

**UNIVERSIDAD DEL BÍO BÍO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**DEPARTAMENTO INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL**

**Profesor Patrocinante: Ricardo Riveros Velásquez.**



**“INFLUENCIA DE DISTINTAS TÉCNICAS DE  
RECUBRIMIENTO EN BASE A HIDROSIEMBRA EN LA  
COBERTURA VEGETAL DE TALUDES DE ALTA  
PENDIENTE”.**

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

**ARIEL ALEJANDRO VILLAFAÑA SILVA**

Concepción, Julio de 2015.

## **AGRADECIMIENTOS.**

Primero que todo a Dios, por permitirme la bendición de llegar hasta esta instancia. A Braulio Villafaña Rivera, mi padre, mi ejemplo, mi orgullo, quien siempre me apoyó en todas mis decisiones y me instó a estudiar, y crecer como una persona con valores. A Laura Silva Brito, mi madre, quien siempre cuidó y se preocupó de mí con amor, cariño y comprensión. A Carolina Pizarro Navarro, mi esposa, mi otra mitad, el amor de mi vida, quien siempre estuvo apoyándome en los momentos malos y buenos, que me regaló y me ofreció lo mejor de ella para poder lograr lo que soy. A Mario Pizarro Suazo y Mirna Navarro Pedreros, mis suegros, quienes con su apoyo, proveyeron desde que me conocieron de lo que pude necesitar como estudiante, y en mis valores como Cristiano.

A Ricardo Riveros Velásquez, mi profesor guía, quien siempre tuvo buena disposición y ánimo para hacer de este proyecto de título una experiencia significativa.

**DEDICATORIA.**

A mi amado papito quien descansa en el Señor. A mi madre. A mi esposa y amor de mi vida. Y a mi amado hijo Mateo Alejandro Villafaña Pizarro, quien está pronto a nacer. Así como también a los hijos que vengan en un futuro, ya que ustedes siempre serán la razón principal por la cual superarme cada día.

## **INFLUENCIA DE DISTINTAS TÉCNICAS DE RECUBRIMIENTO EN BASE A HIDROSIEMBRA EN LA COBERTURA VEGETAL DE TALUDES DE ALTA PENDIENTE.**

**ARIEL VILLAFANA SILVA**

Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, Universidad del Bío-Bío  
[avillafa@alumnos.ubiobio.cl](mailto:avillafa@alumnos.ubiobio.cl)

**RICARDO RIVEROS VELÁSQUEZ**

Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, Universidad del Bío-Bío  
[rriveros@ubiobio.cl](mailto:rriveros@ubiobio.cl)

### **Resumen**

La erosión superficial es un tema a controlar por los riesgos que conlleva. Debido a esto, existen diversas técnicas, entre ellas la hidrosiembra y los biomantos. La hidrosiembra consiste en la proyección de una mezcla acuosa de semillas, fertilizante y aglomerantes a través de un equipo mecánico con el fin de lograr el crecimiento y desarrollo vegetal. Los biomantos en tanto, son mantas diseñadas con materiales generalmente biodegradables, cuya función es proporcionar protección contra la erosión y el arrastre de sedimentos en taludes.

Sáez (2015) estudió el comportamiento de la hidrosiembra en conjunto con distintos biomantos, obteniendo mejores resultados en cuanto a cobertura vegetal con el biomanto en base a paja de trigo. Por otra parte, Sanhueza (2015) estudió el comportamiento de la hidrosiembra en conjunto con ligantes, obteniendo mejores resultados en cuanto a cobertura vegetal con el polímero SNF 2070 y el yeso agrícola. Ambos estudios se atribuyen buenos resultados, pero nunca han sido comparados entre sí ni tampoco analizados en el caso de Sanhueza (2015) en época de otoño-invierno.

Es por eso que en este proyecto se evaluó la influencia de la técnica de hidrosiembra más biomanto en base a fibra de paja y la hidrosiembra más polímero y yeso agrícola en la cobertura vegetal de taludes, con el fin de comparar estas técnicas y determinar cuál entrega mejores resultados.

Durante 6 semanas se midió la temperatura, material erodado y porcentaje de cobertura vegetal. Los resultados obtenidos mostraron que el mayor porcentaje de cobertura vegetal, y la técnica que menos material erodó fue la hidrosiembra más el biomanto con un 79% y 3,2 gramos respectivamente al finalizar la sexta semana. Además, la técnica que controla mejor la temperatura es la hidrosiembra más biomanto.

**Palabras clave:** Erosión superficial, ligante, biomanto, talud.

**Numero de palabras:**  $6585 + 12 \cdot 250 = 9585$

## **INFLUENCE OF DIFFERENT TECHNIQUES OF COATING BASED ON HYDROSEEDING ON VEGETAL HEDGE OF HIGHT GRADIENT SLOPE.**

**ARIEL VILLAFANA SILVA**

Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, Universidad del Bío-Bío  
[avillafa@alumnos.ubiobio.cl](mailto:avillafa@alumnos.ubiobio.cl)

**RICARDO RIVEROS VELÁSQUEZ**

Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, Universidad del Bío-Bío  
[rriveros@ubiobio.cl](mailto:rriveros@ubiobio.cl)

### **Abstract**

The surface erosion is an issue to control because of the risks that it has. For this reason, there are several techniques, including hydroseeding and organic blankets. Hydroseeding is the projection of an aqueous mixture of seeds, fertilizer and binders through a mechanical equipment in order to achieve growth and plant development. Moreover, the organic blankets are blankets generally designed with biodegradable materials, whose function is to provide protection against erosion and silting in slopes.

Saez (2015) studied the behavior of hydroseeding in combination with several organic blankets, obtaining better results in terms of vegetal hedge with organic blankets based on wheat straw. On the other hand, Sanhueza (2015) studied the behavior of hydroseeding together with binders, obtaining better results in terms of vegetal hedge with the 2070 SNF polymer and agricultural plaster. Both studies had good results but they have never been compared between them or analyzed, as in Sanhueza (2015) case, in autumn-winter period.

For this reason, in this project was evaluated the influence of hydroseeding technique plus organic blanket based on wheat straw and hydroseeding plus polymer and agricultural plaster on vegetal hedge of slopes, with the purpose to compare this techniques and determine which one has better results.

During 6 weeks temperature, eroded material and percentage vegetation cover were measured. Finally, the results showed that the highest percentage of vegetal hedge, as well as the technique that less material eroded was the hydroseeding plus organic blankets with a 79% and 3,2 grams respectively at the end of the sixth week. Furthermore, the technique that controls temperature in better way is hydroseeding plus organic blanket.

**Keywords: surface erosion, blinder, organic blanket, slope.**

**Number of words: 6585 + 12\*250 = 9585**

## ÍNDICE

<b>CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN</b> .....	7
1.1    Objetivos.....	9
1.1.1    Objetivo General.....	9
1.1.2    Objetivos Específicos.....	9
<b>CAPÍTULO 2: REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA</b> .....	10
2.1    Erosión Superficial en Taludes.....	10
2.1.1    Erosión Eólica.....	10
2.1.2    Erosión por Gotas de Lluvia.....	10
2.1.3    Erosión Laminar.....	11
2.2    Hidrosiembra.....	12
2.2.1    Agua.....	12
2.2.2    Mulch.....	12
2.2.3    Semillas.....	12
2.2.4    Fertilizantes.....	13
2.2.5    Fijador o Aglomerante.....	13
2.3    Biomantos.....	13
<b>CAPÍTULO 3: METODOLOGÍA</b> .....	15
3.1    Lisímetros y Material de Relleno.....	15
3.1.1    Caracterización de Lisímetros.....	15
3.1.2    Caracterización del Material de Relleno.....	16
3.2    Elección y Caracterización del Biomanto.....	16
3.2.1    Materialidad del Biomanto.....	17
3.3    Elección y Caracterización de Ligantes.....	17
3.4    Aplicación de la Hidrosiembra.....	17
3.5    Elección y Caracterización de Variables.....	18
3.5.1    Temperatura.....	18
3.5.2    Material Erodado.....	19
3.5.3    Cobertura Vegetal.....	19
<b>CAPÍTULO 4: ANÁLISIS DE RESULTADOS</b> .....	19
4.1    Análisis de Adherencia y Trabajabilidad.....	20
4.1.1    Adherencia.....	20
4.1.2    Trabajabilidad.....	20
4.2    Análisis de Temperatura.....	21
4.2.1    Temperatura de mañana.....	21
4.2.2    Temperatura de tarde.....	22

4.3	Análisis del Material Erodado.....	23
4.4	Cobertura Vegetal.....	24
4.4.1	Cobertura Vegetal por Técnica.....	25
4.5	Resumen de Variables Analizadas.....	27
<b>CAPÍTULO 5: CONCLUSIONES.....</b>		<b>28</b>
<b>CAPÍTULO 6: BIBLIOGRAFÍA.....</b>		<b>30</b>
<b>ANEXO A</b>	<b>MECÁNICA DE SUELOS .....</b>	<b>32</b>
<b>ANEXO B</b>	<b>ELECCIÓN DE SEMILLAS, LIGANTES Y BIOMANTO. ....</b>	<b>35</b>
<b>ANEXO C</b>	<b>MEDICIONES. ....</b>	<b>42</b>
<b>ANEXO D</b>	<b>IMÁGENES DESARROLLO DEL PROYECTO. ....</b>	<b>51</b>

## **CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN**

En la actualidad, tanto en Chile como en el mundo, se cuenta con un gran número de carreteras y caminos que se encuentran entre laderas de cerros, esta condición obliga a efectuar cortes, generando diversos taludes los que se entienden por cualquier superficie inclinada respecto de la horizontal que hayan de adoptar permanentemente las masas de tierra, ya sea de forma natural o por intervención humana, esto conlleva efectos sobre los diversos procesos que interactúan naturalmente sobre la superficie de la tierra, uno de estos procesos es la erosión en el suelo, definida según Peralta (1993) 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.

En Chile, la erosión más común es la producida por el agua de lluvia (Carrasco, J. y Riquelme, J. 2003), la que produce inestabilidad en el talud debido a que genera una reducción en la resistencia al corte de los planos de falla al disminuir la tensión normal efectiva. Cuando este proceso no se controla va produciendo surcos en la superficie del talud que con el tiempo se transforman en cárcavas, finalizando con deslizamientos de fracciones, muchas veces importantes de masas de suelo, afectando a la población que circula o reside por el lugar.

En consecuencia, si no se controla la erosión superficial en los taludes cercanos a caminos donde transitan diariamente personas o vehículos, se generan riesgos a la sociedad ya que el derrumbe o deslizamiento de material se hace inminente. Por lo tanto, es importante y necesario tomar especial atención en este punto y proteger los taludes para disminuir las amenazas y riesgos naturales.

La erosión del suelo se divide en dos etapas: desprendimiento de partículas individuales de la masa de suelo y su transporte por los agentes erosivos, como las corrientes de agua y viento. Cuando la energía de estos agentes no es suficiente para transportar las partículas se produce una tercera etapa: su deposición (Morgan, 1997).

Una técnica que controla la erosión superficial en taludes es la instalación de biomantos, los cuales el mercado ofrece de mallas de paja, yute y coco, estos mantos tienen una duración aproximada de 1 año, según las condiciones a las que se vea expuesto.

Otra técnica que controla la erosión superficial en taludes es mediante 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). No obstante, la germinación de semillas es inversamente proporcional a la pendiente en



taludes, esto a causa de la erosión producida por el agua de lluvia y el viento, ya que la semilla es arrastrada y depositada a los pies del talud dejando su cuerpo descubierto. Debido a esto, a esta técnica se le adicionan ligantes, los que actúan como una capa protectora de la superficie del talud y además adhieren de mejor forma la semilla con el suelo evitando su arrastre.

Existen investigaciones donde se ha comparado la técnica de la hidrosiembra en conjunto con distintos biomantos como la de Sáez (2015) quien trabajó con un biomanto en base a fibra de coco y otro en base a paja de trigo, obteniendo en este último los mejores resultados en cuanto a crecimiento vegetal.

Otra investigación fue la realizada por Sanhueza (2015) quien comparó la técnica de hidrosiembra en conjunto con tres ligantes diferentes que fueron el almidón de maíz, un polímero y el yeso agrícola, obteniendo mejores resultados en cuanto a cobertura vegetal con el yeso agrícola y el polímero.

