

**UNIVERSIDAD DEL BÍO-BÍO**  
**Facultad de Ingeniería**  
**Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental**

Profesor Patrocinante: Ricardo Riveros Velásquez.

**IMPLEMENTACIÓN DE BIOMANTO CON MALLA RASCHEL Y PAJA DE TRIGO  
EN TALUDES DE ALTA PENDIENTE**

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



**CLAUDIO ANTONIO ISLA CANALES**

*Concepción, Marzo del 2015*

## **Dedicado**

*A Mariana Canales Brown y Claudio Isla Paredes por su gran esfuerzo y perseverancia en darme las herramientas necesarias para formarme como persona, estudiante y profesional.*

## **Agradecimientos**

A Dios por acompañarme durante toda de mi vida y darme la energía y fuerza en los momentos más difíciles

A mis abuelos, tíos, primos, hermanas, por su constante apoyo y preocupación en este proceso formativo.

A Catalina, por brindarme su amor y compañía durante estos años.

Al Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, quienes siempre han tenido buena voluntad y disposición para solucionar diferentes dudas y dificultades dentro de la carrera. En especial a Ricardo Riveros y Miguel Orellana quienes fueron los colaboradores principales para que este proyecto se llevara a cabo.

## ÍNDICE

RESUMEN .....	1
ABSTRACT .....	2
I. INTRODUCCIÓN .....	3
1.1. Objetivos de la investigación.....	4
1.1.1. Objetivo General.....	4
1.1.2. Objetivos Específicos .....	4
II. GENERALIDADES .....	5
2.1. Erosión superficial en taludes.....	5
2.1.1. Erosión eólica. ....	5
2.1.2. Erosión por gotas de lluvia. ....	5
2.1.2. Erosión laminar. ....	6
2.2. Hidrosiembra .....	7
2.3 Biomantos.....	8
III. METODOLOGÍA.....	9
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 biomanto .....	12
3.2.1. Caracterización de malla raschel. ....	12
3.2.2. Selección de paja a utilizar .....	12
3.2.3. Filamentos utilizados en la adhesión de paja a malla raschel.....	13
3.2.4 Confección de biomanto.....	13
3.2.5 Instalación de biomanto en talud.....	14
3.3. Elección y caracterización de variables.....	14
3.3.1. Temperatura.....	15
3.3.2. Humedad.....	15
3.3.3. Precipitaciones.....	15

3.3.4. Erosión superficial.....	16
3.3.5 Cobertura vegetal.....	16
3.4. Proyección de Hidrosiembra. ....	18
IV. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS. ....	18
4.1. Resultados y análisis de variables medidas. ....	18
4.1.1. Temperatura.....	18
4.1.2 Humedad.....	20
4.1.3. Precipitación y erosión superficial. ....	22
4.1.4. Cobertura vegetal.....	23
4.2 Correlación entre variables.....	25
4.2.1. Cobertura y material erodado .....	25
4.2.2. Temperatura y humedad .....	26
V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	28
BIBLIOGRAFÍA .....	30
ANEXO A: CARACTERÍSTICAS DE SEMILLAS UTILIZADAS EN LA HIROSIEMBRA..	34
a). Festuca alta (Festuca arundinacea):.....	34
b). Ballica italiana (Lolium multiflorum):.....	35
c). Trébol rosado (Trifolium pratense): .....	36
d). Trébol subterráneo (Trifolium subterraneum): .....	36
e). Trébol frutilla (Trifolium fragiferum): .....	37
ANEXO B: IMÁGENES DE METODOLOGÍA EXPERIMENTAL .....	39
ANEXO C: DATOS OBTENIDOS .....	40
Temperatura matinal.....	40
Temperatura vespertina .....	41
Humedad matinal.....	41
Humedad vespertina .....	42
Precipitaciones y erosión superficial .....	42
Cobertura vegetal.....	43
ANEXO D: MECANICA DE SUELOS .....	44
ANEXO E: IMÁGENES DE RESULTADOS.....	49

ANEXO F: INSTALACIÓN DE BIOMANTOS.....	50
ANEXO G: COSTOS ESTIMATIVOS DE BIOMANTOS CONFECCIONADOS.....	52

# **IMPLEMENTACIÓN DE BIOMANTO CON MALLA RASCHEL Y PAJA DE TRIGO EN TALUDES DE ALTA PENDIENTE**

***AUTOR: CLAUDIO ISLA CANALES***

Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, Universidad del Bío-Bío

[claisla@alumnos.ubiobio.cl](mailto:claisla@alumnos.ubiobio.cl)

***PROFESOR PATROCINANTE: RICARDO RIVEROS VELÁSQUEZ***

Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, Universidad del Bío-Bío

[rriveros@ubiobio.cl](mailto:rriveros@ubiobio.cl)

## **RESUMEN**

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

La hidrosiembra en temporada de lluvias y en taludes de 45°, producto de la pendiente y la erosión superficial, presenta deficiencias en la germinación de semillas. En este proyecto se implementa un biomanto como complemento a la hidrosiembra para estudiar el proceso erosivo y la revegetación del talud.

Para estudiar la eficiencia se confeccionaron 4 tipos de biomantos con distinta distribución de paja de trigo por metro cuadrado. Cada tipo de biomanto fue expuesto, en condiciones naturales, a 3 repeticiones simultáneas en taludes experimentales confeccionados con una pendiente de 45°. Por un periodo de 30 días, en invierno, se midió el material erosionado, temperatura, humedad y precipitaciones, mientras que la cobertura vegetal fue medida durante 8 semanas.

Los biomantos implementados fueron deficientes en la cobertura vegetal presentando un 24,4% como valor máximo, siendo factores fundamentales de esto el tipo de malla raschel elegido y la densidad de paja utilizada. En cuanto al control de erosión superficial el biomanto que presentó mejor comportamiento fue el que contenía 315 g/m<sup>2</sup>.

**Palabras Claves:** Erosión Superficial, Biomanto, talud.

**6331 palabras de texto + 14 Figuras/Tablas\*250 = 9831 palabras totales**

## **IMPLEMENTATION OF BIO BLANKETS MADE OF RASCHEL MESH AND WHEAT STRAW IN HIGH GRADIENT SLOPES**

***AUTHOR: CLAUDIO ISLA CANALES***

Department of Civil and Environment Engineering Bío-Bío University

[claisla@alumnos.ubiobio.cl](mailto:claisla@alumnos.ubiobio.cl)

***THESIS ADVISOR: RICARDO RIVEROS VELÁSQUEZ***

Department of Civil and Environment Engineering Bío-Bío University

[rriveros@ubiobio.cl](mailto:rriveros@ubiobio.cl)

### **ABSTRACT**

Presently, various techniques have been developed for the control of superficial erosion in slopes, among them the hydroseeding and bioblankets.

The hydroseeding presents deficiency in the seed germination during the rainy season and in 45-degree slopes, which is product of the surface erosion.

In this project, a bio blanket is implemented as a complement to the hydroseeding to study the soil erosion and the revegetation of the slope. Four types of bio blankets were made with different distribution of wheat straw for square meter to study the efficiency. Each type of bio blanket was exposed under natural conditions to 3 simultaneous repetitions in experimental slopes made with a 45-degree gradient. For a period of 30 days, in winter, the eroded material, temperature, humidity and precipitations were measured, while the vegetation cover was measured during 8 weeks.

The bio blankets implemented were deficient in the vegetation cover, which presented 24.4% as a maximum value. The type of Raschel mesh that was chosen and the density of straw that was used were key factors in this result. In respect of the control of superficial erosion, the bio blanket that had the best performance was the one that contained 315 g/m<sup>2</sup>.

**Keywords: superficial erosion, bioblankets, slopes.**

## I. INTRODUCCIÓN

La erosión del suelo es definida como un proceso de degradación, transporte y deposición de materiales del suelo por efectos de agentes erosivos, tales como el agua, el viento o el hielo (Peralta, 1993). En Chile la erosión más común es la producida por el agua de lluvia (Carrasco y Peralta, 2003). Este proceso al no ser controlado va formando pequeños surcos en la superficie del talud los cuales con el tiempo se transforman en cárcavas y por último se produce un deslizamiento de cierta masa de suelo. En los taludes de alta pendiente este proceso es aún más agresivo, ya que la velocidad que va adquiriendo el flujo laminar crece en conformidad al grado de pendiente que este tenga, con ello también aumenta la degradación, arrastre y deposición de las partículas de suelo.

Para la mitigación de la erosión superficial en taludes existe la hidrosiembra, la cual reduce la velocidad de la escorrentía superficial en un 14% y la pérdida de suelo en un 98%, en comparación con un talud descubierto (Department of Environment and Climate Change NSW, 2007). Sin embargo, la germinación de semillas es proporcionalmente inversa al aumento de la pendiente en taludes, considerando poco probable el crecimiento de vegetación en aquellos que presentan una inclinación mayor o igual a 45° (Hernández, 2011). La causa de esto es la erosión producida por el agua de lluvia y el viento, puesto que estos factores arrastran y depositan la semilla en los pies del talud.

Otra forma de control de la erosión superficial es con Biomantos, en los que el mercado ofrece mallas de paja, yute y coco. Estos mantos tienen una duración aproximada de 1 año según las condiciones a las que sea expuesto.

Este proyecto propone implementar un producto nacional, de bajo costo, compatible con el medio ambiente, que soporte las condiciones hidrológicas de la Región del Biobío y que se complemente con la hidrosiembra, para así proteger de la erosión superficial tanto al talud como a las semillas y permitir a estas últimas tener una buena germinación con la finalidad de mitigar, de forma permanente, los efectos de la erosión en el talud.

## **1.1. Objetivos de la investigación**

### *1.1.1. Objetivo General*

- Desarrollar un biomanto en base a malla raschel y paja de trigo, para estudiar germinación de hidrosiembra en taludes de alta pendiente en suelos residuales.

### *1.1.2. Objetivos Específicos*

- Determinar las variables que controlan la germinación en taludes de alta pendiente.
- Configurar biomantos con malla raschel y paja de trigo
- Analizar el comportamiento de los biomantos en taludes experimentales con pendiente de 45° en condiciones naturales.
- Proponer gramaje de biomanto, según comportamiento en la experiencia.

## II. GENERALIDADES

Este capítulo se centra en identificar términos claves para que se comprenda en que consiste la erosión superficial en taludes y sus actuales técnicas de mitigación.

### 2.1. Erosión superficial en taludes.

Se entiende por talud a cualquier masa de suelo 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 tales como cortes y terraplenes.

La erosión superficial se comprende como el desprendimiento, transporte y posterior depósito de material de suelo o roca por acción de la fuerza de un fluido en movimiento. La erosión puede ser generada tanto por el viento como por el agua, esta última genera la llamada erosión laminar.

A continuación se explican de manera detallada la erosión eólica, la erosión causada por el agua de 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). La velocidad necesaria para que se produzca el desprendimiento de partículas de suelo es de 20 km/h a una altura de 30 cm sobre la superficie del terreno (Gray y Sotir, 1996). El transporte de partículas sucede cerca de la superficie a una altura máxima de 1,0 m (Gray y Sotir, 1996).

#### 2.1.2. Erosión por gotas de lluvia.

En Chile la erosión más común y perjudicial es la provocada por el agua de lluvia (Carrasco y Peralta, 2003). La erosión provocada por el golpeo de las gotas de lluvia, el cual se produce en zonas desprotegidas, causa que la estructura del suelo se vaya degradando en partículas cada vez más pequeñas produciendo: desprendimiento y esparcimiento de estas. Las partículas pueden ser repartida en áreas aproximadas de un metro cuadrado y se estima que en una lluvia de alta

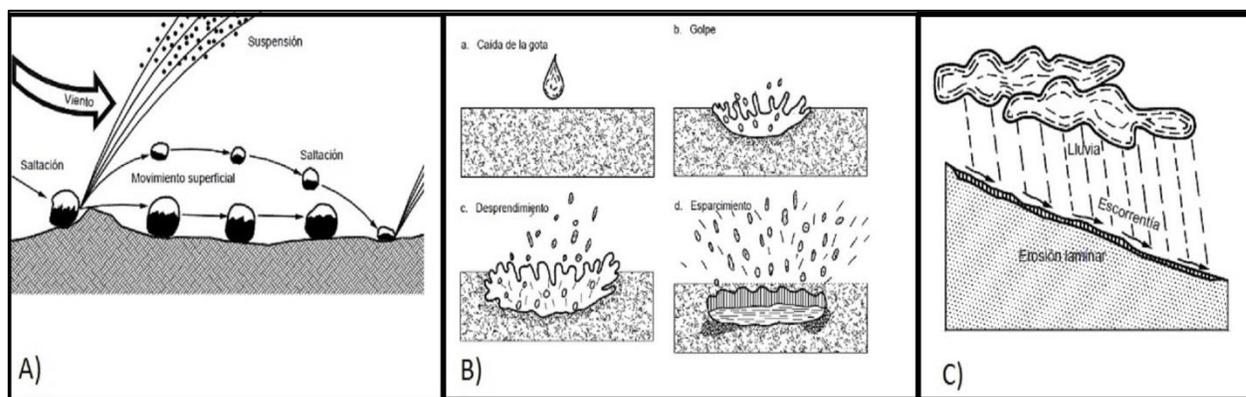
intensidad, en un suelo desprotegido, se remueven cincuenta metros cúbicos de material por hectárea (Suárez, 2011).

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.

### 2.1.2. Erosión laminar.

La erosión laminar separa partículas de suelo en forma de capas bien definidas y por acción de la escorrentía producida en la superficie del talud son transportadas a los pies de este, donde son depositadas. El suelo se va perdiendo casi en forma imperceptible. Este tipo de erosión es muy común en los suelos residuales y en las zonas recientemente deforestadas.

