2.2.4.4	Erosión hídrica	14
2.2.2.5	Medidores de erosión.....	18
2.2.2.5.1	Modelos de evaluación indirecta.....	19
2.2.2.5.2	Modelos de evaluación directa.....	20
2.2.2.6	Grados de erosión	23
2.2.3	Conservación de suelos	24
2.2.3.1	Técnicas conservacionistas para la recuperación de suelo	25
2.2.3.2	Selección de técnicas conservacionistas.....	27
2.2.4.2.1	Técnicas vegetativas.....	28
2.2.4	Bosque seco tropical.....	29
2.2.5	Descripción botánica de las especies forestales	30
2.2.5.1	Guarango	30
2.2.5.2	Espino	35
2.2.5.3	Molle.....	37
2.2.6	Retenedores de agua	38
2.2.6.1	Origen y definición.....	38
2.2.6.2	Ventajas	39
2.2.6.3	Dosificación.....	39

CAPÍTULO III	40
3. MATERIALES Y MÉTODOS	40
3.1 UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO	40
3.2 ASPECTOS BIOFÍSICOS DEL SITIO DE ESTUDIO	40
3.2.1 Clima y vegetación	40
3.3 MATERIALES	40
3.4 METODOLOGÍA	41
3.4.1 Reconocimiento del sitio de ensayo	41
3.4.2 Delimitación del área de estudio	42
3.4.3 Técnicas a implementarse.....	42
3.4.3.1 Técnica 1: Árboles en curvas a nivel.....	42
3.4.3.1.1 Trazado de curvas a nivel.....	42
3.4.3.1.2 Hoyado	43
3.4.3.1.3 Plantación.....	43
3.4.3.1.4 Colocación de estacas referenciales	43
3.4.3.1.5 Instalación de parcelas de clavos de erosión.....	43
3.4.3.1.6 Toma de mediciones	44
3.4.3.2 Técnica 2: Franjas vivas de Guarango y pasto en cárcavas.....	46
3.4.3.2.1 Hoyado	46
3.4.3.2.2 Plantación.....	46
3.4.3.2.3 Colocación de estacas referenciales	47
3.4.3.2.4 Instalación de clavos de erosión.....	47
3.4.3.2.5 Toma de datos	47
3.4.3.2.6 Toma de muestras de suelo	48
3.4.4 Diseño Experimental	48
3.4.4.1 Modelo estadístico.....	48
3.4.4.2 Tratamientos en estudio.....	49
3.4.4.3 Prueba de rango múltiple.....	49

3.4.4.4	Características del ensayo.....	49
3.4.5	Determinación de costos de implementación de las Técnicas Conservacionistas.....	49
3.4.6	Análisis de la información.....	50
3.4.6.1	Análisis de las variables forestales	50
3.4.6.2	Análisis de las variables edáficas	50

CAPÍTULO IV 51

4. RESULTADOS 51

4.1 VARIABLES FORESTALES..... 51

4.1.1	Sobrevivencia	51
4.1.1.1	Técnica 1: Árboles en curvas a nivel.....	51
4.1.1.2	Técnica 2: Franjas vivas con Guarango y pasto en cárcavas.....	52
4.1.2	Estado Fitosanitario	53
4.1.2.1	Técnica 1: Árboles en curvas a nivel.....	53
4.1.2.1.1	60 Vs. 360 días.....	53
4.1.2.2	Técnica 2: Franjas vivas con Guarango y pasto en cárcavas.....	54
4.1.3	Altura Total (cm).....	55
4.1.3.1	Técnica 1: Árboles en curvas a nivel.....	55
4.1.3.1.1	Tratamiento 1: Schinus molle	56
4.1.3.1.2	Tratamiento 2: Caesalpinia spinosa	57
4.1.3.1.3	Tratamiento 3: Vachellia macracantha.....	58
4.1.3.2	Técnica 2: Franjas vivas con Guarango y pasto en cárcavas.....	59
4.1.4	Diámetro basal (mm).....	60
4.1.4.1	Técnica 1: Árboles en curvas a nivel.....	60
4.1.4.1.1	Tratamiento 1: Schinus molle	61

4.1.4.1.2	Tratamiento 2: Caesalpinia spinosa	62
4.1.4.1.3	Tratamiento 3: Vachellia macracantha.....	63
4.1.4.2	Técnica 2: Franjas vivas con Guarango y pasto en cárcavas.....	64
4.1.5	Análisis de Correlación de las especies forestales.....	65
4.2	VARIABLES EDÁFICAS	66
4.2.1	Parcelas de clavos de erosión	66
4.2.2	Medidores de erosión en cárcavas	67
4.2.3	Muestras de suelo	68
4.2.3.1	Composición Química del suelo.....	68
4.3	COMPROBACIÓN DE HIPÓTESIS	69
4.4	COSTOS DE IMPLEMENTACION DE LAS TÉCNICAS CONSERVACIONISTAS	70
CAPÍTULO V	71
5. DISCUSIÓN	71
5.1 VARIABLES FORESTALES	71
5.2 VARIABLES EDÁFICAS	72
CAPÍTULO VI	74
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	74
6.1 CONCLUSIONES	74
6.2 RECOMENDACIONES	75
6.2.1	Especies forestales	75
6.2.2	Suelo	76

CAPÍTULO VII	77
7. BIBLIOGRAFÍA	77
CAPÍTULO VIII	82
8. ANEXOS	82
8.1 ANEXO 1	82
Tablas 82	
8.2 ANEXO 2	91
Figuras 91	
8.3 ANEXO 3	95
Fotografías.....	95

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Grados de erosión considerando la movilización anual de suelo.....	24
Tabla 2. Materiales, instrumentos e insumos utilizados durante el ensayo.....	41
Tabla 3. Criterios de sanidad de las plantas	45
Tabla 4. Diseño experimental aplicado a la investigación.....	48
Tabla 5. Tratamientos de la <i>Técnica 1</i> . Árboles en curvas a nivel.....	49
Tabla 6. Supervivencia de las especies forestales de la <i>Técnica 1</i>	51
Tabla 7. Supervivencia de <i>Caesalpinia spinosa</i> de la <i>Técnica 2</i>	52
Tabla 8. ADEVA – Incremento en altura total de las especies forestales.....	55
Tabla 9. Prueba de medias del incremento en altura total de las especies en estudio.....	55
Tabla 10. Incremento en altura (cm) del T1 (<i>Schinus molle</i>).....	56
Tabla 11. Incremento en altura total (cm) del T2 (<i>Caesalpinia spinosa</i>)	57
Tabla 12. Incremento en altura (cm) del T3 (<i>Vachellia macracantha</i>).....	58

Tabla 13. Incremento en altura (cm) de la especie de <i>Caesalpinia spinosa</i> en las tres cárcavas.	59
Tabla 14. ADEVA – Incremento en diámetro basal de las especies forestales. ..	60
Tabla 15. Prueba de medias del incremento en diámetro basal de las especies forestales.	60
Tabla 16. Incremento en diámetro basal (mm) del T1 – (<i>Schinus molle</i>)	61
Tabla 17. Incremento en milímetros del T2 – (<i>Caesalpinia spinosa</i>).....	62
Tabla 18. Incremento en milímetros del T3 (<i>Vachellia macracantha</i>).....	63
Tabla 19. Incremento en milímetros de <i>Caesalpinia spinosa</i> en las tres cárcavas.	64
Tabla 20. Análisis de Correlación de las variables altura total y diámetro basal de las especies forestales de la <i>Técnica 1</i>	65
Tabla 21. Proceso erosivo de las redes de clavos de erosión.	66
Tabla 22. Proceso erosivo de los clavos medidores de erosión en cárcavas.....	67
Tabla 24. Costos de implementación de la Técnica 1: Árboles en curvas a nivel.	82
Tabla 25. Costos de implementación de la Técnica 2: Franjas vivas de Guarango y pasto en Cárcavas.....	83
Tabla 26. ADEVA de la variable Altura Total (60 días – mayo).....	84
Tabla 27. Prueba de medias de la variable Altura Total (60 días – MARZO)....	84
Tabla 28. ADEVA de la variable Altura Total (120 días – mayo).....	84
Tabla 29. Prueba de medias de la variable Altura Total (120 días – mayo)	84
Tabla 30. ADEVA de la variable Altura Total (180 días – julio).....	85
Tabla 31. Prueba de medias de la variable Altura Total (180 días – julio).....	85
Tabla 32. ADEVA de la variable Altura Total (240 días – septiembre).....	85
Tabla 33. Prueba de medias de la variable Altura Total (240 días – septiembre) 85	
Tabla 34. ADEVA de la variable Altura Total (300 días – noviembre)	86
Tabla 35. Prueba de medias de la variable Altura Total (300 días – noviembre) 86	
Tabla 36. ADEVA de la variable Altura Total (360 días – enero).....	86
Tabla 37. Prueba de medias de la variable Altura Total (360 días – enero)	86
Tabla 38. ADEVA de la variable Diámetro Basal (60 días – marzo).....	87
Tabla 39. Prueba de medias de la variable Diámetro Basal (60 días – marzo)....	87

Tabla 40. ADEVA de la variable Diámetro Basal (120 días – mayo)	87
Tabla 41. Prueba de medias de la variable Diámetro Basal (120 días – mayo) ...	87
Tabla 42. ADEVA de la variable Diámetro Basal (180 días – julio).....	88
Tabla 43. Prueba de medias de la variable Diámetro Basal (180 días – julio)....	88
Tabla 44. ADEVA de la variable Diámetro Basal (240 días – septiembre).....	88
Tabla 45. Prueba de medias de la variable Diámetro Basal (240 días - septiembre)	88
Tabla 46. ADEVA de la variable Diámetro Basal (300 días - noviembre).....	89
Tabla 47. Prueba de medias de la variable Diámetro Basal (300 días - noviembre)	89
Tabla 48. ADEVA de la variable Diámetro Basal (360 días - enero).....	89
Tabla 49. Prueba de medias de la variable Diámetro Basal (360 días - enero)....	89
Tabla 50. ADEVA (mayo)	90
Tabla 51. ADEVA (julio).....	90
Tabla 52. ADEVA (septiembre).....	90
Tabla 53. ADEVA (noviembre)	90
Tabla 54. ADEVA (enero)	90

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Porcentaje de sobrevivencia de la <i>Técnica 1</i>	52
Gráfico 2. Sobrevivencia de <i>Caesalpinia spinosa</i> de la <i>Técnica 2</i>	53
Gráfico 3. Estado fitosanitario de los Tratamientos (60 Vs. 360 días).	53
Gráfico 4. Estado fitosanitario total de <i>Caesalpinia spinosa</i> de la <i>Técnica 2</i>	54
Gráfico 5. Incremento promedio en altura total del Tratamiento 1 (<i>Schinus molle</i>).	56
Gráfico 6. Incremento promedio en altura total del Tratamiento 2 (<i>Caesalpinia spinosa</i>).	57
Gráfico 7. Incremento promedio en altura total del Tratamiento 3 (<i>Vachellia macracantha</i>).	58
Gráfico 8. Incremento en altura total de <i>Caesalpinia spinosa</i> en Cárcavas – <i>Técnica 2</i>	59

Gráfico 9. Incremento promedio en diámetro basal del Tratamiento 1 (<i>Schinus molle</i>).....	61
Gráfico 10. Incremento promedio en diámetro basal del Tratamiento 2 (<i>Caesalpinia spinosa</i>).....	62
Gráfico 11. Incremento promedio en diámetro basal del Tratamiento 3 (<i>Vachellia macracantha</i>).....	63
Gráfico 12. Diámetro basal promedio de <i>Caesalpinia spinosa</i> en Cárcavas – Técnica 2.....	64
Gráfico 13, 14 y 15. Análisis de Correlación de las especies Forestales de la Técnica 1.....	65
Gráfico 16. Erosión superficial del suelo (ton/ha/año)	66
Gráfico 17. Sedimentación (ton/ha/año)	67
Gráfico 18. Macro y micronutrientes: Tratamientos y Testigo (ppm).....	69
Gráfico 19. Porcentaje de sobrevivencia de las dos Técnicas.....	70

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de ubicación del ensayo. Relleno Sanitario San Alfonso, parroquia Ambuquí, provincia de Imbabura.....	91
Figura 2. Mapa general del ensayo (croquis).....	92
Figura 3. Reporte de análisis de suelos macro y micro nutrientes (INIAP).....	93
Figura 4. Reporte de análisis de suelos clase textual del suelo (INIAP).	94

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

Foto 1. Letrero de identificación del ensayo.....	95
Foto 2. Cerramiento del área de investigación.....	95
Foto 3. Hidrogel sin hidratar (7g).....	96
Foto 4. Hidratación del hidrogel.....	96
Foto 5. Colocación del hidrogel hidratado en el hoyo.....	97
Foto 6. Incorporación de materia orgánica en el hoyo.....	97

Foto 7. Plantación de las especies forestales.	98
Foto 8. Riego con 1 litro de agua.....	98
Foto 9. Planta con hidrogel, materia orgánica y riego.	99
Foto 10. Estaca referencial numerada para mediciones.....	99
Foto 11. Establecimiento del pasto en cárcavas.	100
Foto 12. Instalación de clavos de erosión.....	100
Foto 13. Parcela de clavos de erosión.....	101
Foto 14. Medición altura total.	101
Foto 15. Medición diámetro basal.	102
Foto 16 y Foto 17. Medición de clavos de erosión.	102
Foto 18 y Foto 19. Estado de Guarango en meses secos vs lluviosos.....	103
Foto 20. Estimación de cobertura vegetal en el interior de las parcelas de clavos de erosión.	103
Foto 21. Toma de muestras de suelo.	104
Foto 22 y Foto 23. Pluviómetro instalado en San Clemente, parroquia Ambuquí.	104
Foto 24. Recopilación de datos de precipitaciones. Srta. Gabriela Pantoja (Tesisista), Sr. Reinaldo Rivera (Operador pluviómetro), Ing. Lenin Paspuel Revelo (Director Tesis).	105
Foto 25. Recopilación de datos de precipitaciones. Ing. Lenin Paspuel Revelo (Director Tesis), Sr. Reinaldo Rivera (Operador pluviómetro), Sr. Edison Cancán (Tesisista).....	105

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN

La erosión del suelo, es concebida como un proceso natural donde las partículas de la superficie del suelo son removidas por el agua, el viento o la labranza. (FAO, 2000). En la actualidad, la erosión ha adquirido una gran dimensión y se considera uno de los principales problemas ambientales a nivel mundial. La erosión está relacionada directamente con la pobreza y marginalidad de la población, ya que las implicaciones económicas de este fenómeno son directas para el agricultor por la pérdida de la productividad de sus terrenos erosionados; e indirectas o externas, por el perjuicio que pueden producir para el desarrollo de los recursos hídricos por la sedimentación y contaminación en obras de riego y represas. En Ecuador el 47,9% de la superficie también se ve afectado por problemas de erosión, siendo Manabí, Chimborazo y Loja las más perjudicadas y que a su vez, presentan índices muy altos de pobreza. (MAE, 2000)

En la parroquia Ambuquí, provincia de Imbabura, sector del Relleno Sanitario San Alfonso, gran parte de los suelos presentan altos grados erosivos debido, principalmente a la intensidad de las precipitaciones, pendiente pronunciada y escasa cobertura vegetal. La suma de estos factores da lugar a la formación de cárcavas de diferentes tamaños y amplitudes, siendo éstas uno de los niveles más altos de degradación del suelo.

El presente estudio, da inicio a un proceso de recuperación de los suelos del sector, mediante el establecimiento de obras biológicas, utilizando especies forestales nativas de la zona, entre ellas: *Schinus molle* (molle), *Caesalpinia spinosa* (guarango) y *Vachellia macracantha* (espino), que brindarán a largo plazo un sinnúmero de beneficios al suelo, como: aporte de nitrógeno, biomasa, retención de sedimentos, mejoramiento de la belleza escénica, entre otros.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 General

Evaluar las técnicas conservacionistas en su fase inicial para la recuperación de cárcavas.

1.1.2 Específicos

- Determinar el comportamiento inicial de las especies forestales en estudio.
- Evaluar la erosión superficial.
- Determinar el nivel de recuperación de las cárcavas.
- Calcular los costos de implementación de las técnicas conservacionistas.

1.2 HIPÓTESIS

1.2.1 Nula

Ninguna de las técnicas conservacionistas implementadas presenta algún efecto favorable en relación a la recuperación de cárcavas.

$$H_0 = \mu_1 = \mu_2$$

1.2.2 Alternativa

Al menos una de las técnicas conservacionistas implementadas presenta algún efecto favorable en relación a la recuperación de cárcavas.

$$H_a = \mu_1 \neq \mu_2$$

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1 FUNDAMENTACIÓN LEGAL

2.1.1 Línea de investigación

El presente estudio está enmarcado en la línea de investigación “producción y protección sustentable de los recursos forestales”, misma que está sustentada en el Plan Nacional para el Buen Vivir (PNBV) 2013-2017 en los siguientes objetivos:

Objetivo 3: 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.

Objetivo 7: Garantizar los derechos de la naturaleza y promover la sostenibilidad ambiental, territorial y global. **Política y Lineamiento estratégico 7.3.** Consolidar la gestión sostenible de los bosques, enmarcada en el modelo de gobernanza forestal; **Literal a)** Desarrollar actividades de forestación, reforestación y revegetación con especies nativas y adaptadas a las zonas afectadas por procesos de deforestación, degradación, fragmentación, erosión, desertificación e incendios forestales;

Objetivo 10: Impulsar la transformación de la matriz productiva. **Política y Lineamiento Estratégico 10.4.** Impulsar la producción y la productividad de forma sostenible y sustentable, fomentar la inclusión y redistribuir los factores y recursos de la producción en el sector agropecuario, acuícola y pesquero; **Literal g)** Impulsar la democratización social y ambientalmente responsable del acceso a la tierra, su uso eficiente, productivo y rentable en los procesos productivos, con

mecanismos para una inserción sostenible en el mercado, aplicando estrategias diferenciadas de acuerdo a las realidades territoriales.

2.2 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.2.1 El suelo

2.2.1.1 Definición

El suelo es la capa compuesta de materiales orgánicos y minerales que cubren la superficie terrestre, siendo un medio de crecimiento para las plantas inferiores y superiores, tiene diversas propiedades como: textura, estructura, acidez, entre otras, las cuales influyen en la producción de plantas. (Raudes & Sagastume, 2009)

El suelo es un sistema abierto, dinámico, constituido por tres componentes principales: el sólido, está formado por los componentes orgánicos e inorgánicos que dejan espacios entre sí. El volumen de los huecos está constituida por agua y aire, los mismos que se presentan en diferentes proporciones determinando características cualitativas distintas para cada tipo de suelo.

2.2.1.2 Formación

Se definen cinco factores principales que influyen en la formación de los suelos: el clima (precipitaciones, temperatura y viento), los organismos vivos, el relieve, la roca madre originaria y el tiempo transcurrido. A estos factores se le puede agregar la intervención del hombre, que con sus actividades en la mayoría de ocasiones alteran los recursos naturales, influyendo más que en la formación de los suelos, en su destrucción.

La *parte orgánica* de suelo está conformada por sustancia vivas y muertas, se incluyen raíces de plantas, hongos, algas bacterias, larvas e insectos, roedores, etc., siendo estos muy importantes en la retención de humedad y nutrientes. La *parte líquida* del suelo consiste en agua transportando minerales y debido a esto se hace posible la absorción de las plantas por medio de sus raíces. La *parte gaseosa* del suelo es muy importante para la función adecuada de las plantas y microorganismos que actúan en la formación del suelo, necesitan de cantidades variables de oxígeno proveniente del aire para su existencia.

La meteorización es el proceso en el cual el manto rocoso se desintegra dando origen al suelo, este proceso se ve influenciado por fuerzas externas que actúan sobre el manto rocoso, pudiendo ser: físico, químico o biológico. (Arévalo & Gauggel, 2009).

2.2.1.3 Propiedades Físicas

a) Textura

La textura se refiere al tamaño de las partículas minerales del suelo, llamados separados contextuales: arena, limo y arcilla. Los materiales minerales se encuentran en diferentes proporciones en el suelo lo que determina la textura del mismo y siendo importante para la correcta adaptación de las prácticas conservacionistas con especies vegetales, ya que cada especie se adaptan mejor en condiciones donde su crecimiento se vea favorecido por una determinada textura.

b) Estructura

La estructura del suelo no es más que la forma en que se agregan las partículas de suelo. Según los tipos de estructura los suelos pueden ser: laminar, prismático, en bloque, y esferoidales, para el suelo que no tiene agregación definida se lo denomina de granos individuales y/o masivos.

La estructura del suelo define directamente la capacidad de infiltración y la escorrentía del agua. En suelos con baja capacidad de infiltración se necesitan prácticas más fuertes para el control de la escorrentía. Para poder determinar cualquier práctica promisoría de conservación de suelos es necesario conocer la capacidad de infiltración terreno donde se van a realizar las obras de conservación. Los factores que influyen en este parámetro son el uso del suelo, el manejo, la cantidad de materia orgánica y la actividad biológica.

c) Densidad aparente

La densidad aparente del suelo es la relación de la masa de las partículas de suelo seco con el volumen combinado de las partículas y los poros. Se expresa en g/cm^3 o t/m^3 . La densidad de los suelos está relacionada con otras características de los suelos. Por ejemplo, los suelos arenosos de baja porosidad tienen una mayor densidad (1,2 a 1, g/cm^3) que los suelos arcillosos (1,0 a 1,6 g/cm^3) los cuales tienen un mayor volumen de espacio de poros.

La materia orgánica tiende a reducir la densidad suelo/masa debido a su propia baja densidad y a la estabilización de la estructura del suelo que resulta en mayor porosidad. La compactación causada por el uso inadecuado de equipos agrícolas, por el tráfico frecuente o pesado o por el pobre manejo del suelo puede aumentar la densidad del suelo de los horizontes superficiales a valores que pueden llegar a 2 g/cm^3 . La densidad de los suelos a menudo es usada como un indicador de la compactación.

d) Profundidad efectiva

La profundidad efectiva del suelo es la distancia o longitud desde la superficie hasta la capa de roca madre, donde la raíz de las planta puede crecer y desarrollarse fisiológicamente.

Los suelos con una profundidad inferior a los 30 cm se denominan superficiales, los suelos que tienen la profundidad entre 30-60 cm se denominan moderadamente profundos y los suelos con más de 60 cm son profundos. (Arévalo & Gauggel, 2008).

Las áreas con suelos delgados o demasiado superficiales (suelos con profundidad efectiva de 10 a 30 cm, y usualmente con afloramientos rocosos) se delimitan agroecológicamente como reservas protectoras del ambiente edáfico. Las políticas de conservación están dirigidas a este tipo de suelos con predominio de pendientes escarpadas y con reducida precipitación.

e) Pedregosidad y rocosidad

La pedregosidad se presenta en o sobre el suelo con piedras sueltas mayores a 25 cm de diámetro y la rocosidad es la relativa exposición del manto rocoso firme donde descansa el suelo, ya sea en afloramientos rocosos o manchas de suelo muy delgado para uso, sobre suelo rocoso.

Tanto la pedregosidad como la rocosidad en muchos lugares constituye el criterio de separación entre terrenos cultivables y no cultivables, esto considerando que existe un exceso de roca (mayor a 20% del volumen del suelo), se produce la disminución del espacio disponible para el desarrollo de las raíces y la cantidad de agua en el suelo es reducida.

2.2.1.4 Propiedades Químicas

Las propiedades químicas del suelo son de vital importancia ya que se refieren a las condiciones suelo - planta, la capacidad y disponibilidad de agua y nutrientes para las plantas y microorganismos.

a) Nutrientes

La disponibilidad de los nutrientes es fundamental para el desarrollo de los cultivos. El contenido de nutrimentos del suelo depende del material y el proceso de formación del suelo, el contenido del material original del suelo, de la intensidad de la lixiviación y la erosión, de la absorción de los nutrimentos por parte de los cultivos. (Parreño, 2007).

b) Materia orgánica

La materia orgánica modifica las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos. Dentro de las propiedades físicas, tiene un efecto positivo sobre la estructura del suelo mediante la formación de agregados estables, el aumento de la capacidad de retención de agua y la mejora del intercambio de gases y del drenaje.

c) Potencial Hidrógeno (pH)

El pH del suelo es una medida de la acidez o alcalinidad de un suelo, y afecta la disponibilidad de los nutrientes, la actividad de microorganismos y la solubilidad de minerales del suelo.

2.2.1.5 Funciones e importancia

El suelo es la capa superficial de tierra donde se desarrollan las plantas. El crecen todas las especies vegetales: los cultivos, las empastadas, los árboles y los arbustos. Es la fuente de nutrientes y agua, indispensables para el crecimiento de cualquier planta. Por lo tanto, la vida del hombre y de los animales depende de las plantas y esta sería imposible si no existiera suelo. El suelo es un recurso natural de vital importancia, que debe ser usado con especial cuidado porque es frágil y puede deteriorarse rápidamente.

