

Universidad del Bío-Bío

Facultad de Ingeniería
Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental

Profesor Patrocinante: Ricardo Riveros Velásquez.



“INFLUENCIA DE BIOMANTOS DE FIBRA VEGETAL EN LA GERMINACIÓN DE HIDROSIEMBRA EN TALUDES DE ALTA PENDIENTE.”

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

JORGE IGNACIO SÁEZ CORREA

Concepción, Enero de 2015.

AGRADECIMIENTOS

Primero que todo, agradecer a Dios por darme la vida, acompañarme en todo momento y darme las herramientas y familia para ser inmensamente feliz.

A mis padres por todos sus sacrificios puestos en mí, por sus valores y herramientas entregadas, por su amor y por enseñarme cada día a ser una mejor persona. A mis hermanos por darme tantos momentos de alegría. A mis abuelos por cuidarme desde el lugar que estén.

A Contanza por su cariño, apoyo incondicional y compañía.

A mis amigos por su ayuda desinteresada y por los buenos momentos en mi etapa universitaria. En especial Damián, Carlos, Claudio, Felipe, Juan y Mariano.

A mi profesor guía Ricardo Riveros, por su orientación y apoyo constante de conocimiento y material durante el desarrollo de este proyecto. A Don Miguel Orellana, por su buena disposición para enseñar y ayudar durante la etapa experimental.

ÍNDICE

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN.....	- 3 -
1.1 Justificación del tema.....	- 4 -
1.2 Objetivos de la Investigación.....	- 4 -
1.2.1 Objetivo General.....	- 4 -
1.2.2 Objetivos Específicos.	- 4 -
CAPÍTULO 2: GENERALIDADES	- 5 -
2.1 Conceptos generales de la erosión en taludes.....	- 5 -
2.1.1 Factores que afectan la susceptibilidad a la erosión en taludes según Suarez 2001...- 7 -	- 7 -
2.2 Conceptos Generales de la Hidrosiembra.....	- 8 -
2.2.1 Elementos de la Hidrosiembra.....	- 8 -
2.3 Biomantos.....	- 11 -
2.3.1 Mantas para el control de erosión – Degradables de duración corta.	- 11 -
2.3.2 Mantas para el control de erosión – Degradables de duración extendida y larga.	- 12 -
CAPITULO 3: MATERIALES Y METODOLOGÍA	- 13 -
3.1 Confección de Lisímetros.....	- 14 -
3.2 Suelo Utilizado	- 15 -
3.3 Sistema de recolección de flujo superficial	- 16 -
3.4 Hidrosiembra	- 16 -
3.5 Instalación de Biomantos	- 17 -
3.6 Procedimiento de ensayos y toma de muestras	- 17 -
3.6.1 Medición de temperatura ambiente y temperatura en microclimas de las franjas experimentales.....	- 17 -
3.6.2 Registro de humedad ambiente y humedad de las franjas experimentales.....	- 18 -
3.6.3 Recolección de Material erodado.	- 18 -
3.6.4 Visualización de porcentaje de cobertura sobre las franjas experimentales.....	- 18 -
3.6.5 Registro de precipitaciones.....	- 18 -
CAPITULO 4: ANÁLISIS DE RESULTADOS	- 19 -
4.1 Temperaturas	- 19 -
4.1.1 Temperaturas mañana.....	- 19 -

4.1.2 Temperaturas tarde	- 20 -
4.2 Humedades	- 21 -
4.2.1 Humedades mañana.....	- 21 -
4.2.1 Humedades Tardes.	- 22 -
4.3 Material Erodado	- 23 -
4.3.1 Material Erodado Vegetal.....	- 24 -
4.4 Cobertura vegetal.....	- 25 -
4.2.1 Material erodado en relación a la cobertura vegetal.....	- 27 -
CAPITULO 5: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	- 28 -
BIBLIOGRAFÍA	- 30 -
ANEXOS	- 31 -
ANEXO A. MECÁNICA DE SUELOS.....	- 32 -
A.1 Granulometría	- 32 -
A.2 Límites de Atterberg	- 32 -
A.3 Clasificación del Suelo	- 33 -
A.4 Ensayo de Proctor Modificado	- 33 -
A.5 Ensayo de densidad en taludes	- 34 -
ANEXO B. INSTALACIÓN DE BIOMANTOS.....	- 35 -
B.1 Preparación del terreno	- 35 -
B.2 Grapas de anclaje	- 35 -
B.3 Patrón de anclaje	- 36 -
ANEXO C. MEDICIONES	- 37 -
C.1. Temperaturas mañana (8:00 horas).....	- 37 -
C.2. Temperaturas tarde (14:00 horas)	- 38 -
C.3. Humedades mañana (8:00 horas).....	- 38 -
C.4. Humedades tarde (14:00 horas)	- 39 -
C.5. Precipitaciones	- 39 -
C.6. Material Erodado	- 40 -
C.7. Porcentaje de material erodado Orgánico	- 40 -
C.8 Imágenes Erosión en Taludes	- 41 -
ANEXO D. COBERTURA VEGETAL.....	- 43 -
D.1 Registro fotográfico	- 43 -

D.2 Cobertura Vegetal por taludes	- 45 -
ANEXO E. PLANTAS.....	- 48 -
E.1 Ballica	- 48 -
E.2.Festuca	- 50 -
E.3. Trifolium subterraneum	- 51 -
E.4. Trébol Pratense.....	- 52 -

INFLUENCIA DE BIOMANTOS DE FIBRA VEGETAL EN LA GERMINACIÓN DE HIDROSIEMBRA EN TALUDES DE ALTA PENDIENTE

JORGE IGNACIO SÁEZ CORREA

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

RICARDO RIVEROS VELÁSQUEZ

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

RESUMEN

Problemas de erosión hídrica afectan permanentemente los taludes de la Región del Biobío. Una solución a esta problemática, es la aplicación de hidrosiembra sobre estos. Al querer controlar la erosión de un talud con hidrosiembra, esta queda expuesta las primeras semanas a condiciones climáticas y vectores que causan pérdida de mulch y semillas. Otra solución son las mantas orgánicas de control de erosión, las cuales se degradan en el tiempo, pero no incorporan semillas.

El presente proyecto de título busca complementar ambas técnicas, y ver la real influencia de los biomantos de fibra vegetal (fibra de coco y paja de trigo) en la germinación de las semillas, en condiciones ambientales naturales para meses de invierno.

Los resultados obtenidos demuestran que la técnica complementada aumento el poblamiento de cobertura vegetal en relación a la técnica de hidrosiembra por sí sola, siendo el biomanto mas optimo el de paja de trigo llegando a poblar de cobertura vegetal el talud cerca de un 80%, en cuanto al biomanto de fibra de coco, si bien controló de mejor manera el arrastre de material, no se visualizaron resultados óptimos en el poblamiento vegetal debido a la densidad de sus fibras.

Palabras Claves: Erosión hídrica, Hidrosiembra, Biomantos, Cobertura vegetal.

Numero de palabras: $5736 + 16*250 + 1*250 = 9986$

BIOMANTOS INFLUENCE OF FIBER PLANT IN GERMINATION HYDROSEEDING SLOPE IN HIGH SLOPE

Author: Jorge Ignacio Sáez Correa

Department of Civil and Environmental Engineering, Bío-Bío University

Email: jisaez@alumnos.ubiobio.cl

Advisory Professor: Ricardo Riveros Velásquez

Department of Civil and Environmental Engineering, Bío-Bío University

Email: rriveros@ubiobio.cl

ABSTRACT

The hydric erosion problems constantly affect the slopes in the Biobío region. One solution to this problem is the enforcement of hydroseeding these slopes. Wanting to control the erosion of a slope with hydroseeding will mean that the slope starts to be exposed to weather conditions and vectors that cause the loss of mulch and seeds. Another solution to this problem are the erosion controlling organic rugs, the ones that degrade themselves with time, yet they do not include seeds.

The present project seeks to incorporate both techniques and envisage the real influence of the organic rug vegetal fiber (coconut fiber and wheat chaff) in the seeds germination under natural weather conditions for winter months.

The outcomes showed that the technique used made an increment of the vegetal hedge in relation to the hydroseeding technique by itself, being the wheat chaff organic rug the best one settling with vegetal hedge the slope in almost 80%, in terms of the coconut fiber, it worked controlling the waste material in a better way but there were no optimal outcomes with the vegetal settling due to the fiber densities.

Key words: Hydric erosion, Hydroseeding, organic rug, vegetal hedge.

Number of words: $5736 + 16 \cdot 250 + 1 \cdot 250 = 9986$

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN.

La erosión hídrica en la Región del Biobío es un fenómeno en que los suelos están expuestos a sufrir degradaciones producto de las intensas lluvias que se producen en época invernal. Estas degradaciones producen serios daños a la estabilidad del suelo y de los taludes. Estos últimos pueden ser producto de cortes de grandes masas de suelo o pueden formarse a partir de rellenos (terraplenes) producidos por acción del hombre.

Para el diseño de obras de control de erosión en taludes, se debe analizar principalmente las variables de escurrimiento de agua y viento. Siendo esta última no tan relevante en la zona, ya que la acción erosiva del viento se produce en zonas áridas, como desiertos y la alta montaña.

Las primeras soluciones que se le dieron a esta problemática, fueron el diseño de elementos de retención de taludes como gaviones, muros de tierra armada o medidas de protección tales como shotcrete de hormigón, anclaje de mallas de acero, etc. A medida que pasan los años y siendo cada vez más importante la sustentabilidad y el tema medio ambiental, se han incorporado al control de erosión en taludes nuevas tecnologías amigables con el medio ambiente, estas son la hidrosiembra y los biomantos orgánicos.

En cuanto a las aplicaciones de cobertura vegetal se han hecho varias investigaciones citando entre algunas la siembra del trébol enano (Meneses, 2011), determinación óptima del mulch (San Martín, 2014) donde los resultados han sido que la cubierta vegetal disminuye la cantidad de material erodado en taludes. Por esto el propósito de esta investigación es complementar la técnica de la hidrosiembra con los biomantos, para cuantificar la real influencia de ambas en el control del poblamiento de cobertura vegetal, lo que conlleva a una solución al control de erosión superficial en taludes.

1.1 Justificación del tema.

La Hidrosiembra es una técnica que consiste en la proyección sobre el terreno de una mezcla acuosa de semillas, mulch, fertilizantes y sustancias adherentes. De fácil aplicación a gran escala porque se realiza con medios mecánicos especializados dotados de equipos de bombeo. Una vez lanzada esta mezcla a los taludes, las primeras semanas queda expuesta a condiciones climáticas y vectores, los cuales pueden causar una gran pérdida ya sea de mulch por arrastre o semillas por vectores y condiciones climáticas.

Considerando la temporalidad de los mantos, su descomposición en el tiempo y su conversión a abono orgánico, es que este proyecto de título busca evaluar la influencia de biomantos de fibra vegetal en la germinación de la hidrosiembra en taludes con pendiente 100%.

1.2 Objetivos de la Investigación.

1.2.1 Objetivo General.

- Analizar la influencia de biomantos en la cobertura vegetal de hidrosiembra en taludes de alta pendiente.

1.2.2 Objetivos Específicos.

- Identificar variables que controlan la germinación en taludes de alta pendiente.
- Caracterizar los biomantos disponibles en el mercado.
- Relacionar el arrastre de material erodado con la cobertura vegetal en taludes con biomantos e hidrosiembra.
- Comparar la influencia de los distintos biomantos sobre la germinación de la hidrosiembra en taludes de alta pendiente.

CAPÍTULO 2: GENERALIDADES

2.1 Conceptos generales de la erosión en taludes.

El movimiento del viento ejerce fuerza de fricción y levantamiento sobre las partículas de suelo, desprendiéndolas, transportándolas y depositándolas (Figura 1). Comparado con el agua, el viento resulta un agente erosivo menos intenso, pero en regiones secas adquiere una importancia muy especial, llegando a formar desiertos en zonas áridas. El viento por sí mismo no tiene suficiente fuerza para producir efectos de meteorización, lo que si puede hacer es transportar partículas que cuando chocan con el terreno lo van desgastando. Este tipo de erosión puede ser lento y para que se produzca, el territorio debe estar desnudo, ya que la vegetación disminuye o anula este efecto.