El agua de lluvia parcialmente se infiltra y parte de ella se va acumulando en la superficie generando capas de agua de 2 a 3 mm de espesor que generan un flujo, que si bien tiene poco poder erosivo, en sectores se torna turbulento aumentando drásticamente la capacidad de erosión. El flujo toma un color amarillento o marrón (depende del tipo de suelo), lo que indica que está transportando sedimentos. En la figura 1C, se puede observar el procesos de erosión laminar.



**Figura 1. Procesos de erosión superficial. A) Erosión por viento, B) Erosión por gota de lluvia, C) Erosión laminar. (Fuente: Suárez, 2011)**

## 2.2. Hidrosiembra

La hidrosiembra es una técnica que utiliza un equipo mecánico y que consiste en la proyección vía aspersión de una mezcla acuosa y homogénea de semillas, fertilizantes, fijadores y/o aditivos. Esta mezcla produce una rápida siembra y posterior revegetación del suelo en el área intervenida. Se aplica sobre terrenos con declives (taludes, cerros, laderas, etc.), desprotegidos y/o con poca vegetación. Es considerada como una de las herramientas más eficaces para controlar y prevenir la erosión y la sedimentación en terraplenes y cortes de caminos (Sheldon y Bradshaw, 1977). Cada uno de los componentes de la hidrosiembra se menciona a continuación.

### a) Agua

El agua es un elemento imprescindible para el desarrollo de las semillas. Este elemento en el proceso de germinación y crecimiento de las plantaciones sirve como disolvente y transportadora de sales y minerales, elementos esenciales para que la planta se desarrolle, además actúa como catalizador del proceso.

### b) 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 protege a la semilla de vectores externos, retiene la humedad, modera la temperatura, aporta materia orgánica y mantiene la estructura superficial del suelo. Es por esto que al aplicar el mulch mejora considerablemente el porcentaje de cobertura vegetal (San Martín ,2014).

### c) 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 y deben ser del tipo perennes, de fácil propagación, con abundante follaje y ramificaciones y que se adapten a las condiciones del secano.

### d) 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).

Las sustancias esenciales que contiene un fertilizante son: Nitrógeno, el cuál es el elemento encargado del crecimiento de la planta, potasio, el que es responsable de la multiplicación celular y de la formación de tejidos resistentes a las temperaturas extremas, y el fósforo que favorece la maduración de flores y frutos, les permite desarrollar sus características particulares y brinda resistencia necesaria para mantenerse rígidas y poder sostener las partes que la componen.

#### e) Fijador o aglomerante

Son productos solubles y biodegradables que forman una película homogénea, elástica y permeable sobre el terreno, que ayudan a mantener la tierra y el mulch para prevenir erosión. (Pereira, 2008). Este producto en conjunto con los otros que componen la hidrosiembra le da a la mezcla una consistencia tal que permite una mejor adhesión al terreno.

### **2.3 Biomantos**

Son mantos delgados fabricados con máquina, utilizando compuestos orgánicos biodegradables como paja, viruta de madera, fibra de coco, fique o una combinación de ellos, distribuidos uniformemente sobre o en medio de fibras tejidas de polipropileno degradable o fibras naturales biodegradables. Las fibras sintéticas tienen generalmente un sistema de protección contra los rayos ultravioleta (UV) del sol.

Los biomantos 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. Alguno 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 mientras se logra dar la vegetación.

Entre los beneficios proporcionados por este sistema se encuentra:

- Estabilidad superficial mediante un sistema natural con vegetación.
- Disminuye la escorrentía superficial y aumenta la infiltración.
- Ayuda al establecimiento y afianzamiento de la vegetación.
- Protección de taludes producto de cortes.
- Fachadas ecológicas en taludes naturales o artificiales.

- No requiere mano de obra especializada.
- Tiempo corto de instalación.
- Minimiza el costo de la obra.
- Taludes de suelo reforzado.

### III. METODOLOGÍA

Para llevar a cabo el desarrollo de un biomanto en base a malla raschel y paja de trigo y estudiar el comportamiento de este como complemento a la hidrosiembra en taludes de 45°, como primera fase es necesario un estudio de mercado a las empresas especializadas en la confección de biomantos, para poder contextualizar, identificar y caracterizar el producto que se requiere desarrollar.

Al querer complementar el biomanto con la hidrosiembra, es necesario identificar las variables que afectan a la germinación de semillas que la componen, por lo tanto, en paralelo al estudio de mercado realizado a los biomantos se realiza una revisión bibliográfica en la que se determinan las variables a evaluar en esta experiencia, definiendo como tales; humedad, temperatura y erosión superficial del talud y precipitaciones. Para observar el resultado dependiente de las variables ya mencionadas, también se mide la cobertura vegetal.

Se decidió la confección de 4 biomantos con distintos gramajes de paja de trigo y 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 al 12 de Este a Oeste, respectivamente. Las características de los estos taludes (dimensiones, compactación, tipo de suelo) fueron obtenidas de experiencias realizadas por distintos autores, como Riquelme (2010), Hernández (2011) y San Martín (2014). 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 raschel 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 mallas raschel y paja de trigo, instalan los taludes, se le aplica la hidrosiembra y por último se sitúan los biomantos creados sobre la superficie del talud.

Por un periodo de 30 días se estudió el comportamiento de los biomantos a través de la temperatura, humedad, erosión superficial y precipitaciones, mientras que la cobertura vegetal fue medida durante 8 semanas.

En los siguientes puntos se describe en forma detallada la metodología de la fase experimental.

### **3.1. Construcción de taludes experimentales.**

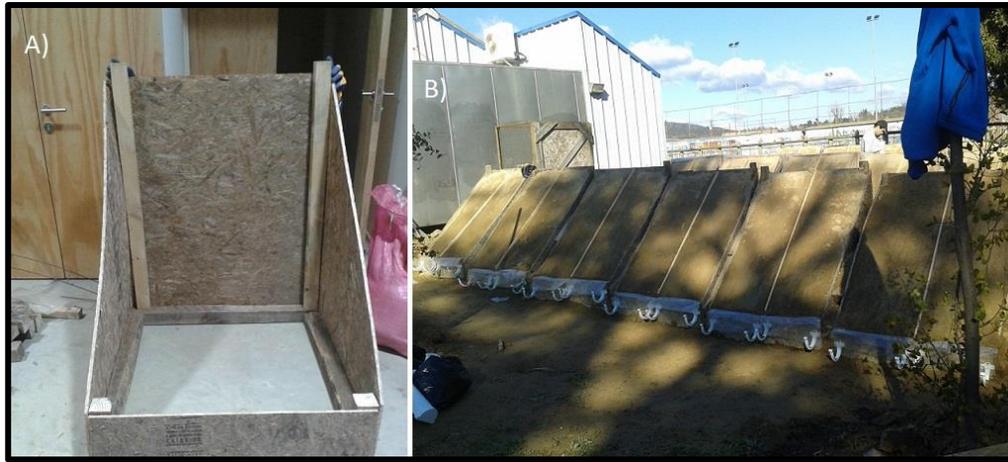
Se construyeron 6 taludes idénticos y con la misma pendiente. Luego se procedió a rellenar cada uno con material característico de la Cordillera de la Costa. El material fue compactado y luego que se logró la pendiente deseada se procedió a dividir cada talud en 2 franjas, resultando de este modo 12 franjas homólogas. El detalle de la construcción de los taludes experimentales se realiza a continuación.

#### *3.1.1. Caracterización de taludes experimentales*

Los taludes fueron construidos con planchas OSB de 5 mm. Las medidas utilizadas en los taludes fueron de 1 metro de ancho por 1 metro de fondo y 1,22 metros de altura, mientras que el corte diagonal que se le dio a la plancha de OSB fue  $45^\circ$ , la cual es considerada alta en la ingeniería.

La diagonal presenta una medida de 1,41 metros de longitud.

Cada talud experimental se dividió, con un separador de madera de confección propia el cuál tiene 1,41 metro de largo y 5 mm de espesor, en 2 franjas iguales de 0,5 metros de ancho y 1,41 metros de longitud y con una pendiente de  $45^\circ$ , por lo tanto, quedaron 12 franjas de  $0,71 \text{ m}^2$  de área cada una. En la figura 2 se puede observar el prototipo de talud construido e instalado.



**Figura 2. a) Vista general talud experimental. b) Ubicación y llenado de taludes. (Fuente: Elaboración propia)**

### *3.1.2. Instalación y ubicación de taludes experimentales.*

Para la experiencia a realizar, se tomó la decisión de ubicar los taludes en las condiciones naturales más desfavorables, por lo que se buscó un lugar abierto y sin barreras que obstaculizaran el impacto del viento y la lluvia. De este modo la cara diagonal de los taludes se quedó orientada hacia el noroeste, directo al impacto de precipitaciones.

### *3.1.3. Caracterización del material de relleno*

El material de relleno fue extraído de las laderas de un cerro en el sector Palomares en la comuna de Concepción. El material corresponde a una arena limosa (SM), característico de la geología presente en la Región del Biobío (Gallardo, 2005), 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) (Hernández, 2011).

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: 49.4 % (la NCh 1517/2 of. 1979)
- La D.M.C.S es de 2,02 t/m<sup>3</sup>

Para obtener la compactación natural del suelo en los taludes experimentales 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 el testigo de policloruro de vinilo (PVC) calibrado por Hernández (2011), el cual entregó como resultado que las 12 franjas de los taludes se encuentran entre un 60,13% y un 73,38% de la D.M.C.S. Estos valores corresponden a 1,22 t/m<sup>3</sup> y 1,49 t/m<sup>3</sup> respectivamente.

### **3.2 Construcción de biomanto**

La construcción del biomanto se realizó en base a una malla raschel a la cual se le adhirió paja de trigo mediante filamentos de polipropileno. Se confeccionaron 4 tipos de biomantos, los cuales tenían diferentes gramos de paja por metro cuadrado, con 3 repeticiones cada uno. La forma de adhesión de la paja se realizó con hilo de polipropileno en cuadrantes de tamaño similares. A continuación se describe detalladamente la confección de los biomantos.

#### *3.2.1. Caracterización de malla raschel.*

La malla raschel es una tela tejida con fibras de polipropileno virgen de alta densidad. Su tejido de punto por urdiembre evita el desarme del tejido cuando se corta una de las fibras, asegurando una mayor seguridad y durabilidad del producto. Posee estabilizante contra rayos ultravioletas con lo que se asegura su duración por al menos 5 temporadas.

Esta malla contribuye a mejorar el microclima, la actividad fotosintética y el balance hídrico. En el mercado existe una variedad de mallas raschel que van desde un 35% de sombra hasta un 95%. Para la elección de la malla raschel a utilizar el factor de mayor incidencia fue: la protección de condiciones naturales extremas, tales como, heladas, lluvias intensas, granizos y fuertes vientos. Estas condiciones las indican los proveedores de este material a través de sus catálogos de venta. En este caso se utilizó lo descrito técnicamente por las empresas Marienberg y Polytex.

La malla raschel a utilizar en la confección del biomanto es una malla que presenta un 65% de sombra, un 80% de retención del viento y una resistencia nominal de 5,3 kgf/cm.

#### *3.2.2. Selección de paja a utilizar*

La paja que se utilizó fue una de trigo. La elección de esta paja se realizó básicamente porque es la más económica, y al igual que los otros tipos de pajas, presenta características favorables para el medio ambiente, en el sentido de degradación y aporte de nutrientes. Crea condiciones

favorables para la germinación de semillas y funciona como buen complemento con la malla raschel al crear un colchón sobre el talud y así proteger al terreno y semillas de la erosión superficial.

### *3.2.3. Filamentos utilizados en la adhesión de paja a malla raschel*

En la confección del biomanto, para que la paja de trigo no se desprenda fácilmente de la malla raschel, es necesario unirla a esta mediante algún tipo de filamento que presente características similares a la malla.

Por lo anterior, la fibra utilizada para unir la paja a la malla raschel, fue un hilo de polipropileno, la elección de este material es por su alta resistencia nominal y por el bajo costo que este presenta.

### *3.2.4 Confección de biomanto*

Para la confección de biomanto se utilizaron 4 cantidades distintas de paja por unidad de área distribuidas en una cara de la malla raschel. Las cantidades fueron escogidas según biomantos existentes en el mercado, estas son: 315 g/m<sup>2</sup>, 270 g/m<sup>2</sup>, 150 g/m<sup>2</sup> y 0 g/m<sup>2</sup>. Cabe destacar que los últimos dos valores escogidos fueron una decisión y creación propia, esto ya que los mantos con 315 g/m<sup>2</sup> y 270g/m<sup>2</sup> a simple vista se notaban muy densos y ello podría generar algún problema con el normal crecimiento de las hierbas (Ver figura 3).

Las dimensiones de estos prototipos son de 1,41 metros de largo por 0,5 metros de ancho (dimensión de franjas en taludes experimentales).

Para unir la paja de trigo a la malla se creó un marco en el que se mantuviera tensa la malla y con aguja de saco se procedió a tejer, sobre la paja distribuida en la malla, en cuadrantes de  $\pm 18$  cm de separación. En el proceso de elección del tamaño de los cuadrantes se comenzó con tamaños más amplios y se fue disminuyendo hasta lograr que la paja de trigo no se desprendiera por gravedad en un ángulo de 90° (Ver figura 4).