El conocimiento de las características de los suelos, en lo referente a la conservación y susceptibilidad de los suelos a la erosión, no está relacionado con clasificaciones taxonómicas de estos, sino que, lo más importante, es poder realizar clasificaciones interpretativas de uso de la tierra, derivadas del análisis crítica y profesional de sus características. (INIA, 2003).

2.2.1.6 Degradación del suelo

La degradación del suelo puede ser definida como la pérdida de la calidad de la estructura del suelo. Esa degradación estructural puede ser observada tanto en la superficie, con el surgimiento de finas costras, como bajo la capa arada, donde surgen capas compactadas. Con esa degradación, las tasas de infiltración de agua en el suelo se reducen, mientras las tasas de escorrentía y de erosión aumentan, así mismo es un factor limitante para el desarrollo de vegetación, dado que se da un cambio en la salud del suelo resultando en una disminución de la capacidad del ecosistema para producir bienes o prestar servicios para sus beneficiarios.

2.2.2 Erosión del suelo

Se define la erosión como el movimiento y arrastre de las partículas del suelo por los agentes naturales, agua, viento, hielo y otros, fenómeno de origen natural, que se ve acelerado por la acción del hombre. (INIA, 2003)

Proceso de arrastre de granos del suelo por la acción del agua o del viento, es cada vez más común en el mundo. Es causado por diferentes factores climáticos y actividades antrópicas que alteran de algún modo la interacción de los elementos del suelo con su entorno. El resultado final de la continua degradación de las tierras, su vegetación, más la erosión y pérdida de la capa superficial del suelo, es la desertificación.

En nuestra zona la principal causa de erosión del suelo es el agua de lluvia, producto de la concentración de las mayores precipitaciones en los meses de época lluviosa (julio-agosto), así como la alta intensidad que alcanzan las lluvias en esta época. Los principales factores que aumentarían la susceptibilidad de erosión del suelo en el sector bajo de la cuenca del Rio Mira son las condiciones edafo-climáticas propias del sector. INAMHI.

2.2.2.1 Erodabilidad y Erosividad

La erosividad es el resultado de la lluvia que causa erosión de suelos por efecto directo de sus características físicas como la intensidad, duración y frecuencia. La erosividad depende de la energía cinética asociada a la intensidad de la lluvia.

La erodabilidad es la susceptibilidad de los suelos a ser erosionados por agentes externos entre ellos la lluvia.

Con las prácticas de conservación de suelos se busca reducir en algo el porcentaje de difidencia de los suelos a ser degradados. La diferencia puede ser simplemente el tiempo, ya que hay muchos suelos altamente susceptibles a la erosión que no la presentan. Ello se debe, sin duda, a que el uso que se le ha dado ha sido apropiado. La susceptibilidad a la erosión no se puede establecer con rapidez por ello es necesario un estudio minucioso a cerca de los factores que intervienen en la erosión. (INIA, 2003).

Asimismo, (Oñate, 2004) indica que la presencia de cantidades significativas de arena y la baja presencia de materia orgánica en los suelos, producen aumentos relevantes en su erodabilidad.

2.2.2.2 Factores que promueven la erosión

Cada tipo de suelo presenta características diferentes, siendo las más vulnerables las que presentan poca o nada de cobertura vegetal en su composición. El suelo tiene algunas características básicas que contribuyen a que el proceso erosivo se acelere, siendo los más importantes: la compactación, textura, estructura, densidad aparente y porosidad, topografía y cobertura vegetal.

La textura y la estructura del suelo han sido usualmente consideradas las características físicas más relevantes, dado que son a su vez las que condicionan otras características del suelo inherentes a la erosión. La estructura condiciona en gran medida la velocidad y el tipo de movimiento vertical del agua en el perfil edáfico, así, estructuras laminares propician movimientos de agua muy lentos, en tanto que estructuras de tipo columnar favorecen el rápido tránsito de ella, aun cuando se tengan texturas arcillosas.

La cubierta vegetal se desempeña como agente regulador en los fenómenos erosivos, controlando los excesos de agua en el perfil del suelo, disminuyendo las velocidades del flujo de escurrimiento e integrando el suelo como masa unitaria, entre otros beneficios, asimismo, el paso del material muerto al suelo incrementando el contenido de materia orgánica y humus, favorece a su vez la porosidad y la capacidad de retención de agua de los terrenos, retardando con ello la aparición de la escorrentía superficial. Los agentes externos que influyen en la remoción de material edáfico tienden a ser distintos para cada sitio. A continuación se analizan algunos de ellos.

El clima incluye radiación solar, temperatura, humedad relativa, viento y lluvia, siendo estas dos últimas las más influyentes para la pérdida de suelos. En erosión hídrica la intensidad, duración, frecuencia y tamaño de las gotas de lluvia, es el factor más agresivo que actúa en la degradación del suelo descubierto.

El ser humano mediante prácticas agrícolas equivocadas y la construcción de obras y vías, también son factores que aceleran los procesos de erosión.

2.2.2.3 Impactos de la erosión

De acuerdo a estudios realizados a mediados de la primera década del siglo XXI la degradación del suelo afecta a más de 1500 millones de personas en el mundo (FAO, 2000). Detalla que la erosión es causada principalmente por una mala gestión de la tierra, la tala excesiva de árboles, el sobrepastoreo y las malas prácticas de irrigación. El resultado final es la pérdida de biodiversidad, fuerte disminución de productividad y por último el hambre, fenómeno que en su turno causa la emigración de poblaciones humanas hacia zonas menos afectadas, que muchas veces ya se encuentran densamente pobladas.

La Corporación Chilena de la Madera (CORMA, 2005) agrega que en términos prácticos el suelo no es un recurso natural renovable, por lo que su pérdida debe considerarse irreversible.

2.2.2.4 Tipos de erosión

En términos generales, es posible clasificar los procesos erosivos en cuatro tipos: erosión hídrica, erosión eólica, erosión por gravedad y erosión por laboreo; siendo este último el único proceso genuinamente antrópico. (Ibáñez & García, 2006).

2.2.2.4.1 Erosión eólica

Se puede definir a la erosión eólica como el evento mediante el cual se produce la remoción del material superficial, la selección y el transporte por medio del viento. La erosión eólica es causada por el viento en terrenos sueltos, localizados

en zonas secas con precipitaciones bajas a muy bajas. Al igual que la erosión hídrica, moviliza grandes cantidades de suelo, llevándose las partículas más livianas y fértiles del suelo. En el peor de los casos, una hectárea de terreno puede perder hasta 150 toneladas de suelo en una hora lo que equivale a una capa de más de 1cm. (CONICET, 2007).

Identificación de la presencia de la erosión eólica: A veces se puede observar la acumulación de depósitos de arena detrás de barreras o cercas que han sido llevados por el viento, o árboles inclinados en la dirección del viento (aunque esto no indica necesariamente que haya erosión del suelo); sin embargo, en general no se presenta mayor evidencia de la erosión eólica, fuera de la época de los vientos fuertes.

2.2.2.4.2 Erosión por gravedad

Son movimientos en masa causados por la acción combinada de la saturación por agua y la fuerza de la gravedad. En zonas con altos porcentajes de pendiente. Las masas de suelo desplazadas pierden usualmente la cubierta vegetal protectora así como su carácter cohesivo como masa unitaria, viéndose alteradas las condiciones que le permiten al suelo contrarrestar el impacto derivado de la energía cinética de las gotas de lluvia que alcanzan su superficie, y aquellas que favorecen el proceso de infiltración; de esta forma alcanzan plena expresión la separación-disgregación de partículas y el escurrimiento superficial, este último variable en función de las condiciones micro y macro topográficas.

Los movimientos en masa son procesos esencialmente gravitatorios por los cuales una parte de la masa del terreno se destaca del conjunto y se desplaza a una cota inferior a la original, sin contarse con la intervención de agente de transporte alguno, siendo tan sólo necesario que las fuerzas desestabilizadoras superen las estabilizadoras. Sus efectos negativos van desde reducir la capacidad productiva

del terreno afectado, hasta ocasionar daños catastróficos, tanto económicos como cobrando en ocasiones vidas humanas.

2.2.2.4.3 Erosión antrópica

Ocurre cuando el agente causal directo es el hombre, al modificar el paisaje natural de manera abrupta e irreversible (mediante la construcción de carreteras, presas, asentamientos urbanos, líneas de transmisión, gasoductos, etc.), inciden en la acelerada degradación y posterior erosión de los suelos.

2.2.2.4.4 Erosión hídrica

Es un proceso producido principalmente por efecto de las gotas de lluvia, que con el impacto generado en el suelo descubierto, ocasiona el desprendimiento y remoción de las partículas por la escorrentía superficial. Los factores que intervienen en este proceso son: la intensidad y frecuencia de las lluvias, la pendiente y longitud del terreno, la cobertura vegetal, y el tipo de suelo.

La lluvia es uno de los factores climáticos más importantes que influyen sobre la erosión. El volumen y la velocidad de la escorrentía dependen de la intensidad, la duración y la frecuencia de la lluvia. De estos factores, la intensidad es el más importante y las pérdidas por la erosión aumentan con las intensidades más altas de las lluvias. La duración de la lluvia es un factor complementario.

La frecuencia de la lluvia también tiene influencia sobre las pérdidas causadas por la erosión. Cuando la lluvia cae en intervalos cortos, la humedad del suelo permanece alta y la escorrentía es más voluminosa, aún si la lluvia es menos intensa. Después de largos períodos, el suelo está más seco y no debería haber escorrentía en lluvias de poca intensidad, pero en casos de sequía la vegetación puede sufrir debido a la falta de humedad y así reducir la protección natural de la tierra.

Cuando la gota de lluvia impacta al suelo, estas explotan provocando principalmente el desplazamiento de las partículas más pequeñas, correspondientes a la fracción fina del suelo, entre las cuales están la arcilla, el limo y la materia orgánica, quedando una predominancia de la fracción gruesa del suelo, lo que en lo posterior puede producir un pavimento de erosión.

El pavimento de erosión se produce luego que el material fino del suelo es removido por la escorrentía, quedando la fracción de suelo gruesa, compactada con piedras y grava de diferente tamaño.

Durante una tormenta fuerte, decenas de gotas de lluvia golpean cada centímetro cuadrado de tierra, aflojando las partículas de la masa del suelo. Las partículas pueden saltar a más de 60 cm de alto y a más de 1.5 m de distancia. Si la tierra no tiene una cobertura vegetativa, las gotas pueden destruir muchas toneladas de suelo por hectárea que son así fácilmente transportadas por la escorrentía superficial. (FAO, 2000)

Las gotas de lluvia contribuyen a la erosión de varias maneras:

- aflojan y rompen las partículas suelo en el lugar del impacto;
- transportan las partículas así aflojadas;
- proporcionan energía bajo forma de turbulencia al agua en la superficie.

SUDAS (2006), señala que existen cuatro formas de erosión hídrica:

a) *Erosión por salpicadura o laminar*

Comienza cuando las gotas de lluvia actúan en forma pareja sobre la superficie del suelo, desplazando una delgada capa de sustrato que es transportada por la corriente que se produce. Es la forma de erosión menos notable, pero se evidencian manchas claras en pendientes debido a la pérdida de nutrientes. La pérdida de la fracción fina del suelo, reviste una gravedad extrema desde el punto

de vista de la calidad del suelo, debido a que en esta se concentran las propiedades de intercambio catiónico, es responsable de la fertilidad del suelo; de su vida microbiana, retención de humedad, entre otros. (SUDAS, 2006)

Generalmente la acción de la gota de lluvia y el escurrimiento superficial es conjunta, pero en las partes más altas de la pendiente, el impacto de la gota juega un rol fundamental, pues a medida que el escurrimiento mueve las partículas hacia abajo, la lluvia desplaza primero las partículas ya transportadas, antes de seguir transportando las demás, esta es la razón porque la erosión laminar se nota más en las partes altas de la pendiente. (SUDAS, 2006)

Según se puede evidenciar la erosión laminar cuando existen:

- Presencia de montículos en el suelo.
- Plantas con el sistema radicular descubierto.
- Invasión de especies vegetales específicas de suelos degradados. (García, 2006)

Juntamente con esto se evidencia piedras de diferentes tamaños en suelos con poca vegetación, las cuales estaban cubiertas por el suelo.

b) Erosión en surcos o en regueros

Ocurre cuando, las pequeñas irregularidades en la pendiente del terreno guían al agua concentrada en el suelo, adquiriendo volumen y velocidad suficiente para hacer cortes y formar surcos. El agua que no puede infiltrarse en el suelo, corre por su superficie, produciéndose este proceso en forma reiterada lo que induce, que la velocidad del flujo y su cantidad aumenten y, por lo tanto, se incrementa la carga sólida que transporta, lo que da un mayor poder abrasivo y arrastre.

c) Erosión en barrancos o en Cárcavas

Cárcava es una zanja producto de acción erosiva del agua sobre el suelo, que generalmente sigue la pendiente máxima del terreno y constituye un cauce natural en donde se concentra y fluye el agua de las lluvias. El agua que corre por la cárcava arrastra gran cantidad de partículas y sedimentos del suelo. (Pathak, Wani, & Sudi, 2005).

La erosión en cárcavas es el proceso erosivo de mayor impacto al suelo debido a las dimensiones que puede alcanzar tanto en longitud como en profundidad y volumen de suelo que se pierde. Se produce por la fuerte concentración de agua de escurrimiento en sitios con pendientes fuertes y también en suelos planos. Estas cárcavas tienen características propias que las definen. La forma que presentan es en “V” y en “U”, dependiendo de la topografía del terreno, siendo la forma en “V” las más comunes en suelos con pendientes escarpadas.

Este tipo de erosión no permiten el empleo de maquinaria para su recuperación y se usan técnicas conservacionistas así como la barrera con especies vegetales para su recuperación progresiva. En general, el control de cárcavas es difícil y costoso. La restauración de un área demanda tiempo, trabajo y capital, por lo que es económicamente recomendable establecer un plan de prevención de cárcavas. Por otra parte, las tierras fuertemente erosionadas poseen un reducido valor inmediato, justificándose medidas de contención, para, por lo menos, proteger las tierras vecinas y evitar sus consecuencias fuera del área erosionada. (FAO, 2000).

d) Erosión en bancos aluviales

Se produce a partir de procesos erosivos en las cárcavas, haciéndolos más profundos, favoreciendo con esto que el material de las riberas se vuelva inestable y se comience a desprender material desde las zonas altas.

2.2.2.5 Medidores de erosión

De cara a la intervención del territorio en el marco de la gestión remedial de procesos erosivos, es indispensable contar con herramientas de cuyo empleo se obtenga una caracterización primaria de tales procesos; para esto es posible emplear escalas de evaluación que si bien su misma elaboración las impregna diferencialmente de subjetividad, por otra parte son de gran utilidad dada su facilidad de empleo y utilidad para la escala de trabajo en tales estadios de la intervención.

El conocimiento de la tasa de erosión en un sitio es fundamental para decidir el manejo y las medidas de conservación de suelos más adecuados; por ello, es importante obtener datos confiables acerca del proceso y la velocidad a la que se está perdiendo el suelo. (Pando, Gutiérrez, Maldonado, Palaciom, & Estrada, 2003)

Con el objeto de realizar mediciones cuantitativas del monto físico de la erosión del suelo, en la última década se han desarrollado ensayos ubicados en parcelas de escurrimiento, los cuales de forma directa miden el material edáfico transportado. Para esto los investigadores se basan en tanques de almacenamiento, los cuales captan la escorrentía conjuntamente con el material transportado.

Para realizar observaciones de los montos de erosión, también se ocupa parcelas o redes de clavos de erosión, los cuales son ubicados en redes cuadrículadas y distribuidos uniformemente en el ensayo, así, si se conocen las alturas relativas de cada uno de ellos, es posible calcular los volúmenes de material faltante. (INIA, 2003)

Según García (2006), la modelización trata de dar respuesta a aquellos aspectos técnicos que facilitan el conocimiento de los diferentes parámetros e interrelaciones implicados, para posteriormente obtener algoritmos matemáticos

que describen la disgregación, el transporte y deposición de los materiales. En cuanto a los tipos de modelos propone la siguiente clasificación:

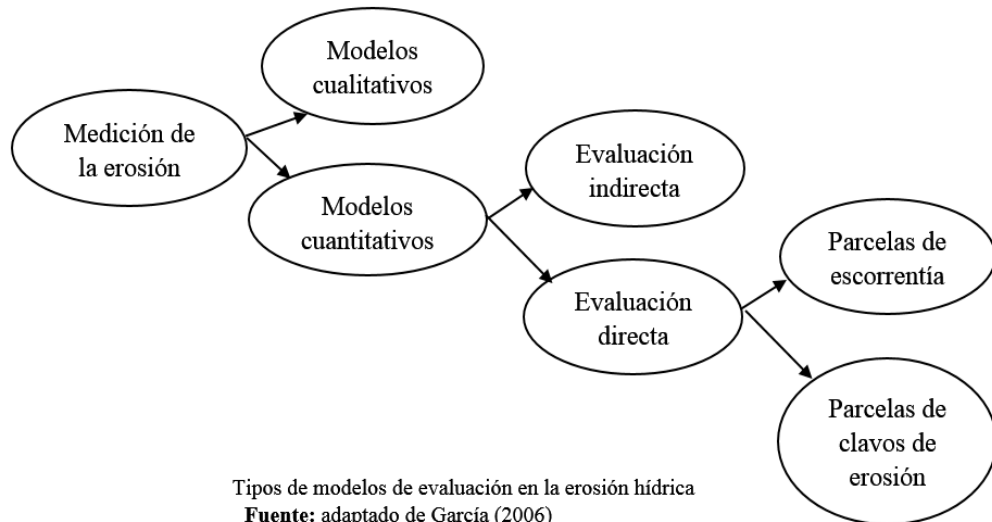


Figura 1. Tipos de modelos de evaluación en la erosión hídrica. García (2006)

Para la evaluación cualitativa de la erosión, se utilizan los sistemas de información geográfica (SIG), siendo una herramienta idónea para analizar la información espacio-temporal necesaria en la posterior aplicación de los modelos. (Gómez, Romero, & Benitez, 2007)

Los modelos cuantitativos permiten la estimación numérica de la erosión, (García, 2006) señala que pueden tener una evaluación directa e indirecta.

2.2.2.5.1 Modelos de evaluación indirecta

Este tipo de modelos incorpora leyes de conservación de la masa y energía para su análisis, utilizando la ecuación de continuidad para representar un estado de conservación de la materia y su transformación en el espacio. (De Regoyos, 2003). Estos modelos se basan en modelos hidrológicos, modelos de erosión y modelos de transporte de sedimentos, utilizando software especializado para el análisis e interpretación de datos.

En este tipo de métodos, una herramienta fundamental la constituye la cartografía de las unidades homogéneas en función de los parámetros principales que controlan el fenómeno erosivo (suelo, vegetación, topografía, etc.), y la atribución de categorías, niveles o clases, en los que la subjetividad juega un papel importante.

Los modelos indirectos destacan por su amplia utilización y su uso; en este particular, la ecuación universal de pérdida de suelo (USLE, por sus siglas en inglés) de Wischmeier y Smith (1978) constituye un método de uso generalizado para la estimación de la erosión hídrica.

El modelo USLE, a partir de la información referida a seis variables de control (erodabilidad del suelo k , longitud de la pendiente L , inclinación de ladera I , erosividad pluvial R y la adopción de prácticas de conservación de suelos P), estima el valor en toneladas métrica por hectárea y año de cantidad de suelo removida por la erosión hídrica. (Renard, Meyer, & Foster, 1997)

Fue desarrollado inicialmente como una herramienta para asistir a los conservacionistas en la planificación del uso agrícola de las tierras. Sin embargo las investigaciones realizadas y experiencias colectadas desde los años 70 han provisto de amplia información adicional y mejor tecnología, aportando a la actualización de la base de datos, el análisis de la información adicional y de los principios fundamentales que describen los procesos hidrológicos y de la erosión. (FAO, 2000)

2.2.2.5.2 Modelos de evaluación directa

Se instalan instrumentos de medición directa en parcelas experimentales, con el fin de estimar las entradas y salidas de suelo.

a) *Parcelas de escorrentía*

Estas parcelas se utilizan para recolectar los sedimentos removidos, involucrando la captación del caudal líquido y sólido. Las parcelas de escorrentía destacan como la metodología más conocida para la evaluación directa de la erosión del suelo. Este método de investigación permite controlar muchas de las condiciones que ocurren en los procesos erosivos, como el sellamiento derivado del impacto de las gotas de lluvia.

El empleo de parcelas de escorrentía se ha generalizado. Sin embargo, la utilidad de la información obtenida, y de las investigaciones realizadas en ellas está limitada por la falta de continuidad en el tiempo, para la obtención de dicha información. (Vega & Febles, 2005)

b) *Parcelas de clavos de erosión*

Es un método que consiste en parcelas rectangulares a las cuales se les instalan “clavos” que marcan la línea inicial del suelo, cuya medición se efectúa luego de ocurrida la tormenta con el objetivo de evaluar la erosión o sedimentación producida. Lo anterior permite establecer un balance entre pérdidas y entradas de suelo para realizar estimaciones más reales. En el mismo sentido es importante señalar que este método es aplicable solo en suelos desnudos, dado que la presencia de vegetación entorpece la medición. Las varillas pueden ser de madera, hierro o cualquier otro material que no se deteriore, que sea fácil de obtener y de bajo costo.

La varilla debe tener una extensión que se pueda introducir en el suelo para obtener un dato concreto: 300 mm es una longitud corriente, puede ser menor si se trata de un suelo poco profundo o mayor si se trata de un suelo suelto. (Pando, Gutiérrez, Maldonado, Palaciom, & Estrada, 2003)

Respecto a lo expuesto por (Pizarro & Cutiño, 2002), señalan que si existen procesos de erosión (E) y sedimentación (S), entonces es posible establecer un nuevo concepto, llamado erosión neta (En), que se entiende como la diferencia entre ambos procesos, es decir, $En=E-S$; por tanto si el valor de En es positivo, entonces se advierte que hubo un predominio de la erosión sobre la sedimentación; y si es negativo, es la sedimentación la que prevaleció sobre la erosión. Asimismo, es importante agregar el concepto de suelo movilizado, SM, entendido como el total de suelo que se movilizó sobre la superficie, y que corresponde a la suma de los procesos de erosión y sedimentación, es decir, $SM=E+S$.

Erosión media y sedimentación media: La erosión media se estima al sumar los incrementos en altura, medidos entre el tiempo de todos los clavos de la parcela que denotaron la presencia de procesos erosivos, dividida esta sumatoria por el total de clavos presentes en la parcela. Esto define una altura de erosión promedio que normalmente se expresa en milímetros. Si este valor se transforma a metros y se multiplica por los 10000 m² que posee una hectárea, se tendrá una estimación de la erosión en m³/ha.

Asimismo, si este valor se multiplica por la densidad aparente del suelo, se tiene la expresión de la erosión en toneladas por hectárea de superficie. Del mismo modo, es posible calcular la sedimentación producida en la parcela, pero considerando como sumatoria el valor decremental de la altura del clavo, lo que significa que se han verificado procesos de sedimentación. Así también, la sumatoria de los milímetros de los clavos que mostraron sedimentación, es dividida por el total de clavos de la parcela. Para llevar la expresión a m³/ha o ton/ha, se procede de igual forma a como se hizo con la erosión.

Para cuantificar la erosión o sedimentación, se procede a calcular el promedio de las mediciones realizadas en los clavos de erosión. Ahora bien, para estimar el suelo erosionado o sedimentado en tonelada/hectárea para el período en estudio,

se multiplica el resultado de las medias expresadas en milímetros, por la densidad aparente del suelo (ton/m^3) y por 10.

La expresión en forma matemática se presenta a continuación:

$$X_{(\text{ton/ha})} = Y \cdot D_a \cdot 10$$

Donde: X: Suelo erosionado o sedimentado (ton/ha); Y: Altura media de suelo erosionado o sedimentado (mm); D_a : Densidad aparente del suelo (ton/m^3).

Por otra parte, la erosión neta se calcula a través de la diferencia entre la erosión media del suelo y la sedimentación media, expresada en toneladas por hectárea.

$$E_{\text{neta}} = E - S$$

Donde E_{neta} : Erosión neta media (ton/ha); E: Erosión normal media (ton/ha); S: Sedimentación media (ton/ha).

Finalmente, el método de los clavos de erosión es un método adecuado para cuantificar la erosión hídrica producida en un sector determinado, ya que no sólo cuantifica la erosión hídrica propiamente tal, sino que también cuantifica la entrada de suelo, es decir, la sedimentación que se produce en el mismo lugar. Esto permite establecer un balance entre pérdidas y entradas de suelo en un sector determinado, permitiendo realizar estimaciones más reales de las pérdidas de suelo producidas en el lugar, lo cual diferencia a este método de los métodos tradicionales, que al no considerar este hecho, sobreestiman la erosión. (UNESCO, 2009).