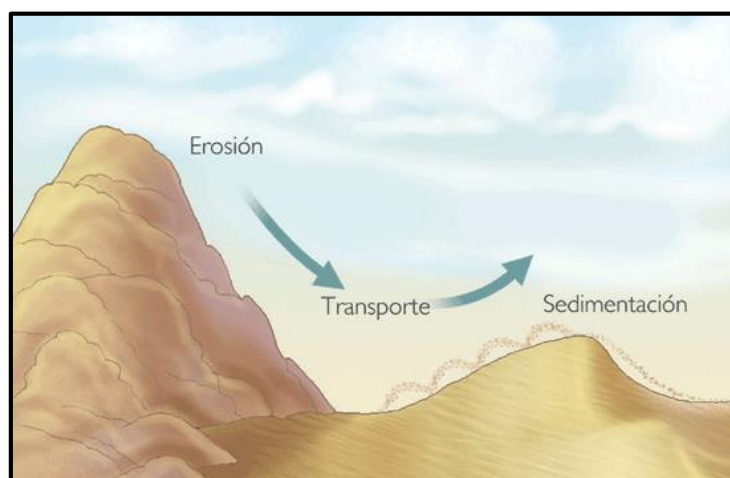
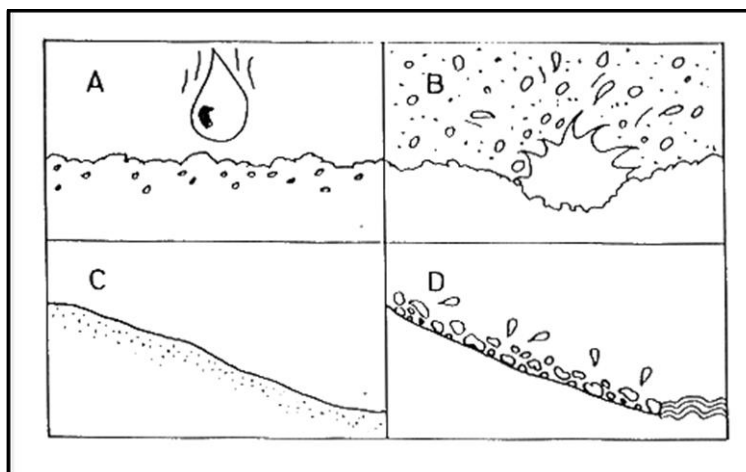


Figura 1. Erosión eólica
(Fuente: www.madrimasd.org)

Por su parte la erosión hídrica comprende el desprendimiento, transporte y posterior depósito de materiales de suelo por acción de la fuerza de un fluido en movimiento. (Jaime Suarez, 2001). Según Rolf Derpsch (1991) la erosión hídrica se divide en las siguientes cuatro etapas (Figura 2): Por el impacto de la gota de lluvia sobre el suelo desnudo (A), sus agregados son desintegrados en partículas minúsculas (B), que tapan los poros formando una selladura superficial (C), provocando el escurrimiento superficial del agua lluvia. El agua que escurre carga partículas de suelo que son depositadas en lugares más bajos cuando la velocidad de escurrimiento es reducida (D).

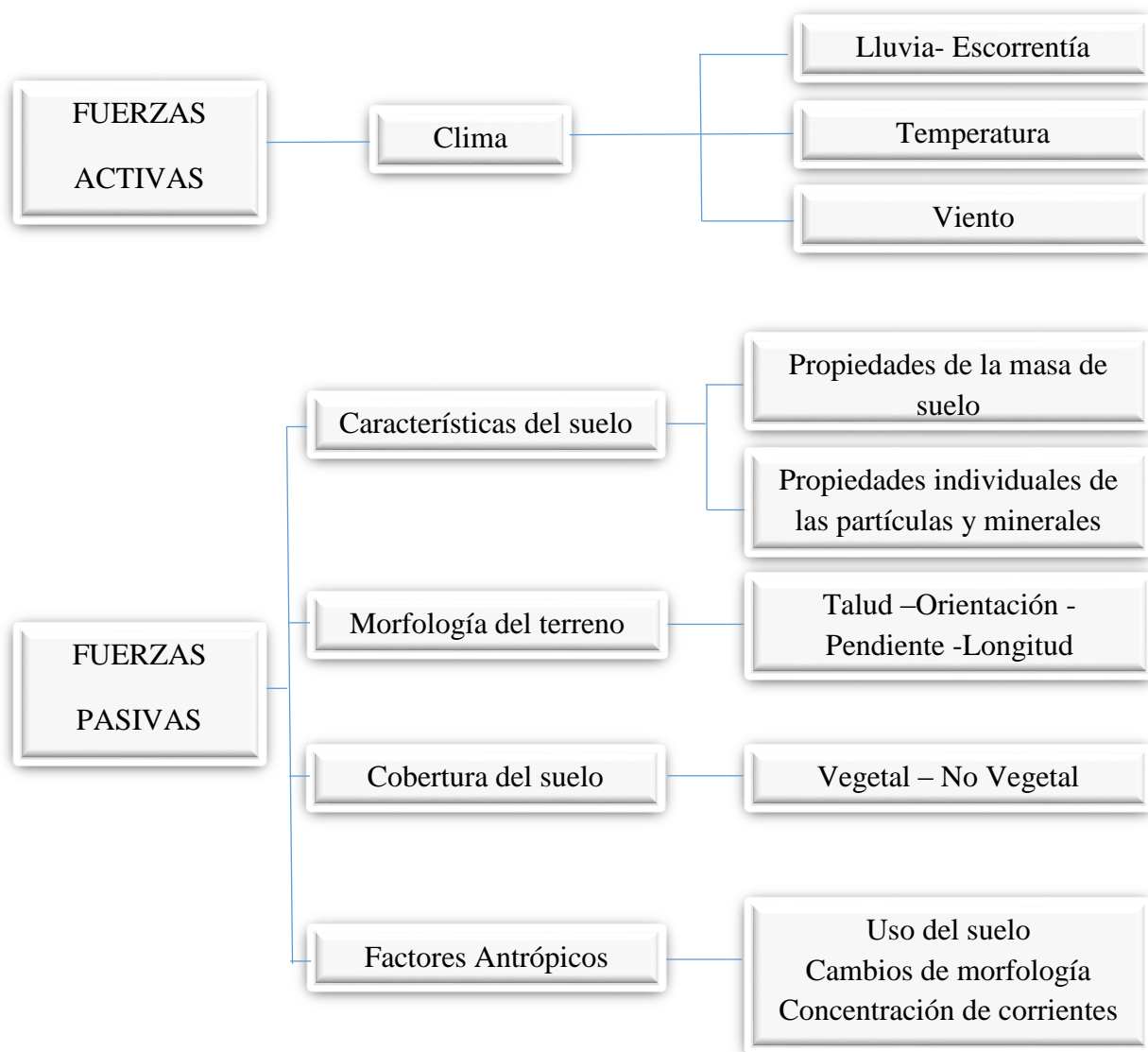


**Figura 2. Etapas de la erosión hídrica
(Fuente: Derpsch, 1991)**

En particular en la región del Biobío los suelos están sujetos a sufrir degradaciones por las intensas lluvias que se producen en época invernal. Debido al alto porcentaje de humedad que es permanente durante todo el año en la ciudad de Concepción, la erosión eólica no afecta mayormente los taludes.

A continuación se presenta un diagrama que muestra las principales fuerzas ya sean pasivas o activas que afectan la susceptibilidad a la erosión en taludes según Suarez (2001).

2.1.1 Factores que afectan la susceptibilidad a la erosión en taludes según Suarez 2001.



2.2 Conceptos Generales de la Hidrosiembra.

La hidrosiembra es un método sencillo y económico para estabilizar el suelo. Esta técnica favorece la revegetación, previniendo la erosión del suelo, ya que ayuda al establecimiento de la cobertura vegetal.

La hidrosiembra consiste en la proyección sobre el suelo de una mezcla homogénea de agua, semillas, mulch, fertilizantes y otros elementos, mediante una máquina sembradora. La aplicación se realiza desde un estanque móvil, disparada con una bomba de presión.

En la máquina hidrosembradora se mezclan con agua los componentes mencionados anteriormente. Luego de unos minutos de agitación dentro del estanque se forma una mezcla homogénea, la cual se proyecta a presión sobre los taludes o superficies; de esta manera se siembra, abona y cubre el suelo. Con la mezcla indicada anteriormente se mantienen las semillas con mejores condiciones de humedad, propiciando de esta forma su germinación.

El objetivo de esta técnica, es el control y prevención de la erosión y la restauración del paisaje. La hidrosiembra estabiliza el terreno, sobre todo en superficies de elevada pendiente o terrenos pobres o con muy baja concentraciones de materia orgánica y elementos nutritivos, poco consolidados o inaccesibles a la maquinaria de siembra habitual.

2.2.1 Elementos de la Hidrosiembra.

Para obtener una mezcla de buena calidad de hidrosiembra, hay que considerar el rol y las cantidades óptimas de los siguientes elementos a mencionar.

- a) **Agua:** Elemento que actúa como vehículo de la mezcla y disolución del resto de los componentes, también actúa como acelerador del proceso de germinación de la semilla.
- b) **Semillas:** Estructura botánica destinada a la reproducción sexuada o asexuada de una especie (DECRETO LEY N°3.557).
Puede ser de cualquier especie, tanto nativas como exóticas o naturalizadas. En la hidrosiembra se utilizan principalmente especies herbáceas que tienen la capacidad de permanecer en el tiempo, generan mucha germinación, se desarrollan con un mínimo aporte de agua y requieren poca mantención en el tiempo (San Martín, 2014). (Ver Anexo E)

- c) **Fertilizantes:** Toda sustancia o producto destinado a mejorar la productividad del suelo o las condiciones nutritivas de las plantas. Dentro de los fertilizantes se comprenden las enmiendas y los abonos (Decreto Ley 3.557).

Estas sustancias brindan mayor vigor a la implantación, además de agregar fertilidad al suelo. Pueden ser de origen orgánico y/o inorgánico, liberando nutrientes a corto, mediano o largo plazo.

Los principales componentes de un fertilizante son nitrógeno, fósforo y potasio. El nitrógeno estimula el crecimiento de las hojas del césped, el fósforo es un agente importante que ayuda al fuerte desarrollo de las raíces y el potasio aumenta la vitalidad de las plantas.

- d) **Mulch:** El mulching o cubierta consiste en una capa, generalmente de material orgánico, que se coloca sobre el terreno. Esta capa tiene como finalidad amortiguar la erosión por efecto de la lluvia, reducir la escorrentía superficial, reducir la velocidad de evaporación, aumentar el contenido de humedad del suelo, protege las semillas, aporta materia orgánica al suelo, modera la temperatura y conserva la estructura del suelo (Ver figura 3).

Existen muchas formas comerciales de mulch. Los dos grupos principales son orgánicos e inorgánicos, los cuales se definen a continuación:

- **Mulch Inorgánico:** Este tipo de mulch no se descompone rápidamente, ya que están compuestos por varios tipos de piedras, piedras volcánicas, goma pulverizada, materiales geotextiles, entre otros. Por otro lado, no mejoran la estructura del suelo, no añaden materia orgánica ni proveen nutrientes.
- **Mulch Orgánico:** Se producen a partir de fibras derivadas de las plantas como astillas o virutas de madera, hojas de pino, corteza de árboles, cascaras de cacao, hojas, entre otros. El mulch orgánico se descompone a diferente ritmo dependiendo del material; debido a su proceso de descomposición, mejora la calidad del suelo y su fertilidad.

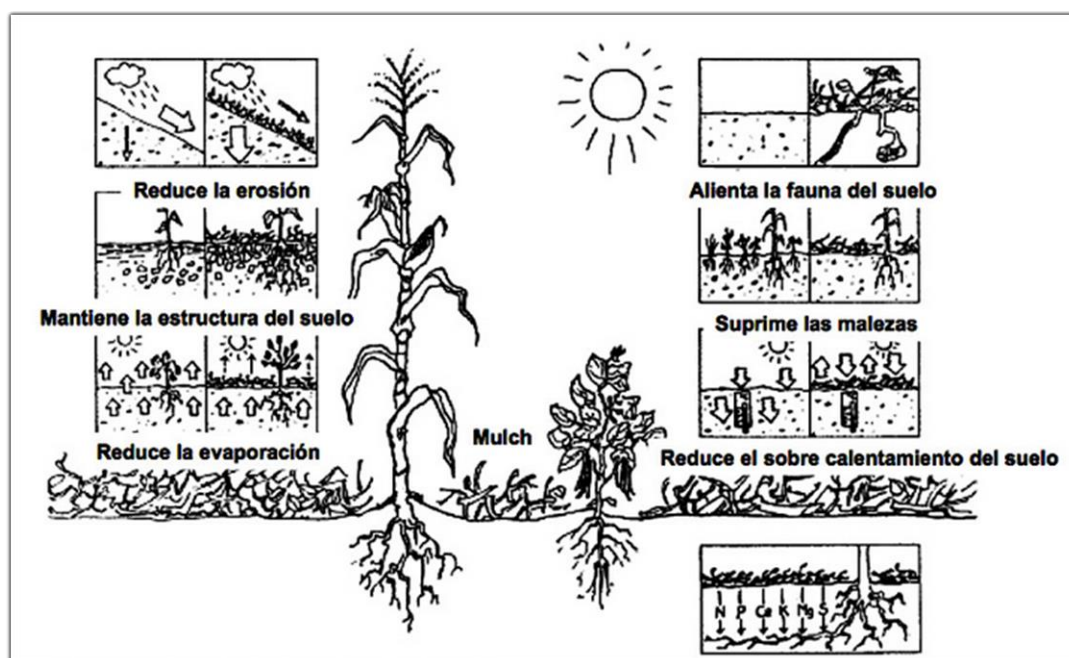


Figura 3. Beneficios del Mulch
 (Fuente: Sustaining growth: soil fertility in tropical smallholdings, Muller-Samann K.M., Kotschi J.)

e) **Adhesivos:** Permiten adherir la mezcla al suelo; puede ser compuestos orgánicos o polímeros inorgánicos, los cuales se definen a continuación:

- **Adhesivos orgánicos:** Se producen a partir de sustancias naturales (harina de semillas). Actúan como un pegamento natural que fija el mulch y semillas y a la vez estabiliza el suelo.
- **Adhesivos sintéticos:** Basados en polímeros líquidos que se combinan con otras sustancias auxiliares, como agentes de humidificación y secadores (toma acelerada de oxígeno). Una vez que las semillas han enraizado se descomponen por oxidación con el oxígeno de la atmósfera, el calor y la radiación UV, y se convierten en C, CO_2 , H_2O y sustancias no dañinas para el medio ambiente.

2.3 Biomantos

Los mantos orgánicos son mantos delgados, fabricados con máquina, utilizan compuestos orgánicos biodegradables como paja, viruta de madera, fibra de coco o una combinación de ellos; estos van distribuidos de forma uniforme sobre o en medio de fibras tejidas de polipropileno o naturales biodegradables. Las fibras sintéticas tienen generalmente un sistema de protección contra la degradación por los rayos UV del sol (Suarez, 2001).