La distribución de los biomantos en los taludes quedó de la siguiente manera: Taludes 5, 7 y 9 con biomanto de 0 g/m<sup>2</sup> de material orgánico, taludes 1,8 y 12 con 150 g/m<sup>2</sup> de material orgánico, taludes 3,6 y 10 con 270 g/m<sup>2</sup> de material orgánico y taludes 2,4 y 11 con 315 g/m<sup>2</sup> de material orgánico. Esta distribución fue hecha de esta manera con el objetivo de que los biomantos con la misma cantidad de paja de trigo no quedaran de manera consecutiva en los taludes.



**Figura 3. Vista anterior de biomantos. a) 150 g/m<sup>2</sup>, b) 270 g/m<sup>2</sup>, c) 315 g/m<sup>2</sup>. (Fuente: Elaboración propia)**



**Figura 4. Paja de trigo adherida a malla raschel mediante filamentos de polipropileno. (Fuente: Elaboración propia)**

### 3.2.5 Instalación de biomanto en talud

La instalación del biomanto en el talud se detalla en ANEXO F.

### 3.3. Elección y caracterización de variables

Antes de tomar mediciones es necesario seleccionar las variables que inciden en la germinación de las hierbas sembradas. Según la discusión bibliográfica y estudio de los aspectos favorables de germinación y crecimiento de plantas, se determinó medir la temperatura del aire, temperatura superficial del talud, humedad del suelo del talud, erosión superficial, precipitaciones y cobertura vegetal.

### *3.3.1. Temperatura*

La germinación de las semillas plantadas se da en condiciones favorables de temperaturas, por lo que si bien toleran cambios extremos de temperatura, bajan considerablemente su producción. La temperatura ideal de las semillas utilizadas en la hidrosiembra, se mantienen en un rango que va desde los 9°C hasta los 25 °C según el tipo de semilla. Básicamente estas temperaturas se presentan en climas mediterráneos y templados.

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

Para la medición de la temperatura se utiliza un termómetro de pinchar, con una precisión de  $\pm 1^\circ\text{C}$ .

### *3.3.2. Humedad*

La humedad es una de las variables que más se hace mención al momento de estudiar las semillas plantadas. Algunas como la festuca alta soporta climas secos ,pero la ballica italiana y los tréboles detienen completamente su germinación y crecimiento en ambientes secos, puesto que son semillas que crecen óptimamente en climas templados (Ver ANEXO A).

Se mide la humedad en el suelo del talud, para estudiar como varía entre los distintos biomantos y como esta afecta en la germinación y posterior cobertura de las hierbas.

Para la medición de la humedad se utiliza el instrumento “ECH<sub>2</sub>O Check” el cuál es un sensor de humedad del suelo y presenta una precisión de  $\pm 3\%$ .

La humedad fue una variable que se midió en la capa superficial del talud con un sensor de humedad, por un periodo de 29 días en los que se realizaron 18 mediciones, las primeras 9 mediciones fueron hechas diariamente mientras que luego se tomaron mediciones cada dos y tres días. En cada día de medición se realizaron 2 controles por talud, una en la mañana entre las 8:00 y 8:30 A.M. y otra en la tarde entre las 14:00 y 14:30 P.M.

### *3.3.3. Precipitaciones*

Las precipitaciones son una variable esencial que afectan en la humedad del terreno, y con ello en la germinación y crecimiento de las hierbas. Las precipitaciones son el riego natural que obtienen

las semillas para poder desarrollar sus funciones naturales. Las semillas utilizadas soportan lluvias anuales máximas de  $\pm 2300\text{mm}$  (Ver ANEXO A).

Los datos diarios de precipitaciones son obtenidos de la Dirección General de Aguas de la estación pluviométrica ubicada en el estero Nonguén frente a la Universidad Del Bío-Bío (Ver ANEXO B) a 500 metros del proyecto.

#### *3.3.4. Erosión superficial*

La erosión superficial es una variable que no sólo afecta a la degradación del talud, sino que también arrastra las semillas plantadas en él. En la temporada invernal, donde se presenta la mayor cantidad de precipitaciones, el arrastre crece considerablemente, disminuyendo así la germinación de semillas.

Se mide el material erodado del talud con y sin precipitaciones, para estudiar la efectividad del biomanto en la protección del talud y de las semillas de la hidrosiembra. Los resultados obtenidos en los 4 biomantos implementados en sus 3 repeticiones, se comparan con los datos conseguidos en taludes descubiertos.

Para la medición del material erodado se utilizan canaletas de PVC de 50 cm de ancho, y en las que se les diseño un despiche de 25 mm de diámetro, con una malla filtro de 0.075 mm de abertura, para que el agua lluvia se evacuara sin perder el material arrastrado (Ver ANEXO B, ilustración 4 y 5). Cabe destacar que el material diluido no se considera en las mediciones puesto que Hernández (2011) indica que para efectos de intensidad y volumen de precipitación el material erosionado diluido tiende a cero.

#### *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 si la implementación del biomanto creado es efectiva o no.

El método del cuadrante es el que se utiliza en esta experiencia para medir la cobertura vegetal, pues es una de las formas más comunes de muestreo de vegetación. Consiste en colocar un cuadrado sobre la vegetación para determinar la densidad, cobertura y frecuencia de las plantas. Por su facilidad de determinar la cobertura de especies, los cuadrantes pueden ser utilizados para muestrear cualquier clase de plantas. Para muestrear vegetación herbácea el tamaño del cuadrante puede ser de 1 metro cuadrado (Mostacedo y Fredericksen, 2000).

Debido a la pequeña área a medir (0.71 m<sup>2</sup>) se toma la decisión de crear una cuadrícula de 25 cm de largo por 25 cm de ancho, la que fue subdividida en cuadrículas de 1,32 cm de ancho por 1,32 cm de largo, teniendo un total de 361 cuadrículas. Para la medición se ubicó la cuadrícula en un lugar al azar en cada talud y se procedió a contabilizar el número de cuadrados en los que se observaba vegetación (Ver figura 5), luego se dividió el número obtenido por el número total de cuadrículas (361), se multiplica por cien y se obtiene el porcentaje de cobertura vegetal (Ecuación 1).

$$\% C.V. = \frac{N^{\circ}V}{N^{\circ}S.C.} * 100\% \quad \text{Ec. 1}$$

Dónde: % C.V. = Porcentaje de Cobertura Vegetal.

N<sup>o</sup>V = Número de sub cuadrículas con presencia de vegetación.

N<sup>o</sup>S.C. = Número total de sub cuadrículas.



**Figura 5. Medición de cobertura vegetal a través del método del cuadrante. (Fuente: Elaboración propia)**

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 ( Ver figura 5).

La cobertura vegetal fue medida sobre el biomanto instalado, las mediciones se realizaron por un periodo de 8 semanas, en las que se midió una vez por semana durante las primeras 4 semanas y una última medición en la semana 8.

### **3.4. Proyección de Hidrosiembra.**

La hidrosiembra es la técnica que se utilizará para asentar las semillas al talud.

Se utilizará un equipo mecánico, un estanque de 1000 litros de capacidad y una manguera hidráulica de 2 pulgadas para proyectar los componentes de la hidrosiembra sobre la superficie del talud.

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, 30% de ballica italiana y un 30% de tréboles de los cuáles 10% corresponde a trébol rosado, 10% a trébol subterráneo y 10% a trébol frutilla. En el ANEXO A se detalla características de cada una de las especies.

## **IV. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.**

En este capítulo se expone los resultados obtenidos en las mediciones realizadas en el proceso experimental. Luego estos resultados son analizados en diferentes aspectos que se fueron dilucidando a lo largo del proyecto, para finalmente discutir lo obtenido y tomar una decisión con respecto al biomanto que tuvo un mejor comportamiento a lo largo de la experiencia.

### **4.1. Resultados y análisis de variables medidas.**

Lo primero es exponer los resultados obtenidos para formar una idea del comportamiento que tuvo cada variable independientemente, para luego relacionarlas entre ellas y ver un comportamiento más detallado de los biomantos.

Hay que señalar que todos los valores expuestos en las figuras que siguen son el promedio de las 3 repeticiones simultáneas que se realizaron a cada biomanto implementado, esto se realizó puesto que los valores obtenidos entre repeticiones eran muy similares, lo que se puede observar con más detalle en el ANEXO C.

#### *4.1.1. Temperatura*

La temperatura fue una variable que se midió entre la superficie del talud y el biomanto por un periodo de 30 días en el que se realizaron 19 mediciones. Las primeras 10 mediciones fueron hechas diariamente, luego se tomaron mediciones cada dos y tres días. En cada día de medición

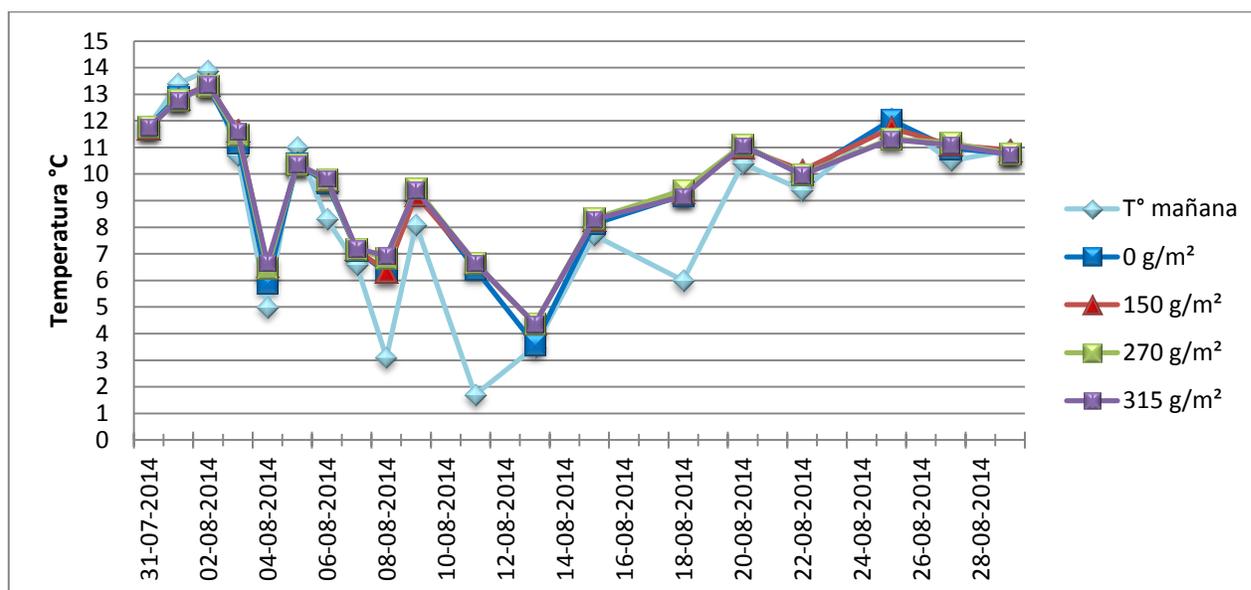
se realizaron 2 controles por talud, una en la mañana entre las 8:00 y 8:30 A.M. y otra en la tarde entre las 14:00 y 14:30 P.M.

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

a) Temperatura medida en la mañana.

Los biomantos en la mañana mantenían las temperaturas igual o sobre la temperatura ambiente y en los días que se presentaron las temperaturas ambiente más bajas (08-08-2014 y 11-08-2014) los biomantos mantuvieron una temperatura mayor en 3,5°C aproximadamente (Ver figura 6), lo cual es un rango importante y favorable para la germinación de semillas, sobre todo en la existencia de posibles heladas.

Las temperaturas medidas no presentaron diferencias significativas entre los 4 tipos de biomantos, por lo que se puede afirmar que son iguales entre ellos (Ver figura 6).



**Figura 6. Comportamiento de la temperatura en la superficie del talud en presencia de los distintos biomantos, durante la mañana. (Fuente: Elaboración propia)**

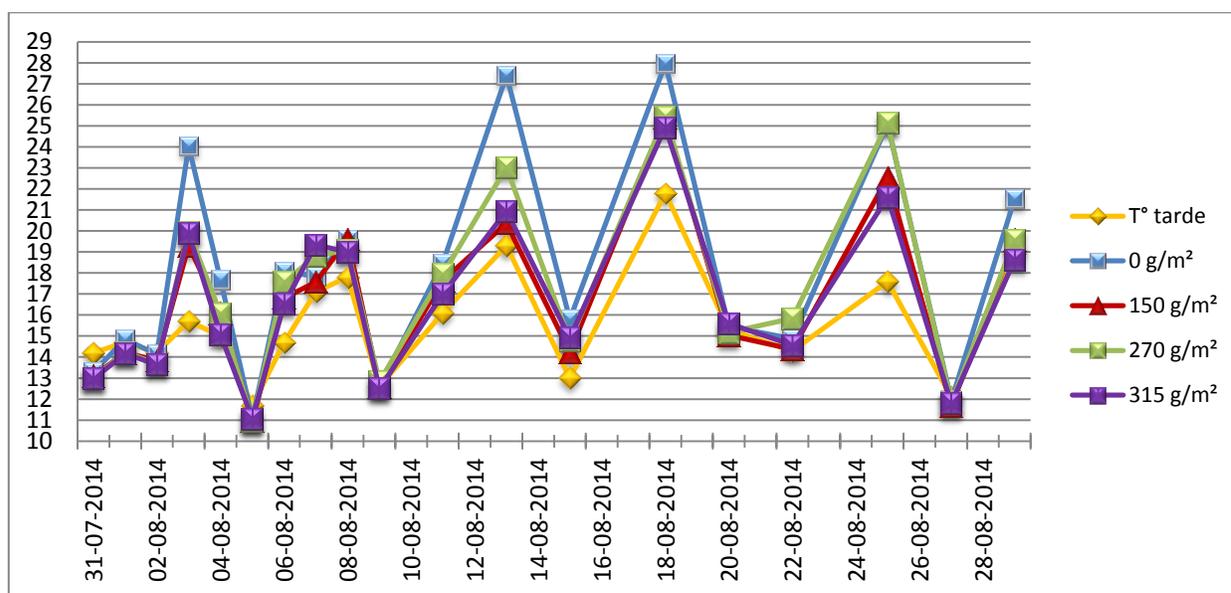
b) Temperatura medida en la tarde.

