

UNIVERSIDAD DEL BÍO-BÍO

FACULTAD DE INGENIERÍA

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL

Profesor Patrocinante: Carmen González Labbé



INFLUENCIA DEL PORCENTAJE DE SOMBRA DE MALLA RASCHEL EN BIOMANTOS DE PAJA DE TRIGO PARA RECUBRIMIENTOS DE TALUDES

Proyecto de Título presentado en conformidad a los requisitos para obtener el título
de Ingeniero Civil

KEVINSON FRANK RUBILAR BERTUZZI

Concepción, Noviembre 2017

DEDICATORIA

Dedicado a mis padres Margarita Bertuzzi Casanelli y Walter Rubilar Araya, y a mí hermano Jhonatan Rubilar Bertuzzi.

AGRADECIMIENTOS

A Walter Rubilar Araya, mi padre, mi ejemplo, mi orgullo, quien siempre me apoyo y me instó a estudiar, si bien no me acompaña físicamente, sé que lo hace en todo minuto, apoyándome y dándome fuerzas para salir adelante en los momentos más difíciles. A Margarita Bertuzzi Casanelli, mi madre, quien siempre cuidó y se preocupó de mí junto a mi hermano, dándonos amor y cariño en todo momento. A Jhonatan Rubilar Bertuzzi, mi hermano, sin duda uno de los pilares fundamentales en mi vida, quien siempre me apoyo en todo y creyó en mí.

A Dios por darme la fuerza necesaria para superar todas las adversidades que he tenido en la vida.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	1
ABSTRACT	2
1. INTRODUCCIÓN	3
1.1. Objetivos de la investigación	4
1.1.1 Objetivo General.....	4
1.1.2 Objetivos Específicos	4
2. ANTECEDENTES GENERALES	5
2.1 Erosión superficial en taludes	5
2.1.1. Erosión eólica.....	5
2.1.2. Erosión por gotas de lluvia	5
2.1.3. Erosión Laminar	6
2.2. Hidrosiembra	7
2.3. Biomantos	8
3. METODOLOGÍA	8
3.1. Construcción de taludes experimentales	10
3.1.1. Caracterización de taludes experimentales	10
3.1.2. Instalación y ubicación de taludes experimentales	11
3.1.3. Caracterización del material de relleno	11
3.2. Construcción de Biomantos	12
3.2.1. Caracterización de la malla raschel	12
3.2.2. Selección de paja a utilizar	13
3.2.3. Adhesión de paja de trigo a malla raschel	13
3.2.4. Desarrollo de Biomantos	13
3.2.5. Instalación de Biomantos en talud	14
3.3. Elección y caracterización de variables	14
3.3.1. Temperatura	14
3.3.2. Humedad.....	15
3.3.3. Precipitaciones	15
3.3.4. Erosión Superficial.....	15
3.3.5. Cobertura Vegetal	16
3.3.6. Longitud de la Cobertura Vegetal.....	16
3.4. Aplicación de Hidrosiembra	17

4. ANÁLISIS DE RESULTADOS	17
4.1 Resultados y análisis	17
4.1.1. Temperatura	18
4.1.2. Humedad	20
4.1.3. Precipitación y erosión Superficial	23
4.1.4. Cobertura Vegetal	24
4.1.5. Longitud Cobertura Vegetal	26
4.1. Correlación entre variables	27
4.2.1. Cobertura Vegetal y material erodado.....	27
4.2.2. Temperatura y humedad	28
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	30
6. BIBLIOGRAFÍA	32
ANEXO A: SEMILLAS UTILIZADAS EN LA HIDROSIEMBRA	35
a) Festuca arundinacea (Festuca alta)	35
b) Lolium multiflorum (Ballica italiana).....	36
c) Trifolium	37
ANEXO B: DATOS OBTENIDOS.....	37
Temperatura matinal	38
Temperatura Vespertina	39
Humedad matinal.....	40
Humedad Vespertina.....	41
Precipitaciones.....	42
Material erodado.....	43
Suelo erodado	43
Hidrosiembra desprendida.....	44
Cobertura Vegetal.....	45
Longitud Cobertura Vegetal.....	45
Prueba de hipótesis con respecto a las medias	46
ANEXO C: MECÁNICA DE SUELOS	47
ANEXO D: INSTALACIÓN DE BIOMANTOS EN TALUD	51
ANEXO E: COSTOS BIOMANTOS CONFECCIONADOS	52
ANEXO F: FOTOGRAFÍAS DEL DESARROLLO DEL PROYECTO.....	53

INFLUENCIA DEL PORCENTAJE DE SOMBRA DE MALLA RASCHEL EN BIOMANTOS DE PAJA DE TRIGO PARA RECUBRIMIENTOS DE TALUDES

KEVINSON RUBILAR BERTUZZI

Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, Universidad del Bío-Bío
kerubila@alumnos.ubiobio.cl

CARMEN GONZÁLEZ LABBÉ

Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, Universidad del Bío-Bío
cgonzal@ubiobio.cl

RESUMEN

Para el control de la erosión superficial en taludes actualmente existen variadas técnicas, entre ellas la hidrosiembra y biomantos.

Isla (2015) estudio el comportamiento de la hidrosiembra en conjunto a biomantos con malla raschel y con distinta distribución de paja de trigo, obteniendo una baja cobertura vegetal, siendo factor fundamental de esto el tipo de malla raschel elegida (65% de sombra) y la cantidad de paja utilizada.

En consideración a lo anterior, para analizar la influencia del porcentaje de sombra de la malla raschel, se realizan biomantos de paja de trigo y malla raschel con 35%, 50% y 65% de sombra respectivamente, los que son expuestos a 3 repeticiones simultaneas en condiciones naturales, además se realiza un talud sin biomanto para comparar resultados.

El estudio dura en total un periodo de 8 semanas, en invierno, en el cual se midió el material erosionado, precipitaciones, temperatura, humedad, cobertura vegetal y longitud del césped.

Los biomantos implementados con 35% y 65% de sombra fueron deficientes en cuanto a la cobertura vegetal, no así los biomantos con 50% de sombra, los que dieron mejores resultados presentando una cobertura de 67% al cabo de la octava semana, la cual es un poco inferior si lo comparamos al talud desprotegido el que presento 71% en promedio. En cuanto al control de erosión superficial el biomanto con 50% de sombra presento mejor comportamiento.

Palabras clave: Erosión Superficial, Biomantos, Talud.

INFLUENCE OF SHADOW PERCENTAGE OF RASCHEL MESH IN WHEAT STRAW BIO BLANKETS FOR SLOPE COATINGS

KEVINSON RUBILAR BERTUZZI

Department of Civil and Environmental Engineering, University of Bio-Bio
kerubila@alumnos.ubiobio.cl

CARMEN GONZÁLEZ LABBÉ

Department of Civil and Environmental Engineering, University of Bio-Bio
cgonzal@ubiobio.cl

ABSTRACT

For the control of surface erosion in slopes, there are currently several techniques, including hydroseeding and bio blankets.

Isla (2015) studied the behavior of hydro-seeding as a whole to bio blankets with raschel mesh and with a different distribution of wheat straw, obtaining a low plant cover, being the fundamental factor of this the type of raschel mesh chosen (65% shade) and the amount of straw used.

In consideration of the above, to analyze the influence of the shade percentage of the raschel mesh, wheat straw and raschel mesh bio blankets are made with 35%, 50% and 65% shade respectively, which are exposed to 3 simultaneous repetitions under natural conditions, a slope without bio blankets is also made to compare results.

The study lasted a total of 8 weeks in winter, in which the eroded material, rainfall, temperature, humidity, vegetation cover and length of the lawn were measured.

The bio blankets implemented with 35% and 65% shade were deficient in terms of plant cover, but not with 50% shadow, which gave better results with 67% coverage after the eighth week, which is a little lower if we compare it to the unprotected slope that showed 71% on average. Regarding the control of superficial erosion, the bio blankets with 50% shade presented better behavior.

Keyboards: Superficial erosion, bio blankets, slopes.

1. INTRODUCCIÓN

En el área de la Ingeniería Civil constantemente es necesario alterar las condiciones naturales del terreno debido al desarrollo urbano, siendo comunes la construcción de terraplenes y cortes generando taludes.

Se entiende por talud a cualquier superficie que posea alguna inclinación permanente con respecto a la horizontal, pudiendo presentarse en forma natural, que es el caso de laderas, o artificial, que es el generado por obras de ingeniería.

Los deslizamientos de taludes son un problema que ha generado durante años pérdidas tanto económicas como de vidas humanas, es por esto que en el diseño de taludes la mayoría de los esfuerzos se centran en el análisis de estabilidad de estos a largo plazo.

La erosión es una de las causas principales que originan la inestabilidad superficial de los taludes, principalmente debido al clima y a la topografía, la cual puede ser apaciguada gracias a la aplicación de hidrosiembra y/o Biomantos.

Existen diversas investigaciones donde se ha comparado la técnica de la hidrosiembra en conjunto con distintos Biomantos como la de Isla (2015) quien trabajo con Biomantos de malla raschel y paja de trigo, dando como resultado una baja cobertura de césped debido a las características de la malla raschel utilizada (65% de sombra).

En consideración a lo anterior, este proyecto tiene como propósito analizar la influencia del porcentaje de sombra de la malla raschel en los Biomantos construidos con paja de trigo, el cual será un producto nacional de bajo costo, compatible con el medio ambiente y resistente con las condiciones climáticas al cual será expuesto, en este caso a las condiciones hidrológicas de la Región del Bío-Bío. Este biomanto será complementado con hidrosiembra lo que buscara evitar o apaciguar lo más posible la erosión superficial de los taludes, esto con el fin de que permita una buena germinación y así mitigar de forma permanente los efectos de la erosión.

1.1. Objetivos de la investigación

1.1.1 Objetivo General

- Analizar la influencia del porcentaje de sombra de la malla raschel y paja de trigo, en la germinación de la hidrosiembra en taludes de alta pendiente.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Determinar las variables que influyen en la eficiencia del sistema de hidrosiembra.
- Realizar diseño experimental que permita observar la influencia de distintos porcentajes de sombra de malla raschel en la germinación de la hidrosiembra.
- Cuantificar material erodado en taludes experimentales en función del biomanto construido.
- Comparar el comportamiento de los biomantos en los taludes con los distintos porcentajes de sombra.

2. ANTECEDENTES GENERALES

En el siguiente capítulo se abordará conceptos generales como erosión, además de aspectos relevantes para el control de este, como la hidrosiembra y los Biomantos, los que se utilizan como protección sobre suelos desnudos, todo lo anterior para comprender el estudio del proyecto de título.

2.1 Erosión superficial en taludes

La erosión superficial se comprende como el proceso de degradación, transporte y posterior depósito de material de suelo o roca por efecto de agentes erosivos, tales como el agua o el viento.

A continuación se explica la erosión eólica, la erosión causada por el agua lluvia y la erosión laminar.

2.1.1. Erosión eólica

Este tipo de erosión ocurre cuando un suelo desprotegido se encuentra expuesto a altas velocidades de viento. Cuando la velocidad del viento supera la fuerza cohesiva y/o gravitacional de los elementos del suelo, se desprenden y transportan partículas de este.

Las partículas más pequeñas son transportadas por suspensión, las medianas a través de saltos y brincos, y las más gruesas se transportan rodando (Ver figura 1A). Para la mayoría de los suelos la velocidad necesaria para que se produzca el desprendimiento de partículas es de 20 km/h a una altura de 30 cm por encima de la superficie del terreno (Gray y Sotir, 1996).

2.1.2. Erosión por gotas de lluvia

Esta erosión ocurre cuando las gotas de agua impactan sobre una superficie desprotegida, lo que provoca que la estructura del suelo se vaya degradando en partículas cada vez más pequeñas produciendo la remoción y el desprendimiento de estas. La erosión causada por las gotas de lluvia está directamente relacionada por la cantidad, intensidad y duración de esta. Según la intensidad

de la lluvia el tamaño de las gotas puede variar entre 0,5 y 5 mm de diámetro, en tanto su velocidad generalmente varía entre 3 a 10 metros por segundo (Atlas y Ulbrich, 1987). En la figura 1B se puede apreciar los pasos de la erosión por gotas de lluvia.

2.1.3. Erosión Laminar

La erosión laminar consiste en el desprendimiento y transporte de capas de suelo por acción de la escorrentía. El suelo se va perdiendo casi en forma imperceptible.

El agua parcialmente se infiltra y se acumula sobre la superficie del terreno formándose una capa delgada de agua con flujos de 2 a 3 milímetros de espesor. El flujo laminar es poco profundo en la cresta de la ladera pero la profundidad de flujo aumenta talud abajo. El flujo propiamente laminar tiene poco poder erosivo pero en partes se convierte en turbulento, aumentando en forma importante su capacidad de erosión. En la figura 1C se puede observar el proceso de erosión laminar.

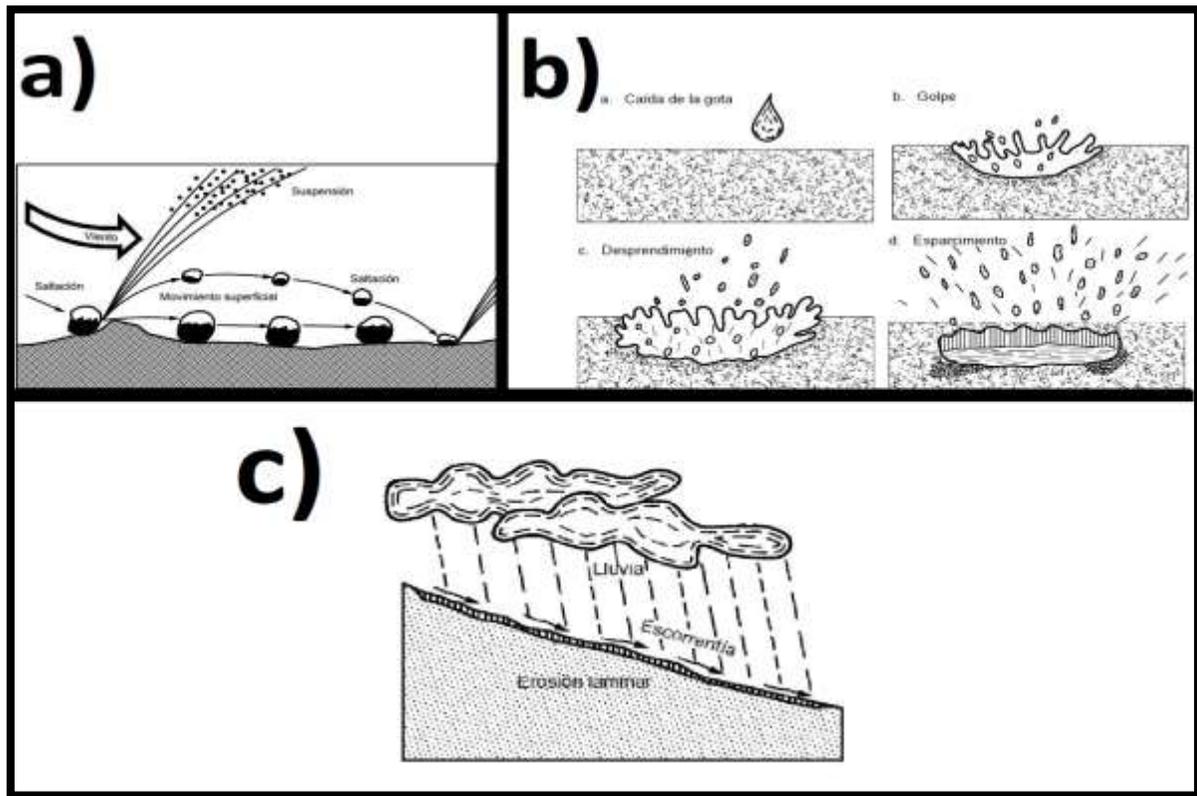


Figura 1 .Procesos de erosión superficial. a) Erosión eólica, b) Erosión por gotas de lluvia, c) Erosión laminar. (Fuente: Suárez, 2011)

2.2. Hidrosiembra

La hidrosiembra es una técnica de siembra que consiste en la proyección vía aspersion de una mezcla homogénea de semillas, fertilizantes, mulch, fijadores y/o aditivos. Esta mezcla produce una rápida siembra y posterior revegetación del suelo en el área intervenida. A continuación se describen los componentes de la hidrosiembra.

a) Agua

El agua sirve como disolvente y transportador de sales y minerales en el proceso de germinación y crecimiento de las plantaciones, además actúa como catalizador del proceso.

b) Semillas

Estructura botánica destinada a la reproducción sexuada o asexuada de una especie (Decreto Ley N° 3.557, Art. 3). Para la hidrosiembra es recomendable utilizar mezcla de distintas semillas las cuales sean de fácil propagación, con abundante follaje y que se adapten a las condiciones del ambiente.

c) Fertilizantes

Son sustancias simples o mezclas de ellas que contengan uno o más nutrientes reconocidos, los que son utilizados principalmente por su contenido nutritivo para las plantas y que son designados, usados o reconocidos por tener un valor en la promoción de crecimiento de las plantas. (DS17, 2007, Ministerio de Agricultura).

d) Mulch

El mulch es un componente en la mezcla de la hidrosiembra el que puede estar compuesto por una variedad de materiales, tanto naturales como sintéticos. Este elemento asegura condiciones favorables para una rápida germinación de las semillas, ya que protege a la semilla de vectores

externos, retiene la humedad, modera la temperatura, aporta materia orgánica y mantiene la estructura superficial del suelo.

e) Fijador o aglomerante

Son Productos Solubles y biodegradables que forman una película homogénea, elástica y permeable sobre el terreno, que ayudan a mantener el suelo y el mulch para prevenir erosión.