En Chile los principales mantos importados son el de paja de trigo y fibra de coco y estos se clasifican de acuerdo a su longevidad funcional (por cuanto tiempo el producto va a proporcionar protección contra la erosión y funcionalidad), estas son:

2.3.1 Mantas para el control de erosión – Degradables de duración corta.

Las mantas para el control de erosión, degradables, de duración corta, están formadas por una capa 100% de paja agrícola distribuida uniformemente, cosida con hilo degradable a una estructura de entrelazado simple o doble.

Estas mantas están diseñadas para proporcionar protección contra la erosión y ayudar al establecimiento de la vegetación desde 45 días hasta 12 meses, dependiendo del tipo de producto, en aplicaciones como áreas con taludes moderados y canales con niveles bajos de flujo de agua. Después las mantas se degradan, la vegetación madura y estabiliza el suelo permanentemente.

Dentro de este tipo de mantas de control de erosión, la utilizada en este proyecto de título es la S75, cuyas características se especifican a continuación:

- **S75:** La manta S75 está constituida 100% de fibra de paja cosida con hilo degradable a una red superior de polipropileno, liviana y fotodegradable. La S75 es más efectiva protegiendo la semilla y el suelo que una capa suelta de hoja y papel y ayuda a crear condiciones óptimas para la germinación y el crecimiento de las semillas. Está diseñada para proporcionar protección contra la erosión y retención de la humedad hasta 12 meses sobre taludes moderados y canales de flujo bajo en áreas de mantenimiento bajo.

2.3.2 Mantas para el control de erosión – Degradables de duración extendida y larga.

Las mantas para el control de erosión, degradables, de larga duración utilizan una estructura de entrelazado doble e incluyen un componente de duración larga de fibra de coco.

Estas mantas están diseñadas para proporcionar una protección contra la erosión y para cuidar el establecimiento de la vegetación desde 8 hasta 36 meses, dependiendo del tipo de producto, en aplicaciones como taludes empinados, canales con flujos de agua substanciales y a lo largo de líneas costeras. Después que las mantas se degradan, la vegetación madura y estabiliza el suelo permanentemente.

Dentro de este tipo de mantas de control de erosión, la utilizada en este proyecto de título es la C125 cuyas características se definen a continuación:

- **C125:** La manta C125 está construida 100% de fibra de coco cosida con hilo de polipropileno estabilizado contra la luz UV entre redes superior e inferior de polipropileno estabilizado contra la luz UV. Las redes de degradación lenta, estabilizadas contra la luz UV y 100% de fibra de coco, proporcionan el más alto nivel de durabilidad, control de erosión y longevidad para la protección de taludes severos, terraplenes empinados, canales de irrigación de flujo alto y otras áreas donde la vegetación va a tomar hasta 36 meses para establecerse.

CAPITULO 3: MATERIALES Y METODOLOGÍA

El proyecto de título se realizó en el sitio aledaño al Centro de Investigación en Tecnologías de la Construcción (CITEC), perteneciente a la Universidad del Bío-Bío, Campus Concepción.

La experiencia realizada comenzó con la confección de taludes experimentales y su posterior relleno con suelo característico de la ciudad de Concepción y sus alrededores. Luego se dividieron los seis taludes en doce franjas experimentales, con el fin de desarrollar y luego comparar tres sistemas de recubrimiento distintos. Al mismo tiempo se dejó una franja libre, la cual se utilizó como parámetro de comparación. Cabe destacar que cada franja experimental cuenta con tres repeticiones como se muestra en la tabla 1 y figura 4, con el fin de observar si es que se presentó o no alguna tendencia en las mediciones de las distintas variables, las cuales nacen de una revisión bibliográfica donde se pudo concluir que las variables a considerar son temperatura, humedad, material erodado y precipitaciones, ya que estas son las que afectan principalmente al desarrollo de la cobertura vegetal. Posterior a esto se instaló en cada franja un sistema de recolección de flujo superficial, para así dar paso a la hidrosiembra y finalmente la instalación de los Biomantos.

Tabla 1: Franjas Experimentales

Franja	Recubrimiento
1	libre exposición
2	hidrosiembra
3	hidrosiembra y biomanto de fibra de coco
4	hidrosiembra y biomanto de paja de trigo
5	libre exposición
6	hidrosiembra
7	hidrosiembra y biomanto fibra de coco
8	hidrosiembra y biomanto de paja de trigo
9	libre exposición
10	hidrosiembra
11	hidrosiembra y biomanto fibra de coco
12	hidrosiembra y biomanto de paja de trigo

(Fuente: Elaboración propia)



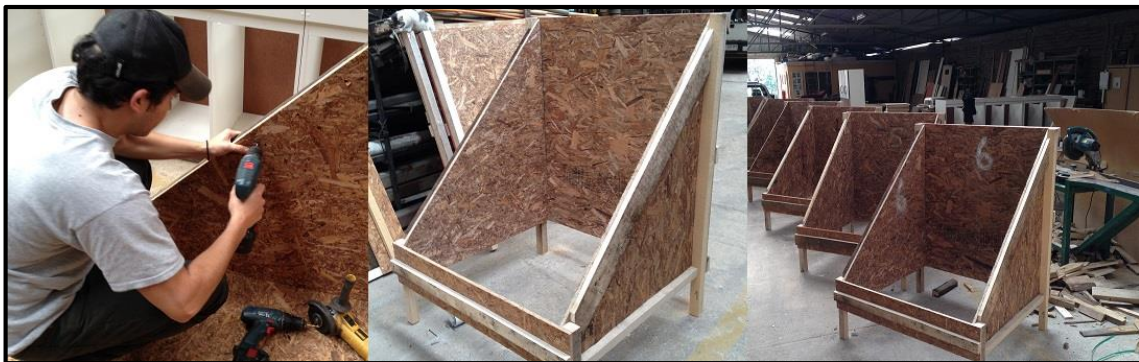
**Figura 4. Franjas experimentales
(Fuente: Elaboración propia)**

A continuación se detalla cada uno de los pasos mencionados anteriormente:

3.1 Confección de Lisímetros

Para el desarrollo de la fase experimental del proyecto de título, se construyeron 6 lisímetros con pendiente de 45° y 1 m² de base.

Estos taludes experimentales se confeccionaron con planchas de OSB y fueron estructurados con madera dimensionada y tornillos como se muestra en la Figura 5.



**Figura 5. Confección de lisímetros
(Fuente: Elaboración propia)**

3.2 Suelo Utilizado

Los taludes a escala fueron rellenos con el suelo característico de la ciudad de Concepción y sus alrededores; comúnmente llamado Maicillo. Este material fue extraído exactamente de una cantera de la ciudad de Concepción, ubicada en el Sector Palomares. (Ver anexo A).

El llenado de los lisímetros se hace mediante el proceso de compactación, utilizando un pisón manual, de manera escalonada y por capas de 10 cm aproximadamente. Esta compactación tiene como objetivo brindarle a los taludes una densidad entre 65-75% de la densidad máxima compactada seca (DMCS).

Para evidenciar que los taludes cumplan con las condiciones de densidad requerida, se ocupa el Ensayo de Densidad No Invasivo propuesto por Hernández (2011). Este ensayo consiste en extraer muestras de suelo en probetas de pvc, las cuales son introducidas en dos puntos aleatorios de cada franja experimental, obteniendo valores de densidades con un margen de error menor al 5% con respecto al ensayo de cono de arena. Estas probetas tiene una altura de 78.85 mm, 24.5 mm de diámetro exterior y 22.85 mm de diámetro interior, las cuales se chaflán con el propósito de disminuir el efecto de borde o de confinamiento sobre la muestra de suelo (Ver anexo A.5).

La figura 6 muestra parte del proceso de llenado, compactación y toma de densidades de los lisímetros en estudio.



**Figura 6. Compactación y toma de densidades
(Fuente: Elaboración propia)**

3.3 Sistema de recolección de flujo superficial

En los pies de cada franja experimental se instaló un sistema de recolección de flujo superficial, el cual consta de una canal de pvc con sus respectivos ganchos y tapas.

Se perforó la mitad de la canal con un agujero de 25 milímetros donde se instaló un tubo de pvc cubierto con un filtro, el cual retiene el material fino (Figura 7).



**Figura 7. Sistema de recolección de flujo superficial
(Fuente: Elaboración propia)**

3.4 Hidrosiembra

Posterior a la instalación del sistema de recolección de flujo superficial, se prepararon las 12 franjas experimentales para hidrosiembrarlas; todo esto con el auspicio, apoyo y logística de la empresa IGMA S.A. (Figura 8).



**Figura 8. Proceso de hidrosiembra
(Fuente: Elaboración propia)**

3.5 Instalación de Biomantos

Para la instalación de los Biomantos se dividieron los 6 taludes en 12 franjas experimentales de 50 cm de ancho por 122 cm de alto.

La instalación de los Biomantos se realizó en base a las “instrucciones de instalación de mantas de control de erosión” según la empresa EMIN Sistemas Geotécnicos S.A. (Anexo B)

3.6 Procedimiento de ensayos y toma de muestras

Durante la fase experimental del Proyecto de Título cabe destacar que las mediciones de las distintas variables se evaluaron bajo condiciones ambientales naturales. El procedimiento de ensayos sigue las siguientes etapas:

1. Medición de temperatura ambiente y temperatura en cada microclima de las franjas experimentales (mínima y máxima).
2. Registro de humedad ambiente y humedad de las franjas experimentales.
3. Recolección de material erodado sobre el sistema de recolección de flujo superficial.
4. Visualización del porcentaje de cobertura sobre las franjas experimentales.
5. Registro de precipitaciones

3.6.1 Medición de temperatura ambiente y temperatura en microclimas de las franjas experimentales.

La temperatura se midió durante el primer mes, los primeros diez días de corrido, y luego tres veces por semana hasta completar el mes de medición. Todos estos días se midió temperatura ambiente y temperatura de las franjas experimentales a las 8:00 y 14:00 horas con el fin de acercarse a la mínima y máxima temperatura respectivamente, esto buscando ver la influencia de esta variable en la germinación de las semillas. (Ver anexo C)

3.6.2 Registro de humedad ambiente y humedad de las franjas experimentales.

El registro de humedad se midió con el sensor de humedad digital ECH2O. Se tomaron dos mediciones por cada franja experimental, con la finalidad de obtener una humedad representativa. Estas mediciones al igual que la temperatura se tomaron a las 8:00 y 14:00 horas todos los días de medición. (Ver anexo C)

En cuanto a la humedad ambiente se lleva un registro según www.timeanddate.com; compañía Noruega con más de diez años de experiencia en registros meteorológicos en la web.

3.6.3 Recolección de Material erodado.

Luego de cada evento de precipitaciones, se procede a desmontar las canaletas de recolección de material erodado, se deja decantar, para luego extraer el material posado en las canaletas de pvc. Este material erodado es secado en el horno a 70°C durante dos días, con la finalidad de medir su masa seca, para así obtener el total de suelo erodado en cada talud experimental producto del evento lluvioso.

A continuación del secado, se toma esta muestra y se inserta en el horno de calcinación (550 °C), con el propósito de diferenciar que parte de todo este material erodado corresponde a suelo o a material vegetal de la hidrosiembra, ya sea mulch o semillas.

3.6.4 Visualización de porcentaje de cobertura sobre las franjas experimentales.

Esta medición se realizó a través del software ImageJ (programa de procesamiento digital).

Fotografiando las franjas experimentales semanalmente, se procesan las imágenes mediante análisis de colorimetría asociados a la cobertura vegetal, previa calibración del programa entre unidades métricas de los taludes en terreno y píxeles de la fotografía; es así como teniendo en consideración el área total de la franja, se puede calcular el porcentaje de cobertura vegetal en cada una de estas.

3.6.5 Registro de precipitaciones.

Para el registro de precipitaciones, se consideraron los registros entregados por la estación meteorológica Estero Nonguén perteneciente a la Dirección General de Aguas (DGA). Esta se encuentra ubicada a 500 metros del terreno en estudio, distancia en la cual se asume que no existe diferencia significativa de precipitaciones para el estudio. (Ver anexo C)

CAPITULO 4: ANÁLISIS DE RESULTADOS

Debido a la magnitud de los datos, y la casi nula diferencia entre cada repetición de las distintas variables a medir, se trabajaron los siguientes gráficos con las medias aritméticas de los datos recopilados.

4.1 Temperaturas

Debido a la importancia de la temperatura en la germinación de las semillas, y con el propósito de comparar el comportamiento de los distintos recubrimientos, es esencial la medición de temperaturas tanto en la mañana como en la tarde.

4.1.1 Temperaturas mañana

Durante el mes de medición se tomó la temperatura en las franjas experimentales a las 8:00 AM, con el fin de acercarse a la temperatura mínima del día. Los resultados obtenidos se muestran en el siguiente gráfico.