Tanto Sáez (2015) como Sanhueza (2015) se atribuyen buenos resultados con sus respectivas técnicas, por una parte el uso complementario de un biomanto aporta una mejora a la hidrosiembra generando mayor cobertura vegetal y disminuyendo el material erodado de la superficie del talud y por otra parte el uso complementario de ligantes también aporta una mejora a la hidrosiembra, ya que provee de mayor protección a la superficie del talud, disminuyendo la cantidad de material erodado de este y también fomentando en el caso del yeso agrícola la germinación y posterior crecimiento de las semillas. Pero las técnicas aplicadas en estas dos investigaciones nunca han sido comparadas entre sí para determinar cuál aporta más en el crecimiento de la cobertura vegetal de taludes, ni tampoco han sido estudiadas en el caso de Sanhueza (2015) en época de otoño-invierno donde las condiciones climáticas son más adversas que en el periodo primavera-verano.

La experiencia se realizará en seis lisímetros rellenos con material característico de la zona de Concepción ubicados en la Universidad del Bío Bío, cuyas características serán detalladas en el Capítulo 3.

Debido a lo previamente expuesto es que este proyecto tiene como propósito evaluar la influencia del desarrollo de la cobertura vegetal de taludes para distintas técnicas de recubrimiento en base a hidrosiembra durante época de otoño-invierno.

## **1.1 Objetivos**

### *1.1.1 Objetivo General*

Evaluar la influencia del desarrollo de la cobertura vegetal de taludes para distintas técnicas de recubrimiento en base a hidrosiembra durante época de otoño-invierno.

### *1.1.2 Objetivos Específicos*

- Identificar las variables relevantes para generar la cobertura vegetal en taludes de alta pendiente mediante la hidrosiembra.
- Desarrollar experiencia que permita medir las variables relevantes en taludes de alta pendiente.
- Comparar resultados de cobertura con las distintas técnicas de hidrosembado.
- Analizar el comportamiento de las distintas técnicas de hidrosiembra.

## **CAPÍTULO 2: REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA**

Este capítulo describe términos claves para comprender en que consiste la erosión superficial e identifica términos característicos para comprender la técnica de hidrosiembra en conjunto con ligantes y en conjunto con un biomanto como medida de control.

### **2.1 Erosión Superficial en Taludes.**

Se entiende por talud a cualquier masa de suelo que posea una inclinación permanente con respecto a la horizontal, este se puede presentar de manera natural como es el caso de laderas o, artificial, generado por obras de ingeniería tales como cortes o terraplenes.

La erosión superficial en tanto, se comprende como el desprendimiento, transporte y depósito de material de suelo o roca por acción de la fuerza de un fluido en movimiento. Dicha erosión puede ser producida por el agua como por el viento, siendo la primera de éstas la que genera la llamada erosión laminar.

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

#### *2.1.1 Erosión Eólica.*

La erosión eólica se presenta en suelos sin vegetación que son expuestos a altas velocidades de viento. Cuando la velocidad del viento supera a las fuerzas gravitacionales y/o cohesivas de los elementos del suelo se produce desprendimiento y transporte de partículas en suspensión. Las partículas más pequeñas son transportadas por suspensión, las medianas por saltos y brincos, mientras que las más grandes se transportan rodando. Se ha estudiado que la velocidad necesaria para que se produzca desprendimiento de partículas de suelo es de 20 km/hr a una altura de 30 cm sobre la superficie de terreno (Gray y Sotir, 1996).

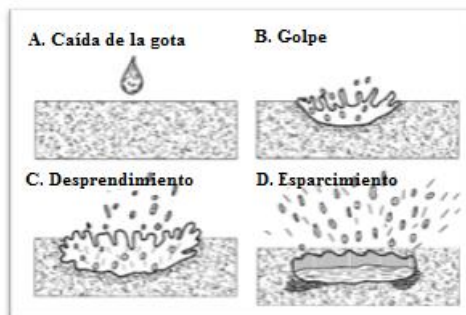
Este tipo de erosión es muy común en áreas con menos de 375 mm/año de precipitación (baja precipitación fluvial), con suelos arenosos y bajos niveles de materia orgánica, es por esto que generalmente la erosión por viento ocurre en los desiertos (Gray y Sotir, 1996).

#### *2.1.2 Erosión por Gotas de Lluvia.*

En Chile, específicamente en la octava y novena región, la erosión más común es la provocada por el agua de lluvia (Carrasco y Peralta 2003). Esta erosión ocurre cuando las gotas de agua impactan sobre una superficie desprotegida, lo que provoca la remoción y el desprendimiento de capas delgadas de suelo. La estructura del suelo se degrada en partículas cada vez más pequeñas,

produciendo su desprendimiento y esparcimiento. Estos fragmentos son repartidos en un área aproximada de un metro cuadrado (Suárez, 2011) (Ver figura 1).

La erosión provocada por las gotas de lluvia, está relacionada directamente por la cantidad, intensidad y duración de ésta. Si la intensidad y cantidad de lluvia es alta, la erosión es más rápida. Según la intensidad de la lluvia, el tamaño de las gotas puede variar entre 0,5 y 5 mm de diámetro, mientras que su velocidad varía generalmente entre 3 a 10 metros por segundo (Atlas y Ulbrich, 1987).



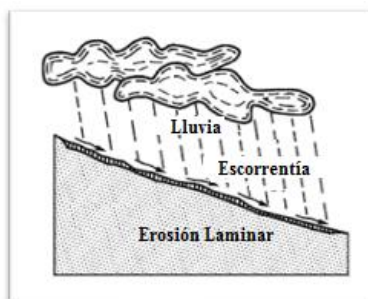
**Figura 1. Erosión por el golpe de la lluvia.**

Fuente: (Suárez, 2011)

### 2.1.3 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 (Ver figura 2), son transportadas a los pies de este, donde son depositadas. Parte del agua de lluvia se infiltra y se acumula en la superficie del terreno, formando una capa delgada de agua con flujos de 2 a 3 mm de espesor (Suarez, 2011).

El poder erosivo del flujo laminar es bajo, no obstante, en sectores se torna turbulento, aumentando significativamente la capacidad erosiva. El flujo toma un color amarillento o marrón cuando se transportan sedimentos. Este tipo de erosión es muy común en suelos residuales y en zonas que han sido deforestadas recientemente.



**Figura 2. Proceso de erosión laminar.**

Fuente: (Suárez, 2011)

## **2.2 Hidrosiembra.**

La hidrosiembra es una técnica de cultivo de césped mediante un equipo mecánico, la cual consiste en la aplicación de una mezcla acuosa y homogénea de semillas, fertilizantes, mulch, fijadores, y/o aditivos. Esta mezcla produce una rápida siembra y posteriormente la revegetación del área de suelo intervenida. Se aplica sobre terrenos con declive o con poca vegetación (taludes, faldas de cerro, laderas, etc.). Es considerada como una de las herramientas más eficaces para controlar y prevenir la erosión y la sedimentación en terraplenes y cortes de caminos. Los elementos que la componen se describen a continuación.

### *2.2.1 Agua.*

El agua es un elemento indispensable para todo tipo de vida, y en el caso de las semillas en la hidrosiembra se torna esencial en su desarrollo, ya que actúa como solvente, portador y acelerador del proceso de germinación. Además de esto, constituye uno de los elementos necesarios para que las plantas puedan generar su propio alimento mediante el proceso de fotosíntesis.

### *2.2.2 Mulch.*

El mulch es uno de los componentes de la hidrosiembra cuya composición puede ser de una variedad de materiales naturales o sintéticos. Este elemento asegura condiciones favorables para una rápida germinación de las semillas, además las protege de vectores externos como las aves, modera la temperatura, aporta materia orgánica, retiene la humedad, mantiene la estructura de la superficie del suelo y lo protege de heladas de invierno.

### *2.2.3 Semillas.*

Se definen como una estructura botánica destinada a la reproducción sexuada o asexuada de una especie (Ley N°3.557 Art. 3, 1980, Ministerio de Agricultura).

En la hidrosiembra es recomendable utilizar una mezcla de distintas semillas del tipo perennes, que se adapten a las condiciones climatológicas y que se desarrollen con un mínimo aporte de agua. Asimismo, las semillas deben ser de fácil propagación y con abundante follaje y ramificaciones.

#### *2.2.4 Fertilizantes.*

Los fertilizantes son sustancias o productos destinados a mejorar la productividad del suelo o las condiciones naturales de las plantas mediante la incorporación de nutrientes, siendo designados, usados o reconocidos por promover el crecimiento de las plantas. (Ley N°20.089 DS17, 2005, Ministerio de Agricultura).

Los fertilizantes están compuestos principalmente por: Nitrógeno, el cual se encarga del crecimiento de la planta; potasio, encargado de la multiplicación celular y la formación de tejidos resistentes a las temperaturas extremas y el fósforo, que favorece la maduración de flores y frutos, posibilitando así, desarrollar sus características particulares y la resistencia necesaria para mantenerse rígidas.

#### *2.2.5 Fijador o Aglomerante.*

El fijador o aglomerante es un producto soluble y biodegradable que forma una película homogénea, elástica y permeable sobre el terreno, que ayuda a mantener la tierra y el mulch para prevenir la erosión (Pereira, 2008).

El fijador o aglomerante al actuar en conjunto con los otros elementos que componen la hidrosiembra provee a la mezcla una mejor consistencia, lo que conlleva a una mejor adhesión al terreno.

### **2.3 Biomantos.**

Los biomantos son mantos delgados fabricados con máquina y están compuestos de materiales orgánicos y biodegradables como paja, fibra de coco, viruta de madera o una combinación de ellos, los cuales se distribuyen de manera uniforme sobre o en medio de fibras tejidas de polipropileno degradable o fibras naturales biodegradables. Cuando se cuenta con fibras sintéticas, éstas poseen un sistema de protección contra rayos (UV) producto de la exposición solar.

Los biomantos contribuyen con la protección contra la erosión superficial en taludes que cuentan con escasa vegetación, amortiguando la energía erosiva del viento y lo más importante, la producida por la lluvia, evitando que las partículas de suelo sean arrastradas.

Algunos biomantos son fabricados de polímeros u otros materiales generalmente biodegradables, éstos últimos protegen la superficie del talud, proporcionando las condiciones necesarias de temperatura para lograr el crecimiento de la vegetación.

Según Isla (2015), los beneficios que se obtienen del uso de biomantos son los siguientes:

- Taludes de suelo reforzado.
- Estabilidad superficial a través de un sistema natural con vegetación.
- Ayuda al establecimiento y afianzamiento de la vegetación.
- Protección de taludes producto de cortes.
- Disminuye la escorrentía superficial y aumenta la infiltración.
- Fachadas ecológicas en taludes naturales o artificiales.
- Minimiza el costo de la obra.
- No requiere mano de obra especializada.
- Tiempo corto de instalación.

### **CAPÍTULO 3: METODOLOGÍA**

Este capítulo hace referencia al conjunto de procedimientos realizados para desarrollar la experiencia que consistió en evidenciar el comportamiento en cuanto a crecimiento vegetal de distintas técnicas tales como, hidrosiembra más ligantes e hidrosiembra más biomanto, en época de otoño-invierno. Se especifica a su vez, las variables que afectan e intervienen en el proceso de germinación y adherencia de las semillas cuando éstas se encuentran en periodo de crecimiento.

En la experiencia se realizó cuatro dosificaciones de hidrosiembra con los mismos componentes e igual proporción, en una de ellas, se incorporó un biomanto de fibra de paja debido a que Sáez (2015) realizó un ensayo de distintos biomantos y determinó que éste era el que obtenía mejores resultados en cuanto a crecimiento vegetal. En otra dosificación, se efectuó sólo hidrosiembra, mientras que en las otras dos, se le incorporó un ligante a cada una (Polímero y Yeso Agrícola), debido a que Sanhueza (2015) estudió el comportamiento de la hidrosiembra con distintos ligantes y determinó que estos dos eran los que obtenían mejores resultados en cuanto a crecimiento vegetal.

Con el objetivo de obtener resultados con mayor nivel de confiabilidad, se realizaron tres repeticiones para cada dosificación.

#### **3.1 Lisímetros y Material de Relleno.**

Se utilizaron seis lisímetros idénticos, los que fueron separados en dos franjas homólogas.

##### *3.1.1 Caracterización de Lisímetros.*

Los taludes son experimentales, basados en el desarrollo de proyectos anteriores similares a éste y construidos por Hernández (2011). Las características de estos, mencionadas a continuación, fueron previamente determinadas para no afectar el desarrollo experimental.

- Construcción con planchas de OSB, cuyas sus medidas son 1  $m^2$  de base y 1,22 metros de altura.
- Pendiente de 45°, considerada alta en Ingeniería.
- Lisímetros divididos en dos franjas iguales de 0,5 metros de ancho separadas por un tablón de madera, el largo de la diagonal es de 1,41 metros, por lo que su área en pendiente es de 0,71  $m^2$ .
- La cara expuesta de cada lisímetro está orientada hacia el noroeste, en contacto directo con las precipitaciones para encontrarse en condiciones desfavorables (Ver Figura 3).