2.2.2.6 Grados de erosión

El proceso erosivo se estima en base a las toneladas de suelo que se movilizan anualmente:

Tabla 1. Grados de erosión considerando la movilización anual de suelo.

GRADO DE EROSIÓN	PÉRDIDA ANUAL	
	Ton/ha	Espesor (mm)
Natural	< 1,0	< 0,1
Baja	1,0 - 3,0	0,1 - 0,3
Media	3,0 - 5,0	0,3 - 0,5
Alta	5,0 - 10,0	0,5 - 1,0
Muy alta	10,0 - 20,0	1,0 - 2,0
Severa	20,0 - 30,0	2,0 - 3,0
Muy severa	> 30,0	> 3,0

Elaborado por: Cancán E. y Pantoja G.

2.2.3 Conservación de suelos

La conservación de suelos es un sistema que combina obras estructurales, medidas agronómicas, de fertilidad y agroforestales, con el fin de contrarrestar la degradación del suelo, dichas obras deben ser aplicadas de forma más completa posible, si se desea tener éxito tanto en la protección del suelo. Tomando en cuenta esta combinación se puede lograr controlar la erosión, mejorar la fertilidad de los suelos y la recuperación total o parcial de un suelo degradado con el transcurrir de los años. (Reilly, Trutmann, & Rueda, 2002).

Los objetivos de una buena estrategia de conservación de suelos y agua deben apuntar principalmente a:

- Controlar la erosión, reduciendo el escurrimiento superficial, mediante el aumento de la cobertura vegetal, aumento de la infiltración o reducción de la pendiente.
- Aumentar la productividad agrícola y pecuaria en áreas de mayor aptitud de uso para permitir que el agricultor pueda forestar los sectores de mayor riesgo de erosión sin reducir la producción de alimentos del predio.
- Incentivar el uso de prácticas conservacionistas sencillas y de bajo costo que además permitan mejorar la productividad del suelo.

Para alcanzar estos objetivos, en la actualidad existe un enfoque integrador de manejo y conservación de suelos y aguas, que tiene estrategia técnica del uso de prácticas orientadas a la recuperación de suelos degradados, siguiendo un principio básico de la conservación: (FAO, 2000), “aumentar la cobertura, aumentar la materia orgánica, mejorar la infiltración y la retención de la humedad, reducir la escorrentía, mejorar las condiciones de enraizamiento, mejorar la fertilidad y la productividad, reducir los costos de producción, proteger el suelo y reducir la contaminación del ambiente” se obtendrán en líneas generales, resultados positivos”.

A nivel mundial, la erosión es el principal problema medioambiental que ocurre en la agricultura convencional y por lo tanto es el más importante que hay que afrontar para que se mantenga la capacidad productiva de los suelos. (Erosión, 2006)

2.2.3.1 Técnicas conservacionistas para la recuperación de suelo

Las prácticas de conservación de suelos son aquellas actividades que se ejecutan para evitar la pérdida de los suelos a causa de la erosión mediante actividades, prácticas u obras conservacionistas del uso del suelo, destinadas al control de los procesos de erosión y a detener su degradación. Estas prácticas son muy diversas y deben ser seleccionadas en función de la pendiente, tamaño del predio, vegetación existente y el costo. Al mismo tiempo deben obedecer tres principios básicos: aumento de la cobertura vegetal, mejorar la infiltración de agua y reducir el escurrimiento superficial del suelo.

Aumento de la cobertura vegetal: la erosión empieza cuando las gotas de agua de lluvia o el arrastre del viento destruyen la consistencia del suelo, vulnerándolas al arrastre del agua. Por lo tanto, la cobertura del suelo a través de una capa de vegetación (árboles, arbustos, malezas o cualquier cultivo), lo protege de la erosión causada por las precipitaciones, por lo que amortigua la energía con la que

caen las gotas sobre el suelo y también contrarrestando la fuerza del viento en cierto grado.

Una cobertura sobre el suelo lo protege de la fuerza de las gotas de lluvia y disminuye la separación de las partículas de los agregados de suelo, que es el primer paso en el proceso de erosión hídrica. Existe evidencia que un 40% de cobertura del suelo reduce las pérdidas de suelo a valores menores de 10% de lo que ocurriría en el mismo suelo desnudo, si bien esto se refiere sólo a la erosión por salpicadura.

Cuando la erosión es causada por una combinación de los procesos erosivos, como erosión por salpicadura y erosión en surcos, es muy probable que se requiera una cobertura más elevada del 40% para reducir las pérdidas de suelo a sólo 10% de lo que ocurriría en el mismo suelo desnudo. (FAO, 2000)

Estos resultados se obtendrán dependiendo de las especies que se incorporaron, así por ejemplo con los arboles no se obtendrán resultados inmediatos debido a su lento crecimiento.

Mejorar la infiltración de agua: con la incorporación de la materia orgánica al suelo, absorberá con mayor facilidad el agua lluvia y evitará que se escurra sobre la superficie. Cualquier práctica que enriquezca el suelo con materia orgánica disminuye los riesgos de erosión. En general, en las zonas secas, la disponibilidad de agua es un factor limitante en el establecimiento y desarrollo de cualquier vegetal, en particular para el establecimiento de especies forestales se la realiza en épocas que se registran mayores precipitaciones octubre- febrero, así mismo se utilizan tecnologías nuevas para garantizar aún más su sobrevivencia, como es el uso de hidrorretenedores de agua, los cuales ayudan a proporcionar un suplemento regular de humedad en los primeros años de la planta.

Reducir el escurrimiento superficial: en terrenos con pendientes fuertes se suele establecer estructuras o barreras con la finalidad de evitar el arrastre de partículas de suelo. Dentro de las prácticas recomendadas están los surcos o acequias de infiltración, las pircas de piedra, las terrazas, barreras vivas entre otras. La protección del suelo debido a la cobertura evita la formación de costras y mantiene una mayor tasa de infiltración.

2.2.3.2 Selección de técnicas conservacionistas

Para aplicar cualquier técnica o práctica de conservación de suelos y agua se deben tomar en consideración los siguientes elementos:

- *Análisis de costo-eficacia:* A veces se pretende aplicar una sola medida de conservación de suelos o medidas mal planificadas de bajo costo, sin considerar cuidadosamente las condiciones edafo-climáticas del sitio. El uso de medidas ineficaces implica pérdida de tiempo y dinero, por lo tanto, el costo y la eficacia deben ponderarse meticulosamente al momento de planificar un proyecto de prácticas de control de erosión.
- *Nivel de participación:* Es fundamental el trabajo en equipo con todos los interesados en el proyecto, para que en conjunto elijan las más convenientes técnicas de conservación de suelos, en función a sus intereses, su uso actual y futuro del mismo.
- *Enfoque de manejo integrado:* Cualquier práctica de control de erosión, sea ésta de acondicionamiento de suelos, agronómicas o estructurales, debe estar inserta dentro de un manejo integrado que involucre un trabajo conjunto y planificado de equipos interdisciplinarios, sobre la restauración en cadena de problemas ambientales, para mejorar la calidad de vida de los usuarios de estas tierras deterioradas.

- *Establecer sistemas de producción sustentables:* La conservación de suelos no debe buscar solamente controlar la erosión, sino que debe entenderse como un medio para conseguir una producción agrícola rentable y sostenida, porque en caso contrario, el agricultor no se interesara por ella. Por lo tanto, las técnicas de conservación deben estar insertas dentro de una función de producción que favorezca al agricultor haciendo productivo al suelo.

Para seleccionar una estructura se deben tomar en cuenta los siguientes aspectos:

- Tamaño del área de drenaje y escurrimiento máximo.
- Pendiente de la cárcava.
- Duración de la estructura.
- Disponibilidad de materiales para la construcción.
- Costos. (Pathak, Wani, & Sudi, 2005)

2.2.4.2.1 Técnicas vegetativas

a) Barreras vivas

Las barreras vivas son hileras de plantas perennes (árboles o arbustos) establecidas en laderas, en curvas de nivel, etc., con el fin reducir el escurrimiento superficial causado por la lluvia y retener los materiales transportados por ella. También protegen al suelo de la erosión eólica, pues hacen que disminuya la velocidad del viento. Además son útiles para estabilizar las cárcavas reduciendo la pendiente, ya que se van creando pequeñas terrazas. Para la selección de las plantas en el control de la erosión, se hace indispensable observar las formaciones naturales del sitio ya que con las mismas especies existentes se logrará una mayor adaptación al clima y suelo del lugar.

Estas estructuras, además del objetivo de controlar el escurrimiento, tienen la función de proporcionar las condiciones necesarias para la colonización y crecimiento de vegetación sobre las superficies de colmatación.

b) *Árboles en curvas a nivel*

Las curvas a nivel se trazan en forma transversal a la pendiente del terreno, de forma que se contrarreste el arrastre de partículas de suelo a causa de la lluvia y el viento. Para el trazado de las curvas a nivel se utilizan equipos especializados como: teodolitos, caballetes con nivel, etc., pero también se puede construir un instrumento casero, como es el nivel en “A”, instrumento muy utilizado para obras de forestación y reforestación en lugares con pendientes fuertes. (Riquelme & Carrasco, 2003)

Las barreras vivas en curvas a nivel también sirven para frenar la velocidad de la escorrentía cuando forman una barrera densa. Se pueden utilizar plantas perennes, paralelas al contorno con un espaciamiento entre las hileras que depende del gradiente del terreno. Las especies tienen que ser adaptadas a la zona, deben dar beneficios adicionales al agricultor, como pasto de corte, forraje, fruta, alimentos o granos, y no deberían invadir, sombrear, ni competir con los cultivos adyacentes.

2.2.4 Bosque seco tropical

Este tipo de ecosistema se denomina: “*Bosques y arbustales xéricos interandinos montano bajos de los Andes del Norte*” donde en el dosel son abundantes los individuos de *Vachellia macracantha* y *Caesalpinia spinosa* con copas cubiertas de epífitas. Además el sotobosque es denso y presenta especies arbustivas, especialmente *Croton spp.*, *Dodonaea viscosa* y cactáceas. Este ecosistema se registra entre 1200 y 2600 m.s.n.m. en áreas abiertas degradadas y con pendientes fuertes. (MAE, 2013)

Este tipo de bosque (seco) está considerado como uno de los más frágiles debido a la persistente amenaza por intervención antrópica, su lenta capacidad de regeneración natural, sequías, reclutamiento de las especies, bajas tasas de crecimiento y la susceptibilidad a incendios forestales debido a las grandes cantidades de materia orgánica seca sin descomposición que se encuentran en el suelo. (Wolfgang & Mariaca, 2007)

Los bosques seco de la región Andina del Ecuador se desarrollan en zonas de precipitaciones bajas entre 100 y 500 mm y en temperaturas entre 2° y 27°C. A pesar de estar tan amenazados, estos ecosistemas son hábitat de varias especies animales y vegetales, algunos de ellos, con rangos de distribución muy reducidos. (Aguirre, Kvist, & Sánchez, 2006)

2.2.5 Descripción botánica de las especies forestales

2.2.5.1 Guarango

a) Descripción taxonómica

Nombre científico: *Caesalpinia spinosa* M.&K

Nombre común: Tara, Taya (*Perú*), Cuica, Serrano (*Colombia*), Vainillo.

Familia: FABACEAE

b) Descripción botánica

Es un árbol pequeño, que puede alcanzar desde 4 a 8 m de altura, incluso pudiendo llegar hasta los 12 m en condiciones favorables de suelo y agua. Fuste corto y cilíndrico que puede alcanzar hasta los 30 cm de diámetro. Corteza gris fisurada y espinosa cuando joven. Copa poco densa, irregular y aparasolada con ramas ascendentes, puede alcanzar hasta 15m de diámetro.

Hojas. “Compuestas, alternas, pinnadas, con 6 a 8 pares de folíolos ovalados brillantes, glabros, de 3 cm de longitud por 2 cm de ancho, verde – oscuro.” (Aguirre, 2012)

Flores. “En inflorescencias en racimos de 40 a 100 flores hermafroditas; un cáliz de cinco sépalos y corola con cinco pétalos amarillos con manchas rojizas, 10 estambres, pistilo con estilo encorvado, ovario súpero.” (Aguirre, 2012)

Frutos. “Legumbres aplanadas, curvas de 4-9 cm de longitud, verde-amarillentas (jóvenes), café-anaranjadas (maduras): 5-10 cm de longitud y 1-3 cm de ancho; contienen hasta 10 semillas, aplanadas, café negruzcas cuando maduras, de 1 cm de longitud y 7 mm de ancho.” (Aguirre, 2012)

c) *Fenología*

Las hojas permanecen por lo general siempre verdes, o con un número reducido de ellas. Se ha encontrado zonas en las que pierden casi todas las hojas, lo que puede ser atribuible a la fuerte presencia de musgos. La mayor producción de frutos se concentra en los meses de julio a septiembre, aunque puede haber también buena fructificación en enero a marzo.

d) *Distribución geográfica*

El guarango es una especie nativa de Perú, distribuida ampliamente entre los 12 y 22°C en diversas zonas áridas de Venezuela, Colombia, Ecuador, Perú, Bolivia hasta el norte de Chile. (De La Cruz, 2004)

Según De la Cruz, (2004) se localiza de forma natural en lugares semiáridos con un promedio de 230 a 500 mm de precipitación anual, se lo encuentra también como árbol ornamental, en cercos o linderos y como árbol de sombra dentro de cultivos de secano. Dentro de los estratos del bosque, se encuentra formando parte

del matorral arbustivo, asociado en algunos casos con otras especies tales como: *Salix humboldtiana* (sauce) y *Schinus molle* (molle), así como también con los Géneros: *Calliandra*, *Rubus* y *Croton*.

Ecuador Forestal (2006), indica que: “en Ecuador se encuentra en el Callejón Interandino, principalmente en las provincias de Carchi, Imbabura, Pichincha, Chimborazo y Loja, aunque con mayor concentración en Imbabura. Ubicada en lugares semiáridos que tienen un promedio de 300 a 500mm de precipitación anual”

e) Requerimientos edafo-climáticos

El guarango es muy poco exigente en calidad de suelo, se adapta a suelos pedregosos, degradados, incluso lateríticos, por lo que se convierte en una especie apta para la repoblación de zonas secas y degradadas. Sin embargo, para su desarrollo óptimo necesita suelos agrícolas y con riego; es decir, franco y franco arenosos ligeramente ácidos a medianamente alcalinos.

Es una especie bastante resistente a la sequía, plagas enfermedades. Se desarrolla en sitios con una temperatura entre 12 y 22°C y la altitud varía entre 800 a 2800 m.s.n.m.

f) Usos y bondades

El guarango, se encuentra al estado silvestre y posee un gran potencial médico, alimenticio e industrial, siendo de gran utilidad para la producción de hidrocoloides o gomas, taninos y ácido gálico, entre otros.

Frutos y semillas. La vaina de la Tara que posee un alto contenido de taninos (40-60%), es separada de la semilla para posteriormente pasar por un proceso de

molienda simple o fina, obteniéndose un polvo de color marrón claro, con un olor característico y astringente al tacto. (De La Cruz, 2004)

La harina de guarango es usada principalmente en la curtiembre de cueros, gracias a su alto contenido en taninos, especialmente para aquellos destinados a la tapicería o muebles para el hogar. En combinación con otros extractos vegetales es utilizada para el curtido de cueros de oveja, cabra y todo tipo de cueros cromados, especialmente cuando el acabado es un color pastel, debido a que ésta no contiene sustancias colorantes. Las pieles curtidas con harina de guarango, tiene buena plenitud y suavidad, mientras que las recurtidas con la misma, adquieren una resistencia superior a la rotura, en relación a las curtidas con cualquier otro tanino vegetal.

“En definitiva, el guarango es el tanino ideal para las pieles que requieren mayor tiempo de durabilidad pues contribuye a mantener invariables sus características físico - químicas.” (SOLID Perú, 2008)

Usada para la clarificación de vinos y como suplente de la malta para dar cuerpo a la cerveza. Se la emplea también como antioxidante en la perforación petrolífera y en la industria del aceite; en la industria del papel, para la fabricación de adhesivos y plásticos; protección de metales, entre otros.

Goma de guarango. El endospermo de las semillas pasa por un proceso de molienda, obteniéndose un polvo fino, de color blanco, cremoso y de olor característico. La goma de guarango es un hidocoloide 100% natural, soluble en agua a bajas temperaturas (25°C), el cual que genera soluciones de alta viscosidad a bajas concentraciones; con alta capacidad de retención de agua y estable a temperaturas de refrigeración y congelación.

“La goma de tara es utilizada como espesante (para aumentar la viscosidad) y estabilizador (para controlar la separación de fases). Además mejora la textura de los alimentos, optimiza su palatabilidad, mejora la humectabilidad (inhibiendo la formación de cristales y formando gel).” (SOLID Perú, 2008)

La goma de guarango, debido a la relación costo-efectividad de sus propiedades espesante y emulsificante, tiene aplicaciones en diversas industrias de alimentos:

Panadería y pastelería: como agente de retención de humedad y acondicionador de masa; mantiene la textura y la uniformidad de color y, previene la sinéresis debido a su propiedad de ligar el agua.

Productos cárnicos: como preservante y lubricante.

Bebidas: provee buena palatabilidad y viscosidad estable.

Salsas y sopas: controla la fase aceite - agua y previene la cristalización.

Helados y postres congelados: provee una textura similar a la que da la grasa y otorga protección al calor.

Madera. Es dura, utilizada en construcciones rurales y artesanías. También sirve para postes de cercos, magos de herramientas, vigas, viguetas, leña y carbón (por su alto poder calorífico) (De La Cruz, 2004)

Agroforestal. Frecuentemente se la asocia con cultivos de maíz, papa, alfalfa o pastos, debido a que no ejerce mucha competencia, pues su copa es poco densa y su raíz pivotante. Este asocio es muy beneficioso para los cultivos, puesto que esta especie es fijadora de Nitrógeno al suelo.

Por su sistema radicular profundo y denso y por su tamaño mediano, es usada en barreras vivas y prácticas de conservación de suelos como control de cárcavas, principalmente en zonas áridas o semiáridas.

Medicinal. El principio activo de la tara es el Tanino, que actúa como hemostático, depurativo, astringente y antiséptico. El endospermo que recubre las semillas se cocina y obtiene un líquido para hacer gárgaras y aliviar inflamaciones de la garganta, sinusitis, infecciones vaginales y micóticas, ojos inflamados, dolor de estómago, reumatismo, diarreas, cólera, resfriado, heridas crónicas (cicatrizante). (De La Cruz, 2004)

Otros usos. Especie melífera, por lo que puede ser combinada con la apicultura. Forraje de ganado vacuno y caprino (hojas y vainas).

2.2.5.2 Espino

a) Descripción taxonómica

Nombre científico: *Vachellia macracantha* Humb, & Bonpl.

Ex *Acacia macracantha*

Nombre común: Faique (Loja); Guarango, Espino (Guayas, El Oro, Manabí, Imbabura).

Familia: FABACEAE

b) Descripción botánica

Árbol de 6-12 m de altura y 20cm de DAP. Fuste delgado muy ramificado, tortuoso, ocasionalmente recto. Corteza marrón con manchas blancas irregulares. Copa horizontal aparasolada, con ramas y ramitas muy espinosas.

Hojas. Compuestas, bi-pinnadas, con 10-60 pares. Cada pina con 20-30 pares de foliolos de 3 mm de largo, de color verde oscuro en el haz y verde claro en el envés. (Pretell Chiclote, Ocaña Vidal, Jon Llap, & Barahona Chura, 1985)

Flores. Amarillo dorado, fragantes, filetes de estambres coloreados a manera de borla reunidos en capítulos densos y globosos, se insertan de uno a cinco en la base de las hojas.” (Aguirre, 2012)

Fruto. Una legumbre aplanada un tanto curva, mide de 5-6 cm de longitud por 1 cm de ancho, café rojizo (madura). Semillas café oscuro. Por la abundante producción de semilla, en áreas alteradas crece densamente formando rodales.

c) *Distribución geográfica*

A esta especie se la encuentra normalmente en las siguientes formaciones ecológicas según Holdridge: estepa espinosa Montano Bajo (ee-MB) y bosque seco Montano Bajo (bs-MB), con una amplia distribución natural y, normalmente asociada con tara y molle. En las Provincias de Loja, Azuay, Chimborazo, Cotopaxi, Pichincha, Imbabura, Esmeraldas, Galápagos, El Oro, Guayas y Manabí se desarrolla entre los 0 a 2000 m.s.n.m. (Aguirre, 2012)

d) *Usos y bondades*

Hojas, frutos y semillas. “Las hojas y vainas son muy palatables al ganado caprino. Por su copa aparasolada, una buena especie de sombra para el ganado y aun para el hombre mismo” (Pretell Chiclote, Ocaña Vidal, Jon Llap, & Barahona Chura, 1985)

Madera. La madera sirve para parquet, postes, leña y carbón (debido a su alto poder calorífico)

Medicinal. “Las flores se toman en infusión para afecciones cardiacas, hepáticos y en lavados para cicatrizar heridas” (Aguirre, 2012)

Otros usos. Protección, conservación y recuperación de suelos afectados por distintos grados de erosión.

2.2.5.3 *Molle*

a) *Descripción taxonómica*

Nombre científico: *Schinus molle* (L.)

Nombre común: Molle, muelle (Azuay); aguaribay, cuyash, falsa pimienta.

Familia: ANACARDIACEAE

b) *Descripción botánica*

Árbol de 8-10 m de altura y 15 cm de DAP. Fuste muy retorcido. Corteza muy fisurada, café-oscuro, con presencia de bultos resinosos. Copa regular oblonga, ramas creciendo hacia el suelo, que hace que la planta se encuentre recubierta totalmente por follaje. Olor astringente en todas las partes vegetativas de la planta. (Aguirre, Especies Forestales de los Bosques Secos del Ecuador, 2012)

Hojas. Son alternas, compuestas, con 7 a 25 pares de folíolos, de pecíolo largo y aplanado, perennes y de 10 a 35 cm de largo. Los folíolos son imparipinnados, alternos u opuestos, sésiles, lanceolados, de color verde.

Flores. Flores vistosas, tienen tres etapas: muy jóvenes son verdosas, juveniles son blanquecinas y viejas son rosado claro; están agrupadas en un racimo terminal.

Frutos. Fruto es una drupa carnosa, rojizo a púrpura, agrupadas en infrutescencias grandes de hasta 30 cm, cada fruto contiene una sola semilla negra similar a la pimienta. (Motto, 2005)

c) Distribución geográfica

Especie que crece entre 0 – 3000 m.s.n.m., en bosque natural o intervenido; en las provincias de Loja, Azuay, Tungurahua, Cotopaxi, Pichincha, Imbabura y Galápagos. (Aguirre, 2012)

d) Usos y bondades

- La madera es muy dura y se utiliza para construcción, pilares, postes, cabos de herramientas.
- Las flores en infusión se usan para tratar la fiebre amarilla, hepatitis e inflamaciones especialmente del vientre, con la cocción de las hojas se realizan lavados a las mujeres recién dadas parto.
- Excelente especie para implementar SAF (Sistemas Agroforestales) en cortinas rompevientos.

2.2.6 Retenedores de agua

2.2.6.1 Origen y definición

Los retenedores de agua fueron creados hace 10 años aproximadamente en Alemania, Francia y Estados Unidos. Estos han sido sujeto de varias investigaciones donde se ha demostrado la eficiencia en la absorción y retención de grandes cantidades de líquido y nutrientes.

Son una clase de polímeros biodegradables que tienen gran capacidad de retención de líquido y nutrientes al ser aplicados directamente al suelo o a cualquier otro medio de cultivo, lo que hace posible el desarrollo de las plantas incluso en la época seca. La estructura química de este polímero le permite absorber hasta 350 veces su peso en agua, permitiendo que del 95 al 99% del

líquido sea tomado por el sistema radicular, optimizando el crecimiento de las plantas. (PROFAFOR, 2007)

2.2.6.2 Ventajas

Según PROFAFOR (2007), los retenedores de agua presentan las siguientes ventajas:

- Permite un mejor crecimiento de la planta en regiones de escasas lluvias.
- Permite el cultivo de la tierra bajo condiciones extremas de clima y suelo.
- Reduce los ciclos de riego y las cantidades de agua utilizada.
- Reduce al menos un tercio la pérdida de nutrientes en el suelo.
- Incrementa las reservas de agua de los suelos por muchos años.

