



CARTA DE AUTORIZACIÓN

CÓDIGO

AP-BIB-FO-06

VERSIÓN

1

VIGENCIA

2014

PÁGINA

1 de 1

Neiva, 13-12-2017

Señores

CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA

Ciudad

El suscrito:

**Daniel Rodríguez Acosta, con C.C. No. 14395756**

Autor de la tesis y/o trabajo de grado

Titulado: **Desarrollo de un método sistémico para la rehabilitación ecológica de suelos erosionados de ladera en el municipio de La Plata, departamento del Huila.**

Presentado y aprobado en el año **2017** como requisito para optar al título de

**Magister en Ingeniería y Gestión Ambiental;**

Autorizo al CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN de la Universidad Surcolombiana para que con fines académicos, muestre al país y el exterior la producción intelectual de la Universidad Surcolombiana, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera:

- Los usuarios puedan consultar el contenido de este trabajo de grado en los sitios web que administra la Universidad, en bases de datos, repositorio digital, catálogos y en otros sitios web, redes y sistemas de información nacionales e internacionales “open access” y en las redes de información con las cuales tenga convenio la Institución.
- Permita la consulta, la reproducción y préstamo a los usuarios interesados en el contenido de este trabajo, para todos los usos que tengan finalidad académica, ya sea en formato Cd-Rom o digital desde internet, intranet, etc., y en general para cualquier formato conocido o por conocer, dentro de los términos establecidos en la Ley 23 de 1982, Ley 44 de 1993, Decisión Andina 351 de 1993, Decreto 460 de 1995 y demás normas generales sobre la materia.
- Continúo conservando los correspondientes derechos sin modificación o restricción alguna; puesto que de acuerdo con la legislación colombiana aplicable, el presente es un acuerdo jurídico que en ningún caso conlleva la enajenación del derecho de autor y sus conexos.

De conformidad con lo establecido en el artículo 30 de la Ley 23 de 1982 y el artículo 11 de la Decisión Andina 351 de 1993, “Los derechos morales sobre el trabajo son propiedad de los autores”, los cuales son irrenunciables, imprescriptibles, inembargables e inalienables.

EL AUTOR/ESTUDIANTE:

Firma:

Vigilada Mineducación

La versión vigente y controlada de este documento, solo podrá ser consultada a través del sitio web Institucional [www.usco.edu.co](http://www.usco.edu.co), link Sistema Gestión de Calidad. La copia o impresión diferente a la publicada, será considerada como documento no controlado y su uso indebido no es de responsabilidad de la Universidad Surcolombiana.



<b>CÓDIGO</b>	<b>AP-BIB-FO-07</b>	<b>VERSIÓN</b>	<b>1</b>	<b>VIGENCIA</b>	<b>2014</b>	<b>PÁGINA</b>	<b>1 de 3</b>
---------------	---------------------	----------------	----------	-----------------	-------------	---------------	---------------

**TÍTULO COMPLETO DEL TRABAJO:** Desarrollo de un método sistémico para la rehabilitación ecológica de suelos erosionados de ladera en el municipio de La Plata, departamento del Huila.

**AUTOR O AUTORES:**

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
Rodríguez Acosta	Daniel

**DIRECTOR Y CODIRECTOR TESIS:**

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
Pastrana Bonilla	Eduardo

**ASESOR (ES):**

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre

**PARA OPTAR AL TÍTULO DE:** Magister en Ingeniería y Gestión Ambiental

**FACULTAD:** Ingeniería

**PROGRAMA O POSGRADO:** Maestría en Ingeniería y Gestión Ambiental

**CIUDAD:** Neiva

**AÑO DE PRESENTACIÓN:** 2017

**NÚMERO DE PÁGINAS:** 137

**TIPO DE ILUSTRACIONES** (Marcar con una X):

Vigilada mieducación



DESCRIPCIÓN DE LA TESIS Y/O TRABAJOS DE GRADO

CÓDIGO	AP-BIB-FO-07	VERSIÓN	1	VIGENCIA	2014	PÁGINA	2 de 3
--------	--------------	---------	---	----------	------	--------	--------

Diagramas\_\_\_ Fotografías  Grabaciones en discos\_\_\_ Ilustraciones en general  Grabados\_\_\_ Láminas\_\_\_  
Litografías\_\_\_ Mapas\_\_\_ Música impresa\_\_\_ Planos\_\_\_ Retratos\_\_\_ Sin ilustraciones\_\_\_ Tablas o Cuadros

**SOFTWARE** requerido y/o especializado para la lectura del documento:

**MATERIAL ANEXO:**

Anexo 1. Método sistémico para la rehabilitación ecológica de suelos de ladera

Anexo 2. Imágenes de las 108 unidades experimentales registradas en la semana 14. Correspondiente a  
36 tratamientos con tres repeticiones cada uno.

Anexo 3. Resultados de las pendientes calculadas en porcentaje para cada unidad experimental.

**PREMIO O DISTINCIÓN:** “Tesis Meritoria”

**PALABRAS CLAVES EN ESPAÑOL E INGLÉS:**

<u>Español</u>	<u>Inglés</u>
1. Geomallas no convencionales	Unconventional geogrids
2. Humus	Humus
3. Regeneración natural	Natural regeneration
4. Rehabilitación ecológica	Ecological rehabilitation
5. Suelo de ladera	Soil Slope

**RESUMEN DEL CONTENIDO:** (Máximo 250 palabras)

En esta investigación se desarrolló un método sistémico para la rehabilitación ecológica de suelos erosionados de ladera; poniendo a prueba 36 tratamientos con tres repeticiones en un área de ladera de suelos deteriorados del municipio de La Plata, donde se determinó la efectividad de dos tipos de geomallas no convencionales (*Manicaria saccifera* y *Polietileno*), la mejor proporción en humus sólido, la importancia del humus líquido en combinación con los microorganismos eficientes (EM), las especies más indicadas para la generación de cobertura vegetal incorporada (CVI) y de regeneración natural (RN), entre otros aspectos. El monitoreo se realizó cada 8 días durante 14 semanas, la información recolectada se almacenó en una base de datos en el programa Excel, las 1512 imágenes de cobertura en mallas se procesaron en Imagej y la estadística en



DESCRIPCIÓN DE LA TESIS Y/O TRABAJOS DE GRADO

CÓDIGO	AP-BIB-FO-07	VERSIÓN	1	VIGENCIA	2014	PÁGINA	3 de 3
--------	--------------	---------	---	----------	------	--------	--------

Design-Expert. generando como resultado que las dos mallas son efectivas 100 % en el control de erosión cuando están prensadas en los cuatro lados al suelo; la aplicación de lombrices no es significativa para el desarrollo de la cobertura vegetal frente a la aplicación base de 3 kg de humus sólido, El uso de humus líquido y EM, estimula el desarrollo de la regeneración natural; el humus sólido en proporción de 3 kg permitió que la RN y la CVI obtuviera los mejores crecimientos de cobertura en los dos tipos de mallas; el índice de valor de importancia indicó que la RN con mayor peso ecológico es la especie puntero (*Hyparrhenia rufa*); por lo cual es la más recomendada para la rehabilitación de suelos erosionados de ladera.

**ABSTRACT:** (Máximo 250 palabras)

In this research, a systemic method was developed for the ecological rehabilitation of eroded hillside soils; testing 36 treatments with three repetitions in a slope area of deteriorated soils in the municipality of La Plata, where the effectiveness of two types of unconventional geogrid (*Manicaria saccifera* and Polyethylene) was determined, the best proportion in solid humus, the importance of liquid humus in combination with efficient microorganisms (EM), the most indicated species for the generation of incorporated plant cover (CVI) and natural regeneration (RN), among other aspects. The monitoring was done every 8 days for 14 weeks, the information collected was stored in a database in the Excel program, the 1512 mesh coverage images were processed in ImageJ and the statistics in Design-Expert. Generating as a result that the two meshes are 100% effective in erosion control when pressed on all four sides to the ground; the application of earthworms is not significant for the development of the vegetal cover in front of the base application of 3 kg of solid humus. The use of liquid humus and EM, stimulates the development of the natural regeneration; the solid humus in proportion of 3 kg allowed the RN and the CVI to obtain the best coverage growths in the two types of meshes; the value index of importance indicated that the RN with the greatest ecological weight is the Puntero species (*Hyparrhenia rufa*); therefore it is the most recommended for the rehabilitation of eroded hillside soils.

**APROBACION DE LA TESIS**

Nombre Presidente Jurado: **Alfredo Olaya Amaya**

Firma:

Nombre Jurado: **Alfredo Olaya Amaya**

Firma:

Nombre Jurado: **Jennifer Katuska Castro Camacho**

Firma:

**Desarrollo de un método sistémico para la rehabilitación ecológica de  
suelos erosionados de ladera en el municipio de La Plata, departamento del  
Huila.**

**Daniel Rodríguez Acosta**

**Universidad Surcolombiana**

**Facultad de Ingeniería**

**Maestría en Ingeniería y Gestión Ambiental**

**Neiva, Colombia**

**2017**

**Desarrollo de un método sistémico para la rehabilitación ecológica de  
suelos erosionados de ladera en el municipio de La Plata, departamento del  
Huila.**

**DANIEL RODRIGUEZ ACOSTA**

**Trabajo de grado, requisito Académico para optar el título de Magíster en Ingeniería y  
Gestión Ambiental**

**Director: PhD.**

**Eduardo Pastrana Bonilla**

**Profesor Titular**

**Línea de Investigación:**

**Investigación y Gestión de la Biodiversidad**

**Universidad Surcolombiana**

**Facultad de Ingeniería**

**Maestría en Ingeniería y Gestión Ambiental**

**Neiva, Colombia**

**2017**

## **Dedicatoria**

*Esta investigación la dedico a mi esposa e hijo por que fueron mi inspiración y apoyo para el logro de este objetivo.*

*A mis padres, hermanas y sobrinos porque es el sentimiento de la familia lo que me impulsa a superarme.*

*A mi suegra por creer en mí y ser una gran amiga.*

*A mis ex aprendices les dedico esta investigación para que nunca abandonen sus sueños y siempre crean que todo es posible.*

## **Agradecimientos**

Al creador del todo, porque mi búsqueda por saber quién es, me ha llevado a obtener todo lo que he deseado; y cuando el camino se tornó oscuro, encontré una oportunidad para comprender la verdadera grandeza de las cosas.

Al Dr. Eduardo Pastrana Bonilla. Porque siempre apoyó todas mis ideas de investigación y nunca me puso limitaciones, pues sabía que todas y cada una de ellas las podríamos lograr.

A Rafael Enrique Ospitia, por su amistad y colaboración.

A los pasantes Milton Armando Trujillo Legarda, Eliana Rocío Argüello Ortiz, Diana Lifeth Hernandez Findicue, Jorge Eduardo Mompotes Golondrino, Luisa Fernanda González Bernal, Maily Lorena Lizcano Quintero, Nolberto Trujillo Ramirez, Nubia Astrid Mera López, Cristhian Felipe Astaiza y Carlos Andrés Advincola Mondragón, por su valiosa colaboración en los diferentes procesos de la investigación.

A Nancy Vargas Robles por ser una gran amiga y una excelente profesional que siempre estuvo dispuesta a colaborar.

## Resumen

En el departamento del Huila los impactos ambientales negativos derivados de la pérdida de suelos en ladera son constantes; y teniendo en cuenta que las técnicas que se emplean para mitigar la situación en su mayoría son costosas y no siempre efectivas, se decidió desarrollar un método sistémico para la rehabilitación ecológica de suelos erosionados de ladera. Para lograr este objetivo se pusieron a prueba 36 tratamientos con tres repeticiones en un área de ladera de suelos deteriorados de la zona rural del municipio de La Plata, donde se determinó la efectividad de dos tipos de geomalla no convencionales (una orgánica, malla de *Manicaria saccifera*; y otra sintética, malla de polietileno), la mejor proporción en humus sólido, la importancia del humus líquido en combinación con los microorganismos eficientes, las especies más indicadas para la generación de cobertura vegetal incorporada y de regeneración natural, entre otros aspectos. El proceso en campo se desarrolló aislando el terreno y realizando obras culturales para orientación del agua. Luego se establecieron 108 unidades experimentales con la ayuda de un equipo de trabajo seguro en alturas en las áreas de mayor pendiente. El monitoreo se realizó cada 8 días durante 14 semanas, la información recolectada se almacenó en una base de datos en el programa Excel, mientras que las 1512 imágenes registradas en vista de planta se procesaron en el programa ImageJ, obteniendo principalmente datos de cobertura, y abundancia de las especies incorporadas y de regeneración natural. Por último, se procesó la información en el programa estadístico Design-Expert, lo que permitió obtener los siguientes resultados principales: 1) las dos mallas son efectivas 100 % en el control de erosión siempre y cuando estén prensadas en los cuatro lados al suelo; 2) la aplicación de lombrices no es significativa para el desarrollo de la cobertura vegetal frente a la aplicación base de 3 kilogramos de humus sólido. 3) el uso de humus líquido y microorganismos eficientes estimula el desarrollo de la regeneración natural; 4) el humus sólido en proporción de 3 kilogramos permitió que la regeneración natural obtuviera los mejores crecimientos de cobertura en los dos tipos de mallas; 5) el índice de valor de importancia indicó que la especie por regeneración natural con mayor peso ecológico es la especie puntero (*Hyparrhenia rufa*), la cual fue decisiva en la recuperación de la cobertura vegetal de los suelos de la ladera objeto de estudio. Los datos obtenidos de la investigación fueron contundentes, por lo cual se logró realizar como producto un método sistémico para la rehabilitación ecológica de cobertura vegetal y control de erosión en suelos de ladera.

**Palabras clave:** geomallas no convencionales, Humus, Regeneración natural, rehabilitación ecológica.

## Abstract

In the department of Huila, the negative environmental impacts derived from the loss of vegetation cover of hillside soils are constant; and taking into account that the techniques used to mitigate the situation are mostly expensive and not always effective, it was decided to develop a systemic method for the ecological rehabilitation of hillside soils. To achieve this goal, 36 treatments were tested with three repetitions in a slope area of deteriorated soils in the rural area of the municipality of La Plata. where the effectiveness of two types of unconventional geogrids was determined (one organic, *Manicaria saccifera* mesh, and another synthetic, polyethylene mesh), the best proportion in solid humus, the importance of liquid humus in combination with efficient microorganisms, most suitable species for the generation of incorporated plant cover and natural regeneration, among other aspects. The process in the field was developed by isolating the land and carrying out cultural works to guide the water. Then, 108 experimental units were established with the help of a secure work team at heights in the steepest areas. The monitoring was done every 8 days for 14 weeks, the information collected was stored in a database in the Excel program, while the 1512 images recorded in the plant view were processed in the ImageJ program, obtaining mainly coverage data, and abundance of incorporated species and natural regeneration. Finally, the information was processed in the Design-Expert statistical program, which allowed obtaining the following main results: 1) the two meshes are 100% effective in erosion control as long as they are pressed on all four sides to the ground; 2) the application of earthworms is not significant for the development of the vegetation cover compared to the base application of 3 kilograms of solid humus. 3) the use of liquid humus and efficient microorganisms stimulates the development of natural regeneration; 4) solid humus in the proportion of 3 kilograms allowed natural regeneration to obtain the best coverage growths in the two types of meshes; 5) the value index of importance indicated that the species by natural regeneration with greater ecological weight is the leading species (*Hyparrhenia rufa*), which was decisive in the recovery of the vegetation cover of the soils of the hillside under study. The data obtained from the research were conclusive, so that a systemic method for the ecological rehabilitation of vegetation cover and erosion control in hillside soils was achieved as a product.

**Key words: unconventional geogrids, Humus, Natural regeneration, ecological rehabilitation**

## Tabla de Contenido

Lista de ecuaciones .....	21
Anexos .....	22
Capítulo 1 Introducción .....	23
1.1 Problema.....	26
1.1.1.    Pregunta de investigación.....	28
1.2 Justificación.....	28
1.3 Objetivos .....	29
1.3.1. Objetivo general.....	29
1.3.2. Objetivos específicos.....	29
Capítulo 2.....	30
Marco teórico .....	30
2.1 Laderas y conflictos de usos de suelo en Colombia. ....	30
2.1.1. Laderas .....	30
2.1.2. Deslizamientos .....	31
2.1.3. Erosión superficial de los suelos.....	31
2.1.4. Grados de pendiente.....	31
2.1.5. Conflictos de uso del suelo. ....	32
2.2 Control de impactos ambientales negativos en suelos de laderas.....	32
2.2.1. Control de la erosión en laderas .....	32
2.2.1.1. Bioingeniería como técnica para la restauración de laderas .....	33
2.2.1.2. Vegetación en la estabilización de los suelos a la erosión y los movimientos masales.....	34

2.2.1.3. Sucesión ecológica y restauración.....	35
2.2.1.4. Mantos o mallas para el control de erosión .....	35
2.3 Materias primas para las geomallas usadas en la investigación .....	35
2.3.1. <i>Manicaria saccifera</i> .....	35
2.3.1.1. Bráctea de la <i>Manicaria saccifera</i> .....	36
2.3.2 Malla sintética de polietileno.....	37
2.4 Insumos orgánicos .....	37
2.4.1. Influencia de la Materia orgánica sobre las propiedades físicas y químicas del suelo.....	37
2.4.1.1. Humus y lombricultura .....	38
2.4.1.2. Microorganismos eficientes (EM).....	39
2.5 Peso ecológico de las especies dentro del ecosistema herbáceo. ....	39
Capítulo 3.....	41
Metodología .....	41
3.1 Zona de estudio.....	41
3.2. Etapas de la metodología.....	41
3.2.1. Etapa 1. Revisión de literatura y alistamiento .....	41
3.2.2. Etapa 2: Adecuación de construcciones. ....	42
3.2.2.1. Biofábrica.....	42
3.2.2.2. Construcción de Camas para la Producción.....	42
3.2.2.3 Drenaje:.....	43
3.2.3. Obtención de humus, microorganismos y lombrices .....	43
3.2.3.1. Pie de cría de lombriz roja californiana.....	43

3.2.3.2. Subproductos utilizados:.....	44
3.2.3.3. Humus sólido .....	44
3.2.3.4. Microorganismos eficientes .....	45
3.2.4. Mallas incorporadas .....	45
3.2.4.1. Malla de polietileno .....	46
3.2.4.2. Mallas de <i>Manicaria saccifera</i> .....	46
3.2.5. Etapa 3 Diagnostico y Adecuación de sitio objeto de estudio.....	47
3.2.5.1. Descripción del área de influencia del sitio donde se ubican las unidades experimentales.....	47
3.2.5.2. Análisis de suelos .....	47
3.2.5.3. Selección de gramíneas.....	47
3.2.5.4. Aislamiento cercado .....	48
3.2.5.5. Desvió y drenaje de aguas superficiales en ladera .....	49
3.2.6. Etapa 4: Tratamientos de los Diseños experimentales. ....	49
3.2.7. Montaje de los Tratamientos: .....	52
3.2.7.1. Marcación de mallas:.....	53
3.2.7.2. Perforaciones en el suelo de ladera .....	53
3.2.7.3. Llenado de los hoyos: .....	54
3.2.7.4. Realización de cigarros de humus .....	54
3.2.7.5. Obtención y conteo de lombrices .....	55
3.2.7.6. Aplicación de humus líquido y microorganismos:.....	56
3.2.7.7. Siembra de gramíneas:.....	56
3.2.7.8. Medición de pendientes por cada malla.....	56

3.2.8. Etapa 5 Monitoreo.....	57
3.2.8.1. Identificación y conteo de especies nuevas: .....	58
3.2.8.2. Estado de las especies incorporadas y las especies nuevas .....	58
3.2.8.3. Registro fotográfico.....	59
3.2.8.4. Ingreso de material vegetal nuevo en la superficie de cada malla .....	59
3.2.8.5. Análisis del estado de las mallas .....	60
3.2.8.6. Control de erosión .....	60
3.2.9. Etapa de oficina.....	62
3.2.9.1. Base de datos.....	62
3.2.9.2. Área de cubrimiento de la superficie de la malla de la regeneración por las plantas: .....	64
3.2.9.3. Evaluación de la efectividad de las mallas en el control de.....	65
3.2.9.4. Evaluación del humus líquido y los microorganismos eficientes (EM) en cuanto al desarrollo de la regeneración natural.....	66
3.2.9.5. Evaluación del uso de lombrices en los tratamientos con gramíneas en el desarrollo de cobertura vegetal. ....	66
3.2.9.6. Evaluación de la efectividad de los tratamientos para el desarrollo de regeneración natural, cobertura vegetal de especies incorporadas y cobertura vegetal total .....	66
3.2.9.7. Índice de valor de importancia de las especies de la regeneración natural (ecosistema herbáceo):.....	67
Capítulo 4.....	71
Resultados y discusión. ....	71

4.1. Análisis del área de estudio antes de la implementación de las unidades experimentales. ....	71
4.1.1. Descripción del área de influencia a 50 metros a la redonda de las unidades experimentales.....	71
4.1.2. Descripción puntual de la zona objeto de estudio antes de establecer las unidades experimentales.....	72
4.1.3 Análisis de suelos en laboratorio .....	72
4.1.4 Grados de inclinación para cada una de las unidades experimentales. ....	73
4.2 Efectividad de la combinación de mallas y prenses para el control de la erosión. ....	73
4.2.1. Diseño experimental en el software Design-Expert.....	74
4.3 Efectividad del humus líquido y EM, en el desarrollo de la regeneración natural. ....	76
4.3.1 Diseño experimental en el software Design-Expert.....	77
4.3.2. ANOVA para el modelo factorial 2f1, interacción malla – Humus líquido y EM.	77
4.4 Valoración del uso de lombrices en los tratamientos con gramíneas en la generación de porcentaje de desarrollo de cobertura vegetal incorporada y porcentaje de desarrollo de cobertura de la regeneración natural. ....	80
4.4.1 Diseño experimental en el software Design-Expert.....	80
4.4.2. ANOVA para el modelo factorial 3f1, interacción malla, gramíneas y lombrices en respuesta al % de desarrollo de la cobertura incorporada. ....	82
4.4.3. ANOVA para el modelo factorial 3f1, interacción malla, gramíneas y lombrices en respuesta al % de desarrollo de cobertura de la regeneración natural. ....	84

4.5 Modelo general para determinar la efectividad del humus sólido, las mallas y las especies incorporadas, en el desarrollo del % de cobertura vegetal incorporada % de la cobertura de la regeneración natural y % de la cobertura vegetal total.....	87
4.5.1 Diseño experimental en el software Design-Expert.....	87
4.5.2 ANOVA para el modelo factorial 3f1, interacción humus sólido, mallas y especies incorporadas en respuesta al porcentaje de desarrollo de la regeneración natural.....	89
4.5.2.1. Análisis para el modelo gráfico; humus sólido, mallas y especies incorporadas (nivel sin pasto), bajo la respuesta de % de desarrollo de cobertura de la regeneración natural.....	90
.....	92
4.5.2.2. Análisis para el modelo Gráfico; humus sólido, mallas y especies incorporadas (nivel pasto saboya), bajo la respuesta de % de desarrollo de cobertura de la regeneración natural.....	92
4.5.2.3. Análisis para el modelo gráfico; humus sólido, mallas y especies incorporadas (nivel pasto estrella), bajo la respuesta de % de desarrollo de cobertura de la regeneración natural.....	93
4.5.2.4. Análisis para el modelo gráfico; humus sólido, mallas y especies incorporadas (nivel pasto sabana), bajo la respuesta de % de desarrollo de cobertura de la regeneración.....	94
4.5.2.5. Análisis para el modelo gráfico; humus sólido, mallas y especies incorporadas (Promedio – Average), bajo la respuesta de % de desarrollo de cobertura de la regeneración.....	96

4.5.2.6. Análisis para el modelo gráfico, relación humus sólido, especies incorporadas bajo factor mallas (nivel Manicaria saccifera y polietileno) en el desarrollo del % de la regeneración natural. ....	97
4.5.3 ANOVA para el modelo factorial 3f1, interacción humus sólido, mallas y especies incorporadas en respuesta al % de desarrollo de la cobertura vegetal incorporada. ....	99
4.5.3.1. Análisis para el modelo gráfico; humus sólido, mallas y especies incorporadas (nivel pasto saboya), bajo la respuesta de % de desarrollo de cobertura de gramíneas incorporadas. ....	100
4.5.3.2. Análisis para el modelo gráfico; humus sólido, mallas y especies incorporadas (nivel pasto estrella), bajo la respuesta de % de desarrollo de cobertura de gramíneas incorporadas. ....	101
4.5.3.3. Análisis para el modelo gráfico; humus sólido, mallas y especies incorporadas (nivel pasto Sabana), bajo la respuesta de % de desarrollo de cobertura de gramíneas incorporadas. ....	103
4.5.3.4. Análisis para el modelo gráfico; humus sólido, mallas y especies incorporadas (promedio - Average), bajo la respuesta de % de desarrollo de cobertura de gramíneas incorporadas. ....	104
4.5.4 ANOVA para el modelo factorial 3f1, interacción humus sólido, mallas y especies incorporadas en respuesta al % de desarrollo de la cobertura vegetal total. ....	106
4.5.4.1. Análisis para el modelo gráfico; humus sólido, mallas y especies incorporadas (nivel sin pasto), bajo la respuesta de % de desarrollo de cobertura vegetal total. ....	107

4.5.4.2. Análisis para el modelo gráfico; humus sólido, mallas y especies incorporadas (nivel pasto estrella), bajo la respuesta de % de desarrollo de cobertura vegetal total. ....	109
4.5.4.3. Análisis para el modelo gráfico; humus sólido, mallas y especies incorporadas (nivel pasto sabana), bajo la respuesta de % de desarrollo de cobertura vegetal total. .	110
4.5.4.4. Análisis para el modelo gráfico, relación humus sólido, especies incorporadas bajo factor mallas (nivel Manicaria saccifera y polietileno) en el % de desarrollo de la cobertura vegetal total.....	112
4.5.4.5. Comparación de modelos gráficos, sobre las variables de respuesta porcentaje de la regeneración natural; porcentaje de gramíneas incorporadas y cobertura vegetal total. ....	113
4.6 Peso ecológico de la regeneración natural de las especies encontradas en las unidades .....	116
experimentales de la zona objeto de estudio. ....	116
.....	118
Conclusiones .....	119
Referencias bibliográficas.....	127
ANEXOS .....	131

## Lista de tablas

<i>Tabla 1.</i> Comparación de la celulosa de <i>Manicaria saccifera</i> con otras fibras naturales .....	36
<i>Tabla 2.</i> Tratamientos del 1 al 36 .....	50
Tabla 3. Especies de flora herbácea y flora arbórea .....	71
Tabla 4. Características del suelo donde se ubica las unidades experimentales.....	72
Tabla 5. Diseño experimental relación mallas preses en el control de la erosión .....	74
<i>Tabla 6.</i> ANOVA para el modelo factorial mallas preses con respuesta al % de erosión. ....	75
<i>Tabla 7.</i> Diseño experimental relación mallas – humus líquido y EM en la regeneración natural .....	77
<i>Tabla 8.</i> ANOVA para el modelo unifactorial Humus líquido y EM con respuesta al porcentaje de regeneracion natural.....	78
<i>Tabla 9.</i> Diseño experimental relación mallas gramíneas y lombrices con respecto al % de regeneración natural y desarrollo de cobertura Vegetal incorporada.....	81
<i>Tabla 10.</i> ANOVA para el modelo factorial mallas, lombrices y gramíneas, bajo la respuesta de % de desarrollo de la cobertura vegetal incorporada. ....	82
Tabla 11. ANOVA para el modelo factorial mallas, lombrices y gramíneas, bajo la respuesta de % de desarrollo de cobertura de la regeneracion natural.....	85
Tabla 12 . Diseño experimental relación humus sólido, mallas y especies incorporadas con respecto al % de desarrollo de la regeneración natural, % desarrollo de la cobertura de especies incorporadas y desarrollo de cobertura vegetal total. ....	88
<i>Tabla 13.</i> ANOVA para el modelo factorial Humus sólido, Mallas y Especies incorporadas, bajo la respuesta de % de desarrollo de cobertura de la regeneracion natural. ....	90

<i>Tabla 14.</i> ANOVA para el modelo factorial Humus sólido, Mallas y Especies incorporadas, bajo la respuesta de % de desarrollo de cobertura vegetal incorporada. ....	99
Tabla 15. ANOVA para el modelo factorial humus sólido, mallas y especies incorporadas, bajo la respuesta de % de desarrollo de cobertura vegetal total. ....	107
Tabla 16. Índice de valor de importancia (IVI) de la regeneración natural .....	116

## Lista de figuras

Figura 1. Talud y ladera (Suarez, 2001).....	31
Figura 2. Palma y bráctea de <i>Manicaria saccifera</i> . ....	37
Figura 3.Zona de ladera (Área objeto de estudio).....	41
Figura 4. Construcción de la Estructura de la Biofabrica.....	42
Figura 5. Construcción de las Camas para la producción de humus de lombriz .....	43
Figura 6. Materias primas para la obtención de humus (pulpa de café y estiércol bobino) .....	44
Figura 7. Separación de la lombriz del humus .....	45
Figura 8. Producción de microorganismos eficientes en biofábrica en tanque de 500 litros. ....	45
Figura 9. Polietileno usado como geomalla. ....	46
Figura 10. Fibra de <i>Manicaria saccifera</i> utilizada como geomalla .....	46
Figura 11. Análisis de suelo en laboratorio .....	48
Figura 12. (A) Aislamiento de la zona de estudio. (B Y C) zanja de coronación. ....	49
. Figura 13. Montaje de las mallas de los diferentes tratamientos. ....	53
Figura 14. Perforaciones de 15 centímetros de longitud y 2,54 cm de diámetro (A), Perforaciones de 15 centímetros de longitud y 0,65 cm de diámetro (B), llenado de los hoyos de 2,54 centímetros de diámetro con Humus sólido (C). ....	54
Figura 15. Elaboración e incorporación de cigarros de humus en el suelo. ....	55
Figura 16. Gramíneas incorporadas y aplicación de enmienda orgánica. ....	56
Figura 17. Medición de pendientes por cada unidad experimental. ....	57
Figura 18. Realización del registro fotográfico con monopod de 2,3 metros sin causar afectación a las unidades experimentales. ....	59

Figura 19. Determinación de la ubicación de la regeneración natural en la superficie de la malla, para su posterior identificación en las semanas siguientes dentro del proceso de investigación. ....	60
Figura 20. Tratamientos 1, 2, 29, 30, 35 y 36 con 3 repeticiones de la semana 3, seleccionados para determinar la dinámica de la erosión en 14 semanas de muestreo. ....	61
Figura 21. Ubicación de los tratamientos 9 y 10 hasta la semana 5. A nivel de imagen en el programa Excel. ....	63
. Figura 22. Pasos para obtener áreas foliares de las especies de la regeneración natural en el programa ImageJ. ....	65
Figura 23. Distribución de las pendientes de las 108 unidades experimentales establecidas en la zona objeto de estudio (T=tratamiento; R = repetición).....	73
Figura 24. Gráfica modelo Interacción factores mallas y preses, bajo la respuesta % erosión.	76
Figura 25. Efectividad del humus líquido y el EM sobre la estimulación al porcentaje de crecimiento de la regeneración natural. ....	79
Figura 26. Gráfica promedio 1 (Average). Y gráficas por malla individual 2 (Manicaria saccifera); y 3 (polietileno) de la efectividad de las lombrices en el % de desarrollo de la cobertura vegetal de especies incorporadas. ....	84
Figura 27. Gráfica promedio 1 (Average) gráficas por malla individual 2 (Manicaria saccifera); y 3 (polietileno) de la efectividad de las lombrices en el % de desarrollo de la Regeneracion natural. ....	86
Figura 28. Gráfica- modelo factorial de mallas, humus y especies incorporadas (nivel Sin pasto) bajo la respuesta de % de desarrollo de la cobertura de la regeneracion natural. ....	92

Figura 29. Gráfica- modelo factorial de mallas, humus y especies incorporadas, (nivel pasto saboya) en el desarrollo del % de la regeneración natural.....	93
Figura 30. Gráfica- modelo factorial mallas, humus y especies incorporadas (nivel pasto estrella) en el desarrollo del % de la regeneración natural .....	94
Figura 31. Modelo de la relación de mallas, humus bajo el factor especies incorporadas, (nivel pasto sabana) en el desarrollo del % de la cobertura de la regeneración natural. ....	95
Figura 32. Gráfica del modelo factorial mallas, humus y especies incorporadas (promedio) en el desarrollo del % de la cobertura de la regeneración natural. ....	96
Figura 33. Gráfica 1- modelo de la relación humus, especies incorporadas bajo factor mallas (nivel Manicaria saccifera) en el desarrollo del % de la regeneración natural. Gráfica 2. - modelo de la relación humus, especies incorporadas bajo factor mallas (nivel polietileno) en el desarrollo del % de la regeneración natural. ....	98
Figura 34. Gráfica modelo de la interacción de tres factores; Humus, mallas, especies incorporadas (Nivel de factor pasto saboya), en relación al % de desarrollo de la cobertura de gramíneas incorporadas.....	101
Figura 35. Gráfica modelo de la interacción de tres factores; humus, mallas, especies incorporadas (nivel de factor pasto estrella), en relación al % de desarrollo de la cobertura de gramíneas incorporadas.....	102
Figura 36. Gráfica modelo de la interacción de tres factores; Humus, mallas, especies incorporadas (Nivel de factor pasto Sabana), en relación al % de desarrollo de la cobertura de gramíneas incorporadas. ....	104

Figura 37. Gráfica modelo de la interacción de tres factores; Humus, mallas, especies incorporadas (Nivel de factor promedio), en relación al % de desarrollo de la cobertura de gramíneas incorporadas. ....	106
Figura 38. Gráfica- modelo de la relación de mallas, Humus bajo el factor especies incorporadas (nivel Pasto saboya) en el % de desarrollo de Cobertura vegetal total. ....	108
Figura 39. Gráfica- modelo de la relación: mallas, humus bajo el factor especies incorporadas, (nivel pasto saboya) en el % de desarrollo de la cobertura vegetal total.....	109
. Figura 40. Gráfica- modelo de la relación de mallas, humus bajo el factor especies incorporadas (nivel Pasto estrella) en el desarrollo del % de Cobertura vegetal total. ....	110
. . . Figura 41. Gráfica- modelo de la relación de mallas, humus bajo el factor especies incorporadas (nivel Pasto sabana) en el % desarrollo de la Cobertura vegetal total.....	111
Figura 42. Gráfica 1- modelo de la relación humus, especies incorporadas bajo factor mallas (nivel Manicaria saccifera) en el desarrollo del % de cobertura vegetal total. Gráfica 2. - modelo de la relación humus, especies incorporadas bajo factor mallas (nivel Polietileno) en el desarrollo del % cobertura vegetal total. ....	113
Figura 43. Comparación de modelos gráficos de regeneración natural, cobertura de gramíneas y cobertura total,.....	115
. Figura 44. Gráfica del índice de valor de importancia de las especies de regeneración natural encontradas en las unidades experimentales objeto de estudio.....	117
Figura 45. Secuencia antes, durante y después de la dinámica que sufrió la zona objeto de estudio para lograr la rehabilitación ecológica, donde el pasto puntero fue la especie que más contribuyó a este logro. ....	118

## Lista de ecuaciones

Ecuación 1. ....	55
Ecuación 2. ....	57
Ecuación 3. ....	57
Ecuación 4. ....	68
Ecuación 5. ....	68
Ecuación 6. ....	69
Ecuación 7. ....	69
Ecuación 8. ....	70

## Lista de anexos

Anexo 1. Método sistémico para la rehabilitación ecológica de suelos de ladera..... 132

Anexo 2. Imágenes de las 108 unidades experimentales registradas en la semana 14.

Correspondiente a 36 tratamientos con tres repeticiones cada uno..... 134

Anexo 3. Resultados de las pendientes calculadas en porcentaje para cada unidad experimental.

..... 137

## **Capítulo 1**

### **Introducción**

Colombia, con una extensión continental de 114.174.800 hectáreas, cuenta con el 10% de la biodiversidad del planeta, lo que lo convierte en un país megadiverso. Sin embargo, vive un proceso acelerado de transformación de sus hábitats y ecosistemas naturales por causas como la inadecuada ocupación y utilización del territorio, que ha incrementado los problemas de colonización y ampliación de la frontera agrícola (Farfán 2014). A esto se suman las pérdidas de cobertura vegetal de la flora arbórea y las plantas herbáceas, las cuales han provocado un deterioro representativo de los suelos, sobre todo en ecosistemas de ladera; esto genera una serie de impactos ambientales negativos ligados a la erosión, los cuales han crecido en magnitud en los últimos años debido al efecto del agua en el mal uso y manejo de los suelos.