2.3. Biomantos

Los Biomantos son mantos delgados fabricados de forma manual o con máquinas, utilizando compuestos orgánicos biodegradables como viruta de madera, fique, fibra de paja o coco, o una combinación de ellos. Son productos que tienen la función de servir como un sistema de control de erosión en taludes que carecen de vegetación, amortiguando la energía erosiva del viento y la lluvia, evitando que las partículas de suelo sean arrastradas, proporcionando así un efecto de acolchado orgánico. Algunos de ellos están hechos de polímeros y otros de materiales biodegradables. Estos últimos protegen la superficie del talud al mismo tiempo que proporcionan las condiciones necesarias de temperatura y humedad para favorecer el proceso de crecimiento de la vegetación.

3. METODOLOGÍA

En el siguiente capítulo se hace referencia al conjunto de procedimientos realizados para llevar a cabo el proyecto de título (Ver figura 2).

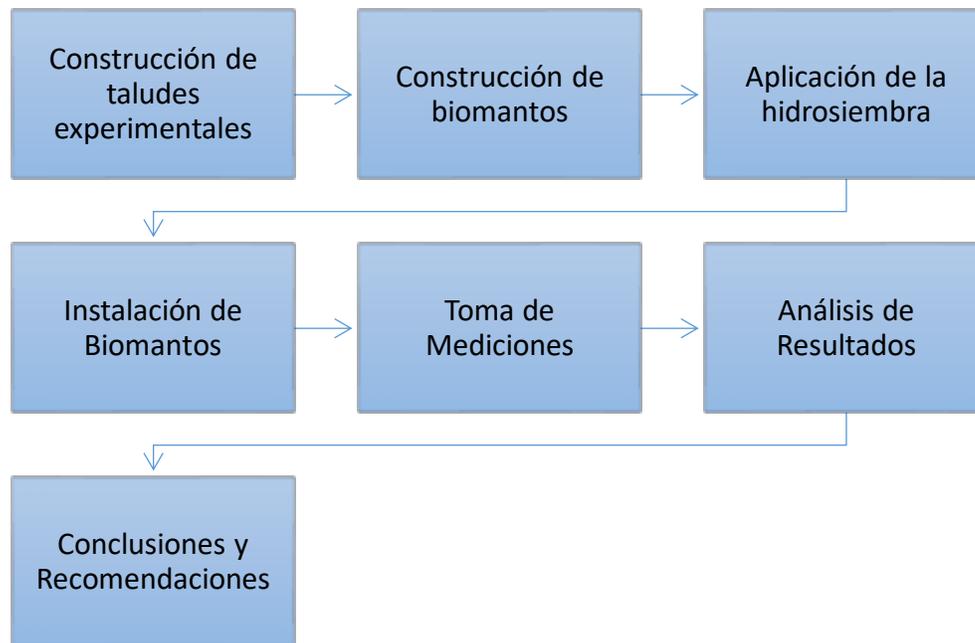


Figura 2 .Orden Cronológico de la experiencia realizada. (Fuente: Elaboración Propia)

El proyecto de título surge a raíz de una tesis anterior, la cual no dio buenos resultados debido a la malla raschel y cantidad de paja de trigo utilizado. En base a lo anterior en primer lugar es necesario identificar las variables que afectan a la germinación de la hidrosiembra, por lo tanto, se realiza una revisión bibliográfica en la que se determinan las variables a evaluar en esta experiencia, definiendo como tales: erosión superficial, temperatura, humedad y precipitaciones. Para observar el resultado dependiente de las variables ya mencionadas, se mide el porcentaje de cobertura vegetal y la longitud de este.

Este proyecto se basa en realizar 4 taludes con hidrosiembra pero diferente recubrimiento, los cuales serán; un talud sin biomanto, y los 3 siguientes con Biomantos de paja de trigo y malla raschel con 35%, 50% y 65 % de sombra respectivamente, los que son expuestos a 3 repeticiones simultáneas en condiciones naturales. El número de repeticiones es determinado por un tema de costo y duración del estudio, además con 3 puntos se puede construir una curva y con ello crear una tendencia del comportamiento de cada Biomanto.

Para realizar el estudio se crearon 6 taludes experimentales los cuales se dividieron en 2 franjas de igual medida, resultando así 12 taludes homólogos los cuales son numerados de 1 a 12 de Este a

Oeste, respectivamente. Estos taludes se ubicaron en dirección noroeste con la finalidad de que la lluvia impacte directamente en el área de estudio.

Para la elección del tipo de malla se realiza un proceso de investigación a las empresas dedicadas a la manufacturación de este material, donde se obtienen las características técnicas de estas.

Luego de tener lo anterior definido, se procede a una segunda fase, experimental, en la que se confeccionan los Biomantos con la paja de trigo y los distintos tipos de malla raschel, instalan los taludes, se le aplica la hidrosiembra y por último se sitúan los Biomantos creados sobre la superficie de los taludes.

El estudio dura en total un periodo de 8 semanas, de las cuales 4 semanas se mide humedad, 5 semanas se mide temperatura y 6 semanas erosión superficial en conjunto a precipitaciones. Por otra parte la cobertura vegetal se mide durante las 8 semanas por medio del Software ImageJ, que por medio de contrastes en fotografías entrega el porcentaje cubierto por pasto.

Al cabo de la octava semana se mide la longitud del césped, debido a que es necesario retirar los Biomantos para obtener las longitudes.

A continuación se describe en forma detallada la metodología de la fase experimental.

3.1. Construcción de taludes experimentales

Se utilizaron seis taludes idénticos, los que fueron separados en dos franjas homologas.

3.1.1. Caracterización de taludes experimentales

Los taludes son experimentales, basados en el desarrollo de proyectos anteriores similares, Hernández (2011) e Isla (2015). Los taludes fueron construidos con planchas de OSB de 9 mm. Las medidas utilizadas fueron de 1 metro de ancho por 1 metro de fondo y 1.22 metros de altura, mientras que la pendiente utilizada fue de 45° la cual es considerada alta en Ingeniería.

Cada talud experimental se dividió en dos franjas homologas de 0,5 metros de ancho, separadas por un tablón de madera de largo 1,41 metro y 5 mm de espesor, por lo que el área de cada talud

experimental en pendiente es de $0,71 \text{ m}^2$. En la figura 3 se puede observar el prototipo de talud construido e instalado.

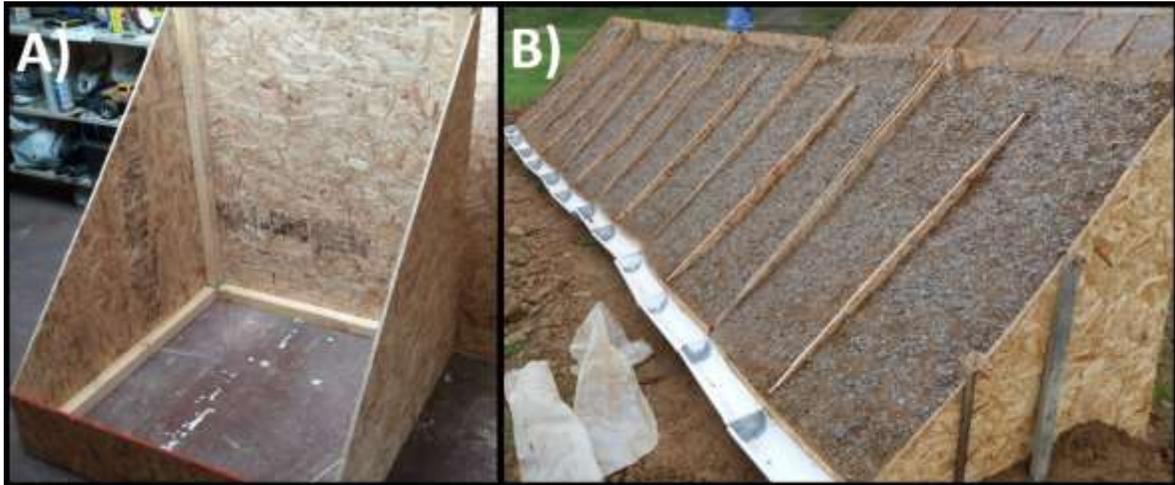


Figura 3. a) Construcción de talud experimental, b) Vista general y Ubicación de taludes.
(Fuente: Elaboración Propia)

3.1.2. Instalación y ubicación de taludes experimentales

Para la experiencia a realizar, los taludes se ubicaron en las dependencias de la U.B.B. en donde se buscó un lugar abierto y sin barreras que obstaculizaran la lluvia y el viento, esto con el fin de ubicar los taludes en las condiciones más desfavorables. De este modo la cara diagonal de los taludes quedó orientada hacia el noroeste, directo al impacto de precipitaciones.

3.1.3. Caracterización del material de relleno

El material de relleno fue extraído por la empresa ARIDOS MADESAL SPA. Desde el Fundo Landa km 6.5 Ruta 150 Concepción Penco Sector Cosmito. El material corresponde a desmonte de cantera y es una arena limosa (SM), característico de la geología presente en la Región del Biobío, la que presenta escaso aporte de nutrientes. El estado natural de este material se mantiene en un rango que va desde 60 % al 80% de la densidad máxima compactada seca (D.M.C.S.).

Para la obtención de las características particulares del suelo se realizaron los siguientes ensayos: granulometría, humedad, límites de atterberg y proctor modificado, llegando a los siguientes resultados:

-El material corresponde a una arena limosa (SM), según Unified Soil Classification System (U.S.C.S)

-El material no presenta índice de plasticidad (NCh 1517/1 of. 1979)

-Límite líquido: 28 % (la NCh 1517/2 of. 1979)

-La D.M.C.S es de $2,04 \text{ t/m}^3$

Para obtener la compactación natural de los taludes confeccionado y para que estos valores se cumplieran, se utilizó la técnica de compactación descrita por Hernández (2011).

La compactación de la capa superficial del talud (30 centímetros) se controló con testigos de PVC calibrado por Hernández (2011), el cual entregó como resultado que los taludes experimentales se encuentran entre un 62,62 % y un 74,62 % de la D.M.C.S. Estos valores corresponden a $1,28 \text{ t/m}^3$ y $1,52 \text{ t/m}^3$ respectivamente.

3.2. Construcción de Biomantos

La construcción de los Biomantos se realizó en base a malla raschel a la cual se le adhirió paja de trigo. Se confeccionaron 3 tipos de Biomantos, los cuales poseen 150 gramos de paja de trigo por metro cuadrado y diferentes tipos de malla. La forma de adherir la paja de trigo a la malla es mediante filamentos de polipropileno en cuadrantes de 15 cm. Se detalla a continuación los pasos que se siguieron para el desarrollo de los Biomantos.

3.2.1. Caracterización de la malla raschel

La malla raschel es una tela tejida con fibras de polietileno de alta densidad, lo cual permite conseguir gran fortaleza en sus hilos y una buena resistencia a las condiciones naturales como la lluvia, el sol y viento. Gracias a su tipo de urdimbre evita el desarme del tejido cuando se corta una de sus fibras, asegurando una mayor durabilidad. Esta malla contribuye a mejorar el microclima,

la actividad fotosintética y el balance hídrico. En el mercado existe una variedad de malla raschel que van desde un 18 % de sombra hasta un 95 % de sombra. Los factores de mayor incidencia al momento de la elección de la malla raschel a utilizar fueron dos, el primero fue la protección de condiciones naturales tales como lluvia, viento y heladas, y el Segundo factor de incidencia fue el espacio entre sus tejidos, los cuales les deben permitir al césped crecer a través de los espacios con el fin de afianzar sus hojas entre los tejidos de la malla. Para confeccionar los Biomantos, la malla raschel a utilizar fueron mallas que presentan 35 %, 50 % y 65 % de sombra.

3.2.2. Selección de paja a utilizar

La paja que se utilizó fue de trigo, esto es debido a su facilidad para obtenerla y es la más económica. Similar a otros tipos de pajas, es amigable con el medio ambiente debido a su degradación, además de aportar nutrientes al suelo.

La paja de trigo al estar complementado con la malla raschel crea un colchón sobre el talud, lo que permite proteger a la hidrosiembra y al terreno de la erosión superficial, además de generar condiciones favorables para la germinación de semillas.

3.2.3. Adhesión de paja de trigo a malla raschel

Al momento de confeccionar los Biomantos uno de los temas más relevantes es la adhesión de la paja de trigo a la malla raschel, para que esta no se desprenda fácilmente. Para realizar lo anterior se utilizó hilo de polipropileno el cual posee alta resistencia nominal y es de bajo costo.

3.2.4. Desarrollo de Biomantos

Para la confección de los 3 tipos de Biomantos se utilizó un gramaje de 150 g/m^2 de paja de trigo, esto es por recomendación de Isla (2015), ya que un gramaje superior podría generar algún problema con el normal crecimiento de las hierbas.

Las dimensiones de los taludes (sección con hidrosiembra) son de 1.41 m de largo y 0.5 m de ancho, por lo cual los Biomantos deben ser de esa dimensión.

Para unir la paja de trigo a la malla raschel se creó un marco de madera en el que se tensó la malla, posteriormente se esparció la paja de forma uniforme sobre la malla, para luego con aguja de saco tejer en cuadrantes de ± 15 cm con fibra de polipropileno. El tamaño de los cuadrantes es para lograr que la paja de trigo no se desprenda por gravedad en un ángulo de 90° .

Los Taludes con sus respectivos Biomantos quedaron distribuidos de la siguiente manera: Taludes 1, 7, 11 Sin protección de Biomantos, Taludes 4, 8, 12 malla raschel con 35% de sombra, Taludes 3, 5, 9 malla raschel con 50% de sombra y Taludes 2, 6, 10 malla raschel con 65% de sombra . Esta distribución se realizó para que los Biomantos con la misma malla raschel no quedaran de manera consecutiva.

3.2.5. Instalación de Biomantos en talud

La instalación de los Biomantos sobre el talud se detalla en el ANEXO D.

3.3. Elección y caracterización de variables

Previo a las mediciones es necesario seleccionar las variables que influyen en la germinación de las semillas. Conforme a los aspectos favorables de germinación y crecimiento de plantas, se determinó medir la temperatura ambiente, temperatura superficial del talud, humedad del suelo del talud, precipitaciones, erosión superficial, porcentaje de cobertura vegetal y la longitud de la cobertura vegetal en cada talud.

3.3.1. Temperatura

Según el tipo de semilla utilizado en la hidrosiembra, la temperatura ideal para las semillas se mantiene en un rango que va desde los 9°C hasta los 25°C .

