

# UNIVERSIDAD DEL BÍO BÍO

FACULTAD DE INGENIERÍA

DEPARTAMENTO INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL

Profesor Patrocinante: Carmen González Labbé.



## “INFLUENCIA DE DISTINTOS LIGANTES EN LA HIDROSIEMBRA EN TALUDES DE ALTA PENDIENTE EN TEMPORADA INVERNAL”

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

**ANDRÉS FERNANDO TORRES HERRERA.**

Concepción, Noviembre del 2017.

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco en primer lugar a Dios por permitirme llegar hasta esta instancia, por bendecirme y guiarme durante toda la vida.

A Luis Alberto Torres Rivas y Marcia Irene Herrera Cantero, mis padres quienes siempre me han apoyado incondicionalmente, no solo desde que comencé mi camino en la universidad, si no desde que soy un niño, alentándome en todo lo que me he propuesto en la vida y siempre con mucho amor.

A Luis Alberto Torres Herrera y Sebastián Alejandro Torres Herrera, mis hermanos, quienes siempre han demostrado su felicidad cada vez que obtengo algún triunfo en cualquier ámbito y su apoyo incondicional cuando no lo he logrado.

A Rupertina Rivas Montesinos, mi abuelita, quien siempre me ha dado su apoyo en lo que me propongo con mucho cariño.

A Valentina Ulloa Muñoz, mi polola, por su gran ayuda en este proceso, por su paciencia y cariños.

A los profesores de la Universidad del Bio Bio por su buena disposición para enseñar y orientarme a lo largo de todo este proceso universitario.

## ÍNDICE GENERAL

Pág.

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN .....	3
1.1 Objetivos.....	4
1.1.1 Objetivo General .....	4
1.1.2 Objetivos Específicos .....	4
CAPÍTULO 2: ANTECEDENTES GENERALES.....	5
2.1 Erosión Superficial en Taludes .....	5
2.1.1 Erosión Eólica .....	5
2.1.2 Erosión por Gotas de Lluvia.....	6
2.1.3 Erosión Laminar.....	7
2.2 Hidrosiembra y sus Componentes .....	7
2.2.1 Agua.....	7
2.2.2 Mulch.....	8
2.2.3 Semillas.....	8
2.2.4 Fertilizantes .....	8
2.2.5 Fijador o aglomerante .....	8
CAPÍTULO 3: METODOLOGIA .....	10
3.1 Lisímetros y Material de Relleno .....	10
3.1.1 Caracterización de Lisímetros.....	10
3.1.2 Caracterización material de Relleno.....	11
3.2 Elección y caracterización de ligantes.....	11
3.3 Aplicación de la Hidrosiembra.....	12
3.4 Elección y caracterización de Variables.....	13
3.4.1 temperatura.....	13
3.4.2 Material Erodado .....	13
3.4.3 Cobertura Vegetal.....	14
CAPÍTULO 4: ANALISIS DE RESULTADOS.....	15
4.1 Análisis de Adherencia y Trabajabilidad.....	15
4.1.1 Adherencia.....	15
4.1.2 Trabajabilidad.....	15
4.2 Análisis de Temperatura.....	16
4.2.1 Temperatura a Media mañana.....	16
4.2.2 Temperatura a Media Tarde.....	17
4.3 Análisis Material Erodado e Hidrosiembra Desprendida.....	18

4.3.1 Material erodado.....	18
4.3.2 Hidrosiembra Desprendida.....	19
4.4 Cobertura .....	20
4.4.1 Cobertura con Hidrosiembra Tradicional.....	21
4.4.2 Cobertura con Almidón de Maíz. ....	21
4.4.3 Cobertura con Polímero SNF 2070.....	22
4.4.2 Cobertura con Yeso Agrícola.....	22
CAPÍTULO 5: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	24
CAPÍTULO 6: BIBLIOGRAFIA.....	26
ANEXO A MECÁNICA DE SUELOS .....	27
ANEXO B ELECCIÓN DE SEMILLAS Y LIGANTES .....	30
ANEXO C MEDICIONES.....	37
ANEXO D IMÁGENES DEL DESARROLLO DEL PROYECTO .....	45

## ÍNDICE DE FIGURAS

Pág.