En el año 2014, según las cifras reportadas por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), el 28 % del país (32.794.351 hectáreas) padecía de algún conflicto en la calidad de sus suelos, resultado del uso inadecuado en su mayoría por la sobreutilización y en menor medida por la subutilización. Pero a finales de 2016 se informó que la cifra de sobreexplotación había aumentado a un 33 % en tan solo 2 años, por lo cual las zonas más productivas y pobladas de Colombia estaban prácticamente en proceso de deforestación, lo cual resulta preocupante teniendo en cuenta la importancia de la flora arbórea en la estabilización de laderas, debido al efecto mecánico dado por los hábitos de enraizamiento, profundidad y tamaño de las raíces (Waldron, Dakessian, y Nenson 1983). Por lo cual no hay que olvidar que, en la sucesión ecológica, las tierras abandonadas son colonizadas primero por especies herbáceas y luego por leñosas, llegando a desarrollar un bosque secundario (Brown y Lugo 1990). En la primera fase del modelo de sucesión secundaria de Finegan (1993) se plantea que en los primeros meses

después del abandono de tierras, el sitio es colonizado por especies pioneras herbáceas y arbustivas que forman una comunidad baja que puede ocupar el sitio de dos a tres años.

Por toda la situación anterior, y teniendo en cuenta que los métodos que se emplean para mitigar la situación son costosos en su mayoría y no siempre efectivos, se decidió abordar esta problemática con el fin de obtener un método sistémico para la rehabilitación ecológica de suelos de ladera. Para llegar a este objetivo se inició con el levantamiento de información primaria y secundaria, donde se realizó vigilancia tecnológica para identificar modelos, casos, e información relevante que en combinación con la experiencia práctica del autor, sirvieron para determinar las bases de selección de factores económica y ambientalmente viables para iniciar la investigación, como se enumeran y describen a continuación: 1) Geomallas no convencionales; 1.1. Malla de *Manicaria saccifera*: se seleccionó por ser un producto completamente natural procedente de la bráctea de una palma, sobresaliente por su fibra y que se da en abundancia en la región pacífica. Las brácteas fueron donadas por habitantes de la comunidad afrodescendiente Las Brisas; 1.2 Malla de polietileno: fue seleccionada por ser un producto de fácil adquisición, y tener un precio económico en comparación con las mallas de polipropileno usadas como geomallas de manera convencional; 2) Humus sólido y humus líquido: se seleccionó por ser un producto orgánico que se podía obtener de la transformación en el tracto digestivo de las lombrices (*Eisenia foetida*) de subproductos contaminantes de mayor abundancia y fácil adquisición en la región del Huila como lo son la pulpa de café y estiércol bobino; 3) Miroorganismos eficientes: fueron tenidos en cuenta debido a experiencias prácticas del autor en el uso en mejoramiento de cultivos; 4) Especies incorporadas: fueron seleccionadas por estar vinculadas en zonas adyacentes a la zona objeto de estudio; 5) Regeneración natural: se

seleccionó teniendo en cuenta los conceptos de sucesión natural y su importancia en la restauración ecológica de ecosistemas.

La investigación se desarrolló en la zona rural del municipio de La Plata, específicamente en un área de ladera sin cobertura vegetal y con suelos erosionados, debido a la ganadería extensiva. Para iniciar el proceso de investigación se realizó la construcción y adecuación de una biofábrica; allí se establecieron las camas para semicompostar los subproductos de pulpa de café y estiércol bobino, así como también las camas donde se establecieron las lombrices para procesar el material semicompostado en la obtención de humus sólido y humus líquido. Los microorganismos eficientes se reprodujeron en un tanque de 500 litros, alimentados con miel de purga y derivados lácteos obtenidos en la misma finca. Ya teniendo las materias primas disponibles, se procedió a realizar la adecuación del área objeto de estudio, la cual consistió en aislar la zona con postes de guadua y alambre, y realizar una zanja de coronación para direccionar las aguas de escorrentía. Posteriormente, mediante un equipo de trabajo en alturas en las zonas de mayor inclinación, se procedió al montaje en forma aleatoria de las 108 unidades experimentales contenidas en 36 tratamientos con dos tipos de mallas (*Manicaria saccifera* y polietileno), tres cantidades de humus sólido en kilogramos (1, 3, 0) con perforaciones asociadas en tamaño a la cantidad de humus, una dosis base de humus líquido y microorganismos eficientes de 500 cm<sup>3</sup> y tres tipos de especies de gramíneas: saboya, estrella y sabana.

Después del montaje de todas las unidades experimentales se procedió con la medición de pendientes individuales de tal forma que se pudiera determinar la efectividad de los tratamientos referente al grado de inclinación.

El monitoreo y toma de la información se realizó durante 14 semanas cada 8 días, acompañado de un registro fotográfico de cada una de las unidades experimentales; permitió

recolectar información acerca del estado y efecto de las mallas en el control de la erosión, el crecimiento y estado de las especies incorporadas, evaluación de la regeneración natural etc. La información se documentó en una base de datos en Excel: se procesaron 1512 imágenes en el programa ImageJ, obteniendo datos de cobertura y abundancia de las especies incorporadas y regeneración natural; por último, se procesó la información en el programa estadístico Design-Expert. Como principal resultado se encontró que las dos mallas son efectivas en el control de erosión, siempre y cuando estén prensadas en los cuatro lados; se identificó que el uso de humus líquido y de microorganismos eficientes estimula el desarrollo de la regeneración natural; la aplicación de 1 kilogramo de humus sólido mediante la técnica de cigarros no es eficiente cuando el suelo está seco y su porcentaje de efectividad está por debajo de la aplicación de humus líquido y microorganismo eficientes (EM); Las especies incorporadas tuvieron comportamientos diferentes en el desarrollo de cobertura para los dos tipos de mallas donde el contenido de humus sólido marcaba la efectividad; El humus sólido en proporción de 3 kilogramos con perforaciones, permitió que la regeneración natural obtuviera los mejores crecimientos en cobertura; el índice de valor de importancia indicó que la especie por regeneración natural con mayor peso ecológico es la especie puntero, la cual fue decisiva en la recuperación de la cobertura vegetal de los suelos de la ladera objeto de estudio. Los datos obtenidos de la investigación fueron contundentes, por lo cual se logró realizar como producto un método sistémico para la restauración ecológica de cobertura vegetal y control de erosión en suelos de ladera.

## **1.1 Problema**

Las pérdidas de coberturas vegetales de los suelos en el mundo son consideradas principalmente a nivel arbóreo (bosque), prestando baja atención a las pérdidas a nivel herbáceo,

siendo este un aspecto de consideración ya que en estas se desarrolla todos los procesos iniciales de sucesión natural que definen la restauración ecológica de los suelos. En los países tropicales, la pérdida de cobertura vegetal genera procesos de pérdidas de suelo que se estiman en 915 x 106 hectáreas por erosión hídrica, 474 x 106 hectáreas por erosión del viento, 50 x 106 de hectáreas por degradación física, y 213 x 106 hectáreas por degradación química (Lal, 1994). La erosión causada por el sobrepastoreo y las malas prácticas agrícolas, sumado a la construcción de vías, generan laderas y taludes con un alto grado de deterioro que aumenta con el tiempo y generan impactos ambientales negativos sinérgicos que atentan contra los recursos naturales y, por ende, contra la población.

En el departamento del Huila son comunes estos fenómenos, evidenciándose impactos paisajísticos negativos en todos los municipios de la región. Si bien existen métodos para la recuperación de suelos de laderas con pendientes pronunciadas, estos resultan costosos en la mayoría de casos, no contemplan el desarrollo de la biodiversidad por regeneración natural y los protocolos de restauración no son sistémicos. Por esta razón son muy pocas las zonas que se restauran, por lo que los suelos quedan vulnerables a impactos ambientales negativos crecientes, evidenciando deslizamientos, surcos, cárcavas, remociones en masa, golpes de cuchara y todo tipo de afectaciones que se generan por la desprotección vegetativa. Al estar desprovistos de cobertura vegetal y encontrarse expuestos de manera directa a la radiación solar, los suelos con altos contenidos en arcillas sufren un proceso de agrietamiento y se erosionan con facilidad. Este problema se acrecienta cuando llega la temporada de lluvias y el agua entra por las grietas, lo cual genera desprendimiento de grandes capas de suelo que se traducen en un derrumbe o deslizamiento; los deslizamientos generan un efecto particular para cada tipo de suelo, pero en todos los casos esto obedece a una misma causa: la pérdida de cobertura vegetal del suelo.

**1.1.1. Pregunta de investigación:** ¿Es posible desarrollar un método sistémico, económico y ambientalmente viable para la rehabilitación de suelos erosionados de ladera?

## **1.2 Justificación**

En los municipios del departamento del Huila son notables el deterioro y la pérdida de coberturas vegetales del suelo que presentan las laderas de pendiente pronunciada, así como los efectos negativos que se derivan de ellas: surcos, cárcavas, deslizamientos, derrumbes, etc.

La implementación de técnicas innovadoras para subsanar esta problemática aplicando protocolos centrados en la investigación de la efectividad de las geomallas no convencionales, los insumos orgánicos, las gramíneas incorporadas, la regeneración natural vegetal y los complementos en obras, brinda herramientas fundamentales para afrontar la pérdida de cobertura vegetal y rehabilitación de suelos erosionados de ladera en el municipio de La Plata (Huila); y permite desarrollar un modelo metodológico compatible para implementar en cualquier zona de Colombia.

El uso de elementos económica y ambientalmente sostenibles como las fibra de *Manicaria saccifera* (orgánica) y de polietileno (sintética), utilizadas como geomallas en combinación con insumos orgánicos a diferentes diámetros de perforación, la incorporación de gramíneas y el estímulo al desarrollo de la regeneración natural, permite -mediante el uso compuesto de tratamientos experimentales- obtener información técnico-científica que brinda garantías de una recuperación sostenible de las coberturas vegetales, y la mitigación y corrección de impactos ambientales negativos que atentan contra el suelo, el recurso hídrico, la vegetación, la fauna y el paisaje general en laderas.

Los análisis que se fundamentan en las técnicas desarrolladas en este trabajo, consolidan información que permite comprender mejor la ecología de las especies de la regeneración natural

que tienen la habilidad de desarrollarse en laderas deterioradas con diferentes grados de pendiente a través de estímulos puntuales, y genera información base para su aprovechamiento e implementación en el desarrollo de futuras investigaciones en los campos de la dinámica de la sucesión natural en la rehabilitación de suelos erosionados.

### **1.3 Objetivos**

#### **1.3.1. Objetivo general**

Desarrollar un método sistémico para la rehabilitación ecológica de suelos erosionados de ladera a partir del uso de geomallas no convencionales, insumos orgánicos y coberturas vegetales en el municipio de La Plata, Huila.

#### **1.3.2. Objetivos específicos**

- Determinar la efectividad de la malla de *Manicaria Saccifera* y la de polietileno en el control de la erosión.
- Evaluar la efectividad de los insumos orgánicos en el desarrollo de coberturas vegetales incorporadas y regeneración natural en relación con las mallas de *Manicaria saccifera* y polietileno.
- Determinar los rendimientos de desarrollo de cobertura de las especies incorporadas.
- Establecer el índice de valor de importancia (IVI) de las especies vegetales que se generan por regeneración natural en las unidades experimentales.
- Identificar la combinación de los mejores tratamientos para la recuperación de suelos deteriorados en ladera con pendientes variables.
- Generar técnicas novedosas que faciliten el desarrollo de investigación en la rehabilitación de suelos de laderas.

## Capítulo 2

### Marco teórico

La pérdida de cobertura vegetal en suelos de ladera con diferentes grados de pendiente, genera fenómenos de erosión que avanzan en forma acelerada a un nivel de deterioro de suelos que afecta todo el país. El uso no sostenible de los recursos naturales y la no aplicación de prácticas preventivas y correctivas de conservación de suelos, asociado al desconocimiento y los altos costos para restaurar laderas, crean la necesidad de desarrollar nuevas técnicas y métodos económica y ambientalmente sostenibles para abordar esta problemática.

#### **2.1 Laderas y conflictos de usos de suelo en Colombia.**

**2.1.1. Laderas.** En el departamento del Huila las laderas son representativas debido en gran medida al sistema de cordilleras. De manera simple, las laderas se definen como una masa de tierra que posee superficie inclinada con respecto a la horizontal (*Figura 1*), la cual comparte características similares a las de un talud, es decir que se considera ladera cuando su conformación actual tuvo como origen un proceso natural y un talud cuando su formación es antrópica (Matteis, 2003). Las laderas son muy importantes para la sostenibilidad de los recursos naturales, pero el uso inadecuado del suelo y las pérdidas de cobertura han generado que de estas se deriven una serie de impactos ambientales negativos que generan un efecto inverso con repercusiones directas en el entorno y la sociedad.

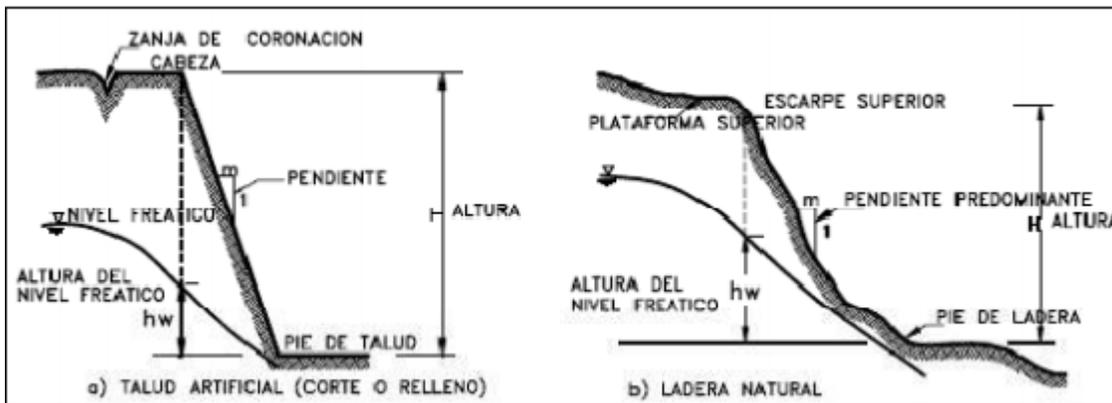


Figura 1. Talud y ladera (Suarez, 2001)

**2.1.2. Deslizamientos.** Son uno de los procesos geológicos más destructivos en zonas de laderas que, además de generar grandes pérdidas de suelo, contribuyen de manera significativa a la sedimentación de las fuentes hídricas y la afectación de las comunidades causando miles de muertes y daños en las propiedades, por valor de decenas de billones de dólares cada año (Brabb y Hrod, 1989). Los deslizamientos de ladera son movimientos de materiales térreos que resultan de un desplazamiento hacia abajo y hacia afuera de suelos, rocas y vegetación bajo la influencia de la gravedad (Lopez y Morales, 2003). El departamento del Huila es susceptible de este tipo de fenómenos debido a su alta tasa de deforestación y conflictos de uso de suelo.

**2.1.3. Erosión superficial de los suelos.** La erosión es evidente en las laderas sin cobertura vegetal. Y se le define como el proceso de separación, transporte y depósito de los materiales del suelo por agentes causantes como la lluvia, el viento y las actividades antrópicas (Hudson, 1982). La erosión es un problema sobresaliente que se manifiesta en la pérdida de suelos y la generación de impactos ambientales, económicos y sociales negativos en el departamento del Huila.

**2.1.4. Grados de pendiente.** Las laderas en Colombia son muy dinámicas. Muchas presentan diferentes cambios de pendientes en una misma unidad, por lo que el porcentaje de deterioro de una

ladera que se encuentra con poca o inexistente cobertura vegetal, depende exclusivamente del grado de inclinación que está presente, pues este regula la velocidad de circulación del agua sobre la superficie de forma casi exclusiva (Suarez, 2001). Esto significa que para poder desarrollar técnicas efectivas de control de erosión se deben generar relaciones acertadas entre las unidades de soporte, la cobertura vegetal y la disponibilidad inicial de nutrientes en el suelo.

**2.1.5. Conflictos de uso del suelo.** El instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) reportó en el año 2008 que en Colombia se presentaba una sobreexplotación del 16%, un uso adecuado del 67.6%, y una subutilización del 13% del suelo. Estas cifras cambiaron notablemente en 8 años, en el XVIII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo, realizado el 6 de octubre de 2016 en Villa de Leiva, se afirmó que el porcentaje de sobre explotación que se presenta para ese año era el doble que en 2008, con un 33 %; el uso adecuado del suelo se redujo a más de la mitad, con un 31 %; y la subutilización se duplicó al 28 %.

Un estudio realizado por el IGAC con base en las 8 clases agrológicas definidas por Departamento de Agricultura de EE.UU, y citado por Gómez (1979), encontró que el 75 % del suelo colombiano estaría entre las clases VI, VII y VIII; Esto indica que aunque ha existido información relevante desde hace más de 30 años para abordar la problemática, el uso inadecuado del suelo es un problema crítico para las zonas de ladera pues los impactos siguen en aumento debido a la producción agrícola y pecuaria en zonas de ladera con pendiente pronunciada.

## **2.2 Control de impactos ambientales negativos en suelos de laderas.**

**2.2.1. Control de la erosión en laderas.** Son variadas las tecnologías utilizadas para el control de la erosión; sin embargo, los altos costos y la poca sostenibilidad generan una baja efectividad y poca adquisición de estas, lo cual se puede evidenciar al recorrer las diferentes

fincas y zonas de ladera en las diferentes regiones del país. La bioingeniería resulta ser una técnica que, con un buen enfoque investigativo, puede disminuir en un alto porcentaje los costos para la recuperación de sitios erosionados como lo son las laderas.

En el país se han adelantado estudios de bioingeniería utilizando pastos como el vetiver, guadua y árboles; obras de manejo de aguas de esorrentía, cortacorrientes, canales revestidos en piedra y en concreto; barreras de vegetación, colocación de suelos orgánicos, revegetalización con tela de fibra de cabuya, utilización de bambú con malla metálica, trinchos, geotextiles, gaviones de piedra y con bolsas de arena, el bolsacreto y los exápodos de concreto armado.

Los principios de bioingeniería para el control de la erosión son básicos, siendo la vegetación uno de los mejores materiales naturales para la mitigación de impactos. El problema de la retención del suelo, la protección, la revegetación y el refuerzo de césped puede ser resuelto con muchos materiales, tanto orgánicos como sintéticos, con propiedades específicas que deben tenerse en cuenta para lograr un rendimiento adecuado (Carroll, Rodencal y Collin, 1992).

**2.2.1.1. Bioingeniería como técnica para la restauración de laderas.** La bioingeniería enfocada en el suelo se refiere a la prevención y control de erosión, movimientos masales, protección y estabilización de laderas y taludes, con base en los parámetros de la ecuación universal de erosión y de la resistencia al cortante tangencial, que tienen en cuenta los procesos físicos, químicos y biológicos de los fenómenos degradativos (Flórez, 2014). La construcción de estructuras vivas usando la vegetación es una alternativa óptima, pues las plantas sirven como elementos mecánicos a la estructura principal en los sistemas de protección de laderas. Además, estas se transforman en obras vivas que, con el paso del tiempo, se hacen más fuertes por medio de sus tallos y raíces. El follaje de las plantas genera biomasa que al transformarse en humus, enriquece el suelo. La cobertura vegetal se adecúa para la realización de drenajes hidráulicos y

barreras que contienen la erosión y los movimientos masales (Rivera, 2009), protegiendo con el área foliar el suelo del impacto directo de las lluvias y el sol.

#### ***2.2.1.2. Vegetación en la estabilización de los suelos a la erosión y los movimientos***

***masales***. Utilizar la vegetación herbácea para el cubrimiento del suelo, ha resultado ser una práctica eficiente en la prevención de la erosión de las zonas de ladera en el mundo (Federación Nacional de Cafeteros, 1982). Este fue el punto de partida para la realización de la presente investigación, ya que brinda conocimiento a partir de las observaciones directas de campo en un entorno natural, en el que la generación de métodos sistémicos permite integrar técnicas de restauración que se adaptan a las condiciones de desarrollo actual y promueven el uso de vegetación e insumos orgánicos específicos con materiales sostenibles para disminuir a pequeña y gran escala los impactos ambientales negativos en el paisaje. De esta manera es posible, brindar protección y alternativas de trabajo a las comunidades.

En algunos trabajos del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) realizados por Flórez (1986), se comprobó que la vegetación arbórea y arbustiva da lugar a sistemas radicales de anclaje mayor en lo profundo y hacia los lados en el perfil del suelo, lo cual aumenta la resistencia a la ruptura, la fracturación o fallamiento y genera mayor estabilidad del terreno ante los movimientos masales. Es clave resaltar la importancia que tiene la realización de los diagnósticos ambientales en las zonas objeto de restauración, para determinar las posibles especies que se pueden generar de forma natural y que repoblarán los sitios vulnerables, evitando incorporar flora fija que puede generar impactos ambientales negativos sinérgicos a mediano plazo. La revegetación artificial de los terrenos afectados por intervención antrópica se ha convertido en un elemento recurrente entre el conjunto de medidas destinadas a reducir los impactos generados, por lo cual las inversiones destinadas a esta partida presupuestaria han

crecido permanentemente en las dos últimas décadas al amparo de la legislación ambiental, que exige que todos los proyectos de infraestructuras incluyan un estudio de su impacto ambiental y las consiguientes medidas correctoras del mismo (Alfaya, 2012).

**2.2.1.3. Sucesión ecológica y restauración.** Los medios sujetos a perturbaciones intensas, que en general son precisamente los que constituyen el objeto físico de los proyectos de restauración, son excelentes campos de experimentación para la investigación de los procesos que controlan la dinámica sucesional; allí la restauración ecológica se convierte en una herramienta útil para la investigación en el campo de la sucesión ecológica (Marss y Bradshaw, 1993; Windhager, 1999) como se puede observar en los resultados de la presente investigación.

**2.2.1.4. Mantos o mallas para el control de erosión.** Existen diferentes tipos de mantos para el control de erosión en el comercio: los sintéticos (polipropileno) y los derivados de fibras naturales, como los son el fique y el coco, que resultan ser costosos tanto en producto como en instalación. Los mantos temporales forman una matriz continua que provee protección contra la erosión y, en su proceso de degradación, se integran al suelo sin afectarlo. Presentan una longevidad funcional menor de 48 meses y están diseñados para aplicaciones donde la vegetación por sí sola es suficiente para resistir las condiciones de flujo del agua, además de resistir esfuerzos del suelo superficial. (Caicedo y Ardila, 2017).

## **2.3 Materias primas para las geomallas usadas en la investigación**

**2.3.1. *Manicaria saccifera*.** La palma es utilizada por los afrodescendientes y las comunidades indígenas del pacífico en la construcción de viviendas. Sus hojas cubren los techos y sirven para la elaboración de velas. El agua de los frutos se consume como alimento y medicina, y las brácteas se usan para la elaboración de sombreros por los indígenas, ya que las

comunidades afrodescendientes poco se dedican a esta actividad, (Ledezma, 2011). Las propiedades que presenta la bráctea de *Manicaria saccifera* en comparación con otro tipo de fibras se especifica en la tabla 1, teniendo en cuenta los datos obtenidos por Fiore (2014).

*Tabla 1. Comparación de la celulosa de Manicaria saccifera con otras fibras naturales*

<b>Fiber</b>	<b>Cellulose (%)</b>	<b>Hemicellulose (%)</b>	<b>Lignin (%)</b>
Jute	61e71	14e20	12e13
Sisal	65e78	10e12	8e10
Flax	71e81	16.7e20.6	3
Hemp	68	15	10
Coir	32e43	0.15e0.25	40e45
Oil palm	65	e	29
Piassava	31.6	e	48.4
Ferula	53.3	8.5	1.4
Artichoke	75.3	e	4.3
Althaea	44.6	13.5	2.7
Arundo	43.2	20.5	17.2
<i>Manicaria s.</i>	74.1	12.0	31.1

Fuente: Datos de la comparación de *Manicaria saccifera* con otras fibras naturales, para determinar celulosa, hemicelulosa y Linina (Fiore, 2014)

**2.3.1.1. Bráctea de la *Manicaria saccifera*.** Según los estudios realizados por Porras (2014), el estudio SEM reveló que la superficie longitudinal de la tela (bráctea de la *Manicaria saccifera*) varía del exterior a la superficie interna en términos de la cantidad de lignina, cera, grasa, resina e impurezas y la microestructura de la fibra es la misma tanto en la superficie interior y exterior. En la superficie exterior las fibras se aglomeran más que en la superficie interna, lo cual se atribuye al hecho de que la bráctea de *la Manicaria saccifera* (Figura 2), es el material que encierra las flores de la palma.



*Figura 2.* Palma y bráctea de *Manicaria saccifera*.

**2.3.2 Malla sintética de polietileno.** Es un material tejido de polietileno de alta densidad que tiene características de alta resistencia y protección UV; es muy utilizado como malla de sombra para invernaderos y viveros debido a la climatización que genera. Este material se puede encontrar en diferentes porcentajes, los cuales son equivalentes a la cantidad de luz que dejan pasar o sombra que genera. Por ser un material relativamente económico, se decidió incluirlo en la investigación ya que las geomallas que se utilizan en la recuperación de taludes y laderas son en su mayoría de polipropileno cuyos productos, derivados son muy costosos.

## **2.4 Insumos orgánicos**

**2.4.1. Influencia de la Materia orgánica sobre las propiedades físicas y químicas del suelo:** La materia orgánica es muy importante para los suelos sobre todo en lo concerniente a la restauración ecológica de laderas, pues tiene la capacidad de reducir la densidad aparente del suelo y de mejorar su estructura, dándole estabilidad ya que las sustancias húmicas contenidas favorecen la creación de agregados. Además, favorece la porosidad del suelo y aumenta el agua infiltrada, lo cual genera una adecuada relación agua-aire. El color oscuro de la materia orgánica también favorece la absorción de las radiaciones solares, lo que eleva la temperatura del suelo y beneficia procesos biológicos como la germinación y la actividad microbiana. También

constituye la mayor parte del complejo adsorbente y de cambio, lo que permite retener elementos nutritivos durante la mineralización y ejercer una acción directa sobre los procesos de persistencia, transporte, movilización, retención y biodisponibilidad de metales pesados y compuestos orgánicos tóxicos; además de mantener un nivel constante de pH. (Tortosa, 2011).

**2.4.1.1. Humus y lombricultura.** Una solución a los problemas de contaminación orgánica es la lombricultura, por ser una biotecnología que utiliza a una especie domesticada de lombriz: *Eisenia foetida*. Ella tiene la capacidad de procesar subproductos y desechos orgánicos como los estiércoles, los residuos domésticos y de cosecha, los lodos de plantas de tratamiento de aguas residuales y demás residuos orgánicos, generando a partir de ellos un humus de primer orden, el cual obedece a la excreta de la lombriz. Este humus se utiliza fundamentalmente para mejorar los suelos. Cuando la lombriz consume el material semicompostado, transforma una tercera parte en masa corporal y la restante en humus, originando una gran flora bacteriana que contribuye a la degradación de la materia orgánica existente (Sihna, Bharambe y Chowdhary, 2008). En la presente investigación el humus de lombriz se realizó a partir del estiércol de bobino y la pulpa de café, los cuales se definen a continuación.

- Estiércol de bovino: es uno de los estiércoles de fácil manejo que sirve como insumo para la producción de humus a partir de la lombriz *Eisenia foetida*. Gracias a su menor compactación y acidificación, contiene enzimas que ayudan a facilitar la acción bacterial al pasar por el tracto digestivo de la lombriz. (Ávila, 2010), de donde se genera un humus con excelentes condiciones de nutrientes. Para que el estiércol de bobino pueda ser asimilado fácilmente por el tracto digestivo de la lombriz, es necesario semicompostarlo, pues si se aplica de manera directa las altas temperaturas que este genera puede eliminar o causar serias afectaciones a las lombrices

- Pulpa de café: en la actualidad el departamento del Huila es el primer productor de café de Colombia, y por ende el mayor generador de desechos de pulpa de café, lo cual representa un problema de contaminación para varios municipios del departamento. Para el presente proyecto, la pulpa de café resultó ser una excelente materia prima para alimentar a las lombrices y obtener humus sólido y humus líquido con una composición de nutrientes esenciales para el desarrollo de las plantas.

**2.4.1.2. *Microorganismos eficientes (EM)*.** Son un cultivo mixto de microorganismos benéficos naturales y sin manipulación genética presente en ecosistemas naturales, fisiológicamente compatibles unos con otros. Esta tecnología fue desarrollada en la década de los 80 por el Doctor Teruo Higa en Okinagua, Japón (Torres y Silva 2006). El uso de EM en la agricultura tiene muchos efectos benéficos ya que promueve el buen desarrollo de las plantas, mejora las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, promueve los procesos de transformación del material orgánico, entre muchos otros beneficios. Por todas estas cualidades, los EM y el humus líquido se tuvieron en cuenta como elemento base para el desarrollo de la cobertura vegetal en la restauración de los suelos de laderas deteriorados que son objeto de la presente investigación.

## **2.5 Peso ecológico de las especies dentro del ecosistema herbáceo.**

En la evaluación ecológica de ecosistemas boscosos, la estructura horizontal permite generar procesos de evaluación del comportamiento de los árboles individuales y de las especies en la superficie del bosque, dicha evaluación puede hacerse a través de índices que expresen la ocurrencia de las especies, así como la importancia ecológica dentro del ecosistema, en donde se tiene en cuenta las abundancias, frecuencias y dominancias de las especies, cuya suma relativa genera el Índice de Valor de Importancia (IVI) formulado por Curtis y McIntosh en 1951

(Melo y Vargas, 2003). Basado en este método y con la experiencia en campo de haberlo calculado para varios estudios de biodiversidad y planes de aprovechamiento forestal. se identificó un isomorfismo; el cual se utilizó para evaluar la dinámica de la regeneración natural de la flora herbácea, donde la adaptación más significativa es la dominancia de las especies que se definió como el área de la cobertura vegetal de la especie herbácea; la cual se puede obtener por medio de una imagen fotográfica en vista de planta procesada en el programa ImageJ, este programa también permite determinar las abundancias, y frecuencias en áreas complejas.

## Capítulo 3

### Metodología

#### 3.1 Zona de estudio

El estudio se realizó en una zona de ladera de suelos deteriorados de la finca Museñas, ubicada en la vereda El Cabuyal del municipio de La Plata, Huila (*Figura 3*). Las coordenadas del lugar son N: 02° 23' 02.4"; W: 75° 52' 39,7" a una altura sobre el nivel del mar de 1073 metros.



*Figura 3.* Zona de ladera (Área objeto de estudio).

#### 3.2. Etapas de la metodología

**3.2.1. Etapa 1. Revisión de literatura y alistamiento.** Esta partió de una investigación minuciosa de los problemas que se generan debido a los deslizamientos de suelo sobre laderas en diferentes grados de inclinación. Así mismo, se identificaron los métodos usados en Colombia y en otros países para mitigar los impactos ambientales asociados a la erosión en laderas y taludes. Se realizó vigilancia tecnológica para determinar oportunidades de materias primas disponibles que contribuyeran al objetivo de la investigación e información relevante para el manejo de programas de procesamiento de imágenes (ImageJ), diseño estadístico (Design-Expert) y bases de datos (Excel).

### 3.2.2. Etapa 2: Adecuación de construcciones.

**3.2.2.1. Biofábrica:** se construyó en un área rectangular de 5 metros de ancho por 8 metros de largo. La estructura de la biofábrica se estableció con *Guadua angustifolia* Kunt con postes cada 2,5 metros utilizados como columnas; la cubierta se realizó en guadua, protegida con hojas de zinc; la base de encierro se realizó en esterilla a una altura de 40 centímetros, y las paredes se sustituyeron por malla de polisombra prensada alrededor de toda la construcción, por encima de la esterilla hasta la cubierta (ver *Figura 4*).



*Figura 4.* Construcción de la Estructura de la Biofabrica.

**3.2.2.2. Construcción de Camas para la Producción:** se establecieron 10 camas rectangulares de 1 metro de ancho por 2.5 metros de largo utilizando cilindros de guadua de 15 cm de diámetro, asegurados con tornillos de 1 metro de largo y 0,5 mm de diámetro. Cada cama se forró en su interior con plástico negro de alta densidad y se ubicó con una inclinación de 4

grados para el escurrimiento del lixiviado, con el propósito de obtener el humus líquido por recirculación (ver *Figura 5*).



*Figura 5.* Construcción de las Camas para la producción de humus de lombriz

**3.2.2.3 Drenaje:** a cada cama se le instaló una tubería de una pulgada de diámetro dirigida por una pendiente del 4 %, la cual recoge los lixiviados permitiendo control en la conducción por medio de llaves con destino a recipientes de capacidad de 20 litros, para ser nuevamente aplicados a las camas con lombrices. El procedimiento se repite 3 veces y se procede a realizar la acumulación en un tanque de 500 litros para su posterior aprovechamiento.

### **3.2.3. Obtención de humus, microorganismos y lombrices**

**3.2.3.1. Pie de cría de lombriz roja californiana:** se inició con aproximadamente 100.000 lombrices (*Eisenia foetida*) distribuidas como pies de cría en las diez camas, es decir 10.000 por cada una. Este número se obtuvo de pesar por kilo el humus trampa, y contar la cantidad de

lombrices que se encontraban en él, repitiendo el proceso 5 veces para obtener un valor promedio.

**3.2.3.2. Subproductos utilizados:** por estar catalogado el departamento del Huila como el mayor productor de café en Colombia, y con el propósito de contribuir con la disminución de impactos ambientales productos de los residuos de cosecha del café, se utilizó cascarilla, dulce de mucílago y estiércol de ganado bobino (boñiga) como materias primas para la alimentación de la lombriz y obtención del humus. La cascarilla o pulpa de café se semicompostó antes de aplicarla al lombricultivo por 15 días, mientras que el estiércol bobino se acumuló en pilas y se dejó madurar por 30 días (ver *Figura 6*), de esta manera se evitó un sobrecalentamiento y afectaciones a las lombrices obteniendo una mejor producción de humus.



*Figura 6.* Materias primas para la obtención de humus (pulpa de café y estiércol bobino)

**3.2.3.3. Humus sólido:** el humus se separa de la lombriz mediante trampas de canasta, en las cuales se coloca materia orgánica semi descompuesta de cacota de café y estiércol bobino por una semana, donde la lombriz sube a comer a la superficie (*Figura 7*), dejando el humus que se encuentra en la parte baja, libre para su aprovechamiento.



Figura 7. Separación de la lombriz del humus

**3.2.3.4. Microorganismos eficientes:** la semilla se obtuvo inicialmente de tierra de bosque no intervenido, enriquecida con microorganismos que se obtienen de las raíces de plantas de limoncillo, ortiga y borraja. Estos microorganismos se establecieron en un tanque de 500 litros (ver Figura 8) donde se alimentaron con miel de purga, leche, harina de trigo y sus derivados, bajo un proceso de fermentación supervisado, cuidando de no dejar acumulación superficial de natas que pudieran interferir con el proceso normal de fermentación y producir malos olores y pérdida de los microorganismos.



Figura 8. Producción de microorganismos eficientes en biofábrica en tanque de 500 litros.

#### 3.2.4. Mallas incorporadas

**3.2.4.1. Malla de polietileno:** esta malla sintética se obtuvo de un rollo entramado de hilos de polietileno con entradas de luz del 50 %, los cuales se cortan a un área promedio de 2500 cm<sup>2</sup>; esta obedece a lo que comúnmente se llama polisombra, la cual se utilizó como geomalla en el presente estudio (ver *Figura 9*).



*Figura 9.* Polietileno usado como geomalla.

**3.2.4.2. Mallas de *Manicaria saccifera*:** la bráctea de la palma *Manicaria saccifera* es aportada por la comunidad negra Las Brisas del pacífico, en donde esta especie se reproduce de manera vigorosa. El proceso para obtener la malla consiste en tomar la bráctea, se le cortan las puntas y se procede de forma manual a realizar el estirado de la fibra hasta obtener una malla rectangular con área promedio de 2500 cm<sup>2</sup> (ver *Figura 10*).