Se decidió medir la temperatura del aire y la que se genera entre el biomanto y la superficie del talud, esto con el propósito de compararlas y posteriormente estudiar si el microclima que se genera favorece en la germinación y posterior crecimiento de las semillas.

Las mediciones de temperatura se realizaron durante 5 semanas desde que se efectuó la hidrosiembra y se tomaron de lunes a viernes en 2 controles diarios por talud, una en la mañana entre 9:30 y 10:30 A.M. y otra en la tarde entre las 14:30 y 15:30 P.M. Para esto se utilizó un termómetro de pinchar, el cual brinda mayor precisión para la experiencia en estudio.

3.3.2. Humedad

Se mide la humedad en los taludes para ver cómo afecta en la germinación y posterior crecimiento de las semillas con cada uno de los biomantos.

El instrumento utilizado para medir la humedad en el suelo es un sensor llamado “*ECH₂O Check*”, el cual presenta una precisión de $\pm 3\%$.

La humedad se midió en la capa superficial del talud por un periodo de 4 semanas en los que se realizaron 16 mediciones, en las cuales las primeras 2 semanas fueron hechas diariamente y luego día por medio. Cada día se realizaron 2 mediciones por talud, una en la mañana entre 9:30 y 10:30 y otra en la tarde entre 14:30 y 15:30.

3.3.3. Precipitaciones

La precipitación es la variable más significativa para analizar los efectos que ocurren en los taludes. Las precipitaciones son el riego natural que obtienen las semillas para poder germinar y crecer. Las semillas utilizadas pueden sobrevivir en regiones con menos de 400 mm/año de precipitaciones y soportan lluvias anuales superiores a 800 mm anuales.

Los datos diarios de precipitaciones son obtenidos de la estación pluviométrica de la Universidad del Bío-Bío. (Ver ANEXO B)

3.3.4. Erosión Superficial

La erosión superficial es un problema que no solo afecta a la degradación del talud, ya que conjuntamente arrastra las semillas plantadas en él.

Se mide el material erodado de los taludes para estudiar la efectividad de los Biomantos en la protección del talud. Los resultados obtenidos de los Biomantos se comparan con los resultados de los taludes descubiertos.

Para cuantificar el material erodado se evaluó 1 vez por semana durante 6 semanas después de aplicada la hidrosiembra

El material erodado fue recibido en canaletas de PVC de 50 cm de largo que se encontraban ubicados en los pies del talud, estas canaletas contienen perforaciones en los costados los cuales ayudan a evacuar el agua y no material arrastrado. Luego de recolectar el material erodado se lleva a un horno con el fin de secar las muestras y obtener el material erodado seco. Posteriormente se calcinan las muestras para así por diferencia de pesos obtener la cantidad de hidrosiembra desprendida y la cantidad de suelo erodado.

3.3.5. Cobertura Vegetal

La cobertura vegetal es la variable que se tiene como resultado, según el funcionamiento del biomanto y del comportamiento de las variables anteriormente descritas. Esta medición será el resultado que permita dilucidar cuál de los Biomantos implementados es más efectivo. Para medir la cobertura vegetal en un principio se tenía estimado hacerlo bajo el biomanto, pero debido a las dificultades que se tenían para acceder a la superficie del talud, esto por la adhesión que se produjo entre talud, hidrosiembra y biomanto, se decidió realizarlo sobre este último a excepción de la octava semana cuando se retiran los Biomantos. Para medir la cobertura vegetal se utilizó el software ImageJ, que por medio de contrastes en fotografías entrega el porcentaje cubierto por pasto.

3.3.6. Longitud de la Cobertura Vegetal

En primera instancia se tenía considerado medir la longitud de la cobertura vegetal bajo los Biomantos, pero debido a las dificultades que se tenían para acceder a la superficie del talud, esto por la adhesión que se produjo entre césped, talud y Biomantos, se decidió que al término del estudio, esto es al cabo de 8 semanas de aplicada la hidrosiembra, se retiren los Biomantos de los taludes, esto con el fin de medir el césped de 3 formas; longitud del tallo, longitud del suelo

afianzado con la raíz y la longitud de la raíz estirada, esto para saber en cuál de todos los taludes la hidrosiembra creció y afianzo más sus raíces al suelo.

3.4. Aplicación de Hidrosiembra

La hidrosiembra es la técnica que se utilizara para fijar las semillas a los taludes (Ver ANEXO F).

La mezcla de semillas utilizadas fue obtenida según el conocimiento técnico y experiencia de la empresa IGMA S.A. Se utilizó un 40% de festuca alta, 40% de ballica italiana y un 20% de tréboles. En el ANEXO A se especifica características de cada una de las especies.

4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

La experiencia tuvo lugar en el Campus Concepción de la Universidad del Bío-Bío, desde el 30 de Junio al 25 de Agosto del 2017. A continuación, se detallan los resultados y sus respectivos análisis.

4.1 Resultados y análisis

Lo primero es presentar los datos obtenidos para analizarlos y formar una idea del comportamiento que tuvo cada variable de manera independiente, para luego relacionarlos entre ellos y ver de qué forma se comportaron los biomantos.

Para un mejor análisis de los datos, hay que señalar que todos los valores expuestos en los siguientes gráficos son el promedio de las 3 repeticiones simultáneas que se realizaron en cada recubrimiento de talud, debido que los valores son muy similares, esto se puede observar en el ANEXO B.

Para el estudio de los datos almacenados, la elección de un buen análisis es importante para evitar conclusiones erróneas, en consideración a lo anterior, las mediciones de temperatura y humedad se les realiza una prueba de hipótesis con respecto a las medias, esto se logra tomando las observaciones en pares, donde se supone que las condiciones externas son las mismas para cada par, pero pueden variar de par en par. Este método permite afirmar si la variable estudiada de un talud posee diferencias estadísticamente significativas con las de los otros taludes.

El método plantea una hipótesis nula (H0), donde no existen diferencias significativas entre las muestras y una hipótesis alternativa (H1) donde si existen.

El nivel de significancia representa la probabilidad de rechazar una hipótesis nula verdadera, matemáticamente se puede considerar cualquier valor entre 0 y 1, pero para estudios de pruebas de hipótesis normalmente esta entre 0,01 y 0,1.

Los análisis y obtención de datos de las tablas de comparación (Ver ANEXO B), se utiliza un software estadístico InfoStat versión estudiantil, con un nivel de significancia (p-valor)<0,05, por lo tanto, si (p-valor) es menor o igual a 0,05 se acepta H1 y se rechaza H0, por el contrario, si (p-valor) es mayor que 0,05 se acepta H0 y se rechaza H1.

4.1.1. Temperatura

Para este proceso se consideró medir la temperatura ambiente y la que se genera entre el biomanto y la superficie del talud.

Las mediciones detalladas se encuentran en el ANEXO B.

a) Temperatura Matinal

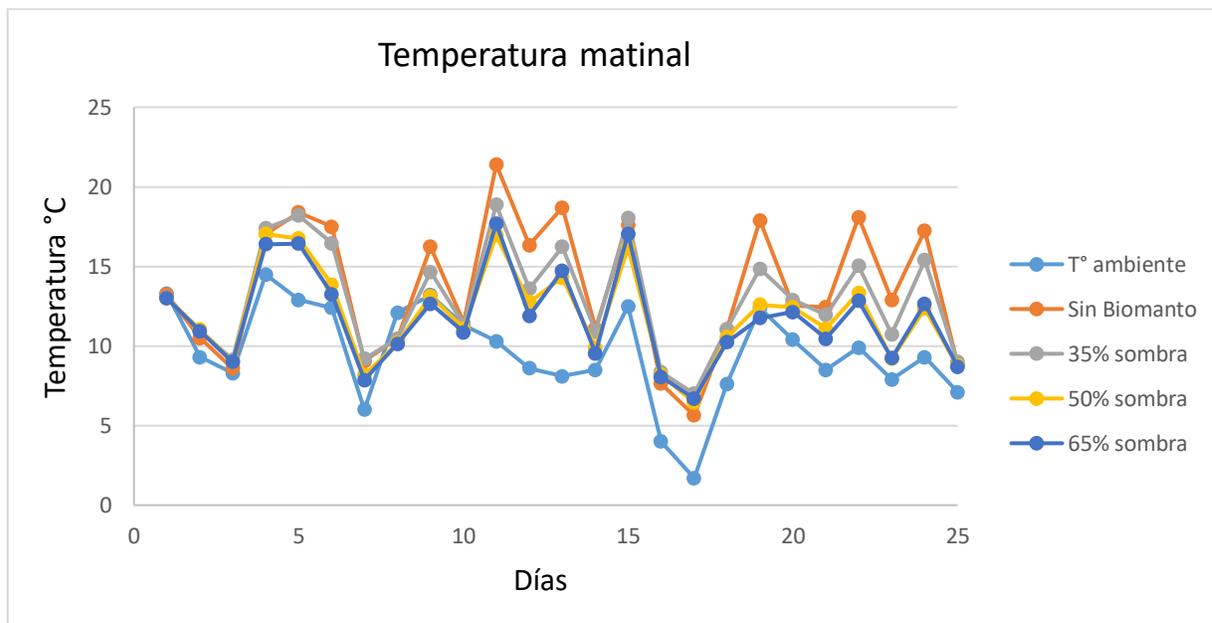


Figura 4. Temperatura matinal en taludes. (Fuente: Elaboración Propia)

Los taludes en la mañana en general mantenían una temperatura superior a la temperatura ambiente. Los Biomantos con 50 % y 65% de sombra se comportaron de forma similar variando en promedio 0,1 °C, por otra parte la diferencia mayor se presenta en el biomanto con 35% de sombra el cual varía en promedio 1,1° C por sobre los otros dos Biomantos.

Los días que se presentaron temperaturas ambientes más bajas los Biomantos mantuvieron una temperatura mayor en 3,7° C aproximadamente, lo cual es una diferencia significativa considerando la presencia de heladas en periodo invernal, recordemos que las semillas necesitan sobre 9°C para germinar y desarrollarse de forma óptima.

Por otro lado los taludes desprotegidos mantuvieron una temperatura mayor respecto a los Biomantos, pero a diferencia de estos, la temperatura en el talud fue menor 0,4°C aproximadamente respecto a los biomantos los días en que la temperatura ambiente fue más baja (Ver figura 4).

Los resultados arrojados por la prueba de hipótesis con respecto a las medias (Ver ANEXO B, tabla 11), mostraron que para la comparación entre los 3 tipos de biomantos, la hipótesis nula fue rechazada. Esto confirma que las temperaturas matinales de los taludes efectivamente presentan una diferencia estadísticas entre ellos, en el cual el biomanto con 35% de sombra presenta una mayor temperatura, a diferencia del biomanto con 65% de sombra el cual posee una menor temperatura.

b) Temperatura Vespertina

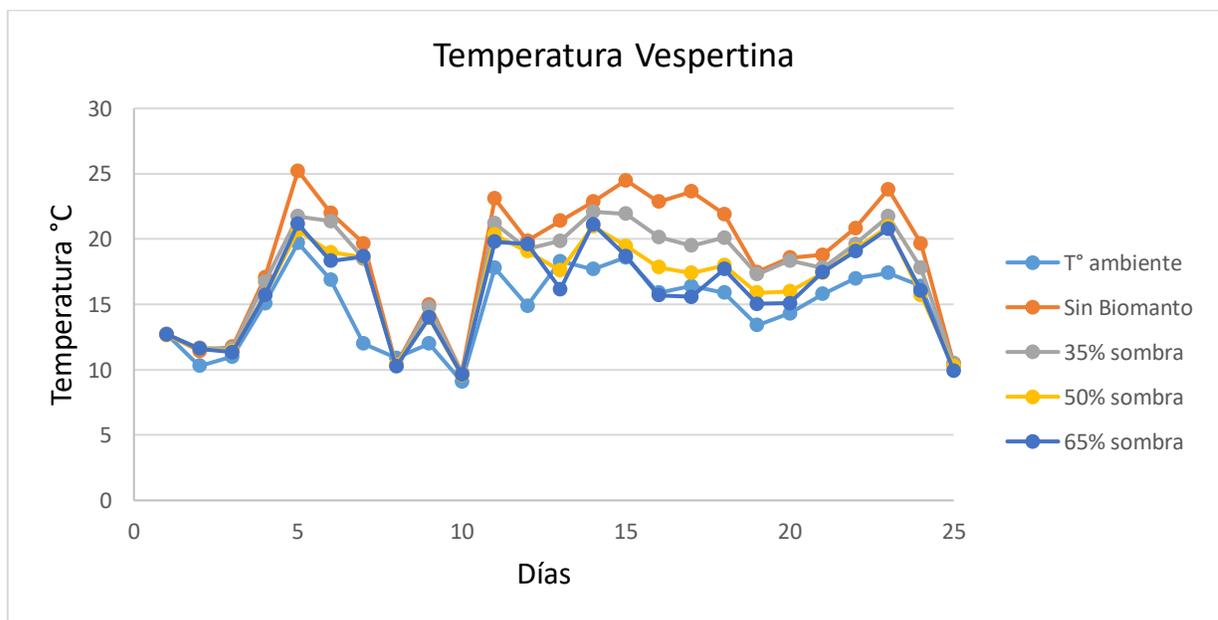


Figura 5. Temperatura Vespertina en taludes. (Fuente: Elaboración Propia)

Se puede apreciar un comportamiento homologado al comportamiento presentado en la mañana, los Biomantos con 50 % y 65% de sombra se comportaron de forma similar variando en promedio 0,4 °C, por otra parte al igual que las mediciones matinales, la diferencia mayor se presenta en los Biomantos con 35% de sombra el cual varía en promedio 1,3° C por sobre los otros dos Biomantos, esto se debe básicamente a que el porcentaje de sombra es menor y la energía calórica es absorbida por la malla raschel y traspasada hacia la superficie del talud.

La temperatura en los taludes con Biomantos fue superior 1,8°C en promedio a la temperatura ambiente, por otra parte la temperatura en los taludes desprotegidos fue mayor 3,8°C en promedio.

Los días en que se presentaron temperaturas ambientales más altas, la temperatura en los Biomantos fue superior 2,1° C aproximadamente, y en los taludes desprotegido la temperatura fue superior 5°C (Ver figura 5).

Los resultados arrojados por la prueba de hipótesis con respecto a las medias (Ver ANEXO B, tabla 12), mostraron que para la comparación entre los 3 tipos de biomantos, la hipótesis nula fue rechazada. Esto confirma que las temperaturas vespertinas de los taludes, efectivamente presentan una diferencia estadística entre ellos, en el cual el biomanto con 35% de sombra presenta una mayor temperatura, a diferencia del biomanto con 65% de sombra el cual posee una menor temperatura.

4.1.2. Humedad

Los resultados de humedad están en porcentaje ya que indica cantidad de volumen total del suelo que contiene agua, generalmente varía entre 0% y 50% suponiendo que los suelos típicos tienen 50% materia orgánica y mineral y 50% de espacio poroso.