**Figura 3. Construcción y vista general de lisímetros.**  
(Fuente: Elaboración propia)

### 3.1.2 Caracterización del Material de Relleno.

Como relleno en los lisímetros se utilizó batolito costero que es una arena limosa (Ver Anexo A), material característico de la Cordillera de la Costa que contiene un escaso aporte de nutrientes y que se considera representativo en la zona de Concepción. Cabe destacar que para este material en estado natural se desea esté en un rango que va desde el 60% al 75% de la densidad máxima compactada seca (D.M.C.S).

Para obtener las características particulares del suelo Hernández (2011) efectuó ensayos de granulometría, humedad, límites de Atterberg y Proctor Modificado, los resultados se encuentran en el (Anexo A).

### 3.2 Elección y Caracterización del Biomanto.

Se utilizó un biomanto en base a fibra de paja y filamentos de polietileno que actúan como malla para contener la paja y evitar su desprendimiento, debido a los buenos resultados obtenidos por Sáez (2015). Este biomanto es comercializado por la empresa EMIN en Santiago de Chile, empresa dedicada a la fabricación de sistemas geotécnicos (Ver figura 4).



**Figura 4: Biomanto en base a paja de trigo y filamentos de polietileno.**  
(Fuente: Elaboración propia.)

### 3.2.1 *Materialidad del Biomanto.*

El material que compone el biomanto es principalmente la fibra de paja. Se optó por esta alternativa ya que es la más económica, además de presentar características favorables para el medio ambiente al ser completamente degradable y aportando a la vez con nutrientes al suelo, y finalmente, representa un recurso disponible en esta zona. Otro material que lo compone, eso sí en menor proporción, son los filamentos de polietileno los cuales presentan una alta resistencia a la tensión tangencial además de un bajo costo económico.

### 3.3 **Elección y Caracterización de Ligantes.**

En la actualidad existe una variedad de ligantes, se decidió utilizar el Polímero SNF 2070 y el yeso agrícola debido a los buenos resultados obtenidos por Sanhueza (2015). Las características se señalan en el Anexo B.2.

### 3.4 **Aplicación de la Hidrosiembra.**

Se detalla a continuación los pasos que se siguieron para el desarrollo de la hidrosiembra:

- Se realizó el escarpe y limpieza de los lisímetros. (Ver Anexo D.1)
- Según el clima predominante en la Región, se utilizó los siguientes tipos de semilla:
  - ✓ Festuca (40% de la mezcla).
  - ✓ Lolium (40% de la mezcla).
  - ✓ Trifolium (20% de la mezcla).

Sus características y la razón por la que se eligió estas semillas se señalan en el Anexo B.1.

Se realizó una dosificación sin ligante y una con la incorporación de un biomanto en base a fibra de paja cuya dosificación también es sin ligante, para posteriormente comparar los resultados de estas cuatro dosificaciones.

En la tabla 1 se muestran las dosificaciones que se utilizaron para realizar la hidrosiembra.

Componente		Dosificación Sin Ligante	Dosificación con Polímero SNF2070	Dosificación con Yeso Agrícola
Agua	l/m <sup>2</sup>	2	2	2
Mulch	g/m <sup>2</sup>	50	50	50
Semilla	g/m <sup>2</sup>	50	50	50
Fertilizante	g/m <sup>2</sup>	40	40	40
Ligante	g/m <sup>2</sup>	-	5	430,75

**Tabla 1. Dosificaciones Utilizadas en la Experiencia.**  
(Fuente: Sanhueza (2015))

La dosificación de polímero SNF 2070 se obtuvo de la tesis de Humaña (2010), la cantidad de yeso agrícola se obtuvo de la tesis de Sanhueza (2015), mientras que la dosificación de agua, fertilizante y mulch se obtuvo de literatura.

Los elementos que componen la hidrosiembra se mantuvieron constantes, haciendo modificaciones solamente en los ligantes que son una de las variables de estudio de este proyecto de título.

La mezcla se realizó en forma manual en tinetas con dosificación para 10 m<sup>2</sup> y con la ayuda de una motobomba con la que se aplicó la hidrosiembra a los lisímetros (Ver Anexo D.2).

### 3.5 Elección y Caracterización de Variables.

Previo a las mediciones es necesario escoger las variables que influyen en la germinación de las semillas. Conforme a los aspectos favorables de germinación y crecimiento de plantas, se determinó medir la temperatura superficial del talud y la temperatura ambiente, así como también la cobertura vegetal y el material erodado.

#### 3.5.1 Temperatura.

Según el tipo de semilla utilizado en la hidrosiembra, la temperatura ideal para estas va desde los 9°C hasta los 25°C.

Se decidió medir la temperatura ambiental y la superficial del talud, esto con el propósito de compararlas y luego estudiar si el microclima que genera la hidrosiembra, los ligantes o el biomanto contribuye al crecimiento y germinación de las semillas.

Para la medición de la temperatura se utilizó un termómetro de pinchar, ya que este posee una mayor precisión para la experiencia en estudio.

### 3.5.2 *Material Erodado.*

La erosión representa un problema en cuanto a la estabilidad superficial de un talud, ya que lo degrada, pero además de esto, arrastra las semillas plantadas en él.

Para estudiar cuan efectiva resulta ser las distintas técnicas de hidrosebrado que se aplicaron se midió el material erodado.

El material erodado fue recibido en canaletas de pvc de 50 centímetros de largo, con un despiche de 25 milímetros de diámetro al costado, esto con el fin de evacuar solamente agua y no material arrastrado. Asimismo, para medir el material erodado se utilizó un horno para, en primera instancia, secar las muestras de suelo, pesarlas, y finalmente se colocaron en una mufla (Ver Anexo D.3) para quemar el material orgánico que presentara y así determinar por diferencia de peso, que porcentaje de material recolectado corresponde a suelo y cuanto a hidrosiembra desprendida.

### 3.5.3 *Cobertura Vegetal.*

Según la germinación de las semillas y como se comporten las variables mencionadas anteriormente se mide la cobertura vegetal. Para esto, se utilizó el Software ImageJ, el cual mediante contrastes en fotografías entrega el porcentaje que se encuentra cubierto por pasto. Esta medición permitirá aclarar si la implementación de los ligantes y el biomanto fue efectiva, y si lo fue, determinar cuál técnica entregó mejores resultados en cuanto a porcentaje de cobertura vegetal.

## **CAPÍTULO 4: ANÁLISIS DE RESULTADOS.**

La experiencia se desarrolló en el Campus Concepción de la Universidad del Bío-Bío, desde el 12 de mayo al 19 de junio de 2015. A continuación se detallan los resultados con sus análisis respectivos.

### **4.1 Análisis de Adherencia y Trabajabilidad.**

Al preparar el proceso de hidrosiembra es posible verificar con que ligante la trabajabilidad es mejor, así como también, al aplicarla se puede verificar de manera visual que técnica presenta mejor adherencia de la semilla al suelo.

#### *4.1.1 Adherencia.*

La adherencia es una propiedad por la cual se unen dos superficies de sustancias iguales o diferentes cuando entran en contacto, y se mantienen juntas en el tiempo.

Visualmente y una vez aplicada la hidrosiembra, se puede verificar rápidamente que el ligante que presenta mayor adherencia semilla-suelo es el polímero SNF 2070 seguido de la hidrosiembra tradicional y finalmente el yeso agrícola (Ver Figura 5).



**Figura 5. Efecto de los ligantes en la adherencia.**

**a) Yeso Agrícola b) Polímero SNF 2070 c) Hidrosiembra Tradicional**

**(Fuente: Elaboración propia).**

#### *4.1.2 Trabajabilidad.*

La trabajabilidad es la facilidad con la que la mezcla de hidrosiembra puede ser preparada, terminada y colocada en la superficie de los taludes.

En este caso ningún ligante presentó complicaciones en cuanto a su trabajabilidad. El procedimiento de la mezcla de hidrosiembra se muestra a continuación (Ver Figura 6).



**Figura 6. Procedimiento de mezcla de hidrosiembra.**  
(Fuente: Elaboración propia).

La figura 6 muestra una secuencia del proceso de preparación de la hidrosiembra, en la que se utilizó cuatro tinetas con 20 litros cada una y con un rendimiento de  $10 \text{ m}^2$  por tineta. En primera instancia se le agregó el mulch a las tinetas con agua, dejándolo remojar por 2 horas, luego con ayuda de la motobomba se revolvió la mezcla hasta que esta quedara homogénea.

#### **4.2 Análisis de Temperatura.**

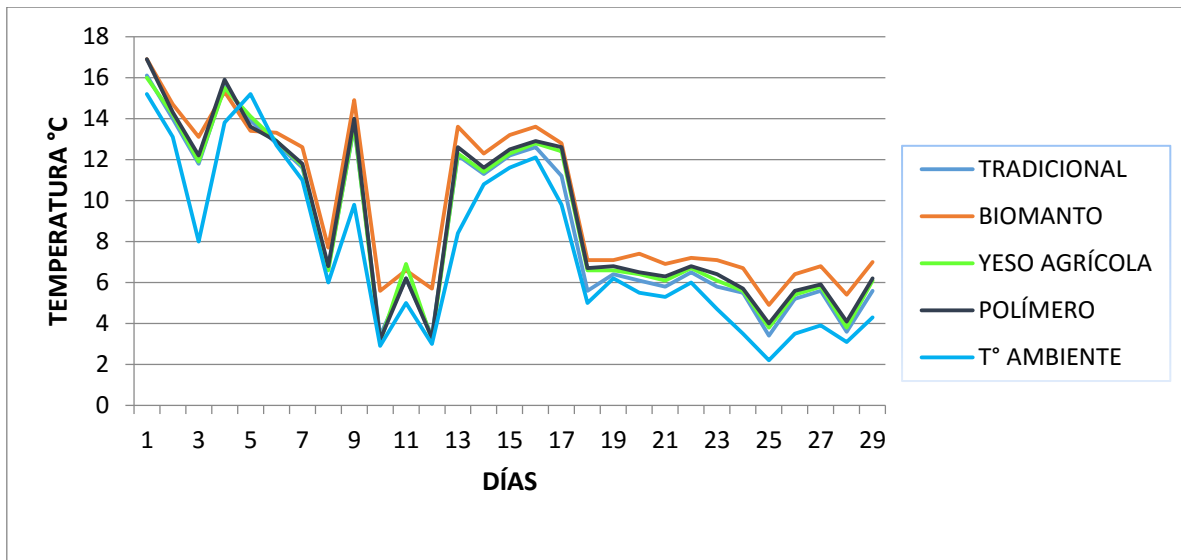
Se midió la temperatura de los lisímetros y la del ambiente, dos veces al día, en la mañana y en la tarde. A continuación se presenta los resultados obtenidos y su análisis.

##### *4.2.1 Temperatura de mañana.*

Se realizó mediciones diariamente a las diez de la mañana, durante seis semanas (Ver Anexo C.1) con lo cual se construyó un gráfico que representa el promedio de las temperaturas de las tres repeticiones a las 10hrs. v/s el tiempo en días (Ver Figura 7).

La figura 6 muestra que la temperatura ambiente siempre es menor a la medida en los taludes, y que la temperatura en los taludes con biomantos es mayor que en los demás y va decreciendo a medida que la temperatura ambiente aumenta. La temperatura en los taludes con hidrosiembra tradicional es menor que los taludes que poseen biomanto y que los que poseen la incorporación de un ligante. Por otra parte, de los taludes que contienen hidrosiembra más ligante, en donde se obtiene mayores temperaturas es en el polímero SNF 2070 por sobre el yeso agrícola. Cabe destacar que la diferencia de temperatura entre las distintas técnicas no supera los  $\pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Los rangos de temperatura entre las repeticiones fluctúan entre los  $0,2^\circ\text{C}$  y  $0,3^\circ\text{C}$  por lo que se decide trabajar con las temperaturas promedio de las tres repeticiones de cada técnica.