*Figura 10.* Fibra de *Manicaria saccifera* utilizada como geomalla

### **3.2.5. Etapa 3 Diagnostico y Adecuación de sitio objeto de estudio.**

#### ***3.2.5.1. Descripción del área de influencia del sitio donde se ubican las unidades***

***experimentales:*** con el ánimo de determinar la influencia de las especies vegetales locales en el desarrollo de la investigación, se realizó un inventario de las especies herbáceas y la flora arbórea a 50 metros a la redonda de la zona objeto de estudio, determinando el tipo de actividades productivas y realizando una descripción puntual del área alrededor de la ladera objeto de investigación.

***3.2.5.2. Análisis de suelos:*** se procedió a tomar 5 muestras representativas de suelo a 20 centímetros de profundidad en un área de 101 m<sup>2</sup>. Las muestras se analizaron en el laboratorio de suelos de la Universidad Surcolombiana (*Figura 11*) y se determinaron las siguientes propiedades: densidad real, densidad aparente, textura, estructura, porosidad, conductividad y pH.

***3.2.5.3. Selección de gramíneas:*** para determinar el tipo de planta a incorporar en la zona objeto de estudio en los diferentes tratamientos, se realizó un diagnóstico del área de influencia y se identificaron las especies de gramíneas más sobresalientes, que para el caso en particular fueron pasto Saboya, pasto estrella y pasto sabana.



Figura 11. Análisis de suelo en laboratorio

**3.2.5.4. Aislamiento cercado:** lo primero que se realizó en la zona objeto de estudio fue el aislamiento de la zona de ladera afectada (Figura 12), para evitar el paso de ganado u otros animales que pudieran contribuir a aumentar el deterioro del suelo en el lugar. Por lo cual, y teniendo en cuenta la forma de la zona impactada, se procedió a cercar el terreno a 2 metros de distancia de la erosión visible ubicando estantillos de guadua de 1.90 metros de altura cada dos metros, a una profundidad de 40 centímetros. Luego se procedió a realizar el templado de 3 líneas de alambre de púa calibre 14, por medio de templetes y asegurado con grapas.

**3.2.5.5. Desvió y drenaje de aguas superficiales en ladera:** como la zona de estudio tenía pendientes irregulares en la corona de la ladera sobre las cuales el agua superficial recorría la zona afectada tanto por la margen derecha como por la margen izquierda, se procedió a realizar el montaje de una zanja de coronación, la cual se elaboró por medio de herramientas simples como la pica y el palín. Con la alineación de un nivel se procedió a dirigir la pendiente de la zanja para evacuar las aguas de escorrentía fuera de la zona impactada, bordeándola por encima y conduciendo las aguas a sitios contiguos donde no causarían impactos negativos al suelo. La cuneta se realizó a 20 centímetros de profundidad, teniendo presente que en algunos puntos se profundizó más y en otros se rellenó para dar estabilidad y conducción. Por último, a la zanja de coronación se le colocó plástico negro para evitar que el agua penetrara por las grietas que genera la arcilla cuando se seca (ver *Figura 12*).



*Figura 12.* (A) Aislamiento de la zona de estudio. (B Y C) zanja de coronación.

**3.2.6. Etapa 4: Tratamientos de los Diseños experimentales.** Se realizaron diferentes modelos de investigación científica, empíricos analíticos con observación estructurada. El diseño fue multivariado, multifactorial, balanceado y con niveles de factor cruzados, donde se dispuso de 36 tratamientos con tres repeticiones para un total de 108 unidades experimentales, incluidos 2 controles con tres repeticiones cada uno de tal forma que los tratamientos fueron seleccionados

por cada modelo de acuerdo a objetivos específicos como se explica en detalle más adelante (ver tabla 2).

**Tabla 2.** Tratamientos del 1 al 36

<b>T1</b>	<b>T2</b>	<b>T3</b>	<b>T4</b>	<b>T5</b>
Malla de <i>Manicaria saccifera</i> prensada	Malla de polietileno al 50% prensada	Malla de <i>Manicaria saccifera</i> 24 hoyos de 2,54 cm de diámetro y 15 centímetros de profundidad 3 Kilos de Humus sólido 500ml Humus Líquido y microorganismos, 50-50 800 Lombrices Pasto Saboya	Malla de polietileno al 50% 24 hoyos de 2,54 cm de diámetro y 15 centímetros de profundidad 3 Kilos de Humus sólido 500ml Humus Líquido y microorganismos, 50-50 800 Lombrices Pasto Saboya	Malla de <i>Manicaria saccifera</i> 24 hoyos de 2,54 cm de diámetro y 15 centímetros de profundidad 3 Kilos de Humus sólido 500ml Humus Líquido y microorganismos, 50-50 800 Lombrices Pasto Estrella
<b>T6</b>	<b>T7</b>	<b>T8</b>	<b>T9</b>	<b>T10</b>
Malla de polietileno al 50% 24 hoyos de 2,54 cm de diámetro y 15 centímetros de profundidad 3 Kilos de Humus sólido 500ml Humus Líquido y microorganismos, 50-50 800 Lombrices Pasto Estrella	Malla de <i>Manicaria saccifera</i> 24 hoyos de 2,54 cm de diámetro y 15 centímetros de profundidad 3 Kilos de Humus sólido 500ml Humus Líquido y microorganismos, 50-50 800 Lombrices Pasto Sabana	Malla de polietileno al 50% 24 hoyos de 2,54 cm de diámetro y 15 centímetros de profundidad 3 Kilos de Humus sólido 500ml Humus Líquido y microorganismos, 50-50 800 Lombrices Pasto Sabana	Malla de <i>Manicaria saccifera</i> 24 hoyos de 2,54 cm de diámetro y 15 centímetros de profundidad 3 Kilos de Humus sólido 500ml Humus Líquido y microorganismos, 50-50 800 Lombrices Pasto Sabana	Malla de polietileno al 50% 24 hoyos de 2,54 cm de diámetro y 15 centímetros de profundidad 3 Kilos de Humus sólido 500ml Humus Líquido y microorganismos, 50-50 800 Lombrices Pasto Sabana
<b>T11</b>	<b>T12</b>	<b>T13</b>	<b>T14</b>	<b>T15</b>
Malla de <i>Manicaria saccifera</i> 30 hoyos de 0,65 cm de diámetro y 15 cm de profundidad 500ml Humus Líquido y microorganismos, 50-50 Pasto Saboya	Malla de polietileno al 50% 30 hoyos de 0,65 cm de diámetro y 15 cm de profundidad 500ml Humus Líquido y microorganismos, 50-50 Pasto Saboya	Malla de <i>Manicaria saccifera</i> 30 hoyos de 0,65 cm de diámetro y 15 cm de profundidad 500ml Humus Líquido y microorganismos, 50-50 Pasto estrella	Malla de polietileno al 50% 30 hoyos de 0,65 cm de diámetro y 15 cm de profundidad 500ml Humus Líquido y microorganismos, 50-50 Pasto estrella	Malla de <i>Manicaria saccifera</i> 30 hoyos de 0,65 cm de diámetro y 15 cm de profundidad 500ml Humus Líquido y microorganismos, 50-50 Pasto Sabana

<b>T16</b>	<b>T17</b>	<b>T18</b>	<b>T19</b>	<b>T20</b>
Malla de polietileno al 50% 30 hoyos de 0,65 cm de diámetro y 15 cm de profundidad 500ml Humus Líquido y microorganismos, 50-50 Pasto Sabana	Malla de <i>Manicaria saccifera</i> 500ml Humus Líquido y microorganismos, 50-50	Malla de polietileno al 50% 500ml Humus Líquido y microorganismos, 50-50	Malla de <i>Manicaria saccifera</i> 30 hoyos de 0,65 cm de diámetro y 15 cm de profundidad 500ml Humus Líquido y microorganismos, 50-50	Malla de polietileno al 50% 30 hoyos de 0,65 cm de diámetro y 15 cm de profundidad 500ml Humus Líquido y microorganismos, 50-50
<b>T21</b>	<b>T22</b>	<b>T23</b>	<b>T24</b>	<b>T25</b>
Malla de <i>Manicaria saccifera</i> 30 hoyos de 0,65 cm de diámetro y 15 cm de profundidad 30 cigarros de Humus y papel de 0,5 cm de diámetro y 12,5cm de largos (5gramos C/U) + 850 gramos de Humus en superficie 500ml Humus Líquido y microorganismos, 50-50	Malla de polietileno al 50% 30 hoyos de 0,65 cm de diámetro y 15 cm de profundidad 30 cigarros de Humus y papel de 0,5 cm de diámetro y 12,5cm de largos (5gramos C/U) + 850 gramos de Humus en superficie 500ml Humus Líquido y microorganismos, 50-50	Malla de <i>Manicaria saccifera</i> 24 hoyos de 2,54 cm de diámetro y 15 centímetros de profundidad 3 Kilos de Humus sólido 500ml Humus Líquido y microorganismos, 50-50 Pasto Saboya	Malla de polietileno al 50% 24 hoyos de 2,54 cm de diámetro y 15 centímetros de profundidad 3 Kilos de Humus sólido 500ml Humus Líquido y microorganismos, 50-50 Pasto Saboya	Malla de <i>Manicaria saccifera</i> 24 hoyos de 2,54 cm de diámetro y 15 centímetros de profundidad 3 Kilos de Humus sólido 500ml Humus Líquido y microorganismos, 50-50 Pasto Estrella
<b>T26</b>	<b>T27</b>	<b>T28</b>	<b>T29</b>	<b>T30</b>
Malla de polietileno al 50% 24 hoyos de 2,54 cm de diámetro y 15 centímetros de profundidad 3 Kilos de Humus sólido 500ml Humus Líquido y microorganismos, 50-50	Malla de <i>Manicaria saccifera</i> 24 hoyos de 2,54 cm de diámetro y 15 centímetros de profundidad 3 Kilos de Humus sólido 500ml Humus Líquido y microorganismos, 50-50	Malla de polietileno al 50% 24 hoyos de 2,54 cm de diámetro y 15 centímetros de profundidad 3 Kilos de Humus sólido 500ml Humus Líquido y microorganismos, 50-50	Malla de <i>Manicaria saccifera</i> 30 hoyos de 0,65 cm de diámetro y 15 cm de profundidad 30 cigarros de Humus y papel de 0,5 cm de diámetro y 12,5cm de largos (5gramos C/U) + 850 gramos de Humus en superficie 500ml Humus Líquido y microorganismos, 50-50	Malla de polietileno al 50% 30 hoyos de 0,65 cm de diámetro y 15 cm de profundidad 30 cigarros de Humus y papel de 0,5 cm de diámetro y 12,5cm de largos (5gramos C/U) + 850 gramos de Humus en superficie 500ml Humus Líquido y microorganismos, 50-50

Pasto Estrella	Pasto Sabana	Pasto Sabana	Pasto Saboya	Pasto Saboya	
T31	T32	T33	T34	T35	T36
Malla de <i>Manicaria saccifera</i>	Malla de <i>Manicaria saccifera</i>	Malla de <i>Manicaria saccifera</i>	Malla de polietileno al 50%	Control 1	Control 2
30 hoyos de 0,65 cm de diámetro y 15 cm de profundidad	30 hoyos de 0,65 cm de diámetro y 15 cm de profundidad	30 hoyos de 0,65 cm de diámetro y 15 cm de profundidad	30 hoyos de 0,65 cm de diámetro y 15 cm de profundidad		
30 cigarros de Humus y papel de 0,5 cm de diámetro y 12,5cm de largos (5gramos C/U) + 850 gramos de Humus en superficie	30 cigarros de Humus y papel de 0,5 cm de diámetro y 12,5cm de largos (5gramos C/U) + 850 gramos de Humus en superficie	30 cigarros de Humus y papel de 0,5 cm de diámetro y 12,5cm de largos (5gramos C/U) + 850 gramos de Humus en superficie	30 cigarros de Humus y papel de 0,5 cm de diámetro y 12,5cm de largos (5gramos C/U) + 850 gramos de Humus en superficie		
500ml Humus Líquido y microorganismos, 50-50					
Pasto Estrella	Pasto Estrella	Pasto Sabana	Pasto Sabana		

Niveles de factor por tratamiento de las 108 unidades experimentales.

**3.2.7. Montaje de los Tratamientos:** en la zona de ladera objeto de estudio se establecieron 108 unidades experimentales correspondientes a 36 tratamientos con 3 repeticiones distribuidas en un área de 101 m<sup>2</sup> (*Figura 13*), utilizando para las áreas con mayor pendiente un equipo para trabajo seguro en alturas, que corresponde a cuerdas, cintas de anclaje, mosquetones, arnés y grigri. Las mallas se ubicaron desde la zona de escarpe de arriba hacia abajo en la ladera, de tal forma que se causara el menor impacto. Las mallas se prensaron con alambre en forma de U y se ubicaron cada 10 centímetros sobre los bordes, colocando dos soportes de lámina de guadua de 2 centímetros de ancho, por el largo independiente de cada una sobre las horizontales de la parte alta y baja de cada una de las mallas



Figura 13. Montaje de las mallas de los diferentes tratamientos en la ladera objeto de estudio.

**3.2.7.1. Marcación de mallas:** a cada malla se le asignó una numeración que corresponde al tratamiento y la repetición de la unidad experimental, la cual se marcó en una lámina de Aluminio con una figura de aproximadamente de 20 centímetros de área, de tal forma que facilitara su identificación en campo. Luego cada lámina se colgó a una altura de 15 centímetros por medio de estacas de guadua de 50 centímetros de longitud; cada lámina se colocó por delante y por detrás de la estaca.

**3.2.7.2. Perforaciones en el suelo de ladera.**

- *Perforación de 2,54 cm de diámetro por 15 cm de profundidad.* Para los tratamientos T3, T4, T5, T6, T7, T8, T9, T10, T23, T24, T25, T26, T27 y T28 se utilizó tubo galvanizado de una pulgada de 80 centímetros de largo; y se procedió a golpear con maceta para alcanzar una profundidad de 15cm. Luego se retiró del suelo y se sacó la arcilla (Figura 14) para llenar el hoyo de humus en combinación con los insumos asignados a cada tratamiento. En total se hicieron 24 hoyos por malla.

- *Perforación de 0,65 cm de diámetro por 15 cm de profundidad.* Se realizó para los tratamientos T11, T12, T13, T14, T15, T16, T17, T18, T19, T20, T21, T22, T29, T30, T31, T32, T33, T34, mediante una puntilla de 6" incrustada de cabeza a un polín de madera de 70

centímetros, y se procedió a realizar presión al suelo, donde la puntilla deja un hoyo aproximado de 15 centímetros de profundidad (*Figura 14*) el cual queda dispuesto para la aplicación de los insumos según el tratamiento (ver Tabla 2). En total se hicieron 30 hoyos por malla.

**3.2.7.3. Llenado de los hoyos:** los hoyos de 2,54cm de diámetro por 15 cm de profundidad se llenaron de forma manual, para los tratamientos T3, T4, T5, T6, T7, T8, T9 , T10,T23, T24, T25, T26, T27, T28, con 100 gramos por cada hueco (*Figura 14*), para un total de 3000 gramos por cada unidad experimental. Para los tratamientos T11, 12, T13, T14, T15, T16, T17, T18, T19, T20, T21, T22, T29, T30, T31, T32, T33, T34 con hoyos de 0,65cm se introdujo un cigarro de 12,5 cm de longitud y 0,6cm de diámetro con 5 gramos de humus sólido; luego, por encima de estos se aplicaron 850 gramos de humus sólido, para un total de 1 kilogramo por unidad experimental.



*Figura 14.* Perforaciones de 15 centímetros de longitud y 2,54 cm de diámetro (A), Perforaciones de 15 centímetros de longitud y 0,65 cm de diámetro (B), llenado de los hoyos de 2,54 centímetros de diámetro con Humus sólido (C).

**3.2.7.4. Realización de cigarros de humus:** los cigarros se elaboraron a partir de hojas de papel de 3 centímetros de ancho por 15 centímetros de largo; para ello se utilizó una puntilla de 6” de largo como molde, envolviéndola en papel para luego ser retirada y cerrar un centímetro

del cono de papel en la punta (*Figura 15*), quedando como resultado el molde para el llenado de humus sólido a 50 % de humedad.



*Figura 15.* Elaboración e incorporación de cigarros de humus en el suelo.

**3.2.7.5. Obtención y conteo de lombrices:** las lombrices se separaron del humus mediante la aplicación de una malla de canasta en la cual se colocó material orgánico semicompostado proveniente de la cascarilla de café y la boñiga de ganado. Luego, se procedió a tomar la totalidad de material separado y se pesó por kilogramo, seguido se contó la cantidad de lombrices en 6 muestras de kilogramo obteniendo un valor promedio de la cantidad de lombrices por kilogramo de humus, de tal forma que se tenga certeza de la obtención de 800 lombrices para la aplicación de las unidades experimentales de los tratamientos que requieren esta cantidad de individuos.

Ecuación 1.

$$NL = \frac{\sum L}{NM \times 1KG}$$

Donde:

NL= Número de lombrices contenidas en un kilogramo de Muestra

NM= Número de Muestras

KG= kilogramo

$\sum L$ = sumatoria de lombrices encontradas en la totalidad de las muestras.

**3.2.7.6. Aplicación de humus líquido y microorganismos:** estos se aplicaron por medio de una bomba fumigadora en proporción 50 – 50 en un volumen de 500 cm<sup>3</sup> disuelto en 5 litros de agua, aplicado durante la primera semana a cada repetición de los tratamientos T3, T4, T5, T6, T7, T8, T9 T10, T11,12,T13, T14, T15, T16, T17, T18, T19, T20, T21, T22, T23, T24, T25, T26, T27, T28, T29, T30, T31, T32, T33, T34.

**3.2.7.7. Siembra de gramíneas:** la siembra se realizó por medio de estolones de los pastos (Saboya, Estrella, y Sabana); se incorporaron 24 estolones de las diferentes especies en las unidades experimentales, según los requerimientos de los tratamientos (Ver tabla 2) con especies incorporadas (*Figura 16*). El material empleado se obtuvo de fincas cercanas durante luna menguante.



*Figura 16.* Gramíneas incorporadas y aplicación de enmienda orgánica.

**3.2.7.8. Medición de pendientes por cada malla:** las pendientes se midieron en campo por medio de un codal de un metro en la superficie de la malla en dirección a la pendiente, ubicando un nivel metálico encima de este, de tal forma que quedara completamente horizontal; y se midió la distancia que había del punto inicial (pendiente arriba) al punto final de la malla (pendiente abajo), delimitándolo con la línea vertical de una plomada. Luego se procedió a medir la altura que existe entre el codal y la base de la malla en el punto final (*Figura 17*); esta actividad se

repetió para todas las unidades experimentales y se procedió a obtener las pendientes mediante las siguientes fórmulas:

Ecuación 2.

$$P\% = \frac{h}{X} \times 100$$

Ecuación 3.

$$P^\circ = \left[ \text{ATAN} \frac{P\%}{100} \right] \times \frac{180}{\pi}$$

Donde:

P%= pendiente de la unidad de muestreo en porcentaje

h= altura desde el nivel horizontal hasta la base del suelo (**cateto opuesto**)

X= distancia horizontal punto alto a nivel (**cateto Adyacente**)

P°= Pendiente en grados

ATAN= Arco tangente

$\pi = 3,14159265358979323846$



*Figura 17.* Medición de pendientes por cada unidad experimental.

### **3.2.8. Etapa 5 Monitoreo.**

Los seguimientos se realizaron durante 14 semanas cada 8 días, debido al desarrollo en cobertura vegetal que presentaron algunas unidades experimentales llegando al límite máximo en que podían tomarse observaciones puntuales de la regeneración natural; donde se estableció una

base de datos de las observaciones de las 108 unidades experimentales establecidas en la zona objeto de estudio, soportada con un registro fotográfico completo por cada malla, tomadas a una resolución de 13 megapíxeles. Se recolectaron datos como estado de las especies vegetales incorporadas en la superficie y en el interior de las mallas, número de plantas que se encontraban área de la cobertura vegetal, mortalidad y prendimiento. De igual forma se evaluaron las especies vegetales nuevas que se generaron de forma natural y dominaron la superficie de las mallas, junto a datos como erosión visible y deterioro de las mallas.

**3.2.8.1. Identificación y conteo de especies nuevas:** en primera medida se procedió a realizar un conteo semanal de las especies nuevas que se generaron en cada unidad experimental sobre la superficie de la malla, información que se verificó con el análisis del registro fotográfico. Como en las primeras semanas el material vegetal estaba muy joven y era complejo identificar las especies, se procedió a tener en cuenta los ingresos en las planillas y se marcó la ubicación de la especie en la malla, como se explicará más adelante en forma detallada. La identificación se realizó solo cuando la planta presentó un estado de desarrollo que permitiera realizar un correcto reconocimiento.

**3.2.8.2. Estado de las especies incorporadas y las especies nuevas:** para facilitar el análisis del estado de las especies, se realizó la evaluación de la vegetación mediante la siguiente clasificación: óptima, si se evidenciaba un color verde y un buen prendimiento tanto dentro como en la superficie de la malla, esta última en donde fuese posible; regular, si se presentaba marchitez y se evidenciaba un color habano en los tallos; deficiente, si había ausencia o se evidenciaba mortalidad; por último se aplicó la opción no se evidencia si no fuese posible determinar el estado.

**3.2.8.3. Registro fotográfico:** con el fin de facilitar el análisis de la información en oficina de los datos tomados en campo, se realizó un registro fotográfico de las 108 unidades experimentales a una resolución de (3264 x 1836), tratando de obtener en lo posible una vista de planta de las unidades experimentales. Para disminuir el impacto al suelo y a la vegetación remanente de las mallas que se encontraban en sitios complejos, se realizó un monopod con un alcance de 2,3 metros (ver *Figura 18*).



*Figura 18.* Realización del registro fotográfico con monopod de 2,3 metros sin causar afectación a las unidades experimentales.

**3.2.8.4. Ingreso de material vegetal nuevo en la superficie de cada malla:** teniendo en cuenta que identificar la regeneración natural en las primeras semanas es una labor compleja, se procedió por medio de imágenes y confirmación en campo a realizar un conteo de especies y su respectiva ubicación en la malla, facilitando la tarea de identificación en la semana en que la planta alcanza un desarrollo ideal. Para obtener la ubicación de las plantas que afloran en la superficie de la unidad experimental, se procedió a dividir la malla en 9 partes: parte alta margen izquierda (PA –IZ), parte media margen izquierda (PM - IZ), parte baja margen izquierda (PB – IZ), parte alta en el centro (PA – CE), parte media en el centro (PM-CE), parte baja en el centro (PB-CE), parte alta margen derecha (PA –DR), parte media margen derecha (PM- MD) y parte baja margen derecha (PB –MD). Esto se puede observar en el ejemplo del tratamiento 10 de la

repetición 3 (T10R3), el cual presenta un ingreso en la semana 1 de pasto Puntero el cual se ubica en el centro de la parte baja de la malla, como se puede ver en la *Figura 19*.



*Figura 19.* Determinación de la ubicación de la regeneración natural en la superficie de la malla, para su posterior identificación en las semanas siguientes dentro del proceso de investigación.

**3.2.8.5. Análisis del estado de las mallas:** el estado de las mallas se dividió en óptimo, regular y deteriorado. Para ello se determinó que, si la malla conservaba su forma inicial, su estado será óptimo; si la malla presentaba irregularidades o un grado menor de rompimiento, se catalogaba como regular; pero si presentaba un alto estado de rompimiento, sería clasificada como deteriorada.

**3.2.8.6. Control de erosión.** Para determinar la efectividad de las mallas y sus componentes en el control de la erosión, se establecieron los tratamientos 1, 2, 29, 35 y 36 con 3 repeticiones, para un total de 18 unidades experimentales (*Figura 20*). Así, pendiente abajo de cada una se

ubicó una malla trampa de color negro de polisombra, en donde por observación directa se determinaba si la unidad experimental permitía que el suelo se desplazara a esta nueva área. El seguimiento se realizó cada 8 días durante 14 semanas, por lo que después de cada medición las mallas trampa se limpiaban retirando completamente el suelo desprendido, y se volvía a colocar en el mismo sitio para determinar si el proceso de erosión era continuo. La clasificación de la presencia de erosión se determinó en porcentaje equivalente al número de observaciones, donde la presencia de suelo en las mallas trampa durante las 14 semanas equivalía al 100 %. La denominación que se dio a la presencia de la erosión fue de permanente si el porcentaje era superior al 75 %; erosión intensa si se encontraba entre 51 % y 75 %; erosión moderada entre el 25 % y el 50 %; erosión parcial entre 1 % y el 24%, y sin presencia de erosión si se obtenía el 0 %.



Figura 20. Tratamientos 1, 2, 29, 30, 35 y 36 con 3 repeticiones de la semana 3, seleccionados para determinar la dinámica de la erosión en 14 semanas de muestreo. A, B y C, son ejemplos del suelo que se desprende de las unidades de muestreo y quedan en las mallas trampa.

### **3.2.9. Etapa de oficina.**

**3.2.9.1. Base de datos:** se procedió a ubicar la información relevante tomada en campo en hojas de cálculo individuales del programa Excel, y se procedió a realizar los análisis y comparaciones de los tratamientos cada semana, corroborando los datos tomados en campo de las especies incorporadas y las especies nuevas (regeneración natural) con el registro de las fotografías tomadas en campo. Las imágenes se ubicaron en una cuadrícula del programa Excel por cada tratamiento con las tres repeticiones respectivas de cada uno en forma horizontal, conservando la fecha de la semana en que se realizó el registro, de tal forma que la información de la semana siguiente se ubicaba de manera exacta debajo de los mismos tratamientos. Esto permitió analizar y realizar comparaciones en un zoom hasta del 400 % (ver *Figura 21*).

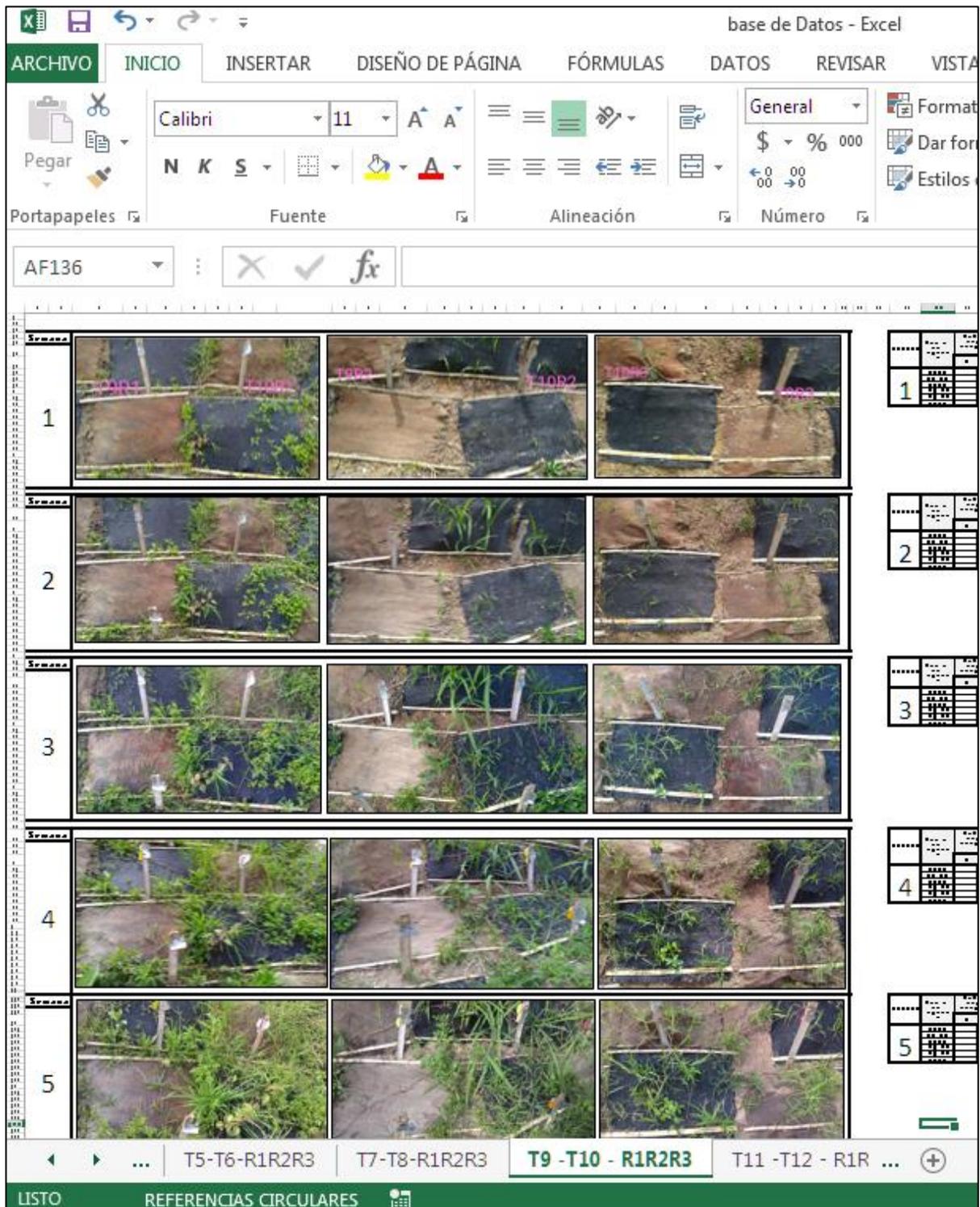


Figura 21. Ubicación de los tratamientos 9 y 10 hasta la semana 5. A nivel de imagen en el programa Excel.

### ***3.2.9.2. Área de cubrimiento de la superficie de la malla de la regeneración por las plantas:***

la obtención del área de ocupación superficial de las mallas se realizó tanto para las especies incorporadas como para las especies nuevas; dicha área se calculó con la ayuda del programa ImageJ, para lo cual se necesitaron datos tomados de manera previa en campo como lo son el largo y el ancho de las mallas, de tal forma que se obtuvieron cada una de las distancias verticales y horizontales de las mallas en cada unidad experimental.

El procedimiento en oficina consistió en activar el programa ImageJ y abrir los archivos de las fotografías individuales mediante la herramienta Straight, realizar una línea en uno de los lados de la malla, donde esta es tomada por el programa ImageJ como referencia para hacer una escala Pixel sobre unidad de medida. El paso siguiente fue activar el menú Analyze/Set Scale y en “Known Distance” digitalizar la longitud de la malla; en Unit of Length se colocó la unidad de medida en centímetros, por último se dio clic en la opción Global, donde se genera una escala la cual obedece al cociente entre la distancia en píxeles y la distancia conocida.

Establecido el procedimiento, se procedió a realizar las medidas aproximadas de las áreas de ocupación del material vegetal en la malla (figura 22); este procedimiento se repitió para 108 unidades experimentales cada semana, es decir, que en total se realizaron 1512 análisis de imágenes con su respectivo conteo y cálculo de áreas durante 14 semanas. Esta información se digitalizó en tablas de Excel ubicando casillas para el área total de la malla, para el área de ocupación de la cobertura vegetal incorporada, cobertura por regeneración natural y cobertura total en superficie, obteniendo el porcentaje de ocupación de la vegetación para cada unidad experimental, y con ello la dominancia de las especies.

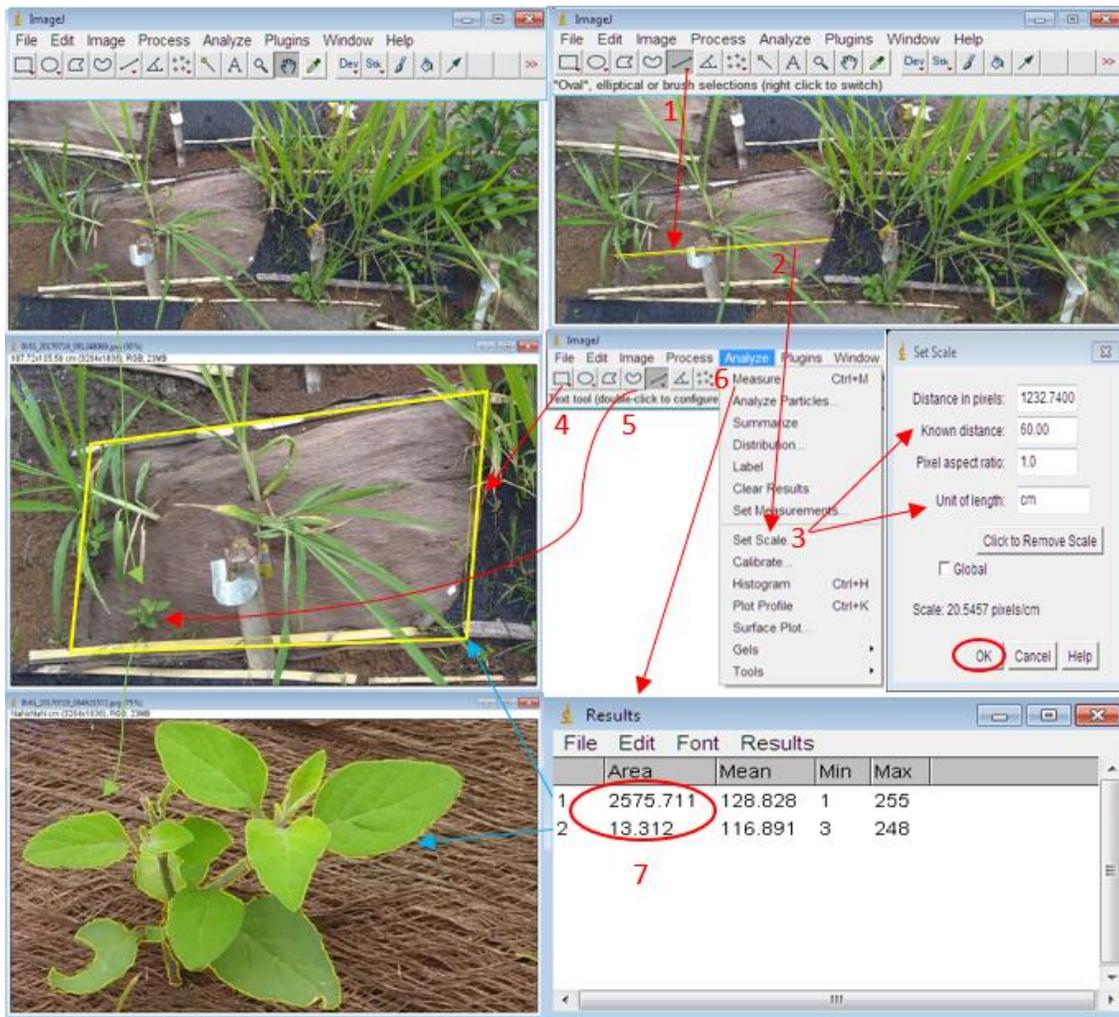


Figura 22. Pasos para obtener áreas foliares de las especies de la regeneración natural en el programa ImageJ.

**3.2.9.3. Evaluación de la efectividad de las mallas en el control de la erosión.** con los datos de campo obtenidos de los tratamientos 1, 2, 29, 30, 35, y 36 se corrió el modelo en el programa Design-Expert, trabajando con dos factores: el primero, fue mallas con tres niveles (1. Malla de *Manicaria saccifera*; 2. Malla de polietileno y 3. Sin malla); como segundo factor se evaluó los preses que sujetan la malla a los lados en el terreno, bajo dos niveles (1. Con preses a los lados y 2. Sin preses).

**3.2.9.4. Evaluación del humus líquido y los microorganismos eficientes (EM) en cuanto al desarrollo de la regeneración natural:** este análisis se realizó en la semana 14 y tuvo como finalidad determinar la influencia del humus líquido en la relación de mallas y perforaciones sobre el desarrollo de la regeneración natural, por lo cual se utilizaron los tratamientos 1, 2, 17, 18, 19 y 20, y se evaluaron 18 unidades experimentales. El modelo se corrió en el programa Design-Expert utilizando dos factores: el número uno fue mallas con dos niveles de factor (malla de *Manicaria saccifera* y malla de polietileno); como segundo factor se utilizó Humus y EM con tres niveles de factor (1.con Humus líquido y EM, 2. Sin humus líquido y EM, 3. Perforaciones con humus líquido y EM).