Los resultados detallados de humedades en cada talud se encuentran en el ANEXO B.

a) Humedad matinal

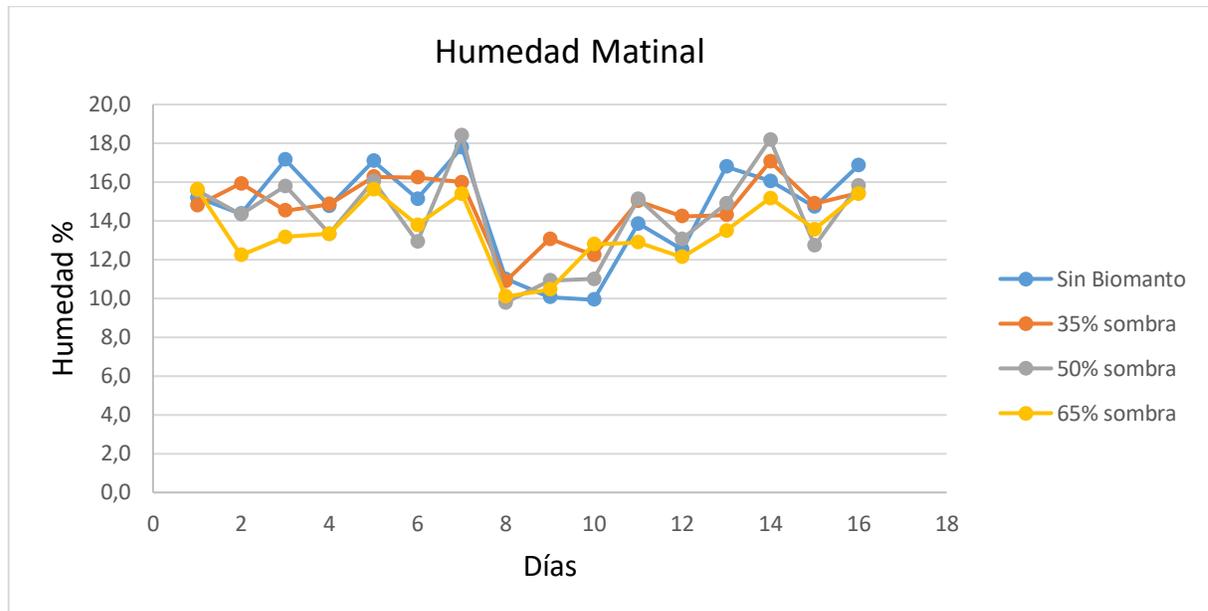


Figura 6. Humedad matinal en taludes. (Fuente: Elaboración Propia)

Los taludes con Biomantos con 65% de sombra mantuvieron en promedio un 8% menos de humedad que los otros taludes, esto se explica porque los espacios entre tejidos es menor y disminuye el traspaso de las precipitaciones y el rocío.

Por otra parte los biomantos con 35% de sombra presentan en promedio un 0,6 % de humedad por sobre los taludes sin recubrimiento, y estos a su vez presentan un 2% de humedad sobre los taludes con biomantos con 50% de sombra, por lo cual podemos decir que se comportan de forma similar ya que la diferencia entre ellos es mínima.

Los resultados arrojados por la prueba de hipótesis con respecto a las medias (Ver ANEXO B, tabla 13), determinaron que los taludes sin biomantos, se comportaron de manera similar a los taludes con biomantos de 35% y 50% de sombra, los que a su vez no tuvieron una diferencia estadísticamente significativa, por lo que se puede considerar que no existe diferencia entre los valores medios de las humedades.

Por otra parte al comparar los taludes con biomantos con 65% de sombra respecto a los taludes con otro tipo de recubrimiento, la hipótesis nula fue rechazada, esto significa que los taludes con este tipo de biomanto tuvo una diferencia estadísticamente significativa en su comportamiento.

b) Humedad Vespertina

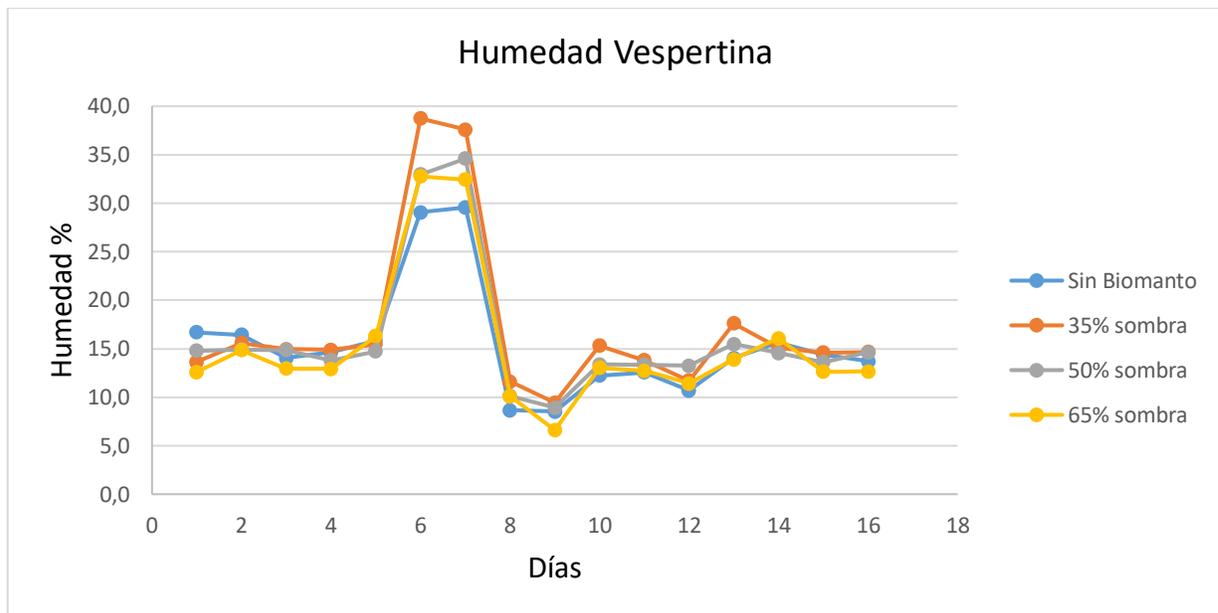


Figura 7. Humedad vespertina en taludes. (Fuente: Elaboración Propia)

El comportamiento de la humedad en los taludes con biomantos es homólogo al que presentaron en la mañana, solo que en la tarde la diferencia promedio entre biomanto es más considerable. A diferencia de la mañana, los taludes desprotegidos presentaron en promedio menor humedad respecto a los Biomantos con 50% de sombra, esto se debe a que la humedad es disipada más rápidamente al ambiente que los taludes que poseen Biomantos, esto se explica porque las mallas reducen el porcentaje de luz solar que traspasa al suelo disminuyendo la evapotranspiración, además la paja de trigo mantiene la humedad en sus fibras y las traspasa al terreno.

Los taludes con Biomantos con 65% de sombra mantuvieron en promedio una humedad similar a los taludes desprotegidos y menor a los otros Biomantos (Ver figura 7), esto se debe porque los espacios entre tejidos es menor y evita que traspase rocío de la noche además de reducir el ingreso de agua lluvia al talud.

Los taludes con biomantos con 35% de sombra presentaron en promedio un 6,8% de humedad sobre los biomantos con 50% de sombra, y estos a su vez presentan un 4,3% de humedad sobre los taludes desprotegidos.

Los resultados arrojados por la prueba de hipótesis, determinaron que los biomantos con 35% de sombra presentaron una diferencia significativa con respecto a los otros taludes. Por otra parte los

biomantos con 50 % y 65% de sombra no presentan una diferencia estadísticamente significativa con respecto a los taludes desprotegidos. A diferencia de lo anterior, al comparar los biomantos con 50% y 65% de sombra presentaron diferencias significativa por lo que se rechaza la hipótesis nula, esto se debe a que los biomantos con 50% de sombra presenta una humedad levemente superior los taludes desprotegidos y los biomantos con 65% de sombra presenta una humedad levemente inferior a los taludes desprotegidos, lo cual la diferencia entre ellos es más significativa.

4.1.3. Precipitación y erosión Superficial

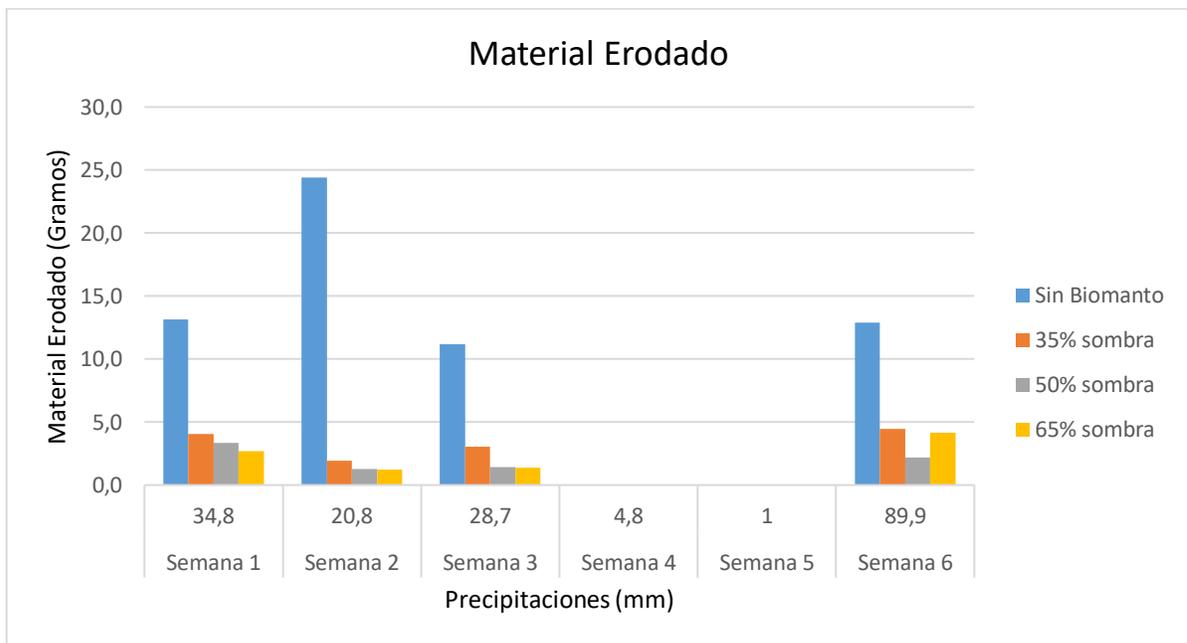


Figura 8. Material erodado en taludes en presencia de precipitación natural. (Fuente: Elaboración Propia)

El material erodado depende directamente de las precipitaciones por lo cual serán analizados en conjunto. Cabe destacar que las precipitaciones producidas la cuarta y quinta semana de estudio fueron bajas, por lo cual se consideró despreciable el material erodado en las canaletas de recepción de material, ya que no eran significativas para efectos de análisis.

El material erodado consta de suelo erodado e hidrosiembra desprendida.

Los resultados obtenidos nos muestran una clara tendencia de que los taludes sin Biomantos presentan significativamente una mayor cantidad de material erodado respecto a los taludes con

Biomantos. En promedio el material erodado en taludes desprotegidos es 492 % mayor que los taludes con Biomantos.

Los resultados obtenidos indican que los taludes con biomantos presentan en general un comportamiento similar las primeras tres semanas de estudio (Ver figura 8), en el cual se puede observar que existe mayor cantidad de material erodado en presencia de los biomantos que poseen 35% de sombra, por el contrario, los biomantos que presentan 65% de sombra presentaron en promedio un 38% menos de erosión respecto a los otros biomantos y un 800% menos de material erodado respecto a los taludes desprotegidos, esto se debe ya que el espacio entre tejidos es más pequeño, lo que permite una mejor protección contra los agentes erosivos. Esta tendencia se produce cuando el césped está comenzando a crecer y los taludes son más susceptible a erosionarse.

Al cabo de la sexta semana, difieren los comportamientos de los biomantos respecto de las primeras tres semanas. Los taludes con biomantos con 50% de sombra, presentan en promedio un 102,3 % menos de material erodado en comparación a los taludes con los otros biomantos y un 486% menos de erosión que los taludes desprotegidos, esto es debido a que su porcentaje de sombra le permita que el césped crezca y se afiance con el biomanto, además de protegerlo contra los agentes erosivos.

4.1.4. Cobertura Vegetal

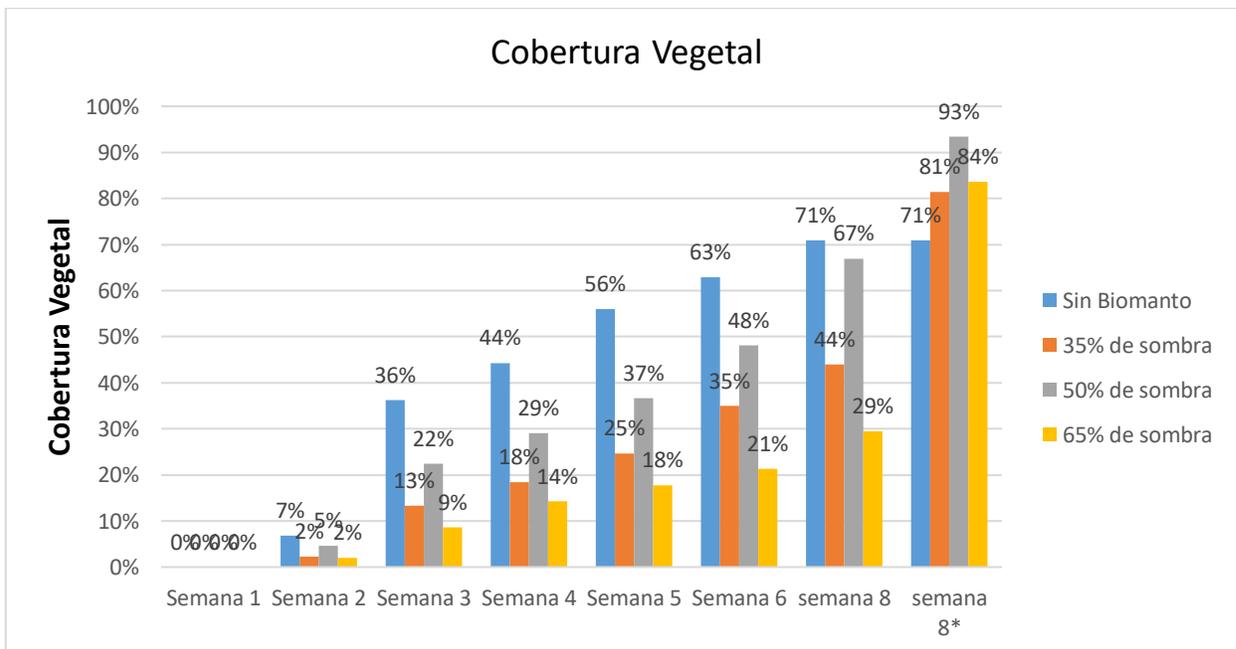


Figura 9. Evolución de Cobertura Vegetal. (Fuente: Elaboración Propia)

La cobertura vegetal se analizó de dos maneras, la primera es con los Biomantos instalados las 8 semanas de estudio y otra es sin los Biomantos al cabo de la octava semana cuando se retiran.

Los resultados obtenidos con los biomantos instalados indican que los taludes sin ningún tipo de recubrimiento poseen en promedio un 20% más de cobertura vegetal que los taludes con Biomantos. Por otra parte los Biomantos con 50% de sombra el cual posee mejores resultados presentaron en promedio un 13% más de cobertura vegetal respecto a los otros Biomantos y un 10% menos respecto a los taludes desprotegidos. (Ver figura 9). La causa de la baja cobertura en los Biomantos con 65% de sombra es debido que sus aberturas que eran muy pequeñas y no permitía el paso del césped.

Para analizar que sucedió con la cobertura vegetal bajo los Biomantos, se decidió retirar los Biomantos de todas las repeticiones a la octava semana, con esto se observó que en algunos taludes la cobertura vegetal bajo los Biomantos, duplicaba la observada sobre éstos. Los resultados obtenidos indican que los taludes con Biomantos con 50% de sombra fueron los que presentaron una mayor cobertura vegetal con un 93% en promedio, por otro lado los taludes con Biomantos con 35 % y 65% de sombra, obtuvieron 81% y 84 % en promedio de cobertura vegetal. A su vez los taludes sin recubrimientos obtuvieron en promedio 71% de cobertura vegetal.