Se observa un comportamiento homólogo al comportamiento presentado en la mañana, donde la temperatura en la superficie del talud se mantenía igual o superior a la temperatura ambiente, creando un microclima propicio para la germinación de las semillas plantadas.

Los días que se registraron temperaturas ambiente más alta, el talud que tenía el biomanto que no presentaba material orgánico (0 g/m²) registraron los máximos de temperatura. Esto básicamente se da porque la energía calórica es absorbida por la malla raschel y traspasada directamente a la

superficie del talud, en cambio en los otros tipos de biomantos la energía calórica es disipada y controlada por la paja de trigo presente.

Las temperaturas de los biomantos que presentan material orgánico (150 g/m<sup>2</sup>, 270 g/m<sup>2</sup> y 315 g/m<sup>2</sup>) son similares, pero difieren del biomanto que no presenta paja de trigo (Ver figura 7).



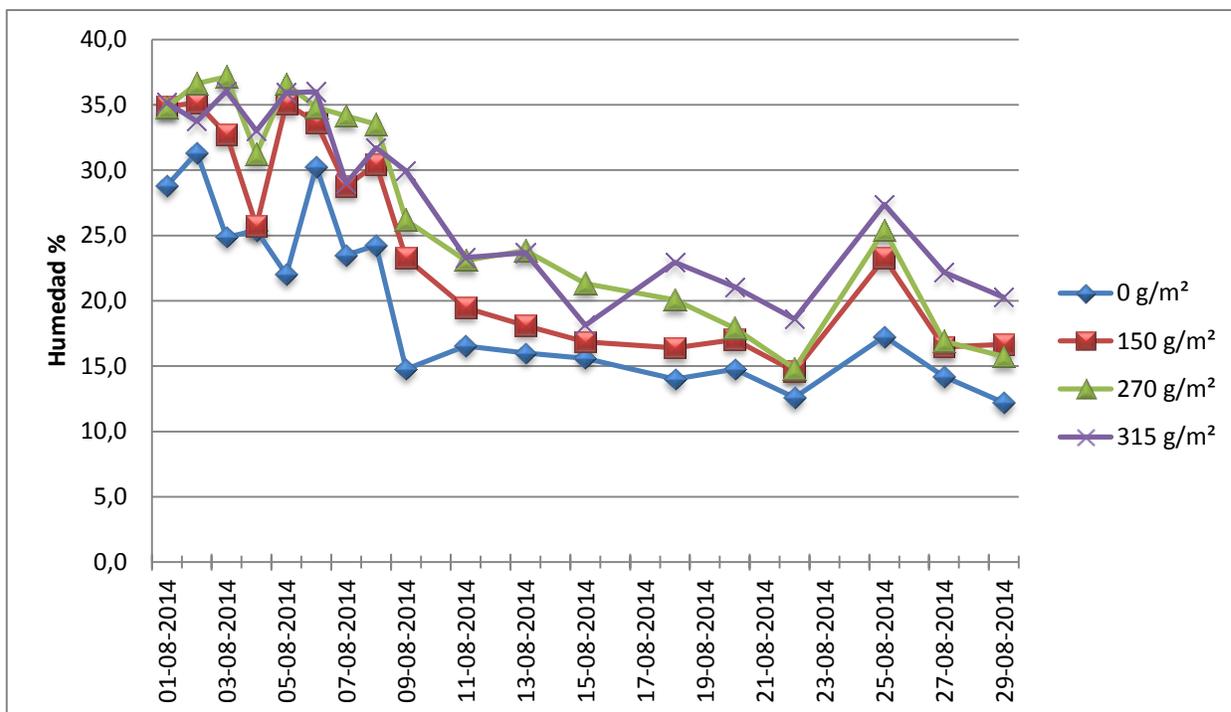
**Figura 7. Comportamiento de la temperatura en la superficie del talud en presencia de los distintos biomantos, durante la tarde. (Fuente: Elaboración propia)**

#### 4.1.2 Humedad

Los resultados detallados de humedad en cada talud se encuentran en el ANEXO C.

##### a) Humedad en la mañana

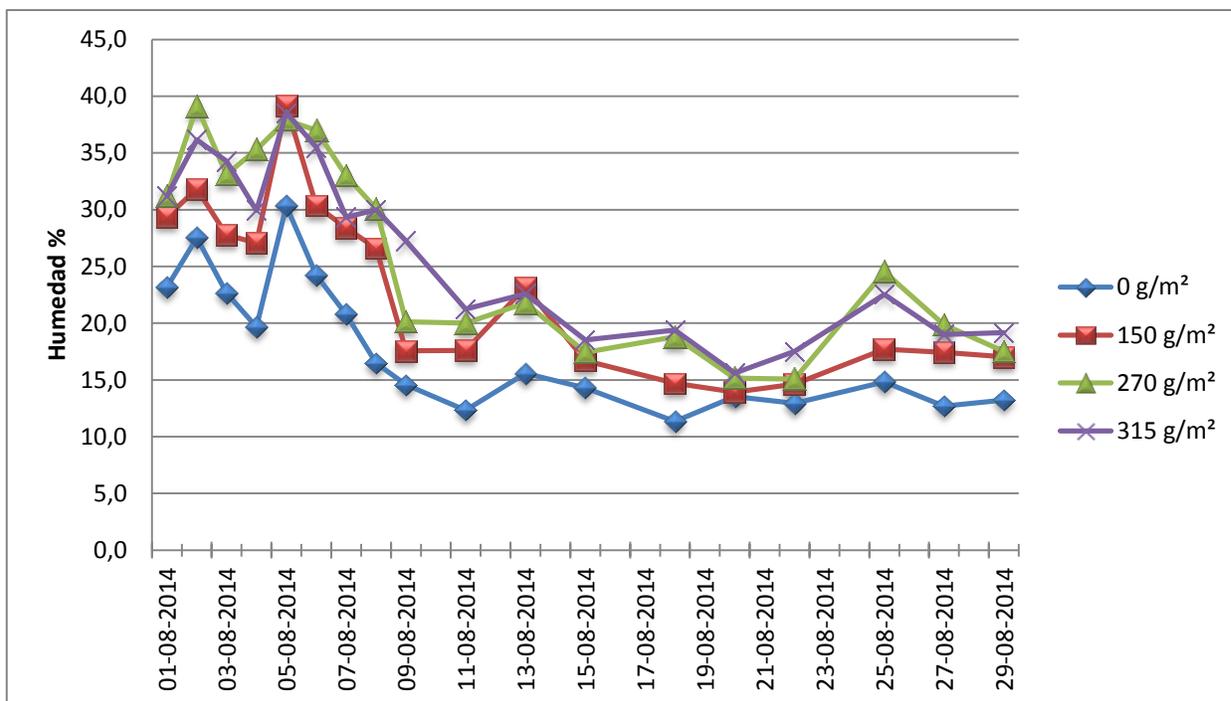
Los biomantos que contenían paja de trigo (150 g/m<sup>2</sup>, 270 g/m<sup>2</sup> y 315 g/m<sup>2</sup>) presentaron resultados similares, en tanto aquel que no contenía material orgánico (0 g/m<sup>2</sup>) presentó humedades más bajas. Esto se explica porque la paja de trigo mantiene la humedad en sus fibras y las traspa al terreno, mientras que el manto que no la contiene, la humedad es disipada más rápidamente al ambiente (Ver figura 8).



**Figura 8. Comportamiento de la humedad en la superficie del talud en presencia de los distintos biomantos, durante la mañana. (Fuente: Elaboración propia)**

b) Humedad en la tarde

El comportamiento de los biomantos es homólogo al que presentaron en la mañana. (Ver figura 9). En las figuras 8 y 9, se evidencia que a partir del día 08-08-2014 la humedad en general comienza a disminuir, a pesar de que luego de este día se registró 1 evento de lluvia, la humedad siempre fue menor a los primeros 7 días de medición. Esto se debe a que el día 7 comenzó la germinación de semillas y con ellos la humedad era absorbida por las raíces de las hierbas plantadas, afirmando así, que el crecimiento de las hierbas disminuye considerablemente la humedad del terreno, lo cual se aprecia muy bien en la figura 8 y 9.



**Figura 9. Comportamiento de la humedad en la superficie del talud en presencia de los distintos biomantos, durante la tarde. (Fuente: Elaboración propia)**

#### 4.1.3. Precipitación y erosión superficial.

Para cuantificar el material erodado se realizaron 6 mediciones, en las que 5 de ellas se hicieron luego de eventos de lluvia natural y una de ellas sin precipitaciones.

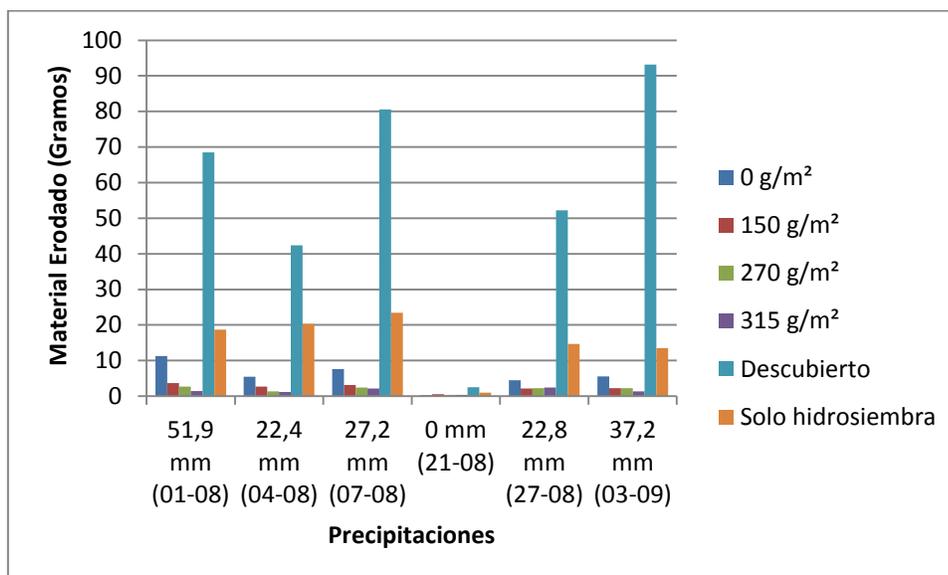
El material erodado depende directamente de las precipitaciones e intensidades de esta, e inversamente a la cantidad de paja de trigo de los biomantos, puesto que a medida que esta aumenta la erosión disminuye (ver ANEXO E, ilustración 10).

Los resultados obtenidos indican una clara tendencia, en el que el biomanto que presenta mejor comportamiento es aquel que posee 315 g/m<sup>2</sup>, siendo este último un 786% más efectivo, en el control de material erodado, que el biomanto que no presenta material orgánico (Ver figura 10).

La medición tomada sin precipitaciones indica que el material arrastrado es muy bajo, ya que no superan los 0,6 gramos, lo que corresponde a 8,5 Kg de material por hectárea en un periodo de 2 semanas (Ver figura 10), es decir por año serían 142,5 kg de material arrastrado en un área de 10000 metros cuadrados.

En la figura 10 también se comparan los resultados obtenidos por Sáez (2015), donde se trabajó con taludes completamente descubiertos y sólo con hidrosiembra. Esto entrega que el biomanto de 315 g/m<sup>2</sup> genera hasta un 7000% menos de material erodado en comparación con el talud

totalmente descubierto y hasta un 1800% en comparación con un talud que presenta sólo hidrosiembra (Ver figura 10).



**Figura 10. Material erodado en presencia de precipitación natural. (Fuente: Elaboración propia)**

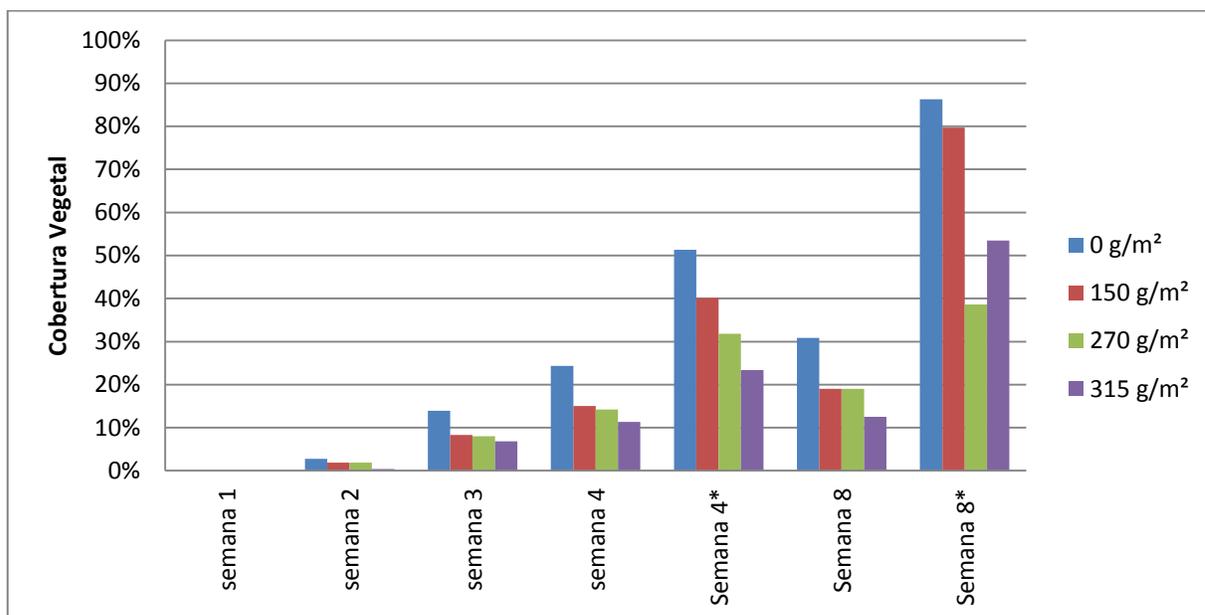
#### 4.1.4. Cobertura vegetal

Los resultados obtenidos indican que el biomanto que no poseía material orgánico fue el que presentó la mejor cobertura, la cual llegó a un 25% promedio, lo que es un valor muy bajo para la cuarta semana de medición. Para analizar qué sucedió con la cobertura se decidió quitar los biomantos de una de las repeticiones de cada biomanto implementado. Con esto se observó que la cobertura vegetal bajo el biomanto era prácticamente el doble de la que se presentaba sobre éste, lo cual se aprecia analíticamente en la figura 11, comparando la semana 4 que representa a los taludes con biomantos y la semana 4\* que representa a los taludes con el biomanto extraído.