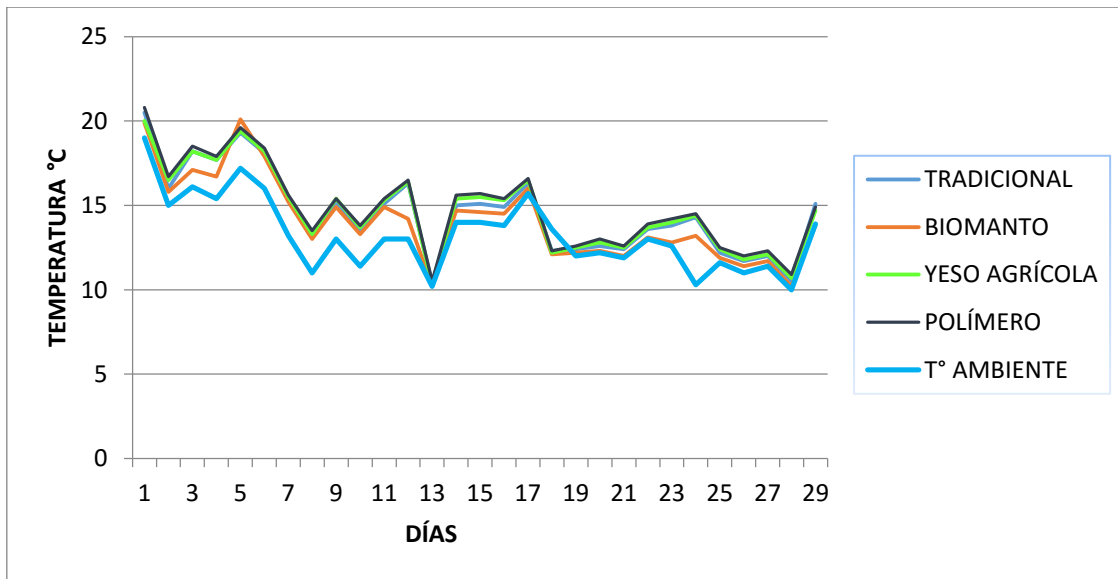
**Figura 7. Evolución de la temperatura a las 10 hrs.**  
(Fuente: Elaboración propia).

#### 4.2.2 Temperatura de tarde.

Se realizó mediciones diariamente a las dos de la tarde, durante seis semanas (Ver Anexo C.1) con lo cual se construyó un gráfico que representa el promedio de las temperaturas de las tres repeticiones a las 14 hrs. v/s el tiempo en días (Ver Figura 8).

La figura 7 muestra que la temperatura ambiente siempre es menor a la medida en la superficie de los taludes, y que en los taludes con biomanto la temperatura es menor que en los demás taludes. La temperatura en los taludes con hidrosiembra tradicional es la menor de los taludes que no cuentan con biomanto. Por otra parte, en los taludes que poseen la incorporación de ligante, las mayores temperaturas se registraron en los que poseen polímero SNF 2070 por sobre el yeso agrícola. Cabe destacar que las diferencias de temperatura entre las distintas técnicas no superan los  $\pm 1,5$  °C.

Los rangos de temperatura entre las repeticiones fluctúan entre los 0,2°C y 0,8°C, variación superior a la registrada en la temperatura de mañana, pero bajas, por lo que se decide trabajar con las temperaturas promedio de las tres repeticiones de cada técnica. Las mayores variaciones se registran en los taludes con hidrosiembra tradicional e hidrosiembra con yeso agrícola.



**Figura 8. Evolución de la temperatura a las 14 hrs.**  
(Fuente: Elaboración propia).

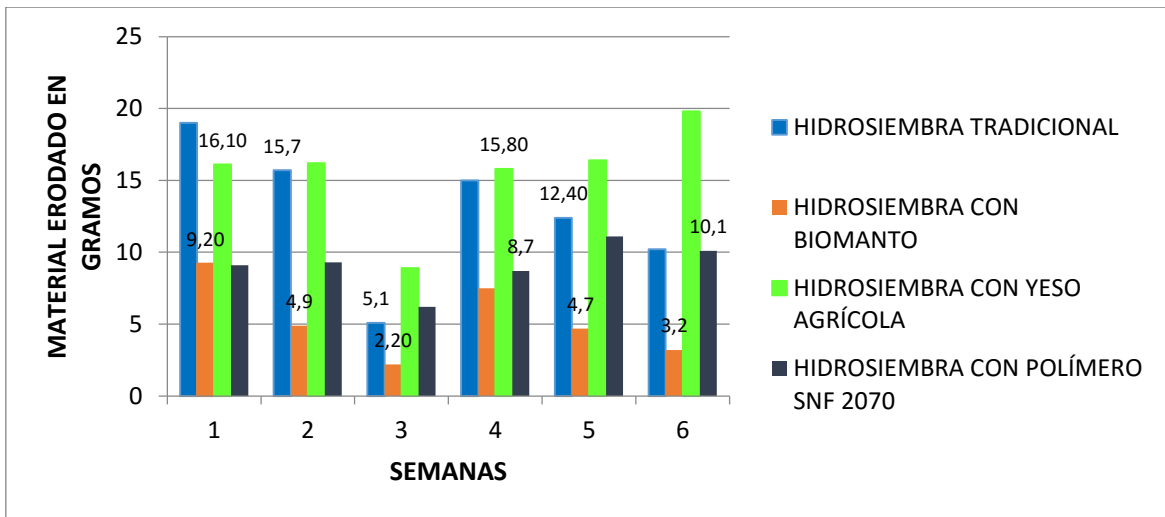
### 4.3 Análisis del Material Erodado.

Semanalmente se recogió el material erodado captado en las canaletas que se encontraban a los pies del talud. En la primera semana se recoge una mayor cantidad de material erodado en los taludes con hidrosiembra tradicional, seguido de los que contenían yeso agrícola, polímero SNF 2070 y biomanto lo que guarda directa relación con el análisis de adherencia observado en la primera semana, que indica que a mayor adhesión de la semilla con el suelo, es menor la cantidad de material erodado, ya que los elementos de la hidrosiembra, en especial los ligantes y el biomanto, proporcionan protección contra la erosión superficial (Ver Figura 9).

A partir de la segunda semana se observa un cambio en la cantidad de material erodado, específicamente en los taludes con hidrosiembra tradicional y los que poseen yeso agrícola, siendo este último el que más material erodado recibe de estos dos, al contrario de la primera semana, ya que posiblemente el yeso agrícola fue arrastrado hacia las canaletas quedando con escasa participación de este ligante. A partir de la tercera semana y hasta la sexta, el material erodado fue disminuyendo, presentando pequeñas variaciones producto de las precipitaciones que hubo durante la semana.

Finalmente, se puede observar que los taludes que menos material erodado presentaban eran los que poseían biomanto, seguidos de los que contenían polímero SNF 2070, hidrosiembra tradicional y yeso agrícola.





**Figura 9. Material erodado v/s tiempo.**  
(Fuente: Elaboración propia)

#### 4.4 Cobertura Vegetal.

El análisis de la cobertura vegetal se realizó semanalmente (Ver Anexo D.4) a partir de lo cual se realizó un gráfico que representa la cobertura v/s tiempo (Ver Figura 10). Cabe señalar que se utilizaron valores promedio de las tres repeticiones realizadas para cada técnica de hidrosiembra.

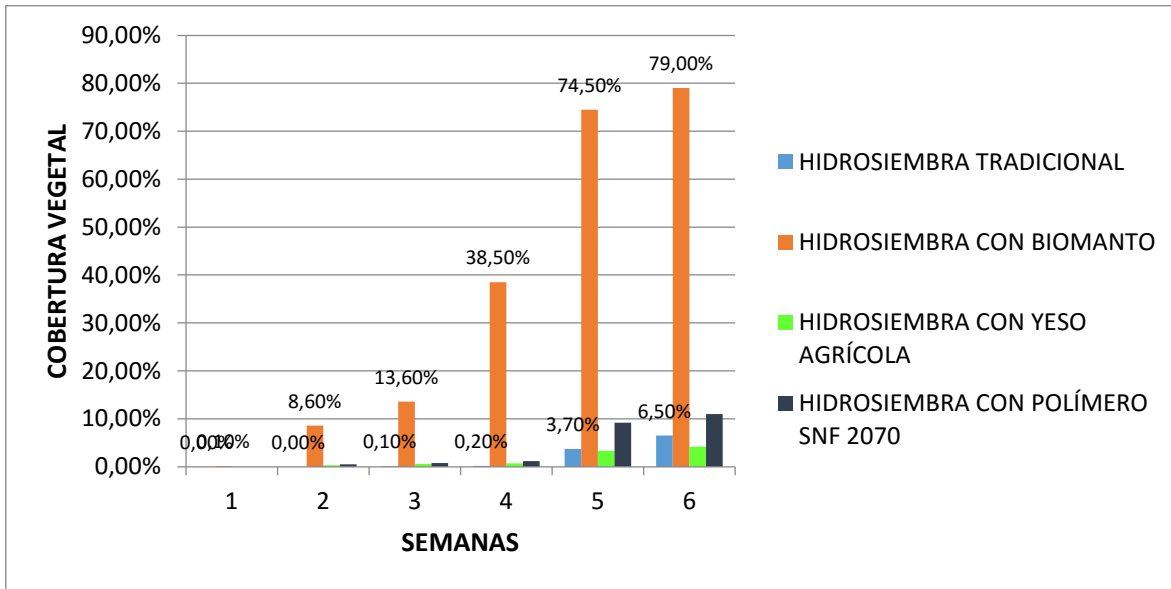
La figura 9 muestra que el talud con biomanto es el que mayor porcentaje de cobertura vegetal logra al finalizar la sexta semana con un 79% de cobertura, seguido del talud con polímero SNF 2070 con un 11%, la hidrosiembra tradicional con un 6,5% y finalmente el talud con yeso agrícola que alcanza el 4,2%.

En la primera semana no se observa crecimiento vegetal excepto en el talud con biomanto, donde su presencia es mínima, cercana a cero. A partir de la segunda semana y hacia adelante, se da comienzo a un notorio crecimiento vegetal en los taludes con biomanto mientras que en los demás taludes la presencia vegetal aún es alrededor del 0%.

En la quinta semana se observa un incremento importante en la cobertura vegetal de todos los taludes, manteniéndose el mayor crecimiento en los taludes con biomanto, esto se debe a la protección que proporciona el biomanto a la superficie del talud contra agentes externos, tales como las bajas temperaturas en la madrugada y la presencia de palomas que se paraban en busca de semillas.

Los resultados obtenidos son muy lejanos a los obtenidos por Sanhueza (2015) quien obtuvo crecimiento vegetal en los taludes con yeso agrícola a partir de la segunda semana de realizada la hidrosiembra y un porcentaje final de cobertura vegetal de 80,7% en comparación con el 4,2%

obtenido en esta experiencia. Lo que se puede explicar por la mala adherencia suelo-semilla que presentó la técnica de hidrosiembra más yeso agrícola.



**Figura 10. %Cobertura v/s tiempo.**  
(Fuente: Elaboración propia)

#### 4.4.1 Cobertura Vegetal por Técnica.

En este ítem se analiza el comportamiento de cada técnica en cuanto a crecimiento vegetal de manera detallada.

##### 4.4.1.1 Cobertura Vegetal con Hidrosiembra Tradicional.

La germinación de las semillas comienza a desarrollarse a partir de la tercera semana de manera lenta al igual que en la cuarta semana. Se observa desde la quinta semana un aumento significativo de cobertura vegetal con respecto a las semanas anteriores, esta cobertura se manifiesta de una forma no homogénea, ya que aparece crecimiento vegetal en el pie del talud y en algunos sectores laterales de este. En la sexta semana la cobertura vegetal alcanza un 6,5% del área total del talud.

##### 4.4.1.2 Cobertura Vegetal con Hidrosiembra más Biomanto.

Con esta técnica siempre existió desarrollo vegetal, la primera semana muy poco, casi 0%, pero desde la segunda semana comenzó a desarrollarse rápida y notoriamente hasta la cuarta semana. En la quinta semana el crecimiento percibe un importante aumento, pasando de 38,5% en la

cuarta semana a un 74,5% en la quinta. Finalmente el crecimiento vegetal llega a un 79% al final de la sexta semana y se presenta de manera homogénea, por casi toda la superficie del talud.

#### *4.4.1.3 Cobertura Vegetal con Hidrosiembra más Yeso Agrícola.*

La cobertura vegetal en la primera semana fue nula, dejándose observar desde la segunda semana y hasta la cuarta en rangos pequeños que no superaban el 1%. A partir de la quinta semana hubo un aumento considerable con respecto a lo que se tenía en las cuatro semanas anteriores pero aun así la cobertura obtenida hasta esta semana era de 3,3%. Ya al finalizar la sexta semana se contaba con una cobertura de 4,2% con respecto al área total del talud y la distribución de esta no fue homogénea. En base a lo observado es posible aseverar que el yeso agrícola en época de otoño-invierno se ve afecto a la erosión superficial, disminuyendo así la adherencia semilla-suelo.