4.1.5. Longitud Cobertura Vegetal

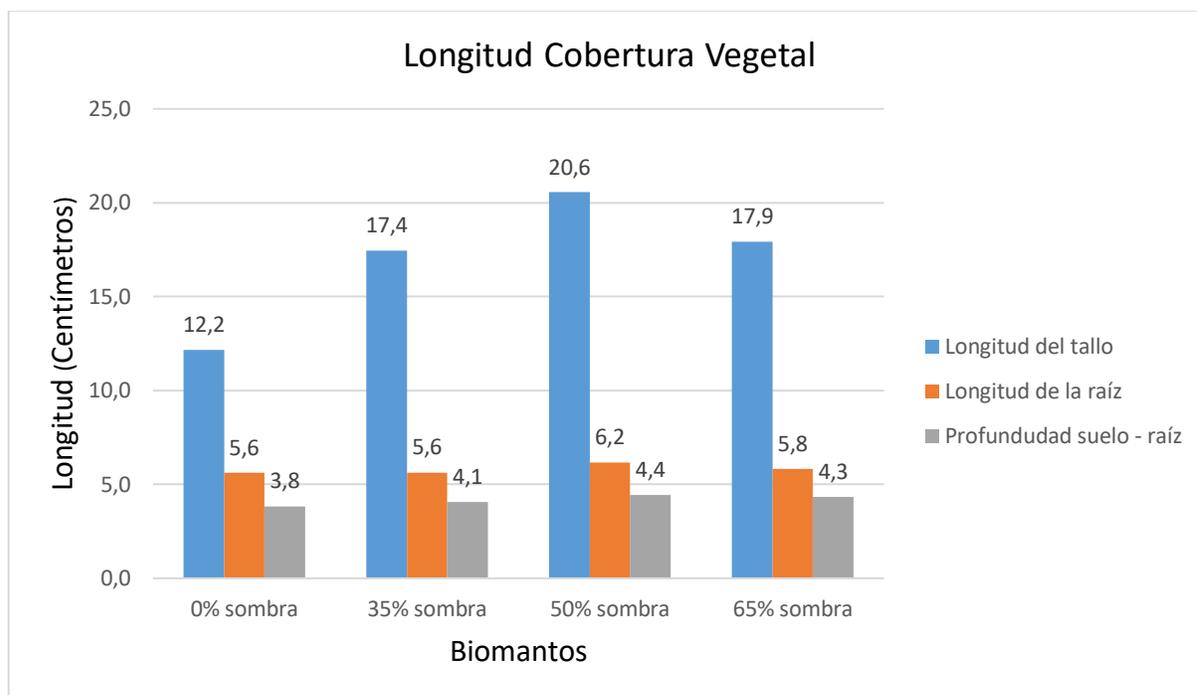


Figura 10. Longitud de Cobertura Vegetal. (Fuente: Elaboración Propia)

La longitud de la cobertura vegetal se midió a la octava semana de aplicada la hidrosiembra, para esto se retiraron los Biomantos de los taludes (Ver ANEXO F).

La longitud del césped se midió de 3 formas; longitud del tallo, longitud del suelo afianzado con la raíz y la longitud de la raíz estirada, esto para saber en cuál de todos los taludes la hidrosiembra creció y afianzo más sus raíces al suelo.

Los resultados obtenidos indican que la longitud del tallo fue mayor un 17% en promedio en los taludes que presentaban Biomantos con 50% de sombra respecto a los otros tipos de Biomantos, y un 68% mayor que los taludes que no poseen ningún tipo de recubrimiento.

Por otra parte la longitud de la raíz y la profundidad de afianzamiento suelo-raíz, presento un crecimiento similar en todos los taludes (ver figura 10).

4.1. Correlación entre variables

A continuación se exponen las correlaciones obtenidas en las mediciones que se realizaron, básicamente entre la cobertura vegetal y material erodado, temperatura y humedad, todo esto siempre manteniendo como variable independiente el porcentaje de sombra de la malla raschel presente en los biomantos.

4.2.1. Cobertura Vegetal y material erodado

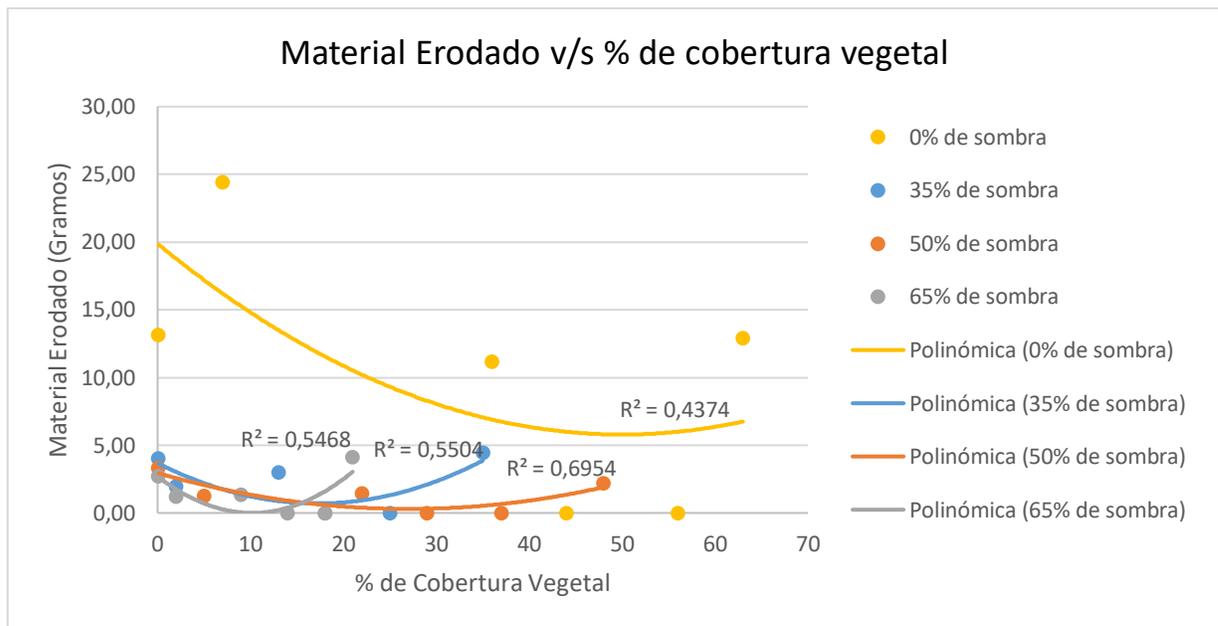


Figura 11. Material erodado v/s % de cobertura vegetal en los taludes, con los diferentes biomantos implementados. (Fuente: Elaboración Propia)

Los resultados obtenidos nos indican una tendencia polinómica para los tres tipos de biomantos y para el talud desprotegido (Ver figura 11), esto quiere decir que a medida que creció el césped, el material erodado iba disminuyendo hasta llegar a un punto donde el material erodado aumenta nuevamente. Esta tendencia se debe a las precipitaciones producidas en el periodo de estudio, ya que la cuarta y quinta semana de estudio las precipitaciones fueron bajas, por lo cual se consideró despreciable el material erodado en las canaletas de recepción de material, debido que no eran significativas para efectos de análisis. A su vez la sexta semana de estudio, las precipitaciones caídas fueron 89,9 mm, lo que triplica y hasta cuadruplica las precipitaciones medidas las semanas

anteriores, esto explica la tendencia polinómica que se produce en la relación cobertura y material erodado.

A pesar de lo anterior se puede observar una clara tendencia de que los taludes sin Biomantos presentan significativamente una mayor cantidad de material erodado respecto a los taludes con Biomantos. En promedio el material erodado en taludes desprotegidos es 492 % mayor que los taludes con Biomantos. Por otro lado los biomantos con 50% de sombra presentan significativamente una mayor presencia de cobertura vegetal respecto a los otros biomantos.

4.2.2. Temperatura y humedad

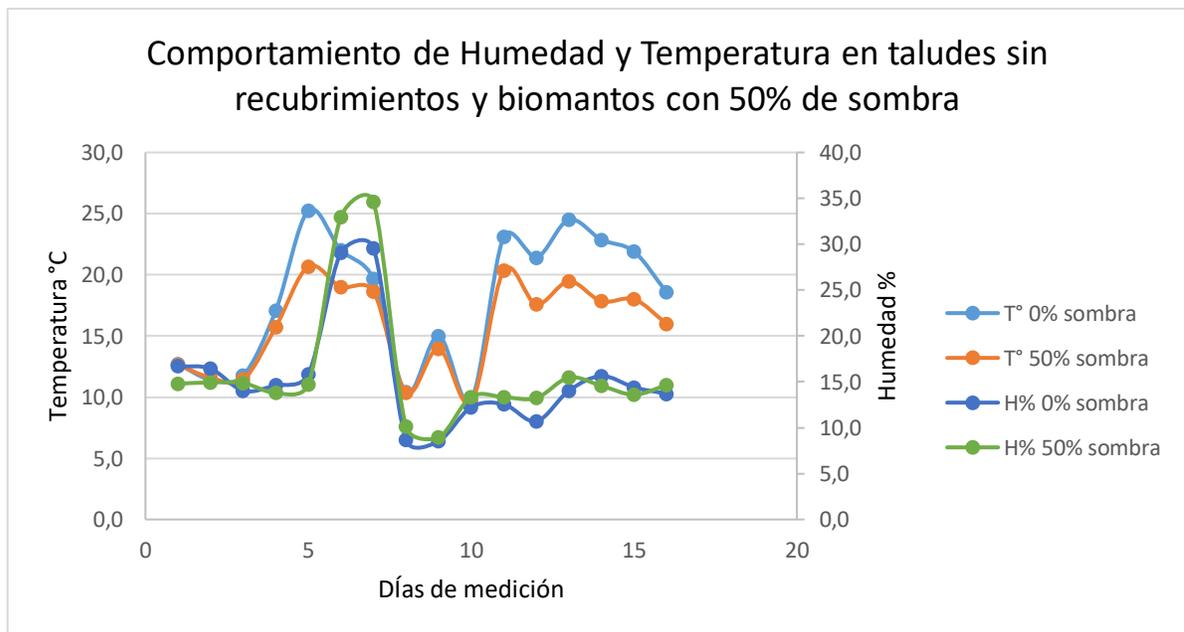


Figura 12. Comparación del comportamiento de humedad y temperatura en taludes desprotegidos y biomantos con 50% de sombra (Fuente: Elaboración Propia)

Para observar el comportamiento de la temperatura y humedad en el tiempo, se decidió estudiar los resultados de los taludes desprotegidos y los Biomantos con 50% de sombra, el cual presento mayor cobertura vegetal y menor erosión en promedio respecto a los otros biomantos.

Según se puede observar en la figura 12, el biomanto con 50% de sombra presenta variaciones de humedad y temperatura que oscilan en un menor rango comparado con el talud desprotegido. Por lo tanto los biomantos crean un microclima más favorable para la germinación y posterior

crecimiento del césped. Esto porque mantienen humedades y temperaturas más estables. Si bien las condiciones de humedad y temperatura eran propicias para la germinación de semillas, el espacio físico para el desarrollo de las hierbas no lo era, según lo explicado en el punto 4.1.4.

La figura 12 representa las temperaturas y humedades tomadas en la tarde puesto que en la mañana el comportamiento de las variables señaladas es homólogo.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En el presente estudio se logró desarrollar un biomanto en base a malla raschel y paja de trigo, en donde se utilizaron mallas raschel con 35%, 50% y 65% de sombra, a las cuales se adhirió 150 g/m² de paja de trigo distribuido uniformemente. Según los resultados obtenidos los taludes desprotegidos presentaron una mayor cobertura vegetal seguido por los biomantos con 50% de sombra. Muy por abajo encontramos los biomantos con 35% y 65% de sombra los cuales fueron deficientes en cobertura vegetal, esto se debe al micro clima generado y al espacio entre tejidos.

Según la bibliografía revisada y la experiencia realizada, se determinó que las variables que afectan la germinación de semillas en los taludes son la humedad, temperatura, la erosión superficial y el espacio físico de desarrollo de la planta, esta última es una de las variables más influyentes para los biomantos confeccionados.

La confección de los biomantos se logró mediante prueba y error, donde se unió paja de trigo a la malla raschel a través de filamento de polipropileno en cuadrantes de 15 cm aproximadamente, lo que permitió que la adherencia fuera de tal manera que no se desprendiera la paja de la malla en una pendiente de 90°. El comportamiento de los biomantos en condiciones naturales fue bueno, puesto que soportaron las condiciones climáticas y no presentaron daños, solo se presenció un mínimo desprendimiento de paja de trigo producto de la erosión.

La temperatura superficial es controlada de mejor manera por el biomanto que presenta 65% de sombra, disminuyendo la temperatura superficial del talud en 2,3°C aproximadamente, por otra parte la humedad es controlada de mejor manera por el biomanto que presenta 35% de sombra, aumentando la humedad del talud en 6,1 % aproximadamente, lo anterior en comparación con los taludes que no tienen recubrimiento.

La cobertura vegetal fue afectada directamente por los tipos de biomantos implementados. Los resultados obtenidos indican que los taludes sin ningún tipo de recubrimiento poseen en promedio un 20% más de cobertura vegetal que los taludes con biomantos, lo que significa que los biomantos fueron deficientes. Por otra parte, con respecto a los Biomantos, los que presentaron en promedio mayor cobertura vegetal fueron los que poseen un porcentaje de sombra del 50%, lo que se debe al espacio físico que posee la malla, la que genera mejores condiciones para el crecimiento del césped. La causa de la baja cobertura en los Biomantos con 65% de sombra es debido que sus aberturas eran muy pequeñas y no permitía el paso del césped. Por otra parte, la baja cobertura de

los biomantos con 35% de sombra se puede atribuir al microclima generado entre el talud y biomanto, ya que siempre fue mayor la temperatura y humedad respecto a los otros biomantos.

La erosión superficial es reducida un 492% en promedio en los taludes con biomantos, respecto a los taludes desprotegidos, lo cual nos señala que los biomantos son una buena opción como solución a mediano plazo para controlar la erosión superficial en taludes de alta pendientes debido a su relación costo/calidad.

Con respecto al control de la erosión superficial, las primeras 3 semanas de estudio cuando el césped está comenzando a germinar y los taludes son más susceptibles a erosionarse, los biomantos con 65% de sombra presentaron en promedio un 38% menos de erosión respecto a los otros biomantos y un 800% menos de material erodado respecto a los taludes desprotegidos, esto se debe al reducido espacio entre tejidos, lo que permite una mejor protección contra agentes erosivos.

Al cabo de la sexta semana, difieren los comportamientos de los biomantos respecto de las primeras tres semanas. Los taludes con biomantos con 50% de sombra, presenta en promedio un 102,3 % menos de material erodado en comparación a los otros biomantos y un 486% menos de material erodado con respecto a los taludes desprotegidos, esto es debido a que el porcentaje de sombra permite que el césped crezca y se afiance con el biomanto, además de protegerlo contra los agentes erosivos.

La implementación de los biomantos se realizó en temporada de invierno con 179 mm de agua caída en periodo de medición. Por lo tanto si los biomantos se quisieran probar en época estival, donde las temperaturas son más altas y las precipitaciones más bajas, la germinación de semillas presentaría problemas. Como control de erosión superficial tendría un excelente comportamiento en cualquier época del año.

Debido a la baja cobertura vegetal que se obtuvo en los biomantos implementados, y en base a los resultados obtenidos, se propone para futuras experiencias utilizar malla raschel con un porcentaje de sombra de 50%, y utilizar un gramaje máximo de $100\text{g}/\text{m}^2$ de paja de trigo, con cuadrantes de fibras de polipropileno de 15 cm.

Se propone controlar las precipitaciones mediante algún sistema de lluvia artificial, para un mejor control de las variables de humedad, temperatura y erosión, además de estudiar las variables por un periodo de 3 meses.

6. BIBLIOGRAFÍA

- DECRETO LEY N°3.557, 1980, Ministerio de Agricultura “disposiciones sobre protección agrícola”.
- Gray y Sotir (1996). *Biotechnical and soil bioengineering slope stabilization: a practical guide for erosion control*, Universidad de Michigan, Estados Unidos.
- Isla (2015). Implementación de biomanto con malla raschel y paja de trigo en taludes de alta pendiente. Proyecto de título de Ingeniería Civil, Universidad del Bío-Bío, Concepción, Chile.
- Troncoso (2014). Comparación de la erosión en taludes desprotegidos de pendiente baja con diferentes tipos de perfil. Proyecto de título de Ingeniería Civil, Universidad del Bío-Bío, Concepción, Chile.
- Jara (2015). Análisis experimental de la influencia de mulch en hidrosiembra en taludes con pendiente 150%. Proyecto de título de Ingeniería Civil, Universidad del Bío-Bío, Concepción, Chile.
- Díaz (2016). Influencia de la pendiente en el control de erosión en taludes protegidos con biomanto orgánico e hidrosiembra. Proyecto de título de Ingeniería Civil, Universidad del Bío-Bío, Concepción, Chile.
- Hernández (2011). Influencia de la pendiente y la precipitación en la erosión de taludes desprotegidos. Proyecto de título de Ingeniería Civil, Universidad del Bío-Bío, Concepción, Chile.
- CANAVOS, G. C. (1997). *PROBABILIDAD Y ESTADÍSTICA: APLICACIONES Y MÉTODOS* (1a. ed., 1a. reimp.). MADRID: MCGRAW-HILL INTERAMERICANA.
- Morgan (1997), *Erosión y conservación del suelo*, España. Traducción del original en inglés “proper mulching techniques”, International Society of arboriculture, Champaign, Illinois, por Sally González, Especialista en Forestación Urbana y Paisajismo del Servicio Cooperativo de Extensión, Universidad de Puerto Rico.