Figura 1. Mecanismo de erosión por acción del viento.....	6
Figura 2. Erosión por el golpe de la lluvia. ....	6
Figura 3. Proceso de erosión laminar.....	7
Figura 4. Orden Cronológico de la experiencia.....	10
Figura 5. Vista general y ubicación de lisímetros.....	11
Figura 6. Efecto de los ligantes en la adherencia.....	15
Figura 7. Procedimiento de mezcla de hidrosiembra .....	16
Figura 8. Evolución de la temperatura a media mañana (10:00 horas).....	17
Figura 9. Evolución de la temperatura a media tarde (15:00 horas) .....	17
Figura 10. Material erodado v/s tiempo .....	18
Figura 11. Hidrosiembra desprendida v/s tiempo.....	19
Figura 12. Cobertura v/s tiempo.....	20
Figura 13. Repetición representativa de hidrosiembra tradicional.....	21
Figura 14. Repetición representativa de Almidón de maíz.....	21
Figura 15. Repetición representativa de Polimero SNF 2070 .....	22
Figura 16. Repetición representativa de yeso agrícola.....	22

## ÍNDICE DE TABLAS

Pág.

Tabla 1. Rangos Utilizados en la Experiencia .....	12
--	----

## **INFLUENCIA DE DISTINTOS LIGANTES EN LA HIDROSIEMBRA EN TALUDES DE ALTA PENDIENTE EN TEMPORADA INVERNAL.**

**ANDRÉS TORRES HERRERA**

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

**CARMEN GONZÁLEZ LABBÉ**

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

### **Resumen**

En ingeniería civil, la hidrosiembra es una solución que mitiga los efectos causados por la erosión superficial en taludes de alta pendiente. Sin embargo, la erosión producida por el agua de lluvia y viento, arrastra y deposita las semillas de la hidrosiembra a los pies del talud. Es por esto que resulta necesario asegurar una germinación homogénea a lo largo y ancho del talud evitando el arrastre de semillas.

Sanhueza (2015) estudio el comportamiento de la hidrosiembra en conjunto con ligantes en época primavera-verano, obteniendo mejores resultados en cuanto a cobertura vegetal con el yeso agrícola. Si bien se atribuye buenos resultados, es necesario estudiar el comportamiento en época otoño-invierno para determinar cuál entrega mejor resultado, y así mejorar la técnica de hidrosiembra.

Se decidió realizar 3 repeticiones con pendiente de 45° a las dosificaciones de hidrosiembra con almidón de maíz, polímero SNF 2070, yeso agrícola y sin ligante, que además fueron expuestos a condiciones naturales, donde por un periodo de 6 semanas se midió la temperatura, material erodado y germinación entre los meses de julio-agosto del 2017.

Los resultados obtenidos mostraron que el mayor porcentaje de cobertura vegetal se logra con la incorporación de yeso agrícola en época invernal, teniendo un 89,0% de cobertura. La técnica que menos material eroda fue el Almidón de maíz en ambas temporadas. Además, se observa que las temperaturas varían en un rango de 2 grados Celsius entre ligantes y se obtiene mayor adherencia en el polímero SNF 2070 al incorporar la mezcla al talud.

**Palabras clave: hidrosiembra, erosión, ligante.**

**Numero de palabras: 5.720+17\*250=9.970**

## **INFLUENCE OF DIFFERENT BINDERS IN THE HYDROSEEDING IN HIGH GRADIENT SLOPES IN WINTER SEASON**

**ANDRÉS TORRES HERRERA**

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

**CARMEN GONZÁLEZ LABBÉ**

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

### **Abstract**

In civil Engineering, the hydro-seeding is a solution that reduces the effects caused by the superficial erosion in slopes of high gradients. However, wind and water erosion drags and deposits the seeds of hydro-seeding at the foot of the slope. It is necessary to ensure a homogenous germination along the length and width of the slope avoiding the drag of seeds.

Sanhueza (2015) studied the hydro-seeding's behaviour in conjunction with binders in spring-summer. Thus, he obtained good results in terms of vegetation coverage with the agricultural gypsum. Even though these results are good, it is necessary to study the behaviour in autumn-winter time to decide which result may be much more favourable and improve the hydro-seeding's technique.