**3.2.9.5. Evaluación del uso de lombrices en los tratamientos con gramíneas en el desarrollo de cobertura vegetal.** con el ánimo de determinar la conveniencia de utilizar lombrices (*Eisenia foetida*) en los tratamientos con gramíneas en relación al desarrollo de cobertura vegetal incorporada y regeneración natural, se desarrolló un modelo comparativo utilizando los tratamientos 2, 3, 4, 5, 6,7, 8, 23, 24, 25, 26, 27 y 28. La información fue procesada en el programa Design-Expert utilizando tres factores: el primero hace referencia a las mallas con dos niveles de factor (1. *Manicaria saccifera*, 2. Polietileno); el segundo factor obedece a lombrices con dos niveles de factor (1. Con lombrices, 2. Sin lombrices), destacando que todos los tratamientos contenían 3 kilogramos de humus sólido, por lo cual este parámetro no se utiliza como factor, pero que es fundamental para el análisis de los resultados el tercer factor se realizó con gramíneas, bajo tres niveles de factor (1. Pasto saboya, 2. Pasto estrella, 3. Pasto sabana).

**3.2.9.6. Evaluación de la efectividad de los tratamientos para el desarrollo de regeneración natural, cobertura vegetal de especies incorporadas y cobertura vegetal total:** para esta

evaluación se utilizaron los tratamientos 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33 y 34 con tres repeticiones, de tal forma que se colocaron 72 unidades experimentales a prueba, donde se corrieron tres modelos en el programa Design-Expert que obedecen a los resultados en porcentaje de área de cobertura de la regeneración natural, porcentaje de área de cobertura de especies incorporadas y porcentaje de área de cobertura total, evaluando tres factores en cada uno. El primer factor fue las mallas con dos niveles de factor (1. *Manicaria saccifera*, 2. Polietileno); el segundo factor fue Humus sólido con tres niveles de factor (1. Tres kilogramos, 2. Un kilogramo, 3. Cero kilogramos); y el tercer factor que se evaluó fue gramíneas con 4 niveles de factor (1. Pasto sabana, 2. Pasto estrella, 3. Pasto sabana, 4. Sin pasto).

### ***3.2.9.7. Índice de valor de importancia de las especies de la regeneración natural***

***(ecosistema herbáceo):*** para la evaluación del comportamiento de las plantas por especie de la regeneración natural en la zona objeto de estudio, se adoptó y ajustó la metodología de estructura horizontal que comúnmente se aplica a especies forestales, utilizando los índices que expresan la ocurrencia de las especies y la importancia ecológica dentro del ecosistema recuperado. Así se hallaron las abundancias, frecuencias y dominancias, cuyas sumatorias relativas generaron el índice de valor de importancia (IVI).

A continuación, se muestra la forma en que se calcularon estos índices señalados en el libro de evaluación ecológica y silvicultural de sistemas boscosos de Melo y Vargas (2003), con su respectiva adaptación a los requerimientos de la investigación:

- ***Abundancia:*** esta se obtuvo del conteo de las plantas registradas en la regeneración natural de cada una de las unidades experimentales, las cuales obedecen a valores absolutos y valores relativos como se indica a continuación:

Abundancia absoluta (Aa): se obtuvo contando el número total de individuos por especie contabilizados en las unidades experimentales, y registrándolos en hojas de cálculo Excel para facilitar el filtrado de individuos de cada especie.

Abundancia relativa: se obtuvo en hojas de cálculo del programa Excel a partir de la relación porcentual de cada especie frente al número de plantas, empleando la siguiente ecuación:

Ecuación 4.

$$Ar = \frac{Ni}{Na} \times 100$$

Aa= Ni

Donde:

Aa: Abundancia absoluta

Ar: Abundancia relativa

Ni: Número de individuos por especie

Na: Número de individuos en el área muestreada

- **Dominancia:** se obtuvo a partir del grado de cobertura de las especies como expresión del área ocupada por los individuos en una vista de planta obtenido del programa ImageJ y registrados en hojas de cálculo Excel. La dominancia absoluta se calculó para cada especie a partir de la sumatoria de las áreas de cobertura superficial de la misma especie, presentes dentro de una unidad experimental expresada en centímetros cuadrados. La dominancia relativa se calculó de la relación entre el área de ocupación de una especie sobre la malla y la sumatoria total de las dominancias absolutas de todas las especies registradas en el inventario en valores de porcentaje. La ecuación que se empleó fue:

Ecuación 5.

$$Dr = \frac{Ai}{\sum At} \times 100$$

Da= Ai

Donde:

Da: Dominancia absoluta

Dr: Dominancia Relativa

Ai: área de ocupación vegetal en la malla en centímetros cuadrados para la iésima especie.

At: Área de ocupación vegetal en la malla total de la especie para todo el muestreo.

- **Frecuencia:** se determinó para hallar la presencia de una especie en cada una de las unidades experimentales. La frecuencia absoluta se obtuvo de la relación porcentual correspondiente al número de unidades de muestreo en que ocurre una especie entre el número total de las unidades de muestreo, empleando la siguiente ecuación:

Ecuación 6. 
$$Fa = \frac{Nu}{Nt} \times 100$$

Donde:

Fa: Frecuencia absoluta

Nu: Número de unidades de muestro en que ocurre la especie

Nt: Número total de unidades experimentales

La frecuencia relativa: se obtuvo de la relación porcentual de la frecuencia absoluta de una especie entre la sumatoria total de las frecuencias absolutas de todas las especies registradas en el inventario. Se empleó la siguiente ecuación:

Ecuación 7. 
$$Fr = \frac{Fa}{\sum F} \times 100$$

Donde:

Fr: frecuencia relativa

Fa: frecuencia absoluta de la iésima especie

$\sum F$ : Total de frecuencias de las unidades experimentales

- **Índice de valor de importancia (IVI):** se calculó para cada especie a partir de la suma de la abundancia relativa, la frecuencia relativa y la dominancia relativa, en donde se determina el peso ecológico de cada especie dentro del área de estudio

Ecuación 8..

$$IVI = Ar\% + Fr\% + Dr\%$$

Donde:

*IVI* = Índice de Valor de Importancia

*Fr%* = Frecuencia relativa

*Ar%* = Abundancia relativa

*Dr%* = Dominancia relativa

## Capítulo 4

### Resultados y discusión.

#### 4.1. Análisis del área de estudio antes de la implementación de las unidades experimentales.

##### 4.1.1. Descripción del área de influencia a 50 metros a la redonda de las unidades

*experimentales*. El área se ubica en la finca Museñas de la vereda Cabuyal, en zona rural del municipio de La Plata, Huila. Allí predominan potreros en los que se utilizan para ganadería extensiva; el pasto permanente es sabana (*Paspalum notatum*), solo una franja que está por fuera del cercado de la finca presenta matorrales en donde se encontraron de manera aislada las especies que se identifican en la Tabla 3. La pendiente general de la ladera no presentaba coberturas vegetales que la protegieran, lo que la sometía al impacto directo de las lluvias y aguas de escorrentía, además de una continua erosión eólica y brillo solar durante todo el día debido su orientación norte – sur; el dinamismo de la radiación solar y la precipitación en el suelo desnudo con presencia de arcillas expandibles, hace que se generen procesos de agrietamiento a profundidades mayores de los 30 centímetros

Tabla 3. Especies de flora herbácea y flora arbórea

Flora herbácea			Flora arbórea		
N	Nombre vulgar	Nombre científico	N	Nombre vulgar	Nombre científico
1	Pasto estrella	<i>Cynodon plectostachium</i>	1	Guayabo	<i>Psidium guajava</i>
2	Pasto sabana	<i>Paspalum notatum</i>	2	Bilibill	<i>Guarea trichiliodes</i>
3	Pasto puntero	<i>Hyparrhenia rufa</i>	3	Nacedero	<i>Trichanthera gigantea</i>
4	Pasto paja	<i>Digitaria sanguinalis</i>	4	Chambimbe	<i>Sapindus saponaria</i>
5	Adormidera	<i>Mimosa pudica</i>	5	Yarumo	<i>Cecropia peltata</i>
6	Lulo de perro	<i>Solanum pseudolulo</i>			
7	Chilca				
8	Cadillo	<i>Hyptis capitata</i>			
9	Pacunga	<i>Bidens pilosa</i>			
10	Helecho marra	<i>Pteridium aquilinum</i>			
11	Botón de oro	<i>Siegesbeckia jorullensis</i>			
12	Hierva chivo	<i>Ageratum conyzoides</i>			

Especies vegetales de mayor dominio encontradas en el área de influencia a 50 metros de las unidades experimentales

**4.1.2. Descripción puntual de la zona objeto de estudio antes de establecer las unidades experimentales.** Se evidenciaron impactos ambientales negativos directos sobre el paisaje, el suelo, la flora, la fauna y el recurso hídrico, debido a que el deterioro y corte de la ladera fue provocado por el continuo pisoteo del ganado y los caminos que este hace. Toda la unidad de materia vegetal y materia orgánica estaba removida por los efectos de la erosión; los impactos de degradación y deterioro se incrementaron al quedar el suelo expuesto a los vientos, radiación solar directa y a las precipitaciones; las aguas de escorrentía generaron surcos que aceleraron el deterioro del suelo, la cobertura vegetal se vio limitada y solo se observaba de manera esporádica algunos lulos de perro y plantas de chilca en las pendientes por debajo de 30°.

#### 4.1.3 Análisis de suelos en laboratorio

Los resultados del análisis del suelo en el laboratorio (Tabla 4) indican que la textura del suelo es franco arcillo arenosa, la cual obedece a suelos moderadamente pesados; la estructura es en bloques moderadamente estable, la densidad aparente (1,45) sugiere procesos de compactación; el pH es de 3,9, lo que caracteriza este suelo como extremadamente ácido; la conductividad de 96,3 us/cm es mínima. por lo cual no se percibe salinidad; la materia orgánica es baja con solo 1,02 %; el color del suelo según la tabla Munsell en húmedo es Dark yellowish yellow, y en seco Yellowish brown indicando un mal drenaje; la porosidad es del 44,44 %, aunque no es una porosidad ideal está dentro del rango admisible (40 al 60%).

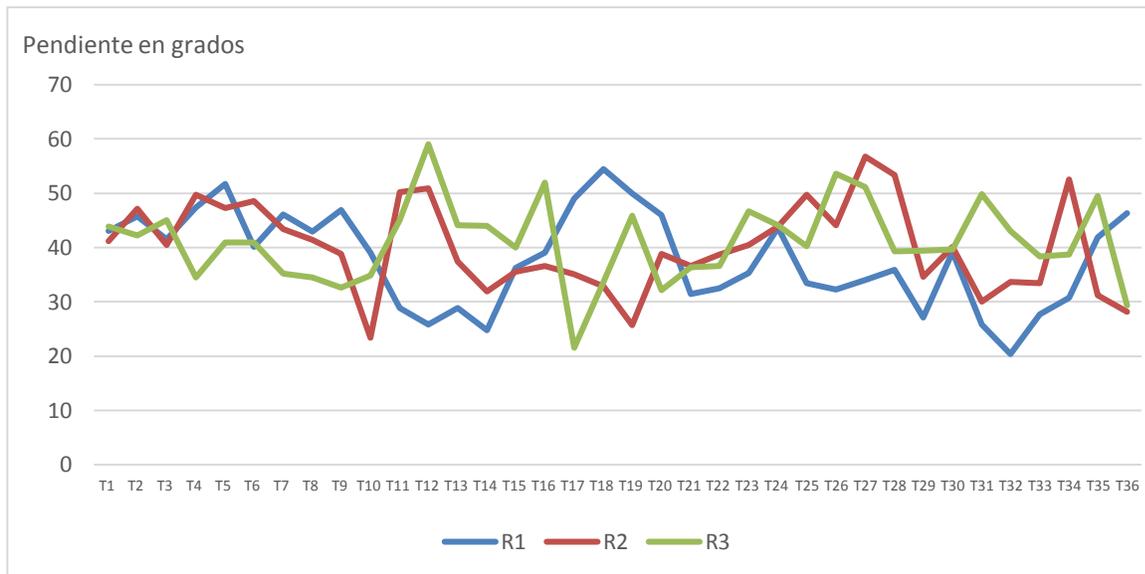
Tabla 4. Características del suelo donde se ubica las unidades experimentales

Textura	Estructura	Densidad aparente	Densidad real	pH	Conductividad (us/cm)	Materia orgánica	Color en seco	Porosidad %
Franco arcillo arenosa A:60,95% Arc:36,85% Limo:2,2%	En Bloques	1,45	2,61	3,9	93,6	1,02%	Húmedo 10YR 4/3 Seco 10YR 5/4	44,44

Resultados de laboratorio del análisis de suelo donde se ubica las unidades experimentales

#### 4.1.4 Grados de inclinación para cada una de las unidades experimentales.

Para las 108 unidades experimentales de los 36 tratamientos, se obtuvo pendientes (*Figura 23*) que variaron de 20,3° a 59,03°, es decir, del 37,1 % al 166,1 %, indicando una excelente distribución en la posición de las repeticiones de los tratamientos para poner a prueba su efectividad.



*Figura 23.* Distribución de las pendientes de las 108 unidades experimentales establecidas en la zona objeto de estudio (T=tratamiento; R = repetición)

#### 4.2 Efectividad de la combinación de mallas y preses para el control de la erosión.

Para determinar la efectividad de la combinación de las mallas y preses en el control de la erosión, se utilizaron los tratamientos 1, 2, 29, 30, 35 y 36. Se realizó el diseño experimental, a continuación, se presenta el diseño modelo, el análisis de varianza y los análisis gráficos realizados con una descripción puntual de los respectivos niveles de factor.

#### 4.2.1. Diseño experimental en el software Design-Expert.

Con los resultados en porcentaje de la información obtenida durante 14 semanas de la generación de erosión de las unidades experimentales dispuestas para este objetivo, se monta el diseño en el software Design-Expert (Tabla 5), corriendo un total de 18 datos para su respectivo análisis factorial en el modelo 2f1, (factores A Y B con 2 niveles cada uno).

Tabla 5. Diseño experimental relación mallas prenses en el control de la erosión

Std	Run	Factor 1 A:malla	Factor 2 B: prensas a los lados	Response Erosión %
13	1	Polietileno	sin prenses	35,71
2	2	<i>Manicaria s.</i>	con prenses	0
18	3	Sin malla	sin prenses	92,85
8	4	Sin malla	con prenses	100
4	5	Polietileno	con prenses	0
11	6	<i>Manicaria s.</i>	sin prenses	21,42
3	7	<i>Manicaria s.</i>	con prenses	0
6	8	Polietileno	con prenses	0
5	9	Polietileno	con prenses	0
12	10	<i>Manicaria s.</i>	sin prenses	35,71
9	11	Sin malla	con prenses	92,85
10	12	<i>Manicaria s.</i>	sin prenses	35,71
14	13	Polietileno	sin prenses	21,42
7	14	Sin malla	con prenses	100
16	15	Sin malla	sin prenses	92,85
17	16	Sin malla	sin prenses	100
1	17	<i>Manicaria s.</i>	con prenses	0
15	18	Polietileno	sin prenses	42,85

Diseño para determinar la efectividad de las mallas y los prenses en el control de la erosión.

#### 4.2.2. ANOVA para el modelo factorial 2f1, interacción malla – prenses.

Los resultados para el análisis de varianza ANOVA (Tabla 6), aplicado a la respuesta de erosión en la relación al modelo mallas prenses, generó el valor F de 157.01 lo cual implica que el modelo es significativo con valor  $P < 0.0001$ .

Tabla 6. ANOVA para el modelo factorial mallas preses con respuesta al % de erosión.

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F Value	p-value Prob > F	
Model	28944.09	5	5788.82	157.01	< 0.0001	significant
A-Malla	25833.02	2	12916.51	350.32	< 0.0001	
B-Preses a los lados	1915.19	1	1915.19	51.94	< 0.0001	
AB	1195.88	2	597.94	16.22	0.0004	
Pure Error	442.44	12	36.87			
Cor Total	29386.53	17				

Análisis de varianza para el diseño experimental 2fl interacción mallas preses con respuesta al % de erosión.

La representación del modelo gráfico (*Figura 24*) Interacción de los factores mallas y preses con respuesta al % de erosión, indica que las mallas de *Manicaria saccifera* y polietileno que se encuentran presadas por todos los lados al terreno, evidenciaron 0 % de erosión, es decir, que estas no permitieron pérdidas de suelo, lo cual indica un 100 % de efectividad, sin diferencias significativas entre las dos bajo este ajuste de preses.

Las mallas que no se encontraban ajustadas al suelo en los lados con los preses, presentaron una erosión moderada con valores promedio de 30,94 % para la malla de *Manicaria saccifera* y 33,32% para polietileno; no se presentaron diferencias significativas entre ellas. Por último, las unidades experimentales que no tenían mallas evidenciaron en promedio un 97,61 % de presencia de erosión, por lo cual se determina que la erosión es permanente al estar estos suelos desprotegidos de cobertura vegetal y sin la presencia de mallas ajustadas con preses por los cuatro lados, la erosión que se presenta es permanente.

La información anteriormente analizada se complementa con las observaciones tomadas en campo, donde en las 6 unidades de los tratamientos 1y 2 con malla de *Manicaria saccifera* y malla de polietileno anclada al suelo por los cuatro lados no hubo erosión evidente, mientras que en los tratamientos 29 y 30 con 6 unidades experimentales cuyas mallas no estaban sujetas a los lados en el suelo, se evidencio erosión ocasional a partir de la semana 4 cuando el crecimiento

de algunas plantas levantaban las mallas a los lados y las dejaban expuestas al viento y al agua, mientras que los tratamientos 35 y 36 que no tenían mallas en sus 6 unidades experimentales evidenciaban desde la primera semana erosión constante

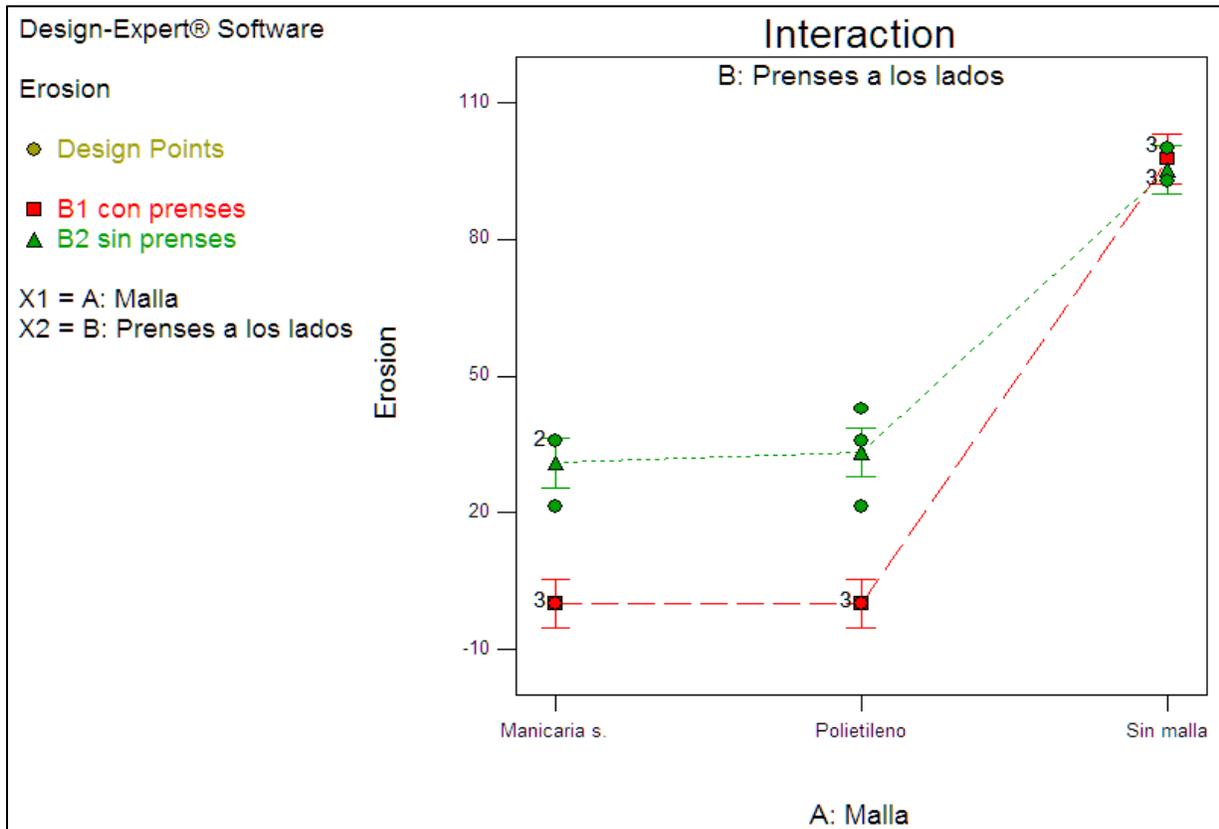


Figura 24. Gráfica modelo Interacción factores mallas y preses, bajo la respuesta % erosión.

#### 4.3 Efectividad del humus líquido y EM, en el desarrollo de la regeneración natural.

Se evaluaron los resultados de 18 unidades experimentales correspondientes al porcentaje de la regeneración natural de los tratamientos 1, 2, 17, 18, 19 y 20. A las 6 unidades experimentales que no tenían perforaciones y no tenían Humus líquido y EM se les denominó *Sin HU y EM*; las tres unidades que no tenían perforaciones, pero contaban con la aplicación de humus líquido y EM, se les denominó *HU y EM*; y a las 6 unidades que sí tenían perforaciones y aplicación de

humus líquido se les denominó *PER*, *HU* y *EM*. A continuación, se presenta el diseño, análisis de varianza y los análisis del modelo gráfico.

#### 4.3.1 Diseño experimental en el software Design-Expert.

Con los resultados finales de la semana 14 del porcentaje de desarrollo de la regeneración natural evaluada a partir de los tratamientos 1, 2, 17, 18, 19 y 20, se construyó el diseño en el software Design-Expert (Tabla 7), corriendo un total de 18 datos para su respectivo análisis factorial.

Tabla 7. Diseño experimental relación mallas – humus líquido y EM en la regeneración natural

Std	Run	Block	Factor 1 A: Malla	Factor 2 B: Humus líquido y EM	Response 1 Regeneración natural %
14	1	Block 1	<i>Manicaria s.</i>	PER. HU y EM	24,46744098
16	2	Block 1	Polietileno	PER. HU y EM	47,6737343
4	3	Block 1	Polietileno	HU. Y EM.	1,298037093
7	4	Block 1	<i>Manicaria s.</i>	Sin HU. Y EM.	0
9	5	Block 1	<i>Manicaria s.</i>	Sin HU. Y EM.	0
13	6	Block 1	<i>Manicaria s.</i>	PER. HU. Y EM	13,76012208
17	7	Block 1	Polietileno	PER. HU. Y EM	13,14760074
15	8	Block 1	<i>Manicaria s.</i>	PER. HU. Y EM	34,59934705
8	9	Block 1	<i>Manicaria s.</i>	Sin HU. YEM.	0
12	10	Block 1	Polietileno	Sin HU. Y EM.	5,264402654
6	11	Block 1	Polietileno	HU. Y EM.	25,24269863
10	12	Block 1	Polietileno	Sin HU. Y EM.	1,078924726
5	13	Block 1	Polietileno	HU. Y EM.	25,76203678
1	14	Block 1	<i>Manicaria s.</i>	HU. Y EM.	0
3	15	Block 1	<i>Manicaria s.</i>	HU. Y EM.	39,98643665
11	16	Block 1	Polietileno	Sin HU. y EM.	9,820092956
2	17	Block 1	<i>Manicaria s.</i>	HU. Y EM.	10,37757928
18	18	Block 1	Polietileno	PER. HU y EM	11,47442507

Diseño: mallas - Humus líquido y EM, para determinar la efectividad en el desarrollo de la regeneración natural

#### 4.3.2. ANOVA para el modelo factorial 2f1, interacción malla – Humus líquido y EM

Los resultados para el análisis de varianza ANOVA (Tabla 8), aplicado a la respuesta de regeneración natural en la relación al modelo Humus líquido y EM, género el valor F de 4,52 lo

cual implica que el modelo es significativo con valor P 0.0290. No se tuvo presente el factor 1 (mallas), porque resulto ser no significativo, frente a los niveles de humus líquido y EM.

*Tabla 8.* ANOVA para el modelo unifactorial Humus líquido y EM con respuesta al porcentaje de regeneracion natural

<b>Source</b>	<b>Sum of Squares</b>	<b>df</b>	<b>Mean Square</b>	<b>F Value</b>	<b>p-value Prob &gt; F</b>	
Model	1439.77	2	719.88	4.52	0.0290	significant
B-Humus L. y EM	1439.77	2	719.88	4.52	0.0290	
Residual	2386.52	15	159.10			
Lack of Fit	44.22	3	14.74	0.076	0.9720	
Pure Error	2342.30	12	195.19			
Cor Total	3826.28	17				

Datos de respuesta del análisis de varianza para el modelo unifactorial humus líquido y EM con respuesta al porcentaje de regeneración natural.

El modelo es significativo por parte del factor 2 humus líquido y EM, en donde los tres niveles de factor permiten ver claramente que la aplicación de humus sí estimula el crecimiento de la regeneración natural; y que si el área específica cuenta con perforaciones, las posibilidades de crecimiento y proliferación de regeneración natural son más altas, como se puede ver en la figura 25 en la gráfica promedio (Average); donde las unidades experimentales que no tienen humus y microorganismos eficientes (Sin Hu y EM) presentaron el porcentaje promedio más bajo de proliferación o crecimiento de la regeneración natural con un valor de 2,69% mientras que las unidades experimentales que contenían humus líquido y microorganismos eficientes sin perforaciones (HU y EM) presentaron un valor 17,11% y las que tenían perforaciones con humus líquido y microorganismos eficientes (PER. HU y EM) obtuvieron un valor de 24,18%, presentando esta última diferencia significativa en cuanto al desarrollo de la regeneración natural frente a la aplicación de “Sin HU Y EM”. Por lo cual independiente de la malla, la Regeneración natural se ve estimulada en la aplicación de humus líquido y EM al suelo.

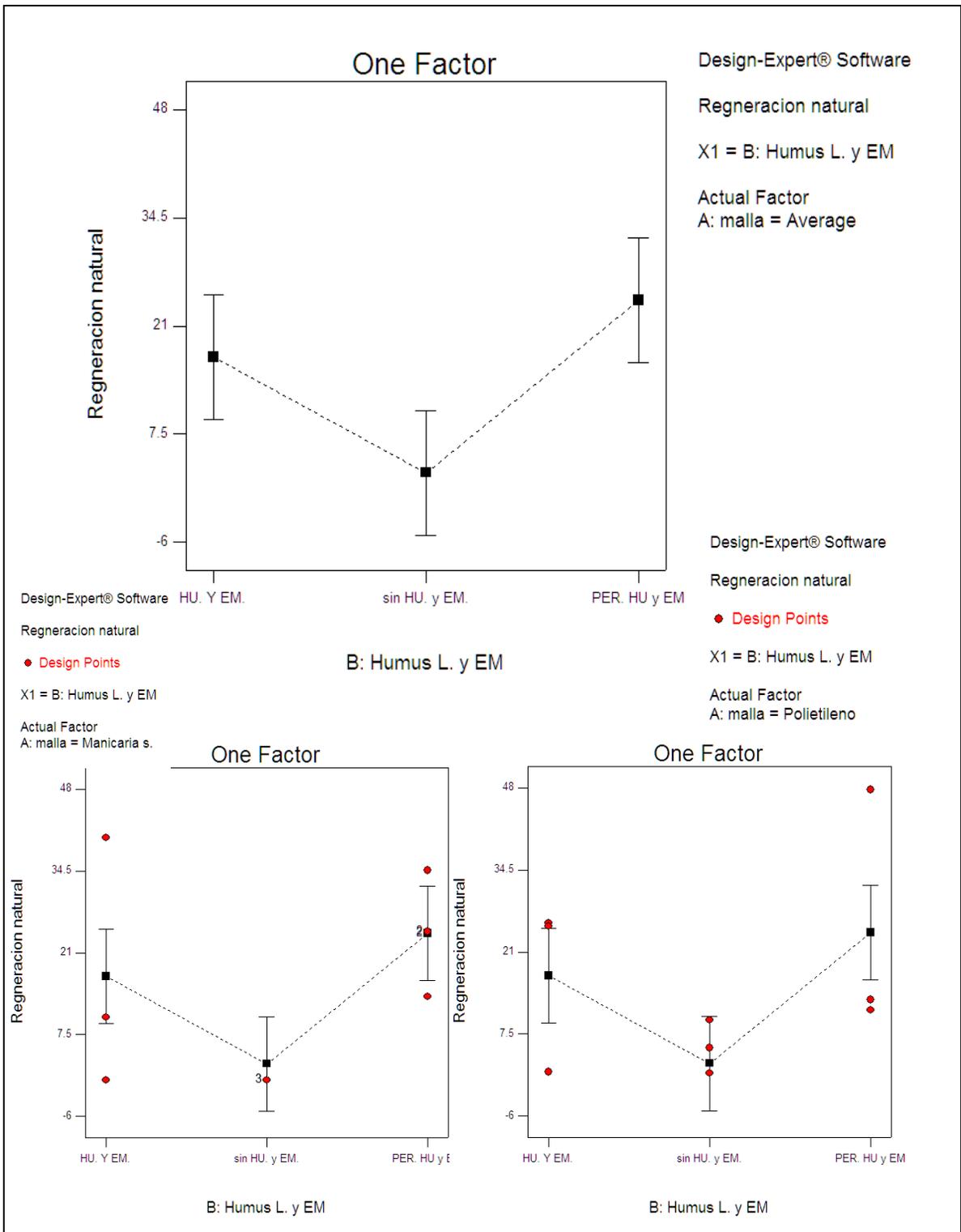


Figura 25. Efectividad del humus líquido y el EM sobre la estimulación al porcentaje de crecimiento de la regeneración natural.

#### **4.4 Valoración del uso de lombrices en los tratamientos con gramíneas en la generación de porcentaje de desarrollo de cobertura vegetal incorporada y porcentaje de desarrollo de cobertura de la regeneración natural.**

Para el diseño de este modelo se evaluaron los resultados de 36 unidades experimentales correspondientes al porcentaje de la cobertura vegetal incorporada y porcentaje de desarrollo de la regeneración natural, de los tratamientos 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 23, 24, 25, 26, 27, 28 en los cuales se evaluaron tres factores: 1. Mallas con dos niveles (1. *Manicaria saccifera* y 2 Polietileno); 2. Gramíneas o especies incorporadas con tres niveles (1.pasto saboya, 2.pasto estrella y 3. pasto sabana); 3. Lombrices con dos niveles (1. Con lombrices y 2.sin lombrices), donde este último nivel 2. Equivale a la aplicación de 3 kilogramos de humus sólido sin lombrices la cual es la base que presentan todas las unidades experimentales de este modelo.

##### **4.4.1 Diseño experimental en el software Design-Expert.**

Con los resultados finales de la semana 14 de porcentaje (%) de desarrollo de la cobertura de especies incorporadas y porcentaje de desarrollo de la regeneración natural, se construyó el diseño en el software Design-Expert (Tabla 9), corriendo un total de 36 datos para su respectivo análisis con tres factores y 8 niveles.

Tabla 9. Diseño experimental relación mallas gramíneas y lombrices con respecto al % de regeneración natural y desarrollo de cobertura Vegetal incorporada.

STD	RUN	Factor 1 A:Malla	Factor 2 B: lombrices	Factor 3 C: gramíneas	Response 1 cobertura especies incorporadas	Response 2 Regeneración natural %
2	1	<i>Manicaria s.</i>	con lombrices	P. Saboya	0	5,60967081
3	2	<i>Manicaria s.</i>	con lombrices	P. Saboya	0	17,0343641
1	3	<i>Manicaria s.</i>	con lombrices	P. Saboya	13,3367718	14,1966843
13	4	<i>Manicaria s.</i>	con lombrices	P. Estrella	14,7336087	18,672801
14	5	<i>Manicaria s.</i>	con lombrices	P. Estrella	33,6902654	53,1248688
15	6	<i>Manicaria s.</i>	con lombrices	P. Estrella	21,3208949	25,7736889
27	7	<i>Manicaria s.</i>	con lombrices	P. sabana	13,4202314	14,306963
26	8	<i>Manicaria s.</i>	con lombrices	P. sabana	31,5801147	41,722551
25	9	<i>Manicaria s.</i>	con lombrices	P. sabana	5,02004325	10,9768965
8	10	<i>Manicaria s.</i>	Sin lombrices	P. Saboya	59,8608643	63,5975549
9	11	<i>Manicaria s.</i>	Sin lombrices	P. Saboya	51,8977386	60,2238951
7	12	<i>Manicaria s.</i>	Sin lombrices	P. Saboya	68,0565778	70,9177501
21	13	<i>Manicaria s.</i>	Sin lombrices	P. Estrella	60,0326203	62,3804522
19	14	<i>Manicaria s.</i>	Sin lombrices	P. Estrella	43,0534947	47,4881405
20	15	<i>Manicaria s.</i>	Sin lombrices	P. Estrella	11,0541996	97,2093139
31	16	<i>Manicaria s.</i>	Sin lombrices	P. sabana	65,210562	76,5413321
33	17	<i>Manicaria s.</i>	Sin lombrices	P. sabana	69,368904	73,5994853
32	18	<i>Manicaria s.</i>	Sin lombrices	P. sabana	57,3312037	63,1768665
6	19	Polietileno	con lombrices	P. Saboya	0	18,2412925
5	20	Polietileno	con lombrices	P. Saboya	48,0260228	63,0504828
4	21	Polietileno	con lombrices	P. Saboya	63,3403862	64,2988817
18	22	Polietileno	con lombrices	P. Estrella	21,1139082	26,0972424
17	23	Polietileno	con lombrices	P. Estrella	92,2537038	98,9770875
16	24	Polietileno	con lombrices	P. Estrella	27,9121849	29,4672272
28	25	Polietileno	con lombrices	P. sabana	91,7213756	95,6541149
30	26	Polietileno	con lombrices	P. sabana	17,3781212	24,266005
29	27	Polietileno	con lombrices	P. sabana	16,1391887	37,5638668
12	28	Polietileno	Sin lombrices	P. Saboya	78,7412435	78,7412435
10	29	Polietileno	Sin lombrices	P. Saboya	72,7050047	74,1439169
11	30	Polietileno	Sin lombrices	P. Saboya	72,2941374	79,4856842
22	31	Polietileno	Sin lombrices	P. Estrella	58,1991942	59,8210207
24	32	Polietileno	Sin lombrices	P. Estrella	48,4075723	49,7972989
23	33	Polietileno	Sin lombrices	P. Estrella	10,4581486	97,4650047
34	34	Polietileno	Sin lombrices	P. sabana	16,2497201	26,5535659
36	35	Polietileno	Sin lombrices	P. sabana	14,1437416	23,4658016
35	36	Polietileno	Sin lombrices	P. sabana	23,5475689	51,8393053

Diseño experimental con tres factores (Mallas, lombrices y Gramíneas), para determinar la efectividad de las lombrices en el desarrollo de la regeneración natural y el % de desarrollo de la cobertura vegetal incorporada.

**4.4.2. ANOVA para el modelo factorial 3f1, interacción malla, gramíneas y lombrices en respuesta al % de desarrollo de la cobertura incorporada.**

Los resultados para el análisis de varianza ANOVA (Tabla 10), del modelo 3f1, aplicado a la respuesta de porcentaje de desarrollo de cobertura vegetal incorporada género el valor F de 2,51 lo que sugiere que el modelo es significativo ya que solo hay una probabilidad del 2.87% de que un "Valor F de modelo" tan grande pueda ocurrir debido al ruido. Los valores de "Prob> F" inferiores a 0.0500 indican que los términos del modelo son significativos. En este caso B, AB son términos significativos del modelo

Tabla 10. ANOVA para el modelo factorial mallas, lombrices y gramíneas, bajo la respuesta de % de desarrollo de la cobertura vegetal incorporada.