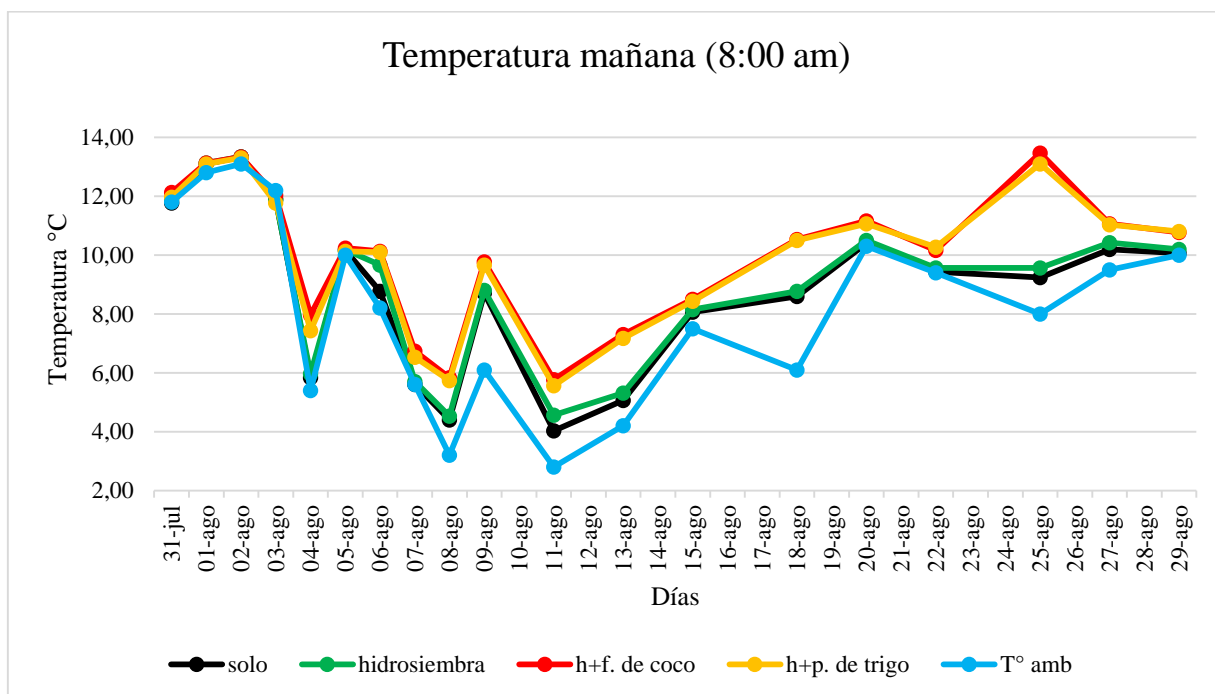


Figura 9. Gráfico temperaturas mañana

(Fuente: Elaboración propia)

De la figura 9 se confirma que el mulch actúa como modulador de temperatura, ya que los taludes hidrosebrados tuvieron una temperatura mayor a la ambiental. La diferencia de temperatura entre un talud descubierto y el talud con solo hidrosiembra es levemente mayor para el talud hidrosebrado, y la diferencia entre el talud con hidrosiembra y el talud con hidrosiembra más biomantos es en promedio 1°C menor.

Se observa que la técnica complementada de hidrosiembra y biomantos regula de mejor forma la temperatura, dando así mejores condiciones de germinación a las semillas. Por último la diferencia de temperatura en la mañana entre los biomantos de paja de trigo y fibra de coco es prácticamente nula.

4.1.2 Temperaturas tarde

Durante el mes de medición se tomó la temperatura en las franjas experimentales a las 14:00 horas, con la intención de acercarse a la temperatura máxima del día. Los resultados obtenidos se muestran en el siguiente gráfico.

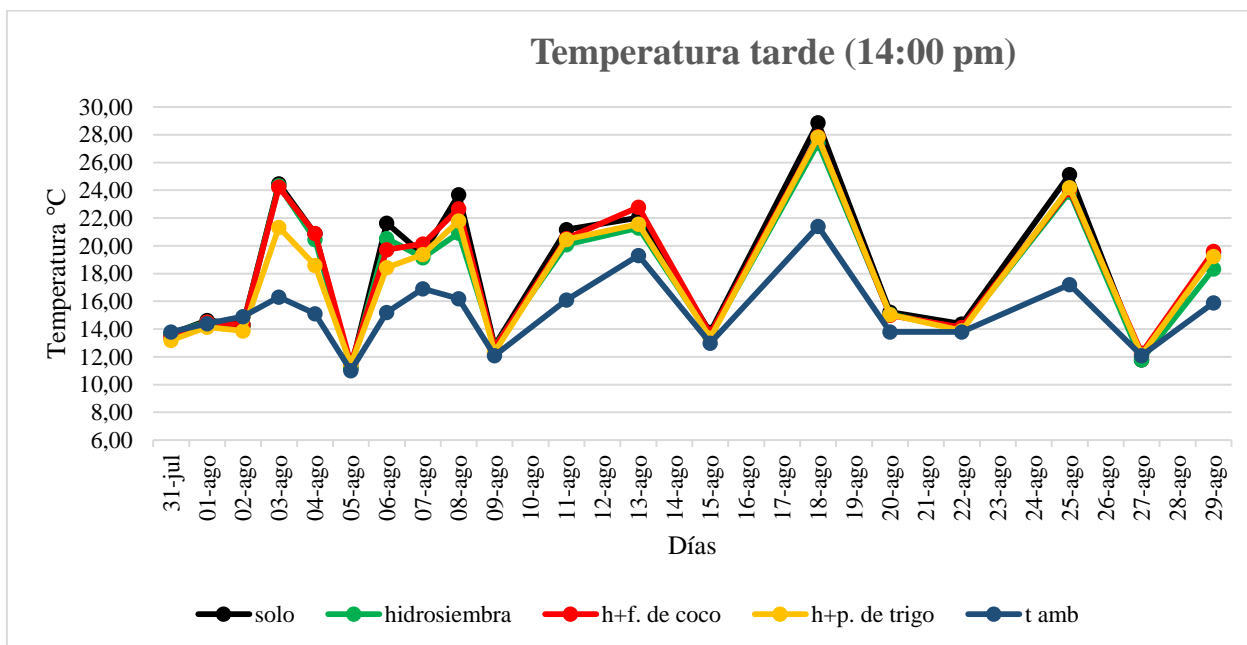


Figura 10. Gráfico temperaturas tarde

(Fuente: Elaboración propia)

Como se puede apreciar en la figura 10, los días en que hubo temperaturas ambiente entre 11 y 14,9 °C (VER ANEXO C), la temperatura de las franjas experimentales se mantuvieron casi en la temperatura ambiente y la variación entre ellas fue prácticamente nula. En cuanto a los días en que

la temperatura ambiente superó los 15°C, las franjas experimentales con biomantos de fibra de coco aumentaron su temperatura en un promedio de 5°C y las franjas experimentales con mantas de paja de trigo aumentaron su temperatura en un promedio de 4°C, por lo que las temperaturas en la tarde reflejan aún más los favorables resultados en cuanto a la regulación de temperatura de la técnica complementada de hidrosiembra y biomantos, dando como resultado mejores condiciones de germinación a las semillas.

4.2 Humedades

Producto de la importancia de la humedad en la germinación de las semillas, y para posteriormente comparar las humedades de las distintas franjas experimentales, se midieron humedades tanto en la mañana como en la tarde.

4.2.1 Humedades mañana

Los primeros días de la experiencia producto de las lluvias, las humedades en los taludes descubiertos y con solo hidrosiembra fueron mayores a las humedades de los taludes con biomantos, esto producto de que los biomantos protegen al suelo de la gota de agua. En el transcurso de los días se comprueba que la técnica de la hidrosiembra regula la humedad en comparación a un talud descubierto, y se aprecia que la técnica de la hidrosiembra complementada con biomantos regula aún más la humedad lo que le da mejores condiciones de germinación a las semillas.

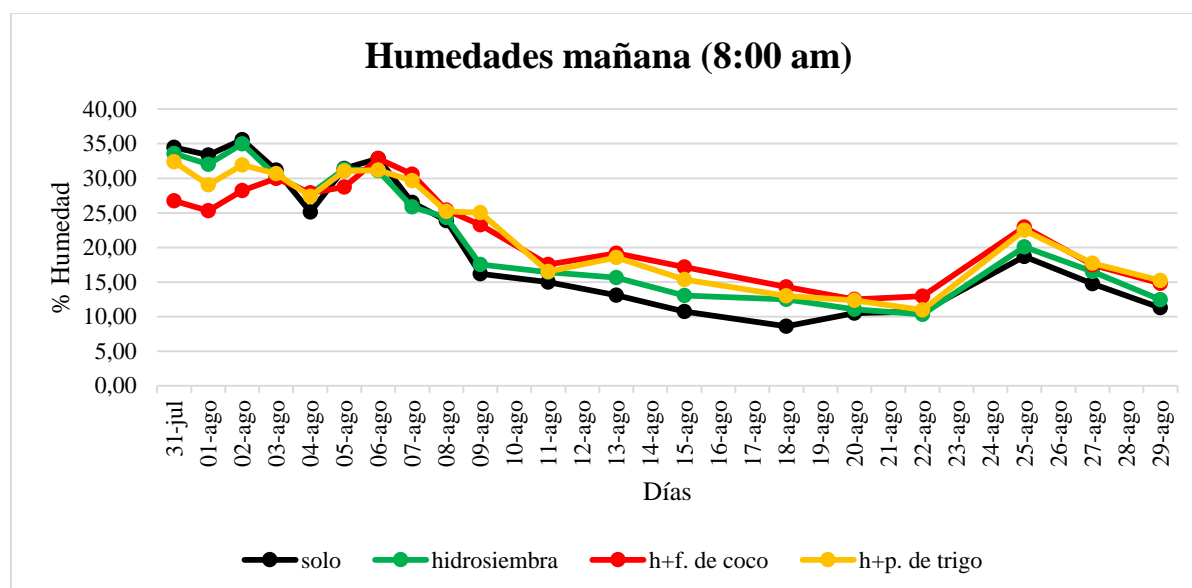


Figura 11. Grafico humedades mañana
(Fuente: Elaboración propia)

4.2.1 Humedades Tardes.

Las humedades a las 14:00 horas tienen el mismo patrón de comportamiento que las humedades de las 8:00 horas, evidenciando que la técnica complementada de hidrosiembra y biomantos mejoran las condiciones de humedad para la germinación de las semillas. La diferencia de humedad entre ambos biomantos vegetales, es prácticamente nula.

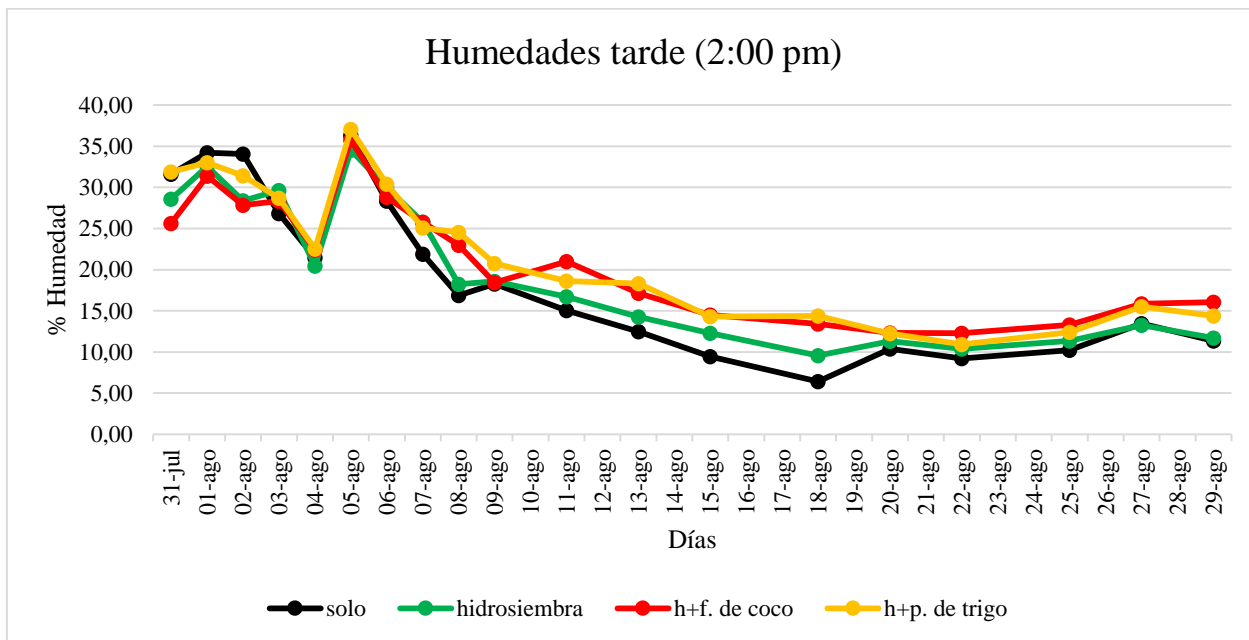


Figura 12. Grafico humedades tarde
(Fuente: Elaboración propia)

4.3 Material Erodado

Como se mencionó anteriormente este proyecto de título se trabajó bajo condiciones ambientales naturales, es por esto que los datos de erosión se grafican después de cada evento de lluvia.