2.2.6.3 Dosificación

a) Forestales y frutales

“*En vivero:* 1 a 3 gramos de hidrorretenedor / plántula / bolsa, mezclado uniformemente con el Sustrato; al momento de trasplante al sitio definitivo aplicar de 3 a 5 gr /bolsa.” (PROFAFOR, 2007)

“*En arboles ya establecidos:* 10 gramos por planta, divididos en proporciones iguales y colocados en cuatro hoyos equidistantes alrededor del árbol (2,5 gr/hoyo).” (PROFAFOR, 2007)

CAPÍTULO III

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

La presente investigación se efectuó en la provincia Imbabura, cantón Ibarra, parroquia Ambuquí en las áreas contiguas al Relleno Sanitario San Alfonso.

Geográficamente el área de investigación se encuentra localizada entre las coordenadas X=100559683 m; Y=8660549 m, a 1880 m.s.n.m., y cuenta con una extensión de 0,6 ha. (*Anexo 2 – Fig. 1 y 2*)

3.2 ASPECTOS BIOFÍSICOS DEL SITIO DE ESTUDIO

3.2.1 Clima y vegetación

El clima de la parroquia Ambuquí es cálido seco con poca precipitación durante todo el año. Presenta variaciones de temperaturas que oscilan entre los 19 y 29 °C y registra precipitaciones promedio de ± 350 mm anuales. (INAMHI)

3.3 MATERIALES

Los materiales, instrumentos e insumos utilizados en la investigación se detallan a continuación:

Tabla 2. Materiales, instrumentos e insumos utilizados durante el ensayo.

Materiales	Instrumentos y equipos	Insumos
Herramientas de campo	Navegador GPS	Plantas de : <i>Schinus molle</i> (molle), <i>Caesalpinia spinosa</i> (guarango) y <i>Vachellia macracantha</i> (espino)
Alambre de púas	Flexómetro	
Postes de madera	Clinómetro	
Clavos de erosión (varillas de hierro)	Calibrador o pie de rey	
Aserrín	Nivel en A	Pasto
		Hidrorretenedor
		Agua
		Materia orgánica proveniente de ganado bovino

Elaborado por: Cancán E. y Pantoja G.

3.4 METODOLOGÍA

3.4.1 Reconocimiento del sitio de ensayo

Se realizó una visita a los predios del Relleno Sanitario San Alfonso, conjuntamente con los técnicos del Municipio de Ibarra y los profesionales de la Universidad Técnica del Norte involucrados con el proyecto, donde se ubicó el sitio más idóneo para la implementación del trabajo de investigación.

Según la clasificación de ecosistemas del Ministerio del Ambiente, publicado en el año 2012, el sitio pertenece al ecosistema “Bosques y arbustales xéricos interandinos montano bajos de los Andes del Norte”

3.4.2 Delimitación del área de estudio

Se georeferenciaron varios puntos, donde se colocaron estacas referenciales con el fin de facilitar el trabajo del cerramiento. Con la información obtenida en el campo se elaboró un mapa, en el cual se evidencia el área y perímetro total que abarca el ensayo. (*Anexo 2 – Fig. 1 y 2*)

3.4.3 Técnicas a implementarse

3.4.3.1 *Técnica 1: Árboles en curvas a nivel*

La primera técnica denominada: *Árboles en curvas a nivel*, consiste en el establecimiento de tres especies forestales siguiendo las curvas a nivel propias del terreno: *Schinus molle* (**Tratamiento 1 – T1**), *Caesalpinia spinosa* (**Tratamiento 2 – T2**) y *Vachellia macracantha* (**Tratamiento 3 – T3**), mismas que fueron plantadas en cuatro bloques distintos para cada tratamiento. Los trabajos en el campo se realizaron con la siguiente secuencia:

3.4.3.1.1 Trazado de curvas a nivel

Antes de trazar las curvas a nivel, se determinaron las diferentes pendientes del terreno con la ayuda de un clinómetro. Seguido a esto se trazaron las curvas a nivel con el instrumento nivel en “A”, las cuales fueron señalizadas con aserrín para facilitar trabajos posteriores. Se ubicaron cuatro curvas distanciadas unas de otras dependiendo de la pendiente del terreno (entre siete y diez metros). Así, en los sitios que presentaron menor pendiente, la separación entre ellas fue mayor; mientras que, en pendientes mayores la distancia fue menor.

3.4.3.1.2 Hoyado

Se realizó los hoyos de 30x30x30 cm, utilizando barras y hoyadoras, los cuales se ubicaron en las curvas a nivel ya establecidas, a dos metros de distancia uno de otro. En los sitios que se evidenció inicio de erosión (*erosión en surcos*), éstos fueron ubicados sin tomar en cuenta la distancia indicada; es decir, dando prioridad a los lugares donde se observó indicios de escurrimiento superficial.

3.4.3.1.3 Plantación

En cada planta, se agregó 1 kg de materia orgánica (estiércol bovino) y 7g de hidrogel previamente hidratado en un litro de agua. Con la finalidad de tener una mejor distribución de los insumos, éstos fueron colocados de la siguiente forma: 50% de hidrorretenedor en la base del hoyo, a continuación se colocó el 50% de la materia orgánica y así sucesivamente hasta completar la dosis indicada, rellenando finalmente el hoyo con tierra del sitio. Una vez establecida la planta, se le adicionó un litro de agua en forma de riego.

3.4.3.1.4 Colocación de estacas referenciales

Se colocó estacas de madera previamente numeradas junto a cada planta, esto para que las mediciones de las variables altura total y diámetro basal se realice desde el mismo punto en cada evaluación y así evitar errores en la toma de datos.

3.4.3.1.5 Instalación de parcelas de clavos de erosión

Para determinar la pérdida de suelo superficial por escorrentía, se instaló varillas de hierro de 30 cm de longitud previamente graduadas (clavos de erosión), los cuales se colocaron a 15 cm de profundidad cada uno. Los clavos de

erosión se distanciaron en sentido perpendicular y horizontal 30 y 40 cm respectivamente uno de otro, formando redes de 40 clavos cada una.

La investigación consta de tres tratamientos y un testigo (fuera área del ensayo), cada uno con tres repeticiones; por lo tanto se instalaron 120 clavos de erosión por tratamiento y un total de 480 clavos dentro de la Técnica 1. La ubicación de las redes de clavos se realizó considerando una distancia mínima de tres metros entre repeticiones.

3.4.3.1.6 Toma de mediciones

Se midió las variables forestales para las tres especies en estudio cada dos meses, evaluando la sobrevivencia, estado fitosanitario, incremento en altura total y diámetro basal.

a) Sobrevivencia

El porcentaje de sobrevivencia fue evaluado bimensualmente a partir de los dos meses de instalado el ensayo, para ello se llevó un registro de cada tratamiento con el fin de determinar el número de plantas vivas. Para su determinación se aplicó la siguiente fórmula:

$$\text{Sobrevivencia (S\%)} = \frac{\text{Número de árboles vivos}}{\text{Número de árboles plantados}} \times 100$$

b) Estado Fitosanitario

Se realizó la evaluación a través de observaciones directas, considerando los criterios citados en la *Tabla 3*.

Tabla 3. Criterios de sanidad de las plantas

CATEGORÍA	CALIFICACIÓN	CARACTERÍSTICAS
1	Mala	Plantas muertas, secas, ataque de insectos y con tallos deformes.
2	Regular	Plantas con un porcentaje inferior al 50% de hojas verdes, tallos ligeramente torcidos.
3	Buena	Plantas con más del 50% de hojas verdes, tallos rectos.

Elaborado por: Cancán E. y Pantoja G.

c) Altura total

La medición inicial se realizó en el mes de marzo de 2014, posteriormente cada dos meses hasta la sexta medición (enero de 2015).

Para evaluar la altura total de las plantas se midió desde la estaca referencial hasta el ápice o yema terminal, utilizando para ello una regla de madera graduada al centímetro. (*Anexo 3- Foto 10*)

d) Diámetro basal

La medición inicial del diámetro basal se realizó en el mes de marzo de 2014, continuando las evaluaciones cada dos meses hasta la última, en el mes de enero de 2015.

Para determinar el diámetro basal de la planta se colocó el calibrador sobre la estaca referencial en la misma dirección (norte) y, se tomó el dato del incremento en milímetros. (*Anexo 3- Foto 15*)

e) Medición de clavos de erosión

Se midió los clavos de erosión (longitud) utilizando un flexómetro, desde su base hasta su cumbre. Esta actividad se llevó a cabo cada dos meses a partir de la instalación del ensayo, cuya información se registró para cada tratamiento. (*Anexo 3- Foto 16*)

Para la estimación de los procesos erosivos, se utilizó la siguiente fórmula:

$$X_{(\text{ton/ha})} = Y \cdot D_a \cdot 10$$

(Pizarro & Cutiño, 2002)

3.4.3.2 Técnica 2: Franjas vivas de Guarango y pasto en cárcavas

La segunda Técnica denominada: *Franjas vivas con Guarango y pasto en Cárcavas*, consistió en ubicar plantas forestales de Guarango (*Caesalpinia spinosa* M.&K) en asocio con el pasto natural del sitio en el interior de la cárcava, formándose así una estructura viva. Se instalaron dichas franjas en las tres cárcavas seleccionadas para la investigación, siguiendo para su instalación la siguiente secuencia:

3.4.3.2.1 Hoyado

Los hoyos para las plantas forestales se realizaron con los mismos parámetros descritos para la *Técnica 1*. Para la instalación de los pastos se elaboró los hoyos dependiendo del tamaño de sus raíces, en general no mayores a 20x20x20 cm. La distancia entre plantas forestales fue de 1,50 m y en el espacio intermedio se instaló el pasto separados uno de otro 30 cm.

El número de plantas forestales y de pasto fue determinada por el ancho de las Cárcavas y se instalaron en tres sitios distintos a lo largo de la misma (alto, medio, bajo).

3.4.3.2.2 Plantación

Para el establecimiento de las especies forestales se siguió la misma metodología citada en la *Técnica 1*.

El pasto se recolectó en los linderos del ensayo, teniendo cuidado de no maltratar sus raíces, para lo cual se sacó un pan de tierra completo y se colocó en los hoyos previamente elaborados, agregando 3g de hidrogel hidratado en 0.5 litros de agua.

3.4.2.2.3 Colocación de estacas referenciales

Para la colocación de estacas referenciales para la medición de las variables altura total y diámetro basal, se siguió la metodología descrita en la *Técnica 1*.

Así mismo, se colocaron estacas referenciales en los extremos y en el interior de las cárcavas en tres diferentes puntos (alto, medio y bajo), con el fin de medir las variables: largo, ancho y profundidad de las tres cárcavas en estudio.

3.4.2.2.4 Instalación de clavos de erosión

Para determinar la movilización de suelo superficial dentro de las tres cárcavas en estudio, se instalaron un total de 27 clavos de erosión de 30 cm de longitud, dejando libre 15cm para su medición. Dichos clavos fueron colocados en tres puntos diferentes a lo largo de la cárcava, tomando como base la escasa vegetación existente en ella. En cada sitio determinado se colocaron tres clavos a lo ancho de la cárcava, uno a cada extremo y uno en el interior de la misma.

3.4.2.2.5 Toma de datos

Se siguió la misma metodología descrita en la *Técnica 1*, para evaluar las variables forestales y edáficas. Además, para el factor edáfico se midió el largo, ancho y profundidad de las cárcavas al inicio y final del período de estudio (12 meses), a fin de comparar las dimensiones de las mismas.

3.4.2.2.6 Toma de muestras de suelo

Se tomaron un total de 12 sub-muestras, tres en cada tratamiento y tres en el testigo, las cuales se homogeneizaron con la finalidad de obtener una sola muestra, misma que fue enviada al laboratorio de Suelos y Aguas de la Estación Experimental Santa Catalina del INIAP para determinar la textura (arcilla, limo, arena), porcentajes de arenas finas y materia orgánica, densidad aparente, pH y contenido de humedad del suelo.

3.4.4 Diseño Experimental

Se aplicó el Diseño Experimental Bloques Completos al Azar, con un total de tres tratamientos y cuatro bloques.

Tabla 4. Diseño experimental aplicado a la investigación.

FV (Fuentes de variación)	Gl (grados de libertad)
Bloques	$(4 - 1) = 3$
Tratamientos	$(3 - 1) = 2$
Error	$(4 - 1)(3 - 1) = 6$
Total	$(3 \times 4) - 1 = 11$

3.4.4.1 *Modelo estadístico*

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \beta_j + \varepsilon_{ij}$$

Dónde: Y_{ij} = observación individual

μ = media común

τ_i = efecto de tratamientos

β_j = efectos de bloques

ε_{ij} = error experimental

3.4.4.2 *Tratamientos en estudio*

Para la *Técnica 1* se aplicaron los siguientes tratamientos.

Tabla 5. Tratamientos de la *Técnica 1*. Árboles en curvas a nivel

T1	<i>Schinus molle</i> (molle)
T2	<i>Caesalpinia spinosa</i> (guarango)
T3	<i>Vachellia macracantha</i> (espino)

3.4.4.3 *Prueba de rango múltiple*

Se aplicó las pruebas de Duncan y Tukey al 95% de probabilidad estadística.

3.4.4.4 *Características del ensayo*

Bloques.....	4
Tratamientos.....	3
Unidades experimentales.....	12
Total de plantas	138

3.4.5 **Determinación de costos de implementación de las Técnicas Conservacionistas.**

Para determinar los costos de implementación de cada técnica, se consideró los siguientes rubros: equipos, instrumentos, materiales, insumos, asistencia técnica y mano de obra (jornales). Esta última relacionada a actividades como: delimitación del área de estudio, cerramiento, hoyado, plantación, entre otros.

3.4.6 Análisis de la información

Toda la información recopilada durante los meses de investigación fue analizada, tabulada e interpretada por los tesisistas, director y asesores, para su publicación.

3.4.6.1 Análisis de las variables forestales

Se realizó el análisis de la información recopilada cada 60 días en lo referente a la sobrevivencia y estado fitosanitario, así como también los incrementos de altura total y diámetro basal.

3.4.6.2 Análisis de las variables edáficas

La información sobre las parcelas de clavos de erosión, se resumió en tablas para su respectivo análisis en lo que respecta a: Erosión (**E**) y Sedimentación (**S**), expresados en mm/ha/año y ton/ha/año, tomando como referencia el análisis del suelo, del cual se obtuvo la densidad aparente (ton/m³). Además, se realizó el análisis de las precipitaciones acumuladas durante el año de investigación y la incidencia de las condiciones climáticas del sitio.

CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS

4.1 VARIABLES FORESTALES

4.1.1 Sobrevivencia

4.1.1.1 Técnica 1: Árboles en curvas a nivel

Se establecieron un total de 138 plantas forestales, distribuidas en tres tratamientos.

De la información citada en la tabla 6, se evidencia que el Tratamiento 3 (*Vachellia macracantha*) es la especie forestal que mayor porcentaje de sobrevivencia presentó durante los 12 meses de la investigación (98,08%), seguido del Tratamiento 2 (*Caesalpinia spinosa*) que mantuvo el 64,29% de plantas vivas hasta la medición final y, el Tratamiento 1 (*Schinus molle*) que alcanzó el menor porcentaje de sobrevivencia (46,67%), y en el gráfico 1, se observa el comportamiento de cada especie, en cada medición.

Tabla 6. Sobrevivencia de las especies forestales de la *Técnica 1*.

TRAT	60 días		120 días		180 días		240 días		300 días		300 días	
	# plantas	%	# plantas	%	# plantas	%	# plantas	%	# plantas	%	# plantas	%
T1	30	100	28	93,33	25	83,33	22	73,33	15	50	14	46,67
T2	56	100	56	100	54	96,43	36	64,29	36	64,29	36	64,29
T3	52	100	52	100	52	100	51	98,08	51	98,08	51	98,08

Elaborado por: Cancán E. y Pantoja G.

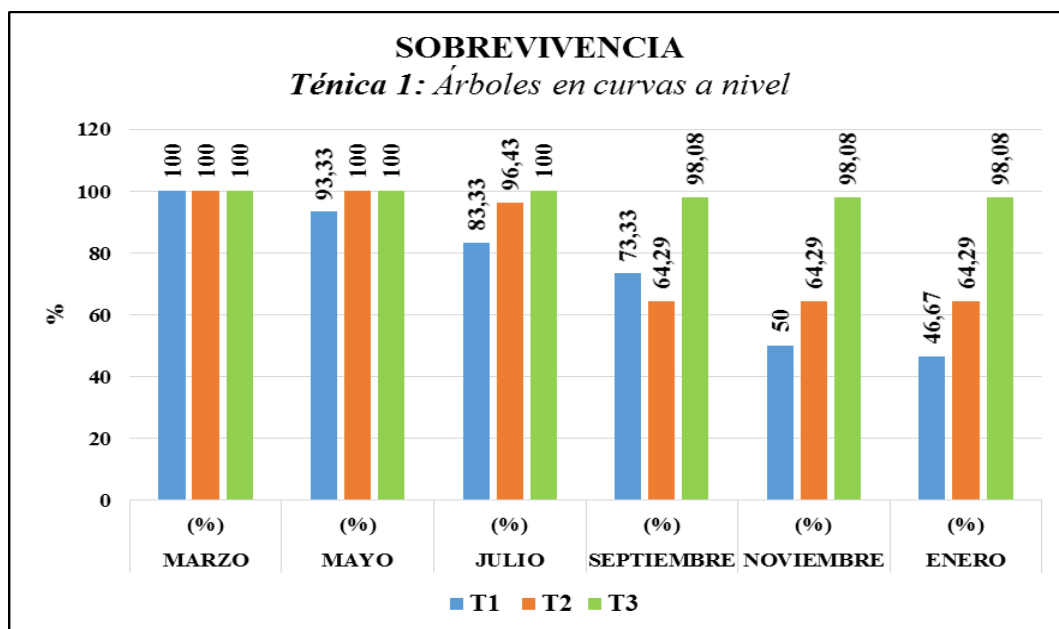


Gráfico 1. Porcentaje de sobrevivencia de la Técnica 1.

4.1.1.2 Técnica 2: Franjas vivas con Guarango y pasto en cárcavas

Al analizar la información de la tabla 7, se desprende que la especie *Caesalpinia spinosa* de la Cárcava 3 presentó el mayor porcentaje de sobrevivencia durante el periodo de investigación, con 17 individuos vivos, que representa el 58,6% de sobrevivencia, seguido de la Cárcava 2 con 16,7% y finalmente la Cárcava 1 con 14,3% de individuos vivos. Además, los 42 individuos distribuidos en las tres cárcavas, durante las tres primeras mediciones presentaron un promedio del 100%, 98,9, y 94,3% de sobrevivencia respectivamente, sin embargo dicha sobrevivencia disminuye sustancialmente durante las tres últimas mediciones, cuyo valor promedio es de 29,9%.

Tabla 7. Sobrevivencia de *Caesalpinia spinosa* de la Técnica 2.

# Cárcava	60 días		120 días		180 días		240 días		300 días		360 días	
	# plantas	%	# plantas	%	# plantas	%	# plantas	%	# plantas	%	# plantas	%
1	7	100	7	100	7	100,00	1	14,3	1	14,3	1	14,3
2	6	100	6	100	6	100,00	1	16,7	1	16,7	1	16,7
3	29	100	28	96,6	24	82,8	17	58,6	17	58,6	17	58,6
PROM.	42	100	41	98,9	37	94,3	19	29,9	19	29,9	19	29,9

Elaborado por: Cancán E. y Pantoja G.

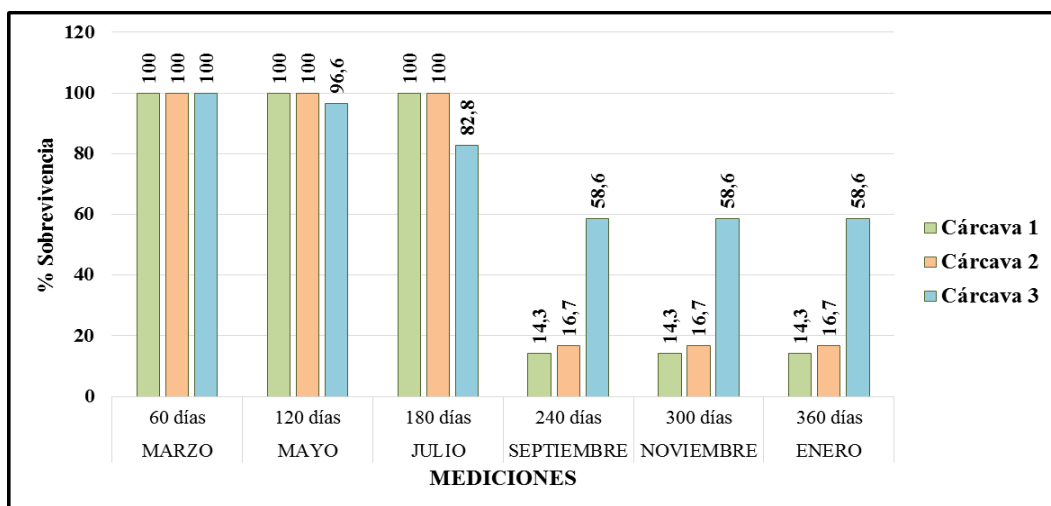


Gráfico 2. Sobrevivencia de *Caesalpinia spinosa* de la Técnica 2

4.1.2 Estado Fitosanitario

4.1.2.1 Técnica 1: Árboles en curvas a nivel

4.1.2.1.1 60 Vs. 360 días

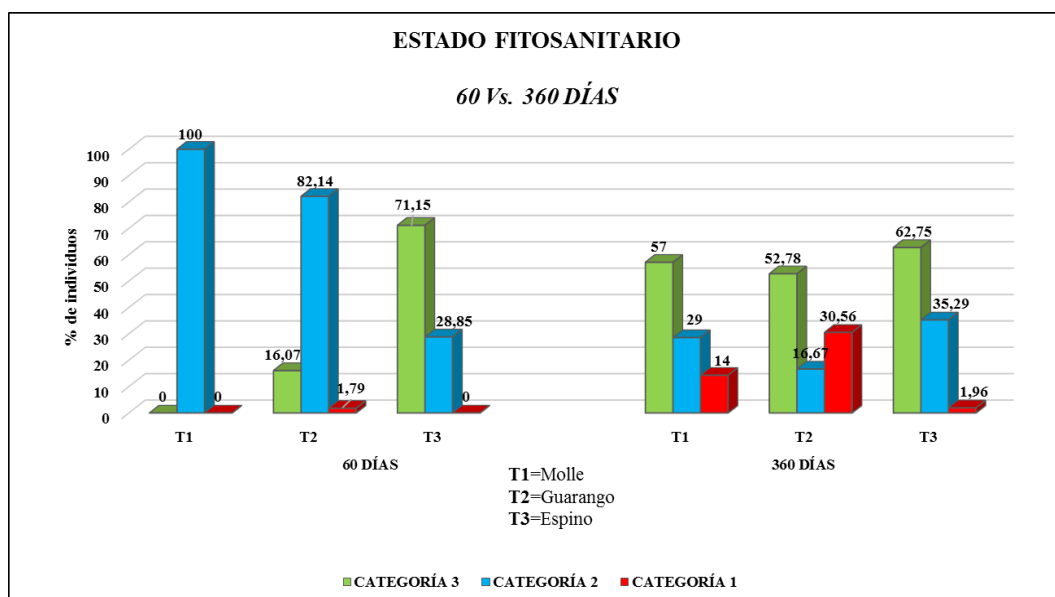


Gráfico 3. Estado fitosanitario de los Tratamientos (60 Vs. 360 días).

En el gráfico 3 se observa que: a los 60 días, que en los Tratamientos 1 (*Schinus molle*) y 2 (*Caesalpinia spinosa*) existe una predominancia de la Categoría 2 (<50% de hojas verdes y tallos ligeramente torcidos); mientras que, a al término de la investigación (360 días), en los tres Tratamientos (*Schinus molle*, *Caesalpinia spinosa*, *Vachellia macracantha*), se determinó que más del 50% de sus individuos se encuentran dentro de la Categoría 3 (>50% de hojas verdes y tallo recto).

4.1.2.2 Técnica 2: Franjas vivas con Guarango y pasto en cárcavas

De los 42 individuos establecidos al inicio de la investigación en las tres Cárcavas, 3 están dentro de la Categoría 3 (11,9%) y 39 (88,1%) en la Categoría 2; al término de la misma, solamente sobrevivieron 19, distribuidos de una forma más homogénea en las tres categorías 1 (5), 2 (7) y 3 (7).

Además, del gráfico 4 se desprende que: *Caesalpinia spinosa* está presente en las tres Categorías; sin embargo; a partir de la cuarta medición, se evidencia una distribución más uniforme en las Categoría 2 (<50% de hojas verdes y tallos ligeramente torcidos) y 3 (>50% de hojas verdes y tallo recto).