#### *4.4.1.4 Cobertura Vegetal con Hidrosiembra más Polímero SNF 2070.*

Estos taludes no presentaron crecimiento vegetal en la primera semana, en tanto en la segunda semana y hasta la cuarta se produjo un leve pero sostenido aumento llegando al 1,2% de cobertura. En la quinta semana, al igual que en las demás técnicas se observó un aumento en la cobertura, esto se explica debido a que el polímero dentro de sus cualidades absorbe varias veces su peso en agua y a partir de esta semana las lluvias cesaron por lo que el polímero vuelve a su estado natural y libera el agua retenida llegando hasta un 9,2% de cobertura vegetal, para finalizar la sexta semana con una cobertura de 11% con respecto al área total del talud. La distribución de la cobertura no fue homogénea y esta se concentró principalmente a los costados y a los pies del talud, esto último ya que el polímero decantó por efecto de la gravedad.

#### 4.5 Resumen de Variables Analizadas.

En la tabla 2 se indica la evaluación de la influencia que generan las distintas técnicas de recubrimiento en base a hidrosiembra en los parámetros analizados.

A cada parámetro le fue asignada una calificación, la cual va desde muy bueno, bueno, regular y malo según sea el comportamiento de cada técnica de hidrosiembra.

Parámetro Analizado	Hidrosiembra Tradicional	Hidrosiembra más Biomanto	Hidrosiembra más Yeso Agrícola	Hidrosiembra más Polímero SNF 2070
Adherencia	BUENO	BUENO	MALO	MUY BUENO
Temperatura	MALO	MUY BUENO	REGULAR	BUENO
Material Erodado	MALO	MUY BUENO	MALO	REGULAR
% Cobertura Vegetal	MALO	MUY BUENO	MALO	MALO

**Tabla 2. Evaluación de la influencia de las distintas técnicas de hidrosiembra en los parámetros analizados.**  
(Fuente: Elaboración propia).

De la Tabla 2, se puede concluir que la técnica que mejores resultados entrega en periodo frío o de otoño-invierno es la hidrosiembra más el biomanto, con tres de los cuatro parámetros analizados con resultado “muy bueno” y el otro con resultado “bueno”. Al contrario de esto, la técnica que peores resultados entrega en cuanto a los parámetros analizados es la hidrosiembra más yeso agrícola con tres calificaciones “malo” y otra “regular”.

De esta evaluación se recomienda como primera opción, el uso de la técnica de hidrosiembra más el biomanto, para obtener buenos resultados en todos los aspectos evaluados. Por otra parte, en cuanto a los ligantes, si lo que se busca es obtener una buena adherencia semilla-suelo y un buen control de temperatura, una buena segunda opción es usar la hidrosiembra más el polímero SNF 2070. Si bien el yeso agrícola es utilizado en agricultura para promover la germinación y desarrollo de la planta, su utilización en alta pendiente genera deficiencias en adherencia, por lo que no se recomienda su uso debido a la parte técnica. En cuanto a material erodado y porcentaje de cobertura vegetal sólo es recomendable el uso de la hidrosiembra más biomanto.

## **CAPÍTULO 5: CONCLUSIONES**

En la experiencia realizada se determinó que las variables a las cuales esta estaría sujeta serían la adherencia, la temperatura, el material erodado y el porcentaje de cobertura vegetal.

La experiencia se realizó sin inconvenientes y bajo condiciones naturales, similar a lo que es el comportamiento de un talud de alta pendiente, por lo que la ejecución de la hidrosiembra se realizó exitosamente.

En relación a la cobertura vegetal se observó que la técnica que entregó un porcentaje más alto fue la hidrosiembra más biomanto (79%), seguido por la hidrosiembra con polímero SNF 2070 (11%), la hidrosiembra tradicional (6,5%) y finalmente la hidrosiembra más yeso agrícola (4,2%) al finalizar la sexta semana. En base a esto, y debido a la época fría, se concluye que la técnica que más promueve el crecimiento vegetal es la hidrosiembra más el biomanto, ya que provee de una importante protección contra el frío de madrugada y vectores externos tales como palomas que comían las semillas en la primera y segunda semana de la experiencia; semanas fundamentales para el proceso de germinación de estas.

En relación al material erodado, se observó una mayor cantidad en la primera y segunda semana, debido a que los taludes no contaban aun con cobertura vegetal, a excepción de los que estaban provistos de biomantos que por sus características erodan menos material, además por encontrarse en una época lluviosa, las primeras semanas erodaron también, parte del mulch de la mezcla de hidrosiembra. En la cuarta semana se observó un incremento del material erodado con respecto a la tercera semana, debido al aumento de las precipitaciones. En la quinta y la sexta semana el material erodado disminuyó, ya que la lluvia fue menor y porque la cobertura vegetal presente era mayor. La técnica que más material erodado acumuló al finalizar la sexta semana fue la hidrosiembra más yeso agrícola (19,8%), seguido de la hidrosiembra tradicional (10,2%), la hidrosiembra más polímero SNF 2070 (10,1%), y finalmente, la hidrosiembra más biomanto (3,2%).

De las variables cobertura vegetal y material erodado controladas en esta experiencia se desprende que la cantidad de material erodado es inversamente proporcional al porcentaje de cobertura vegetal.

En relación a la temperatura, la técnica que registró siempre mayor temperatura a las 10 hrs. fue la hidrosiembra más biomanto con un promedio de 2,5°C por sobre la temperatura ambiente. A

las 14 hrs. la técnica que registró la temperatura más alta siempre fue la hidrosiembra más polímero SNF 2070 con un promedio de 1°C por sobre la temperatura ambiente. Cabe destacar que la temperatura medida en la superficie de los taludes siempre fue mayor que la temperatura ambiente, ya sea a las 10 o a las 14 hrs. Es importante señalar que la técnica de hidrosiembra más biomanto regula el rango de variación de temperatura y una buena temperatura sin mayores variaciones promueve el crecimiento y desarrollo de la cobertura vegetal, por lo que en época de otoño-invierno la temperatura se considera un factor importante a controlar, sobre todo considerando las bajas temperaturas que se presentan en la madrugada.

Con respecto a la adherencia y trabajabilidad, se observa de manera visual e inmediatamente después de aplicar la hidrosiembra, que la técnica que mayor adherencia suelo-semilla presenta es la hidrosiembra más polímero SNF 2070, seguida de la hidrosiembra tradicional y la hidrosiembra más yeso agrícola. En cuanto a la trabajabilidad ninguna de estas tres técnicas presentó problemas, realizándose el proceso de mezcla y ejecución de la hidrosiembra totalmente fluido.

Finalmente, tras evaluar el comportamiento de la cobertura vegetal a través de la aplicación de distintas técnicas en base a hidrosiembra en época de otoño-invierno se recomienda utilizar la hidrosiembra en conjunto con el biomanto, debido a que provee una significativa protección contra las bajas temperaturas, vectores externos (aves) y erosión superficial producto de las lluvias, permite un alto crecimiento de cobertura vegetal y; además su composición es totalmente biodegradable, por lo tanto, no representa un problema al medio ambiente.

En relación a lo evaluado se concluye que al enfrentar la técnica de hidrosiembra más biomanto estudiada por Sáez (2015) versus la técnica de hidrosiembra más ligantes estudiada por Sanhueza (2015) donde ambas se atribuían buenos resultados en cuanto a cobertura vegetal, la técnica que entrega mejores resultados en este contexto sin lugar a dudas es la hidrosiembra más biomanto con un 79% de cobertura vegetal al terminar la experiencia versus el 11% de cobertura de la hidrosiembra más polímero SNF.

## CAPÍTULO 6: BIBLIOGRAFÍA.

- Atlas y Ulbrich (1987). “Path and Area-Integrated rainfall measurement by Microwave attenuation in the 1-3 cm band” Journal of applied meteorology. Vol. 16, pp. 1322-1331.
- Carrasco, J. y Riquelme, J. (2003). Métodos y prácticas de conservación de suelos y aguas. Instituto de investigaciones agropecuarias, INIA. Boletín N°103. Rancagua, Chile. 132 p.
- DECRETO LEY N° 3.557, (1980). Ministerio de Agricultura “disposiciones sobre protección agrícola”.
- Department of Environment and Climate Change NSW (2007). Controlling Soil Erosion on Construction Sites Using Compost Blankets, Australia.
- Gray y Sotir (1996). Biotechnical and soil bioengineering slope stabilization: a practical guide for erosion control, Universidad de Michigan, Estados Unidos.
- Hernández (2011). Influencia de la pendiente y la precipitación en la erosión de taludes desprotegidos. Departamento Ingeniería Civil, Universidad del Bío Bío, Chile.
- Humaña (2010). Evaluación de protección de taludes de alta pendiente con distintas alternativas de hidrosembado. Departamento Ingeniería Civil, Universidad del Bío Bío, Chile.
- Isla (2015). Implementación de biomanto con malla raschel y paja de trigo en taludes de alta pendiente. Departamento de Ingeniería Civil, Universidad del Bío Bío, Chile.
- Morgan (1997). Erosión y conservación del suelo, España.  
Traducción del original en inglés “Proper Mulching Techniques”, International Society of Arboriculture, Champaign, Illinois, por Sally González, Especialista en Forestación Urbana y Paisajismo del Servicio Cooperativo de Extensión, Universidad de Puerto Rico.
- Norma técnica de la ley 20089, (2005). Ministerio de Agricultura “sistema nacional de certificación de productos orgánicos agrícolas”.
- Peralta, J.M. (1993). Agentes erosivos y tipos de erosión. pp. 14-81. Tecnologías de Conservación de suelos y agua. Programa de capacitación de agentes de extensión. INIA– Serie Platina N°46. Santiago. Chile. 132 p.

- Pereira y Ramírez (2008). Bases para la implementación de un nuevo negocio para la empresa IGMA S.A., Departamento Ingeniería Industrial, Universidad del Bio Bio, Chile.
- Sáez (2015). Influencia de biomantos en la germinación de la hidrosiembra en taludes de alta pendiente. Departamento de Ingeniería Civil, Universidad del Bío Bío, Chile.
- Sanhueza (2015). Influencia de distintos ligantes en la hidrosiembra de taludes de alta pendiente. Departamento de Ingeniería Civil, Universidad del Bío Bío, Chile.
  
- Suárez (2011). Control de erosión en zonas tropicales, Instituto de Investigaciones sobre Erosión y Deslizamientos - Ingeniería de Suelos Ltda., Colombia.
- [www.reflora.jbrj.gov.br](http://www.reflora.jbrj.gov.br), acceso el 16 de Junio de 2015.
- [www.preen.com](http://www.preen.com), acceso el 16 de Junio de 2015.
- [www.floradecanarias.com](http://www.floradecanarias.com), acceso el 16 de Mayo de 2015.