- SciELO Chile (2002) Biblioteca científica. [En línea].
<<https://www.scielo.cl/scielo>> [Consulta: 1 Junio al 30 de septiembre del 2017].
- Zulueta corporación (2017). [En línea].
<<https://www.zulueta.com>> [Consulta: Octubre 2017].
- Marienberg (2017). [En línea].
<<http://www.marienberg.cl>> [Consulta: Junio 2017].
- Facultad de Agronomía, Universidad de la República. [En línea].
<www.FAGRO.EDU.uy> [Consulta: Septiembre 2017].

ANEXOS

ANEXO A: SEMILLAS UTILIZADAS EN LA HIDROSIEMBRA

a) *Festuca arundinacea* (*Festuca alta*)

La *Festuca Arundinacea* es una gramínea, de porte semi-erecto. Se reproduce vegetativamente por ahijamiento, formando una macolla basal de hojas, muy densa (Ver figura 1). Su sistema radicular es fibroso y potente, profundizando en el sustrato más que cualquier otra gramínea llegando a profundidades de 30 a 60 cm.

La *Festuca Alta* está bien adaptada a zonas templadas de transición y climas mediterráneos secos, aunque posee una buena adaptación a climas fríos. Para que la *Festuca* posea un crecimiento óptimo la temperatura ideal del suelo debe ser entre 10°C a 18°C y el Aire de 15° C a 24°C. Se adapta bien a todo tipo de suelo, de los ligeramente ácidos a los neutros y alcalinos, además de presentar un buen comportamiento a terrenos con mala infiltración.

Esta especie además de tener buena resistencia al pisoteo y extracción, es tolerante a la sombra particularmente en climas húmedos con humedad alta.

Debido a sus características la hacen ideal para el control de erosión superficial en taludes.

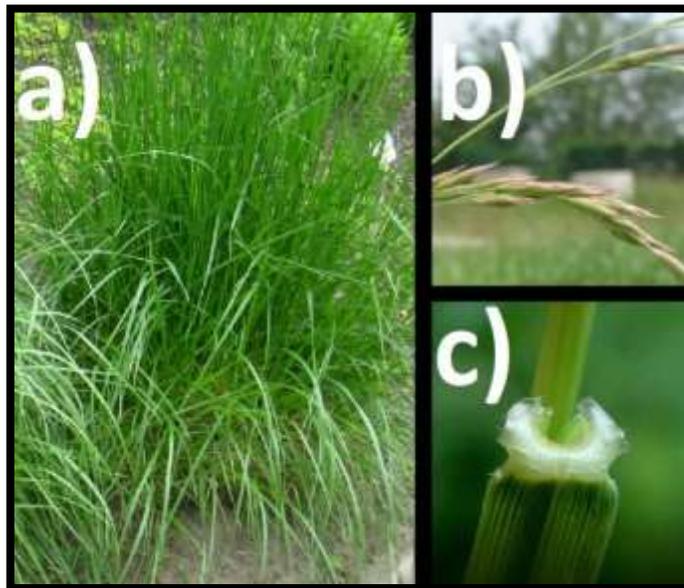


Figura 1. Caracterización *Festuca Arundinacea*: a) aspecto general, b) detalle de la panoja, c) detalle de la base de la lámina. (Fuente: <http://www.unavarra.es/herbario>)

b) Lolium multiflorum (Ballica italiana)

Perteneciente a la familia de las gramíneas forrajeras, la ballica es la que crece más rápido. Presenta tallos de 30 a 130 centímetros con estructura erecta y delgada, presenta una ramificación baja de 2 a 5 por nudo; sus hojas son delgadas en la punta, lisas en la cara inferior y escábridas en la cara superior (Ver figura 2).

La Ballica italiana crece en climas templados, zonas abandonadas o en cultivo, incluso en cunetas, siendo una de sus características importantes la resistencia al frío y una de sus debilidades la sensibilidad al calor y sequía, por lo que en temporadas de calor detiene completamente su crecimiento.

En suelos fértiles desarrolla un elevado potencial productivo, aun así se adapta a suelos de mala calidad, aunque produce menor cobertura y florece a menor altura. Es resistente al pisoteo, ya que presenta un rápido rebrote. Presenta una germinación rápida, entre 5 a 7 días y un crecimiento acelerado, esto puede impedir el establecimiento de otras especies de más lento crecimiento, por lo que se debe controlar el porcentaje de *Lolium* en una mezcla de sembrado.



Figura 2. *Lolium multiflorum*, aspecto general. (Fuente: commons.wikimedia.org)

C) *Trifolium*

También conocida como trébol, es un prado de alta resistencia al pisoteo. De crecimiento bajo y rastrero, posee una raíz pivotante y una cantidad importante de raíces secundarias, sus tallos por lo general son rastreros, pero también existen variedades semirrectas, sus hojas son trifoliadas, suspendidas y alternas, sus folíolos suelen tener marcas de color verde claro, formando una V completa, pudiendo medir entre 30 a 33 milímetros (Ver figura 3).

El trébol subterráneo germina en otoño con mayor crecimiento durante otoño hasta la primavera en que las temperaturas tienen un rango de 15-25° C. Soporta temperaturas extremas pero su germinación disminuye considerablemente. Crece adecuadamente en plena luz, en suelos secos, arenosos y con una acidez de ph de 3.5 - 5.5. Tolera muy bien la sombra, pero no así la sequía, aunque después de esta condición se regenera desde el banco de semillas después de las lluvias de otoño.



Figura 3. *Trifolium subterraneum*, aspecto general. (Fuente: <http://www.floradecanarias.com>)

ANEXO B: DATOS OBTENIDOS

A continuación se adjuntan los datos obtenidos durante el periodo de estudio del proyecto de título, de los cuales se realizaron 25 mediciones de temperatura y 16 mediciones de humedad.

Las precipitaciones se obtuvieron de la estación pluviométrica ubicada en la Universidad del Bío-Bío, por lo cual se tienen los datos de todos los días de estudio.

Por otro lado el material erodado se evaluó durante 6 semanas, 1 vez por semana.

Al cabo de la octava semana se midió la longitud de la cobertura vegetal.

Temperatura matinal

Tabla 1: Datos de T° obtenidos en medición matinal.

	Talud	1	7	11	4	8	12	3	5	9	2	6	10
	N° Repetición	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
	Biomantos	0%	0%	0%	35%	35%	35%	50%	50%	50%	65%	65%	65%
Medición	T° matinal	T° en taludes (°C)											
1	13,3	13,4	13	13,3	13	13,1	13,1	13,1	12,9	13	12,8	13,1	13,1
2	9,3	10,1	10,7	10,7	11	11	10,9	10,9	11,1	11,1	10,7	11,1	11
3	8,3	8,4	8,7	8,7	9,2	9,2	9,0	8,9	9,0	9,1	8,9	9,1	9,0
4	14,5	16,5	17,1	17,5	17,2	17,3	17,7	17,3	16,7	17,1	16,9	16,2	16,1
5	12,9	18	18,8	18,4	18,6	17,9	18,1	15,8	17,2	17,3	16	16,3	17
6	12,4	16,8	18,2	17,5	16,1	16,4	16,9	13	14,4	14,2	12,9	13,2	13,7
7	6,0	8,3	9,2	9,7	8,8	9,5	9,3	7,7	8,0	8,8	7,3	7,9	8,4
8	12,1	10,1	10,6	10,7	10,3	10,8	10,3	10,3	9,8	10,5	10,3	10,1	10
9	13,2	15,7	16,5	16,5	14,3	14,7	15,0	13,2	12,9	13,3	12,6	12,5	12,9
10	11,3	11,4	11,5	11,5	11,4	11,3	11,4	11,1	11,1	11,1	10,9	10,9	10,8
11	10,3	20,0	21,8	22,4	16,6	21,5	18,5	15,8	16,8	18,3	15,6	17,6	19,9
12	8,6	14,3	17,7	17,0	12,8	14,7	13,3	11,7	12,8	13,8	11,1	13,2	11,4
13	8,1	18,0	19,1	19,0	14,2	16,8	17,7	14,8	15,1	13,0	15,1	13,1	16,0
14	8,5	11,5	11,0	10,8	10,9	11,1	10,7	9,9	9,7	10,1	9,5	9,5	9,6
15	12,5	15,5	18,2	19,1	16,7	17,8	19,6	15,1	15,9	17,6	15,6	17,0	18,6
16	4,0	7,3	7,9	7,7	8,7	8,4	8,0	8,1	8,3	8,2	7,6	8,3	8,3
17	1,7	4,9	6,3	5,7	7,1	7,2	6,7	6,5	5,7	7,1	6,1	6,7	7,3
18	7,6	9,9	12,1	11,1	10,7	11,5	11,0	10,2	10,5	11,0	9,9	10,5	10,3
19	12,4	18,2	17,7	17,8	15,6	14,3	14,7	11,9	13,2	12,7	11,9	11,6	11,8
20	10,4	11,3	13,1	13,3	12,1	13,5	13,1	11,8	12,2	13,3	11,3	12,4	12,7
21	8,5	11,1	13,7	12,5	11,9	11,7	12,3	12,0	10,2	11,1	10,6	10,5	10,3
22	9,9	16,8	19,5	18,0	13,6	13,9	17,6	12,7	12,9	14,4	11,5	13,9	13,1
23	7,9	11,7	11,5	15,5	11,1	10,8	10,3	8,9	9,3	9,4	9,2	9,6	8,9
24	9,3	15,6	17,7	18,5	15,3	15,3	15,6	11,9	12,1	13,1	11,5	12,2	14,3
25	7,1	8,1	9,2	9,2	8,8	9,3	8,9	8,3	8,6	9,4	8,2	8,6	9,3

(Fuente: Elaboración propia)

Temperatura Vespertina

Tabla 2: Datos de T° obtenidos en medición vespertina.

	Talud	1	7	11	4	8	12	3	5	9	2	6	10
	N° Repetición	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
	Biomantos	0%	0%	0%	35%	35%	35%	50%	50%	50%	65%	65%	65%
Medición	T° Vespertina	T° en taludes (°C)											
1	12,7	12,9	12,7	12,5	12,7	12,7	12,8	12,5	12,6	12,8	12,7	12,7	12,7
2	10,3	11,2	11,5	11,6	11,8	11,6	11,6	11,5	11,6	11,7	11,4	11,8	11,6
3	11,0	11,6	11,8	11,9	11,6	11,8	11,5	11,4	11,4	11,5	11,3	11,3	11,4
4	15,1	17	17,3	16,9	16,2	17,3	16,7	15,1	15,9	16,2	14,7	16,1	16,3
5	19,7	24,7	25,4	25,6	21,7	23,6	19,9	19,7	20,4	21,9	20,9	21	21,6
6	16,9	21,5	22,3	22,2	22,1	20,4	21,6	18,4	19,1	19,5	18,3	18,5	18,2
7	12	17,4	20,4	21,2	18,6	19,5	17,4	17,6	19,1	19,2	15,7	18,9	21,4
8	10,9	10,3	10,5	10,4	10,3	10,5	10,2	10,2	10,4	10,5	10,3	10,3	10,1
9	12,0	14,3	16,2	14,5	14,3	14,9	15,1	13,2	14,0	14,7	13,7	14,3	14,0
10	9,1	9,7	9,8	9,8	9,8	9,6	9,7	9,5	9,5	9,7	9,7	9,5	9,7
11	17,8	23,8	22,0	23,5	20,1	22,1	21,4	20,8	19,6	20,6	21,9	19,5	18,0
12	14,9	17,8	21,7	20,1	18,9	19,1	19,7	18,8	20,3	18,1	18,0	22,2	18,7
13	18,3	21,4	21,6	21,2	19,9	19,5	20,2	17,5	17,7	17,6	17,1	15,7	15,7
14	17,7	22,0	23,8	22,8	22,0	22,6	21,7	20,5	20,3	22,1	20,3	20,7	22,4
15	18,6	24,6	24,5	24,4	22,1	21,7	22,0	19,2	19,8	19,4	19,2	18,8	18,1
16	15,9	22,2	23,1	23,3	20,5	19,7	20,3	17,7	18,3	17,5	15,7	16,1	15,3
17	16,4	23,5	23,6	23,8	19,7	18,8	20,0	17,1	18,4	16,7	16,2	15,3	15,2
18	15,9	21,4	21,5	22,8	18,7	20,5	21,1	17,8	17,8	18,4	17,8	18,0	17,3
19	13,4	15,7	18,4	18,3	17,7	17,6	16,6	15,3	16,1	16,3	14,8	15,0	15,3
20	14,3	18,4	18,7	18,6	19,8	18,0	17,3	15,3	16,8	15,9	14,3	16,1	14,9
21	15,8	19,0	19	18,4	18,1	17,6	17,7	17,9	17,6	16,7	18,4	17,7	16,3
22	17,0	21,5	21,0	20,0	19,9	19,5	19,5	19,7	19,0	19,0	19,6	18,9	18,7
23	17,4	25,1	22,7	23,6	21,7	21,7	21,8	20,7	20,6	21,6	21,5	20,2	20,7
24	16,4	20,5	19,7	18,8	17,3	18,3	17,8	16,6	15,8	14,8	18,0	15,9	14,3
25	10,3	10,5	10,3	10,7	10,4	10,3	10,6	10,4	10,3	10,0	10,3	9,9	9,6

(Fuente: Elaboración propia)

Humedad matinal

Tabla 3: Datos de Humedad obtenidos en medición matinal.

Talud	1	7	11	4	8	12	3	5	9	2	6	10
N° de Repetición	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Biomantos	0%	0%	0%	35%	35%	35%	50%	50%	50%	65%	65%	65%
Medición	Humedades de Taludes en %											
1	16,5	15,9	13,2	12,9	17,6	13,9	15,8	15,3	15,6	16,3	15,2	15,4
2	13,7	16,5	12,9	13,2	16,8	17,8	14,7	16,6	11,7	13,3	10,7	12,7
3	18,1	15,3	18,1	15,6	14,4	13,6	13,8	18,2	15,4	12	11,4	16,1
4	14,3	14,2	15,8	14,9	13,1	16,6	12,8	13,9	13,3	14,5	13,1	12,4
5	16,9	16,3	18,1	16,7	17,4	14,7	16,9	15,8	15,5	16,5	14,3	16,1
6	16,2	15,8	13,4	13,3	18,5	16,9	10,1	14,2	14,5	14,8	13,8	12,8
7	15,3	18,8	19,3	16,5	18,2	13,3	17,8	15,9	21,5	16,7	15,6	13,9
8	11	11,8	10,2	12,6	12,4	7,7	11,2	6,6	11,6	11,1	8,4	10,8
9	8,7	12,7	8,8	16,1	11,3	11,8	12,3	7,8	12,7	10,9	10,1	10,4
10	10,8	9,5	9,5	12,8	10,7	13,2	9,7	12,5	10,8	13,2	10,5	14,7
11	12,8	13,7	15,1	13,7	15,9	15,5	15,3	15,1	15	11,4	13,1	14,2
12	10,7	14	12,9	14,7	14,3	13,7	12,4	14	12,8	13,4	13,2	9,8
13	18,7	15,6	16,1	15,2	14,8	12,9	12,5	18,3	13,9	14,2	15,9	10,4
14	16,7	16,3	15,2	16,3	18,2	16,7	17,6	15,7	21,3	16,5	15,3	13,7
15	15,3	15,7	13,2	13,1	17,1	14,5	9,9	14	14,3	14,5	13,6	12,6
16	16,3	16,4	17,9	16,5	13,4	16,4	16,7	15,6	15,2	16,2	14,1	15,9

(Fuente: Elaboración propia)

Humedad Vespertina

Tabla 4: Datos de Humedad obtenidos en medición Vespertina.