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F Value	p-value Prob > F	
Model	14359.06	11	1305.37	2.51	0.0287	significant
A-malla	655.90	1	655.90	1.26	0.2724	
B- Lombrices	3795.09	1	3795.09	7.30	0.0124	
C- Gramíneas	536.88	2	268.44	0.52	0.6031	
AB	3134.19	1	3134.19	6.03	0.0217	
AC	1813.53	2	906.76	1.74	0.1962	
BC	3134.02	2	1567.01	3.01	0.0679	
ABC	1289.46	2	644.73	1.24	0.3072	
Pure Error	12474.99	24	519.79			
Cor Total	26834.05	35				

Analisis de varianza para el modelo factorial mallas, lombrices y gramíneas, bajo la respuesta de % de desarrollo de la cobertura vegetal incorporada

Al analizar la gráfica promedio 1, (Average), de la *figura 26* se determina que la cobertura de especies incorporadas (CVI), tiene un mejor desarrollo en ausencia de las lombrices, es decir que cuando se aplica solo los 3kilogramos de humus sólido se tiene una igual o mayor efectividad.

En las unidades experimentales en donde se encontraba el pasto saboya se presentó una efectividad 3 veces mayor en las unidades donde no se aplicó lombrices, mientras que en las

unidades donde se encontraba el pasto estrella y el pasto sabana no se presentaron diferencias altamente significativas entre los tratamientos con lombrices y los que presentaban ausencia de las mismas. En la gráfica 2 de la *figura 26* se analizó el comportamiento individual de la relación de las malla de *Manicaria saccifera* con presencia de lombrices y se determinó que el pasto saboya y el pasto sabana sin presencia de lombrices generan los valores más altos de CVI con valores entre el 59,8% y el 69,3% en comparación con las unidades que presentaban lombrices con valores entre el 4,44% y el 16,67%, respectivamente, mientras que el pasto estrella no presentó diferencias significativas, obteniendo un valor medio de 23,24% con presencia de lombrices y un 38,04% sin presencia de estas. En la gráfica 3 de la *figura 26*, malla de polietileno, el pasto saboya presenta un porcentaje promedio de 74,58% sin presencia de lombrices, frente a un 37,12% con presencia de estas, el pasto sabana presenta un valor de 41,74% de cobertura con presencia de lombrices frente a un 17,98% en ausencia de estas, el pasto estrella no muestra diferencias significativas frente a la presencia y ausencia de lombrices con valores entre 47,09% y 39,02%. En resumen, el pasto saboya en los dos tipos de malla presenta un comportamiento similar en generación de CVI cuando no hay aplicación de lombrices, el pasto estrella se mantiene en un valor de cobertura medio en los dos tipos de malla, mientras que el pasto sabana, en la malla de *Manicaria saccifera* su valor de cobertura es mayor sin presencia de lombrices, mientras que en la malla de polietileno los valores más altos de cobertura se obtienen cuando hay presencia de lombrices.

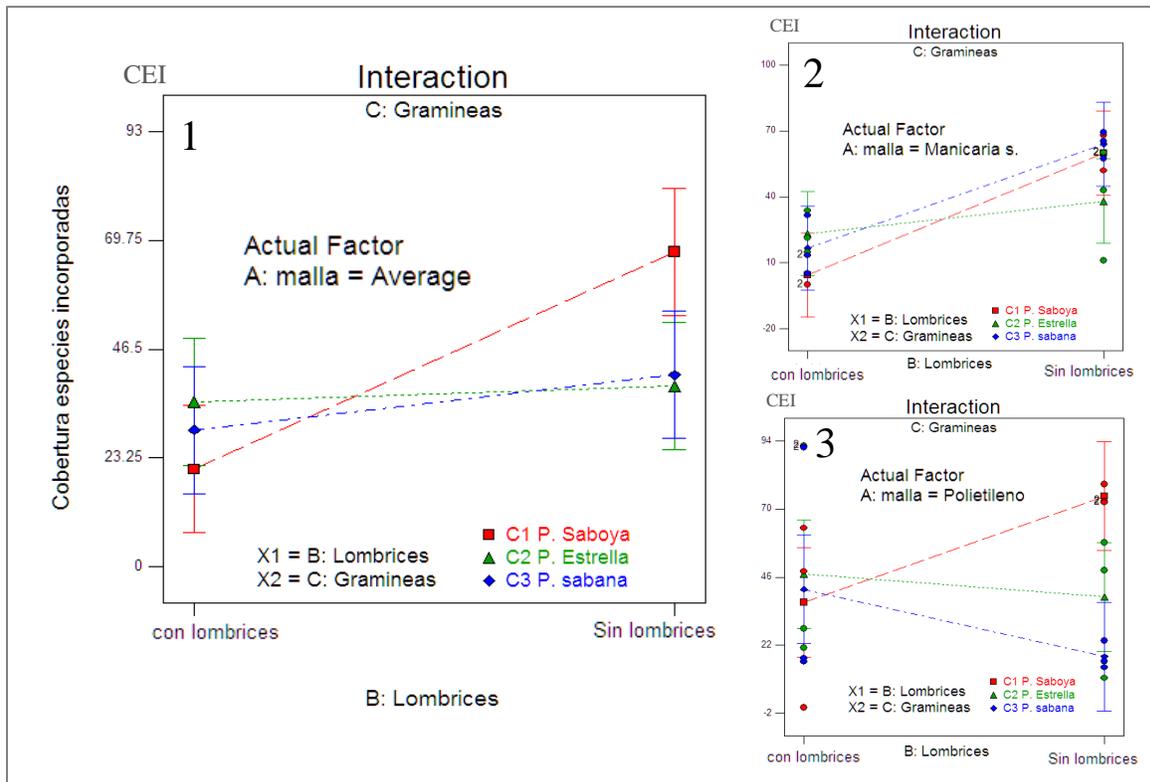


Figura 26. Gráfica promedio 1 (Average). Y gráficas por malla individual 2 (Manicaria saccifera); y 3 (polietileno) de la efectividad de las lombrices en el % de desarrollo de la cobertura vegetal de especies incorporadas.

#### 4.4.3. ANOVA para el modelo factorial 3f1, interacción malla, gramíneas y lombrices en respuesta al % de desarrollo de cobertura de la regeneración natural.

Los resultados para el análisis de varianza ANOVA (Tabla 11), del modelo 3f1, aplicado a la respuesta de % de desarrollo de regeneración natural, género el valor F de 2,64 lo que sugiere que el modelo es significativo, ya que solo hay una probabilidad del 2.27% de que un "Valor F de modelo" tan grande pueda ocurrir debido al ruido. Los valores de "Prob> F" inferiores a 0.0500 indican que los términos del modelo son significativos. En este caso B, AB son términos significativos del modelo.

Tabla 11. ANOVA para el modelo factorial mallas, lombrices y gramíneas, bajo la respuesta de % de desarrollo de cobertura de la regeneración natural.

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F Value	p-value Prob > F	
Model	14715.83	11	1337.80	2.64	0.0227	significant
A-malla	923.91	1	923.91	1.82	0.1897	
B-Lombrices	6872.77	1	6872.77	13.55	0.0012	
C-Gramíneas	670.29	2	335.15	0.66	0.5256	
AB	3025.36	1	3025.36	5.97	0.0223	
AC	1168.92	2	584.46	1.15	0.3327	
BC	989.84	2	494.92	0.98	0.3913	
ABC	1064.74	2	532.37	1.05	0.3656	
Pure Error	12171.56	24	507.15			
Cor Total	26887.39	35				

Análisis de varianza para el modelo factorial mallas, lombrices y gramíneas, bajo la respuesta de % de desarrollo de la cobertura de la Regeneración natural.

En la gráfica 1 de la *figura 27*, se analizó los valores promedio de porcentaje de desarrollo de cobertura de regeneración natural (RN), en relación a la presencia de lombrices en las unidades experimentales; donde se pudo determinar que se ve más favorecida la RN cuando no se aplican lombrices. La gráfica 2 de la *figura 27*, de manera puntual muestra que en la malla de *Manicaria saccifera*, el porcentaje de RN se ve favorecido en donde no hay aplicación de lombrices donde los primeros valores de % de RN, corresponden a presencia de lombrices y los segundos a sin aplicación de lombrices para cada especie; Para pasto saboya van de 12,28 a 64,91%; pasto estrella de 32,52 a 69,02% y pasto sabana con valores de 22,33 a 71,10%. En la gráfica 3 de la *figura 27*, se analiza que en la malla de polietileno donde están establecidas las gramíneas (pasto saboya y pasto estrella) y no hay presencia de lombrices el % de desarrollo de cobertura de la RN es mayor con valores de 75,45% y 69,025 respectivamente. Mientras que en las unidades que si hay presencia de lombrices los valores disminuyen a 48,53% y 51,51%. En las unidades donde se encuentra pasto sabana, los valores mayores de % de RN se encuentran donde hay presencia

de lombriz, con valores que van de 52,49 frente a 33,95% Sin presencia de lombrices. Los resultados fueron similares para el desarrollo de la cobertura de RN como para la CVI, donde en general la aplicación base de 3 kilogramos de humus (sin presencia de lombriz) en los dos tipos de mallas es superior a los que se generan con aplicación de lombriz. Con una única excepción de las unidades en malla de polietileno en las que se encontraba el pasto sabana cuyos valores fueron más altos en CVI y en RN, cuando se aplicó lombriz.

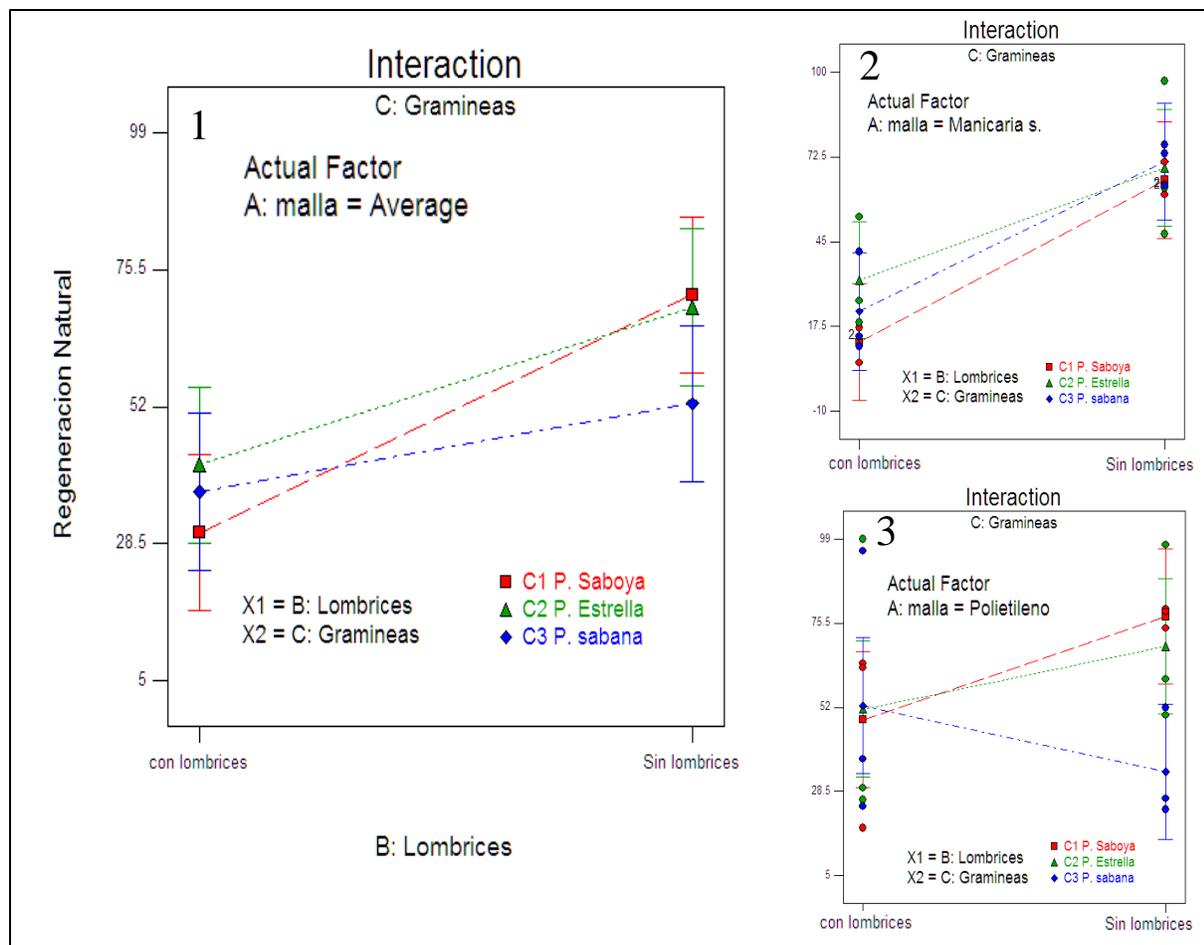


Figura 27. Gráfica promedio 1 (Average) gráficas por malla individual 2 (Manicaria saccifera); y 3 (polietileno) de la efectividad de las lombrices en el % de desarrollo de la Regeneracion natural.

#### **4.5 Modelo general para determinar la efectividad del humus sólido, las mallas y las especies incorporadas, en el desarrollo del % de cobertura vegetal incorporada % de la cobertura de la regeneración natural y % de la cobertura vegetal total.**

Para el diseño de este modelo Se evaluaron los resultados de 72 unidades experimentales correspondientes al % de la cobertura vegetal incorporada y % de desarrollo de la regeneración natural, de los tratamientos 9,10,11,12,13,14,15,16,19,20,21,22,23, 24, 25, 26, 27, 28,29,30,21,32,33,34. En los cuales se evaluaron tres factores: 1. Mallas, con dos niveles (1.*Manicaria saccifera* y 2 Polietileno); 2. Especies incorporadas con tres niveles (1.pasto saboya, 2.pasto estrella 3. pasto sabana y 4 sin pasto); 3. humus sólidos con tres niveles, (3, 1, 0) kilogramos; donde este último nivel cero (0), equivale a la aplicación base de humus líquido y microorganismos eficientes que tienen todas las unidades experimentales de este modelo.

##### **4.5.1 Diseño experimental en el software Design-Expert.**

Con los resultados obtenidos de porcentaje de cobertura de la regeneración natural, porcentaje de cobertura de especies incorporadas, y porcentaje de cobertura vegetal total de la semana 14, en relación con los factores: humus sólido; mallas; y gramíneas incorporadas se estableció el diseño en el software Design-Expert (Tabla 12). Corriendo un total de 72 datos para su respectivo análisis factorial en el modelo 3f1.

Tabla 12 . Diseño experimental relación humus sólido, mallas y especies incorporadas con respecto al % de desarrollo de la regeneración natural, % desarrollo de la cobertura de especies incorporadas y desarrollo de cobertura vegetal total.

STD	RUN	Factor 1 A:Mallas	Factor 2 B: humus (Kg)	Factor 3 C: Especies incorporadas incorporadas	Response 1 Regeneración natural %	Response 2 cobertura especies incorporadas %	Response 3 cobertura vegetal total. %
14	1	<i>Manicaria s.</i>	0	P. Saboya	20,6811331	37,2596632	57,9407963
44	2	<i>Manicaria s.</i>	3	P. sabana	11,33077001	65,210562	76,5413321
63	3	<i>Manicaria s.</i>	3	Sin gramíneas	58,16935924	0	58,1693592
48	4	Polietileno	3	P. sabana	10,30384581	16,2497201	26,5535659
19	5	<i>Manicaria s.</i>	1	P. Estrella	0	23,3369013	23,3369013
61	6	<i>Manicaria s.</i>	3	Sin gramíneas	43,67140535	0	43,6714054
38	7	<i>Manicaria s.</i>	1	P. sabana	14,13469862	9,35252779	23,4872264
56	8	<i>Manicaria s.</i>	1	Sin gramíneas	0	0	0
71	9	Polietileno	0	Sin gramíneas	47,6737343	0	47,6737343
21	10	<i>Manicaria s.</i>	1	P. Estrella	3,358109133	17,4232203	20,7813294
5	11	Polietileno	1	P. Saboya	0	40,9061542	40,9061542
8	12	<i>Manicaria s.</i>	3	P. Saboya	3,736690591	59,8608643	63,5975549
6	13	Polietileno	1	P. Saboya	0	46,9506059	46,9506059
64	14	Polietileno	3	Sin gramíneas	82,72438004	0	82,72438
36	15	Polietileno	0	P. Estrella	6,755148897	19,1824638	25,9376127
22	16	Polietileno	1	P. Estrella	0,387352749	33,9743084	34,3616611
16	17	Polietileno	0	P. Saboya	14,82748976	35,7842908	50,6117806
70	18	Polietileno	0	Sin gramíneas	13,14760074	0	13,1476007
7	19	<i>Manicaria s.</i>	3	P. Saboya	8,326156498	51,8977386	60,2238951
41	20	Polietileno	1	P. sabana	3,345208007	4,584802	7,93001001
9	21	<i>Manicaria s.</i>	3	P. Saboya	2,861172281	68,0565778	70,9177501
23	22	Polietileno	1	P. Estrella	1,754912665	24,606512	26,3614247
68	23	<i>Manicaria s.</i>	0	Sin gramíneas	24,46744098	0	24,467441
1	24	<i>Manicaria s.</i>	1	P. Saboya	0	30,9087935	30,9087935
55	25	<i>Manicaria s.</i>	1	Sin gramíneas	13,36003947	0	13,3600395
32	26	<i>Manicaria s.</i>	0	P. Estrella	0	13,9329816	13,9329816
25	27	<i>Manicaria s.</i>	3	P. Estrella	2,347831949	60,0326203	62,3804522
58	28	Polietileno	1	Sin gramíneas	26,79608767	0	26,7960877
35	29	Polietileno	0	P. Estrella	3,625303362	17,2018875	20,8271909
69	30	<i>Manicaria s.</i>	0	Sin gramíneas	13,76012208	0	13,7601221
46	31	Polietileno	3	P. sabana	9,322060006	14,1437416	23,4658016
51	32	<i>Manicaria s.</i>	0	P. sabana	11,8913044	15,3386237	27,2299281
33	33	<i>Manicaria s.</i>	0	P. Estrella	4,073069793	11,2683947	15,3414645
53	34	Polietileno	0	P. sabana	10,3564534	9,90020813	20,2566615
29	35	Polietileno	3	P. Estrella	1,621826491	58,1991942	59,8210207

57	36	<i>Manicaria s.</i>	1	Sin gramíneas	22,35386915	0	22,3538692
26	37	<i>Manicaria s.</i>	3	P. Estrella	4,434645838	43,0534947	47,4881405
27	38	<i>Manicaria s.</i>	3	P. Estrella	86,15511431	11,0541996	97,2093139
10	39	Polietileno	3	P. Saboya	0	78,7412435	78,7412435
15	40	<i>Manicaria s.</i>	0	P. Saboya	1,107828111	0	1,10782811
49	41	<i>Manicaria s.</i>	0	P. sabana	22,58087155	27,1262475	49,707119
13	42	<i>Manicaria s.</i>	0	P. Saboya	21,57872243	49,3767877	70,9555101
17	43	Polietileno	0	P. Saboya	9,984623613	0	9,98462361
50	44	<i>Manicaria s.</i>	0	P. sabana	7,310735116	6,54136777	13,8521029
4	45	Polietileno	1	P. Saboya	0	38,2492487	38,2492487
12	46	Polietileno	3	P. Saboya	1,438912187	72,7050047	74,1439169
34	47	Polietileno	0	P. Estrella	22,2787231	34,9664547	57,2451778
54	48	Polietileno	0	P. sabana	50,9058502	15,5263409	66,4321911
40	49	Polietileno	1	P. sabana	0,831941855	3,23595164	4,0678935
59	50	Polietileno	1	Sin gramíneas	25,03504015	0	25,0350401
30	51	Polietileno	3	P. Estrella	1,389726648	48,4075723	49,7972989
2	52	<i>Manicaria s.</i>	1	P. Saboya	0	49,9383485	49,9383485
20	53	<i>Manicaria s.</i>	1	P. Estrella	0	4,69787207	4,69787207
47	54	Polietileno	3	P. sabana	28,29173638	23,5475689	51,8393053
72	55	Polietileno	0	Sin gramíneas	11,47442507	0	11,4744251
31	56	<i>Manicaria s.</i>	0	P. Estrella	6,180734529	44,7270935	50,907828
66	57	Polietileno	3	Sin gramíneas	73,45619093	0	73,4561909
37	58	<i>Manicaria s.</i>	1	P. sabana	11,35081159	3,86407619	15,2148878
52	59	Polietileno	0	P. sabana	4,758646994	5,52389326	10,2825403
43	60	<i>Manicaria s.</i>	3	P. sabana	4,230581303	69,368904	73,5994853
11	61	Polietileno	3	P. Saboya	7,191546871	72,2941374	79,4856842
18	62	Polietileno	0	P. Saboya	20,43203569	27,0475421	47,4795778
39	63	<i>Manicaria s.</i>	1	P. sabana	3,277563698	28,468325	31,7458887
45	64	<i>Manicaria s.</i>	3	P. sabana	5,845662802	57,3312037	63,1768665
60	65	Polietileno	1	Sin gramíneas	32,58293709	0	32,5829371
42	66	Polietileno	1	P. sabana	4,044044128	12,2073665	16,2514106
3	67	<i>Manicaria s.</i>	1	P. Saboya	0	45,7303051	45,7303051
65	68	Polietileno	3	Sin gramíneas	61,77534001	0	61,77534
28	69	Polietileno	3	P. Estrella	87,00685611	10,4581486	97,4650047
24	70	Polietileno	1	P. Estrella	0	9,04613153	9,04613153
67	71	<i>Manicaria s.</i>	0	Sin gramíneas	34,59934705	0	34,599347
62	72	<i>Manicaria s.</i>	3	Sin gramíneas	44,21184415	0	44,2118441

Diseño experimental con tres factores (humus sólido, mallas y especies incorporadas), con tres respuestas, % de cobertura de regeneración natural, % de cobertura especies incorporadas y porcentaje de cobertura vegetal total.

#### **4.5.2 ANOVA para el modelo factorial 3f1, interacción humus sólido, mallas y especies incorporadas en respuesta al porcentaje de desarrollo de la regeneración natural.**

Los resultados para el análisis de varianza ANOVA (Tabla 13), del modelo 3f1, (humus sólido, mallas y Especies incorporadas) aplicado a la respuesta de % de desarrollo de regeneración natural, género el valor F de 2,64 lo que sugiere que el modelo es significativo, ya que solo hay una probabilidad del 0,04% de que un "Valor F de modelo" así de grande pueda ocurrir debido al ruido. Los valores de "Prob> F" inferiores a 0.0500 indican que los términos del modelo son significativos. En este caso B, C, BC tiene términos significativos del modelo.

*Tabla 13.* ANOVA para el modelo factorial Humus sólido, Mallas y Especies incorporadas, bajo la respuesta de % de desarrollo de cobertura de la regeneración natural.

<b>Source</b>	<b>Sum of Squares</b>	<b>df</b>	<b>Mean Square</b>	<b>F Value</b>	<b>p-value Prob &gt; F</b>	
Model	20325.69	23	883.73	3.15	0.0004	significant
A-Malla	374.16	1	374.16	1.34	0.2535	
B-Humus	4752.60	2	2376.30	8.48	0.0007	
C-Especies Inc	8652.06	3	2884.02	10.29	< 0.0001	
AB	83.58	2	41.79	0.15	0.8618	
AC	497.13	3	165.71	0.59	0.6236	
BC	5286.12	6	881.02	3.14	0.0111	
ABC	680.05	6	113.34	0.40	0.8724	
Pure Error	13447.78	48	280.16			
Cor Total	33773.47	71				

Analisis de varianza para el modelo factorial Humus sólido, mallas y gramíneas incorporadas, bajo la respuesta de % de desarrollo de cobertura de la regeneración natural.

**4.5.2.1. Análisis para el modelo gráfico; humus sólido, mallas y especies incorporadas (nivel sin pasto), bajo la respuesta de % de desarrollo de cobertura de la regeneración natural.**

En la gráfica modelo 3f1 de la *figura 28*, se determina que el factor C (especies incorporadas) en el nivel sin pasto, presenta el mayor porcentaje en valor promedio de la regeneración natural (RN) con la aplicación de 3 kilogramos de humus sólido en el factor A (mallas), con valores de

48,62% en la malla de *Manicaria saccifera* y 72,65% en la de polietileno, por lo cual esta última brinda una posibilidad de un mayor desarrollo en cuanto al % de RN.

Cuando se aplica (1) un kilogramo de humus sólido, la RN resulta ser un 36,78%, menos efectiva que la aplicación de 3 kilogramos para la malla de *Manicaria saccifera* y un 44,48% que la malla de polietileno, con valores de 11,90% para *Manicaria saccifera* y 28,13% para polietileno. Por último en el factor B (humus), en el nivel B3 aplicación cero (0), no se evidencian diferencias significativas entre los dos tipos de malla en el porcentaje de RN compartiendo un valor de 24,4%. El nivel B1 no presenta diferencias significativas entre el nivel B3 (0), en cuanto a desarrollo de % RN, por lo cual teniendo en cuenta que todas las unidades experimentales de este modelo tenían una base de humus líquido y microorganismos eficientes, se considera que el nivel B3 (0) hace referencia a esta base. La cual en la malla de *Manicaria saccifera* es superior en % de RN a la aplicación B1.

Se concluye que el nivel de factor B2 (3 kilogramos de humus) es el mejor para promover el crecimiento de la regeneración natural sin necesidad de incorporar ningún tipo de pasto. La malla de polietileno resultó ser más efectiva en el desarrollo de la regeneración natural que la malla de *Manicaria saccifera*, aunque esta última presentó resultados iguales a la de polietileno cuando no se aplicó humus. El nivel B1 (1 kilogramo de humus sólido), presenta los porcentajes de RN más bajos en la malla de *Manicaria saccifera*.

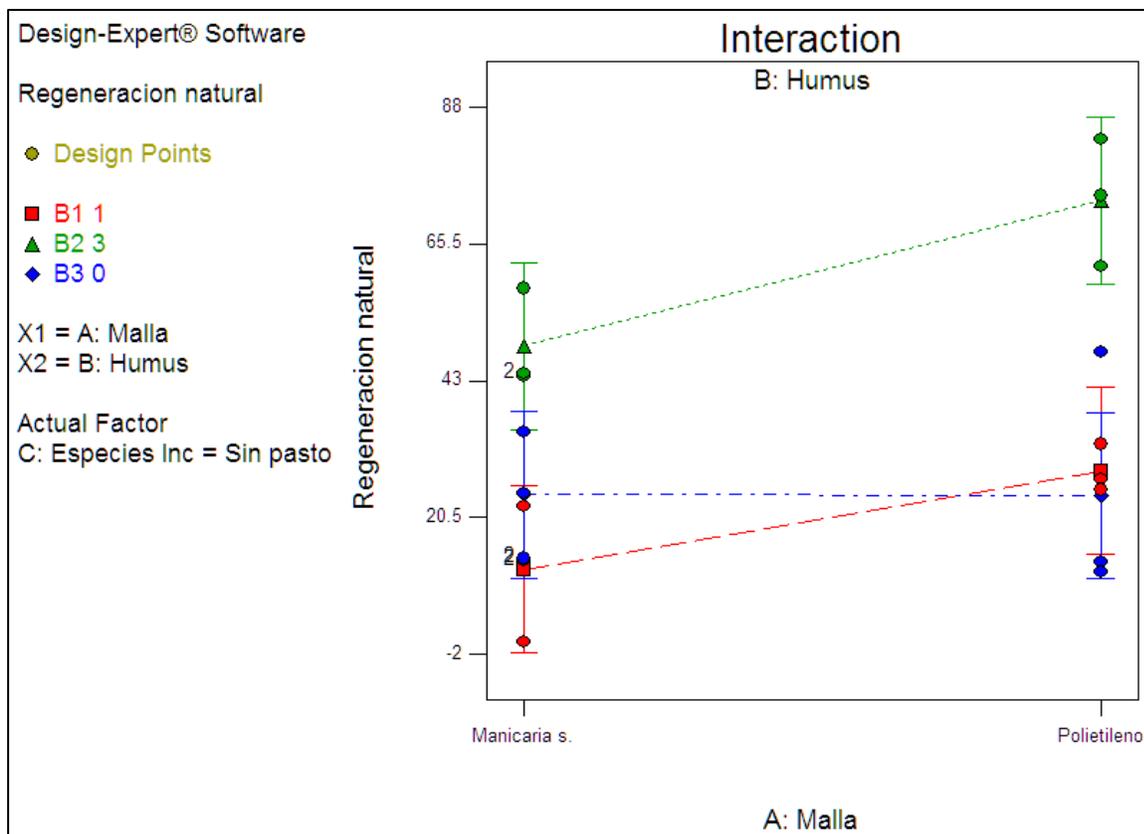


Figura 28. Gráfica- modelo factorial de mallas, humus y especies incorporadas (nivel Sin pasto) bajo la respuesta de % de desarrollo de la cobertura de la regeneración natural.

**4.5.2.2. Análisis para el modelo Gráfico; humus sólido, mallas y especies incorporadas (nivel pasto saboya), bajo la respuesta de % de desarrollo de cobertura de la regeneración natural.**

En la figura 29 se muestra la gráfica modelo de la relación de mallas, humus bajo el factor especies incorporadas, (nivel pasto saboya); donde se evidencia de manera clara que en el factor A (mallas) no presentan diferencias significativas en el desarrollo del % de la regeneración natural (RN) con el factor C (especies incorporadas) en el nivel de la especie pasto Saboya, siendo así que el factor que define el porcentaje de la RN es el factor B (humus sólido), donde los porcentajes más altos de la RN (15%), se obtienen del nivel B3 donde la aplicación de humus sólido es cero, seguido del nivel de aplicación B2 (3kilogramos de humus) con un porcentaje

del 3,7% para *Manicaria saccifera* y 2,87% para polietileno. La aplicación del nivel B1 (1 kilogramos de humus), fue el que tuvo el rendimiento más bajo con 0% de regeneración natural en las dos mallas con presencia de pasto saboya.

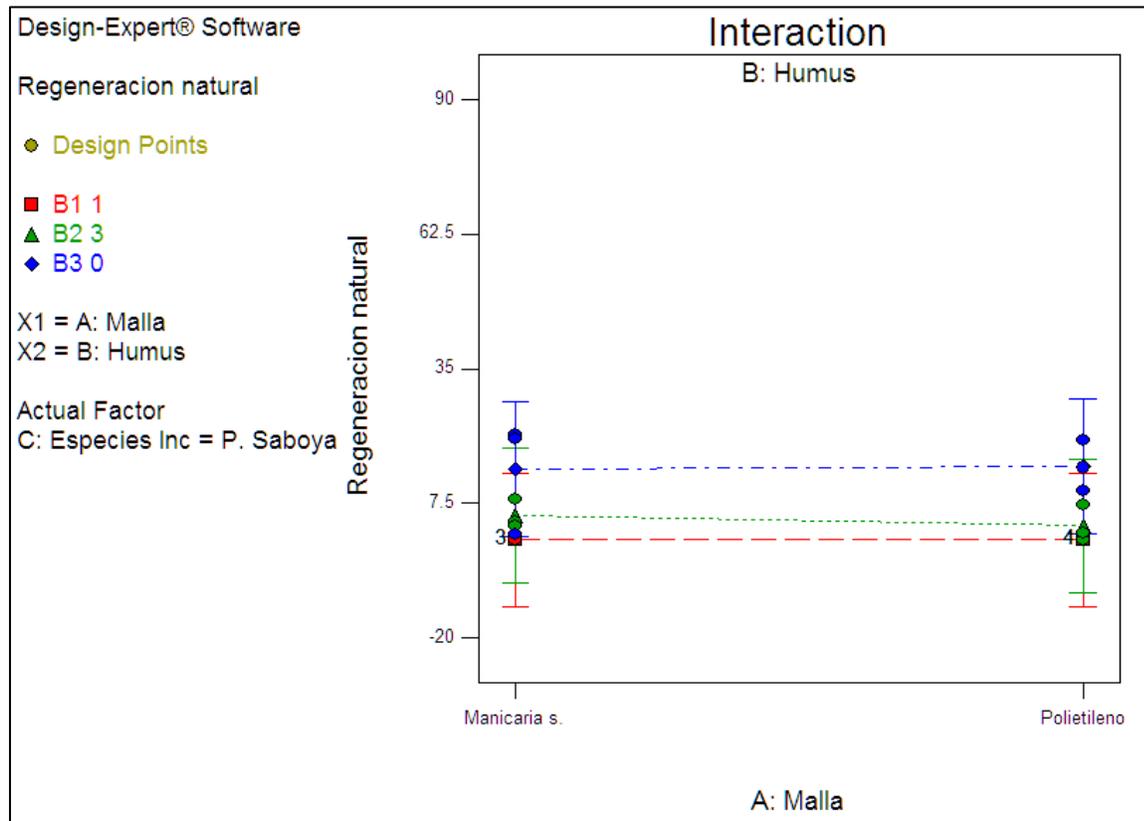


Figura 29. Gráfica- modelo factorial de mallas, humus y especies incorporadas, (nivel pasto saboya) en el desarrollo del % de la regeneración natural.

**4.5.2.3. Análisis para el modelo gráfico; humus sólido, mallas y especies incorporadas (nivel pasto estrella), bajo la respuesta de % de desarrollo de cobertura de la regeneración natural.**

La figura 30 muestra la gráfica modelo de la relación mallas, humus bajo el factor especies incorporadas, (nivel pasto estrella), en donde no existen diferencias significativas en el factor mallas (A), en cuanto al porcentaje de la regeneración natural (RN) en presencia del pasto estrella, debido a que el factor que genera cambios notables es el factor B (humus), donde los

valores en % de RN, se obtienen del nivel B2 (3 kilogramos de humus), con valores para la *Manicaria saccifera* de 30,97% y para polietileno de 30%. La aplicación del nivel B1 (1 kilogramo de humus) fue la que generó los resultados más bajos en % RN; con valores de 1,1% para *Manicaria saccifera* y 0,38% para polietileno, mientras que en el nivel B3 que no se aplicó humus sólido el % RN fue superior al del nivel B1, en donde la malla de *Manicaria saccifera* obtuvo un valor de 4,07% y la de polietileno 10,88% en presencia de la especie incorporada pasto estrella.