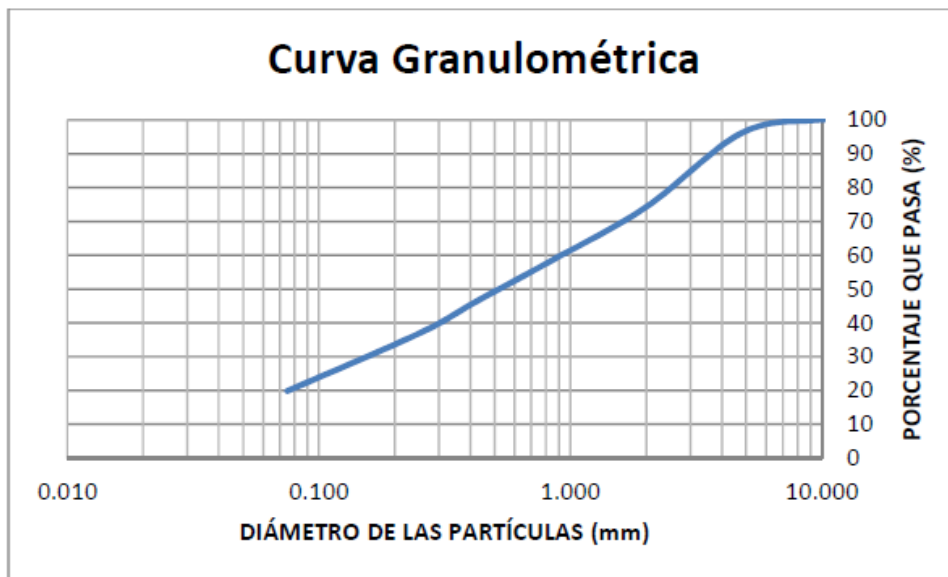
**ANEXO A MECÁNICA DE SUELOS**

**A.1 Granulometría.**

Según lo estipulado por la norma NCh. 165 of.77 se realiza la granulometría obteniendo los resultados que se muestran en la siguiente tabla:

Tamiz (N°)	Retenido parcial (g)	(%) Retenido parcial	(%) Retenido acumulado	(%) 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: Sanhueza (2015))



**Figura A1: Curva granulométrica.**

(Fuente: Sanhueza (2015))

### A.2 Límites de Atterberg.

Según las normas NCh. 1517/1 of. 1979 y NCh. 1517/2, los límites de Atterberg y límite plástico son:

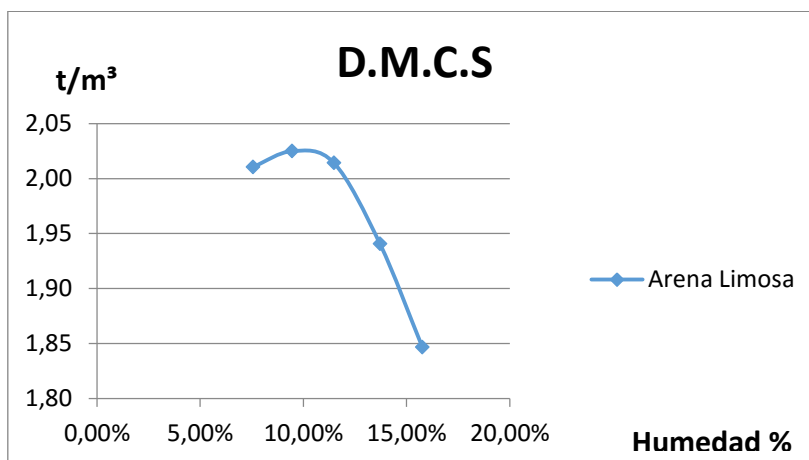
- Límite líquido: 49,4%
- Límite plástico: aunque se puede determinar el límite líquido, no es factible detectar el límite plástico acorde a la normativa empleada, por otra parte, el material presenta cualitativamente plasticidad NULA.
- Índice plástico: No procede.

### A.3 Proctor Modificado.

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

Humedad aplicada (%)	Peso molde (g)	Peso material (g)	Volumen molde (m3)	D.C.H (t/m3)	Humedad (%)	D.C.S (t/m3)
5	1823	2009	929	2.2	7.6	2.0
7	1823	2059	929	2.2	9.5	2.0
9	1823	2086	929	2.3	11.5	2.0
11	1823	2050	929	2.2	13.7	1.9
13	1823	1986	929	2.1	15.8	1.9

**Tabla A2: Datos Elaboración Proctor Modificado.**  
(Fuente: Isla (2015))



**Figura A2: Densidad máxima compactada seca.**  
(Fuente: Isla (2015))

Del gráfico se observa que la DMCS tiene un valor de  $2,02 \text{ t/m}^3$ , la cual se alcanza con una humedad óptima de 9,46%.

Talud experimental	Peso material húmedo (g)	Peso material seco (g)	Peso agua (g)	Humedad (%)	DCS (t/3)	% de la DMCS
1	22	19.2	2.8	14.6	1.3	65.7 %
2	17	14.8	2.2	14.9	1.3	65.8 %
3	27.2	23.7	3.5	14.8	1.4	66.8 %
4	22.9	19.8	3.1	15.7	1.3	65.2 %
5	19.3	16.8	2.5	14.9	1.3	66.5 %
6	11.9	10.4	1.5	14.4	1.3	65.1 %
7	19.2	16.7	2.5	15,0	1.4	68.1 %
8	15	12.9	2.1	16.3	1.3	65.9 %
9	13.8	11.9	1.9	16,0	1.4	68.9 %
10	21.8	18.9	2.9	15.3	1.4	66.8 %
11	17.7	15.8	1.9	12.0	1.3	66.2 %
12	18.1	15.8	2.3	14.6	1.3	65.1 %

**Tabla A3: Datos Compactación Material Experimentado.**  
(Fuente: Isla (2015))

Se midió las densidades en cada lisímetro, obteniendo una compactación mínima de 65,12% y una compactación máxima de 68,88%, lo que entrega una compactación promedio de 66,33% de la D.M.C.S., la que equivale a una D.C.S. de  $1,34 \text{ t/m}^3$ .

## **ANEXO B                    ELECCIÓN DE SEMILLAS, LIGANTES Y BIOMANTO.**

### **B.1 Elección de semillas.**

Para la elección de semillas se deben tomar en cuenta las características climáticas que presenta el sector donde se realizó la hidrosiembra. Desde este punto de vista la región marca la transición entre los climas templados secos de la zona central de Chile y los climas templados lluviosos que se desarrollan inmediatamente al sur del río Bío Bío. La Cordillera de la Costa presenta un clima templado húmedo, con humedad constante y precipitaciones que fluctúan entre 1200 mm y 2000 mm anuales de norte a sur de la región siendo esto propicio para el desarrollo y crecimiento de bosques nativos y diversas especies.

En base a esto, se escogieron las siguientes semillas:

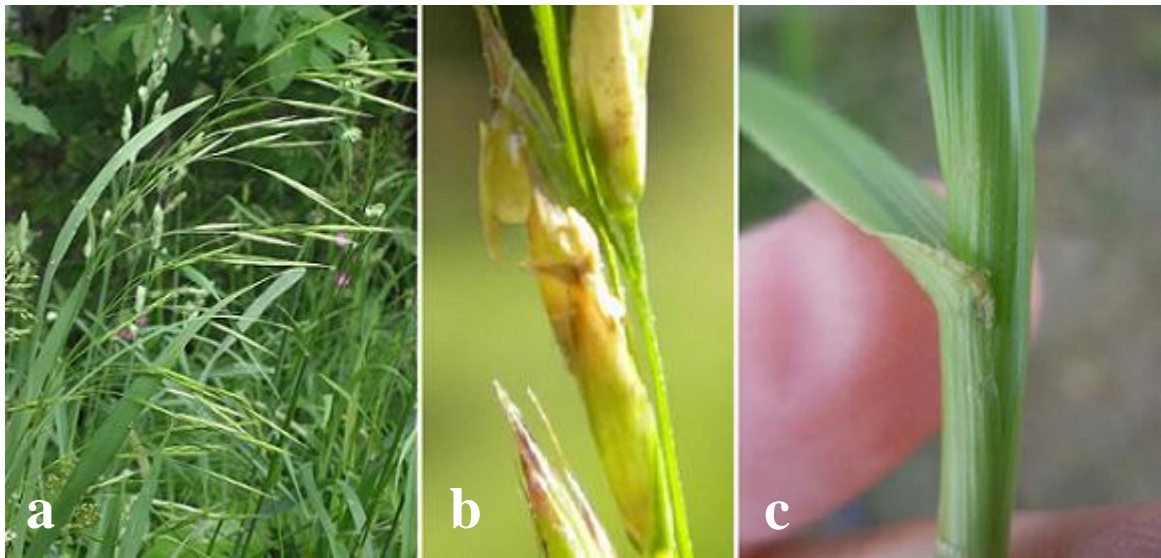
- Festuca Arundinacea
- Lolium Multiflorum (Ballica Italiana)
- Trifolium Subterraneum (Trébol Subterráneo)

A continuación se presenta una descripción de estas semillas:

#### *B.1.1 Festuca Arundinacea.*

Se conoce también como Festuca Alta o Cañuela Alta, su crecimiento es erecto y mantiene buen aspecto durante todo el año (Ver Figura B1). Sus características la hacen ideal para el control de erosión superficial en taludes ya que cuenta con un sistema radicular fibroso y champoso, llegando a profundidades de 30 a 35 cm., por lo tanto, su resistencia a la aridez es alta pues requiere muy bajos aportes de agua en comparación a otras especies y además es resistente a la extracción y al pisoteo. Las hojas nacen de la base de la planta de manera abundante y cuando estas alcanzan su madurez se vuelven rígidas y cortantes.

La Festuca Arundinacea es una planta perenne que produce gran cantidad de semillas, no obstante, su establecimiento es lento. La semilla se adapta a zonas templadas de transición como es el caso de la región del Bío Bío y se incorpora de buena manera a todo tipo de suelos, soportando terrenos secos y también enlodados.



**Figura B1. Caracterización Festuca Arundinacea: a) En su hábitat, b) Detalle de la espiga, c) Detalle de la planta.**

(Fuente: [www.reflora.jbrj.gov.br](http://www.reflora.jbrj.gov.br))

#### *B.1.2 Lolium Multiflorum.*

Se conoce también como Ballica Italiana, Lolio o Raigrás, perteneciente a la familia de las gramíneas forrajeras. Presenta tallos de 20 a 130 centímetros con una estructura erecta y delgada, presenta una ramificación baja de 2-5 por nudo; sus hojas son de color verde y delgadas en la punta (Ver Figura B2).

El *Lolium Multiflorum* crece en climas templados, zonas de cultivo o en abandono, incluso en cunetas, siendo una de sus características importantes la resistencia al frío y una de sus debilidades la sensibilidad al calor y la sequía, tanto así, que en veranos muy calurosos y secos detiene por completo su crecimiento. Se adapta en suelos de mala calidad, aunque produce menor cobertura y florece a menor altura. Es resistente al pisoteo, ya que presenta un rápido rebrote. Su germinación es de aproximadamente 5 a 7 días y su crecimiento acelerado, esto puede impedir el establecimiento de otras especies menos competitivas por lo que se debe controlar el porcentaje de *Lolium Multiflorum* en una mezcla de sembrado.



**Figura B2. Lolium multiflorum, aspecto general de la planta.**  
(Fuente: [www.preen.com](http://www.preen.com))

### *B.1.3 Trifolium Subterraneum.*

Es también conocido como Trébol Subterráneo, es considerada una leguminosa anual e invernada, cuyo origen proviene de la zona mediterránea. Posee una raíz pivotante y una cantidad importante de raíces secundarias, sus tallos son por lo general rastreros, pero también existen variedades semirectas, sus hojas son trifoliadas, suspendidas y alternas; sus folíolos suelen tener marcas de color verde claro, formando una V completa, pudiendo medir entre 30 a 33 milímetros.

Una vez que la planta se ha formado, sus flores protegen a la semilla lo que facilita su resiembra natural (Ver Figura B3). Por lo anterior el Trifolium Subterraneum se comporta como perenne en condiciones favorables, lo que lo hace adaptable para su uso en prados de larga duración (10 o más años).

El Trébol Subterráneo presenta fluctuaciones estacionales; con temprano crecimiento en otoño, disminución en invierno y aceleración rápida en primavera, lo que mantiene una elevada tasa hasta la floración, etapa donde decae y posteriormente muere.

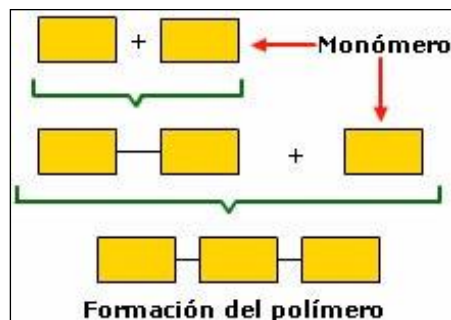


**Figura B3. Trifolium subterraneum, aspecto de la hoja.**  
(Fuente: [www.floradecanarias.com](http://www.floradecanarias.com))

## B.2 Elección de Ligantes.

### B.2.1 Polímero.

Son macromoléculas formadas por la unión de moléculas más pequeñas llamadas Monómeros, las cuales se forman en cadenas de enlaces covalentes, repitiéndose sucesivamente. La reacción por la cual se sintetiza un polímero a partir de sus monómeros se denomina polimerización. El grado de polimerización está dado por el número de monómeros que conforman su cadena polimérica. Los monómeros capaces de formar polímeros deben tener por lo menos dos núcleos activos para formar la macromolécula (Ver Figura B4). El tipo de polímero que se forme depende de la naturaleza de los grupos funcionales que lo integren, por lo que, la diferencia entre ellos radica en la forma en que se disponen los monómeros dentro del polímero.



**Figura B4: Esquema de formación del monómero**  
(Fuente: Humaña, 2010)

Los polímeros pueden ser naturales o sintéticos. Entre los polímeros naturales están los almidones, ADN, proteínas, celulosa y el caucho natural. Por otra parte los polímeros sintéticos pueden encontrarse en forma de polvo seco, gránulos o de manera líquida o gel.