Talud	1	7	11	4	8	12	3	5	9	2	6	10
N° de Repetición	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Biomantos	0%	0%	0%	35%	35%	35%	50%	50%	50%	65%	65%	65%
Medición	Humedades de Taludes en %											
1	15,7	18,1	16,3	11,1	15,8	14	13	16	15,4	11,7	13,3	12,8
2	16,3	15,4	17,6	15,8	16,8	14,1	15,7	16,1	13	15,4	15,9	13,3
3	13,2	16,7	12,2	15,3	16,2	13,4	13,7	13,7	17,2	14	12,8	12,1
4	13,1	16,3	14,5	16,6	15,8	12,3	13	12,5	15,9	12,5	12,6	13,7
5	15,4	14,3	17,8	13,9	14,1	18,3	13,1	19,4	11,7	15,9	17,7	15,3
6	30,6	23,3	33,3	36,3	45,9	34	37,7	20,1	41,1	36,5	27,2	34,6
7	30,9	31,5	26,3	43,7	35,4	33,7	38,8	35,2	29,8	37,5	33,9	25,9
8	8,6	9,4	8	12,3	10,9	11,6	12,7	8,3	9,4	10,7	6,1	13,5
9	6,1	10,3	9,2	7,4	11,5	9,4	7,3	9,9	9,6	4	7,9	7,9
10	12,9	13,1	10,7	15,1	15,2	15,6	14,1	10,9	15,1	11	11,8	16,3
11	11,8	12,7	13,2	17,9	10,6	12,9	13,7	12,4	13,9	10,1	11,8	16,3
12	10,2	11,3	10,6	12,6	10,1	12,4	11,8	12,5	15,4	10,4	10,7	13,1
13	14,5	13,4	14,2	17,7	17,7	17,4	15,9	13,8	16,7	13,6	14,2	13,9
14	15,2	14,1	17,6	13,6	13,8	17,9	12,7	19,5	11,5	15,6	17,5	15,1
15	12,9	16	14,3	16,5	15,5	11,8	12,8	12,3	15,7	12,2	12,3	13,4
16	12,8	16,4	11,9	15,2	15,9	12,9	13,5	13,6	16,8	13,8	12,4	11,8

(Fuente: Elaboración propia)

*Precipitaciones***Tabla 5: Datos de Precipitaciones.**

jul-17		ago-17	
Día	PP (mm)	Día	PP (mm)
1	0	1	0
2	0.25	2	0
3	0	3	0
4	18.29	4	0
5	16	5	0.76
6	0.25	6	20.07
7	1.27	7	0
8	0	8	10.92
9	1.78	9	34.04
10	0	10	3.56
11	0	11	20.57
12	0	12	0
13	17.78	13	27.18
14	6.1	14	20.83
15	22.35	15	0
16	0.25	16	0
17	0	17	0
18	0	18	12.45
19	0	19	4.57
20	0	20	0.51
21	0	21	0
22	0	22	3.81
23	4.83	23	17.53
24	0	24	20.07
25	0	25	9.65
26	0	26	0
27	0	27	26.92
28	0.76	28	22.61
29	0.25	29	0
30	0	30	0
31	0	31	0
Total	90.16	Total	256.05

(Fuente: Elaboración propia)

Material erodado

Tabla 6: Datos de Material Erodado

		Talud	1	7	11	4	8	12	3	5	9	2	6	10
		N° Repetición	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
		Biomantos	0%	0%	0%	35%	35%	35%	50%	50%	50%	65%	65%	65%
Medición	Fecha	Precipitación (mm)	Material Erodado (g)											
Semana 1	1 al 7 / 07	34,8	13,6	16,7	9,1	3,6	4,3	4,1	3,0	3,2	3,9	3,4	3,5	1,2
Semana 2	7 al 14 / 07	20,8	23,5	13,9	35,9	1,5	2,0	2,4	1,5	0,7	1,6	1,1	0,9	1,7
Semana 3	14 al 21 / 07	28,7	12,5	8,4	12,7	3,2	2,3	3,6	2,4	1,0	1,0	1,5	1,3	1,3
Semana 4	21 al 28 / 07	4,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Semana 5	28 al 04 / 07	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Semana 6	04 al 11 / 07	89,9	19,1	4,2	15,4	6,0	3,3	4,0	2,3	1,4	2,9	5,6	1,6	5,3

(Fuente: Elaboración propia)

Suelo erodado

Tabla 7: Datos de Suelo Erodado

		Talud	1	7	11	4	8	12	3	5	9	2	6	10
		N° Repetición	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
		Biomantos	0%	0%	0%	35%	35%	35%	50%	50%	50%	65%	65%	65%
Medición	Fecha	Precipitación (mm)	Suelo Erodado (g)											
Semana 1	1 al 7 / 07	34,8	11,2	14,7	6,5	2,8	3,3	3,3	2,5	2,5	3,4	2,9	3,1	0,8
Semana 2	7 al 14 / 07	20,8	21,2	12,1	32,7	1,0	1,6	1,9	1,3	0,4	1,3	0,6	0,8	1,3
Semana 3	14 al 21 / 07	28,7	11,2	7,2	11,1	3,0	2,1	3,3	2,2	0,8	0,9	1,4	1,2	1,2
Semana 4	21 al 28 / 07	4,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Semana 5	28 al 04 / 07	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Semana 6	04 al 11 / 07	89,9	17,9	3,7	14,5	5,6	3,0	3,6	2,3	1,4	2,9	5,2	1,4	4,7

(Fuente: Elaboración propia)

Hidrosiembra desprendida

Tabla 8: Datos de Hidrosiembra Desprendida

		Talud	1	7	11	4	8	12	3	5	9	2	6	10
		N° Repetición	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
		Biomantos	0	0	0	35	35	35	50	50	50	65	65	65
Medición	Fecha	Precipitación (mm)	Hidrosiembra Desprendida (g)											
Semana 1	1 al 7 / 07	34,8	2,4	2,0	2,6	0,8	1,3	0,8	0,5	0,6	0,4	0,5	0,4	0,4
Semana 2	7 al 14 / 07	20,8	2,3	1,8	3,1	0,5	0,4	0,5	0,2	0,3	0,2	0,2	0,2	0,4
Semana 3	14 al 21 / 07	28,7	1,3	1,2	1,6	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Semana 4	21 al 28 / 07	4,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Semana 5	28 al 04 / 07	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Semana 6	04 al 11 / 07	89,9	1,2	0,5	0,9	0,4	0,3	0,4	0,1	0,1	0,1	0,4	0,2	0,5

(Fuente: Elaboración propia)

Cobertura Vegetal

Tabla 9: Porcentaje de Cobertura Vegetal

	Talud	1	7	11	4	8	12	3	5	9	2	6	10
	N° Repetición	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
	Biomantos	0%	0%	0%	35%	35%	35%	50%	50%	50%	65%	65%	65%
Medición	Fecha	Cobertura Vegetal en talud (%)											
Semana 1	1 al 7 / 07	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Semana 2	7 al 14 / 07	6,90%	7,80%	5,70%	2,76%	1,80%	2,39%	4,67%	3,47%	5,87%	2,58%	2,42%	1,14%
Semana 3	14 al 21 / 07	29,27%	41,22%	38,09%	13,19%	14,44%	12,51%	19,31%	23,07%	25,05%	7,72%	8,74%	9,27%
Semana 4	21 al 28 / 07	40,87%	48,80%	43,20%	19,39%	18,50%	17,45%	31,12%	27,42%	28,71%	14,96%	12,36%	15,34%
Semana 5	28 al 04 / 07	52,48%	58,21%	57,20%	26,61%	24,76%	22,59%	38,58%	35,28%	36,01%	17,38%	16,80%	19,15%
Semana 6	04 al 11 / 07	58,58%	64,03%	65,97%	36,03%	33,41%	35,55%	48,29%	49,34%	46,63%	19,83%	22,37%	21,59%
semana 8	18 al 25 / 07	66,64%	72,48%	73,79%	44,73%	45,43%	41,94%	75,98%	64,84%	60,03%	29,64%	27,99%	30,75%
semana 8*	18 al 25 / 07	66,64%	72,48%	73,79%	82,76%	83,07%	78,53%	95,29%	93,70%	91,28%	82,27%	84,98%	83,54%

(Fuente: Elaboración propia)

Nota: En la semana 8 se proceden a retirar los Biomantos, por ende se mide la cobertura vegetal con Biomantos y sin ellos (*), en el caso de los taludes sin Biomantos se mantiene la cobertura vegetal para efectos de comparación.

Longitud Cobertura Vegetal

Tabla 10: Longitud Cobertura Vegetal

	Talud	1	7	11	4	8	12	3	5	9	2	6	10	
	N° Repetición	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
	Biomantos	0%	0%	0%	35%	35%	35%	50%	50%	50%	65%	65%	65%	
Zona Medida En Talud	Parte de la Planta	Dimensión	Longitud Cobertura Vegetal (cm)											
Superior	Tallo	Longitud	7	14	14	22	17	12	24	22	18	13	17	17
	Raíz	Longitud	5,5	4,5	5	6	5	4,5	5,5	6	5,5	6,5	5,5	4,5
		Profundidad	3	3,5	3,5	4,5	4,5	3,5	3,5	5	4,3	4,5	5	3
Medio	Tallo	Longitud	8,5	15	14	18	18	17	20	18	23	19	21	20
	Raíz	Longitud	6	5	5	7	5,5	5	8	6	5	7	6,5	3
		Profundidad	4,5	4	4	4	4	3	4,5	5	3,5	5	5,5	2,5
Inferior	Tallo	Longitud	15	12	10	17	17	19	20	19	21	20,4	15	19
	Raíz	Longitud	8	5,5	6	6	6	5,7	6,5	7	6	8	6	5,5
		Profundidad	4	4	4	3,5	4,5	5	4,5	4	5,5	5	4,5	4

(Fuente: Elaboración propia)

Prueba de hipótesis con respecto a las medias

Tabla 11: Comparación de temperatura matinal entre los distintos biomantos.

Comparación biomantos		N	Media (dif)	DE (dif)	p-valor asumido	p-valor encontrado	Comentario
35%	50%	25	1,06	0,86	0,05	0,0001	Se rechaza la hipótesis nula
35%	65%	25	1,23	0,91	0,05	0,0001	Se rechaza la hipótesis nula
50%	65%	25	0,17	0,44	0,05	0,0337	Se rechaza la hipótesis nula

(Fuente: Elaboración Propia)

Tabla 12: Comparación de temperatura vespertina entre los distintos biomantos.

Comparación biomantos		N	Media (dif)	DE (dif)	p-valor asumido	p-valor encontrado	Comentario
35%	50%	25	1,06	0,94	0,05	0,0001	Se rechaza la hipótesis nula
35%	65%	25	1,4	1,46	0,05	0,0001	Se rechaza la hipótesis nula
50%	65%	25	0,34	0,67	0,05	0,0089	Se rechaza la hipótesis nula

(Fuente: Elaboración Propia)

Tabla 13: Comparación de humedad matinal entre los distintos taludes.

Comparación biomantos		N	Media (dif)	DE (dif)	p-valor asumido	p-valor encontrado	Comentario
0%	35%	16	0,14	1,68	0,05	0,6259	Se acepta la hipótesis nula
0%	50%	16	0,35	1,34	0,05	0,1564	Se acepta la hipótesis nula
0%	65%	16	1,14	1,59	0,05	0,0057	Se rechaza la hipótesis nula
35%	50%	16	0,49	1,54	0,05	0,1125	Se acepta la hipótesis nula
35%	65%	16	1,28	1,2	0,05	0,0003	Se rechaza la hipótesis nula
50%	65%	16	0,79	1,47	0,05	0,0237	Se rechaza la hipótesis nula

(Fuente: Elaboración Propia)

Tabla 14: Comparación de humedad vespertina entre los distintos taludes.

Comparación biomantos		N	Media (dif)	DE (dif)	p-valor asumido	p-valor encontrado	Comentario
0%	35%	16	1,75	3,21	0,05	0,0227	Se rechaza la hipótesis nula
0%	50%	16	0,71	1,93	0,05	0,0817	Se acepta la hipótesis nula
0%	65%	16	0,16	1,92	0,05	0,3701	Se acepta la hipótesis nula
35%	50%	16	1,04	1,67	0,05	0,0124	Se rechaza la hipótesis nula
35%	65%	16	1,91	1,88	0,05	0,0005	Se rechaza la hipótesis nula
50%	65%	16	0,87	1,24	0,05	0,0067	Se rechaza la hipótesis nula

(Fuente: Elaboración Propia)

ANEXO C: MECÁNICA DE SUELOS

Granulometría.

La granulometría se realiza de acuerdo a la norma NCh. 165 of.77. Los resultados obtenidos se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 15: Granulometría.

Tamiz(Nº)	Retenido parcial(g)	Retenido parcial (%)	Retenido Acumulado (%)	Pasa (%)
0,75	0	0,00	0,00	100,0
0,375	7,3	0,72	0,72	99,3
4	33,66	3,34	4,06	95,9
10	138,2	13,71	17,78	82,2
20	93,2	9,25	27,03	73,0
40	83,9	8,33	35,35	64,6
60	64,1	6,36	41,71	58,3
200	207,4	20,58	62,29	37,7
finos	308,04			

(Fuente: Elaboración propia)

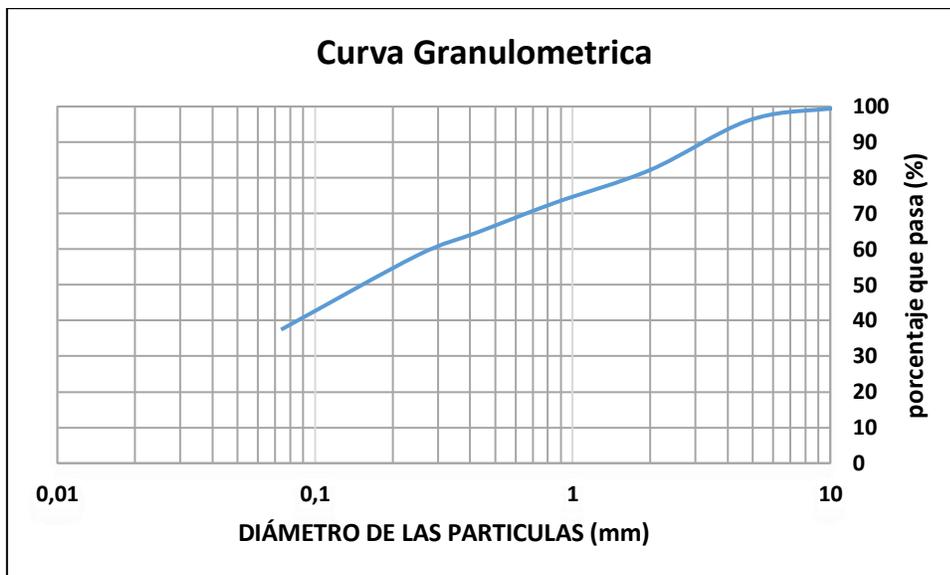


Figura 4: Curva granulométrica. (Fuente: Elaboración propia)

Límites de Atterberg.

Los límites de atterberg se realizaron de acuerdo a la norma NCh 1517/1 of. 1979 y para el límite plástico la NCh 1517/2 of. 1979. Los cuales se presenta a continuación:

-Límite líquido: 28%

-Límite plástico: Plasticidad Nula.

-Índice plástico: No procede.

Proctor Modificado.

Según la norma NCh 1534 of. 1989 se realizó el ensayo Proctor Modificado presentando los resultados que se muestran a continuación:

Tabla 16: Datos Elaboración Proctor Modificado.