La causa de la baja cobertura fue el porcentaje de sombra de la malla raschel (65%), lo que es un valor muy alto puesto que sus aberturas eran muy pequeñas y no permitía el paso del pasto. Las hierbas que mejor lograron atravesar el manto son la festuca alta y ballica italiana, ya que sus características morfológicas así lo permitían (ver ANEXO E, ilustración 8).

Además se realizó una última medición la semana 8, donde se compara básicamente la evolución que tuvo la cobertura de los taludes que aún presentaban el biomanto y aquella a la cuál se le había retirado. Esta última casi triplicaba a la primera (Ver figura 15, semana 8 vs semana 8\*), lo cual confirma la mala elección del tipo de malla raschel, con respecto a la cobertura.

En la figura 12 se puede apreciar cualitativamente la diferencia en las coberturas de los taludes sin el biomanto y aquellos que si mantuvieron este prototipo (semana 8).



**Figura 11. Evolución de cobertura vegetal. (Fuente: Elaboración propia)**



**Figura 12. Talud: 1, 8 y 12 ( $150 \text{ g/m}^2$ ); 2, 4 y 11 ( $315 \text{ g/m}^2$ ); 3, 6 y 10 ( $270 \text{ g/m}^2$ ); 5, 7 y 9 ( $0 \text{ g/m}^2$ ). (Fuente: Elaboración propia).**

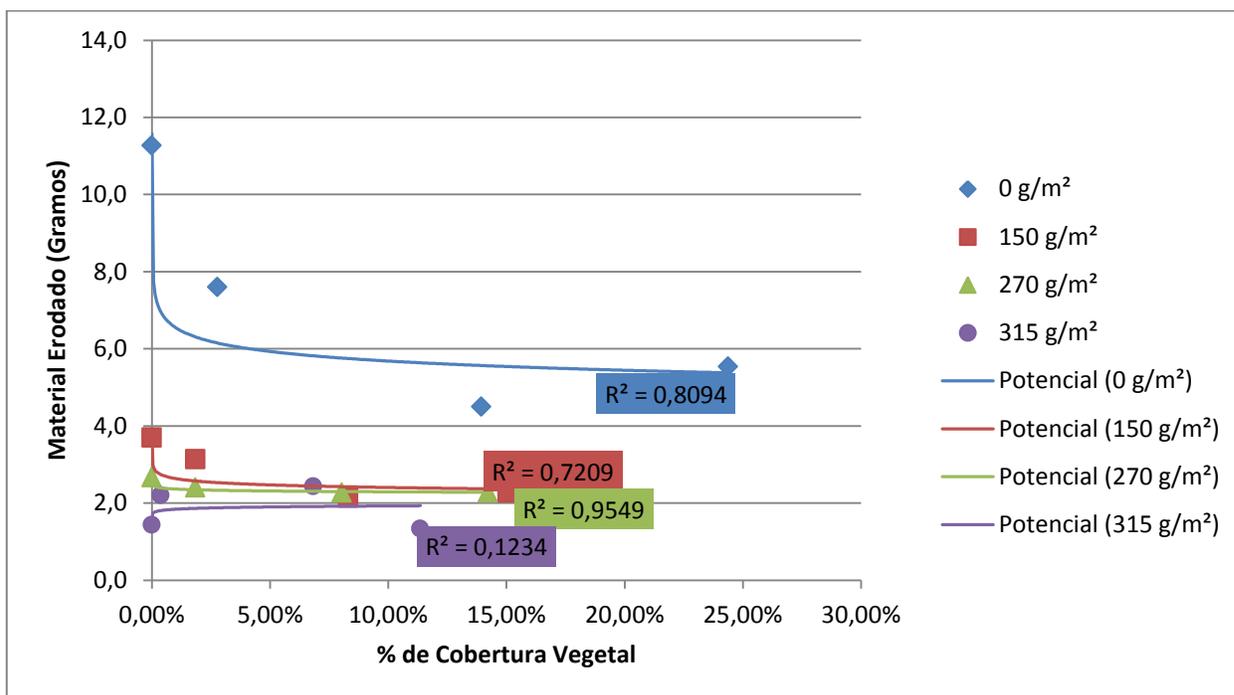
#### **4.2 Correlación entre variables**

A continuación se exponen las correlaciones obtenidas en las mediciones que se realizaron, básicamente entre la cobertura y material erodado, temperatura y humedad, todo esto siempre manteniendo como variable independiente la cantidad de paja de trigo presente en los biomantos.

##### *4.2.1. Cobertura y material erodado*

Los resultados obtenidos indican que a medida que la cobertura vegetal aumenta, la erosión superficial disminuye. Esto se puede observar claramente en el biomanto que presenta  $0 \text{ g/m}^2$  (Ver figura 13), donde también se aprecia la mayor disminución de material erodado. Por otro lado se puede determinar que los biomantos que presentan distintas cantidades de paja de trigo, si bien variaron la cantidad de material arrastrado con la cobertura vegetal, esta fue mínima. Se debe a que la energía de la gota de lluvia en el impacto era absorbida y disipada por la paja de trigo

presente en el biomanto, casi sin posibilidad de que el poder erosivo llegara a la superficie del talud. Por esto mismo es que en el talud que contiene el biomanto con 315 g/m<sup>2</sup> de material orgánico y la cobertura vegetal más baja, el ajuste potencial da un coeficiente de determinación de un 12,34% , lo que indica que casi no existe correlación entre el material erodado y la cobertura vegetal (ver figura 13).



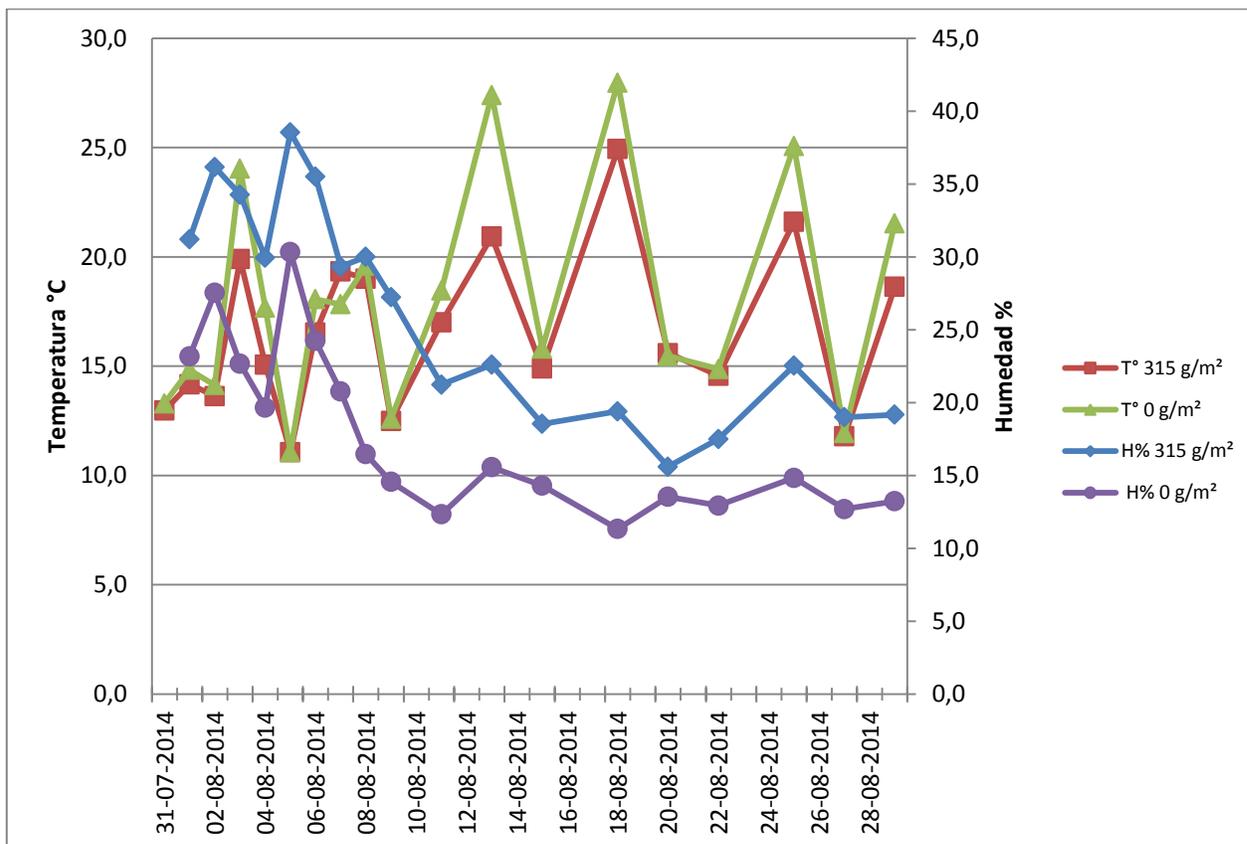
**Figura 13. Material erodado v/s % de cobertura vegetal en los taludes, con los diferentes biomantos implementados. (Fuente: Elaboración propia)**

#### 4.2.2. Temperatura y humedad

La temperatura y humedad en los biomantos que presentan paja de trigo eran muy similares, no así el que no contenía el material agrícola. Por lo tanto para observar el comportamiento de ambas variables en el tiempo, se tomaron los resultados de 2 biomantos representativos, el de 0 g/m<sup>2</sup> y el de 315 g/m<sup>2</sup>. Este último representando a los biomantos que contienen paja de trigo. Según se puede observar en la figura 14, el biomanto de 315 g/m<sup>2</sup> presenta variaciones de humedad y temperatura que oscilan en un menor rango comparado con el que contiene 0 g/m<sup>2</sup> de paja de trigo. Por lo tanto los biomantos que presentan material orgánico crean un microclima más favorable para la germinación y posterior crecimiento de las hierbas. 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 14 representa las temperaturas y humedades tomadas en la tarde puesto que en la mañana el comportamiento de las variables señaladas es homólogo.



**Figura 14. Comparación del comportamiento de humedad y temperatura en biomantos con y sin material agrícola en la tarde. (Fuente: Elaboración propia)**

## V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En el presente estudio se logró desarrollar un biomanto en base a malla raschel y paja de trigo, uniendo este último material a la malla mediante una costura con hilo de polipropileno y aguja de saco en cuadrantes de 18 cm aproximadamente. Se utilizaron cuatro cantidades de paja, 0, 150, 270 y 315 g/m<sup>2</sup> distribuidos uniformemente en la malla raschel, Según el resultado obtenido en cuanto a la germinación de hidrosiembra los biomantos fueron deficientes, esto debido al porcentaje de sombra escogido de la malla raschel (65%). Esta malla presenta espacios entre costura muy reducidos lo que hace muy difícil el paso de las hierbas hacia la superficie del biomanto.

Según la bibliografía revisada y la experiencia realizada se determinó que las variables que afectan la germinación de semillas en taludes de alta pendiente son la humedad, la temperatura, el espacio físico de desarrollo y la erosión superficial, esta última depende directamente de las precipitaciones.

La configuración de biomanto se logró mediante prueba y error donde se unió paja de trigo a una de las caras de la malla raschel a través de filamentos de polipropileno, en cuadrantes de 18 cm aproximadamente, lo cual logra mantener adherida la paja de trigo a 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 daño alguno, sólo se presenció arrastre de paja de trigo producto de la erosión.

La temperatura y humedad superficial del talud es controlada de mejor manera por el biomanto que presenta 315 g/m<sup>2</sup> de paja de trigo disminuyendo la temperatura superficial del talud en 4°C aproximadamente y aumentando la humedad del talud en 8% aproximadamente, esto en comparación con aquél que no tiene material agrícola.

La erosión superficial es reducida en un 786% con el biomanto de 315 g/m<sup>2</sup> que con el de 0 g/m<sup>2</sup>, siendo el primero el que controla de mejor manera esta variable.

La cobertura fue afectada directamente por el tipo de biomanto implementado siendo el de 0 g/m<sup>2</sup> el que presentó mayor cobertura con un 25% a la cuarta semana mientras que el de 315 g/m<sup>2</sup> sólo alcanzó un 11,4%. Los bajos valores obtenidos se deben a la malla raschel elegida, puesto que presentan 65% de sombra, siendo sus aberturas muy pequeñas y no permitiendo el paso de la hierba a la superficie. En este sentido no se logró complementar de buena manera el biomanto implementado con la hidrosiembra.