It was decided to carry out three repetitions with a slope of over 45° to the dosages of hydro-seeding with cornstarch, SNF 2070 polymer and agricultural gypsum and without additives, which were exposed to natural conditions. The temperature, eroded material and germination were measured in the months of July through August in 2017 for a six-week period.

The results obtained showed that the largest percentage of vegetal coverage is achieved with the incorporation of agricultural gypsum during the winter season with an 89.0% of coverage. The technique that eroded the least material was cornstarch in both seasons. It was also observed that the temperatures vary in a range of 2°C (equivalent to 35.6°F) between binders, and by this way greater adhesion was obtained in the SNF 2070 polymer when the mixture was added to the slope.

**Keywords: hydroseeding, binder, erosion.**

## **CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN**

En el mundo actualmente existe un gran número de carreteras y caminos, los cuales se ubican entre laderas de cerros, esta condición obliga a realizar cortes, generando taludes los que se entienden como cualquier superficie inclinada respecto a la horizontal que hayan de adoptar permanentemente las masas de tierra, bien sea de forma natural o por intervención humana. Esta última conlleva efectos sobre los diferentes procesos que interactúan naturalmente sobre la superficie terrestre, tal como lo es la erosión en el suelo.

En Chile la erosión más común es la producida por el agua de lluvia (Carrasco, J. y Riquelme, J. 2003), la cual provoca inestabilidad al disminuir la resistencia de corte de los planos de falla, al disminuir la tensión normal efectiva y por ende provocando una reducción de la resistencia del terreno. Esto genera como consecuencia surcos en la superficie del talud que con el tiempo se transforman en cárcavas y finalmente conllevan al deslizamiento de la masa de suelo a lo largo de la falla, afectando a la población que circula o reside en el lugar.

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 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 al aumento en la pendiente en taludes, esto provocado por la erosión producto del viento y agua de lluvia, puesto que la semilla es arrastrada y depositada a los pies del talud dejando su cuerpo descubierto. En esta experiencia se le adiciona ligantes en la mezcla de hidrosiembra, los que actúan como una capa protectora de la superficie del talud y además adhieren de mejor forma la semilla al suelo evitando su arrastre.

Existen diversas investigaciones que apuntan al mejoramiento de la técnica de hidrosembado, una de ellas realizada por Sanhueza (2015) quien comparo la técnica de hidrosiembra en conjunto con tres ligantes diferentes que fueron el almidón de maíz, un polímero y el yeso agrícola. Obteniendo distintos resultados en cada mezcla según la variable analizada. Es importante destacar que este estudio se realiza en temporada estival y que además en el tiempo que duro el estudio no hubo presencia de precipitaciones.

Esta investigación se lleva a cabo en periodo invernal con el fin de analizar la influencia de la temporada en la cual se lleva a cabo la hidrosiembra con respecto a estudio realizado por Sanhueza (2015), con el propósito de mejorar la técnica de hidrosiembra, tanto en la adherencia como en la germinación de semillas, para promover un mayor porcentaje de cobertura vegetal.

## **1.1 Objetivos**

### *1.1.1 Objetivo General*

Analizar la influencia de la implementación de diferentes ligantes en la germinación y adherencia de hidrosiembra en taludes de alta pendiente en temporada invernal.

### *1.1.2 Objetivos Específicos*

- Determinar las variables relevantes en el hidrosembro de taludes de alta pendiente en temporada invernal.
- Desarrollar experiencia de laboratorio que permita ejecutar la condición de aplicación de hidrosiembra en taludes de alta pendiente.
- Estudiar la germinación y adherencia con distintos ligantes.
- Comparar comportamiento técnico de hidrosiembra con los distintos ligantes con estudio realizado en temporada estival.

## **CAPÍTULO 2: ANTECEDENTES GENERALES**

Este capítulo describe los componentes de la erosión superficial e identifica términos característicos para comprender hidrosiembra como medida de mitigación.