ENSAYE Nº	AGUA AGREGADA (%)	MOLDE + MATERIAL(g)	PESO MOLDE (g)	MATERIAL SOLO (g)	VOLUMEN MOLDE (cc)	D.C.H. (g/cm3)	HUMEDAD REAL (%)	D.C.S (T/m3)
1	4	3779	1818	1961	929	2,11	6,5	1,95
2	6	3820	1818	2002	929	2,16	8,08	1,99
3	8	3910	1818	2092	929	2,25	9,98	2,04
4	10	3932	1818	2114	929	2,27	11,9	2,03
5	12	3880	1818	2062	929	2,21	13,98	1,93

(Fuente: Elaboración propia)

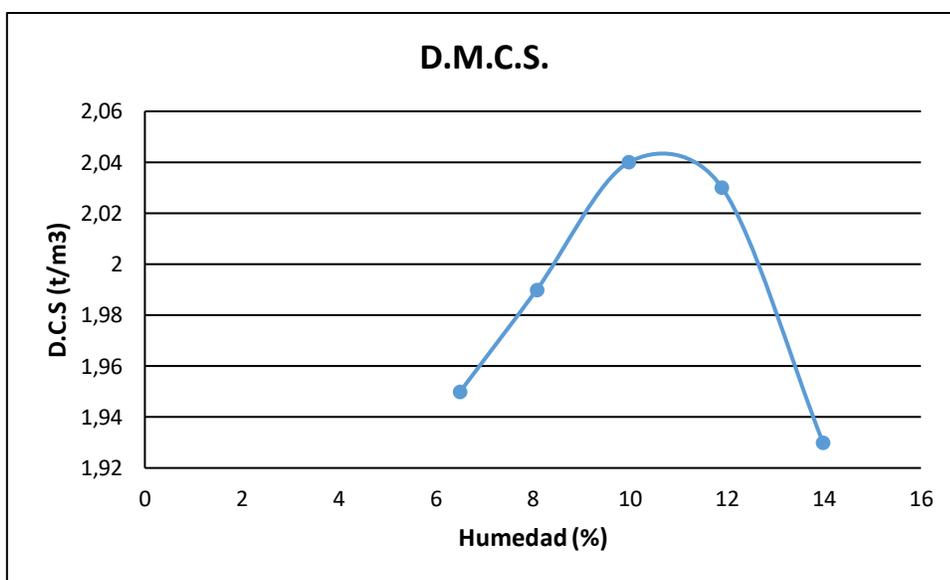


Figura 5: Densidad máxima compactada seca. (Fuente: Elaboración propia)

Del gráfico se puede apreciar que la D.M.C.S. tiene un valor de $2,04 \text{ t/m}^3$, la cual se alcanza con una humedad óptima del 9,98 %.

Compactación Presente en los taludes.

Para medir la compactación presente en los taludes se utilizaron testigos de PVC Calibrados por Hernández (2011).

Se realizó una medición por talud, en sector al azar.

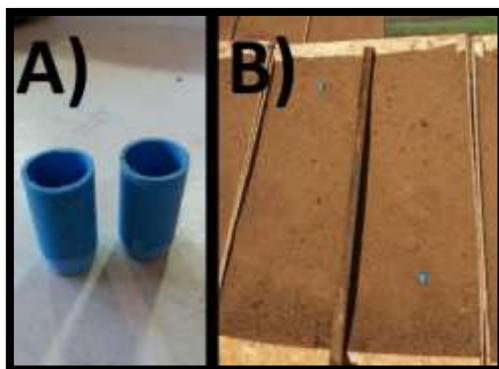


Figura 6. a) Testigos utilizados para medir compactación en taludes. b) Medición de compactación en taludes. (Fuente: Elaboración propia)

Tabla 17: Porcentajes de Compactación obtenidos en taludes.

Talud Experimental	Peso material húmedo (g)	Peso material seco (g)	Peso agua (g)	Humedad (%)	DCS (t/m ³)	% de la DMCS
1	15,39	13,09	2,3	17,57	1,38	67,66
2	15,77	13,29	2,48	18,66	1,31	64,03
3	15,38	13,09	2,29	17,49	1,42	69,52
4	16,75	14,16	2,59	18,29	1,52	74,62
5	10,06	9,47	0,59	6,23	1,28	62,62
6	16,12	13,52	2,6	19,23	1,46	71,80
7	16,58	14,3	2,28	15,94	1,42	69,39
8	16,5	13,77	2,73	19,83	1,37	67,30
9	10,03	8,51	1,52	17,86	1,37	67,13
10	15	13,48	1,52	11,28	1,31	64,26
11	14,19	12,03	2,16	17,96	1,35	65,97
12	17,86	15,09	2,77	18,36	1,38	67,85

(Fuente: Elaboración propia)

Al medir las densidades del suelo en los taludes, entregó como resultado que la compactación de los taludes experimentales se encuentra entre un 62 % y un 74 % de la D.M.C.S. Estos valores corresponden a $1,28 \text{ t/m}^3$ y $1,52 \text{ t/m}^3$ respectivamente, obteniendo así una compactación natural de talud que se mantiene en un rango de 60% a 80% de la D.M.C.S. este último dato según Hernández, 2011.

ANEXO D: INSTALACIÓN DE BIOMANTOS EN TALUD

Los Biomantos se instalaron en base a las especificaciones técnicas facilitadas por la empresa EMIN Sistemas Geotécnicos S.A.

Los pasos a seguir para instalar los Biomantos son los siguientes:

- Preparar el terreno eliminando todo tipo de rocas y basura.
- Mantener siempre el contacto del Biomanto directo con el terreno.
- Desenrollar los Biomantos desde la corona hacia el pie del talud, manteniendo el lado apropiado contra la superficie.
- Usar el número apropiado de grapas, con el fin de que el Biomanto no se desprenda del talud, esto dependerá de la gradiente del talud, pero por lo general son 4 grapas por m^2 .

A continuación se detalla el tipo de grapa a utilizar para instalar los Biomantos.

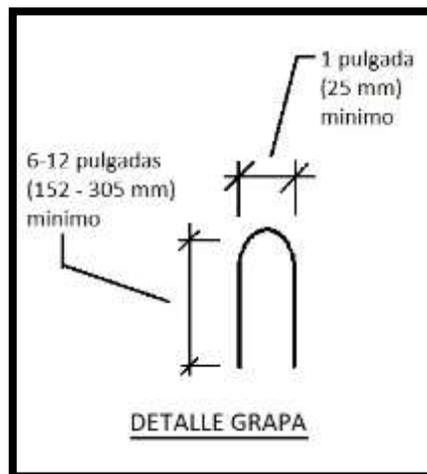


Figura 7. Medidas de grapas de hierro utilizadas. (Fuente: Elaboración propia)



Figura 8. Grapas de fierro utilizadas. (Fuente: Elaboración propia)

ANEXO E: COSTOS BIOMANTOS CONFECCIONADOS

Los costos presentados a continuación corresponden solo al material de manufactura de los Biomantos, debido que no se considera mano de obra.

Tabla 18: Costos estimados de confección de Biomantos.

BIOMANTO	MATERIAL	UNIDAD DE MEDIDA	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL \$	COSTO BIOMANTO \$	COSTO BIOMANTO \$ POR m2
35% Sombra	Malla Raschel	m2	0,7	241,5	169	296	423
	Paja de Trigo	g	150	0,18	27		
	Filamento de Polietileno	m	10	10,04	100,4		
50% Sombra	Malla Raschel	m2	0,7	289,8	202,8	330	472
	Paja de Trigo	g	150	0,18	27		
	Filamento de Polietileno	m	10	10,04	100,4		
65% Sombra	Malla Raschel	m2	0,7	320	224	351	502
	Paja de Trigo	g	150	0,18	27		
	Filamento de Polietileno	m	10	10,04	100,4		

(Fuente: Elaboración propia)

ANEXO F: FOTOGRAFÍAS DEL DESARROLLO DEL PROYECTO

Construcción y material de relleno de taludes.



Componentes y Aplicación de Hidrosiembra en Taludes.



Componentes de la hidrosiembra. a) Semillas, b) Fertilizante, c) Mulch. (Fuente: Elaboración propia)



Construcción e instalación de Biomantos.

- Pasos en la construcción de Biomantos.



- Tipos de Biomantos construidos.



- Instalación de Biomantos.



- Grapas utilizadas para instalar Biomantos.



Medición de material erodado en los taludes.

- Material erodado recibido por las canaletas.

En la siguiente imagen se puede apreciar las canaletas más representativas de cada repetición en la semana 6 de estudio.



- Muestras recogidas de las canaletas, bandejas ya secadas en el horno.



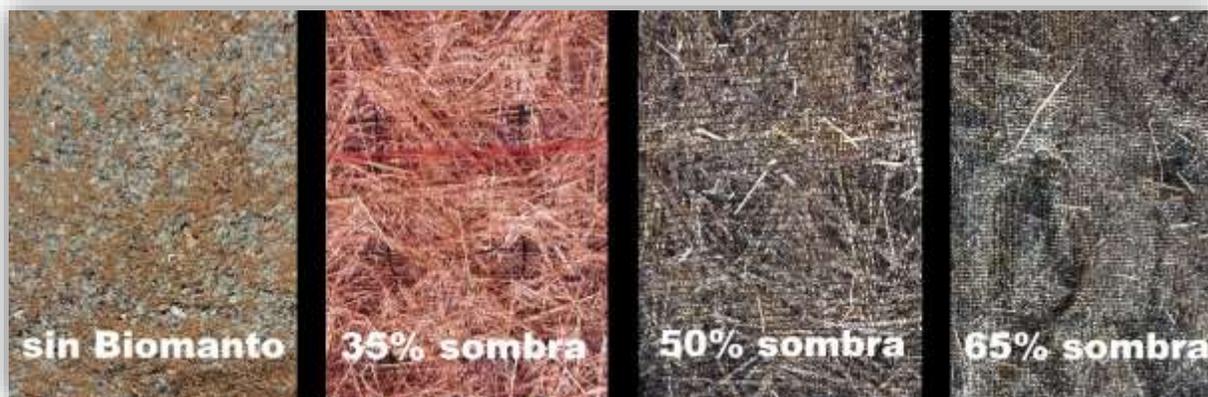
- Muestras incineradas, crisoles sólo contienen la materia inorgánica.



Fotografías del proceso de cobertura vegetal

En las siguientes imágenes observamos los taludes más representativos de cada repetición y el crecimiento de la cobertura vegetal semana a semana.

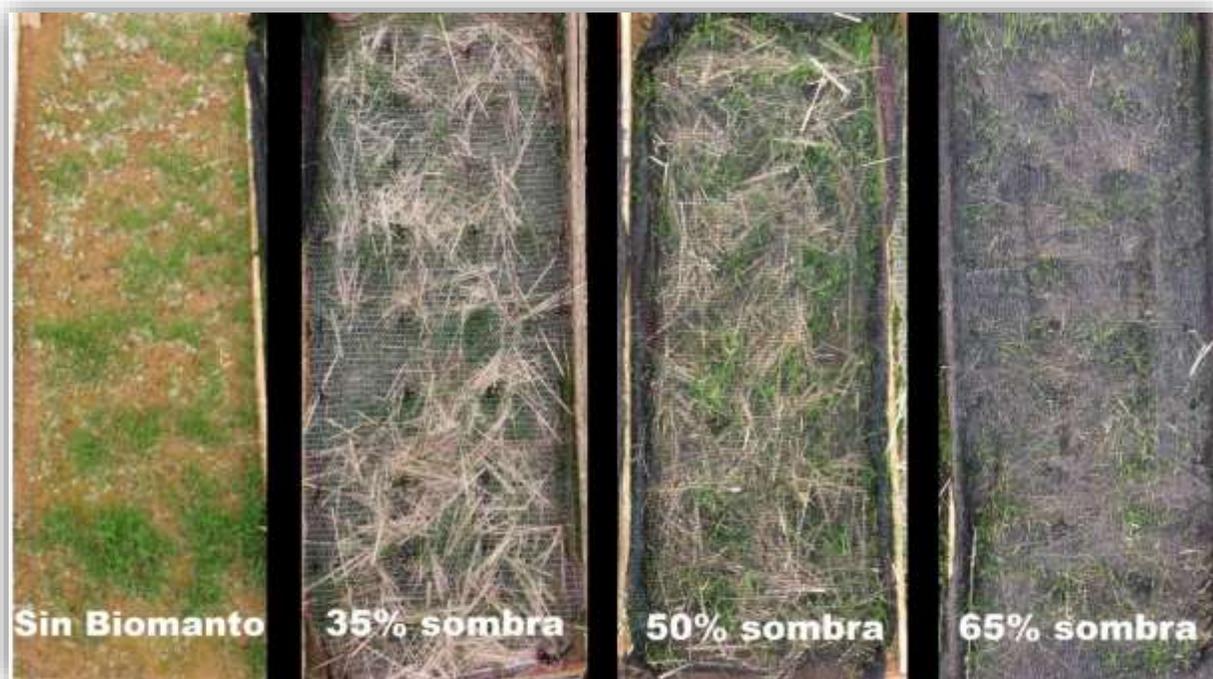
- Semana 1



- Semana 2



- Semana 3



- Semana 4



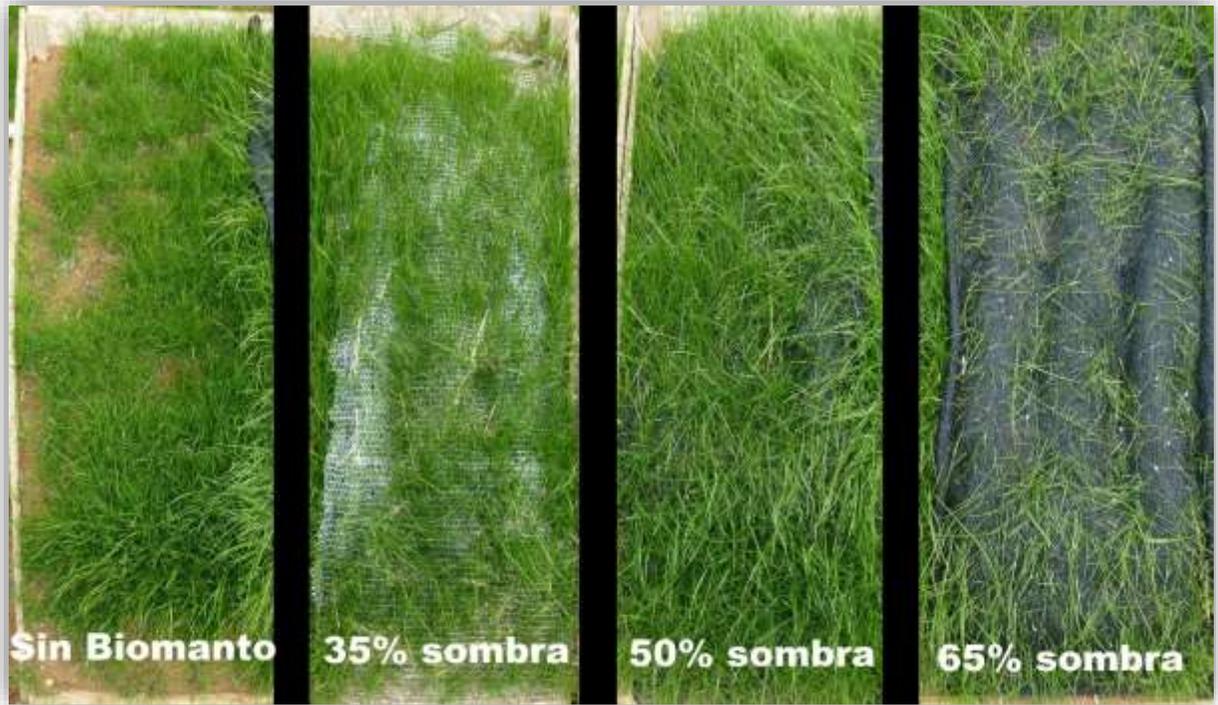
- Semana 5



- Semana 6



- Semana 8



- Semana 8 Sin Biomantos



Fotografías del proceso de retiro de Biomantos en la semana 8.

- Retiro Biomantos con 35% de sombra.



- Retiro Biomantos con 50% de sombra.



- Retiro Biomantos con 65% de sombra.