El polímero que se utilizó fue el Polímero SNF 2070 de la empresa Aguas y Riles S.A., utilizado en la tesis de Humaña el año 2010. Su estructura es lineal aniónica de peso molecular medio (granulado) y su característica principal es ser superabsorbente. Los polímeros superabsorbentes tienen la capacidad de absorber muchas veces su propio peso en agua, siendo una propiedad conveniente para su uso en agricultura, ya que aumenta la capacidad de retención de agua.

El polímero SNF 2070 al entrar en contacto con el agua, se hidrata y transforma en un gel transparente (Ver Figura B5). La hidratación es completamente reversible y la partícula vuelve a su estado original en seco. El agua que contiene el gel se puede remover a partir de varios métodos, como por ejemplo, calor o presión.



**Figura B5: Polímero en contacto con el agua**  
(Fuente: Humaña, 2010)

Finalmente, las ventajas de usar el Polímero SNF 2070 como ligante son las siguientes:

- Aumenta la reserva de agua en el suelo.
- Reduce la frecuencia de riego en al menos un 50%.
- Disminuye la evacuación de nutrientes hacia la napa freática.
- Aporta agua uniformemente a las plantas, lo que mejora su productividad.
- Es un producto atóxico y biodegradable bajo la acción de los rayos UV y los ataques microbiológicos.



### B.2.2 Yeso Agrícola.

El Sulfato de Calcio Dihidratado ( $\text{CaSO}_4 \times 2\text{H}_2\text{O}$ ), conocido como Yeso Agrícola, se utiliza como fertilizante natural y como enmienda al suelo aumentando su capacidad productiva. Se presenta en una granulometría uniforme (Ver Figura B6), lo que permite una rápida disponibilidad de nutrientes.



**Figura B6: Yeso agrícola**  
(Fuente: Elaboración propia.)

El uso de yeso agrícola posee gran cantidad de ventajas, como las que se mencionan a continuación:

- Es un producto natural no tóxico, lo que permite su uso en agricultura.
- La forma de aplicarlo no necesariamente es diluido en agua, sino que también se puede esparcir en la tierra en seco, antes o durante la siembra.
- Contribuye a la germinación de las semillas además de controlar el endurecimiento del suelo.
- Provoca una mayor cantidad de poros en el suelo, ayudando a la aireación de este.
- Promueve la formación de clorofila.
- Es una importante fuente de calcio y azufre, lo que estimula el crecimiento de los cultivos y favorece la activación de las bacterias que fijan el nitrógeno.

Es debido a estas características que se decide trabajar con yeso agrícola.

### **B.3 Biomanto.**

Los biomantos son mantas utilizadas para el control de la erosión, pueden ser naturales o sintéticos, en este caso se utilizó un biomanto en base a fibra de paja con malla de polietileno ya que se degrada por si solo con el transcurso del tiempo.

La paja es el tallo seco de ciertas gramíneas, en este caso el trigo, una vez cortado y desechado, después de haber separado el grano o semilla mediante trilla. La paja en el biomanto tiene por función regular la temperatura y proteger al talud de vectores externos. Se decidió trabajar con paja de trigo porque es un material económico y presenta características favorables con el medio ambiente ya que aporta con nutrientes al suelo en el que se encuentre, crea condiciones favorables para la germinación de semillas y funciona como complemento con la malla de polietileno creando un colchón sobre el talud y por ende, protegiendo el suelo de la erosión superficial (Ver Figura B7).

Algunas de las ventajas que presenta este biomanto son:

- La paja de trigo colabora con la mantención de menores fluctuaciones de temperatura en el microclima generado entre la superficie y el biomanto.
- Control de material erodado producto de viento o lluvia.
- Promueve la germinación de las semillas administradas por la hidrosiembra.



**Figura B7: Biomanto en base a paja de trigo utilizado en la hidrosiembra.**  
(Fuente: Elaboración propia.)

**ANEXO C MEDICIONES.**

**C.1 Temperatura.**

En la siguiente tabla se muestra los promedios de las temperaturas obtenidas por las mañanas (10 hrs.) y por las tardes (14 hrs.). Se usaron promedios, ya que la diferencia de temperatura en cada repetición de hidrosiembra era mínima.

DÍA	T° AMBIENTE	FECHA	TRADICIONAL	BIOMANTO	YESO AGRÍCOLA	POLÍMERO
			T° PROMEDIO	T° PROMEDIO	T° PROMEDIO	T° PROMEDIO
1	15,2	11-may	16,1	16,9	16,0	16,9
2	13,1	12-may	14,0	14,7	14,2	14,3
3	8,0	13-may	11,8	13,1	11,9	12,2
4	13,8	14-may	15,6	15,3	15,5	15,9
5	15,2	15-may	13,9	13,4	14,1	13,6
6	12,7	18-may	12,8	13,3	12,9	12,9
7	11,0	19-may	11,6	12,6	11,7	11,8
8	6,0	20-may	6,7	7,7	6,6	6,8
9	9,8	22-may	13,6	14,9	13,7	14,0
10	2,9	25-may	3,4	5,6	3,1	3,2
11	5,0	26-may	6,2	6,6	6,9	6,2
12	3,0	27-may	3,4	5,7	3,2	3,3
13	8,4	28-may	12,2	13,6	12,3	12,6
14	10,8	29-may	11,3	12,3	11,4	11,6
15	11,6	01-jun	12,2	13,2	12,3	12,5
16	12,1	02-jun	12,6	13,6	12,8	12,9
17	9,8	03-jun	11,2	12,8	12,4	12,6
18	5,0	04-jun	5,6	7,1	6,6	6,7
19	6,2	05-jun	6,4	7,1	6,6	6,8
20	5,5	08-jun	6,1	7,4	6,4	6,5
21	5,3	09-jun	5,8	6,9	6,1	6,3
22	6,0	10-jun	6,5	7,2	6,7	6,8
23	4,7	11-jun	5,8	7,1	6,1	6,4
24	3,5	12-jun	5,5	6,7	5,6	5,7
25	2,2	15-jun	3,4	4,9	3,8	4,0
26	3,5	16-jun	5,2	6,4	5,4	5,6
27	3,9	17-jun	5,6	6,8	5,8	5,9
28	3,1	18-jun	3,6	5,4	3,8	4,1
29	4,3	19-jun	5,6	7,0	6,1	6,2

**Tabla C1: Temperatura a las 10 hrs.**  
(Fuente: Elaboración propia)

DÍA	T° AMBIENTE	FECHA	TRADICIONAL	BIOMANTO	YESO AGRÍCOLA	POLÍMERO
			T° PROMEDIO	T° PROMEDIO	T° PROMEDIO	T° PROMEDIO
1	19,0	11-may	20,5	19,9	20,0	20,8
2	15,0	12-may	16,0	15,8	16,5	16,7
3	16,1	13-may	18,2	17,1	18,2	18,5
4	15,4	14-may	17,7	16,7	17,7	17,9
5	17,2	15-may	19,3	20,1	19,4	19,6
6	16,0	18-may	18,1	17,9	18,2	18,4
7	13,2	19-may	15,3	15,2	15,5	15,6
8	11,0	20-may	13,1	13,0	13,3	13,5
9	13,0	22-may	15,1	14,9	15,4	15,4
10	11,4	25-may	13,5	13,3	13,7	13,8
11	13,0	26-may	15,1	14,9	15,3	15,4
12	13,0	27-may	16,3	14,2	16,4	16,5
13	10,2	28-may	10,4	10,2	10,3	10,5
14	14,0	29-may	15,0	14,7	15,4	15,6
15	14,0	01-jun	15,1	14,6	15,5	15,7
16	13,8	02-jun	14,9	14,5	15,3	15,4
17	15,7	03-jun	16,3	16,0	16,5	16,6
18	13,6	04-jun	12,3	12,1	12,2	12,3
19	12,0	05-jun	12,4	12,2	12,5	12,6
20	12,2	08-jun	12,6	12,3	12,8	13,0
21	11,9	09-jun	12,4	12,0	12,5	12,6
22	13,0	10-jun	13,6	13,1	13,7	13,9
23	12,6	11-jun	13,8	12,8	14,0	14,2
24	10,3	12-jun	14,3	13,2	14,4	14,5
25	11,6	15-jun	12,2	11,9	12,4	12,5
26	11,0	16-jun	11,7	11,4	11,8	12,0
27	11,4	17-jun	12,0	11,7	12,1	12,3
28	10,0	18-jun	10,5	10,2	10,7	10,9
29	13,9	19-jun	15,1	13,8	14,7	14,9

**Tabla C2: Temperatura a las 14 hrs.**  
(Fuente: Elaboración propia)

**C.2 Material Erodado.**

A continuación se presenta la información obtenida producto del análisis de material erodado semana a semana. Los datos se muestran en gramos.

*C.2.1 Material Erodado por Semana.*

*C.2.1.1 Semana 1, lunes 11 de Mayo.*

N° TALUD	PESO SECO MUESTRA TOTAL	PESO CRISOL	PESO ENTRADA CRISOL+MATERIAL	PESO SALIDA CRISOL +MATERIAL	MATERIAL QUEMADO	SUELO	% QUEMADO	MATERIAL ERODADO
1	64,7	38,8	54,1	53,3	0,8	14,5	5,2	15,3
2	15,9	38,8	52,0	51,1	0,9	12,3	6,8	13,2
3	68,7	36,1	58,7	57,3	1,4	21,2	6,2	22,6
4	17,4	20,6	35,1	34,2	0,9	13,6	6,2	14,5
5	38,7	38,6	60,3	58,9	1,4	20,3	6,5	21,7
6	10,7	38,6	46,6	45,7	0,9	7,1	11,3	8,0
7	56,4	19,9	36,4	35,6	0,8	15,7	4,8	16,5
8	20,9	22,1	29,8	28,9	0,9	6,8	11,7	7,7
9	46,2	37,3	57,4	53,2	4,2	15,9	20,9	20,1
10	9,1	36,1	42,4	42,1	0,3	6,0	4,8	6,3
11	31,1	20,3	29,6	28,7	0,9	8,4	9,7	9,3
12	12,6	23,8	28,9	27,9	1,0	4,1	19,6	5,1

**Tabla C3: Material Erodado Semana 1.**  
(Fuente: Elaboración propia)

HIDROSIEMBRA TRADICIONAL	19,0
HIDROSIEMBRA MÁS BIOMANTO	9,2
HIDROSIEMBRA CON YESO AGRICOLA	16,1
HIDROSIEMBRA CON POLIMERO	9,1

**Tabla C4: Material Erodado Promedio, Semana 1.**  
(Fuente: Elaboración propia)

C.2.1.2 Semana 2, lunes 18 de Mayo.

N° TALUD	PESO SECO MUESTRA TOTAL	PESO CRISOL	PESO ENTRADA CRISOL+MATERIAL	PESO SALIDA CRISOL +MATERIAL	MATERIAL QUEMADO	SUELO	% QUEMADO	MATERIAL ERODADO
1	31,3	38,8	50,5	49,6	0,9	10,8	7,7	11,7
2	11,6	38,8	43,7	43,3	0,4	4,5	8,2	4,9
3	37,2	36,1	60,8	57,5	3,3	21,4	13,3	24,7
4	14,0	20,6	33,4	32,5	0,9	11,9	7,0	12,8
5	27,7	38,6	57,7	56,5	1,2	17,9	6,3	19,1
6	10,1	38,6	43,5	43,2	0,3	4,6	6,1	4,9
7	49,0	19,9	32,9	31,8	1,1	11,9	8,5	13,0
8	17,3	22,1	30,5	30,0	0,5	7,9	6,0	8,4
9	31,5	37,3	53,5	52,6	0,9	15,3	5,6	16,2
10	12,0	36,1	40,9	40,4	0,5	4,3	10,4	4,8
11	35,0	20,3	31,1	30,5	0,6	10,2	5,6	10,8
12	56,0	23,8	30,6	29,4	1,2	5,6	17,6	6,8

**Tabla C5: Material Erodado Semana 2.**  
(Fuente: Elaboración propia)

HIDROSIEMBRA TRADICIONAL	15,7
HIDROSIEMBRA MÁS BIOMANTO	4,9
HIDROSIEMBRA CON YESO AGRICOLA	16,2
HIDROSIEMBRA CON POLIMERO	9,3

**Tabla C6: Material Erodado Promedio Semana 2.**  
(Fuente: Elaboración propia)

C.2.1.3 Semana 3, lunes 25 de Mayo.