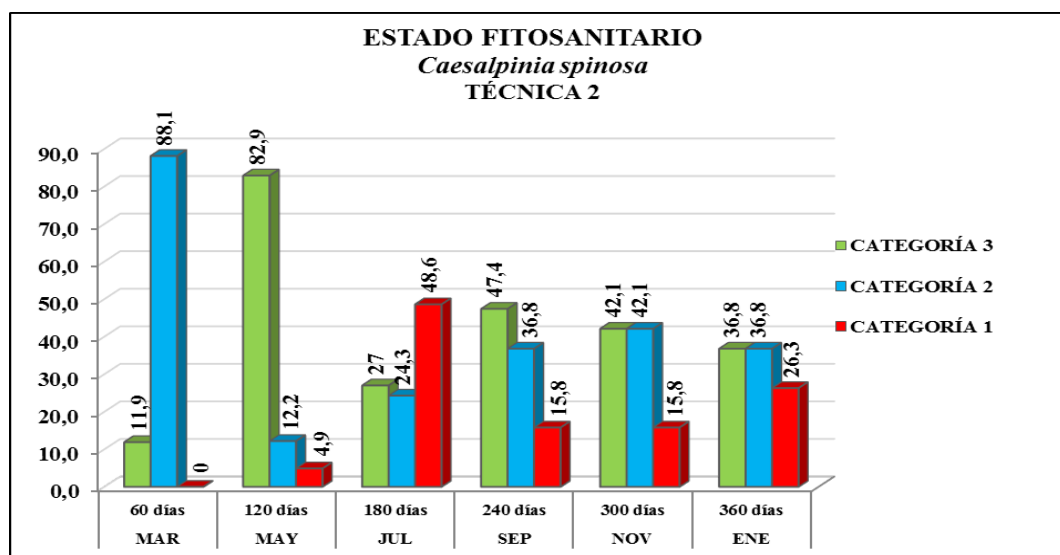


Gráfico 4. Estado fitosanitario total de *Caesalpinia spinosa* de la Técnica 2.

4.1.3 Altura Total (cm)

4.1.3.1 Técnica 1: Árboles en curvas a nivel

Del análisis de varianza obtenido a los 360 días de establecida la plantación (tabla 8), se observa un valor no significativo (^{ns}) para bloques y altamente significativo (**) para tratamientos, representando un crecimiento muy heterogéneo de las especies forestales. Además, en la tabla 9 se detallan las pruebas de medias aplicadas para los tratamientos, siendo el T1 (*Schinus molle*) el que presenta mayor incremento.

Tabla 8. ADEVA – Incremento en altura total de las especies forestales.

F.V.	SC	gl	CM	FC	F $\alpha_{0,05}$	F $\alpha_{0,01}$
Bloques	22,09	3	7,00	1,00 ^{ns}	5,14	10,92
Tratamientos	215,65	2	108,00	12,00 **	4,76	9,78
Error	52,20	6	9,00			
Total	289,93	11				

CV= 48,57

Elaborado por: Cancán E. y Pantoja G.

Tabla 9. Prueba de medias del incremento en altura total de las especies en estudio.

Tratamientos	Media	Duncan	Tukey
Molle	12,1	A	A
Espino	3,4	B	B
Guarango	2,8	B	B

Elaborado por: Cancán E. y Pantoja G.

El análisis de varianza y pruebas de medias por medición se detallan en los anexos del documento. (Ver Anexo 3, Tablas 26 - 37)

4.1.3.1.1 Tratamiento 1: Schinus molle

En la tabla 10, se observa el incremento en altura registrado en los 12 meses de investigación para los 30 individuos de la especie forestal en mención, distribuidos en cuatro curvas a nivel (bloques). El bloque 1, con seis individuos registra el mejor incremento total en altura durante la investigación (17,1 cm); mientras que, el bloque 2 con ocho individuos presentó el menor incremento (6,2 cm). Además, se visualiza en la citada tabla el incremento promedio de la altura total, la misma que está en el orden de los 12,1cm

Tabla 10. Incremento en altura (cm) del T1 (*Schinus molle*)

BLOQUES	N° plantas	MARZO 60 días	MAYO 120 días	JULIO 180 días	SEPTIEMBRE 240 días	NOVIEMBRE 300 días	ENERO 360 días	INCREMENTO cm
Bloque 1	6	24,5	27,4	28,4	39,9	40,7	41,5	17,1
Bloque 2	8	16	16,6	16,9	18,2	20,1	22,2	6,2
Bloque 3	9	24,6	25,1	25,7	26,2	28,9	34,7	10,1
Bloque 4	7	21,4	22,3	23,8	24,2	36,2	36,3	14,9
Promedio	30	21,6	22,9	23,7	27,1	31,5	33,7	12,1

Elaborado por: Cancán E. y Pantoja G.

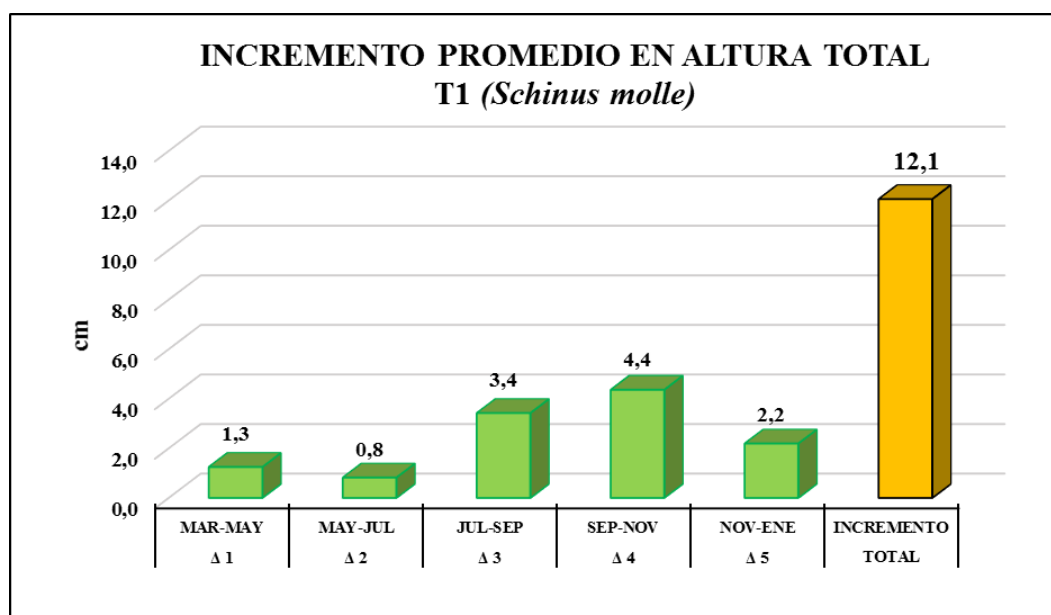


Gráfico 5. Incremento promedio en altura total del Tratamiento 1 (*Schinus molle*).

4.1.3.1.2 Tratamiento 2: *Caesalpinia spinosa*

En la tabla 11, se registró la altura promedio alcanzada por las 56 plantas a los 12 meses de establecidas y su correspondiente incremento total, las cuales se encuentran distribuidas en cuatro curvas a nivel (Bloques). En los Bloques 2 (15 individuos) y 3 (16 individuos), se puede evidenciar el máximo incremento de la especie en mención que está en el orden de los 3,2cm c/u; mientras que en el Bloque 1, con 17 individuos se registró el valor más bajo de incremento (2cm) durante la investigación. Además en la mencionada tabla, se observa el incremento promedio de la altura total (2,8cm).

Tabla 11. Incremento en altura total (cm) del T2 (*Caesalpinia spinosa*)

BLOQUES N° plantas	MARZO	MAYO	JULIO	SEPTIEMBRE	NOVIEMBRE	ENERO	INCREMENTO
	60 días	120 días	180 días	240 días	300 días	360 días	
Bloque 1	17	19,8	20,1	20,1	20,3	21	2
Bloque 2	15	19,9	20,6	22,2	22,2	22,4	3,2
Bloque 3	16	20,2	20,8	21,6	21,9	22,5	3,2
Bloque 4	8	21,3	22,6	23,1	23,4	23,4	2,7
Promedio	56	20,1	20,9	21,7	21,9	22,1	2,8

Elaborado por: Cancán E. y Pantoja G.

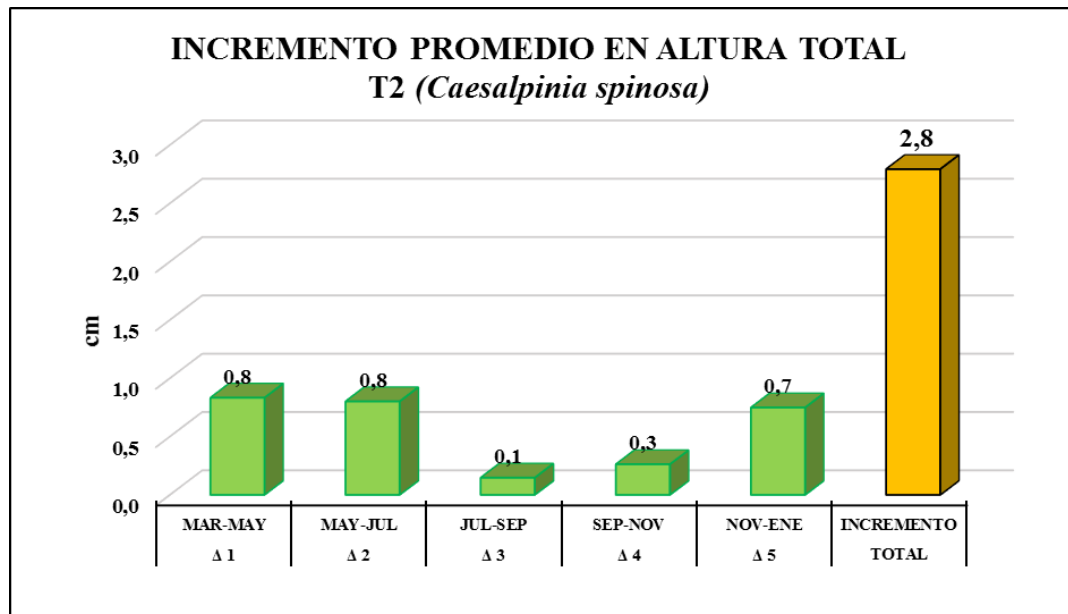


Gráfico 6. Incremento promedio en altura total del Tratamiento 2 (*Caesalpinia spinosa*).

4.1.3.1.3 Tratamiento 3: *Vachellia macracantha*

En la tabla 12, se registró la altura alcanzada por los 52 individuos a 12 meses de establecidos y su correspondiente incremento total promedio (3,4cm), los cuales se encuentran distribuidos en cuatro curvas a nivel (Bloques). El Bloque 1, con 8 individuos registra el valor más alto, con 4,2cm; mientras que, el Bloque 4 con 6 individuos alcanzó el promedio más bajo con 2,6cm hasta la medición final. Además, se observa un incremento en altura promedio de 3,4cm.

Tabla 12. Incremento en altura (cm) del T3 (*Vachellia macracantha*)

BLOQUES	N° plantas	MARZO 60 días	MAYO 120 días	JULIO 180 días	SEPTIEMBRE 240 días	NOVIEMBRE 300 días	ENERO 360 días	INCREMENTO cm
Bloque 1	8	34	33,7	35,4	36,3	36,9	38	4,2
Bloque 2	27	27,5	27,9	28,3	28,3	29,2	30,3	2,9
Bloque 3	11	40,3	40,5	41,6	42,4	43,3	44,1	3,9
Bloque 4	6	42	42,5	43,4	44,0	44	44,6	2,6
Promedio	52	35,9	36,2	37,2	37,8	38,4	39,2	3,4

Elaborado por: Cancán E. y Pantoja G.

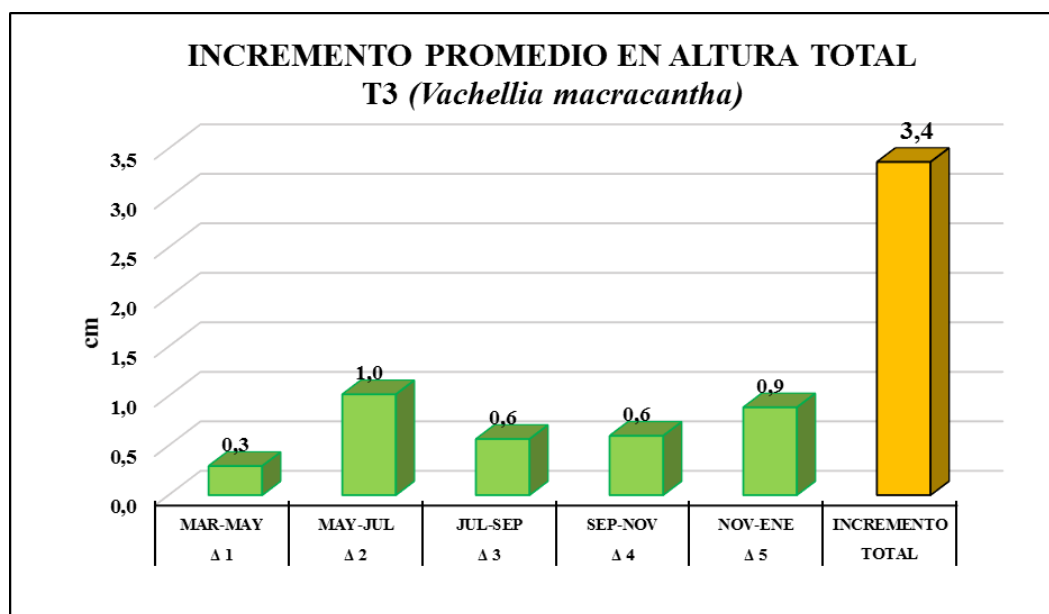


Gráfico 7. Incremento promedio en altura total del Tratamiento 3 (*Vachellia macracantha*).

4.1.3.2 Técnica 2: Franjas vivas con Guarango y pasto en cárcavas

En la tabla 13, se observa el incremento en altura alcanzada por los 42 individuos en los 12 meses de investigación, distribuidos en tres Cárcavas. La Cárcava 2, con 6 individuos registra el valor más alto durante la investigación (12,3cm); mientras que, la Cárcava 1 con 7 individuos alcanzó un promedio de 2,4cm hasta la medición final. Además se observa el incremento promedio de la altura total de la Técnica 2 (6,8cm).

Tabla 13. Incremento en altura (cm) de la especie de *Caesalpinia spinosa* en las tres cárcavas.

CÁRCAVAS	N° plantas	MARZO	MAYO	JULIO	SEPTIEMBRE	NOVIEMBRE	ENERO	INCREMENTO
		60 días	120 días	180 días	240 días	300 días	360 días	
Cárcava 1	7	16,6	17	17,4	18	18,4	19	2,4
Cárcava 2	6	21,3	25,3	27,7	31	31,8	33,6	12,3
Cárcava 3	29	20,2	21,8	23,6	24,3	24,7	25,9	5,7
Promedio	42	19,4	21,4	22,9	24,4	25,0	26,2	6,8

Elaborado por: Cancán E. y Pantoja G.

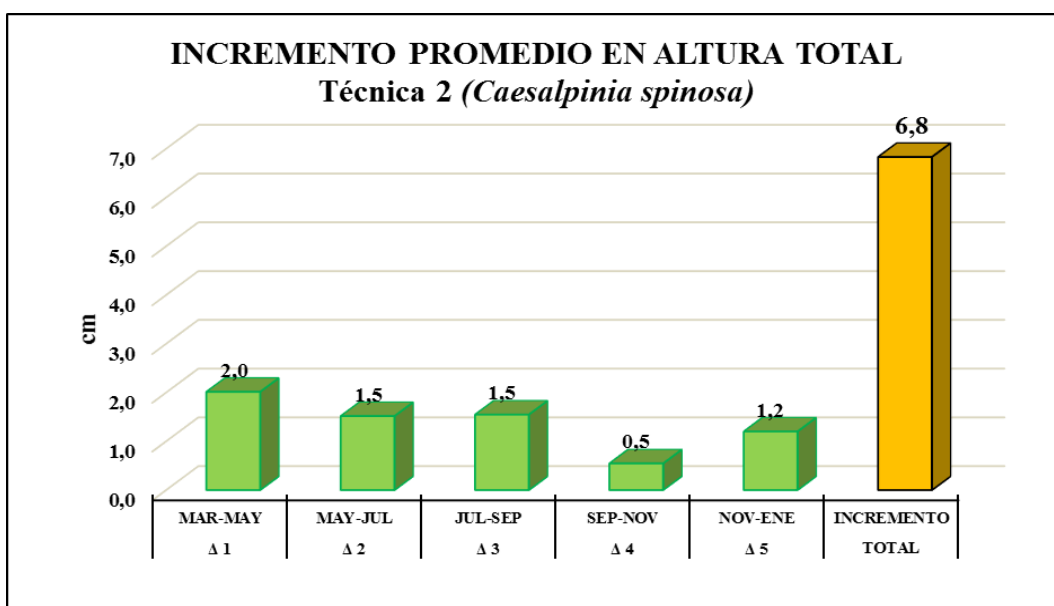


Gráfico 8. Incremento en altura total de *Caesalpinia spinosa* en Cárcavas – Técnica 2.

4.1.4 Diámetro basal (mm)

4.1.4.1 Técnica 1: Árboles en curvas a nivel

Del análisis de varianza obtenido a los 360 días de establecida la plantación, se observa un valor no significativo (^{ns}) para bloques y altamente significativo (**) para tratamientos, representando un crecimiento muy heterogéneo de las especies forestales. En la tabla 15 se detallan las pruebas de medias aplicadas para los tratamientos, siendo el T1 – (*Schinus molle*) la que presentó el mayor incremento.

Tabla 14. ADEVA – Incremento en diámetro basal de las especies forestales.

F.V.	SC	gl	CM	FC	F $\alpha_{0,05}$	F $\alpha_{0,01}$
Bloques	1,42	3	0,47	2,94 ^{ns}	5,14	10,92
Tratamientos	7,04	2	3,52	21,87 **	4,76	9,78
Error	0,97	6	0,16			
Total	9,42	11				

CV= 22,28

Elaborado por: Autores

Tabla 15. Prueba de medias del incremento en diámetro basal de las especies forestales.

Tratamientos	Media	Duncan	Tukey
Molle	2,88	A	A
Guarango	1,38	B	B
Espino	1,15	B	B

Elaborado por: Autores

El análisis de varianza y pruebas de medias por medición se detallan en los anexos del documento. (Ver Anexo 3, Tablas 38 - 49)

4.1.4.1.1 Tratamiento 1: *Schinus molle*

En la tabla 16, se observa el incremento en diámetro basal de los 30 individuos, registrado en los 12 meses de investigación y distribuidos en cuatro curvas a nivel (Bloques). Los Bloques 3 y 4, con 9 y 7 individuos respectivamente, registran el mejor crecimiento, con 3,3mm para la medición final (360 días); mientras que, el Bloque 1, con 6 individuos alcanzó un promedio de 1,8mm. Además, se puede visualizar en el gráfico 10 el incremento promedio del diámetro basal de dicha especie, con 2,88mm.

Tabla 16. Incremento en diámetro basal (mm) del T1 – (*Schinus molle*)

BLOQUES	Nº plantas	MARZO 60 días	MAYO 120 días	JULIO 180 días	SEPTIEMBRE 240 días	NOVIEMBRE 300 días	ENERO 360 días	INCREMENTO mm
Bloque 1	6	5,50	6,00	6,60	6,50	6,80	7,30	1,80
Bloque 2	8	4,70	6,10	6,60	6,90	7,40	7,80	3,10
Bloque 3	9	6,00	6,50	7,10	8,60	9,00	9,30	3,30
Bloque 4	7	5,40	5,60	6,30	6,30	8,40	8,70	3,30
Promedio	30	5,40	6,05	6,65	7,08	7,90	8,28	2,88

Elaborado por: Cancán E. y Pantoja G.

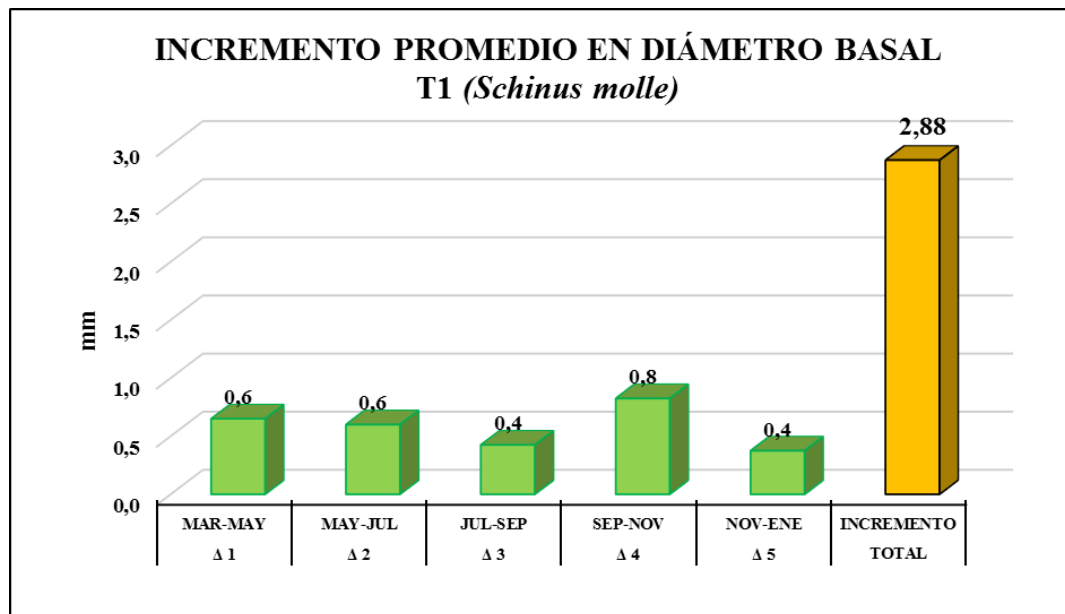


Gráfico 9. Incremento promedio en diámetro basal del Tratamiento 1 (*Schinus molle*).

4.1.4.1.2 Tratamiento 2: *Caesalpinia spinosa*

En la tabla 17, se visualiza el incremento en diámetro basal de los 56 individuos, registrados en los 12 meses de investigación y, distribuidos en cuatro curvas a nivel (Bloques). El Bloque 3, con 16 individuos registra el incremento más alto, con 2,0mm; mientras que, los Bloques 1 y 4, con 17 y 8 individuos respectivamente alcanzaron un promedio de 1,10mm, siendo éste el valor más bajo. Además, se puede visualizar en el gráfico 11 el incremento promedio del diámetro basal de dicha especie, con 1,38mm.

Tabla 17. Incremento en milímetros del T2 – (*Caesalpinia spinosa*)

BLOQUES	N° plantas	MARZO 60 días	MAYO 120 días	JULIO 180 días	SEPTIEMBRE 240 días	NOVIEMBRE 300 días	ENERO 360 días	INCREMENTO mm
Bloque 1	17	6,60	6,90	7,10	7,40	7,50	7,70	1,10
Bloque 2	15	6,30	6,60	6,90	7,30	7,30	7,60	1,30
Bloque 3	16	7,00	7,30	7,60	8,40	8,60	9,00	2,00
Bloque 4	8	7,20	7,30	7,60	7,90	8,00	8,30	1,10
Promedio	56	6,78	7,03	7,30	7,75	7,85	8,15	1,38

Elaborado por: Cancán E. y Pantoja G.

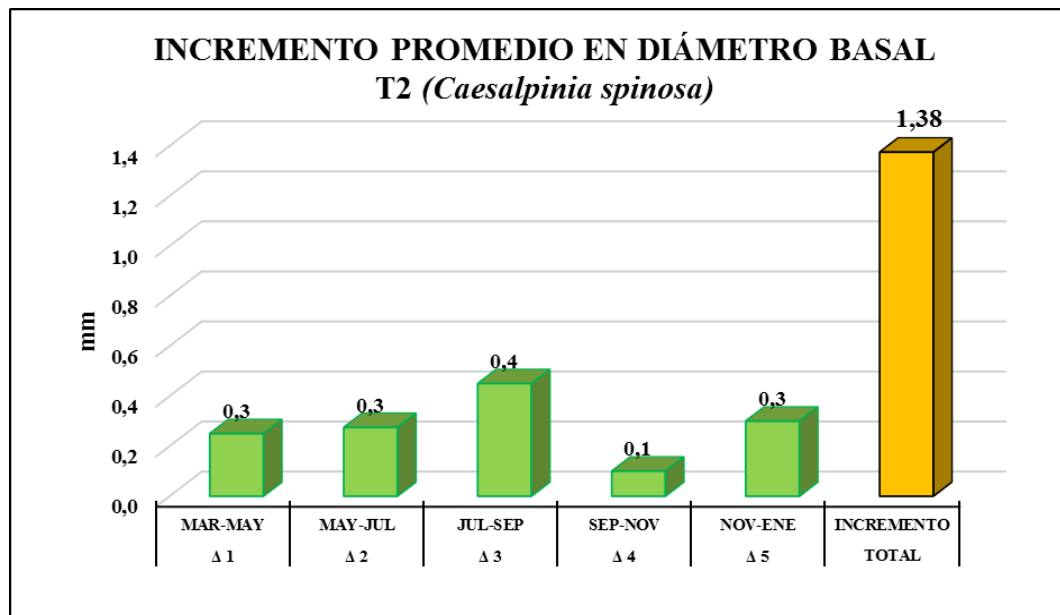


Gráfico 10. Incremento promedio en diámetro basal del Tratamiento 2 (*Caesalpinia spinosa*).