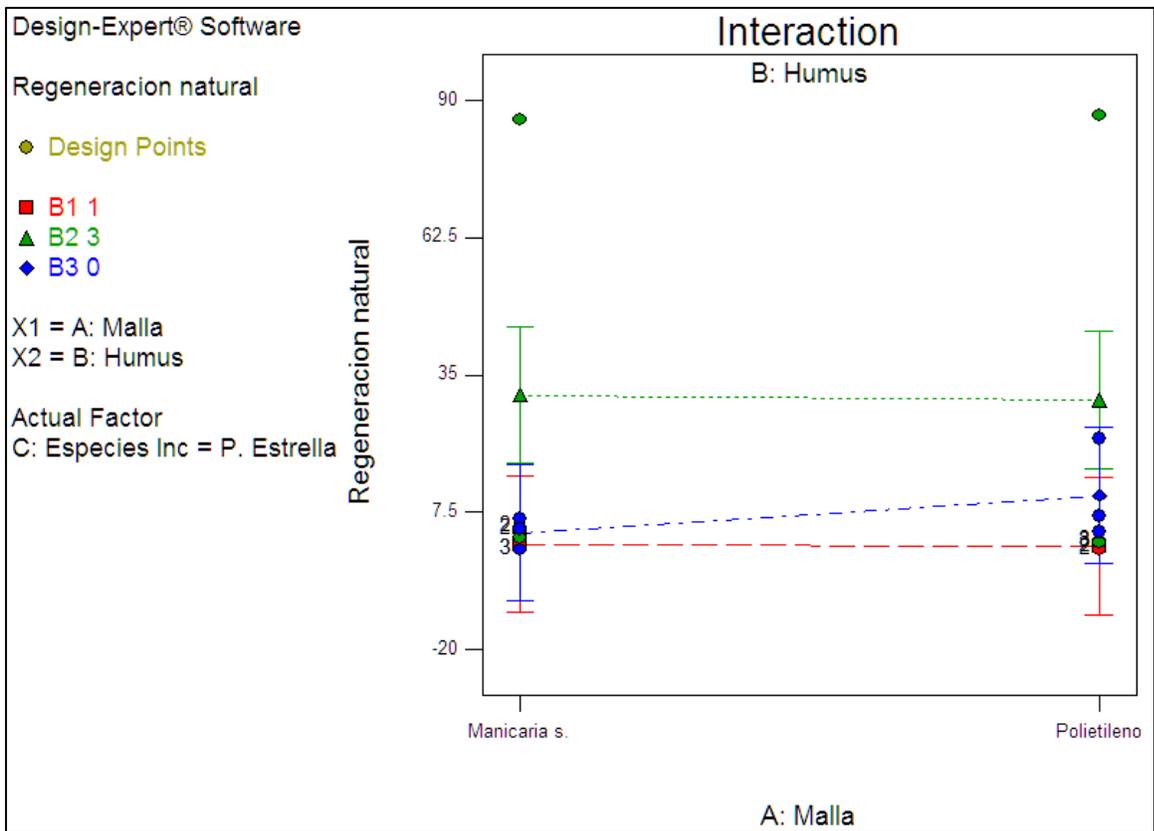
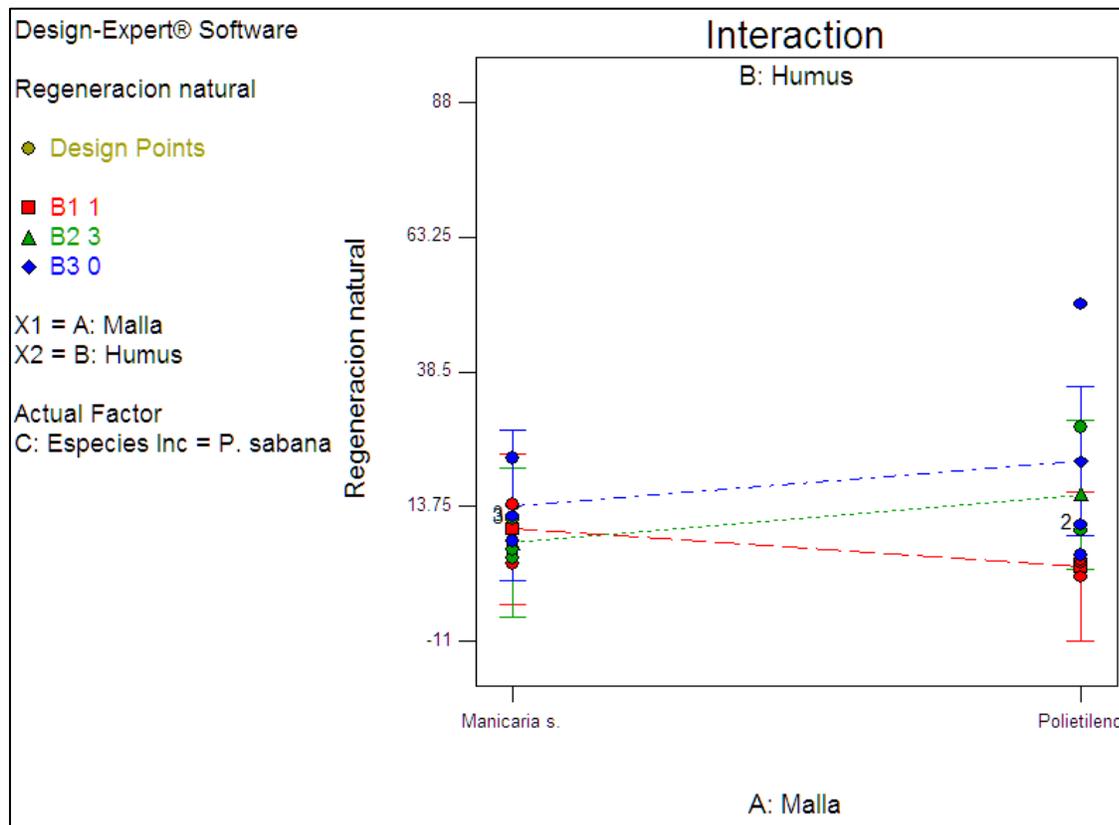


Figura 30. Gráfica- modelo factorial mallas, humus y especies incorporadas (nivel pasto estrella) en el desarrollo del % de la regeneración natural

**4.5.2.4. Análisis para el modelo gráfico; humus sólido, mallas y especies incorporadas (nivel pasto sabana), bajo la respuesta de % de desarrollo de cobertura de la regeneracion..**

En la *Figura 31*, se analizó la gráfica modelo factorial mallas, humus y especies incorporadas en el nivel pasto sabana, donde se pudo establecer que el factor humus (B) es el que determina en mayor medida el porcentaje de la regeneración natural (RN), siendo así que en el nivel B3 que no hay aplicación de humus sólido (0), se obtienen los mayores porcentajes de RN, con valores para la malla de *Manicaria saccifera* de 13,92% y para la malla de polietileno de 22,07%; seguido del nivel B2 (3 kilogramos de humus) con valores para *Manicaria saccifera* de 7,31% y para polietileno de 15,97%. La aplicación del nivel B1 (1 kilogramo de humus) generó valores en % RN para *Manicaria saccifera* de 9,58% y polietileno 2,74%, los dos tipos de mallas no presentaron diferencias significativas en esta relación.



*Figura 31.* Modelo de la relación de mallas, humus bajo el factor especies incorporadas, (nivel pasto sabana) en el desarrollo del % de la cobertura de la regeneración natural.

#### 4.5.2.5. Análisis para el modelo gráfico; humus sólido, mallas y especies incorporadas

(Promedio – Average), bajo la respuesta de % de desarrollo de cobertura de la regeneración .

En la figura 32 se analizó la gráfica de nivel promedio para especies incorporadas evidenciando que no existen diferencias significativas entre los niveles de mallas del factor A en el desarrollo de % de la RN. Las mallas con una aplicación del nivel B2 (3 kilogramos de humus sólido) obtuvieron el % más alto de cobertura de la RN, con valores de 22,94 % para *Manicaria saccifera* y 30,37 % para polietileno. Seguido del nivel B3 (0 kilogramos de humus), con valores de 14,01 % para *Manicaria saccifera* y 18,01 % para polietileno. Por último, el nivel B1 (1kilogramo de humus), fue el que generó los valores más bajos en % de RN, con valores de 5,65% para *Manicaria saccifera* y 7,89% para polietileno.

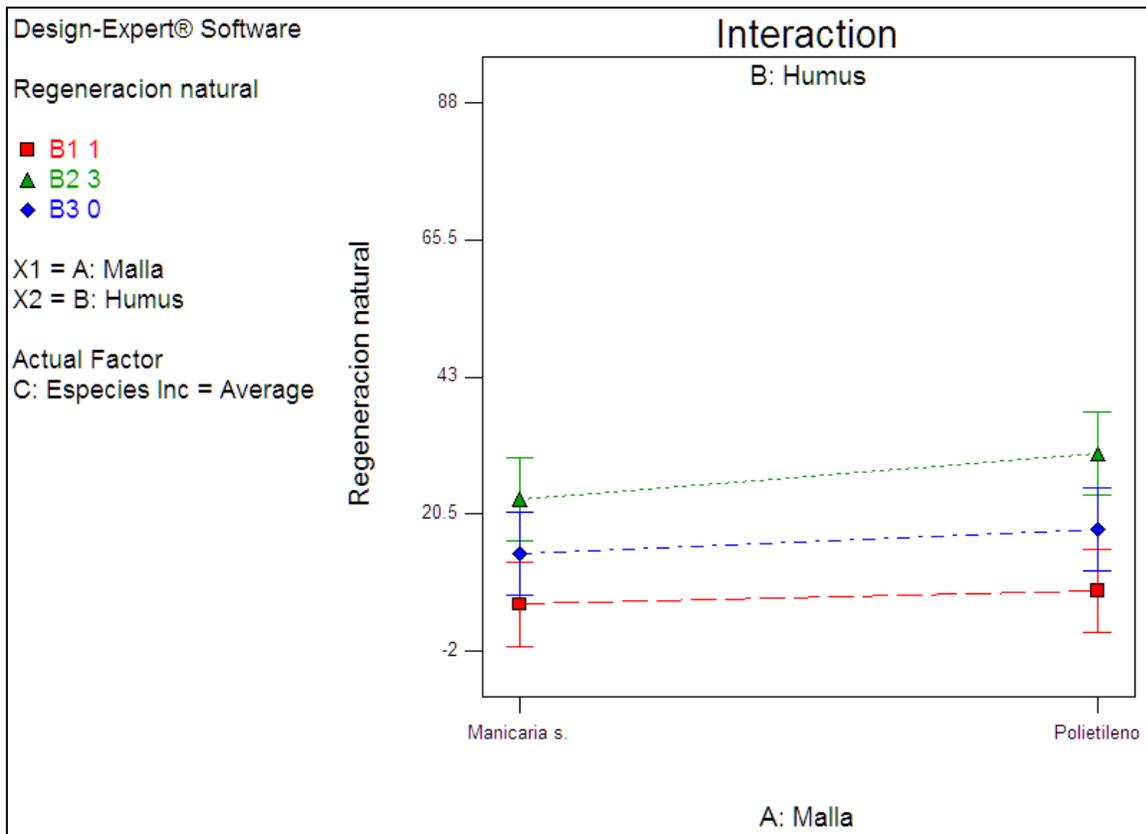


Figura 32. Gráfica del modelo factorial mallas, humus y especies incorporadas (promedio) en el desarrollo del % de la cobertura de la regeneración natural.

**4.5.2.6. Análisis para el modelo gráfico, relación humus sólido, especies incorporadas bajo factor mallas (nivel *Manicaria saccifera* y polietileno) en el desarrollo del % de la regeneración natural.**

En la *figura 33* se observa la gráfica del modelo relación humus, especies incorporadas y mallas bajo los niveles del factor A; *Manicaria saccifera* (gráfica 1) y Polietileno (gráfica 2). Al analizar las dos mallas de manera simultánea, se puede apreciar que el nivel C4 donde no se incorporó pasto, presenta el mejor desarrollo en regeneración natural para los dos tipos de malla en todos los niveles del factor humus (B1=1; B2=3; B3= 0), resaltando que los rendimientos son relativamente mayores en la malla de polietileno. Las unidades experimentales donde se incorporó la especie pasto estrella fue donde se desarrolló el mayor porcentaje de regeneración natural en comparación con la especie saboya y sabana, donde los rendimientos más bajos fueron generados por la especie saboya.

**Análisis de campo:** se supondría que debería haber una relación directa entre la cantidad de aplicación de humus y el desarrollo de la regeneración natural, pero al correr el modelo este no dio ese resultado. Al analizar las variables en campo se observa que la incorporación de 1kilogramo de humus en el suelo se realiza por medio de cigarros de papel que contienen humus en su interior y se disponen en perforaciones de 6,5 mm de diámetro por 15 cm de profundidad; mientras el suelo está húmedo este procedimiento es óptimo, pero cuando el suelo está seco, el papel no se descompone y no permite que la planta disponga de manera efectiva del humus. Lo que no ocurre con la aplicación de 3 kilogramos de humus sólido, donde las perforaciones son de 2,54 centímetros de diámetro y 15 centímetros de profundidad; aquí no se necesitan cigarros de papel debido a que el hoyo es amplio y las plantas pueden disponer del humus sólido que se combina de manera efectiva con el humus líquido y EM. De otro lado en cuanto al desarrollo de

la cobertura de la regeneración natural, la malla de *Manicaria saccifera* tuvo un buen desarrollo con la aplicación de 3 kilogramos de humus sólido seguido de la aplicación cero de humus; no ocurrió lo mismo con la aplicación de 1 kilogramo en cigarrillos ya que el papel no permitió una asimilación total del humus líquido cuando el suelo estaba seco.

Los resultados del modelo indican que la malla de polietileno permite un mayor desarrollo de la regeneración natural que la malla de *Manicaria saccifera*. Esta información fue corroborada por observación directa en campo y se pudo determinar que la malla de polietileno por ser del 50% de entrada de luz, presenta aberturas en esta proporción que permite que las plantas puedan salir más rápidamente del entramado, mientras que la malla de *Manicaria saccifera* por ser una fibra natural presenta entretejidos los cuales dependen de manera directa del estirado de la malla antes de colocarla en campo. Por lo cual se evidencia que, si el estirado no se hace bajo un parámetro de entrada de luz como la de polietileno, los entre tejidos muy cerrados pueden retardar el desarrollo de la regeneración natural.

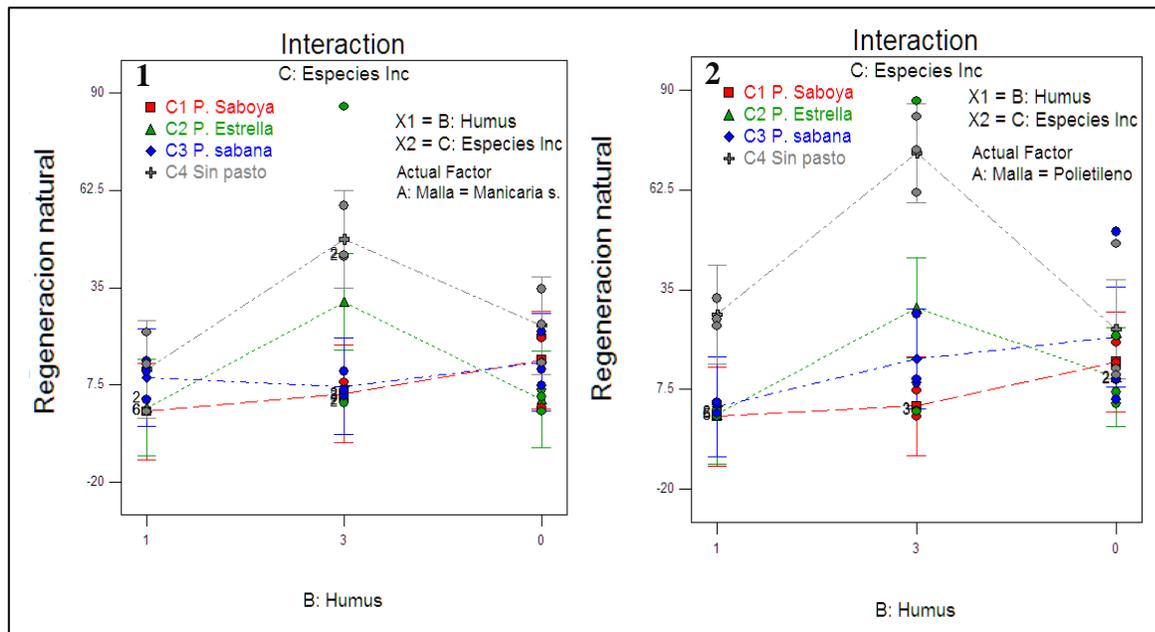


Figura 33. Gráfica 1- modelo de la relación humus, especies incorporadas bajo factor mallas (nivel *Manicaria saccifera*) en el desarrollo del % de la regeneración natural. Gráfica 2. -

modelo de la relación humus, especies incorporadas bajo factor mallas (nivel polietileno) en el desarrollo del % de la regeneración natural.

#### 4.5.3 ANOVA para el modelo factorial 3f1, interacción humus sólido, mallas y especies incorporadas en respuesta al % de desarrollo de la cobertura vegetal incorporada.

Los resultados para el análisis de varianza ANOVA (Tabla 14), del modelo 3f1, (humus sólido, mallas y Especies incorporadas) aplicado a la respuesta de % de desarrollo de cobertura vegetal incorporada, generó el valor del modelo F de 9,53 lo que sugiere que el modelo es significativo, ya que solo hay una probabilidad del 0,01% de que un "Valor F de modelo" tan grande pueda ocurrir debido al ruido. Los valores de "Prob> F" inferiores a 0.0500 indican que los términos del modelo son significativos. En este caso B, C, AC, BC tiene términos significativos del modelo.

Tabla 14. ANOVA para el modelo factorial Humus sólido, Mallas y Especies incorporadas, bajo la respuesta de % de desarrollo de cobertura vegetal incorporada.

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F Value	p-value Prob > F	
Model	19262.14	17	1133.07	5.77	< 0.0001	significant
A-Malla	320.31	1	320.31	1.63	0.2098	
B-Humus	8677.00	2	4338.50	22.08	< 0.0001	
C-Gramineas	5314.46	2	2657.23	13.53	< 0.0001	
AB	231.80	2	115.90	0.59	0.5596	
AC	1494.14	2	747.07	3.80	0.0318	
BC	1465.84	4	366.46	1.87	0.1378	
ABC	1758.58	4	439.64	2.24	0.0842	
Pure Error	7072.80	36	196.47			
Cor Total	26334.94	53				

Resultado del análisis de varianza para el modelo factorial humus sólido, mallas y especies incorporadas, bajo la respuesta de % de desarrollo de cobertura vegetal incorporada.

**4.5.3.1. Análisis para el modelo gráfico; humus sólido, mallas y especies incorporadas (nivel pasto saboya), bajo la respuesta de % de desarrollo de cobertura de gramíneas incorporadas.**

En la *figura 34* se puede apreciar la Gráfica modelo de la interacción de tres factores en relación a las especies incorporadas (nivel pasto saboya). Esta especie presenta el rendimiento más alto de desarrollo de cobertura de gramíneas incorporadas (CGI) en el factor A (mallas), con valores de 59,93% para *Manicaria saccifera* y 74,58 para polietileno con la aplicación del nivel B2 (3 kilogramos de humus), seguido de la aplicación B1 (1 kilogramo de Humus). Donde la aplicación B2 (cero kilogramos de humus) que hace referencia al humus líquido y EM fijados en todas las unidades experimentales de este modelo, presenta el desarrollo más bajo de cobertura en pasto Saboya, por lo cual el desarrollo de esta gramínea es directamente proporcional a la cantidad de humus sólido aplicada. La aplicación de 3 kilogramos de humus en la malla de polietileno presenta una mayor CGI que la malla de *Manicaria saccifera*. En la aplicación de 1 kilogramo no hay diferencias significativas entre las mallas por lo cual con el nivel B1 el desarrollo de cobertura es similar para ambas, resaltando que con el nivel de factor B3 (0 kilogramos de humus sólido) las plantas que se encuentran en la malla de polietileno presentan mayor susceptibilidad y un desarrollo menor al de las plantas que se encuentran en la malla de *Manicaria saccifera*.

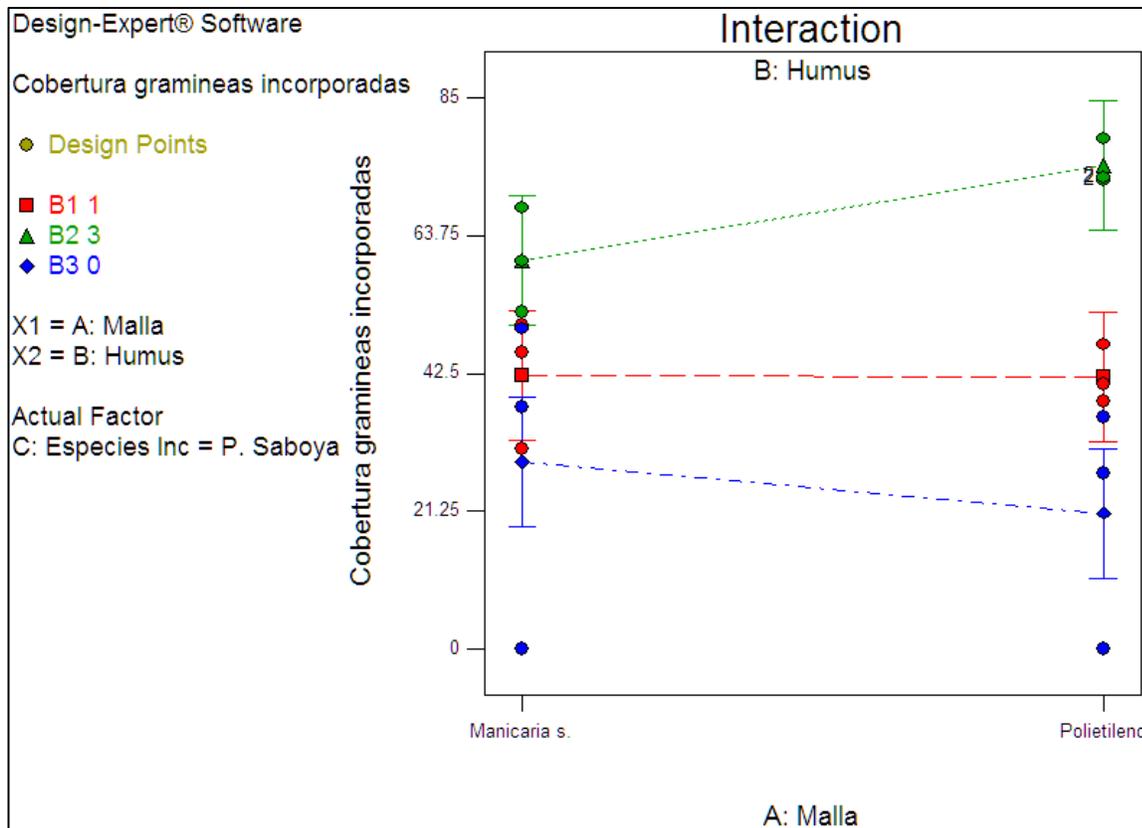


Figura 34. Gráfica modelo de la interacción de tres factores; Humus, mallas, especies incorporadas (Nivel de factor pasto saboya), en relación al % de desarrollo de la cobertura de gramíneas incorporadas.

**4.5.3.2. Análisis para el modelo gráfico; humus sólido, mallas y especies incorporadas (nivel pasto estrella), bajo la respuesta de % de desarrollo de cobertura de gramíneas incorporadas.**

En la figura 35 se analiza la gráfica modelo de la interacción de tres factores; humus, mallas, especies incorporadas (nivel de factor pasto estrella), en relación al % de desarrollo de la cobertura de gramíneas incorporadas (CGI). Al analizar el comportamiento de la cobertura del pasto estrella en relación con el factor A (mallas) y factor B (humus), se determina que la aplicación del nivel B2 (3 kilogramos de humus) genera el rendimiento más alto en (CGI) con valores de 38,04% y 39,02% donde no se evidencia influencia de los dos tipos de mallas ya que

no se presentan diferencias significativas en este nivel de factor B2. La aplicación del nivel B3 (0 kilogramo de humus) genera un % de cobertura superior al del nivel B1, siendo así que se presentan valores de CGI de 23,33% y 23,78% sin diferencias significativas entre las mallas. El nivel de factor B1 (1 kg de humus) presentó la relación de porcentajes más baja en CGI para la especie pasto estrella, con valores de 15,15% para la malla de *Manicaria saccifera* y 22,54% para la de polietileno.

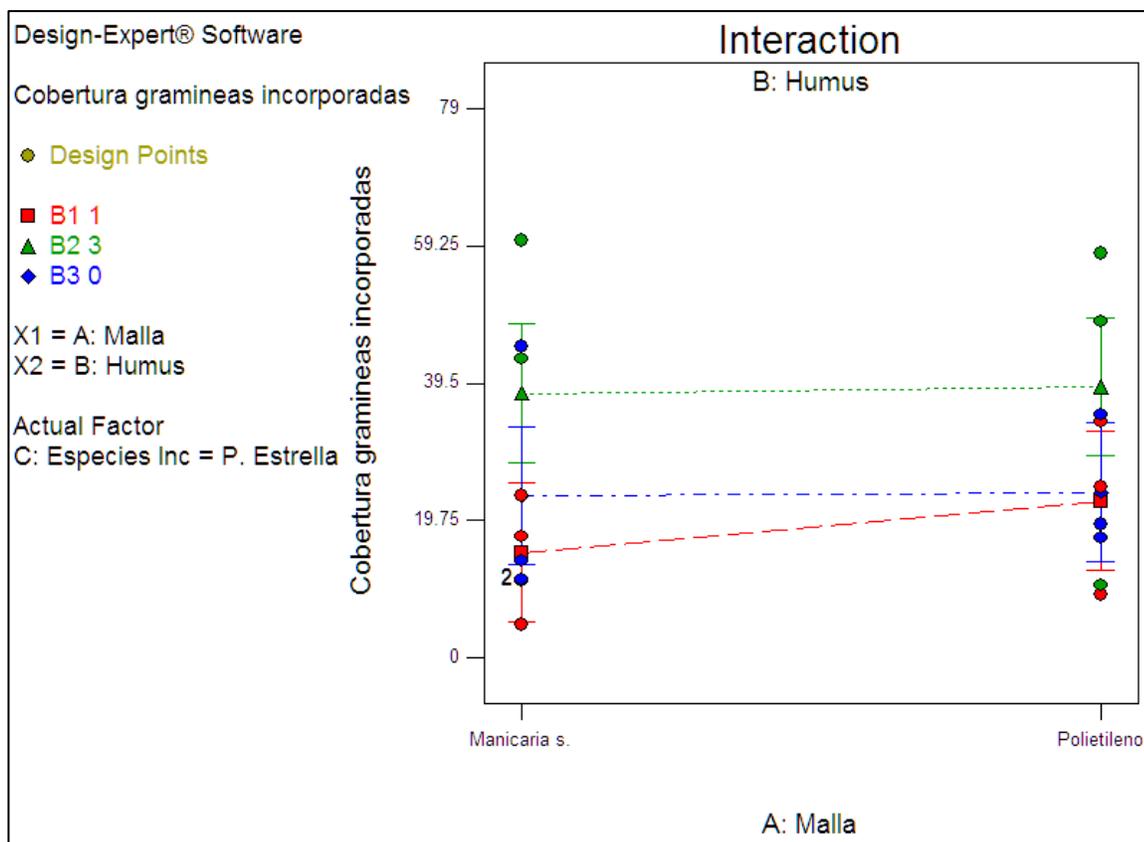


Figura 35. Gráfica modelo de la interacción de tres factores; humus, mallas, especies incorporadas (nivel de factor pasto estrella), en relación al % de desarrollo de la cobertura de gramíneas incorporadas.

**4.5.3.3. Análisis para el modelo gráfico; humus sólido, mallas y especies incorporadas (nivel pasto Sabana), bajo la respuesta de % de desarrollo de cobertura de gramíneas incorporadas.**

En la *figura 36* se analiza la gráfica modelo de la interacción de tres factores; humus, mallas, especies incorporadas (nivel de factor pasto sabana), en relación al % de desarrollo de la cobertura de gramíneas incorporadas (CGI). La cobertura del pasto sabana con la aplicación del nivel B2 (3 kilogramos de humus) en la malla de *Manicaria saccifera* (63,97%) presenta una efectividad tres veces mayor a la malla de polietileno (17,98%). La aplicación del Nivel B1 (1 kilogramo de Humus) presenta porcentajes de (13,89% y 6,67%) en CGI, por debajo de los porcentajes del nivel B3 (0 kilogramos de humus) el cual presenta valores de 16,33% en la malla de *Manicaria saccifera* y 10,31% en la de polietileno, por lo cual no se presentan diferencias significativas entre las mallas. En este modelo la cobertura de pasto sabana tuvo los rendimientos más bajos en la malla de polietileno en todos los niveles de factor B (Humus); mientras que la malla de *Manicaria saccifera* por el contrario, contribuyo de manera notable, sobre todo en el nivel B2 al desarrollo de la CGI del pasto sabana.

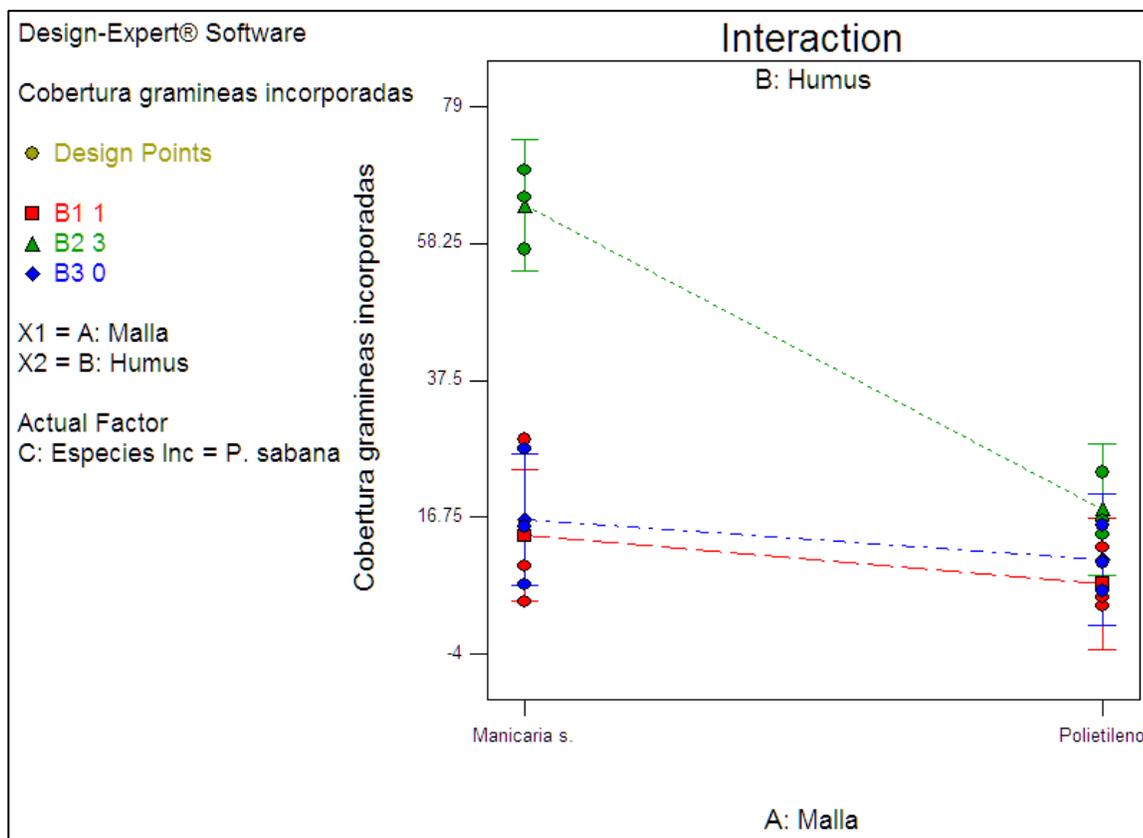


Figura 36. Gráfica modelo de la interacción de tres factores; Humus, mallas, especies incorporadas (Nivel de factor pasto Sabana), en relación al % de desarrollo de la cobertura de gramíneas incorporadas.

**4.5.3.4. Análisis para el modelo gráfico; humus sólido, mallas y especies incorporadas (promedio - Average), bajo la respuesta de % de desarrollo de cobertura de gramíneas incorporadas.**

En la figura 37 se muestra la gráfica modelo de interacción de tres factores; humus, mallas, especies incorporadas (nivel de factor Promedio), en relación al % de desarrollo de la cobertura de gramíneas incorporadas (CGI). Donde se evidencia que el mayor rendimiento en CGI promedio se asocia al Factor B (Humus) en el nivel B2 (3 kilogramos de humus) con las mallas de *Manicaria saccifera*. El nivel de factor B1 (1 kilogramo de humus) no presenta diferencias significativas con el nivel de factor B3 (0 kilogramos de humus), aunque este último presenta un

mejor rendimiento de CGI para las especies incorporadas. Los dos tipos de mallas no presentan diferencias significativas en los niveles de factor B1 y B3.

En el Análisis de campo por observación directa; se pudo evidenciar de manera significativa que las plantas de pasto Saboya tenían un mayor desarrollo en las mallas de polietileno que en las mallas de *Manicaria saccifera*, debido a que, en las primeras semanas, los estolones incorporados tenían más facilidad de salir por las aberturas de la malla de polietileno que en las mallas de *Manicaria saccifera*, lo que favoreció a que tuvieran un mejor desarrollo al poder aprovechar la luz.

Pasto sabana: el pasto sabana tuvo un mejor desarrollo en las mallas de *Manicaria saccifera*, debido a que estas conservaban más la humedad que las mallas de polietileno y brindaban mayor protección en temporada más seca. El pasto sabana se esparció rápidamente en el interior de los dos tipos de malla a diferencia de los demás pastos; pero que, en la malla de polietileno, aunque algunas plantas lograron desarrollarse; muchas se vieron reducidas en la temporada seca.

Pasto estrella: aunque su rendimiento inicial en la temporada de mayor humedad fue excelente; ya que presenta una capacidad de propagarse muy rápido; pero que lamentablemente no tolera la sequía. De tal manera que, aunque logra propagarse inclusive por fuera de las mallas, su desarrollo se vio limitado en las últimas semanas donde se evidenció mortalidad significativa que favoreció al desarrollo de la regeneración natural. También se pudo observar que en las semanas que había precipitaciones, el pasto tenía la capacidad de recuperarse.

El mejor rendimiento en cobertura vegetal de las gramíneas incorporadas lo obtuvo el pasto saboya. Seguido el pasto sabana, y por último el pasto estrella, aunque este último fue el que más se propagó en el área de estudio.

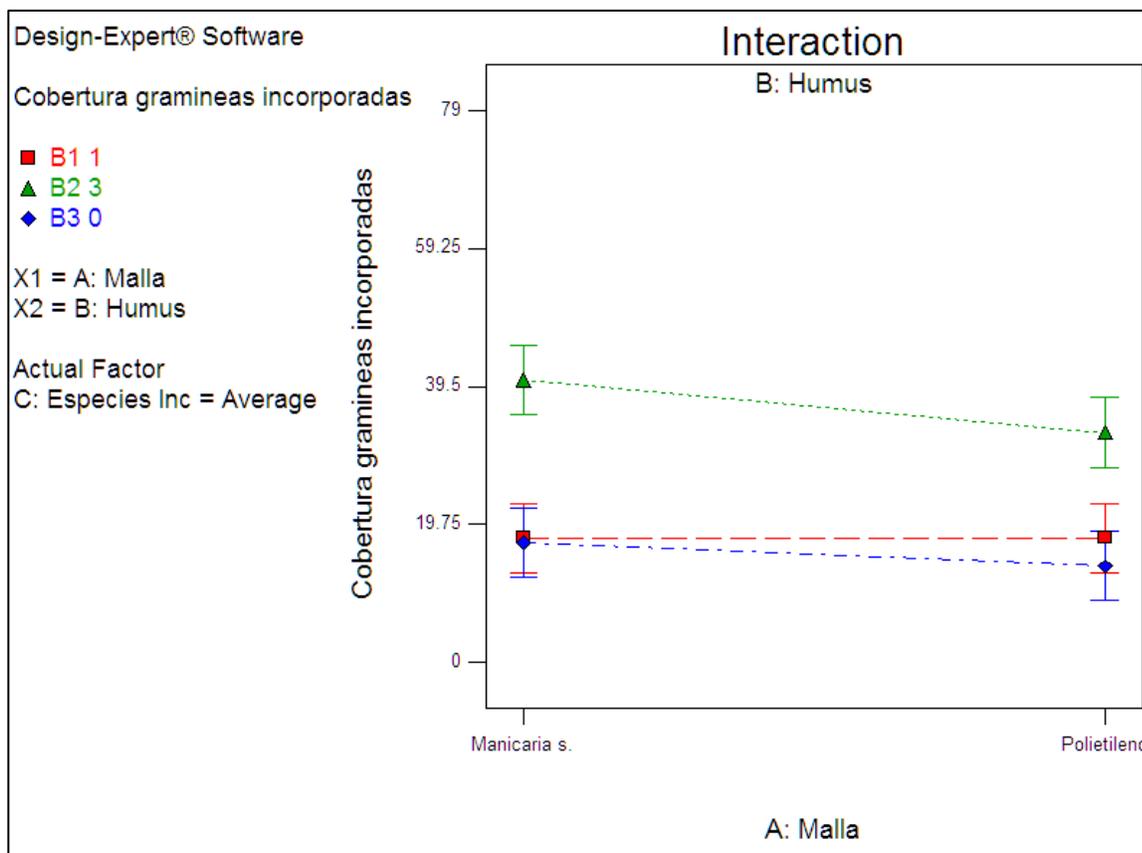


Figura 37. Gráfica modelo de la interacción de tres factores; Humus, mallas, especies incorporadas (Nivel de factor promedio), en relación al % de desarrollo de la cobertura de gramíneas incorporadas.

#### 4.5.4 ANOVA para el modelo factorial 3f1, interacción humus sólido, mallas y especies incorporadas en respuesta al % de desarrollo de la cobertura vegetal total.

Los resultados para el análisis de varianza ANOVA (Tabla 15), del modelo 3f1, (humus sólido, mallas y Especies incorporadas) aplicado a la respuesta de % de desarrollo de cobertura vegetal Total, género el valor del modelo F de 4,41 lo que sugiere que el modelo es significativo, ya que solo hay una probabilidad del 0,01% de que un "Valor F de modelo" tan grande pueda ocurrir debido al ruido. Los valores de "Prob> F" inferiores a 0.0500 indican que los términos del modelo son significativos. En este caso B, C, tiene términos significativos del modelo.