Con el desarrollo experimental y las especificaciones técnicas de la malla raschel, se obtuvo que el biomanto implementado es un 250% más económico, aproximadamente, que los del mercado y presentan una duración de 5 años (Ver ANEXO G).

Con respecto al control de erosión superficial el biomanto que tiene 315 g/m<sup>2</sup> de material orgánico resultó con el mejor comportamiento al reducir hasta en un 7000% el material erodado, en comparación con un talud totalmente descubierto y hasta en un 1800% en un talud con sólo presencia de hidrosiembra. Este biomanto como solución a mediano plazo para controlar la erosión superficial en taludes de alta pendiente es una buena opción por su costo/calidad.

La implementación de los biomantos se realizó en temporada de invierno con 161 mm de agua caída y una intensidad máxima de 6,8 mm/hora en periodo de medición. Por lo tanto si el biomanto se quisiera probar en otra época del año, donde las temperaturas sean más altas y la cantidad de lluvia más baja, como complemento de la hidrosiembra, la germinación de semillas presentaría problemas.

Como control de erosión superficial en cualquier época del año tendría un excelente comportamiento.

Debido a la baja cobertura que se obtuvo en los biomantos implementados, y si este se quiere utilizar como un producto complementario a la hidrosiembra, se recomienda para próximos estudios utilizar una malla raschel con un porcentaje de sombra de 35% y un gramaje máximo de paja de trigo de 150 g/m<sup>2</sup>, con cuadrantes de fibras de polipropileno de 10 cm.

Para llevar un mejor control de las variables de humedad, temperatura y erosión, se recomienda que las precipitaciones sean controladas con algún sistema de lluvia artificial.

## **BIBLIOGRAFÍA**

- Albaladejo, Montoro, Álvarez, Querejeta, Díaz y Castillo (2000). Three hydro-seeding revegetation techniques for soil erosion control on anthropic steep slopes, España. Land degradation & development.
- Carrasco, Riquelme (2003). Métodos y prácticas de Conservación de Suelos y Aguas, Instituto de Investigaciones Agropecuarias, INIA. Rancagua, Chile.
- Carrillo (2003). Manejo de posturas, Estación Experimental Agropecuaria Balcarce Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Buenos Aires, Argentina.
- Department of Environment and Climate Change NSW (2007), Controlling Soil Erosion on Construction Sites Using Compost Blankets, Australia.
- 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.
- Meneses (2011). Análisis de la erosión hídrica en taludes a escala sembrados con trébol enano durante otoño e invierno. Proyecto de título Ingeniería Civil, Universidad del Bío-Bío. Concepción, Chile.
- Montani, Busso (2004). Métodos de estudio de la vegetación. Departamento de Agronomía, Universidad Nacional del Sur. Buenos Aires, Argentina.
- Mostacedo, Fredericksen (2000). Manual de Métodos Básicos de Muestreo y Análisis en Ecología Vegetal. Santa Cruz, Bolivia.
- Nazal (2007). Control de la Erosión en taludes mediante Biomantos y Cubierta Vegetal. Proyecto de título de Ingeniería Civil, Universidad del Bío-Bío, Concepción, Chile.

- Pereira, Ramírez (2008). Bases para la implementación de un nuevo negocio para la empresa IGMA S.A. Proyecto de título Ingeniería Industrial, Universidad del Bío-Bío, Concepción, Chile.
- Suárez (2001). Control de Erosión en zonas tropicales. Instituto de investigación sobre erosión y deslizamientos, Colombia.
- Zulueta corporación (2014). [En línea].  
<<http://www.zulueta.com> > [Consulta: Octubre 2014].
- Windfinder (2014) GmbH & Co. Observaciones, previsión y estadísticas de viento, olas y tiempo. [En línea].  
<[http://www.windfinder.com/forecast/concepcion&wf\\_cmp=7](http://www.windfinder.com/forecast/concepcion&wf_cmp=7)> [Consulta: 29 de julio al 30 de agosto del 2014]
- DGA (2014). Dirección General de Aguas, Ministerio de Obras Públicas. [En línea].  
<<http://www.dga.cl/Paginas/default.aspx>> [Consulta: 1 de agosto al 30 de septiembre del 2014].
- Asturnatura (2014). Naturaleza y turismo. Flora y Fauna. [En línea].  
<<http://www.asturnatura.com/especie/trifolium-pratense.html>>  
<<http://www.asturnatura.com/especie/trifolium-pratense.html>> [Consulta: Octubre 2014]
- USDA (2014). United States Department of Agriculture Natural Resources Conservation Service. [En línea]  
<[http://plants.usda.gov/plantguide/pdf/pg\\_trfr2.pdf](http://plants.usda.gov/plantguide/pdf/pg_trfr2.pdf)> [Consulta: Octubre 2014]
- CT (2014). State of Connecticut. [En línea]  
<[http://www.ct.gov/deep/lib/deep/water\\_inland/secs\\_chapter\\_1\\_5.pdf](http://www.ct.gov/deep/lib/deep/water_inland/secs_chapter_1_5.pdf)>  
[Consultado: Octubre 2014]

# **ANEXOS**

## **ANEXO A: CARACTERÍSTICAS DE SEMILLAS UTILIZADAS EN LA HIROSIEMBRA**

a). *Festuca alta (Festuca arundinacea)*:

Es una especie de porte semi-erecto, la que forma una macolla basal de hojas, muy densa. Su sistema radicular es fibroso y potente, profundizando de 30 a 35 mm en el suelo, siendo la especie cespitosa de clima templado con un sistema radicular más potente. Las hojas son paralelinervias, con las nervaduras prominentes en la parte superior de la hoja, para desaparecer en la zona basal.

La *Festuca arundinacea* está bien adaptada a zonas templadas de transición y climas mediterráneos secos, se adapta bien a todo tipo de suelos, de los ligeramente ácidos a los neutros y alcalinos. Soporta tanto los terrenos secos como los suelos enlodados, presentando así un buen comportamiento en terrenos con mala infiltración. Admite ciertos niveles de sombra y se comporta mejor con temperaturas altas bajo riego, que con temperaturas bajas.

Debido a su potente sistema radicular, mejora significativamente la resistencia al pisoteo y extracción. También le permite explorar el perfil en busca de agua, es por ello que se trata de una especie resistente a las condiciones de aridez, requiriendo aportes de agua bastante inferiores a las de cualquier otra especie de clima templado.

La *Festuca arundinacea* en combinación con otras especies debe tener un papel predominante, llegando al 70% - 75% en peso de la composición.

La velocidad de germinación de la *Festuca arundinacea* es la más rápida después del Ray-frass inglés.

La cobertura del césped una vez conseguida, es firme, potente y definitiva.

En la ilustración 1 se aprecia los diferentes aspectos de la planta.



**Ilustración 1. Caracterización festuca alta: a) aspecto general de la planta, b) detalle de la panoja, c) detalle de la base de la lámina, d) detalle de la espiguilla. (Fuente: [www.fagro.edu.uy](http://www.fagro.edu.uy))**

*b). Ballica italiana (Lolium multiflorum):*

Es una planta que presenta tallos de 30 a 130 cm, con una estructura erecta y delgada o algo gruesos, crecen de forma agrupada o solitaria, la ramificación es muy baja presentando 2-5 por nudo. Las hojas son verdes, glabras, lineares, con la punta delgada, enrolladas a lo largo del eje en las plantas jóvenes, lisas en la cara inferior y escábridas la cara superior (Ver ilustración 2).

Crece en climas templados, zonas abandonadas y cultivadas, cunetas, prados y bordes de bosques, resiste muy bien el frío, pero es muy sensible al calor y a la sequía. En veranos calurosos y secos detiene completamente su crecimiento. No es compatible con el encharcamiento y en suelos fértiles desarrolla un elevado potencial productivo, aun así se adapta en suelos de mala calidad e incluso aquellos que presentan condiciones limitantes, donde produce menor cobertura y florece a menor altura. Presenta una germinación rápida, entre 5 -7 días y un crecimiento acelerado, lo que puede llegar a impedir, en siembras densas, el establecimiento de otras especies menos competitivas, por lo tanto es recomendable controlar el porcentaje de peso de esta semilla es una mezcla de sembradío.



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

*c). Trébol rosado (Trifolium pratense):*

Planta perenne erectas o semi-erectas con tallos que miden entre 6 y 110 cm. Las hojas son trifoliadas, dispuestas alternamente, con folíolos ovalados, blandos, los que miden entre 1-3 cm de longitud y 8-15 mm de ancho (Ver ilustración 3a).

Las flores, de 12-15 mm de longitud, poseen corolas formados por 5 pétalos soldados de color rosa violáceo y con menor frecuencia blanca o purpúrea.

Crece en climas templados y su temperatura óptima de crecimiento es entre 10-17°C, pero resiste el frío y tolera relativamente mal la sequía, crece en plena luz pero se adapta bien al sombreado, vegeta en todo tipo de suelos, siendo el óptimo aquel que presenta niveles de pH de 5.0 a 7.5, texturas medias a pesadas con fertilidad media a moderada y un buen drenaje, también tolera de buena forma pH de 4.5 a 8.2. Soporta precipitaciones desde 300 hasta 2100 mm/año.

*d). Trébol subterráneo (Trifolium subterraneum):*

Planta herbácea con tallos tendidos de 10-90 cm los cuales no enraízan y producen sus semillas en un glomérulo o canastillos que se entierra en el suelo o se ubica cerca de la superficie, pelosa, con pelos largos (Ver ilustración 3b).

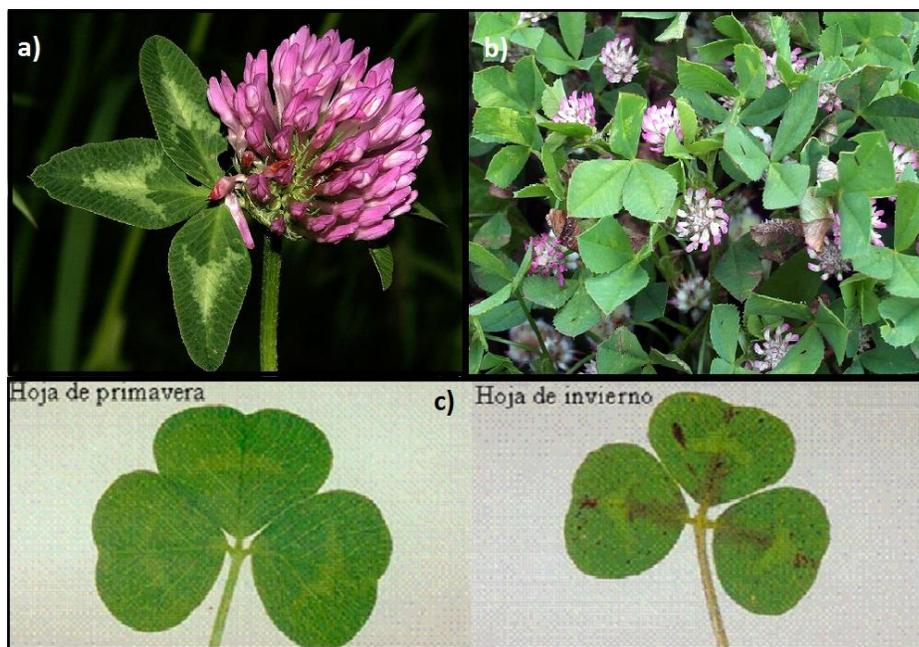
Sus hojas son trifoliadas, suspendidas y alternas, rara vez pelosas en la base, sus folíolos son obcordados y suelen tener marcas color verde claro formando una V completa, pueden medir entre 30-33mm.

Crece en áreas mediterráneas, que presentan climas de invierno suave y húmedo y pluviometría de 360-1200 mm anuales. No tolera el frío intenso ni el encharcamiento. Germina en otoño con mayor crecimiento durante otoño hasta la primavera en que las temperaturas tienen un rango de 15-25°C. La fluctuación de las temperaturas diarias reduce la dureza seminal, permitiendo así la germinación. 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. Tolerla la sombra y la sequía, pero se destaca que en esta última condición los pastizales de trébol mueren, pero se regeneran desde el banco de semillas después de las lluvias de otoño. Durante el crecimiento el trébol subterráneo tolera temperaturas producidas por las heladas de invierno, bajo los -4°C, pero pueden reducir la producción de semillas.

*e). Trébol frutilla (Trifolium fragiferum):*

Planta perenne de 5-20 cm. Tallos decumbentes, que enraízan en los nudos, sus hojas son trifoliadas con folíolos de abovados a elípticos, según la variedad puede presentar manchas blancas y/o café. La inflorescencia es de color crema, son globulares y compactos y presentan un diámetro de 10-12mm (Ver ilustración 3c)

Se adapta a climas mediterráneos con precipitaciones anuales que fluctúan entre los 750-1500mm. Se caracteriza por tolerar muy bien los terrenos mal drenados con alto nivel freático y las inundaciones prolongadas. Tolerla moderadamente la sequía. Vegeta cómodamente en terrenos salinos, ácidos, alcalinos y en terrenos compactados por el pastoreo. No tolera la sombra. La temporada de mayor rendimiento en su crecimiento es en primavera y verano.



**Ilustración 3. Aspecto general: a) *Trifolium rosado*, b) *Trifolium frutilla*, c) *Trifolium subterrâneo*. (Fuentes: [www.fagro.edu.uy](http://www.fagro.edu.uy), Cares, 2008)**

## ANEXO B: IMÁGENES DE METODOLOGÍA EXPERIMENTAL



**Ilustración 4. Canaleta de PVC con despiche. (Fuente elaboración propia)**



**Ilustración 5. Decantador de material erodado con filtro. (Fuente elaboración propia)**



**Ilustración 6. Confección de Biomanto. (Fuente: Elaboración propia)**

**ANEXO C: DATOS OBTENIDOS**

A continuación se presentan los datos observados durante 30 días de medición, de los cuales se realizaron 19 mediciones en la temperatura superficial del talud y 18 mediciones a la humedad.