4.1.4.1.3 Tratamiento 3: *Vachellia macracantha*

En la tabla 18, se observa el incremento en diámetro basal de los 52 individuos, registrado en los 12 meses de investigación, distribuidos en cuatro curvas a nivel (Bloques). El Bloque 4, con 6 individuos registra el valor más alto, con 1,5mm; mientras que, los Bloques 1 y 2, con 8 y 27 individuos respectivamente, alcanzaron un promedio de 0,90mm. Además se observa en la citada tabla y gráfico 12, el incremento promedio en diámetro basal de la especie en mención (1,15)

Tabla 18. Incremento en milímetros del T3 (*Vachellia macracantha*)

BLOQUES	Nº plantas	MARZO 60 días	MAYO 120 días	JULIO 180 días	SEPTIEMBRE 240 días	NOVIEMBRE 300 días	ENERO 360 días	INCREMENTO mm
Bloque 1	8	7,20	7,20	7,30	7,60	8,00	8,10	0,90
Bloque 2	27	7,90	8,10	8,20	8,40	8,60	8,80	0,90
Bloque 3	11	8,10	8,40	8,60	8,90	9,10	9,40	1,30
Bloque 4	6	7,70	8,00	8,30	8,70	8,80	9,20	1,50
Promedio	52	7,73	7,93	8,10	8,40	8,63	8,88	1,15

Elaborado por: Cancán E. y Pantoja G.

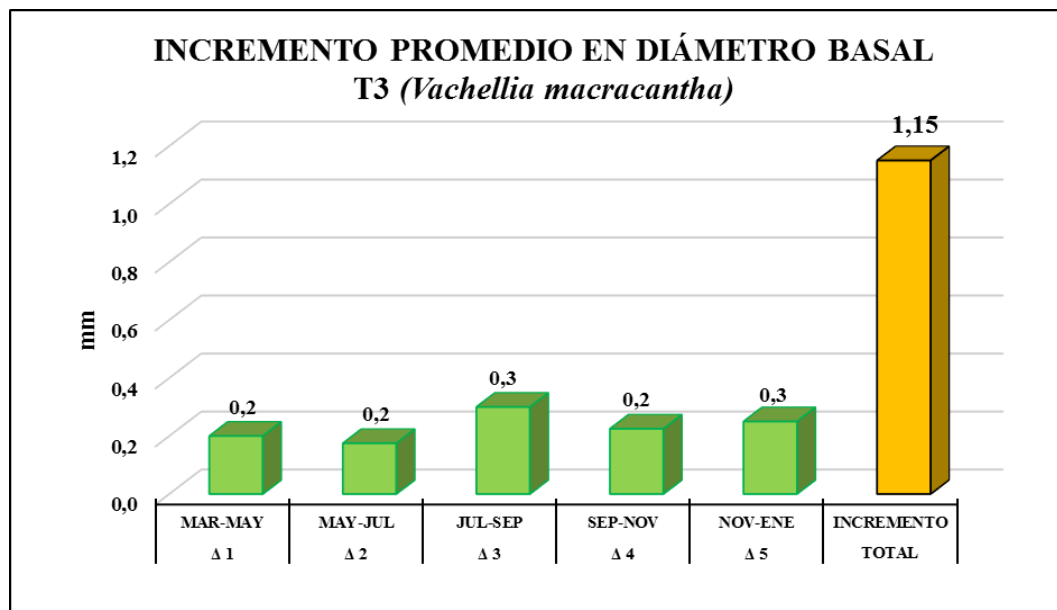


Gráfico 11. Incremento promedio en diámetro basal del Tratamiento 3 (*Vachellia macracantha*).

4.1.4.2 Técnica 2: Franjas vivas con Guarango y pasto en cárcavas

En la tabla 19, se observa el incremento en diámetro basal de *Caesalpinia spinosa* registrado en los 12 meses de investigación, distribuida en tres Cárcavas y con un total de 42 individuos. La Cárcava 3 (29 individuos) registra el valor más alto, con 1,80mm; mientras que, las Cárcavas 1 y 2, (7 y 6 individuos respectivamente) alcanzaron un promedio de 0,90mm. Además, en el gráfico 14, se observa el incremento promedio del diámetro basal de la Técnica 2, con 1,20mm al final de la investigación.

Tabla 19. Incremento en milímetros de *Caesalpinia spinosa* en las tres cárcavas.

CÁRCAVAS	Nº plantas	MARZO	MAYO	JULIO	SEPTIEMBRE	NOVIEMBRE	ENERO	INCREMENTO
		60 días	120 días	180 días	240 días	300 días	360 días	
Cárcava 1	7	6,30	6,60	7,00	7,00	7,20	7,20	0,90
Cárcava 2	6	7,50	7,70	7,80	8,00	8,00	8,40	0,90
Cárcava 3	29	6,40	6,70	7,10	7,50	7,90	8,20	1,80
Promedio	42	6,73	7,00	7,30	7,50	7,70	7,93	1,20

Elaborado por: Cancán E. y Pantoja G.

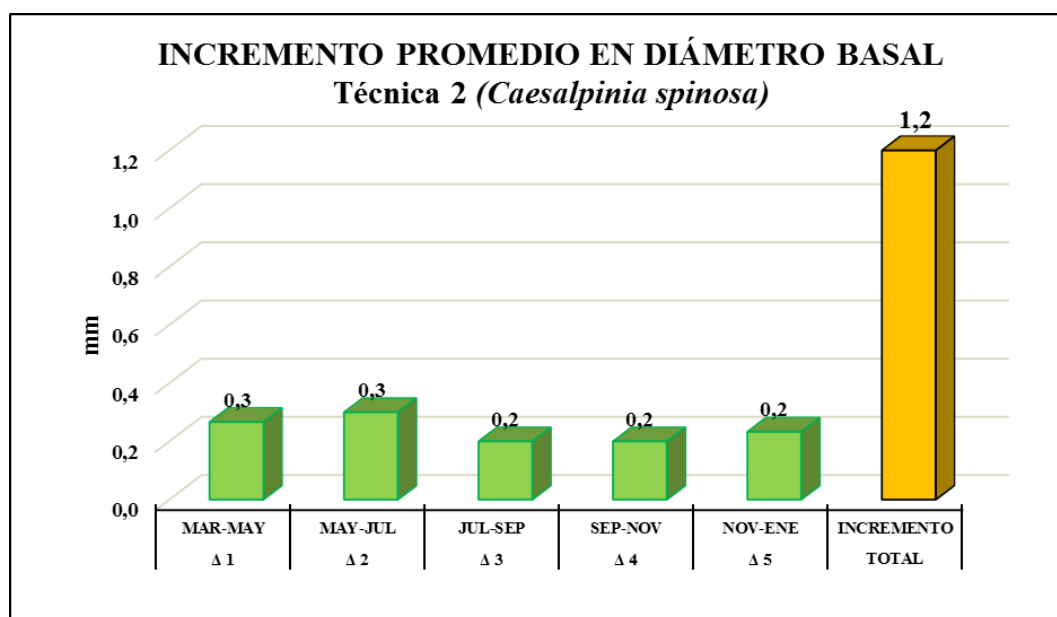


Gráfico 12. Diámetro basal promedio de *Caesalpinia spinosa* en Cárcavas – Técnica 2.

4.1.5 Análisis de Correlación de las especies forestales

Tabla 20. Análisis de Correlación de las variables altura total y diámetro basal de las especies forestales de la *Técnica 1*.

Correlación	r	**	$\alpha_{0,05}$	$\alpha_{0,01}$
Molle	0,971	**	0,754	0,874
Guarango	0,963	**	0,754	0,874
Espino	0,991	**	0,754	0,874

Elaborado por: Cancán E. y Pantoja G.

Del análisis de la información generada en la tabla 20, se deduce que las variables forestales altura total y diámetro basal de las tres especies forestales, se asocian al 99% de probabilidad estadística en su crecimiento, lo que significa una relación altamente significativa entre las variables evaluadas, durante los doce meses de investigación.

En los siguientes gráficos se detalla la tendencia de crecimiento.

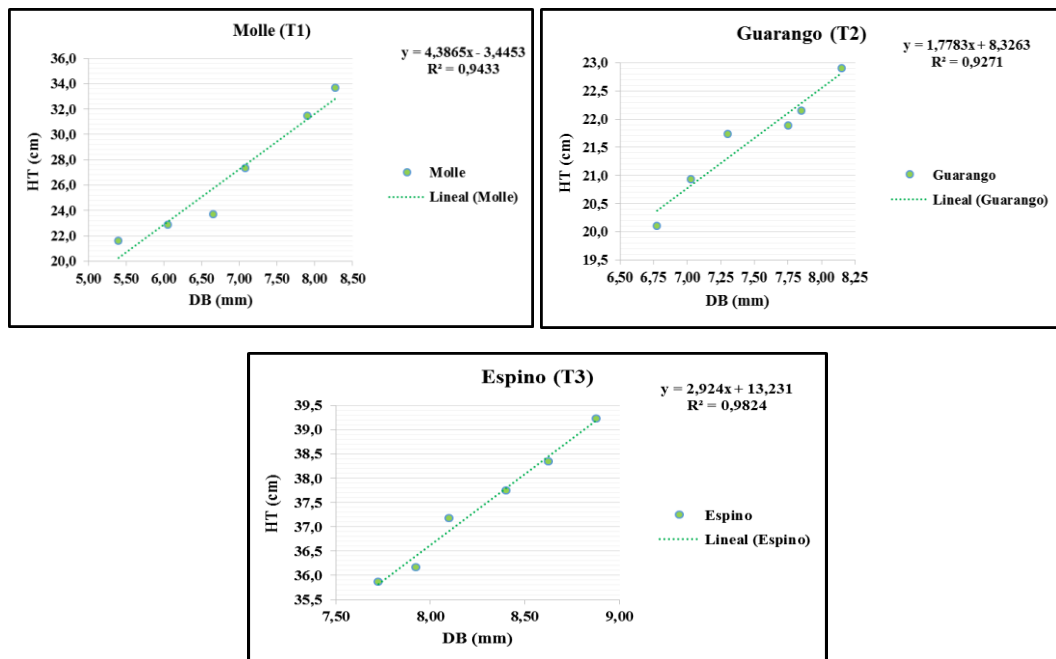


Gráfico 13, 14 y 15. Análisis de Correlación de las especies Forestales de la *Técnica 1*.

4.2 VARIABLES EDÁFICAS

4.2.1 Parcelas de clavos de erosión

Tabla 21. Proceso erosivo de las redes de clavos de erosión.

TRATAMIENTOS	(Y) mm/ha/año	Da (ton/m ³)	Precipitación promedio anual (mm)	Pendiente (%)	X= Y.Da.10 (ton/ha/año)
Tratamiento 1	3	1,4	250	35	42
Tratamiento 2	2	1,4	250	42	28
Tratamiento 3	2	1,4	250	35	28
Erosión Prom. Trat.	2,3	1,4	250	37,3	32,7
Testigo	3	1,4	250	37,3	42

Elaborado por: Cancán E. y Pantoja G.

En la tabla 21 y gráfico 18, se hace la síntesis de la erosión ocurrida dentro de las redes de clavos durante el período de investigación, calculando promedios de la lámina superficial del suelo movilizado (mm), mismas que se instalaron dentro de los tratamientos (9 redes) y tres redes fuera de los tratamientos (testigo); donde, el promedio de la erosión calculada dentro de los Tratamientos fue 32,7 ton/ha/año, mientras que en el Testigo el resultado fue 42 ton/ha/año.

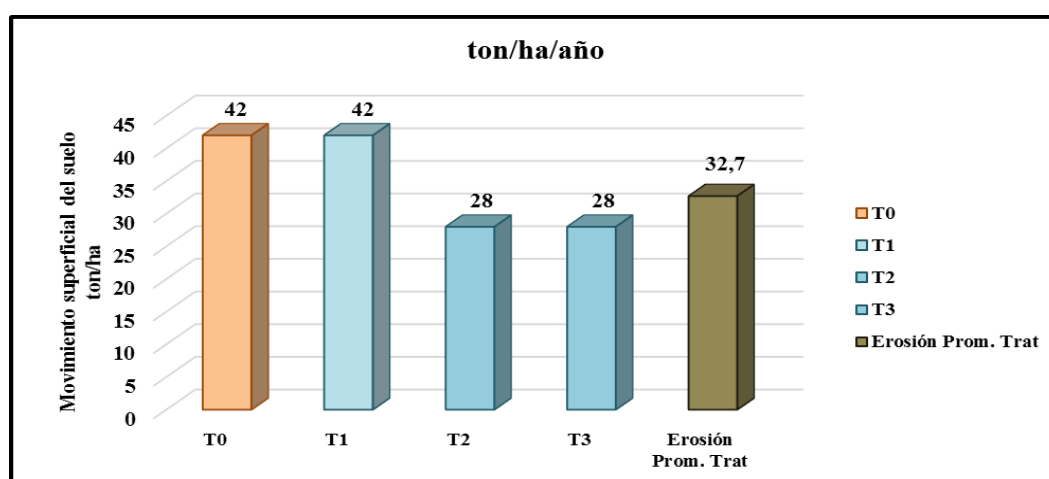


Gráfico 16. Erosión superficial del suelo (ton/ha/año)

Los análisis de varianza de las redes de clavos de erosión se detallan en los anexos del documento. (Anexo 1, Tablas 50 -54)

4.2.2 Medidores de erosión en cárcavas

Tabla 22. Proceso erosivo de los clavos medidores de erosión en cárcavas

CÁRCAVAS	Sedimentación (Y) mm/ha/año	Da (ton/m³)	Precipitación promedio anual (mm)	X= Y.Da.10 (ton/ha/año)
Cárcava 1	3	1,4	250	42
Cárcava 2	6	1,4	250	84
Cárcava 3	7	1,4	250	98
Promedio	5,3	1,4	250	74,7

De los 27 clavos de erosión instalados en los extremos y en el centro de las Cárcavas, se desprenden los siguientes resultados: *Cárcava 1*: 42 ton/ha/año; *Cárcava 2*: 84 ton/ha/año; *Cárcava 3*: 98 ton/ha/año, dando un promedio de 74,7 ton/ha/año de *Sedimentación*.

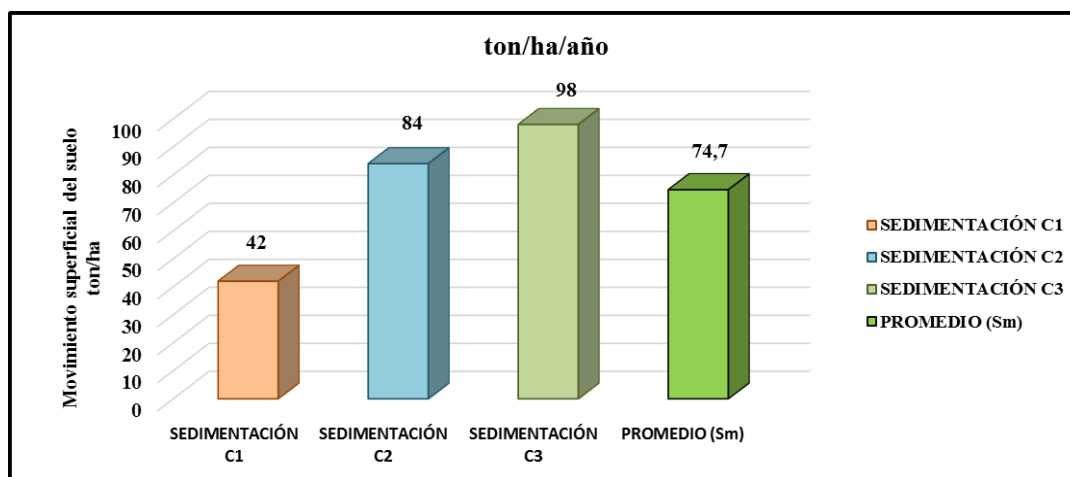


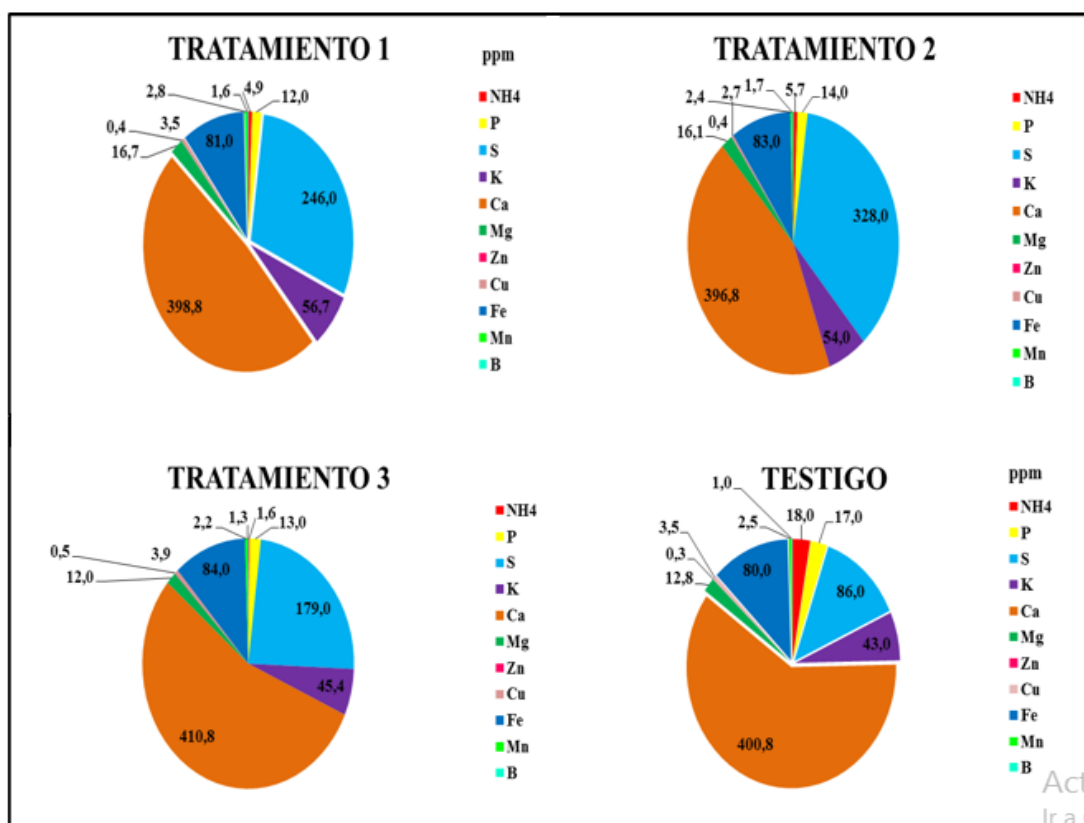
Gráfico 17. Sedimentación (ton/ha/año)

4.2.3 Muestras de suelo

4.2.3.1 Composición Química del suelo

Según el análisis de suelo realizado en la investigación, en el grafico 22 se puede observar los macro y micro nutrientes constitutivos del suelo del área de estudio, donde claramente el Calcio (Ca), (macronutriente secundario) es el que presenta cantidades más elevadas, el porcentaje más alto se evidencia en el *Tratamiento 3*, con 410,8 ppm, el Zinc (Zn) por el contrario, es el elemento que se presenta en menores porcentajes, tanto en los tratamientos como en el testigo, el porcentaje más alto se registra en el *Tratamiento 3* con 0,5 ppm.

Con respecto a la materia orgánica, se encuentran bajos porcentajes en el testigo y en todos los tratamientos, con valores entre 0,90 y 1,90%. La humedad tiene su valor más alto en los Tratamientos 1 y 2 con el 7,60% cada uno y su valor más bajo en el Testigo, con 2,70%. Finalmente se observa que el pH tiene valores superiores a nueve, por lo que resulta ser un suelo alcalino y por ende de clase contextual Franco en todos los casos.



Elaborado por: Cancán E y Pantoja G.

Gráfico 18. Macro y micronutrientes: Tratamientos y Testigo (ppm).

4.3 COMPROBACIÓN DE HIPÓTESIS

Luego de haber realizado la investigación se acepta la Hipótesis Alternativa (H_a), ya que se evidenció diferencias entre las Técnicas conservacionistas implementadas, siendo la *Técnica 2*, la que mostró un mejor comportamiento inicial en comparación con la *Técnica 1*. La *Técnica 2* (Franjas vivas con Guarango y pasto en cárcavas) mitigó directamente el grado erosivo debido a la acción directa de sus componentes; mientras que en la *Técnica 1*, a pesar de que conserva el 69,68% de los individuos vivos, no se evidencia mitigación de la erosión debido al tamaño y edad de los mismos. Sin embargo, las especies forestales en curvas a nivel (*Técnica 1*), estarán en capacidad de aportar materia orgánica, reducir el grado erosivo, retener la humedad, aportar nitrógeno, entre

otras funciones de conservación de suelos, a medida de que éstas alcancen mayor desarrollo (mediano y largo plazo).

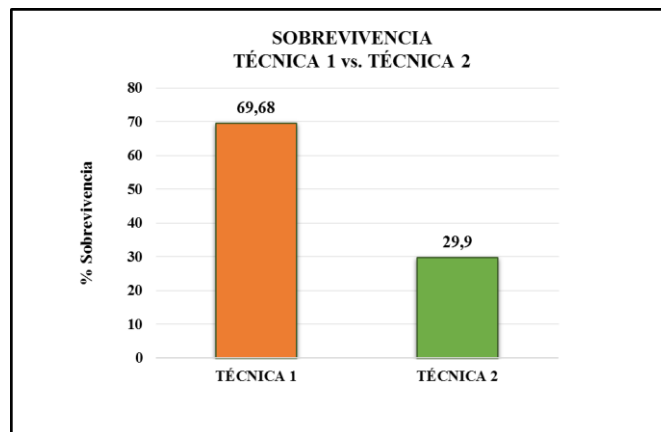


Gráfico 19. Porcentaje de supervivencia de las dos Técnicas.

4.4 COSTOS DE IMPLEMENTACION DE LAS TÉCNICAS CONSERVACIONISTAS

Los costos de establecimiento se calcularon en base a 1 ha, tomado en cuenta variables como: equipos, instrumentos, materiales, insumos y la mano de obra donde se realizó las siguientes actividades: delimitación del área de estudio, cerramiento, hoyado, plantación, entre otros. También se consideró asistencia técnica, alquiler de equipos, compra de insumos, e imprevistos del 10%.

Los costos se calcularon para las dos técnicas implementadas en el ensayo, los principales rubros tomados en cuenta se detallan en las tablas anexadas del documento.

El costo total de la Técnica 1: *Árboles en curvas a nivel*, fue de: 2 555, 30 dólares/ha, así mismo, la Técnica 2: *Franjas vivas con guarango y pasto en Cárcavas* calculó un costo total de 1 285,5 dólares / ha. (*Anexo 1 – tabla 24 y 25*)

CAPÍTULO V

5. DISCUSIÓN

5.1 VARIABLES FORESTALES

Con respecto al comportamiento de las especies forestales implementadas en la *Técnica 1*, se detectó que la especie *Schinus molle*, a pesar de que fue la que menor porcentaje de sobrevivencia obtuvo (46,67%), es la que presentó mejor crecimiento con respecto a las variables altura total y diámetro basal, 12,1cm y 2,88 mm respectivamente, en comparación a las especies *Caesalpinia spinosa*, y *Vachellia macracantha*, (Guerra & Velasco , 2012) de la misma manera encuentran *Schinus molle*, implementado con materia orgánica, con el mejor desarrollo en altura total y diámetro basal y dentro de sus resultados, obteniendo un incremento de 27,17cm y 6,5mm a los 360 días de plantación en el sector Aloburo, donde existe una precipitación media anual mayor a los 500mm. (Isacás, 2008), encuentra que: el Molle alcanza un incremento de 1,22 mm de diámetro basal a los 360 días, en el sector de la microcuenca Yahuarcocha, aplicando humus en el momento de la plantación, resultado afín al de esta investigación.