Tabla 15. ANOVA para el modelo factorial humus sólido, mallas y especies incorporadas, bajo la respuesta de % de desarrollo de cobertura vegetal total.

<b>Source</b>	<b>Sum of Squares</b>	<b>df</b>	<b>Mean Square</b>	<b>F Value</b>	<b>p-value Prob &gt; F</b>	
Model	29188.34	23	1269.06	4.41	< 0.0001	significant
<i>A-Malla</i>	<i>14.77</i>	<i>1</i>	<i>14.77</i>	<i>0.051</i>	<i>0.8216</i>	
<i>B-Humus</i>	<i>20534.78</i>	<i>2</i>	<i>10267.39</i>	<i>35.72</i>	<i>&lt; 0.0001</i>	
<i>C-Especies Inc</i>	<i>3408.70</i>	<i>3</i>	<i>1136.23</i>	<i>3.95</i>	<i>0.0134</i>	
<i>AB</i>	<i>18.09</i>	<i>2</i>	<i>9.05</i>	<i>0.031</i>	<i>0.9690</i>	
<i>AC</i>	<i>2118.79</i>	<i>3</i>	<i>706.26</i>	<i>2.46</i>	<i>0.0743</i>	
<i>BC</i>	<i>1130.17</i>	<i>6</i>	<i>188.36</i>	<i>0.66</i>	<i>0.6857</i>	
<i>ABC</i>	<i>1963.03</i>	<i>6</i>	<i>327.17</i>	<i>1.14</i>	<i>0.3550</i>	
Pure Error	13798.65	48	287.47			
Cor Total	42986.99	71				

Datos de Análisis de varianza para el modelo factorial humus sólido, mallas y especies incorporadas, bajo la respuesta de % de desarrollo de cobertura vegetal total

**4.5.4.1. Análisis para el modelo gráfico; humus sólido, mallas y especies incorporadas (nivel sin pasto), bajo la respuesta de % de desarrollo de cobertura vegetal total.**

En la figura 38 se observa la relación de mallas, humus bajo el factor especies incorporadas (nivel sin pasto) en el desarrollo del porcentaje de cobertura vegetal total. El cual corresponde a los resultados obtenidos en la gráfica modelo de porcentaje regeneración natural de la *figura 28*. Debido a que este nivel al no tener especies incorporadas, genera solo valores para la regeneración natural lo que es equivalente a la cobertura vegetal total.

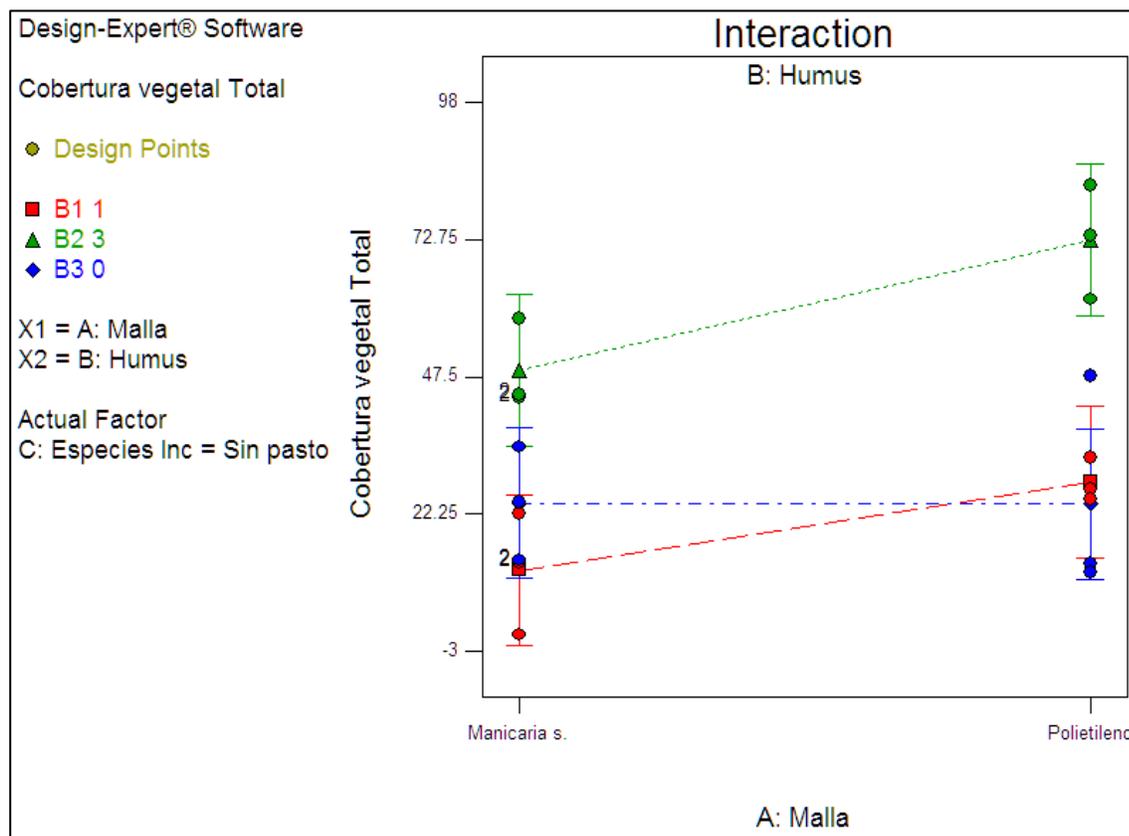


Figura 38. Gráfica- modelo de la relación de mallas, Humus bajo el factor especies incorporadas (nivel Pasto saboya) en el % de desarrollo de Cobertura vegetal total.

En la figura 39 se muestra la Gráfica modelo factorial con respuesta a la cobertura vegetal total, de la relación mallas, Humus bajo el factor especies incorporadas, (nivel pasto saboya). Se evidencia que el factor B (humus sólido) es el que determina en mayor medida el desarrollo de la cobertura vegetal total (CVT), en el nivel de pasto Saboya. Donde los porcentajes más altos en CVT se deben al nivel B2 (3kg) con valores de 64,91% para la malla *Manicaria saccifera* y 77,45% para polietileno. Los niveles de aplicación B3 (cero humus) y B1 (1 kg), generan un valor igual en el % de CVT en la malla de *Manicaria saccifera*, por lo cual se deduce que la aplicación de 1 kilogramo no genera ningún tipo de efecto. En la malla de polietileno se

obtuvieron valores de 42,03% para el nivel B1, y 36,02% para el nivel B3, donde no se evidencia diferencias significativas entre aplicar o no aplicar 1 kg de humus sólido.

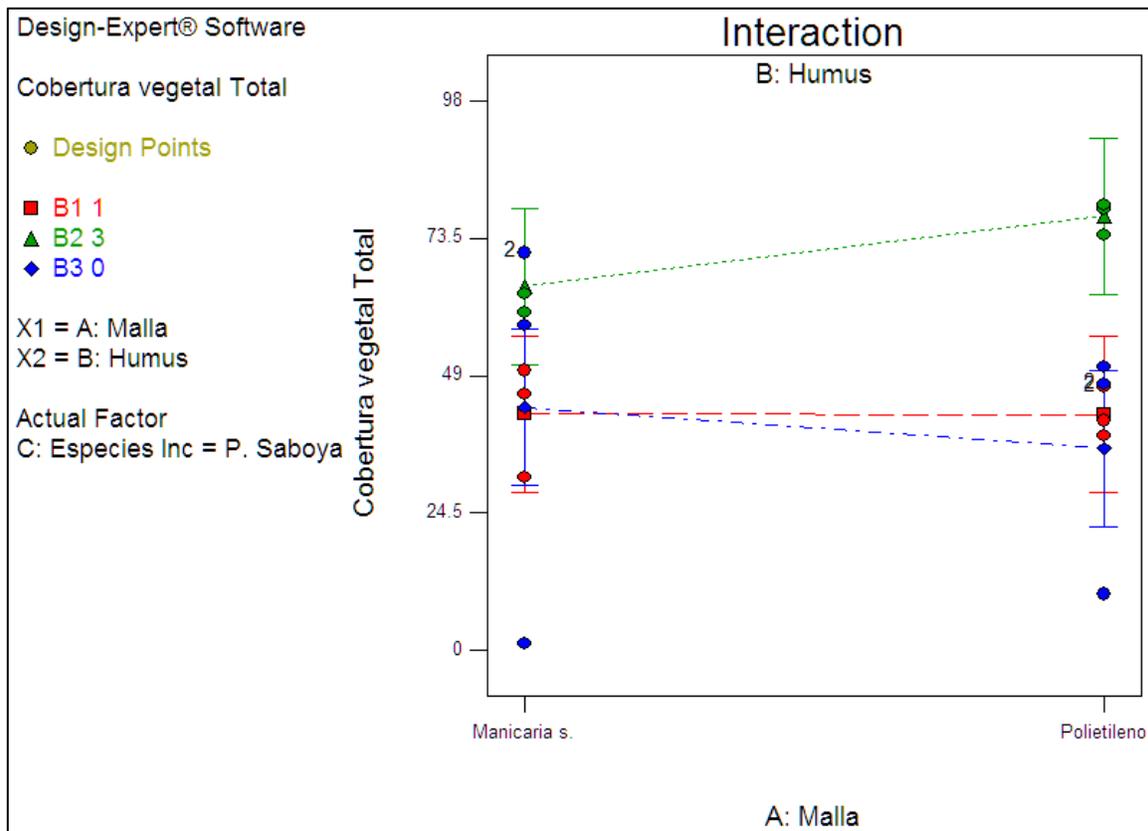


Figura 39. Gráfica- modelo de la relación: mallas, humus bajo el factor especies incorporadas, (nivel pasto saboya) en el % de desarrollo de la cobertura vegetal total.

**4.5.4.2. Análisis para el modelo gráfico; humus sólido, mallas y especies incorporadas (nivel pasto estrella), bajo la respuesta de % de desarrollo de cobertura vegetal total.**

En la figura 40 se muestra la gráfica modelo: cobertura vegetal total (CVT) de la relación mallas, humus bajo el factor especies incorporadas, (nivel pasto estrella), donde se evidencia que no existen diferencias significativas en los % de CVT entre los dos tipos de mallas para todos los niveles del factor B (humus sólido). El nivel de factor B2 (3 kg humus sólido), es el que genera el mayor porcentaje de la cobertura total con presencia de la especie pasto estrella, con valores

de 69,02% para los dos tipos de malla. El nivel B3 (Cero kg de humus) presenta porcentajes superiores a los del nivel B1 (1kg) con valores de 26,72 para la malla de *Manicaria saccifera* y 34,67% para la de polietileno. El nivel B1 (1kg de humus s.) presenta los porcentajes más bajos de cobertura con valores de 16,27 para *Manicaria saccifera* y 23,255 para polietileno.

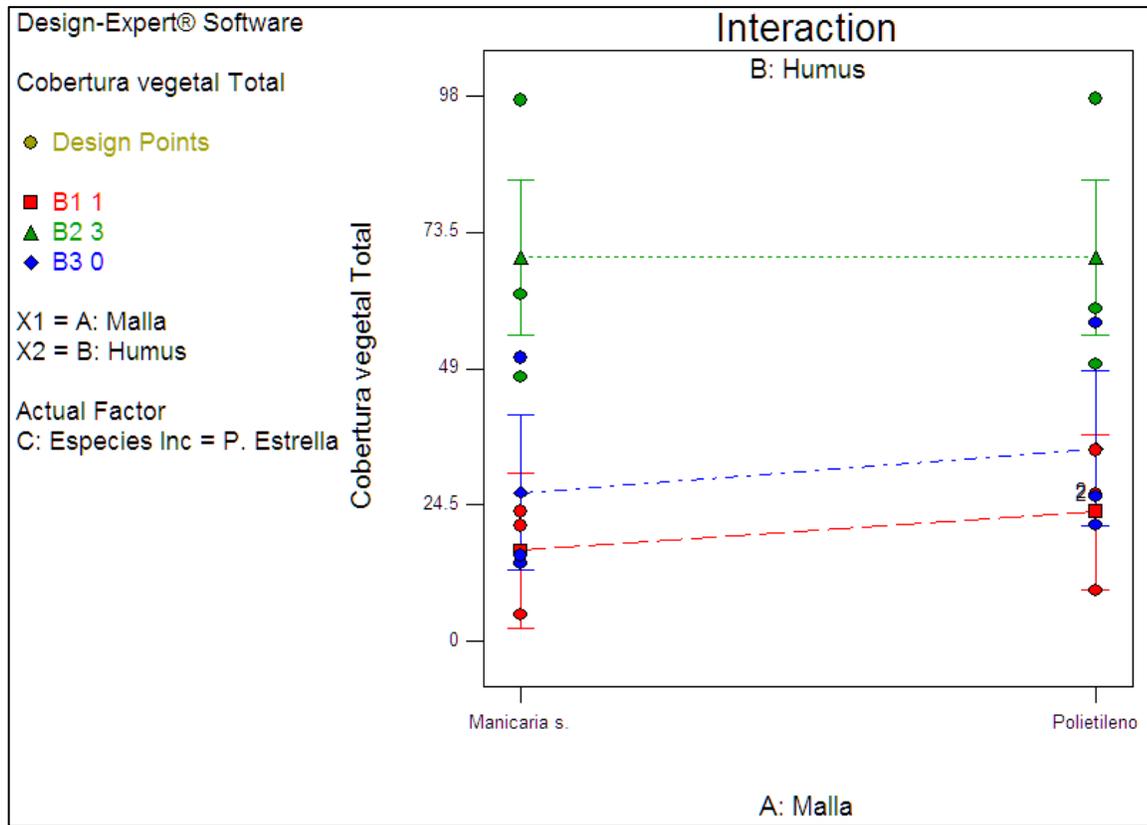


Figura 40. Gráfica- modelo de la relación de mallas, humus bajo el factor especies incorporadas (nivel Pasto estrella) en el desarrollo del % de Cobertura vegetal total.

**4.5.4.3. Análisis para el modelo gráfico; humus sólido, mallas y especies incorporadas (nivel pasto sabana), bajo la respuesta de % de desarrollo de cobertura vegetal total.**

En la figura 41 se muestra la gráfica modelo: cobertura vegetal total de la relación mallas, humus bajo el factor especies incorporadas, (nivel pasto sabana), donde se evidencia diferencias significativas entre los dos tipos de mallas en el factor de nivel B2 (3 kg de humus) en presencia de pasto sabana con valores de 71,10% para *Manicaria saccifera* y 33. 95% para polietileno. El

nivel B3 (0 kg de humus) presenta valores en % de CVT superiores a los del nivel B1 (1kg de humus) en los dos tipos de mallas con valores de 30,26 % para *Manicaria saccifera* y 32,32% para polietileno, en las cuales no se presentó diferencias significativas. El nivel B1 presento los porcentajes más bajos en % CVT con valores de 23,4%8 para *Manicaria saccifera* y 7,9%3 para polietileno. Se determina que las mallas de *Manicaria saccifera* en relación con el pasto sabana genera rendimientos en % de CVT superiores al polietileno.

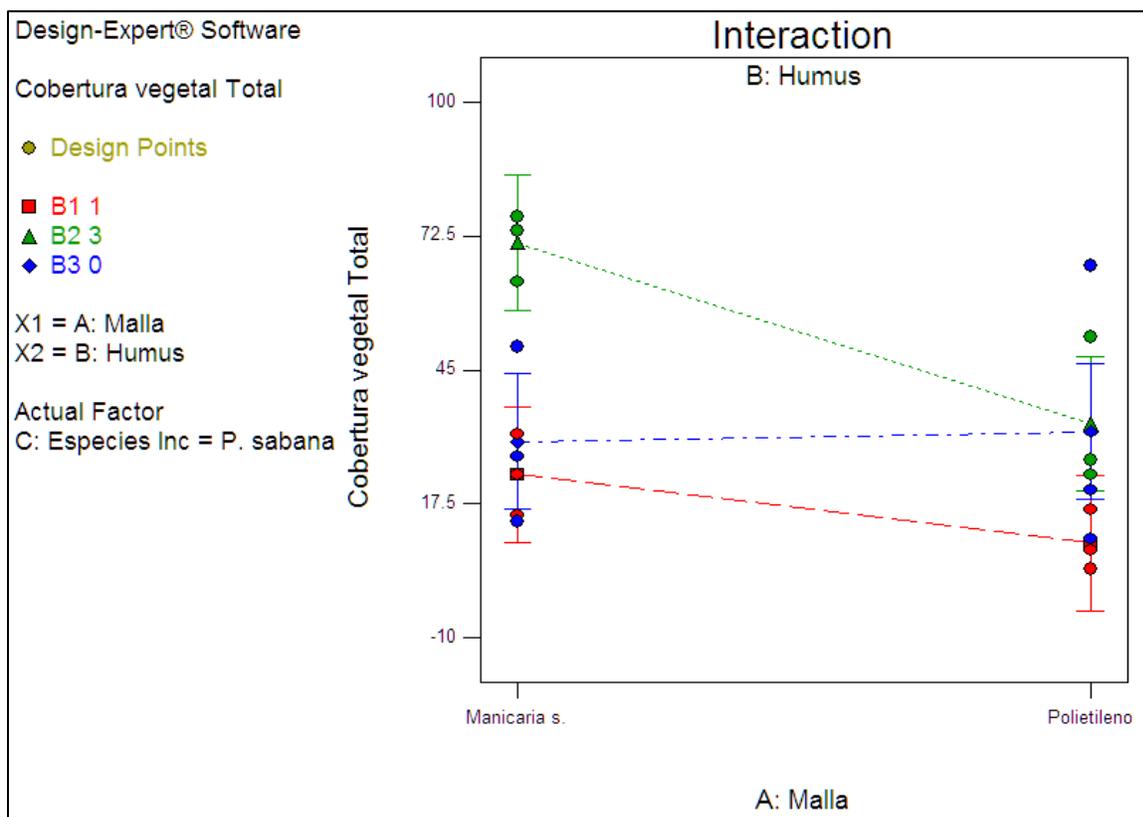


Figura 41. Gráfica- modelo de la relación de mallas, humus bajo el factor especies incorporadas (nivel Pasto sabana) en el % desarrollo de la Cobertura vegetal total

**4.5.4.4. Análisis para el modelo gráfico, relación humus sólido, especies incorporadas bajo factor mallas (nivel *Manicaria saccifera* y polietileno) en el % de desarrollo de la cobertura vegetal total**

En la figura 42 se observa la relación para % de cobertura vegetal total: humus sólido, especies incorporadas y mallas bajo los niveles de factor *Manicaria saccifera* (gráfica 1) y Polietileno (gráfica 2). Al analizar estos dos niveles de forma simultánea, se determina que, los porcentajes más altos considerando el factor B (aplicación de humus) lo tiene el nivel (3kg de humus). Para los dos tipos de mallas se presentan diferencias significativas en la dinámica que tienen las especies para desarrollarse, debido a que la especie C3 (sabana) presenta los % más altos de CVT en todos los niveles de aplicación de humus sólido (1, 3, 0) en relación a la malla de *Manicaria saccifera* 23,48%, 71,10% y 30,26% respectivamente. En cambio, para la malla de polietileno la especie que presenta los porcentajes más altos en CVT es la especie C1 (Saboya) en todos los niveles de aplicación de humus sólido (1, 3, 0) con valores de % CVT de 42,03%, 77,45% y 36,02%. El segundo lugar en % de cobertura vegetal en la malla de *Manicaria saccifera* lo tiene la especie C1(saboya) con porcentajes de 42,19%, 63, 59%

y 43,33% en relación a los niveles del factor B (humus), mientras que el segundo lugar en la malla de polietileno se encuentra en el nivel C4 (sin pasto) es decir la regeneración natural pura y C2 (pasto estrella), con valores para la C4 de 28,138, 72,65 y 24,09 y valores para C2 de 23,25% 69,02%, 34,67%. En la malla *Manicaria saccifera* el tercer lugar en % CVT lo tiene el C2 (pasto estrella) con valores de 20,78%, 69,02% y 26,72%, y el último lugar lo ocupa el nivel C4 (sin pasto) para esta malla con valores de 11,90%, 48,68% y 24,27%. Para la malla de polietileno el último lugar es ocupado por C3 (pasto sabana) con valores de 9,41% 33,95% y 32,32%.

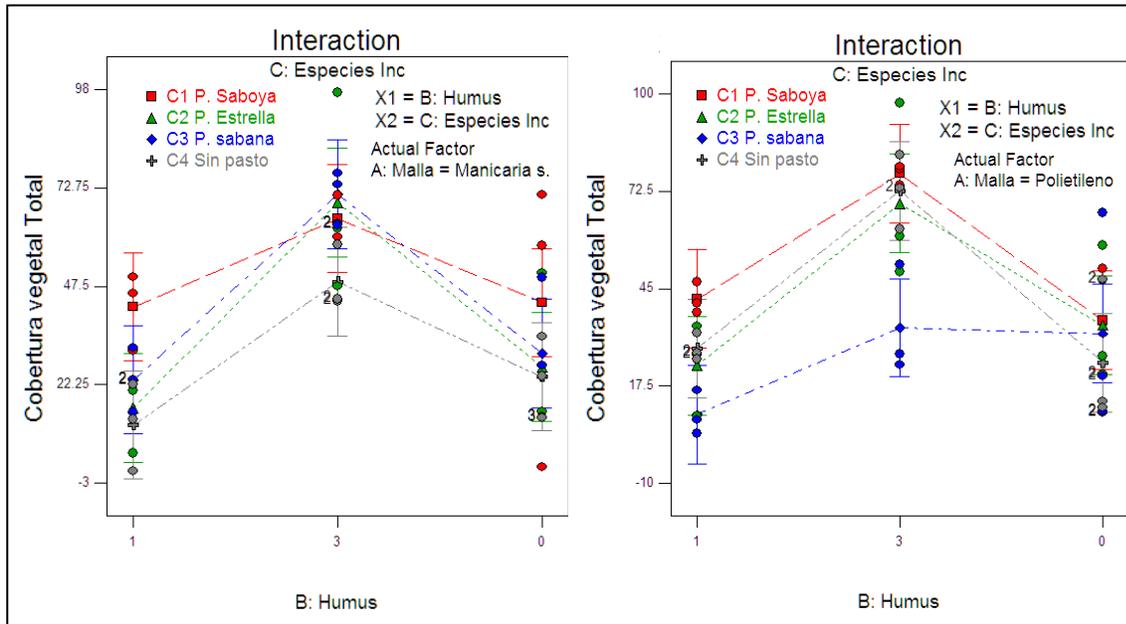


Figura 42. Gráfica 1- modelo de la relación humus, especies incorporadas bajo factor mallas (nivel *Manicaria saccifera*) en el desarrollo del % de cobertura vegetal total. Gráfica 2. - modelo de la relación humus, especies incorporadas bajo factor mallas (nivel Polietileno) en el desarrollo del % cobertura vegetal total.

**4.5.4.5. Comparación de modelos gráficos, sobre las variables de respuesta porcentaje de la regeneración natural; porcentaje de gramíneas incorporadas y cobertura vegetal total.**

La figura 43 permite ver 6 modelos gráficos correspondientes a regeneración natural (RN), cobertura de gramíneas (CGI) y cobertura vegetal total (CVT), bajo el factor A (mallas), en los niveles de *Manicaria saccifera* y polietileno, relacionado con el factor B (humus) con 3 niveles (1, 3, 0) que representan los valores en kilogramos de humus sólido y el factor C (especies incorporadas) con los niveles (Pasto saboya, Pasto estrella, pasto sabana y sin pasto).

La regeneración natural está condicionada por el factor C. En la malla de *Manicaria saccifera* se puede observar que los valores altos de una especie incorporada, representan valores mínimos de la regeneración natural y viceversa. Especies como pasto sabana y pasto saboya que presentaron los valores más altos en cobertura de gramíneas incorporadas generaron los valores

más bajos para el desarrollo de la regeneración natural; por lo cual la CVT de estas especies tiene aportes mínimos de RN.

El pasto estrella cuyo rendimiento se vio limitado en cobertura por la temporada seca; permitió que la regeneración natural se desarrollara en los espacios libres; de esta manera logro obtener valores superiores al pasto Saboya en CVT, con una aplicación de humus de 3 kilogramos.

El nivel de factor C4 (sin pasto), permitió que la regeneración natural no tuviera obstáculos por competencia en su desarrollo, pero que dependía exclusivamente de las especies del área de influencia y factores como el viento y la fauna en el transporte y dispersión de semillas.

El nivel de factor 0 kg de humus generó rendimientos por encima de la aplicación de 1 kilogramo, en el desarrollo de la regeneración natural. En la malla de polietileno el desarrollo del pasto sabana se vio limitado en la CGI, lo que supondría que aumentaría la regeneración natural; pero no fue así, razón por la cual la CVT no fue representativa en estas unidades de tratamientos.

El nivel C4 presento el valor más alto en RN; pero cero en la CGI debido a que no tenía presencia de especies incorporadas y por ende no pudo sumar con la CVG; aun así los valores fueron representativos en la CVT con aplicación de 3 kilogramos de humus; compitiendo con el porcentaje que generaba la CVT del pasto saboya.

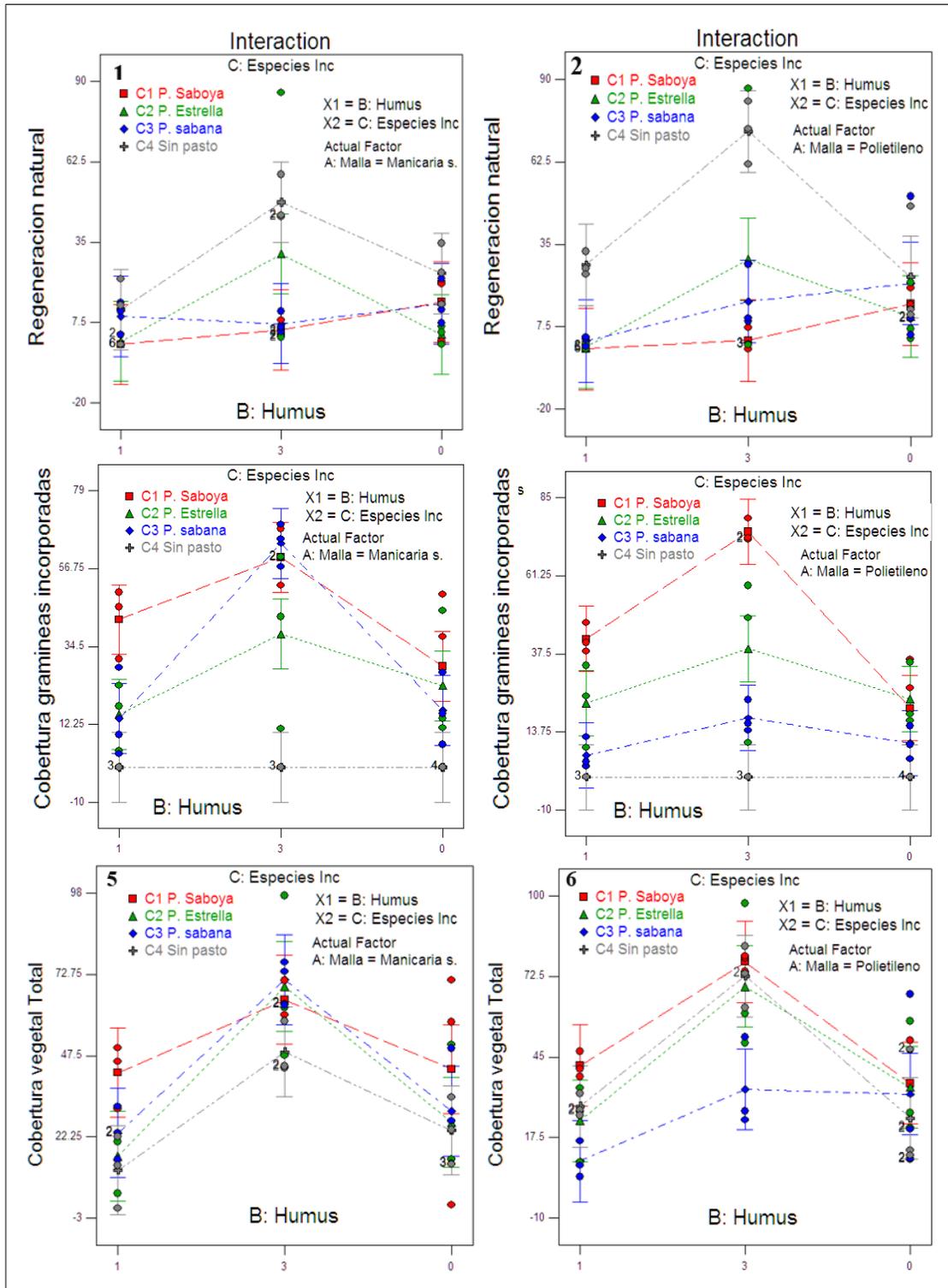


Figura 43. Comparación de modelos gráficos de regeneración natural, cobertura de gramíneas y cobertura total,

#### 4.6 Composición florística: (Abundancia, Frecuencia, Dominancia, IVI).

se identificaron 20 especies de la regeneración natural en las 108 unidades experimentales; a las cuales se les determinó su abundancia, dominancia y frecuencia (Tabla 16), con la ayuda del programa analizador de imágenes ImageJ.

Tabla 16. Índice de valor de importancia (IVI) de la regeneración natural

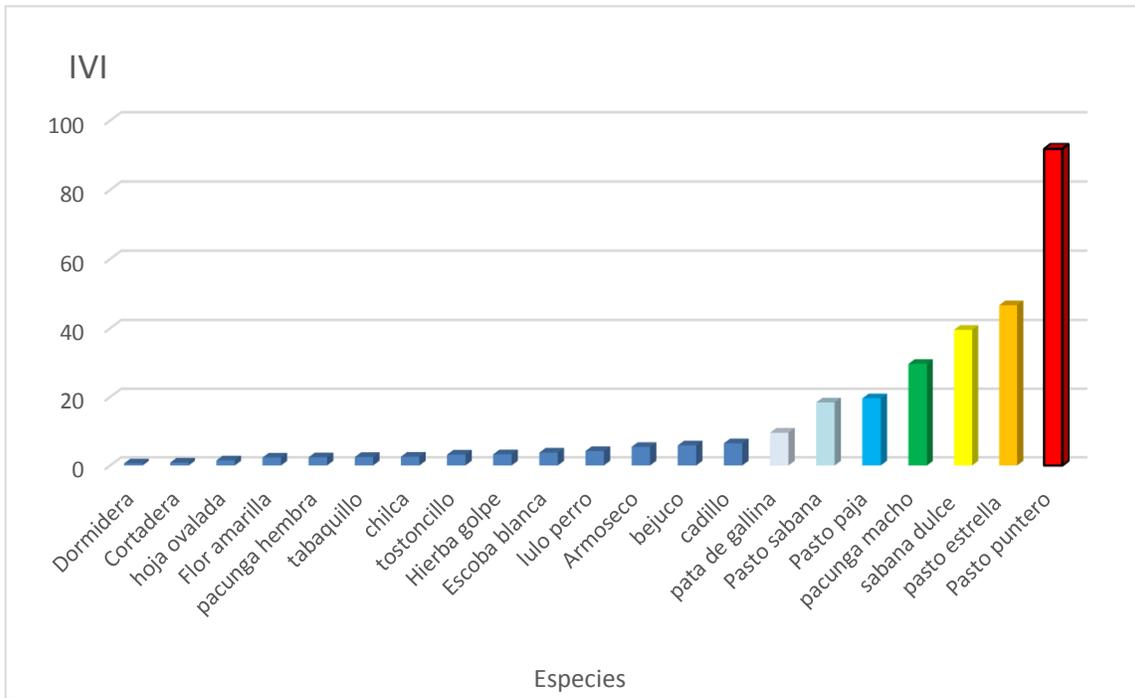
N°	Nombre Vulgar		Abundancia		Frecuencia		Dominancia		IVI
			Aa	Ar%	Fa	Fr%	Da	Dr%	
1	Armooseco	<i>Indigofera hendecaphylla</i>	17	1,69	6,863	3,07	228,7	0,661	5,421
2	bejuco	<i>Calopogonium mucunoides</i>	11	1,093	4,902	2,193	892,3	2,577	5,863
3	cadillo	<i>Hyptis capitata</i>	15	1,491	9,804	4,386	205,1	0,592	6,469
4	chilca	<i>Chilca</i>	5	0,497	2,941	1,316	260,9	0,753	2,566
5	Cortadera	<i>Scleria pterota</i>	2	0,199	0,98	0,439	69,72	0,201	0,839
6	Dormidera	<i>Mimosa pudica</i>	1	0,099	0,98	0,439	18,97	0,055	0,593
7	Escoba blanca	<i>Melochia lupulina</i>	7	0,696	1,961	0,877	755,1	2,18	3,753
8	Flor amarilla	<i>Synedrella nodiflora</i>	6	0,596	2,941	1,316	138	0,399	2,311
9	Hierba golpe		7	0,696	3,922	1,754	280,8	0,811	3,261
10	Desmodio	<i>Desmodium heteocarpum</i>	3	0,298	1,961	0,877	108,1	0,312	1,488
11	lulo perro	<i>Solanum pseudolulo</i>	8	0,795	4,902	2,193	420,9	1,215	4,204
12	pacunga hembra	<i>Bidens pilosa</i>	5	0,497	2,941	1,316	198	0,572	2,385
13	pacunga macho	<i>Ambrosia artemisiifolia</i>	132	13,12	14,71	6,579	3450	9,963	29,66
14	pasto estrella	<i>Cynodon plectostachium</i>	148	14,71	39,22	17,54	4974	14,36	46,62
15	Pasto paja	<i>Digitaria sanguinalis</i>	65	6,461	21,57	9,649	1210	3,493	19,6
16	Pasto puntero	<i>Hyparrhenia rufa</i>	269	26,74	53,92	24,12	14185	40,96	91,83
17	Pasto sabana	<i>Paspalum notatum</i>	95	9,443	10,78	4,825	1430	4,129	18,4
18	pata de gallina	<i>Digitaria horizontalis</i>	57	5,666	5,882	2,632	441,5	1,275	9,572
19	sabana dulce	<i>Commelina diffusa</i>	141	14,02	25,49	11,4	4883	14,1	39,52
20	tabaquillo		4	0,398	2,941	1,316	261,8	0,756	2,47
21	tostoncillo	<i>Croton hirtus L'Hér</i>	8	0,795	3,922	1,754	217,4	0,628	3,177
<b>Total</b>			<b>1006</b>	<b>100</b>	<b>223,5</b>	<b>100</b>	<b>34629</b>	<b>100</b>	<b>300</b>

Datos de abundancia, dominancia y frecuencia para determinar el índice de valor de importancia (IVI)

#### 4.6 Peso ecológico de la regeneración natural de las especies encontradas en las unidades experimentales de la zona objeto de estudio.

La figura 44 muestra la gráfica del índice de valor de importancia de las especies de regeneración natural encontradas en las unidades experimentales objeto de estudio. Allí se puede observar la identificación de 20 especies; de las cuales la que tiene el mayor peso ecológico con un 91,82 % es el pasto puntero, siendo el más abundante, rápido en su propagación y el que más

dominio generó con su cobertura vegetal en las unidades de muestreo; esta especie tiene características que la hacen prioritaria para la restauración de la cobertura de suelos de ladera. Seguida de pasto estrella, sabana dulce, pacunga macho, las cuales, aunque tienen pesos ecológicos por encima de las demás especies, presentan limitaciones en las temporadas secas.



. *Figura 44.* Gráfica del índice de valor de importancia de las especies de regeneración natural encontradas en las unidades experimentales objeto de estudio.

El desarrollo que tuvieron tanto las especies incorporadas como la regeneración natural se considera satisfactorio, ya que más que obtener información relevante para el desarrollo de la presente investigación, se logró rehabilitar una zona de ladera en la cual prevalecía la erosión permanente con ausencia de cobertura vegetal, y suelos deteriorados; el evidenciar que 20 especies de la regeneración natural lograron establecerse y generar un dominio por encima de la cobertura vegetal incorporada, genera un valor agregado significativo; puesto que se cuenta con

una especie que no estaba incluida en el inicio de la investigación, como lo es el pasto puntero, el cual logro los porcentajes más destacados en abundancia, dominancia y frecuencia, aprovechando tanto las áreas de las mallas, como los lugares en que no había ningún tipo de insumo orgánico para desarrollarse como se puede ver en la figura 45. Donde se muestra de manera general la dinámica de la zona de estudio en la rehabilitación ecológica.