Las precipitaciones se midieron después de cada evento de lluvia las cuales fueron 5, además se realizó una medición sin precipitaciones.

Para la cobertura vegetal se realizaron mediciones una vez por semana, durante 8 semanas, a través del método del cuadrante.

*Temperatura matinal*

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

Talud	N° de repetición	Medición	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
		T° matinal	11,8	13,4	13,9	10,7	5	11	8,3	6,6	3,1	8,1	1,7	3,5	7,7	6	10,4	9,4	12,1	10,5	10,9
		Biomantos	T° en taludes en °C																		
5	1	0 g/m²	11,8	12,9	13,3	11,2	5,9	10,4	9,7	7,2	6,4	9,3	6,5	3,7	8,1	9,2	11,1	10	11,9	11	10,7
7	2		11,8	12,9	13,3	11,2	5,9	10,4	9,7	7,1	6,3	9,4	6,5	3,5	8,2	9,3	11,2	10	11,9	11	10,8
9	3		11,8	12,9	13,3	11,2	5,9	10,4	9,6	7,1	6,2	9,4	6,3	3,6	8,1	9,1	11	9,9	12,3	10,9	10,8
1	1	150 g/m²	11,5	12,9	13,5	11,8	6,4	10,4	9,7	7,1	6	8,8	6,3	4,5	8,2	8,7	10,9	10	10,8	11,2	10,9
8	2		11,9	12,8	13,3	11,5	6,7	10,4	9,9	7,1	6,7	9,4	6,9	4,4	8,3	9,5	11	10,3	12,1	11,1	11
12	3		11,7	12,8	13,3	11,6	6,5	10,4	9,7	7,3	6,3	9,4	6,7	4,2	8,3	9,7	11,1	10,1	12,3	11	10,8
3	1	270 g/m²	11,8	12,9	13,4	11,4	6,3	10,3	9,7	7	6,8	9,4	6,5	4,2	8,2	9,2	11,1	10,1	10,7	11,2	10,7
6	2		11,8	12,8	13,3	11,5	6,7	10,4	9,9	7,4	7,2	9,5	7	4,7	8,4	9,5	11,2	10	11,2	11,2	10,7
10	3		11,7	12,7	13,2	11,5	6,4	10,4	9,8	7,1	6,5	9,5	6,5	4,2	8,4	9,5	11	9,9	12,1	11,1	10,9
2	1	315 g/m²	11,9	12,7	13,4	11,5	6,6	10,3	9,8	7,2	6,8	9,3	6,4	4,3	8,2	8,7	11	9,9	11,1	11,1	10,7
4	2		11,8	12,9	13,4	11,5	6,7	10,4	9,9	7,3	6,9	9,5	6,6	4,2	8,4	9,3	11,1	10,1	11,3	11,2	10,7
11	3		11,6	12,7	13,3	11,8	6,7	10,4	9,8	7,1	7,1	9,4	7	4,6	8,3	9,5	11,1	9,9	11,5	11	10,8

**(Fuente: Elaboración propia)**

*Temperatura vespertina*

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

Talud	N° de repetición	Medicion	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
		T° Vespertina	14,2	14,7	14,2	15,7	15	11,7	15	17	18	13	16	19	13	22	15,3	14,3	17,6	12,1	18,9
		Biomantos	T° en taludes en °C																		
5	1	0 g/m²	13,3	15	14,1	28,7	18	11,1	18	17	20	13	19	28	16	28	15,4	15,1	24,2	12,2	22
7	2		13,3	14,7	14,2	22,8	18	11,1	18	17	20	12	19	29	16	28	15,5	14,4	25,6	11,9	21,6
9	3		13,3	14,8	14,1	20,6	17	11	18	19	19	13	18	25	15	28	15,5	15,1	25,4	11,7	21
1	1	150 g/m²	13,1	14,2	14,1	22,5	17	11	17	19	22	12	18	20	14	25	15,6	14,7	21,7	12	19,8
8	2		13,3	14,2	13,7	18,4	16	10,9	17	18	19	13	17	23	14	27	15,4	14,2	23	11,7	19
12	3		12,9	14,2	13,7	17	15	11	17	16	19	12	18	18	14	25	14,1	14,2	22,9	11,3	19,9
3	1	270 g/m²	13,2	14,2	13,6	22,1	17	10,9	17	22	19	13	19	22	15	26	15,1	15	25,5	12	20,1
6	2		12,9	14,2	13,7	20,3	16	11	18	16	20	13	18	25	15	25	14,9	15,8	24,1	11,9	18,9
10	3		12,9	14,3	13,7	17,5	15	11	18	18	19	13	17	22	14	26	15,5	16,7	25,8	11,6	19,7
2	1	315 g/m²	12,9	14,1	13,6	21,8	16	11,1	17	23	20	13	18	21	14	26	16,1	15	20,7	11,7	19,2
4	2		13,2	14,1	13,6	21,4	16	11,1	16	20	19	13	18	23	16	26	16,5	15	21,8	12,2	17,7
11	3		12,8	14,3	13,7	16,5	14	11	16	15	19	12	16	19	14	24	14,2	13,7	22,3	11,5	19

(Fuente: Elaboración propia)

*Humedad matinal*

**Tabla 3. Datos de Humedad obtenidos en medición matinal.**

Talud	N° de repetición	Medicion	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
		Biomantos	Humedad en taludes en %																	
5	1	0 g/m²	31	31,7	24,4	26,4	22	31,6	21	19	11	14	14	13	11	13	10,5	16,1	15,7	11,4
7	2		26,8	28,2	20,7	21,4	21	28,8	26	25	15	14	15	15	15	15	12,9	19,1	13,1	11,4
9	3		28,6	34,1	29,5	28,3	23	30,4	24	28	18	22	19	19	16	17	14,4	16,6	13,8	13,8
1	1	150 g/m²	31	35,9	31,8	24,7	35	32	27	31	25	16	16	18	15	17	13,3	19,6	16	16,9
8	2		38,7	37,5	34,8	27,9	35	34	31	33	25	24	19	17	17	17	15,1	28,1	17,4	16,1
12	3		34,9	32	31,6	24,6	36	35	29	28	20	18	20	16	18	17	15,4	22,1	16	17
3	1	270 g/m²	35,7	36,9	36,1	27,4	38	37,3	34	36	26	22	25	22	20	18	14,7	27,1	19,3	18
6	2		35,5	35	39	31,4	34	35,1	33	33	24	23	21	21	20	19	15	19,9	16,6	15,3
10	3		33,2	38	36,3	34,8	38	32	36	32	29	24	26	21	20	16	14,7	29,2	14,8	13,9
2	1	315 g/m²	35,6	35	37,5	34,4	39	37,9	29	36	28	21	17	16	18	17	13,9	25,4	18,8	18,4
4	2		35,4	32,2	33,4	31,4	39	34,9	31	26	31	23	27	20	24	20	19	26	23,3	20,1
11	3		34,5	34	37,2	33,2	30	35,2	27	33	31	26	27	19	28	26	22,9	30,7	24,5	22,3

(Fuente: Elaboración propia)

*Humedad vespertina*

**Tabla 4. Datos de humedad obtenidos en medición vespertina.**

Talud	N° de repetición	Medición	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
		Biomantos	Humedad en taludes en %																	
5	1	0 g/m <sup>2</sup>	27,5	28,7	20,1	22,1	30	24,6	17	15	16	8,8	11	13	9,3	12	11,3	16,2	10,6	12
7	2		17	22,3	19,5	16,7	28	20,2	21	15	14	11	15	15	12	13	12,7	13	13,2	11,6
9	3		25	31,6	28,4	20,2	33	27,9	24	19	14	17	21	16	13	15	14,8	15,3	14,3	16,1
1	1	150 g/m <sup>2</sup>	25	30,3	23,1	24,2	39	29,2	28	23	18	18	29	17	13	16	14	19,1	14,7	13,9
8	2		33,3	37,1	31,5	31,6	39	30,8	22	30	19	17	22	17	16	11	13,3	17	20,8	18,7
12	3		29,8	28,1	28,7	25,4	40	31,1	36	27	15	18	19	16	15	15	16,6	17	16,8	18,5
3	1	270 g/m <sup>2</sup>	31,3	40,1	31,9	35,2	38	38,1	33	29	16	21	22	18	19	14	15,7	26,3	17,6	17,4
6	2		33,1	36,4	30,7	34,6	40	33,4	35	28	18	20	24	17	19	19	15	25,3	23,3	17,3
10	3		29,2	40,8	36,7	36,1	36	39,5	32	33	26	19	20	18	18	13	14,5	22	18,7	17,8
2	1	315 g/m <sup>2</sup>	31,7	39,7	35,6	32	37	39,7	25	33	28	18	22	17	14	15	15,3	26,8	18,4	19,5
4	2		30,6	34	32,3	25,7	40	31,1	33	28	29	22	21	18	23	18	15,5	21,9	20,4	18,7
11	3		31,3	34,8	34,9	32,1	39	35,7	30	30	25	24	25	21	21	14	21,7	18,9	18,2	19,3

(Fuente: Elaboración propia)

*Precipitaciones y erosión superficial*

**Tabla 5. Datos de material erodado**

Talud	N° de repetición	Fecha	01-08-2014	04-08-2014	07-08-2014	21-08-2014	27-08-2014	03-09-2014
		Precipitación	51,9 mm	22,4 mm	27,2 mm	0 mm	22,8 mm	37,2 mm
		Intensidad max.	6,8 mm/hora	3,9 mm/hora	4,5 mm/hora	0 mm/hora	4,2 mm/hora	5,3 mm/hora
Biomantos		Erosión superficial en taludes (g)						
5	1	0 g/m <sup>2</sup>	11	4,1	6,7	0,3	3,5	3,2
7	2		11,6	5,1	5,3	0,3	4,3	5,4
9	3		11,2	7,3	10,8	0,2	5,7	8
1	1	150 g/m <sup>2</sup>	1,7	1,4	3	0,7	2,3	2,5
8	2		4,2	1,3	2,9	0,3	1,7	1,2
12	3		5,2	5,5	3,5	0,7	2,4	3,1
3	1	270 g/m <sup>2</sup>	2,3	1,5	3,9	0,6	3,7	4,3
6	2		2,3	1	1,4	0,2	0,9	0,8
10	3		3,4	1,5	1,9	0,2	2,2	1,7
2	1	315 g/m <sup>2</sup>	0,9	0,4	1,2	0,2	1,1	1,1
4	2		1,6	1,2	2,6	0	3,3	1,4
11	3		1,8	1,8	2,8	0,8	2,9	1,5

(Fuente: Elaboración propia)

Cobertura vegetal

**Tabla 6. Medición de cuadrantes en cobertura vegetal.**

Talud	N° de repetición	biomanto	semana 1	semana 2	semana 3	semana 4	semana 4*	semana 8	semana 8*
			N° de sub cuadrículas con presencia vegetal						
5	1	0 g/m <sup>2</sup>	0	8	54	91	185	-	312
7	2		0	11	51	96	-	129	-
9	3		0	11	46	77	-	94	-
1	1	150 g/m <sup>2</sup>	0	8	34	66	119	-	288
8	2		0	4	23	62	-	92	-
12	3		0	8	33	35	-	45	-
3	1	270 g/m <sup>2</sup>	0	8	30	56	-	61	-
6	2		0	4	24	47	-	77	-
10	3		0	8	33	51	97	-	139
2	1	315 g/m <sup>2</sup>	0	0	26	43	-	64	-
4	2		0	4	30	55	84	-	193
11	3		0	0	18	25	-	26	-

(Fuente: Elaboración propia)

**Tabla 7. Porcentaje de cobertura vegetal, según tabla 6.**

Talud	N° de repetición	Biomanto	semana 1	semana 2	semana 3	semana 4	semana 4*	semana 8	semana 8*
			Cobertura vegetal en talud						
5	1	0 g/m <sup>2</sup>	0,0%	2,2%	15,0%	25,2%	51,3%	-	86,3%
7	2		0,0%	3,0%	14,1%	26,6%	-	35,6%	-
9	3		0,0%	3,0%	12,7%	21,3%	-	26,1%	-
1	1	150 g/m <sup>2</sup>	0,0%	2,2%	9,4%	18,3%	33,1%	-	79,7%
8	2		0,0%	1,1%	6,4%	17,2%	-	25,6%	-
12	3		0,0%	2,2%	9,1%	9,7%	-	12,5%	-
3	1	270 g/m <sup>2</sup>	0,0%	2,2%	8,3%	15,5%	-	16,8%	-
6	2		0,0%	1,1%	6,6%	13,0%	-	21,3%	-
10	3		0,0%	2,2%	9,1%	14,1%	26,8%	-	38,6%
2	1	315 g/m <sup>2</sup>	0,0%	0,0%	7,2%	11,9%	-	17,7%	-
4	2		0,0%	1,1%	8,3%	15,2%	23,4%	-	53,5%
11	3		0,0%	0,0%	5,0%	6,9%	-	7,3%	-

(Fuente: Elaboración propia)