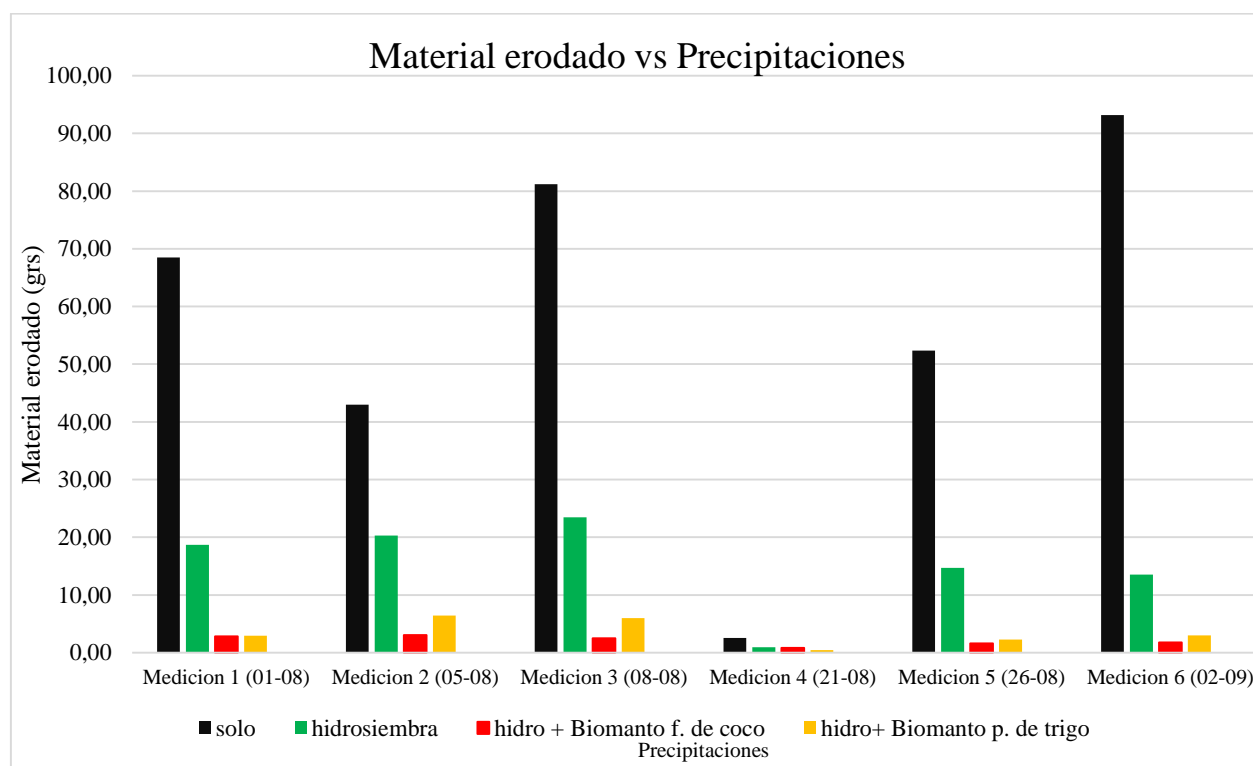


Figura 13. Gráfico material erodado vs precipitaciones
(Fuente: Elaboración propia)

De la figura 13 se observa la gran diferencia de material erodado entre un talud descubierto respecto a los taludes con hidrosiembra y con biomantos.

En cuanto al talud con hidrosiembra, el talud desprotegido arrastra 4 veces más material, por su parte los taludes con biomantos de fibra de coco e hidrosiembra reducen su arrastre de material en promedio 30 veces menos que un talud sin vegetación, por último, las franjas experimentales con hidrosiembra y biomantos de paja de trigo redujeron su arrastre de material 18 veces menos que los taludes descubiertos.

Con respecto a los dos tipos de Biomantos el comportamiento a lo largo del tiempo se dio con un mayor arrastre de material en los taludes con biomantos de paja de trigo, esto debido al espaciamiento de su materia prima, al transcurrir el tiempo y producto de la germinación y el buen

poblamiento vegetal que desarrollaron estos taludes, la diferencia de material erodado al cabo de un mes, fue casi mínima.

Luego de la primera semana de medición, no hubo eventos de lluvia en aproximadamente dos semanas, lo cual llevo a medir erosión un día sin evento lluvioso (medición 4), lo que arrojó valores poco significativos, con lo que se verificó que la erosión eólica es prácticamente nula y no afecta a los taludes de la zona.

4.3.1 Material Erodado Vegetal

La figura 14 presenta el porcentaje de material orgánico, ya sea mulch o semillas dentro del material total arrastrado al sistema de recolección de flujo superficial, luego de cada evento lluvioso.

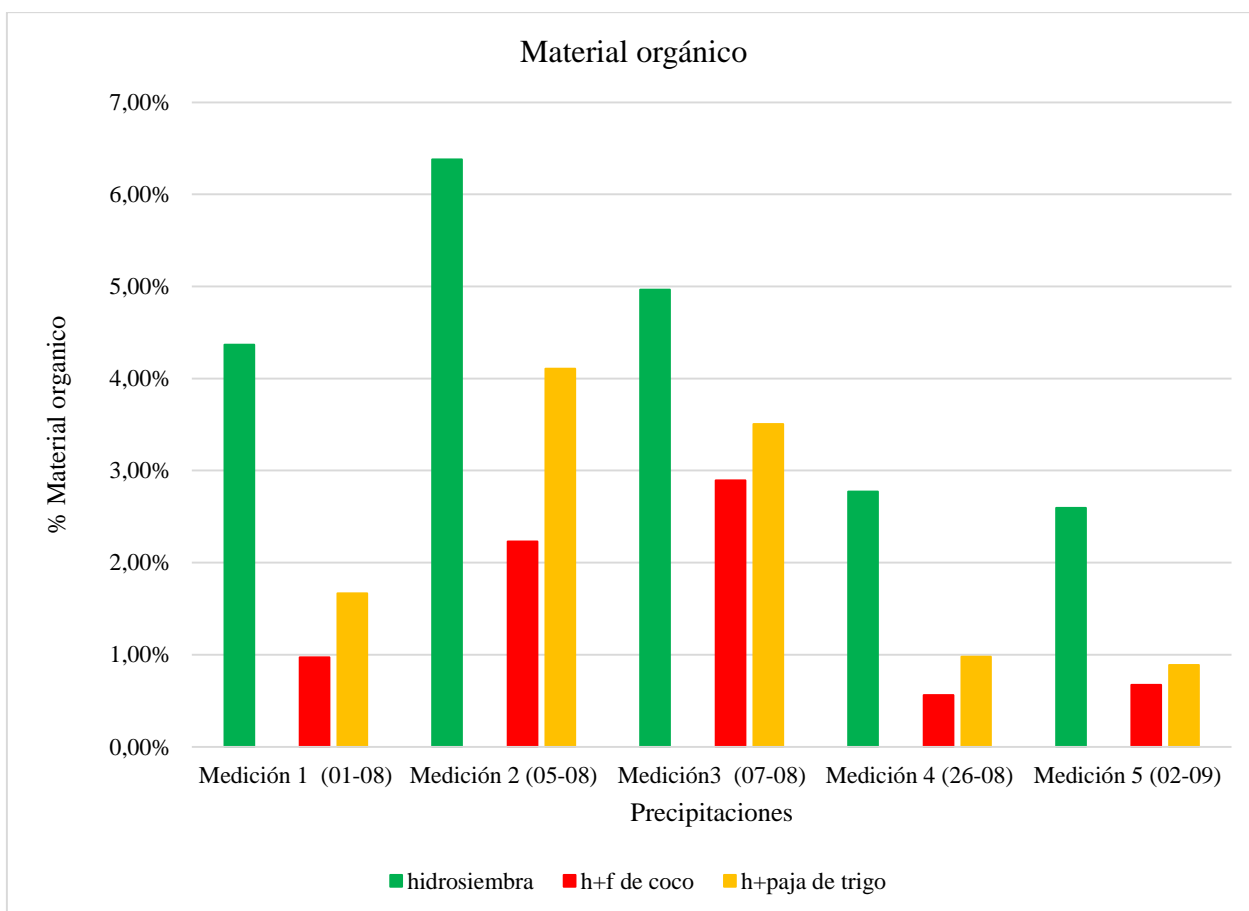


Figura 14. Gráfico material orgánico
(Fuente: Elaboración propia)

De este gráfico se aprecia como protegen los biomantos a la hidrosiembra, ya que el arrastre de material vegetal en los taludes con hidrosiembra fue prácticamente el doble de los taludes con biomantos. También se puede apreciar que el biomanto de fibra de coco tuvo menos arrastre de semillas, plantas o mulch debido a su densidad; pero en el transcurso del tiempo y a medida que fueron germinando las semillas la brecha entre los biomantos se disminuye, llegando a una diferencia de material erodado de 0.5% promedio, lo que se traduce a una diferencia de material total erodado ínfima.

4.4 Cobertura vegetal

El análisis de cobertura se desarrolló en forma semanal. Para llevar a cabo este análisis se llevó un registro fotográfico cada semana, las cuales se muestran en el Anexo D. A partir de estas fotografías y con la ayuda del software ImageJ se realizaron gráficos, los cuales se presentan a continuación:

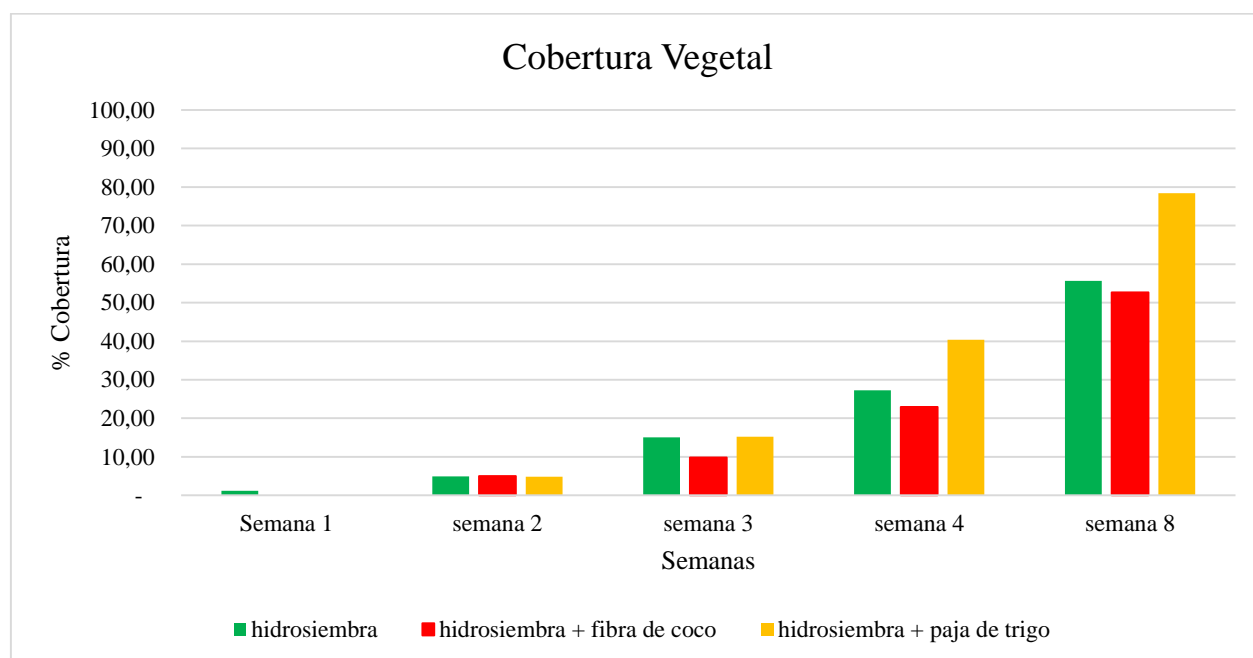


Figura 15. Grafico cobertura vegetal en el tiempo
(Fuente: Elaboración propia)

Semana 1 (31-07 al 06-08)

Solo se pudo visualizar cobertura en las franjas experimentales con solo hidrosiembra, en las franjas con biomantos, la cobertura no logró traspasar a éstos. El porcentaje de cobertura en las franjas con solo hidrosiembra va de un rango de 1 a 1.41% de la superficie total del talud (Ver anexo D).

Semana 2 (06-08 al 13-08).

En esta semana la cobertura logra traspasar los biomantos de fibra de coco y paja de trigo. No se aprecia mayor diferencia de coberturas en los tres recubrimientos.

Semana 3 (13-08 al 20-08)

Esta semana se visualizan mayores resultados, debido a las temperaturas que hubo esos días.

Se observan en las franjas experimentales con biomanto de fibra de coco que la cobertura vegetal no logró traspasar del todo este manto, debido a la densidad de sus fibras; en cuanto a las franjas con solo hidrosiembra y biomanto de paja de trigo e hidrosiembra no se aprecian mayores diferencias.

Semana 4 (20-08 al 27-08)

De la semana anterior a esta, siguió en aumento el poblamiento de cobertura vegetal producto de las buenas temperaturas que dieron condiciones óptimas de germinación y crecimiento a las semillas y plantas.

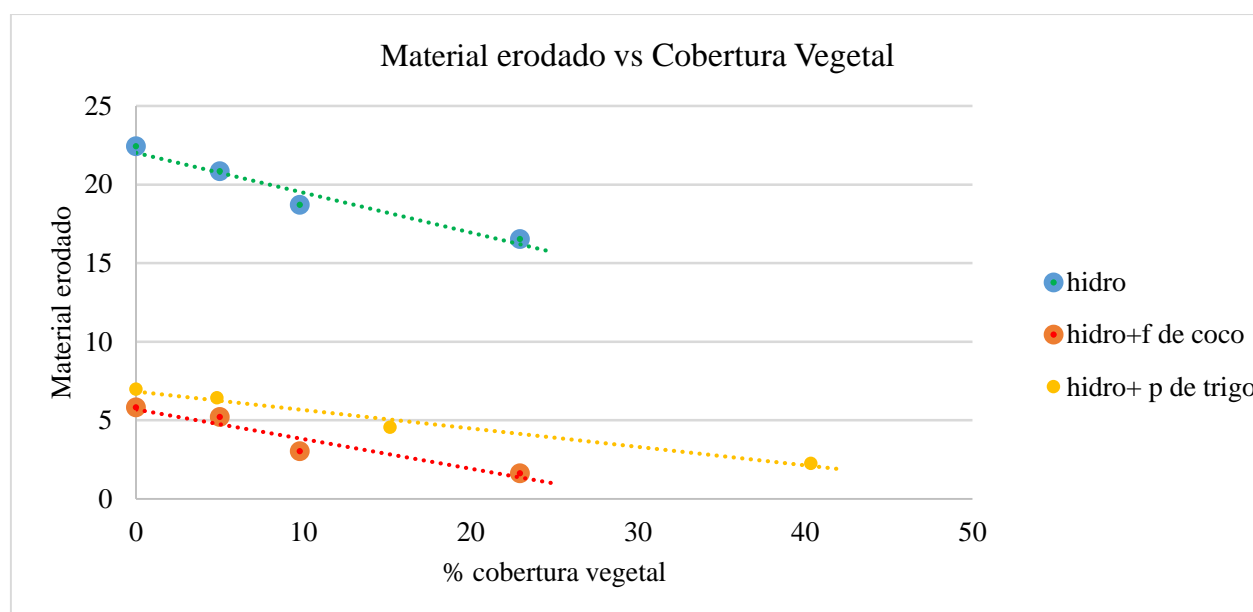
En esta semana se sigue la tendencia de la semana tres, dando mayor cobertura en las franjas con biomantos de paja de trigo; las franjas con solo hidrosiembra no tienen problema en su germinación pero quedan los manchones provocados por el arrastre producto de las precipitaciones; y los biomantos de fibra de coco debido a su densidad solo logra traspasarlo las plantas de festuca y ballica que son de filamentos más delgados y no así el trébol.