La especie *Vachellia macracantha* obtuvo el mejor porcentaje de sobrevivencia y estado fitosanitario durante los meses de investigación, con 98,08% de individuos vivos, de los cuales el 62,75% de ellos se sitúan en la mejor categoría de sanidad (Categoría 3). Esta especie presenta este comportamiento debido a que se encuentra de forma natural en el lugar de estudio; es decir, está adaptada a las condiciones edafo-climáticas del sitio. Estos resultados son afines a otra investigación realizada en el año 2008, donde se obtuvo el 100% de sobrevivencia para esta especie a los 300 días de plantación; donde se controló la recolección de semillas, el vivero y la plantación. (Isacás, 2008)

La especie *Caesalpinia spinosa* de la *Técnica 1*, tuvo un incremento en altura promedio de 2,8cm; mientras que en la *Técnica 2*, el incremento fue 6,8cm. Esta diferencia se debe al microclima que se forma en los bordes de las cárcavas, puesto que los individuos establecidos en estos lugares son los que presentan el mejor comportamiento.

Los promedios de altura total y la sanidad de las especies: *Caesalpinia spinosa* y *Vachellia macracantha*, se vieron alterados debido al ataque de un arácnido que se anida en el ápice vegetativo y lo seca, debido a esto se tienen valores muy heterogéneos en las mediciones sucesivas, dificultando la toma de datos. También la especie *Vachellia macracantha*, denota un comportamiento especial en su crecimiento, debido a que se seca su parte aérea y mantiene las hojas verdes en la parte baja de la planta, la tendencia de su crecimiento es más lateral que vertical, también dificultando el trabajo de las mediciones.

5.2 VARIABLES EDÁFICAS

El valor promedio de erosión calculado en la presente investigación (33 ton/ha/año), se sitúa dentro de los niveles de Erosión muy severa clasificados así por el MAE (2000), con esto se infiere que para la zona de estudio (Pimampiro), se requiere de suma urgencia la implementación de técnicas conservacionistas que permitan en cierto grado la mitigación de este problema ambiental, que en la actualidad aqueja a una superficie global aproximada del 50%, FAO (2000).

El principal agente causante de dicha erosión es el agua (erosión hídrica), siendo en los meses de mayor precipitación donde se calcularon valores más altos de erosión y sedimentación, y a pesar que las lluvias son pocas (250mm/año), son muy fuertes, es decir la intensidad fue muy alta, evidenciándose en el arrastre de los sedimentos de las partes altas, hacia las zona bajas en gran cantidad. Así mismo, la escasa vegetación no hizo frente al impacto directo de las gotas de lluvia en el suelo desnudo, esto se vio reflejado en la salpicadura de arena en las plantas forestales implementadas en la presente investigación, las cuales tenían un

promedio de 25 a 30 cm de alto. Hudson (1997), señala que: “La cubierta vegetal del suelo que lo protege contra la energía de la lluvia o la escorrentía de superficie influye considerablemente en la erosión. Muchos estudios han demostrado que la relación no es lineal, produciéndose incluso una reducción sustancial de la erosión cuando el suelo está protegido por una cubierta vegetal de densidad relativamente pequeña”

Siguiendo la misma metodología de clavos de erosión en Chile, Pizarro & Cutiño (2002), calcularon 31,2 ton/ha, en laderas con pendientes entre 5 a 10 %, precipitación promedio de 950 mm/año y longitud de 50 m. Del mismo modo Vega (2008) en el mismo país, calculó un aproximado de 23 ton/ha, en condiciones similares. En la sierra peruana, Vásquez & Tapia (2011), calcularon 45,05 ton/ha/año de erosión en pendientes accidentadas en el orden de 18 a 40% y con precipitaciones promedio de 750mm/año.

Por lo contrario en los 27 clavos de erosión implementados dentro de las cárcavas, se registró 74,7 ton/ha/año de sedimentación, lo cual se debe a que la escorrentía superficial proveniente de las partes altas se depositan dentro de las cárcavas, y la barrera viva de guarango y pasto (Técnica 2) favorece la retención de sedimento. Este comportamiento es muy beneficioso en relación a la recuperación de cárcavas, ya que los sedimentos atrapados entre las franjas vivas, promueven un crecimiento acelerado de especies vegetales y entre ellos la especie forestal implementada en el mismo.

CAPÍTULO VI

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 CONCLUSIONES

- En la *Técnica 1*, el mayor porcentaje de Supervivencia a los 12 meses de establecida plantación, presentó el T3 (*Vachellia macracantha*), manteniendo el 98,08%, seguido del T2 (*Caesalpinia spinosa*), con el 64,29% y finalmente, el T1 (*Schinus molle*) representado en un 46,67% de individuos vivos. Por su parte, en la *Técnica 2* *Caesalpinia spinosa* presentó un 29,9% de supervivencia.
- En la *Técnica 1*, el Tratamiento que registró el mayor incremento en altura total y diámetro basal fue el T1, con 12,1 cm y 2,88 mm respectivamente; seguido del T3 con 3,4 cm y 1,15 mm y finalmente el T2 con 2,8 cm y 1,38 mm. Sin embargo, en la *Técnica 2* el comportamiento de *Caesalpinia spinosa* con respecto a las variables citadas está en el orden de 6,8cm y 1,20mm respectivamente.
- Transcurridos los 12 meses de investigación, se observó en la *Técnica 2* una mayor retención de sedimentos (sedimentación) debido a la acción directa de las franjas vivas (pasto + guarango); mientras que, en la *Técnica 1* (árboles en curvas a nivel) se evidenció mayor grado de erosión debido al tamaño y edad de los individuos. Esto indica que la *Técnica 2* es la que está aportando beneficios a corto plazo en relación a la recuperación de cárcavas.
- En las redes de clavos instaladas en los tres Tratamientos y en el Testigo, se evidenció una erosión promedio de Tratamientos de 32,7 ton/ha/año, mientras que en el Testigo el valor de fue 42 ton/ha/año. Por el contrario, en los clavos

instalados en el interior de las cárcavas, se calculó un valor de 74,7 ton/ha/año de sedimentación.

- El costo de implementación de la *Técnica 1* fue 2555,30 USD/ha; mientras que de la *Técnica 2* es de 1285,75 USD/ha. La diferencia de costos en las técnicas citadas se debe a que en la Técnica 1 se estableció un mayor número de plantas distribuidas en curvas a nivel por lo que se utilizó una mayor cantidad de insumos y mano de obra.

6.2 RECOMENDACIONES

6.2.1 Especies forestales

- Se sugiere continuar con la presente investigación, por cuanto en este periodo no se observó las bondades que presentan las especies forestales en estudio, por lo tanto se debe prolongar la evaluación de las variables forestales, de preferencia cada seis meses, por cuanto son especies de lento crecimiento.
- De los resultados obtenidos en la presente investigación, permite sugerir la implementación de proyectos de reforestación con la especie *Vachellia macracantha*, debido a que presentó el mayor porcentaje de sobrevivencia en el tipo de suelo y condiciones climáticas presentes en el área de estudio.
- Si es posible para el primer año de plantación, suministrar riego por lo menos dos veces por mes en el período de menor precipitación (junio a septiembre), para obtener mejores resultados de crecimiento en las especies forestales.

6.2.2 Suelo

- A fin de corroborar los resultados de erosión y sedimentación obtenidos en la presente investigación, se sugiere estudiar la posibilidad de instalar pluviómetros y anemómetros en el área de estudio, con el fin de obtener mayor información que permita hacer un análisis más profundo sobre el comportamiento de los factores climáticos que inciden en el movimiento superficial del suelo.
- Realizar una nueva toma de muestras de suelo (a los 10 años de establecida la plantación), siguiendo la misma metodología de esta investigación, con el fin de establecer una comparación de los elementos constituyentes del suelo existentes al inicio de establecido el ensayo y los resultados obtenidos al termino del tiempo citado, en donde posiblemente se observe un cambio en la composición y estructura del mismo por la incidencia de las especies forestales plantadas.

CAPÍTULO VII

7. BIBLIOGRAFÍA

- Aguirre, Z. (2012). *Especies Forestales de los Bosques Secos del Ecuador*. Quito: Proyecto Manejo Forestal Sostenible ante el Cambio Climático MAE/FAO.
- Aguirre, Z., Kvist, P., & Sánchez, O. (2006). Bosques secos en Ecuador y su diversidad. *Herbario LOJA. Universidad Nacional del Loja*.
- Añasco, A., & Picado, J. (2005). Preparación y uso de abonos orgánicos sólidos y líquidos. *Serie Agricultura Oránica N°8. CEDECO*. Costa Rica.
- Arévalo, G., & Gauggel, C. (2008). Manual de Laboratorio de Ciencias de Suelos y Aguas. Zamorano, Honduras: Disponible en internet. Recuperado el 26 de Diciembre de 2014
- Arévalo, G., & Gauggel, C. (2009). Manual de Laboratorio de Prácticas 2009. En G. Arévalo, & C. Gauggel, *Manual de Laboratorio de Ciencias de Suelos y Aguas*. (págs. 76-79). Zamorano, Honduras: Curso de Manejo de Suelos y Nutrición Vegetal. Recuperado el 5 de Enero de 2015
- CONICET. (2007). *Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas. Argentina*. Obtenido de http://www.conicet.gov.ar/new_scp/detalle.php?keywords=&id=29499&articulos=yes&detalles=yes&art_id=2543038
- CORMA. (2005). *Contribución significativa a la sustentabilidad del Proyecto Forestal País para contrarrestar la peor calamidad ambiental de Chile, la erosión de suelo*. Chile: Corporación Chilena de la Madera. Recuperado el 18 de Diciembre de 2014, de <http://www.chilepaisforestal.cl/Profesores/pdf/Contribuci%F3n.doc>
- De La Cruz, P. (2004). Aprovechamiento integral y racional de la tara (Caesalpinia spinosa - Caesalpinia tinctoria). *Revista del Instituto de investigación FIFMMG*.

- De Regoyos, M. (2003). *Metodología para la evaluación de la erosión hídrica con modelos informáticos. (en línea)*. Madrid, España: Universidad Politécnica de Madrid. Recuperado el 18 de Enero de 2015, de Aplicación del modelo geowepp a dos pequeñas cuencas en Madrid. (en línea). Tesis Doctoral.: <http://oa.ump.es/450/01/02200329.pdf>
- Erosión. (2006). *IMPORTANCIA DE LA EROSIÓN DEL SUELO*. Recuperado el 17 de Diciembre de 2014, de <http://www.aeac-sv.org/pdfs/infoerosion.pdf>
- FAO. (2000). *Manual de prácticas integradas de manejo y conservación de suelos*. Ibadan, Nigeria: BOLETÍN DE TIERRAS Y AGUAS DE LA FAO 8.
- Fundación MCCH. (2007). *Fertilización Orgánica*. Quito.
- García, J. (2006). *La erosión: Aspectos conceptuales y modelos. In Hidrología de superficie y conservación de suelos. Material de clase 2007. (en línea)*. España. Recuperado el 15 de Diciembre de 2014, de <http://ocw.upm.es/ingenieria-agroforestal/hidrologia-de-superficies-y-conservacion-de-suelos/material-de-clase/>
- Gómez, I., Romero, R., & Benitez, J. (2007). *Consideración de la dinámica espacio-temporal para la definición de actuaciones defensivas contra la erosión. (en línea)*. Recuperado el 17 de Diciembre de 2014, de Geofocus N° 7: 1-22: http://goefocus.rediris.es/2007/Articulo1_2007.pdf
- Guerra, Z., & Velasco, A. (2012). *Evaluación del crecimiento inicial de la Tara (Caesalpinia spinosa M. &K), Molle (Schinus molle L.), y Cholan (Tecoma stans L.) aplicando retenedores de agua, en Priorato-Imbabura, período 2011-2012*. Universidad Técnica del Norte. Ibarra.
- Hudson, N. (1997). Medición sobre el terreno de la erosión del suelo y de la escorrentía. *Boletín de Suelos de la FAO*.
- Ibáñez, J., & García, J. (2006). *La erosión del suelo: Tipos de procesos erosivos*. Valencia: En línea. Recuperado el 17 de Diciembre de 2014, de <http://books.google.cl/books?id=1TK7dEOIM4gC&printsec=frotcover&d>

q=lal&ei=zOg6SPzIL5kzyASX8qGYCg=v4wpxuYnzn7TOo5mPCGyUei
Jjo#PPR7,M1

- INIA. (2003). *Instituto de Investigaciones Agropecuarias, INIA.Chile*. Obtenido de <http://www.inia.cl>
- Isacás, F. A. (2008). *Alternativas de protección de suelos en la microcuenca de Yahuarcocha mediante la plantación de las especies Caesalpinia spinosa, Acacia macracantha, Schinus molle en zanjas de infiltración*. Universidad Técnica del Norte. Ibarra.
- León, J. D. (2001). *Estudio y Control de la Erosión Hídrica*. Medellín: Centro de Publicaciones Universidad Nacional de Colombia Medellín.
- MAE. (2000). *Informe del Ecuador sobre la convención de lucha contra la Desertificación*. Quito.
- MAE. (2013). *Sistema de Clasificación de los Ecosistemas del Ecuador Continental*. Quito.
- Moreno, R., García, T., Storch, J., Muñoz, M., Yáñez, E., & Pérez, E. (2011). Fertilización y corrección edáfica de suelos agrícolas con productos orgánicos. *TECNOLOGÍA Y DESARROLLO. Revista de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente*.
- Oñate, F. (2004). *Metodología para la evaluación del riesgo de erosión hídrica en zonas áridas y su aplicación en el manejo y protección de proyectos hidráulicos*. Loja, Ecuador: (en línea). Recuperado el 27 de Diciembre de 2014, de http://www.fronate.pro.ec/fronate/wpcontent/media/2009/04/modelo-erosion_hidrica.pdf
- Pando, M., Gutiérrez, M., Maldonado, A., Palaciom, J., & Estrada, A. (2003). Comparación de métodos en la estimación de la erosión hídrica. *Investigaciones geográficas. Boletín del instituto de geografía, UNAM. N°51. México.*, 23-26.

- Parreño, M. (2007). *Evaluación de la sostenibilidad ecológica de los sistemas de forestaría análoga, agroforestería convencional y un pastizal, tomado como referencia al bosque nativo en la comunidad de el Progreso, Cantón Pedro Vicente Maldonado, Pichincha*. Quito: Tesis de Grado de Ingeniería Agrónoma. Universidad Central del Ecuador.
- Pathak, P., Wani, S., & Sudi, R. (2005). *Gully control in SAT watersheds. Global Theme on Agroecosystems Report no. 15*. Andhra Pradesh, India: International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics. Recuperado el 16 de diciembre de 2014
- Pizarro, R., & Cutiño, H. (2002). *Método de evaluación de la erosión hídrica superficial en suelos desnudos en Chile*. In *Cuadernos de la Sociedad Española de Ciencias Forestales (2002, Madrid, España)*. Madrid, España: Actas de la I Reunión del trabajo de Hidrología Forestal.
- Pretell Chiclote, J., Ocaña Vidal, D., Jon Llap, R., & Barahona Chura, E. (1985). *Apuntes sobre algunas especies forestales nativas de la Sierra Peruana*. Lima: FAO/Holanda/INFOR.
- PROFAFOR. (2007). Obtenido de <http://www.profafor.com/portal/es/Hidrokeeper>
- Raudes, M., & Sagastume, N. (2009). *Manual de Conservación de Suelos*. El Zamorano, Honduras: Programa para la Agricultura sostenible en Laderas de América Central. Recuperado el 5 de Enero de 2015
- Reilly, J., Trutmann, P., & Rueda, A. (2002). *Manual para el Cuidado de la Salud de Suelos. Guía de Salud de Suelos*. Zamorano, Honduras: Universidad de Cornell y Zamorano. Recuperado el 17 de Diciembre de 2014
- Renard, K., Meyer, L., & Foster, G. (1997). Introduction and history. En: RENARD K.G., FOSTER G. R., WEESIES G. A., McCOOL D. K., and YODER D. C., *Predicting Soil Erosion by Water: A Guide to Conservation Planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE)*. Washington, U.S. *Department of Agriculture and Agricultural Research Service.*, 1- 18.

- Riquelme, J., & Carrasco, J. (2003). *Métodos y Prácticas de Conservación de Suelos y Aguas*. Rancagua, Chile: Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIA). Recuperado el 16 de Diciembre de 2014
- SAGARPA. (s.f.). Abonos orgánicos. *Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación*.
- SOLID Perú. (2008). *Conociendo la Cadena Productiva de Tara en Ayacucho*. Ayacucho.
- SUDAS. (2006). *The erosion and sedimentation process*. Iowa, Estados Unidos: In Iowa Statewide Urban Desing Standars Manual 2007. Recuperado el 15 de Diciembre de 2014, de <http://www.iowasudas.org/desing.cfm>
- UNESCO. (2009). *Propuesta de un modelo de estimación de erosión hídrica para la región de Coquimbo, Chile*. Roberto Pizarro, Carolina Morales, Leonardo Vega, Claudio Olivares, Rodrigo Valdés, Francisco Balocchi Documentos Técnicos del PHI-LAC, N°18.
- Vásquez, A., & Tapia, M. (2011). Cuantificación de la erosión hídrica superficial en las laderas semiáridas de la Sierra Peruana. *Revista INGENIERÍA UC*, 42-50.
- Vega, L. (2008). *Evaluación de la Erosión Hídrica Superficial por parcelas experimentales en la Región de Coquimbo*. Talca-Chile.
- Vega, M. B., & Febles, J. M. (2005). *Evaluation of the rainfall erosion in cattle regions from the central part of Havana province*. Cuban Journal of Agricultural Science. Disponible en base de datos Ebsco Host.
- Wolfgang, G., & Mariaca, R. (2007). Estructura, composición y dinámica del bosque seco chiquitano. *Centro de Investigación Agrícola Tropical* .

CAPÍTULO VIII

8. ANEXOS

8.1 ANEXO 1

Tablas

Tabla 23. Costos de implementación de la Técnica 1: Árboles en curvas a nivel.

COSTOS DE IMPLEMENTACIÓN DE LA TÉCNICA 1				
Materiales, Insumos y Actividades	Unidad	Cantidad	Costo unitario	Costo parcial
Costo de las plantas	plantas	138	0,40	55,20
Aserrín	sacos	5	2,00	10,00
Hidrogel	kg	3	18,00	54,00
Materia orgánica	kg	138	0,50	69,00
Agua	tanque	5	15,00	75,00
Varillas de hierro	qq	2	42,00	84,00
Estacas de madera	u	150	0,15	22,50
Recipientes de plástico	baldes	5	4,00	20,00
Pintura en spray	lata	3	4,70	14,10
Alambre de púas	rollo	3	45,00	135,00
Postes de madera	u	300	1,00	300,00
Señalización de curvas a nivel	jornales	3	16,50	49,50
Preparación del hidrogel	jornales	3	16,50	49,50
Hoyado	jornales	3	16,50	49,50
Plantación	jornales	3	20,00	60,00
Cerramiento	jornales	2	16,50	33,00
Colocación de varillas de hierro	jornales	3	16,50	49,50
Colocación de estacas de madera	jornales	3	16,50	49,50
Colocación de letreros	jornales	1	16,50	16,50
Riego	jornales	3	16,50	49,50
Toma de muestras de suelo	u	1	45,00	45,00
Transporte (Materiales e Insumos) al sitio	jornales	3	40,00	120,00
SUBTOTAL				1410,30
Equipos, Instrumentos y otros	Unidad	Cantidad	Costo unitario	Costo parcial
Asistencia Técnica	días	20	30,00	600,00
Fabricación de letreros	u	3	25,00	75,00
Alquiler de herramientas de trabajo de campo	días	3	10,00	30,00
Alquiler de equipos de medición	días	20	5,00	100,00
Alimentación y transporte	días	20	7,00	140,00
Imprevistos	u	1	200,00	200,00
			SUBTOTAL	1145,00
			TOTAL	2555,30

Elaborado por: Cancán E. y Pantoja G.

Tabla 24. Costos de implementación de la Técnica 2: Franjas vivas de Guarango y pasto en Cárcavas.

COSTOS DE IMPLEMENTACIÓN DE LA TÉCNICA 2				
Materiales, Insumos y Actividades	Unidad	Cantidad	Costo unitario	Costo parcial
Costo de las plantas	plantas	42	0,40	16,80
Hidrogel	kg	1	18,00	18,00
Materia orgánica	kg	20	0,50	10,00
Agua	tanque	2	15,00	30,00
Varillas de hierro	qq	0,5	42,00	21,00
Estacas de madera	u	35	0,15	5,25
Recipientes de plástico	baldes	5	4,00	20,00
Pintura en spray	lata	1	4,70	4,70
Preparación del hidrogel	jornales	1	16,50	16,50
Hoyado	jornales	2	16,50	33,00
Plantación arbolitos	jornales	2	20,00	40,00
Plantación pasto	jornales	2	16,50	33,00
Colocación de varillas de hierro	jornales	2	16,50	33,00
Colocación de letreros	jornales	1	16,50	16,50
Colocación de estacas de madera	jornales	1	16,50	16,50
Toma de muestras de suelo	u	1	45,00	45,00
Riego	jornales	1	16,50	16,50
Transporte (Materiales e Insumos) al sitio	jornales	1	40,00	40,00
SUBTOTAL				415,75
Equipos, Instrumentos y otros	Unidad	Cantidad	Costo unitario	Costo parcial
Asistencia Técnica	días	20	30,00	600,00
Alquiler de herramientas de trabajo de campo	días	3	10,00	30,00
Alquiler de equipos de medición	días	20	5,00	100,00
Alimentación y transporte	días	20	7,00	140,00
Imprevistos	u	1	150,00	150,00
			SUBTOTAL	870,00
			TOTAL	1285,75

Elaborado por: Cancán E. y Pantoja G.

ADEVAS Y PRUEBAS DE MEDIAS – Técnica 1

Tabla 25. ADEVA de la variable Altura Total (60 días – mayo)

F.V.	SC	gl	CM	FC	F $\alpha_{0,05}$	F $\alpha_{0,01}$
Bloques	102,61	3	34,20	2,52 ^{ns}	5,14	10,92
Tratamientos	605,37	2	302,69	22,33 ^{**}	4,76	9,78
Error	81,34	6	13,56			
Total	789,32	11				
CV= 14,23						

Elaborado por: Cancán E. y Pantoja G.

Tabla 26. Prueba de medias de la variable Altura Total (60 días – MARZO)

Tratamientos	Media	Duncan	Tukey
Espino	35,9	A	A
Molle	21,6	B	B
Guarango	20,1	B	B

Elaborado por: Cancán E. y Pantoja G.

Tabla 27. ADEVA de la variable Altura Total (120 días – mayo)

F.V.	SC	gl	CM	FC	F $\alpha_{0,05}$	F $\alpha_{0,01}$
Bloques	105,40	3	35,13	2,19 ^{ns}	5,14	10,92
Tratamientos	549,89	2	274,94	17,14 ^{**}	4,76	9,78
Error	96,25	6	16,04			
Total	751,53	11				
CV= 15,02						

Elaborado por: Cancán E. y Pantoja G.

Tabla 28. Prueba de medias de la variable Altura Total (120 días – mayo)

Tratamientos	Media	Duncan	Tukey
Espino	36,2	A	A
Molle	22,9	B	B
Guarango	20,9	B	B

Elaborado por: Cancán E. y Pantoja G.

Tabla 29. ADEVA de la variable Altura Total (180 días – julio)

F.V.	SC	gl	CM	FC	F $\alpha_{0,05}$	F $\alpha_{0,01}$
Bloques	111,21	3	37,07	2,09 ^{ns}	5,14	10,92
Tratamientos	565,86	2	282,93	15,92 ^{**}	4,76	9,78
Error	106,63	6	17,77			
Total	783,70	11				
CV= 15,31						

Elaborado por: Cancán E. y Pantoja G.

Tabla 30. Prueba de medias de la variable Altura Total (180 días – julio)

Tratamientos	Media	Duncan	Tukey
Espino	37,2	A	A
Molle	23,7	B	B
Guarango	21,7	B	B

Elaborado por: Cancán E. y Pantoja G.

Tabla 31. ADEVA de la variable Altura Total (240 días – septiembre)

F.V.	SC	gl	CM	FC	F $\alpha_{0,05}$	F $\alpha_{0,01}$
Bloques	155,55	3	51,85	1,22 ^{ns}	5,14	10,92
Tratamientos	519,44	2	259,72	6,11 [*]	4,76	9,78
Error	255,14	6	42,52			
Total	930,13	11				
CV= 22,49						

Elaborado por: Cancán E. y Pantoja G.

Tabla 32. Prueba de medias de la variable Altura Total (240 días – septiembre)

Tratamientos	Media	Duncan	Tukey
Espino	37,8	A	A
Molle	27,4	A B	A B
Guarango	21,9	B	B

Elaborado por: Cancán E. y Pantoja G.