*Figura 45.* Secuencia antes, durante y después de la dinámica que sufrió la zona objeto de estudio para lograr la rehabilitación ecológica, donde el pasto puntero fue la especie que más contribuyó a este logro.

## Conclusiones

Esta investigación generó los siguientes aportes científicos y nuevos conocimientos en:

1. El uso de la bráctea de la *Manicaria saccifera*, como geomalla orgánica para la rehabilitación de suelos de ladera con coberturas incorporadas y regeneración natural.
2. El uso de la Polisombra (polietileno), como geomalla sintética de bajo valor económico en comparación con los geotextiles de polipropileno, para la rehabilitación de suelos erosionados de ladera con coberturas incorporadas y regeneración natural.
3. El uso de las perforaciones en suelos de ladera, como técnicas para la incorporación de humus y rehabilitación del suelo.
4. La técnica para determinar la efectividad de control de erosión con malla trampa
5. El uso combinado de humus líquido en proporción 50-50, para la estimulación del desarrollo de la regeneración natural.
6. El desarrollo de un monopod de 2,3 metros, para captar imágenes en unidades experimentales de difícil acceso en suelos de pendiente pronunciada para realizar monitoreo a la cobertura herbácea.
7. El método combinado para determinar el índice de valor de importancia (IVI) de la regeneración natural, mediante la toma de imágenes a unidades experimentales, ubicación y procesamiento en el programa ImageJ.
8. El método sistémico para la rehabilitación ecológica de suelos de ladera a partir del uso de geomallas no convencionales, insumos orgánicos y coberturas vegetales en el municipio de La Plata, Huila.

9. El establecimiento de geomallas de 2500 cm<sup>2</sup> no convencionales, separadas y con soportes, para el anclaje de la regeneración natural dentro y fuera de las mallas.

Para una zona de ladera con pendientes que oscilan entre el 37,1 % y el 166,1 %; que tiene características de suelos de textura franco arcillosa arenosa con suelos compactados por la ganadería extensiva, mal drenados y con un pH extremadamente ácido como lo fue la zona objeto de estudio. La implementación de los tratamientos resulto ser todo un éxito; en donde se obtuvo información contundente para la rehabilitación de suelos deteriorados de laderas; comprobando la efectividad de los tratamientos para el desarrollo de la cobertura vegetal y el control de la erosión.

Las geomallas de *Manicaria saccifera* y polietileno prensadas en los cuatro lados al suelo, no permitieron que se generara ningún tipo de erosión con un valor del 0% en las 14 semanas de seguimiento; mientras que las que solo se ajustaron en la parte superior e inferior sin preses a los lados, evidenciaron una erosión moderada con valores de 30,94% para *Manicaria saccifera* y 33,32% para polietileno y las unidades experimentales que se encontraban sin cobertura vegetal y no tenían geomallas Evidenciaron un 97,61 % de erosión permanente, en las 14 semanas de muestreo. Por lo anterior los dos tipos de geomalla no convencional son 100% efectivas en el control de erosión cuando se ajustan al suelo por sus cuatro lados.

Los valores promedio de porcentaje de desarrollo de cobertura de renegación natural y cobertura vegetal incorporada, en relación a la presencia de lombrices en las unidades experimentales; son mayores cuando no se aplican lombrices en los dos tipos de malla. En

general la aplicación base de 3 kilogramos de humus (sin presencia de lombriz), es superior en efectividad a los que se generan con aplicación de lombriz. Con una única excepción de las unidades en malla de polietileno en las que se encontraba el pasto sabana; cuyos valores fueron más altos en cobertura vegetal y en regeneración natural cuando se aplicó lombrices.

El humus líquido y EM en el suelo estimulan el crecimiento de la regeneración natural y si el área específica cuenta con perforaciones, las posibilidades de crecimiento y proliferación de regeneración natural son más altas. Las unidades experimentales que no tenían humus y EM presentaron el porcentaje más bajo de proliferación o crecimiento de la regeneración natural independiente del tipo de malla.

Cuando no se incorporó ningún tipo de pasto en las unidades experimentales se presentó un buen desarrollo de la regeneración natural, donde los valores más altos se obtuvieron de la aplicación de 3 kilogramos de humus sólido en los dos tipos de geomallas, con valores de 48,62% en la de *Manicaria saccifera* y 72,65 % en la de polietileno. Esta última resulto ser más efectiva para permitir el desarrollo de la regeneración natural que la de *Manicaria saccifera*. La aplicación de humus líquido y EM en promedio genera mejores resultados en el crecimiento de la regeneración natural, que la aplicación de 1 kilogramos de humus por medio de cigarros.

Se pudo evidenciar que el desarrollo de la regeneración natural, presenta una estrecha relación con las especies incorporadas debido a que la presencia de estas, cuando aumentan el desarrollo de cobertura vegetal, limita la propagación de la RN de forma general; y solo cuando la especie incorporada no puede adaptarse a las condiciones del sitio, por condiciones propias del sitio, la

regeneración natural aumenta las posibilidades de colonizar y aprovechar el tratamiento para desarrollarse.

La especie que más contribuyó con la regeneración natural fue el pasto estrella, debido a que tiene una alta capacidad de propagarse y extenderse por el área de forma lineal, dejando espacios que son aprovechados por la regeneración natural para su desarrollo, donde los rendimientos más altos en RN en combinación con la cobertura de la gramínea incorporada se obtuvieron bajo la aplicación de 3 kilogramos de humus sólido.

Para la rehabilitación ecológica de suelos de ladera deteriorados, es muy importante, la identificación de las especies potenciales de la zona de influencia del área de estudio; ya que estas se pueden correlacionar con las presentes en las áreas de afectadas, y determinar así la capacidad de desarrollarse en condiciones hostiles y los requerimientos para su establecimiento, como se pudo apreciar en el desarrollo de esta investigación, donde especies como puntero, pacunga, cadillo, sabana dulce y varias más, colonizaron zonas tanto dentro como fuera de las geomallas, donde las que se encontraban en los límites de las mallas y no disponían de ningún tipo de tratamiento nutritivo, aprovecharon los soportes que ofrecían las láminas de guadua que ajustaban las mallas para anclarse al suelo y desarrollarse de manera eficiente.

Para que cualquier tipo de proyecto sea efectivo en la rehabilitación de suelos deteriorados de ladera; lo más importante es aislar la zona de los mamíferos incluyendo el hombre; dejando solo el paso del viento para que favorezca la dispersión de semillas de las especies del área de influencia. Así en teoría se tenga certeza de que en la zona no se presentan animales de gran

tamaño, pues cualquier disturbio en campo puede interrumpir la sucesión ecológica inducida en sus primeras fases, generando afectaciones en la flora y por ende en los tratamientos, ya que el simple hecho de que un animal interfiera en la zanja de coronación, o destruya una de las mallas puede generar un efecto colateral negativo en la rehabilitación del suelo con cobertura vegetal.

La malla de *Manicaria saccifera* es potencial para la recuperación de zonas de ladera degradadas si se utiliza como geo malla, ya que sus fibras permiten un anclaje al suelo para evitar procesos de erosión, brindando protección directa a las plantas en sus primeros estados, y favoreciendo a la retención de humedad. El éxito radica en la disposición de la malla y en su estirado, es decir a un 40% de paso de luz; de tal forma que al expandirla no se exceda y pierda efectividad en el control de la erosión.

La malla de polietileno al 50% resulta ser una alternativa para la recuperación de laderas arcillosas deterioradas; puesto que además que sirve para el control de la erosión, facilita el desarrollo de la flora debido a sus estrías, la clave de trabajar con el polietileno como geomalla está en realizar un buen anclaje al suelo, el uso de insumos orgánicos y la selección precisa de las especies herbáceas a incorporar.

Los métodos implementados para el desarrollo de cobertura vegetal en la rehabilitación ecológica de suelos erosionados de ladera; utilizando gramíneas incorporadas y la regeneración natural, se acoplaron a los diferentes cambios de pendiente sin que se presentaran diferencias significativas por la condición de inclinación, por lo cual el método propuesto (Ver anexo 1) puede ser implementado hasta pendientes del 166%.

La adecuación de suelos para la restauración de laderas; la distribución y posición de las geomallas, se debe realizar unos días antes de iniciar el invierno, mientras que la incorporación de los sustratos orgánicos y el material vegetal se debe incorporar en los primeros días de invierno, ya sea por estolón o semilla, de tal forma que se garantice la germinación y la permanencia de las especies. Si la restauración se realiza en temporada seca; se debe contar con agua permanentemente debido a que los sustratos orgánicos y las arcillas en húmedo son excelentes para la rehabilitación, pero en seco los suelos arcillosos se agrietan y muchas plantas mueren ya que llegan al punto de marchites y los abonos orgánicos se solidifican con alta dureza, evitando el buen desarrollo de las plantas y retrasando la recuperación de la zona.

Aunque los tratamientos 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28 resultaron ser muy efectivos en menos de 14 semanas, en cuanto al desarrollo de las especies incorporadas y establecimiento de la regeneración natural, es necesario tener en cuenta que estos tiempo pudieron ser mucho menores, si se hubiera contado con disponibilidad de agua para riego, o lluvias ocasionales, ya que hubo un periodo seco de más de 8 semanas, el cual puso en riesgo el desarrollo de muchas plantas y causo un retroceso en el normal desarrollo de alguna especies, como lo fue en el pasto estrella, sabana dulce, y pacunga macho.

Mientras hubo humedad en el suelo el pasto estrella tuvo un desarrollo excelente; con una capacidad de expandirse en el área de estudio sobre saliente; con relación a las demás gramíneas incorporadas. Pero a medida que el suelo perdía humedad en ausencia de las lluvias, este fue susceptible y sufrió un proceso de marchitamiento en gran parte de su cobertura; sin embargo

cuando las precipitaciones retornaron, esta gramínea logro recuperarse extendiéndose nuevamente por el área objeto de estudio.

La malla de *Manicaria saccifera*, a diferencia de la malla de polietileno, brinda unas condiciones de estabilidad a las plantas en sus primeros estados, debido a que ofrece una protección mayor, contra la pérdida de humedad del suelo; mientras que la malla de polietileno, al tener espacios definidos, permite que las especies tengan un desarrollo más rápido en crecimiento, lo cual es excelente si las condiciones de déficit de agua no son prolongadas; Las dos mallas contribuyen de manera significativa al control de la erosión, bajo los soportes de prenses y guadua.

En los tratamientos 1 y 2; en los cuales solo se colocaba la malla prensada de *Manicaria Saccifera* y la malla de polietileno, las especies que lograron germinar tuvieron un crecimiento muy lento en comparación con las mallas que contaban con algún tipo de enmienda, por lo cual se deduce que si bien las geomallas son efectivas para controlar la erosión en la superficie del suelo, no es un método viable como tratamiento único para que se establezca la regeneración natural en estas laderas; ya que la disponibilidad de nutrientes es poca y las plantas que logran surgir en este medio carecen de vigor y crecimiento rápido.

Los bordes donde se coloca la lámina de guadua para ajustar las mallas, y en los lados entre los espacios existentes entre una y otra malla, se convirtieron indirectamente en puntos de desarrollo para la proliferación y desarrollo de la regeneración natural.

El aislamiento y la zanja de coronación; permitieron realizar la investigación de forma adecuada; ya que se apartó el ganado el cual fue el principal responsable de la erosión y deterioro de la ladera, y el poder desviar las aguas de escorrentía, dentro de la zona aislada permitió reducir los impactos ambientales negativos derivado de la erosión y brindo control de las aguas en la ladera.

El pasto puntero (*Hyparrhenia rufa*) fue la especie con mayor peso ecológico, dentro de las especies de regeneración natural, lo que la hace muy importante para la restauración de suelos de ladera erosionadas; ya que esta tiene la capacidad de replicarse rápidamente en el terreno siendo la más abundante, frecuente y la de mayor cobertura vegetal; además que logro generarse tanto dentro de las unidades experimentales como por fuera de ellas, en áreas donde no existía ningún tipo de insumo orgánico; utilizando las divisiones entre las unidades experimentales separadas por la guadua; para anclarse al suelo y continuar su desarrollo.

La malla de *Manicaria saccifera* utilizada como geomalla expuesta a las condiciones climáticas tiene un tiempo aproximado de vida útil de 8 meses; después se integra al suelo debido a su composición orgánica; lo que la hace una alternativa amigable con el medio ambiente. La malla de polietileno a los 8 meses sigue teniendo una apariencia muy similar a cuando se instaló, por lo cual esta podría ser utilizada como geomalla para zonas donde la cobertura vegetal herbácea presente dificultades en su desarrollo y por lo tanto necesite un mayor tiempo para establecerse.

## Referencias bibliográficas

- Alfaya, V. (2012). Colonización de taludes artificiales por medio de la vegetación natural (Tesis Doctoral). Universidad Complutense de Madrid, España
- Alvares, D. (Junio 2016), IGAC; Suelos y tierras de Colombia. (XVIII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo, Organizado por Sociedad Colombiana de La Ciencia del Suelo, llevado a cabo en villa de Leiva, Colombia.
- Ávila, B. (2010). Transferencia de la técnica de manejo y producción a base de pulpa de café, con pequeños caficultores de la aldea los coles, San Pedro Necta, Huehuetenango. (Tesis de pregrado). Universidad De San Carlos De Guatemala.
- Brabb, E. y Hrod, B. (1989). "Landslides: Extent and economic significance": Proc., 28th International Geological Congress: Symposium on landslides, A.A. Balkema, Rotterdam, Netherlands, 385 p.
- Brown, S. y Lugo, A. (1990). Tropical secondary forest. *Journal of tropical ecology* 6:1-31.
- Caicedo, L. y Ardila, P. (2017). Beneficios de los mantos de control de erosión temporal para la recuperación y protección de taludes, (Tesis de pregrado). Universidad Católica. Colombia.
- Carroll, J., Rodencal J., y Collin J. (1992), *Geotextiles and Geomembranes.*, Volume 11, Issues 4-6, pp. 523-534.
- Curtis, J. y McIntosh, R. (1951). An upland forest continuum in the prairie-forest border region of Wisconsin. *Ecology* 32: 476-496.
- Farfan, V. (2014). *Agroforestería y Sistemas Agroforestales con Café. Manizales, Caldas (Colombia).* 342 p.

- Federación Nacional De Cafeteros De Colombia. (1982). Cuarenta años de investigación en Cenicafé. Chinchiná (Colombia). Suelos Vol 1. Cenicafé.
- Finegan, B. (1993). Procesos dinámicos en bosques naturales tropicales. Curso de bases ecológicas para la producción sostenible. CATIE, Turrialba, Costa Rica. 25 p.
- Fiore, V. Scalici, T y Valenza A. (2014), Characterization of a new natural fiber from arundo donax l. as potential reinforcement of polymer composites. Carbohydr Polym;106:77e83.
- Florez, A. (1986). Geomorfología del área Manizales – Chinchiná, Cordillera Central. (Tesis Ph.). Universidad Van Amsterdam, Holanda.
- Florez, G. (2014), efectividad de la bioingeniería para el tratamiento de la erosión y los movimientos en masa en laderas, (Tesis de Maestría). Universidad de Manizales, Colombia
- Gomez, A. (1979). Clasificación del uso potencial de tierras de ladera. Sistema IUM. Chinchiná (Colombia), Cenicafé.
- Hudson, N. (1992). Conservación de suelos. Reverté S.A. 335 p. Barcelona (España).
- IGAC: Instituto Geográfico Agustín Codazzi. (2014). departamentos con los mayores conflictos de los suelos en Colombia. Recuperado de:  
<http://www.igac.gov.co/wps/wcm/connect/c8eb398044ab6ec2bbd1ff9d03208435/IGAC+revela.pdf?MOD=AJPERES>
- IGAC (2016). Lanzamiento del Estudio de suelos y zonificación de tierras del Vichada. Salón Padilla de la Armada Nacional, realizado en Puerto Carreño.
- Lal, R. (1994). Methods and guidelines for assessing sustainable use of soil and water resources in the tropics. Soil Management Support Services USDA Soil Conservation Service and U.S. Agency for International Development. SMSS Technical Monograph # 21. 78 p.

- Ledezma, R. (2011). Etnoboejército de reservanica de las Palmas en las Tierras Bajas del Pacícolombiano co, con minfasis en la palma cabecinegro (*Manicaria saccifera Gaertn*). Tesis de maestría. Universidad Nacional de Colombia; 2011.
- López, M., y Morales, L. D. (2003.). V. Estimación de la Amenaza y el Riesgo de deslizamientos en Laderas.
- Matteis, A. (2003). Geología y Geotecnia. Curso de estabilidad de taludes. Universidad Nacional de Rosario. Facultad de ciencias exactas, ingeniería y agrimensura, pp. 3-8.
- Marss, R. y Bradshaw D. (1993). Primary succession on man-made wastes: the importance of resource acquisition. Blackwell Scientific Publications. Vol12: 221-248
- Melo, C. y Vargas R. (2003). *Evaluación Ecológica y Silvicultural de Ecosistemas Boscosos Universidad del Tolima*. Ibagué – Colombia, Editor: Omar Aurelio Melo.
- Porras, A., Marañón A Y Aschcroft (2015). Characterization of a novel natural cellulose fabric from *Manicaria Saccifera* palm as posible reinforcement of compositive materials, Rev Elsevier, par b 74, 66-73
- Rivera, J. (2009). Uso, Manejo y Conservación Integral del Suelo para un Desarrollo Sostenible. Centro de Investigaciones en Medio Ambiente y Desarrollo “CIMAD” Universidad de Manizales 124 p.
- Suárez, J. (2001). *Control de erosión en zonas tropicales*. Instituto de Investigaciones Sobre Erosión y Deslizamientos Universidad Industrial de Santander, UIS.
- Sinha, R., Bharambe G. Y Chowdhary U. (2008). Sewage treatment by vermi-filtration with synchronous treatment of sludge by earthworms : a low- cost sustainable technology over conventional systems with potential for decentralization; The Environmentalist; UK ; Vol.

28: pp. 409-420.

Torres, G. y Silva, X. (2006). Evaluación del efecto que tienen los EM (microorganismos eficientes) en las micorrizas para la recuperación de suelos intervenidos del área de Mondoñedo (Tesis de Pregrado). Universidad de la Salle.

Tortosa, G. (2011). Elaboración a escala pre-industrial de enmiendas y abonos orgánicos sólidos y líquidos mediante compostaje de orujo de oliva de dos fases o "alperujo" (Tesis Doctoral). Universidad de Murcia, España.

Waldron, L. Dakessian S, y Nenson J (1983). Shear resistance enhancement of 1.22 meter diameter soil cross sections by pine y alfalfa roots. Soil Science Society of American Journal.

Windhager, S. (1999). "Restauración ecológica y evolución." Ciencia al día, vol.2. N°4

## **ANEXOS**

## Anexo 1. Método sistémico para la rehabilitación ecológica de suelos de ladera

- 1. Descripción de la zona de influencia:** se deben identificar las especies de flora arbórea y herbácea a 50 metros; como mínimo de distancia de la zona a rehabilitar. Se debe recopilar información relevante como, actividades agrícolas, pecuarias, impactos notables, deslizamientos etc.
  
- 2. Diagnóstico de la zona objeto de estudio**
  - 2.1 Identificación de herbáceas:** aunque el suelo este deteriorado; existen especies herbáceas muy resistentes a esas condiciones, por tal razón es muy importante realizar una identificación de la flora, así como los fenómenos que suceden dentro del área afectada.
  - 2.2 Análisis de suelos:** este estudio es muy importante pues a partir de él; se puede formular de manera exacta la enmienda orgánica a aplicar, además que genera la información del suelo; donde se puede determinar el potencial de las especies que subsisten en el sitio, para su posterior aprovechamiento.
  - 2.3 Medición de pendientes:** permite ver el grado de inclinación que tiene la ladera, de tal forma que a partir de allí se selecciona el mejor método para abordar la rehabilitación.
  
- 3. Aislamiento de la zona objeto de estudio.** Se debe realizar de manera obligada ya que a partir de esta; se define en gran medida el éxito de la rehabilitación
  - 3.1. Cercado con postes de madera o guadua y alambre de púa.** Es el mejor método porque aísla los animales grandes y permite el paso del viento; el cual transporta un sin número de semillas, partículas orgánicas, microorganismos etc., que son vitales para la rehabilitación del suelo de la ladera.
  
- 4. Prácticas culturales:** con los datos obtenidos en el diagnostico se determina el tipo de obra a realizar.
  - 4.1 Filtros:** si el diagnostico evidencia un mal drenaje en el suelo
  - 4.2 zanja de coronación:** si predomina la erosión por escorrentía.
  
- 5. Adecuación del área a rehabilitar:** se debe tener en cuenta las especies identificadas en el diagnóstico de tal manera que las adecuaciones no las afecten.
  - 5.1 Tiempo verano:** las adecuaciones deben hacerse en verano para disminuir el número de impactos ambientales negativos al suelo y evitar accidentes.
  - 5.1. Emparejamiento de pendientes no uniformes:** las mallas deben quedar uniformes en el suelo de tal forma que no se conviertan en un obstáculo para las especies incorporadas
    - 5.1.1. Retirar una mínima cantidad de suelo.** Se realiza cuando hay protuberancias que impiden que la malla quede completamente fija e uniforme al suelo, si la protuberancia es grande, se omite el sitio para la colocación de la geomalla y no se interviene.
    - 5.1.2. Rellenar:** se realiza, cuando existen pequeños socavones para darle uniformidad y estabilidad a la pendiente, para la colocación de las mallas.
  
- 6. Selección de las especies a incorporar**
  - 6.1 Pasto estrella:** recomendado para zonas con disponibilidad de agua.
  - 6.2. Pasto Saboya:** condicionado a los resultados de análisis del suelo, y a la enmienda orgánica a aplicar
  - 6.3. Pasto puntero:** resistente a la temporada seca, se adapta bien a suelo de ladera.
  - 6.4 Especies de la zona de influencia:** recomendada si se ha realizado una buena identificación de la especie y se ha realizado una buena revisión de los requerimientos de la misma.
  - 6.5. Regeneración natural:** Recomendada si lo que se busca es evaluar el desarrollo de la cobertura vegetal de forma natural o si solo se dispone de enmienda orgánica.

## 7. Alistamiento del terreno para la ubicación de las mallas

**7.1. Tiempo (días antes de llegar el invierno):** se debe hacer antes que inicien las lluvias.

**7.2. Perforaciones al suelo:** se deben realizar hoyos de 2,54 centímetros de diámetro por 15 centímetros de profundidad en contra de la pendiente, el número de estos depende del tamaño de las mallas, por lo que se recomienda 24 hoyos por cada 3000cm<sup>2</sup>.

**7.3. Humus líquido y microorganismos eficientes:** se recomienda para el alistamiento del terreno realizar una aplicación de humus líquido y EM, en proporción 50 – 50, tomado como referencia. que 500 cm<sup>3</sup> se deben disolver en 5 litros de agua y luego realizar la aplicación inicial en ausencia de la vegetación, este insumo se puede aplicar durante la primera semana para estimular el desarrollo de la regeneración natural.

**7.4. Humus sólido:** se recomienda realizar una aplicación por cada 24 hoyos perforados; de 3 kilogramos, aunque si se dispone en abundancia de este mejorador de suelo, se puede aplicar cantidades mayores.

## 8. Establecimiento de cobertura vegetal

**8.1. Especies a incorporar:** recomendada para proyectos que buscan una rápida rehabilitación de la cobertura en suelos de ladera,

### 8.1.1 Forma de propagar la cobertura vegetal

**8.1.1.1. Por semilla:** genera uniformidad

**8.1.1.2. Por estolón:** su dinámica en crecimiento es variable, pero ahorra tiempo en el desarrollo de cobertura vegetal.

**8.2. Regeneración natural:** recomendada si se busca iniciar proceso de rehabilitación con especies propias de la zona; lo cual es un poco más lento, pero los resultados son favorables. siempre y cuando se haya realizado un buen diagnóstico de la zona para tomar esta decisión.

**8.3. Montaje de geomallas no convencionales;** se recomienda hacerlo en verano

### 8.3.1 Alistamiento Equipo de trabajo seguro en alturas

#### 8.3.2. selección de geomalla no convencional

**8.3.2.1. Geomalla orgánica: Manicaria *saccifera*;** recomendada para proyectos amigables con el medio ambiente, teniendo en cuenta el impacto paisajístico y el desarrollo de la regeneración natural, su uso es ideal para rehabilitación de zonas con herbáceas. Después de los 8 meses la malla comienza a descomponerse para ser parte del suelo.

**8.3.2.2. Geomalla sintética: Polietileno;** recomendada para especies incorporadas y regeneración natural, rehabilitación de zonas con crecimiento lento de las especies.

#### 8.3.3. Establecimiento de las geomallas

**8.3.3.1 Distribución de las geomallas:** se debe empezar desde la corona a la base de la ladera.

**8.3.3.2. Ajuste inicial de las gomallas:** los ajustes deben hacerse con ganchos en forma de U y lamina de guadua en la parte superior, quedando la malla sin asegurar por los demás lados; para poder cubrir las areas donde se encuentran las perforaciones con la respectiva enmienda orgánica

**8.4 siembra:** Esta debe hacerse en los primeros días que inician las lluvias, a menos que se cuente con riego.

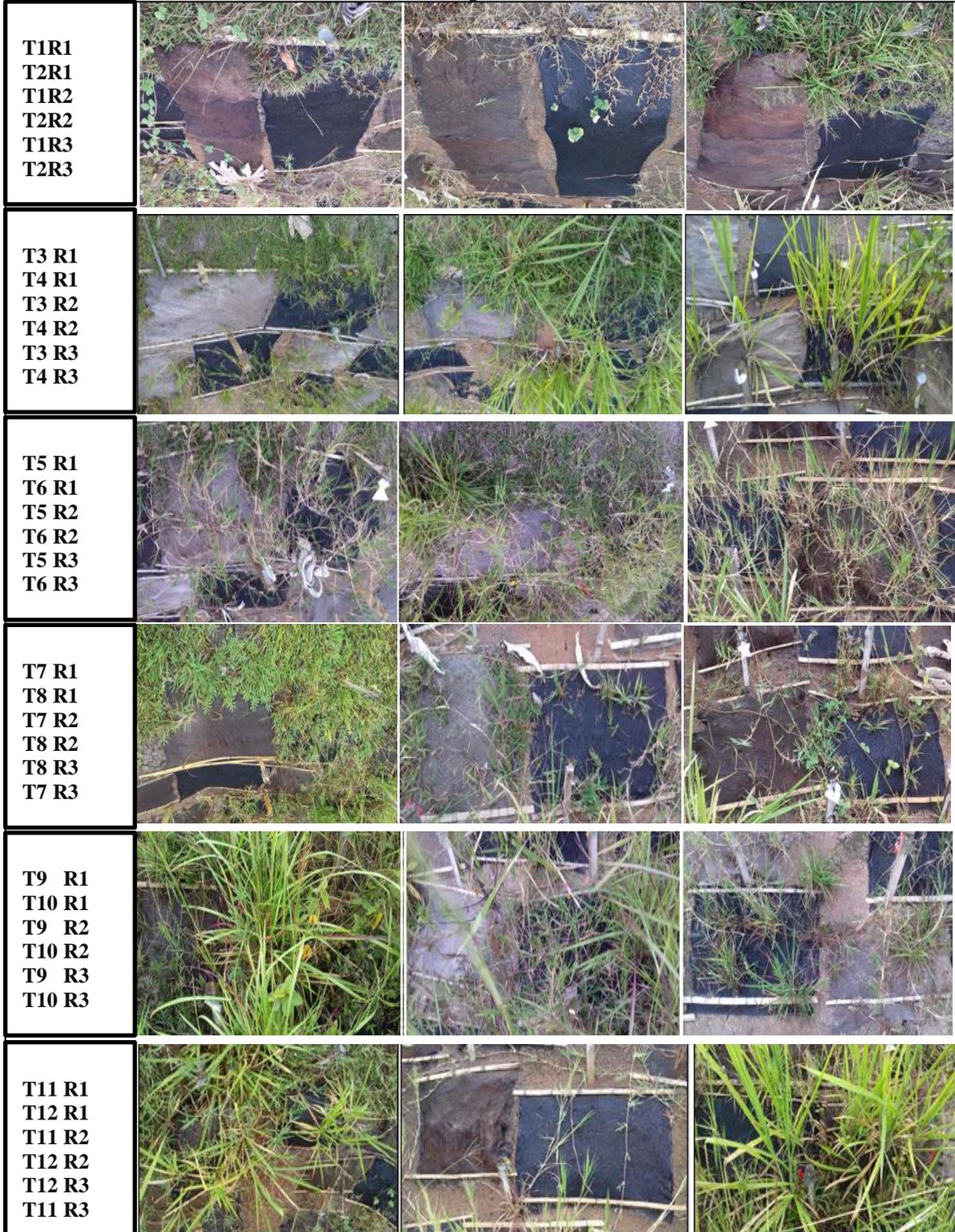
**8.4.1. estolones.** Se ubica uno por cada hoyo lleno de humus

**8.4.2. Semilla:** se recomienda aplicar el doble al número de hoyos realizados.

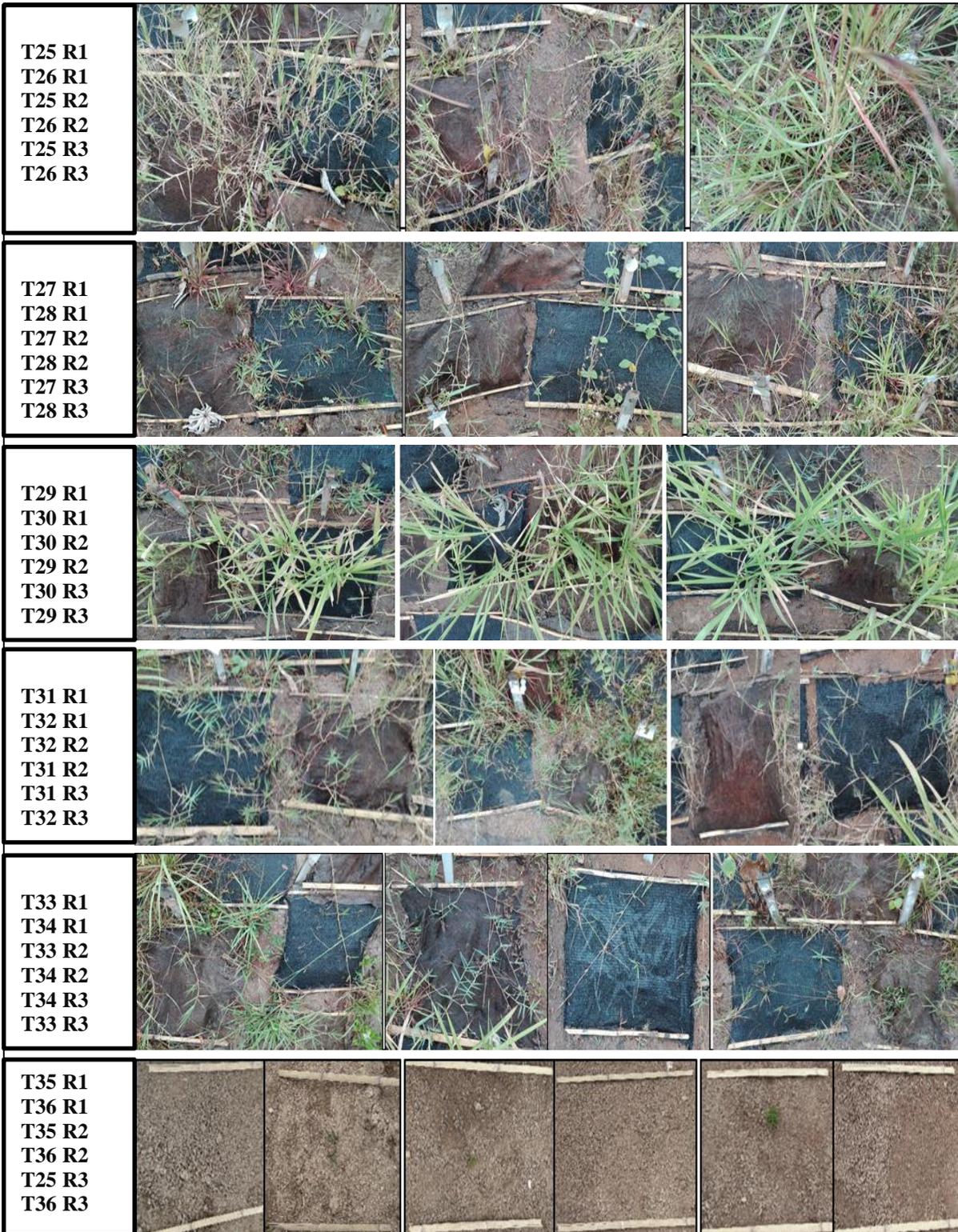
**8.4.3. Regeneración natural:** no se aplica ningún tipo de semilla o estolón, simplemente queda con la enmienda orgánica.

**8.5. Ajuste final de las Geomallas:** se recomienda el uso de lámina de guadua en la parte superior e inferior de la malla, con ganchos a los lados, verificando que quede bien templada para controlar la erosión y promover el desarrollo de las plantas

Anexo 2. Imágenes de las 108 unidades experimentales registradas en la semana 14.  
 Correspondiente a 36 tratamientos con tres repeticiones cada uno.







**Anexo 3. Resultados de las pendientes calculadas en porcentaje para cada unidad experimental.**

<b>Unidad experimental</b>	<b>pendiente en %</b>						
T1 R3	96,15	T10 R3	69,70	T19 R3	103,23	T29 R1	51,22
T1 R2	87,36	T9 R3	64,00	T20 R3	62,86	T30 R2	84,38
T1 R1	93,51	T11 R1	55,00	T19 R1	119,23	T30 R3	82,76
T2 R1	102,78	T12 R1	48,48	T20 R1	103,33	T29 R3	82,14
T2 R2	107,79	T11 R2	120,00	T21 R2	74,29	T30 R1	81,48
T2 R3	90,70	T12 R2	123,08	T22 R2	80,00	T29 R2	68,97
T3 R1	88,46	T11 R3	100,00	T22 R3	74,29	T31 R1	66,67
T3 R2	85,19	T12 R3	166,67	T21 R3	73,53	T31 R2	57,89
T3 R3	100,00	T14 R3	96,43	T21 R1	61,11	T31 R1	48,39
T4 R1	108,70	T13 R3	96,77	T22 R1	63,64	T32R1	37,14
T4 R3	68,75	T14 R1	46,15	T23 R2	85,29	T31 R3	118,75
T4 R2	118,18	T13 R1	55,00	T24 R2	96,00	T32 R3	93,33
T5 R1	126,67	T13 R2	76,47	T23 R1	70,97	T33 R1	52,50
T6 R2	113,16	T14 R2	62,16	T24 R1	95,45	T34 R1	59,46
T5 R3	86,76	T15 R3	83,87	T23 R3	106,06	T33 R2	65,96
T6 R3	86,67	T16 R3	127,59	T24 R3	96,77	T34 R2	130,43
T5 R2	108,33	T15 R1	73,47	T25 R1	65,96	T34 R3	80,00
T6 R1	84,21	T15 R2	71,43	T26 R1	63,16	T33 R3	79,07
T7 R1	104,00	T16 R2	74,29	T26 R2	97,06	T35R1	89,744
T8 R1	92,86	T16 R1	81,08	T25 R2	118,18	T35R2	60,526
T7 R2	94,44	T17 R2	70,37	T25 R3	84,62	T35R3	117,24
T8 R2	88,24	T18 R2	64,71	T26 R3	135,71	T36R1	104,76
T7 R3	70,59	T17 R1	115,38	T27 R3	124,00	T36R2	53,571
T8 R3	68,57	T18 R1	140,00	T28 R3	81,82	T36R3	56,25
T9 R1	106,90	T17 R3	39,47	T27 R2	152,63		
T10 R1	81,25	T18 R1	66,67	T28 R2	134,62		
T9 R2	80,65	T19 R2	48,15	T27 R1	67,57		
T10 R2	43,24	T20 R2	80,65	T28 R1	72,50		