Semana 8 (17-09 al 24-09)

A dos meses de la hidrosiembra, y ya con una germinación total de sus semillas se observaron los siguientes resultados:

Las franjas con solo hidrosiembra alcanzan un promedio de cobertura vegetal de un 55% de su superficie total, en cuanto a las franjas con biomanto de fibra de coco, debido a su densidad alcanzan un promedio de 52% de cobertura vegetal. Por últimos los biomantos de paja de trigo, a pesar de que en el transcurso del tiempo tuvieron un poco más de arrastre de material vegetal en comparación con el biomanto de fibra de coco, esto no afectó al poblamiento vegetal, el cual llega a un promedio de un 78% de su superficie total.

4.2.1 Material erodado en relación a la cobertura vegetal



**Figura 16. Gráfico material erodado vs precipitación
(Fuente: Elaboración Propia)**

De la figura 16 se pudo ver la tendencia esperada, una relación inversamente proporcional en cuanto a material erodado y cobertura vegetal. Se aprecia que mientras más poblamiento de cobertura vegetal, menos es el material erodado en los taludes; esto para las 3 experiencias (franjas con hidrosiembra, hidrosiembra más biomanto de fibra de coco e hidrosiembra más biomantos de paja de trigo).

CAPITULO 5: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Del proyecto de título se obtienen las siguientes conclusiones:

Luego de desarrollar una investigación bibliográfica se logró identificar que las principales variables a medir eran: temperatura, humedad, material erodado, precipitaciones y poblamiento de cobertura vegetal. Las cuales en el transcurso de la etapa experimental se logró observar su influencia en la germinación y posterior poblamiento de cobertura vegetal, lo que conllevó a una disminución de la erosión superficial.

En cuanto a los biomantos utilizados, estos fueron representativos ya que son los dos únicos importados a Chile, y a su vez se experimentó en base a las dos gamas de biomantos ya sea de corta y de larga durabilidad.

Las técnica complementada de hidrosiembra y Biomantos de fibra vegetal, es más eficiente en la retención de humedad, aumentado su porcentaje de humedad en un 14% promedio, en relación a un talud con solo hidrosiembra; mejorando así las condiciones de germinación de las semillas.

Los biomantos de fibra vegetal, actúan como modulador natural de temperatura, siendo más notorio los días en que las temperaturas se presentan sobre los 15 °C, aumentando la temperatura entre el talud y el biomanto en 5°C para el biomanto de fibra de coco y 4°C para el biomanto de paja de trigo.

En cuanto al arrastre de material:

Biomantos de fibra de coco reducen el arrastre de material erodado hasta un 3200% en comparación con un talud descubierto y en promedio un 650% respecto a un talud con solo hidrosiembra. Por su parte Biomantos de paja de trigo reducen el arrastre de material hasta un 2300% en comparación con un talud sin cobertura vegetal y un 450% en comparación con un talud hidrosechado.

En cuanto a cobertura Vegetal:

Debido a las lluvias que se produjeron inmediatamente terminada la hidrosiembra y el daño provocado por vectores, los taludes con solo hidrosiembra al cabo de dos meses presentaron una cobertura vegetal promedio de un 55% de su superficie total.

Producto a la densidad de las fibras del biomanto de coco, algunas plantas no logran traspasarlo, lo cual disminuye su porcentaje de cobertura vegetal, llegando al cabo de 8 semanas a un promedio de un 52% de su superficie total.

En cuanto al Biomanto de paja de trigo, fue el que dio mejores resultados, ya que para las plantas no fue impedimento traspasarlo y al cabo de 8 semanas presento un área de cobertura vegetal promedio de un 78%.

Ya que este estudio se trabajó bajo condiciones naturales, para evidenciar en más detalle estos comportamientos, se recomienda para futuras investigaciones controlar la variable de precipitaciones.

En cuanto al biomanto de fibra de coco se recomienda para futuras investigaciones en completo con hidrosiembra ocupar un biomanto de menor densidad. Por su parte debido a la efectividad del biomanto de paja de trigo, se recomienda trabajarlo en distintos gramajes.

BIBLIOGRAFÍA

- Humaña (2010), Evaluación de protección de taludes de alta pendiente con distintas alternativas de hidrosembado, Departamento Ingeniería Civil, Universidad del Bío Bío, Chile.
- Nazal (2007), Control de erosión en taludes mediante biomantos y cubierta vegetal, Departamento Ingeniería Civil, Universidad del Bío Bío, Chile.
- Riquelme (2010), Diseño de lisímetros para estudiar la erosión hídrica en taludes a escala, Departamento Ingeniería Civil, Universidad del Bío-Bío, Chile
- Lagos (2008), Evaluación agronómica de variedades de Ballica Inglesa (*Lolium perenne*) bajo distintas condiciones de utilización en el valle central regado de Ñuble, Facultad de Agronomía, Universidad de Concepción, Chile.
- Bravo (2007), Evaluación de cultivares de *Lolium perenne* en la provincia de Valdivia: tercera temporada, Escuela de Agronomía, Universidad Austral de Chile, Chile.
- Ramírez (2011), Producción de *Festuca arundinacea*, sembrada sola y en mezcla con *Dactylis glomerata* L. en un andisol de la región de la Araucanía, Facultad de ciencias agropecuarias y forestales, Universidad de la Frontera, Chile.
- 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.
- DECRETO LEY N° 3.557, Establece disposiciones sobre protección agrícola.
- Suarez (2001), *Control de erosión en zonas tropicales*, Bucaramanga, Colombia
- Timeanddate (2014). El tiempo histórico en Concepción. [En línea]. <www.timeanddate.com/weather/chile/concepcion/historic> [Consulta: Septiembre 2014].
- Derpsch R. (2004). Proceso de erosión y de infiltración de agua en el suelo. [En línea]. <www.rolf-derpsch.com/erosion-es.html> [Consulta: Agosto 2014].
- DGA (2014). Dirección General de Aguas, Ministerio de Obras Públicas. [En línea]. <www.dga.cl/Paginas/default.aspx> [Consulta: Septiembre 2014].
- Norma Chilena NCh 165 of77. Tamizado y determinación de granulometría,
- Norma Chilena NCh 1515. Of79. Determinación del contenido de humedad.
- Norma Chilena NCh 1517/I of 1979. Determinación del límite líquido.

- Norma Chilena NCh 1517/II of 1979. Determinación del límite plástico.

ANEXOS

ANEXO A. MECÁNICA DE SUELOS

A.1 Granulometría

La granulometría se efectuó según la norma NCh 165 of.77, donde los resultados obtenidos se presentan en la siguiente tabla:

Tabla A.2. Granulometría

Tamiz	Peso retenido (g)	Retenido parcial (%)	Retenido acumulado (%)	% que pasa
0,75	0	0	0	100
0,375	0	0	0	100
4	20	4	4	96
10	108,7	21,74	25,74	74,26
20	78,3	15,66	41,4	58,6
40	60,9	12,18	53,58	46,42
60	47,9	9,58	63,16	36,84
200	84,9	16,98	80,14	19,86
Finos	99,3			

(Fuente: Elaboración propia)

A.2 Límites de Atterberg

Para la caracterización del suelo, debido a la presencia de finos se utilizaron los límites de Atterberg conforme a la norma NCh 1517 of1989 y para el límite plástico la NCh 1517/II of.1970. Los resultados obtenidos son los siguientes:

- Límite líquido: 49.4%
- Límite plástico: Plasticidad Nula
- Índice de plasticidad: No procede

A.3 Clasificación del Suelo

Con el software de Suelos y de acuerdo a la Unified Soil Classification System (USCS), en función de la granulometría obtenida se obtiene el siguiente resultado:

Figura A.3: Clasificación de suelo
(Fuente: Software Suelos, 2014)

A.4 Ensayo de Proctor Modificado

Se realizó el ensayo de proctor modificado conforme a la norma NCh 1534 of.1979, cuyo detalle se muestra en la tabla A.4:

Tabla A.4. Proctor Modificado

Ensayo	Agua agregada (%)	Material + molde (g)	Tara molde (g)	Peso material (g)	Volumen molde (cm ³)	D.C.H (T/m ³)	Humedad (%)	D.C.S (T/m ³)
1	5	3832	1823	2009	929	2,16	7,56	2,011
2	7	3882	1823	2059	929	2,22	9,46	2,025
3	9	3909	1823	2086	929	2,25	11,47	2,014
4	11	3873	1823	2050	929	2,21	1,71	1,941
5	13	3809	1823	1986	929	2,14	15,76	1,847

(Fuente: Elaboración propia)

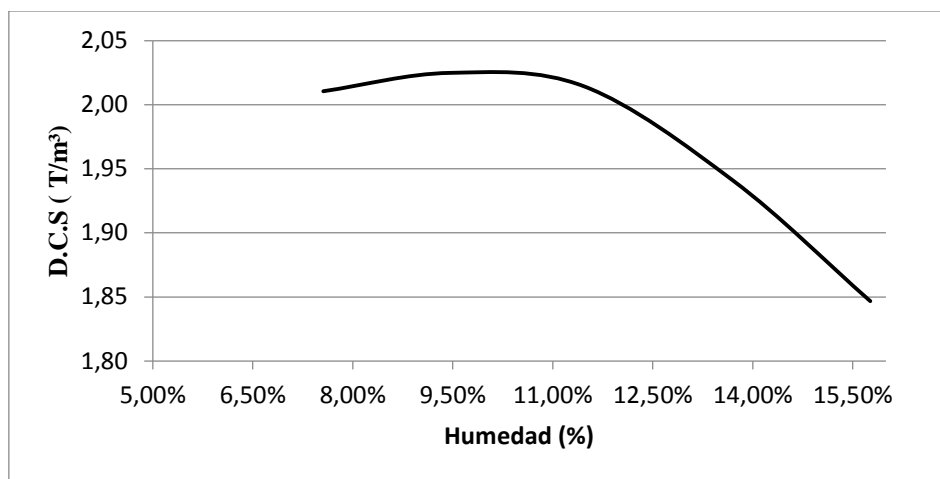


Figura A.4: Densidad máxima compactada seca

(Fuente: Elaboración propia)

En relación al gráfico podemos desprender que la máxima densidad que alcanza el suelo es 2.02 (T/m³), a una humedad de 9.46%.

A.5 Ensayo de densidad en taludes

A continuación se presenta la tabla con las densidades de las franjas experimentales, para la obtención de estas densidades se trabajó con el ensayo de densidad no invasivo propuesto por Hernández (2011).

Tabla A.5. Densidades franjas experimentales

Talud	Material húmedo(g)	Material seco(g)	Agua (g)	Humedad (%)	D.C.S (T/m³)	% de la D.M.C.S
1	25,1	21,9	3,2	14,61	1,39	69%
2	22,6	19,7	2,9	14,72	1,31	65%
3	23	20	3	15,00	1,35	67%
4	23,4	20,7	2,7	13,04	1,33	66%
5	23,9	20,6	3,3	16,02	1,34	66%
6	22,2	19,5	2,7	13,85	1,30	65%
7	26	22,7	3,3	14,54	1,40	69%
8	24,8	21,3	3,5	16,43	1,47	72%
9	24,6	21,2	3,4	16,04	1,43	71%
10	18,6	16,2	2,4	14,81	1,31	65%
11	22,4	19,1	3,3	17,28	1,51	75%
12	19,7	17	2,7	15,88	1,48	73%

(Fuente: Elaboración propia)

Se obtuvo como promedio una compactación de un 69% de la D.M.C.S con una mínima de un 65% y una máxima de un 75% de la D.M.C.S.

ANEXO B. 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:

B.1 Preparación del terreno

- 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 grampas por m² dependerá de la gradiente del talud), por lo general se utilizan entre 4 a 5 grapas por m² 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).

B.2 Grapas de anclaje

Las horquillas o grapas de anclaje apropiados, deben usarse para alcanzar resultados óptimos en la instalación de los mantos para el control de erosión. Las características de las horquillas dependen de la densidad y profundidad efectiva de anclaje que tenga el terreno. En este caso la horquilla ocupada es la siguiente:



Figura B.3: Grapa de anclaje

(Fuente: www.sistemasgeotecnicos.cl)

B.3 Patrón de anclaje

El patrón de anclaje depende de la pendiente del talud. En este caso para taludes con ángulo de 45 grados, se ocupó el siguiente patrón:

➤ **Talud 1:1**

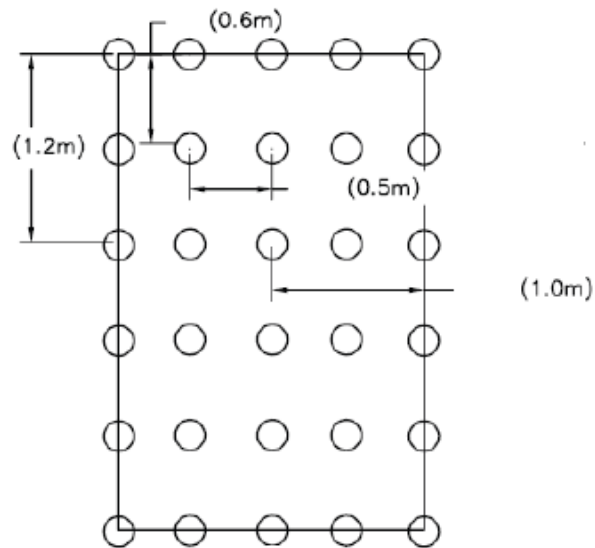


Figura B.4: Patrón de anclaje

(Fuente: www.sistemasgeotecnicos.cl)

ANEXO C. MEDICIONES

A continuación se presentan las mediciones de Temperaturas, Humedades, Precipitaciones y material erodado a lo largo de la experiencia. Cabe recordar que producto de la magnitud de los datos y la leve diferencia entre los resultados de las repeticiones, se trabaja con sus promedios.