Tabla 33. ADEVA de la variable Altura Total (300 días – noviembre)

F.V.	SC	gl	CM	FC	F $\alpha_{0,05}$	F $\alpha_{0,01}$
Bloques	196,20	3	65,40	2,02 ^{ns}	5,14	10,92
Tratamientos	529,04	2	264,52	8,16 [*]	4,76	9,78
Error	194,58	6	32,43			
Total	919,82	11				

CV= 18,57

Elaborado por: Cancán E. y Pantoja G.

Tabla 34. Prueba de medias de la variable Altura Total (300 días – noviembre)

Tratamientos	Media	Duncan	Tukey
Espino	38,4	A	A
Molle	31,5	A B	A B
Guarango	22,1	B	B

Elaborado por: Cancán E. y Pantoja G.

Tabla 35. ADEVA de la variable Altura Total (360 días – enero)

F.V.	SC	gl	CM	FC	F $\alpha_{0,05}$	F $\alpha_{0,01}$
Bloques	184,59	3	62,00	2,00 ^{ns}	5,14	10,92
Tratamientos	552,13	2	276,00	11,00 ^{**}	4,76	9,78
Error	156,42	6	26,00			
Total	893,14	11				

CV= 15,99

Elaborado por: Cancán E. y Pantoja G.

Tabla 36. Prueba de medias de la variable Altura Total (360 días – enero)

Tratamientos	Media	Duncan	Tukey
Espino	39,2	A	A
Molle	33,7	A	A B
Guarango	22,9	B	B

Elaborado por: Cancán E. y Pantoja G.

Tabla 37. ADEVA de la variable Diámetro Basal (60 días – marzo)

F.V.	SC	gl	CM	FC	F $\alpha_{0,05}$	F $\alpha_{0,01}$
Bloques	0,99	3	0,33	2,44 ^{ns}	5,14	10,92
Tratamientos	10,93	2	5,47	40,57 ^{**}	4,76	9,78
Error	0,81	6	0,13			
Total	12,73	11				

CV= 5,53

Elaborado por: Cancán E. y Pantoja G.

Tabla 38. Prueba de medias de la variable Diámetro Basal (60 días – marzo)

Tratamientos	Media	Duncan	Tukey
Espino	7,73	A	A
Molle	6,78	B	B
Guarango	5,40	C	C

Elaborado por: Cancán E. y Pantoja G.

Tabla 39. ADEVA de la variable Diámetro Basal (120 días – mayo)

F.V.	SC	gl	CM	FC	F $\alpha_{0,05}$	F $\alpha_{0,01}$
Bloques	0,77	3	0,26	1,97 ^{ns}	5,14	10,92
Tratamientos	7,04	2	3,52	27,12 ^{**}	4,76	9,78
Error	0,78	6	0,13			
Total	8,58	11				

CV= 5,15

Elaborado por: Cancán E. y Pantoja G.

Tabla 40. Prueba de medias de la variable Diámetro Basal (120 días – mayo)

Tratamientos	Media	Duncan	Tukey
Espino	7,93	A	A
Guarango	7,03	B	B
Molle	6,05	C	C

Elaborado por: Cancán E. y Pantoja G.

Tabla 41. ADEVA de la variable Diámetro Basal (180 días – julio)

F.V.	SC	gl	CM	FC	F $\alpha_{0,05}$	F $\alpha_{0,01}$
Bloques	0,94	3	0,31	2,63 ^{ns}	5,14	10,92
Tratamientos	4,22	2	2,11	17,75 ^{**}	4,76	9,78
Error	0,71	6	0,12			
Total	5,87	11				

CV= 4,69

Elaborado por: Cancán E. y Pantoja G.

Tabla 42. Prueba de medias de la variable Diámetro Basal (180 días – julio)

Tratamientos	Media	Duncan	Tukey
Espino	8,10	A	A
Guarango	7,30	B	B
Molle	6,65	C	B

Elaborado por: Cancán E. y Pantoja G.

Tabla 43. ADEVA de la variable Diámetro Basal (240 días – septiembre)

F.V.	SC	gl	CM	FC	F $\alpha_{0,05}$	F $\alpha_{0,01}$
Bloques	3,54	3	1,18	4,74 ^{ns}	5,14	10,92
Tratamientos	3,51	2	1,76	7,05 [*]	4,76	9,78
Error	1,50	6	0,25			
Total	8,55	11				

CV= 6,45

Elaborado por: Cancán E. y Pantoja G.

Tabla 44. Prueba de medias de la variable Diámetro Basal (240 días - septiembre)

Tratamientos	Media	Duncan	Tukey
Espino	8,40	A	A
Guarango	7,75	A B	A B
Molle	7,08	B	B

Elaborado por: Cancán E. y Pantoja G.

Tabla 45. ADEVA de la variable Diámetro Basal (300 días - noviembre)

F.V.	SC	gl	CM	FC	F $\alpha_{0,05}$	F $\alpha_{0,01}$
Bloques	3,85	3	1,28	10,57 ^{ns}	5,14	10,92
Tratamientos	1,51	2	0,75	6,20 [*]	4,76	9,78
Error	0,73	6	0,12			
Total	6,08	11				

CV= 4,29

Elaborado por: Cancán E. y Pantoja G.

Tabla 46. Prueba de medias de la variable Diámetro Basal (300 días - noviembre)

Tratamientos	Media	Duncan	Tukey
Espino	8,63	A	A
Molle	7,90	B	A B
Guarango	7,85	B	B

Elaborado por: Cancán E. y Pantoja G.

Tabla 47. ADEVA de la variable Diámetro Basal (360 días - enero)

F.V.	SC	gl	CM	FC	F $\alpha_{0,05}$	F $\alpha_{0,01}$
Bloques	4,21	3	1,40	19,19 ^{ns}	5,14	10,92
Tratamientos	1,20	2	0,60	8,22 ^{**}	4,76	9,78
Error	0,44	6	0,07			
Total	5,85	11				

CV= 3,20

Elaborado por: Cancán E. y Pantoja G.

Tabla 48. Prueba de medias de la variable Diámetro Basal (360 días - enero)

Tratamientos	Media	Duncan	Tukey
Espino	8,88	A	A
Molle	8,28	B	B
Guarango	8,15	B	B

Elaborado por: Cancán E. y Pantoja G.

ADEVAS CLAVOS DE EROSIÓN – Técnica 1

Tabla 49. ADEVA (mayo)

F.V.	SC	gl	CM	FC	F $\alpha_{0,05}$	F $\alpha_{0,01}$
Tratamientos	0,009	2	0,004	1 ^{ns}	6,94	18
Error	0,027	6	0,004			
Total	0,036	8				

CV= 0,454

Elaborado por: Cancán E. y Pantoja G.

Tabla 50. ADEVA (julio)

F.V.	SC	gl	CM	FC	F $\alpha_{0,05}$	F $\alpha_{0,01}$
Tratamientos	0,015	2	0,008	1,75 ^{ns}	6,94	18
Error	0,027	6	0,004			
Total	0,042	8				

CV= 0,455

Elaborado por: Cancán E. y Pantoja G.

Tabla 51. ADEVA (septiembre)

F.V.	SC	gl	CM	FC	F $\alpha_{0,05}$	F $\alpha_{0,01}$
Tratamientos	0,062	2	0,031	7 [*]	6,94	18
Error	0,027	6	0,004			
Total	0,089	8				

CV= 0,456

Elaborado por: Cancán E. y Pantoja G.

Tabla 52. ADEVA (noviembre)

F.V.	SC	gl	CM	FC	F $\alpha_{0,05}$	F $\alpha_{0,01}$
Tratamientos	0,002	2	0,001	0,167 ^{ns}	6,94	18
Error	0,040	6	0,007			
Total	0,042	8				

CV= 0,553

Elaborado por: Cancán E. y Pantoja G.

Tabla 53. ADEVA (enero)

F.V.	SC	gl	CM	FC	F $\alpha_{0,05}$	F $\alpha_{0,01}$
Tratamientos	0,027	2	0,013	6 ^{ns}	6,94	18
Error	0,013	6	0,002			
Total	0,040	8				

CV= 0,319

Elaborado por: Cancán E. y Pantoja G.

8.2 ANEXO 2

Figuras

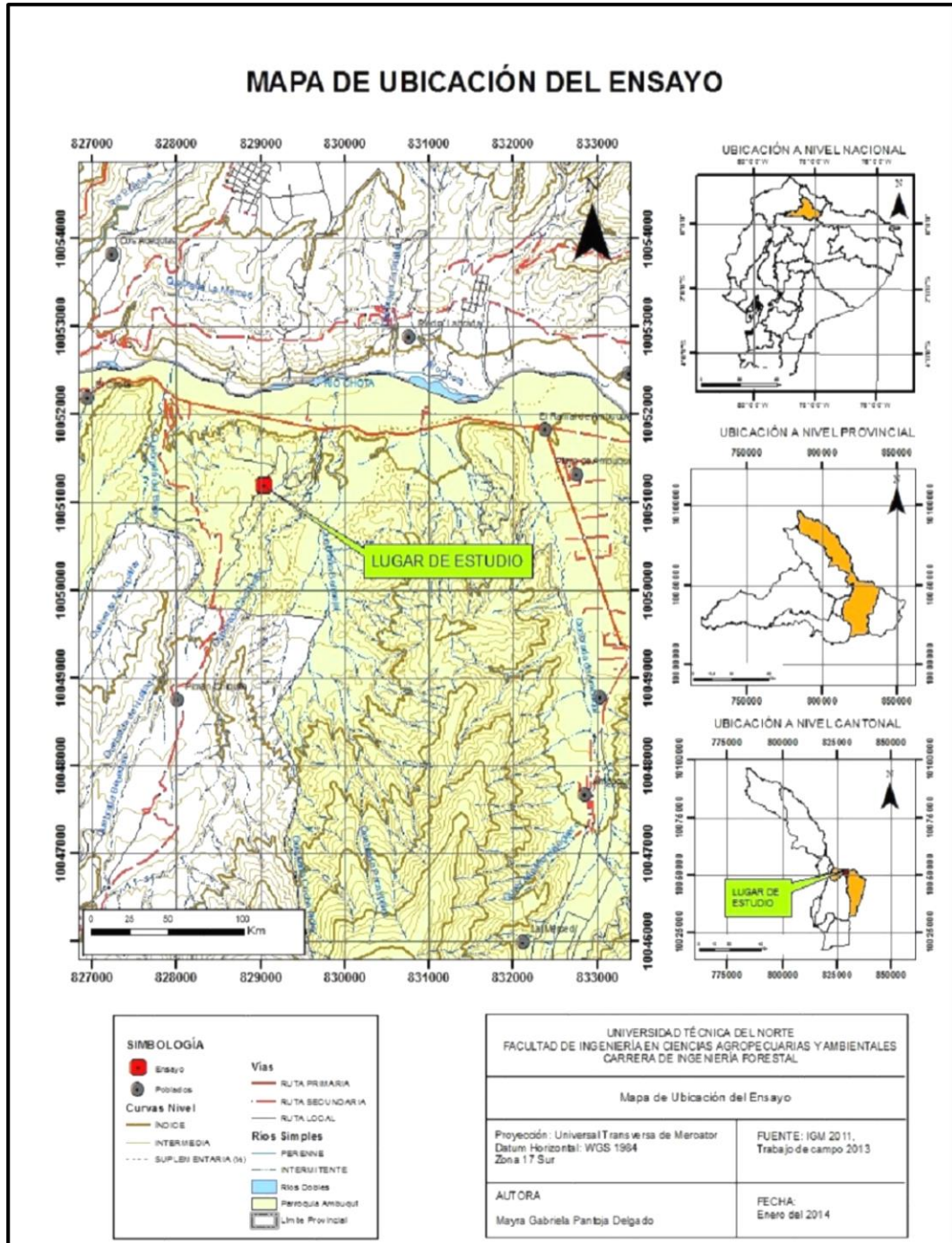


Figura 2. Mapa de ubicación del ensayo. Relleno Sanitario San Alfonso, parroquia Ambuquí, provincia de Imbabura.

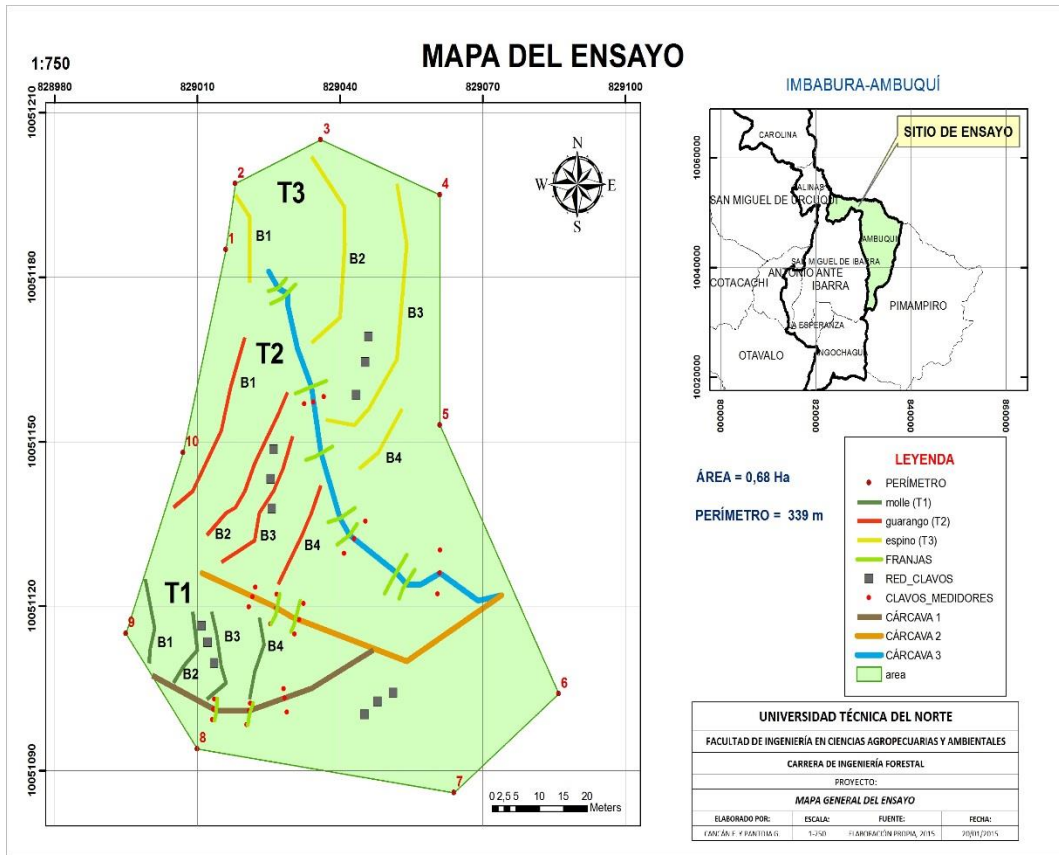


Figura 3. Mapa general del ensayo (croquis).



ESTACION EXPERIMENTAL "SANTA CATALINA"
LABORATORIO DE MANEJO DE SUELOS Y AGUAS
 Km. 14 1/2 Panamericana Sur, Apdo. 17-01-340
 Quito- Ecuador Telf.: 690-691/92/93 Fax: 690-693



REPORTE DE ANALISIS DE SUELOS

DATOS DEL PROPIETARIO
 Nombre : MUNICIPIO DE IBARRA
 Dirección : IBARRA
 Ciudad :
 Teléfono :
 Fax :

DATOS DE LA PROPIEDAD
 Nombre : RELLENO SANITARIO S. ALFONSO
 Provincia : IMBABURA
 Cantón : IBARRA
 Parroquia : AMBUQUÍ
 Ubicación :

PARA USO DEL LABORATORIO
 Cultivo Actual :
 Fecha de Muestreo : 28/07/2014
 Fecha de Ingreso : 29/07/2014
 Fecha de Salida : 14/08/2014

N° Muestr Laborat.	Identificación del Lote	pH	ppm			meq/100ml			ppm				
			NH ₄	P	S	K	Ca	Mg	Zn	Cu	Fe	Mn	B
98531	TESTIGO	9.03 AI	18.00 B	17.00 M	86.00 A	1.10 A	20.00 A	1.05 M	0.3 B	3.5 M	80.0 A	2.5 B	1.00 M
98532	TRATAMIENTO 1	9.14 AI	4.90 B	12.00 M	246.00 A	1.45 A	19.90 A	1.37 M	0.4 B	3.5 M	81.0 A	2.8 B	1.60 M
98533	TRATAMIENTO 2	9.48 AI	5.70 B	14.00 M	328.00 A	1.38 A	19.80 A	1.32 M	0.4 B	2.7 M	83.0 A	2.4 B	1.70 M
98534	TRATAMIENTO 3	9.80 AI	1.60 B	13.00 M	179.00 A	1.16 A	20.50 A	0.99 B	0.5 B	3.9 M	84.0 A	2.2 B	1.30 M

INTERPRETACION

pH		Elementos	
Ac = Acido	N = Neutro	B = Bajo	M = Medio
LAc = Liger. Acido	LAI = Liger. Alcalino	A = Alto	T = Tóxico (Bero)
PN = Prac. Neutro	AI = Alcalino		
RC = Requieren Cal.			

METODOLOGIA USADA

pH = Suelo: agua (1:2.5)	P K Ca Mg = Olsen Modificado
S, B = Fosforo de Calcio	Cu Fe Mn Zn = Olsen Modificado
	B = Curcumina

[Signature]
 RESPONSABLE LABORATORIO

[Signature]
 Activar Windows
 LABORATORISTA

Figura 4. Reporte de análisis de suelos macro y micro nutrientes (INIAP).



ESTACION EXPERIMENTAL "SANTA CATALINA"
LABORATORIO DE MANEJO DE SUELOS Y AGUAS
 Km. 14 1/2 Panamericana Sur, Apdo. 17-01-340
 Quito- Ecuador Tel.: 690-691/92/93 Fax: 690-693



REPORTE DE ANALISIS DE SUELOS

DATOS DEL PROPIETARIO
 Nombre : MUNICIPIO DE IBARRA
 Dirección : IBARRA
 Ciudad :
 Teléfono :
 Fax :

DATOS DE LA PROPIEDAD
 Nombre : BELLENO SANITARIO S. ALFONSO
 Provincia : IMBABURA
 Cantón : IBARRA
 Parroquia : AMBUQUI
 Ubicación :

PARA USO DEL LABORATORIO
 Cultivo Actual :
 Fecha de Muestreo : 28/07/2014
 Fecha de Ingreso : 29/07/2014
 Fecha de Salida : 14/08/2014

N° Muest. Laborat.	meq/100ml			ds/m	C.E.	M.O.	Ca	Mg	K	Ca+Mg	Σ Bases	%	HUMEDAD	ppm	Textura (%)		Clase Textural
	Al+H	Al	Na												Mg	K	
98531						0,90	19,05	0,95	19,14	22,15	2,70		48	44	8	Franco	
98532						1,50	14,53	0,94	14,67	22,72	7,60		48	44	8	Franco	
98533						1,20	15,00	0,96	15,30	22,50	7,60		48	44	8	Franco	
98534						1,40	20,71	0,85	18,53	22,65	4,00		48	42	10	Franco	

INTERPRETACION

Al+H, Al y Na	C.E.	M.O. y Cl
B = Bajo	NS = No Salino	S = Salino
M = Medio	LS = Lige. Salino	MS = Muy Salino
T = Tóxico		B = Bajo
		M = Medio
		A = Alto

ABREVIATURAS
 C.E. = Conductividad Eléctrica
 M.O. = Materia Orgánica
 RAS = Retención de Adsorción de Sodio

METODOLOGIA USADA
 C.E. = Pesta Saturada
 M.O. = Dicromato de Potasio
 Al+H = Titulación NaOH

[Firma]
 RESPONSABLE LABORATORIO

[Firma]
 LABORATORISTA

Figura 5. Reporte de análisis de suelos clase textural del suelo (INIAP).

8.3 ANEXO 3

Fotografías



Foto 1. Letrero de identificación del ensayo.



Foto 2. Cerramiento del área de investigación.



Foto 3. Hidrogel sin hidratar (7g).



Foto 4. Hidratación del hidrogel.



Foto 5. Colocación del hidrogel hidratado en el hoyo.



Foto 6. Incorporación de materia orgánica en el hoyo.



Foto 7. Plantación de las especies forestales.



Foto 8. Riego con 1 litro de agua.



Foto 9. Planta con hidrogel, materia orgánica y riego.



Foto 10. Estaca referencial numerada para mediciones.



Foto 11. Establecimiento del pasto en cárcavas.

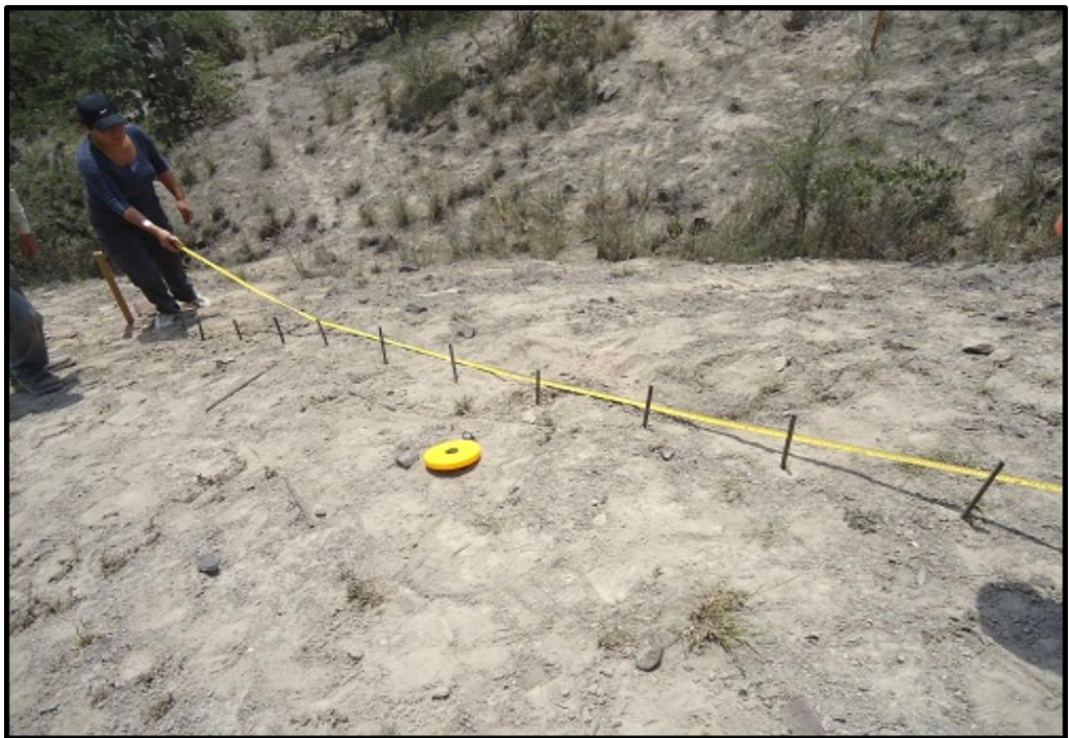


Foto 12. Instalación de clavos de erosión.



Foto 13. Parcela de clavos de erosión.



Foto 14. Medición altura total.



Foto 15. Medición diámetro basal.



Foto 16 y Foto 17. Medición de clavos de erosión.



Foto 18 y Foto 19. Estado de Guarango en meses secos vs lluviosos.



Foto 20. Estimación de cobertura vegetal en el interior de las parcelas de clavos de erosión.



Foto 21. Toma de muestras de suelo.

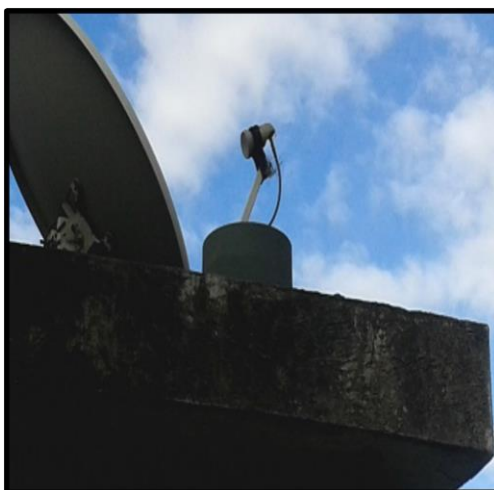


Foto 22 y Foto 23. Pluviómetro instalado en San Clemente, parroquia Ambuquí.



Foto 24. Recopilación de datos de precipitaciones. Srta. Gabriela Pantoja (Tesisista), Sr. Reinaldo Rivera (Operador pluviómetro), Ing. Lenin Paspuel Revelo (Director Tesis).



Foto 25. Recopilación de datos de precipitaciones. Ing. Lenin Paspuel Revelo (Director Tesis), Sr. Reinaldo Rivera (Operador pluviómetro), Sr. Edison Cancán (Tesisista).