N° TALUD	PESO SECO MUESTRA TOTAL	PESO CRISOL	PESO ENTRADA CRISOL+MATERIAL	PESO SALIDA CRISOL +MATERIAL	MATERIAL QUEMADO	SUELO	% QUEMADO	MATERIAL ERODADO
1	7,6	38,8	43,3	41,5	1,8	2,7	40,0	4,5
2	3,5	38,8	39,5	39,3	0,2	0,5	28,6	0,7
3	6,0	36,1	39,0	37,8	1,2	1,7	41,4	2,9
4	5,3	20,6	22,4	21,1	1,3	0,5	72,2	1,8
5	6,3	38,6	42,1	40,9	1,2	2,3	34,3	3,5
6	6,0	38,6	41,4	40,2	1,2	1,6	42,9	2,8
7	15,3	19,9	32,2	31,5	0,7	11,6	5,7	12,3
8	18,9	22,1	33,1	32,4	0,7	10,3	6,4	11,0
9	10,5	37,3	44,5	44,1	0,4	6,8	5,6	7,2
10	5,9	36,1	39,1	38,8	0,3	2,7	10,0	3,0
11	15,1	20,3	31,9	31,1	0,8	10,8	6,9	11,6
12	9,0	23,8	29,7	29,3	0,4	5,5	6,8	5,9

**Tabla C7: Material Erodado Semana 3.**  
(Fuente: Elaboración propia)

HIDROSIEMBRA TRADICIONAL	5,1
HIDROSIEMBRA MÁS BIOMANTO	2,2
HIDROSIEMBRA CON YESO AGRICOLA	8,9
HIDROSIEMBRA CON POLIMERO	6,2

**Tabla C8: Material Erodado Promedio Semana 3.**  
(Fuente: Elaboración propia)

C.2.1.4 *Semana 4, lunes 1 de Junio.*

N° TALUD	PESO SECO MUESTRA TOTAL	PESO CRISOL	PESO ENTRADA CRISOL+MATERIAL	PESO SALIDA CRISOL +MATERIAL	MATERIAL QUEMADO	SUELO	% QUEMADO	MATERIAL ERODADO
1	34,8	38,8	59,0	58,1	0,9	19,3	4,4	20,2
2	4,5	38,8	43,6	42,4	1,2	3,6	25,0	4,8
3	43,0	36,1	57,8	54,6	3,2	18,5	14,7	21,7
4	7,3	20,6	27,9	25,4	2,5	4,8	34,2	7,3
5	9,1	38,6	44,8	44,5	0,3	5,9	4,8	6,2
6	10,9	38,6	49,5	47,8	1,7	9,2	15,6	10,9
7	28,9	19,9	30,3	29,7	0,6	9,8	5,8	10,4
8	30,9	22,1	33,2	32,4	0,8	10,3	7,2	11,1
9	32,7	37,3	55,8	54,7	1,1	17,4	5,9	18,5
10	6,6	36,1	42,8	41,1	1,7	5,0	25,4	6,7
11	30,9	20,3	35,7	34,8	0,9	14,5	5,8	15,4
12	7,8	23,8	31,6	30,7	0,9	6,9	11,5	7,8

**Tabla C9: Material Erodado Semana 4.**  
(Fuente: Elaboración propia)

HIDROSIEMBRA TRADICIONAL	15,0
HIDROSIEMBRA MÁS BIOMANTO	7,5
HIDROSIEMBRA CON YESO AGRICOLA	15,8
HIDROSIEMBRA CON POLIMERO	8,7

**Tabla C10: Material Erodado Promedio Semana 4.**  
(Fuente: Elaboración propia)



C.2.1.5 Semana 5, lunes 8 de Junio.

N° TALUD	PESO SECO MUESTRA TOTAL	PESO CRISOL	PESO ENTRADA CRISOL+MATERIAL	PESO SALIDA CRISOL +MATERIAL	MATERIAL QUEMADO	SUELO	% QUEMADO	MATERIAL ERODADO
1	24,8	38,8	60,5	59,6	0,9	20,8	4,1	21,7
2	0	38,8	0	0	0	0	0	0
3	22,6	36,1	58,9	57,9	1,0	21,8	4,4	22,8
4	5,9	20,6	26,5	25,7	0,8	5,1	13,6	5,9
5	8,2	38,6	46,8	46,1	0,7	7,5	8,5	8,2
6	7,2	38,6	45,8	45,0	0,8	6,4	11,1	7,2
7	13,2	19,9	29,8	29,1	0,7	9,2	7,1	9,9
8	19,7	22,1	38,1	37,2	0,9	15,1	5,6	16,0
9	10,7	37,3	44,6	44,2	0,4	6,9	5,5	7,3
10	7,0	36,1	43,1	42,4	0,7	6,3	10,0	7,0
11	36,5	20,3	36,8	36,1	0,7	15,8	4,2	16,5
12	14,6	23,8	35,2	34,5	0,7	10,7	6,1	11,4

**Tabla C11: Material Erodado Semana 5.**  
(Fuente: Elaboración propia)

HIDROSIEMBRA TRADICIONAL	12,4
HIDROSIEMBRA MÁS BIOMANTO	4,7
HIDROSIEMBRA CON YESO AGRICOLA	16,4
HIDROSIEMBRA CON POLIMERO	11,1

**Tabla C12: Material Promedio Erodado Semana 5.**  
(Fuente: Elaboración propia)

C.2.1.6 Semana 6, lunes 15 de Junio.

N° TALUD	PESO SECO MUESTRA TOTAL	PESO CRISOL	PESO ENTRADA CRISOL+MATERIAL	PESO SALIDA CRISOL +MATERIAL	MATERIAL QUEMADO	SUELO	% QUEMADO	MATERIAL ERODADO
1	18,5	38,8	57,3	54,9	2,4	16,1	13,0	18,5
2	0	38,8	0	0	0	0	0	0
3	14,7	36,1	50,9	48,7	2,2	12,6	14,9	14,8
4	3,8	20,6	24,4	22,9	1,5	2,3	39,5	3,8
5	3,2	38,6	41,8	40,0	1,8	1,4	56,3	3,2
6	6,4	38,6	45,0	43,6	1,4	5,0	21,9	6,4
7	10,2	19,9	30,1	28,9	1,2	9,0	11,8	10,2
8	13,7	22,1	35,8	34,1	1,7	12,0	12,4	13,7
9	9,0	37,3	46,2	45,5	0,7	8,2	7,9	8,9
10	3,1	36,1	39,3	37,7	1,6	1,6	50,0	3,2
11	34,4	20,3	54,8	52,2	2,6	31,9	7,5	34,5
12	12,8	23,8	36,6	34,2	2,4	10,4	18,8	12,8

**Tabla C13: Material Erodado Semana 6.**  
(Fuente: Elaboración propia)

HIDROSIEMBRA TRADICIONAL	10,2
HIDROSIEMBRA MÁS BIOMANTO	3,2
HIDROSIEMBRA CON YESO AGRICOLA	19,8
HIDROSIEMBRA CON POLIMERO	10,1

**Tabla C14: Material Erodado Promedio Semana 6.**  
(Fuente: Elaboración propia)

	MATERIAL ERODADO (gr)					
	SEMANA 1	SEMANA 2	SEMANA 3	SEMANA 4	SEMANA 5	SEMANA 6
HIDROSIEMBRA TRADICIONAL	19,0	15,7	5,1	15,0	12,4	10,2
HIDROSIEMBRA CON BIOMANTO	9,2	4,9	2,2	7,5	4,7	3,2
HIDROSIEMBRA CON YESO AGRÍCOLA	16,1	16,2	8,9	15,8	16,4	19,8
HIDROSIEMBRA CON POLÍMERO	9,1	9,3	6,2	8,7	11,1	10,1

**Tabla C15: Tabla Resumen Cantidad Material Erodado.**  
(Fuente: Elaboración propia)

**C.3 Cobertura vegetal**

SEMANA	HIDROSIEMBRA	COBERTURA VEGETAL %			
		REPETICIÓN 1	REPETICIÓN 2	REPETICIÓN 3	PROMEDIO
1	TRADICIONAL	0,0	0,0	0,0	0,0
	CON BIOMANTO	1,9	0,7	0,5	1,0
	CON YESO	0,0	0,0	0,0	0,0
	CON POLÍMERO	0,0	0,0	0,0	0,0
2	TRADICIONAL	0,1	0,0	0,0	0,0
	CON BIOMANTO	11,8	9,7	4,2	8,6
	CON YESO	0,3	0,4	0,1	0,3
	CON POLÍMERO	0,4	0,6	0,5	0,5
3	TRADICIONAL	0,3	0,0	0,0	0,1
	CON BIOMANTO	18,6	13,1	9,0	13,6
	CON YESO	0,6	0,8	0,3	0,6
	CON POLÍMERO	0,7	0,9	0,8	0,8
4	TRADICIONAL	0,3	0,1	0,1	0,2
	CON BIOMANTO	47,6	38,8	29,2	38,5
	CON YESO	0,8	1,0	0,4	0,7
	CON POLÍMERO	1,1	1,2	1,2	1,2
5	TRADICIONAL	5,8	3,1	2,2	3,7
	CON BIOMANTO	86,1	72,7	64,8	74,5
	CON YESO	2,0	4,1	3,9	3,3
	CON POLÍMERO	12,7	8,6	6,4	9,2
6	TRADICIONAL	7,3	4,2	3,3	4,8
	CON BIOMANTO	90,2	77,3	68,4	80,1
	CON YESO	2,9	5,3	4,6	3,9
	CON POLÍMERO	14,1	10,5	7,9	11,6

**Tabla C16: Porcentaje cobertura vegetal**  
(Fuente: Elaboración propia)

	% COBERTURA VEGETAL					
	SEMANA 1	SEMANA 2	SEMANA 3	SEMANA 4	SEMANA 5	SEMANA 6
HIDROSIEMBRA TRADICIONAL	0,0	0,0	0,1	0,2	3,7	6,5
HIDROSIEMBRA CON BIOMANTO	1,0	8,6	13,6	38,5	74,5	79,0
HIDROSIEMBRA CON YESO AGRÍCOLA	0,0	0,3	0,6	0,7	3,3	4,2
HIDROSIEMBRA CON POLÍMERO	0,0	0,5	0,8	1,2	9,2	11,0

**Tabla C17: Tabla Resumen Porcentaje de Cobertura Vegetal.**  
(Fuente: Elaboración propia)

## ANEXO D                   IMÁGENES DESARROLLO DEL PROYECTO.

### D.1 Limpieza y Escarpe de Lisímetros.



**Figura D1: Lisímetros antes de limpieza.**  
(Fuente: Elaboración propia)



**Figura D2: Lisímetros después de limpieza.**  
(Fuente: Elaboración propia)

## D.2 Hidrosiembra.

### D.2.1 Dosificación.



**Figura D3: Dosificación componentes de la hidrosiembra.**  
(Fuente: Elaboración propia)



**Figura D4: Dosificación de ligantes.**  
(Fuente: Elaboración propia)

D.2.2 Aplicación.



**Figura D5: Preparación y mezcla de componentes de la hidrosiembra.**  
(Fuente: Elaboración propia)



**Figura D6: Hidrosiembra aplicada.**  
(Fuente: Elaboración propia)



**Figura D7: Repeticiones Hidrosiembra aplicada.**  
(Fuente: Elaboración propia)

### D.3 Material Erodado.

#### D.3.1 Toma de muestras.

Se extrajo una vez por semana el material erodado depositado en las canaletas a los pies de los lisímetros. Este material se introdujo en un horno a 80°C con el propósito de eliminar completamente la humedad que éste contenía.



**Figura D8:Proceso toma de muestras.**  
(Fuente: Elaboración propia)

#### D.3.2 Quema de muestras.

Una vez seco, el material se pesó y colocó en crisoles, para posteriormente quemarlo en una mufla a 550°C por 100 minutos.



**Figura D9:Muestras en crisoles y mufla en funcionamiento.**

(Fuente: Elaboración propia)

## D.4 Cobertura Vegetal.

### D.4.1 Vectores Externos.

La hidrosiembra se ve afectada por diversos factores, como lo son el viento, las bajas temperaturas por la madrugada y como se muestra a continuación, las palomas, que comían parte de las semillas de la mezcla.



**Figura D10: Vectores externos.**  
(Fuente: Elaboración propia)

### D.4.2 Crecimiento Vegetal.

#### Semana 1



**Figura D11: Cobertura semana 1**  
(Fuente: Elaboración propia)



Semana 2



**Figura D12: Cobertura semana 2.**  
(Fuente: Elaboración propia)

Semana 3



**Figura D13: Cobertura semana 3.**  
(Fuente: Elaboración propia)

Semana 4



**Figura D14: Cobertura semana 4.**

(Fuente: Elaboración propia)

Semana 5



**Figura D15: Cobertura semana 5.**

(Fuente: Elaboración propia)

Semana 6



**Figura D16: Cobertura semana 6.**  
(Fuente: Elaboración propia)