C.1. Temperaturas mañana (8:00 horas)

Tabla C.1. Mediciones Temperatura Mañana

Medición	fecha	solo (°C)	hidrosiembra (°C)	h+f. de coco (°C)	h+p. de trigo (°C)	T° amb(°C)
1	31-jul	11,77	11,90	12,13	11,97	11,8
2	01-ago	13,10	13,13	13,13	13,10	12,8
3	02-ago	13,33	13,33	13,33	13,30	13,1
4	03-ago	11,90	11,87	12,03	11,77	12,2
5	04-ago	5,83	5,97	7,97	7,43	5,4
6	05-ago	10,17	10,18	10,23	10,13	10
7	06-ago	8,77	9,67	10,13	10,10	8,2
8	07-ago	5,60	5,70	6,73	6,53	5,6
9	08-ago	4,40	4,53	5,83	5,73	3,2
10	09-ago	8,70	8,80	9,77	9,67	6,1
11	11-ago	4,03	4,57	5,77	5,57	2,8
12	13-ago	5,07	5,31	7,30	7,17	4,2
13	15-ago	8,07	8,15	8,50	8,43	7,5
14	18-ago	8,60	8,77	10,53	10,50	6,1
15	20-ago	10,40	10,50	11,17	11,07	10,3
16	22-ago	9,43	9,57	10,17	10,27	9,4
17	25-ago	9,23	9,57	13,47	13,10	8
18	27-ago	10,20	10,42	11,07	11,03	9,5
19	29-ago	10,07	10,20	10,77	10,80	10,00

(Fuente: Elaboración propia)

C.2. Temperaturas tarde (14:00 horas)

Tabla C.2. Mediciones Temperaturas Tarde

Medición	fecha	solo (°C)	hidrosiembra (°C)	h+f. de coco (°C)	h+p. de trigo (°C)	T° amb(°C)
1	31-jul	13,67	13,70	13,43	13,20	13,8
2	01-ago	14,63	14,50	14,50	14,13	14,4
3	02-ago	14,33	14,23	14,30	13,87	14,9
4	03-ago	24,47	24,33	24,23	21,33	16,3
5	04-ago	20,87	20,47	20,90	18,60	15,1
6	05-ago	11,17	11,23	11,50	11,43	11
7	06-ago	21,63	20,53	19,73	18,44	15,2
8	07-ago	19,40	19,14	20,13	19,38	16,9
9	08-ago	23,70	20,93	22,67	21,80	16,2
10	09-ago	12,80	12,77	12,67	12,33	12,1
11	11-ago	21,17	20,09	20,53	20,45	16,1
12	13-ago	22,03	21,30	22,80	21,57	19,3
13	15-ago	13,77	13,47	13,67	13,37	13
14	18-ago	28,87	27,40	27,87	27,83	21,4
15	20-ago	15,23	15,07	15,00	15,03	13,8
16	22-ago	14,37	14,03	14,11	13,90	13,8
17	25-ago	25,13	23,87	24,07	24,20	17,2
18	27-ago	11,80	11,80	12,27	12,13	12,1
19	29-ago	19,50	18,33	19,60	19,23	15,9

(Fuente: Elaboración propia)

C.3. Humedades mañana (8:00 horas)

Tabla C.3. Mediciones humedades mañana

Medición	fecha	solo (%H)	hidrosiembra (%H)	h+f. de coco (°H)	h+p. de trigo (%H)
1	31-jul	34,48	33,57	26,75	32,38
2	01-ago	33,37	32,02	25,30	29,03
3	02-ago	35,60	34,97	28,20	31,93
4	03-ago	31,20	30,37	30,00	30,67
5	04-ago	25,10	27,75	27,90	27,40
6	05-ago	31,40	31,30	28,73	31,03
7	06-ago	32,87	31,10	32,83	31,20
8	07-ago	26,52	25,87	30,57	29,63
9	08-ago	23,87	24,33	25,40	25,20
10	09-ago	16,20	17,53	23,27	25,03
11	11-ago	15,00	16,43	17,53	16,50
12	13-ago	13,07	15,63	19,17	18,57
13	15-ago	10,73	13,03	17,17	15,33
14	18-ago	8,60	12,47	14,27	13,00
15	20-ago	10,50	11,07	12,47	12,33
16	22-ago	10,70	10,30	12,93	10,93
17	25-ago	18,67	20,07	22,93	22,50
18	27-ago	14,77	16,53	17,47	17,73
19	29-ago	11,30	12,43	14,80	15,20

(Fuente: Elaboración propia)

C.4. Humedades tarde (14:00 horas)

Tabla C.4. Mediciones humedades tarde

Medición	fecha	solo (%H)	hidrosiembra (%H)	h+f. de coco (°%H)	h+p. de trigo (%H)
1	31-jul	31,60	28,60	25,63	31,87
2	01-ago	34,23	32,53	31,37	33,00
3	02-ago	34,07	28,40	27,83	31,40
4	03-ago	26,83	29,63	28,37	28,70
5	04-ago	21,47	20,47	22,40	22,53
6	05-ago	36,30	34,53	35,77	37,07
7	06-ago	28,33	29,97	28,80	30,40
8	07-ago	21,90	25,80	25,77	25,07
9	08-ago	16,87	18,23	22,97	24,53
10	09-ago	18,27	18,60	18,43	20,77
11	11-ago	15,07	16,73	21,00	18,63
12	13-ago	12,47	14,28	17,13	18,30
13	15-ago	9,43	12,30	14,50	14,30
14	18-ago	6,40	9,57	13,40	14,40
15	20-ago	10,40	11,30	12,33	12,24
16	22-ago	9,23	10,37	12,30	10,93
17	25-ago	10,23	11,37	13,30	12,40
18	27-ago	13,47	13,27	15,87	15,53
19	29-ago	11,37	11,70	16,07	14,40

(Fuente: Elaboración propia)

C.5. Precipitaciones

Tabla C.5.1. Precipitaciones por día

Mediciones	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Fecha	30-jul	31-jul	01-ago	02-ago	03-ago	04-ago	05-ago	06-ago	07-ago	08-ago	09-ago	10-ago	11-ago	12-ago	13-ago	14-ago	15-ago	16-ago
Precipitacion (mm)	17,1	36,2	4,5	23,4	2,4	0,1	24,4	6,8	0,1	0	0,1	0	0	0,1	0	0	0	0

(Fuente: Elaboración propia)

Tabla C.5.2. Precipitaciones por día

Mediciones	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35
Fecha	17-ago	18-ago	19-ago	20-ago	21-ago	22-ago	23-ago	24-ago	25-ago	26-ago	27-ago	28-ago	29-ago	30-ago	31-ago	01-sep	02-sep
Precipitacion (mm)	0	0	0,1	0	0	2,7	25,8	2,7	0,2	0	0	0	0	24,2	2,4	10,2	7,6

(Fuente: Elaboración propia)

C.6. Material erodado

Tabla C.6. Material erodado

	solo	hidrosiembra	hidro + Biomanto f. de coco	hidro+ Biomanto p. de trigo
Medicion 1 (01-08)	68,47	18,69	2,79	2,93
Medicion 2 (05-08)	42,99	20,32	3,03	6,43
Medicion 3 (08-08)	81,19	23,43	2,49	6,00
Medicion 4 (21-08)	2,55	0,96	0,80	0,45
Medicion 5 (26-08)	52,37	14,68	1,62	2,25
Medicion 6 (02-09)	93,18	13,51	1,78	2,99

(Fuente: Elaboración Propia)

C.7. Porcentaje de material erodado orgánico

El material erodado, se incinero para visualizar que porcentaje del total era materia orgánica. Los resultados son los siguientes

Tabla C.7. Material erodado Orgánico

	hidrosiembra	hidro + Biomanto f. de coco	hidro+ Biomanto p. de trigo
Medicion 1 (01-08)	4,37%	0,97%	1,67%
Medicion 2 (05-08)	6,38%	2,23%	4,11%
Medicion 3 (08-08)	4,97%	2,90%	3,51%
Medicion 5 (26-08)	2,77%	0,56%	0,98%
Medicion 6 (02-09)	2,59%	0,67%	0,89%

(Fuente: Elaboración propia)

C.8 Imágenes Erosión en Taludes

A continuación se presentan algunas imágenes de la erosión superficial luego de un evento de lluvia



Figura C.8.1. Material decantado en canaletas de pvc.



Figura C.8.2. Material arrastrado en un talud descubierto y un talud con hidrosiembra (1ra Semana)



Figura C.8.3. Material arrastrado en un talud Hidrosechado con biomanto de fibra de coco y paja de trigo respectivamente



Figura C.8.4. Pailas con material decantado en las canaletas, luego de un evento lluvioso (Talud Solo, Hidrosiembra, B. fibra de coco y B. paja de trigo respectivamente)

ANEXO D. COBERTURA VEGETAL

D.1 Registro fotográfico

A continuación se muestra el registro fotográfico semanal de la cobertura vegetal, esto con el fin de ver el desarrollo y poblamiento de la cobertura vegetal en el transcurso del tiempo.

Las imágenes se presentan en el orden secuencial que ha seguido todo el informe, siendo la primera imagen de un talud con solo hidrosiembra, luego la del talud cubierto con el biomanto de fibra de coco y la última imagen el talud cubierto con el biomantos de paja de trigo.

Semana 1

No se presenta imagen, ya que la cobertura vegetal fue prácticamente nula.

Semana 2



Figura D.1.1. Cobertura vegetal Semana 2
(Fuente: Elaboración propia)

Semana 3



Figura D.1.2. Cobertura vegetal Semana 3
(Fuente: Elaboración propia)

Semana 4

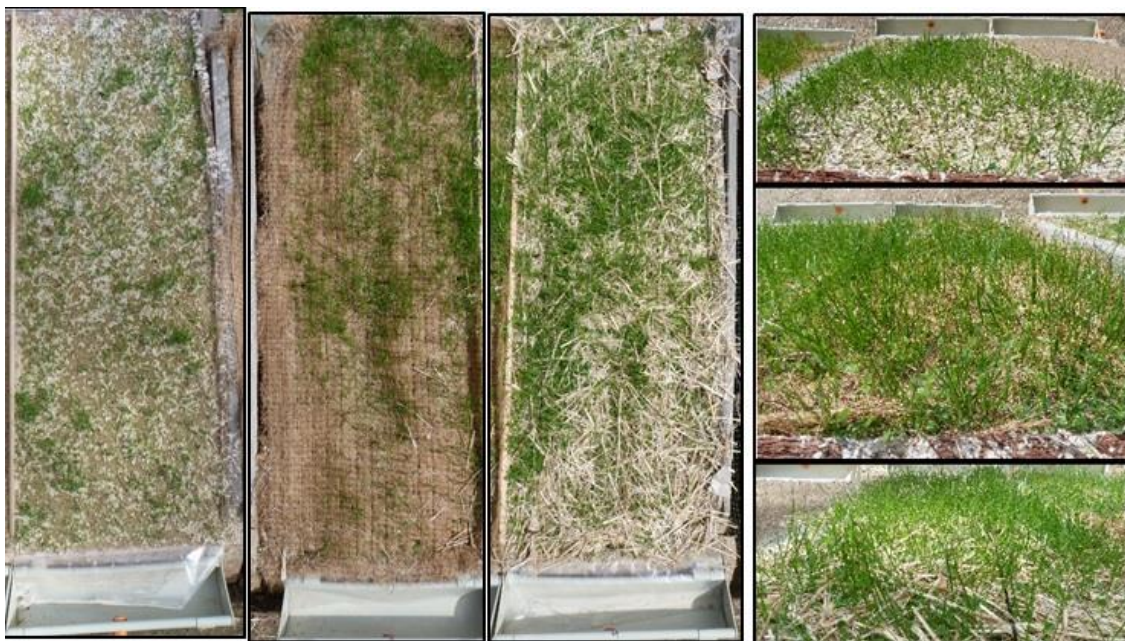
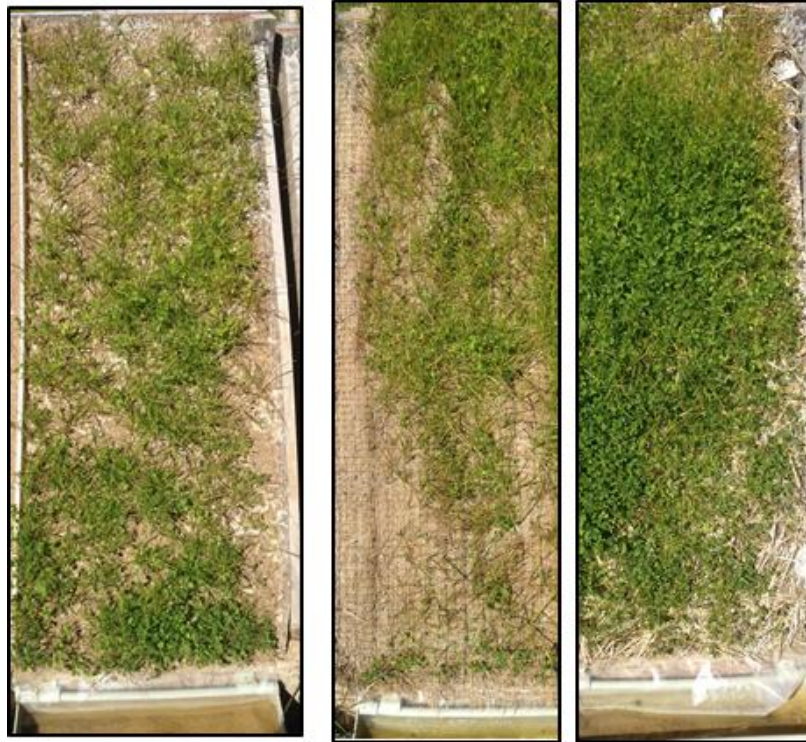


Figura D.1.3. Cobertura vegetal Semana 4
(Fuente: Elaboración propia)

Semana 8



**Figura D.1.4. Cobertura vegetal Semana 8
(Fuente: Elaboración propia)**

D.2 Cobertura Vegetal por taludes

Las siguientes tablas presentan los resultados arrojados por el software ImageJ en relación al porcentaje de cobertura vegetal semanal de los distintos sistemas de recubrimiento.