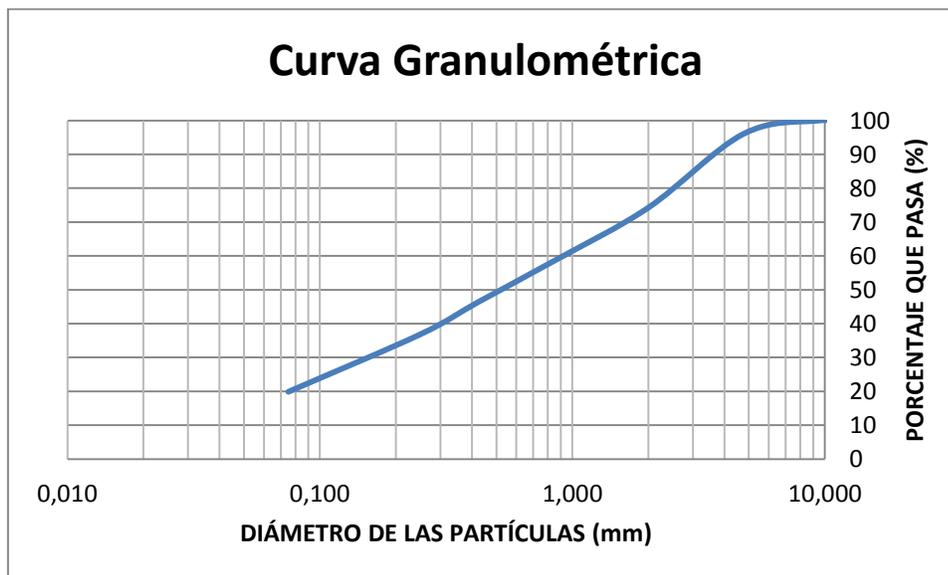
## ANEXO D: MECANICA DE SUELOS

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

**Tabla 8. Datos de granulometría realizada.**

Tamiz (N°)	Diámetro (mm)	Pasa(%)	Retenido acumulado (%)	Retenido parcial (%)	Retenido parcial(g)
0,75	19	100	0	0	0
0,375	9,5	100	0	0	0
4	4,75	96	4	4	20
10	2	74,26	25,74	21,74	108,7
20	0,85	58,6	41,4	15,66	78,3
40	0,425	46,42	53,58	12,18	60,9
60	0,25	36,84	63,16	9,58	47,9
200	0,075	19,86	80,14	16,98	84,9
				<i>finos (g)</i>	99,3

(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 presentan a continuación.

- Límite líquido: 49.4 %
- Límite plástico: Aun cuando se puede determinar el Límite Líquido, no es factible detectar el Límite Plástico, acorde a la Normativa empleada. Material evidencia cualitativamente plasticidad NULA.
- Índice plástico: No procede.

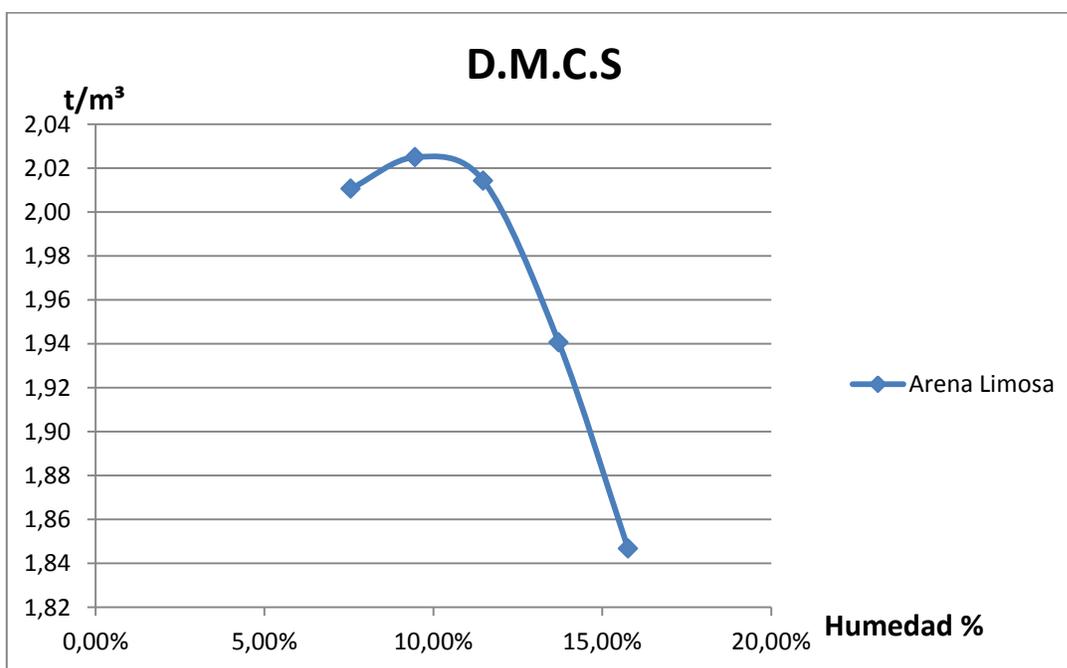
*Proctor modificado.*

Se realizó un proctor modificado según la norma NCh 1534 of. 1989, a continuación se presenta la tabla que contiene los resultados obtenidos.

**Tabla 9. Datos de proctor realizado.**

<b>Humedad aplicada</b>	<b>Volumen molde (cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Densidad hum.(t/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Humedad</b>	<b>DCS (t/m<sup>3</sup>)</b>
5%	929	2,16	7,6%	2,01
7%	929	2,22	9,5%	2,02
9%	929	2,25	11,5%	2,01
11%	929	2,21	13,7%	1,94
13%	929	2,14	15,8%	1,85

(Fuente: Elaboración propia)



Del gráfico se puede apreciar que la DMCS tiene un valor de  $2.02 \text{ t/m}^3$ , la cual, se alcanza con una humedad óptima del 9.46%.

*Valores de compactación presente en los taludes.*

Para la medición de la compactación de los taludes se utilizaron los testigos de PVC calibrados por Hernández, 2011.

Se realizaron dos mediciones por talud en sectores al azar.



**Ilustración 6. Testigos utilizados para medir compactación en taludes experimentales.  
(Fuente: Elaboración propia)**



**Ilustración 7. Puntos donde se realizó una de las mediciones de compactación. (Fuente: Elaboración propia)**

**Tabla 10. Porcentajes de compactación obtenidos en taludes experimentales.**

<i>talud</i>	<i>Humedad %</i>	<i>DCS (t/m<sup>3</sup>)</i>	<i>% de la DMCS</i>
1	12,00	1,25	62%
1	12,45	1,22	60%
2	9,93	1,39	69%
2	13,04	1,34	66%
3	11,81	1,36	67%
3	15,81	1,42	70%
4	12,95	1,26	62%
4	11,90	1,22	60%
5	13,14	1,32	65%
5	15,32	1,23	61%
6	13,39	1,37	68%
6	17,14	1,32	65%
7	15,47	1,35	67%
7	9,59	1,28	63%
8	12,78	1,44	71%
8	15,54	1,23	60%
9	14,62	1,47	72%
9	12,85	1,31	65%
10	11,25	1,28	63%
10	14,17	1,28	63%
11	18,83	1,30	64%
11	19,23	1,24	61%
12	18,58	1,36	67%
12	18,06	1,49	73%

**(Fuente: Elaboración propia)**

Se midieron densidades del suelo en los taludes, las cuales, arrojaron una compactación mínima de 60% y una máxima de 73% de la densidad máxima compactada seca, obteniendo así la compactación natural del talud que se mantiene en un rango de 60% a 80% de la D.M.C.S. este último dato según Hernández, 2011.

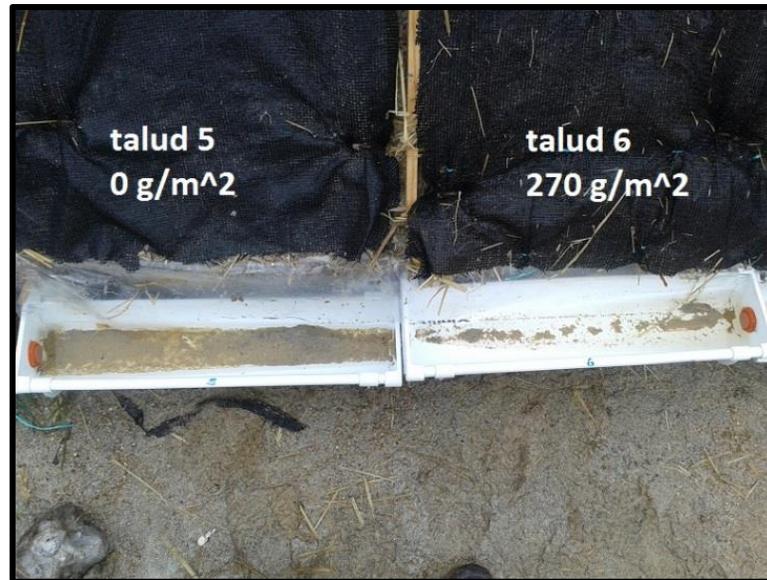
**ANEXO E: IMÁGENES DE RESULTADOS.**



**Ilustración 8. Festuca alta y ballica italiana traspasando biomanto. (Fuente: Elaboración propia)**



**Ilustración 9. Vista general de taludes experimentales sin biomanto a la semana 8. (Fuente: Elaboración propia)**



**Ilustración 10. Comparación de material erodado en taludes experimentales con distintos biomantos. (Fuente elaboración propia)**

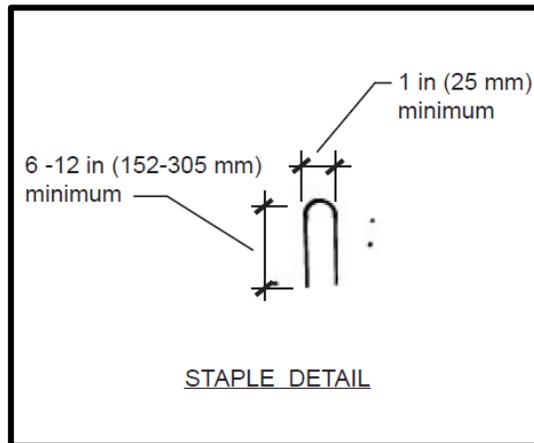
## **ANEXO F: INSTALACIÓN DE BIOMANTOS**

La instalación de los Biomantos se realizó en base a las especificaciones técnicas entregadas por la empresa EMIN Sistemas Geotécnicos S.A.

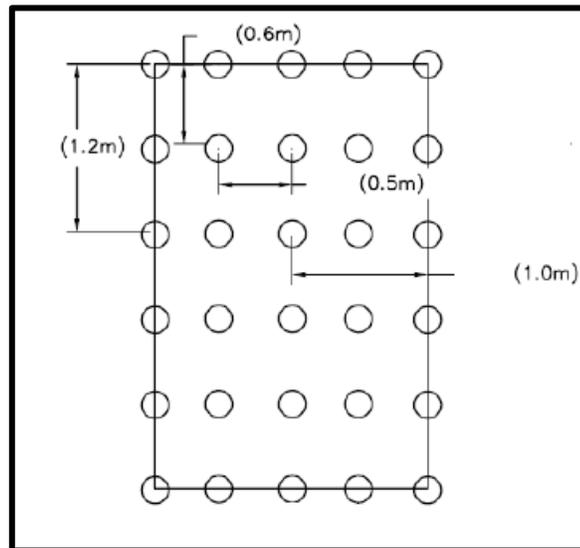
A continuación se presentan las principales instrucciones de instalación:

- Preparar el terreno rastrillando, y eliminando todo tipo de bolones, piedras, basura o elementos punzantes que puedan dañar los biomantos.
- Mantener siempre el material en contacto directo con el terreno.
- Las mantas se desenrollan con el lado apropiado contra la superficie del suelo, desde la corona hacia el pie del talud.
- Usar número apropiado de grapas (la cantidad de grapas por m<sup>2</sup> dependerá de la gradiente del talud), por lo general se utilizan entre 4 a 5 grapas por m<sup>2</sup> de mantas de control de erosión.
- Sujetar todos los traslapes del material, ya sean transversales o longitudinales.
- Traslape el material en la dirección del flujo del agua (12 a 15 cm de traslape).

A continuación se detalla el tipo de grapa utilizado y la distribución de estas, para unir el biomanto al talud.



**Ilustración 11. Medida de grapas de hierro utilizadas. (Fuente: NRCS Watershed Technology Electronic Catalog)**



**Ilustración 12. Sistema de distribución de grapas en biomanto. (Fuente: sistemas geotécnicos.cl)**

## ANEXO G: COSTOS ESTIMATIVOS DE BIOMANTOS CONFECCIONADOS

Los costos estimativos presentados a continuación consideran solo material de manufactura del biomanto.

**Tabla 11. Costos estimados de confección de biomantos.**

BIOMANTO	MATERIAL	UNIDAD DE MEDIDA	COSTO UNITARIO \$	CANTIDAD	COSTO TOTAL \$	COSTO BIOMANTO \$	COSTO BIOMANTO \$ POR M <sup>2</sup>
0 g/m <sup>2</sup>	paja de trigo	g	0,075	0	0	240	343
	malla raschel	m <sup>2</sup>	214	0,7	149,8		
	filamentos de polietileno	m	9	10	90		
150 g/m <sup>2</sup>	paja de trigo	g	0,075	150	11,25	251	359
	malla raschel	m <sup>2</sup>	214	0,7	149,8		
	filamentos de polietileno	m	9	10	90		
270 g/m <sup>2</sup>	paja de trigo	g	0,075	270	20,25	260	372
	malla raschel	m <sup>2</sup>	214	0,7	149,8		
	filamentos de polietileno	m	9	10	90		
315 g/m <sup>2</sup>	paja de trigo	g	0,075	315	23,625	263	376
	malla raschel	m <sup>2</sup>	214	0,7	149,8		
	filamentos de polietileno	m	9	10	90		

**(Fuente: Elaboración propia)**