Tabla D.1. Cobertura Vegetal, Taludes con solo Hidrosiembra

Taludes con Hidrosiembra		Repetición 1	Repetición 2	Repetición 3
Semana 1 07-08-14	A total (cm ²)	7400,25	7246,87	7425,02
	cob (cm ²)	104,05	72,15	92,55
	%	0,01	0,01	0,01
Semana 2 14-08-2014	A total (cm ²)	7100,32	7329,76	7133,56
	cob (cm ²)	299,23	398,06	371,18
	%	0,04	0,05	0,05
Semana 3 21-08-2014	A total (cm ²)	7270,20	7196,11	7191,18
	cob (cm ²)	908,65	1248,50	1098,27
	%	0,12	0,17	0,15
Semana 4 28 08-14	A total (cm ²)	7333,51	7407,56	7315,25
	cob (cm ²)	2503,77	1875,33	1714,84
	%	0,34	0,25	0,23
Semana 8 25-09-14	A total (cm ²)	7225,56	7320,25	7288,35
	cob (cm ²)	4262,49	3805,87	4125,68
	%	0,59	0,52	0,57

(Fuente: Elaboración propia)

Tabla D.2. Cobertura Vegetal, taludes con hidrosiembra y biomanto de fibra de coco

Taludes con Hidrosiembra y B. de fibra de coco		Repetición 1	Repetición 2	Repetición 3
Semana 1 07-08-14	A total (cm ²)	-	-	-
	cob (cm ²)			
	%			
Semana 2 14-08-2014	A total (cm ²)	7335,65	7125,55	7200,56
	cob (cm ²)	381,07	405,38	298,56
	%	0,05	0,06	0,04
Semana 3 21-08-2014	A total (cm ²)	7350,54	7124,09	7188,56
	cob (cm ²)	838,15	621,36	678,87
	%	0,11	0,09	0,09
Semana 4 28 08-14	A total (cm ²)	7399,62	7047,55	7200,62
	cob (cm ²)	1545,02	1569,59	1854,34
	%	0,21	0,22	0,26
Semana 8 25-09-14	A total (cm ²)	7329,85	7118,68	7216,38
	cob (cm ²)	3658,33	3801,89	3955,99
	%	0,50	0,53	0,55

(Fuente: Elaboración propia)

Tabla D.3. Cobertura Vegetal, taludes con hidrosiembra y biomanto de paja de trigo

Taludes con Hidrosiembra y B. de paja de trigo		Repetición 1	Repetición 2	Repetición 3
Semana 1 07-08-14	A total (cm ²)	-	-	-
	cob (cm ²)			
	%			
Semana 2 14-08-2014	A total (cm ²)	7201,82	7254,39	7426,82
	cob (cm ²)	391,83	336,15	326,52
	%	0,05	0,05	0,04
Semana 3 21-08-2014	A total (cm ²)	7079,83	7242,50	7316,35
	cob (cm ²)	1106,44	1078,15	1109,99
	%	0,16	0,15	0,15
Semana 4 28 08-14	A total (cm ²)	7250,23	7386,33	7289,45
	cob (cm ²)	3055,69	2899,12	2890,95
	%	0,42	0,39	0,40
Semana 8 25-09-14	A total (cm ²)	6975,38	7098,88	7189,37
	cob (cm ²)	5425,38	5401,11	5852,05
	%	0,78	0,76	0,81

(Fuente: Elaboración propia)

Promedios semanales

Tabla D.4. Cobertura Vegetal Promedio (Semanalmente)

	Semana 1	semana 2	semana 3	semana 4	semana 8
hidrosiembra	1,22	4,95	15,04	27,27	55,67
hidrosiembra + fibra de coco	0	5,01	9,80	22,97	52,69
hidrosiembra + paja de trigo	0	4,83	15,19	40,35	78,42

(Fuente: Elaboración propia)

ANEXO E. PLANTAS

A continuación se presentan las principales características de las plantas más utilizadas en la técnica de la hidrosiembra.

E.1 Ballica

Origen y distribución: *Lolium perenne* es una especie nativa de zonas templadas de Asia y del norte de África. Ha sido ampliamente distribuida a otras partes del mundo, incluyendo Norte y Sudamérica, Europa, Nueva Zelandia y Australia (Walton, 1983). Conocida también como ballica inglesa, ballica perenne o ryegrass perenne es ampliamente usada en Chile para el pastoreo. Esta se encuentra ya naturalizada en el país y ha adquirido carácter de maleza en varias regiones.

Características generales: *Lolium perenne* es una gramínea de persistencia media a alta, muy valorada por su alto potencial de rendimiento, alta palatabilidad y digestibilidad (Jung, 1996). Además presenta un rápido rebrote, resistencia al pisoteo y alta agresividad, características que le confieren cualidades deseables para ser pastoreada. Esta planta es de fácil establecimiento, la semilla germina con rapidez y produce plántulas vigorosas, tiene una gran cantidad de macollaje y su hábito de crecimiento es muy variable, según los cultivares y formas de aprovechamiento. Una vez establecida en condiciones favorables, persiste por mucho tiempo, al menos cinco años. Catrileo (1983) señala que en condiciones óptimas y bien manejadas, la persistencia de la ballica perenne es alta, durando entre ocho y diez años.

Características botánicas: *Lolium perenne* es una planta glabra y envés brillante, de color verde oscuro (Langer, 1981; Muslera y Retera, 1992). En general las hojas son abundantes y aparecen plegadas en forma de “V”, carecen de aurículas y, en caso de presentarse, estas son muy pequeñas, la lígula es glabra, membranosa, transparente y pegada al tallo (Figura 3). Presenta tallos delgados, de dos a cuatro nudos cuya altura fluctúa entre 30 y 60 cm (Aguilar, 1990).

Clima: La ballica perenne tiene una mejor adaptación a climas fríos. En Chile se adapta mejor a zonas de climas templados o fríos, con buena distribución de

lluvias, características que se encuentran preferentemente desde Malleco a Chiloé (López, 1988).

Muslera y Ratera (1992), indican que el *lolium perenne* tiene algún crecimiento a partir de los 5°C, es considerable a partir de los 10°C, alcanza su mayor tasa de crecimiento entre los 18 a 20°C y reduce su crecimiento por encima de los 25°C, siendo prácticamente nulo a los 35°C, lo que condiciona su crecimiento en algunas zonas.

Suelo: La producción máxima de una pradera de *lolium perenne* se produce en suelos fértiles y bien drenados, con textura media y humedad suficiente para alcanzar un buen desarrollo. La producción mínima se obtiene en suelos arenosos y con mal drenaje (Carámbula, 1998; ANASAC 2007).



Figura E.1. *Lolium perenne*
(Fuente: www.unavarra.es)

E.2.Festuca

Origen y distribución: Festuca arundinacea es una planta nativa de Europa y Asia, que llegó al país alrededor de 1904. En la actualidad está distribuida en Europa, América y parte de Asia. En el país se cultiva desde la zona mediterránea central hasta la zona Austral (Ortega y Romero, 1992).

Características generales: Según Romero (1982), es la única gramínea resistente a condiciones de drenaje y sequía.

Luego de la siembra, su establecimiento es lento y muy frágil, haciéndola poco competitiva frente a la adversidad, pero su persistencia es casi ilimitada (Gillet, 1984).

Debido a su sistema radical formado por densas raíces y cortos tejidos subterráneos denominados rizomas, hacen a esta especie una planta que resiste bien el pisoteo u tránsito sobre ella (Romero, 1982).

Características botánicas: Gramínea perenne, de crecimiento erecto, con sistema radical fibroso y profundizador. Posee tallos que pueden llegar hasta 1 metro de altura, doblados cerca de la base y sin tricomas (Demanet, 2008).

Según Demanet (2008), sus hojas nacen en la base de la planta, son muy abundantes y de color verde oscuro. Cuando alcanza su madurez se tornan rígidas y cortantes.

Clima: Esta especie no crece con temperaturas muy bajas. Durante el invierno permanece en lactancia y no crece, aunque cuando las temperaturas extremas de invierno no son muy exageradas, pueden permanecer verdes hasta avanzada la temporada. Su tolerancia a la humedad es amplia y soporta sequías prolongadas superiores a los cuatro meses, también tolera excesos y drenajes difíciles.

Suelos: Prefieren sustratos calizos y arcillosos, pero pueden crecer en suelos ácidos, salinos y encharcados.



Figura E.2. Festuca

(Fuente: www.vocaciondejardinero.com)

E.3. Trifolium subterraneum

Origen y distribución: el trébol subterráneo es originario de la cuenca mediterránea Euroasiática. Alrededor de 1830 fue introducido accidentalmente a Australia pero solo a partir de 1900 se comenzó a conocer su importancia como planta forrajera. Desde 1930 su utilización se expandió a distintos lugares del mundo. Actualmente se cultiva en Sudamérica en países como Chile, Argentina y Uruguay.

Características generales: Bajo el nombre genérico de trébol subterráneo existen tres subespecies: subterraneum, yanninicum y brachycalycinum, que se adaptan a distintas condiciones de suelo, y poseen características morfológicas diferentes. Las flores, después de la formación de la semilla, tienen la cualidad de formar un canastillo que se entierra, protegiendo de esta manera a la semilla y facilitando su resiembra anual. Esta característica hace que el trébol subterráneo, aunque sea una especie anual, en condiciones favorables se comporte como perenne y se adapta para ser usado en prados de larga duración.

Características Botánicas: La subespecie subterraneum, se caracteriza por su sistema radicular semi profundizador, con una raíz pivotante y gran cantidad de raicillas donde se

localizan los nódulos. Sus tallos son generalmente rastreros (Figura 5), aunque existe también variedades semirrectas (Smethan, 1981).

Clima: Este trébol se adapta a clima mediterráneo, se desarrolla en climas de inviernos suave, de temperatura medias que oscilan entre los 5-20°C y pluviometría de 350-750 mm anuales y con veranos secos y cálidos (20-30°C) (Smethan, 1981). No tolera el frío intenso.

Suelos: Crece adecuadamente en terrenos arenosos, oligotrofos y de reacción acida o neutra. No tolera el encharcamiento.



Figura E.3. Trébol subterraneum
(Fuente: www.asturnatura.com)

E.4. Trébol Pratense

Origen y distribución: También conocido como trébol rosado, esta planta es nativa de Europa, oeste de Asia y noreste de África. Rojas (1966), en Chile fue introducido en 1869 a la provincia de Maule, y que se cultiva principalmente desde Santiago hasta Llanquihue. Actualmente, también se cultiva con bastante éxito en algunos sectores de la provincia de Chiloé y de la XI Región.

Características generales: forrajera cortamente perenne, de hábito de crecimiento rastrero durante el otoño y erecto durante la primavera. En Chile tiene importancia tanto por la superficie de sembrado, que supera las 100.000 hectáreas , así como por las exportaciones de

semilla que oscilan entre 700 y 1000 toneladas al año, representando más del 70% del total de semillas forrajeras exportadas (Ortega, 1998).

Características botánicas: Cuevas y Balocchi (1983), señalan que es una leguminosa perenne de vida corta que en nuestro medio persiste por dos o tres años. Posee una raíz pivotante, alcanzando profundidades de hasta 1 m, con numerosas ramificaciones secundarias, característica que le confiere gran resistencia a la sequía. Dispone de una corona ancha, desde la cual se desarrollan los tallos que pueden alcanzar una altura de hasta 60 cm; las hojas son trifoliadas, grandes y abundantes, generalmente, presentan una marca característica de color verde claro en el centro de la hoja (Figura 6).

Clima: Crece bien en temperaturas medias, tolerando mejor las bajas que las altas temperaturas, detiene su crecimiento a partir de los 30-35°C, por lo que se adapta a climas fríos y/o templados, dando peores rendimientos en climas cálidos. Es bastante exigente en humedad, necesitando 700mm anuales como mínimo. No soporta encharcamientos prolongados ni la sequía, siendo las necesidades hídricas el punto más delicado de su cultivo.

Suelos: Vegeta bien en todo tipo de suelos, soporta suelos ligeramente ácidos. Un buen nivel de arcilla mejora el cultivo. Es poco productivo en suelos arenosos.



Figura E.4. Trébol pratense.
(Fuente: www.fichasplantasmedicinales.com)