### **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.

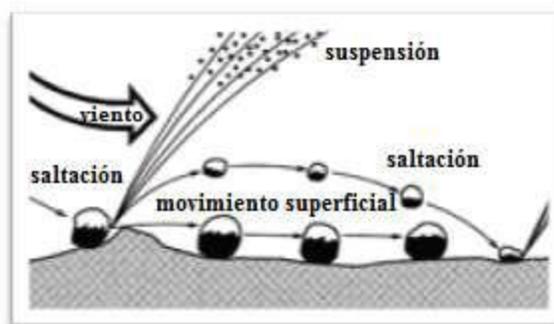
La erosión superficial puede provocar inestabilidad en los taludes, contaminación de las aguas y pérdida de fertilidad de los suelos. Es por esto que su control es necesario en todos los ámbitos del desarrollo humano. Dependiendo de la geometría, geología y método constructivo de los taludes, los tratamientos dirigidos al control de la erosión superficial varían. Principalmente la inclinación, la compactación de los materiales, el contenido de materia orgánica y otros elementos químicos y orgánicos del suelo, son factores determinantes para la revegetación y control de erosión.

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 (Ver Figura 1). 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).



**Figura 1. Mecanismo de erosión por acción del viento.**

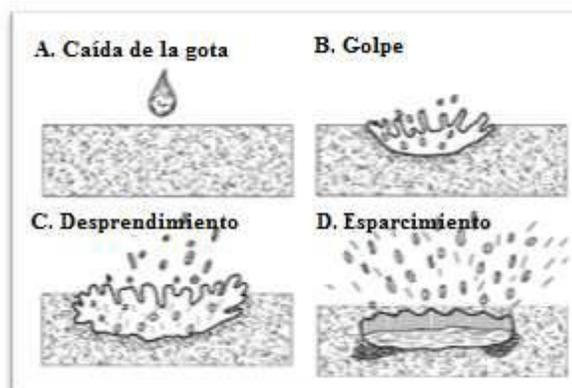
(Fuente: Suárez, 2011)

### 2.1.2 Erosión por Gotas de Lluvia

Esta erosión ocurre cuando las gotas de agua impactan sobre una superficie desprotegida, provocando el desprendimiento y la remoción 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 2).

La erosión causada por las gotas de lluvia está directamente relacionada por la cantidad, intensidad y duración de ésta. Cuando 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, en tanto su velocidad generalmente varía entre 3 a 10 metros por segundo (Atlas y Ulbrich, 1987). Para la eliminación de la erosión por gotas de lluvia se emplea la cobertura vegetal, especialmente los pastos.



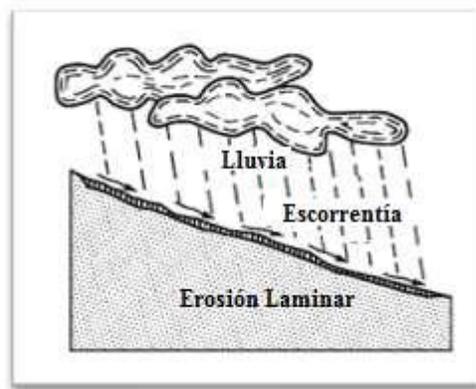
**Figura 2. Erosión por el golpe de la lluvia.**

(Fuente: Suárez, 2011)

### 2.1.3 Erosión Laminar.

La erosión laminar consiste en la separación y transporte de capas de suelo, producida por la escorrentía superficial (Ver Figura 3). El agua de lluvia parcialmente 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 (Suárez, 2011).

El flujo laminar posee poco poder erosivo, pero en sectores se torna turbulento aumentando considerablemente la capacidad de erosión. El flujo toma un color amarillento o marrón cuando se está transportando sedimentos. Este tipo de erosión es muy común en los suelos residuales y en las zonas recientemente deforestadas.



**Figura 3. Proceso de erosión laminar.**

(Fuente: Suárez ,2011)

## 2.2 Hidrosiembra y sus Componentes

La hidrosiembra es un método de cultivo de césped a través de un equipo mecánico, que consiste en la aplicación de una mezcla acuosa y homogénea de semillas, fertilizantes, mulch, fijadores y/o aditivos. A esta mezcla también puede incorporarse materia orgánica, geles absorbentes, colorantes, hormonas y otros. Esta mezcla produce una rápida siembra y posteriormente la revegetación del área de suelo intervenida. Es una de las herramientas más eficaces para controlar y prevenir la erosión y sedimentación en cortes y terraplenes de los caminos.

Los elementos que componen la hidrosiembra son naturales y se describen a continuación.

### 2.2.1 Agua

El agua es un elemento indispensable para la vida y en el caso de la hidrosiembra se toma esencial para el desarrollo de las semillas, ya que actúa como solvente, portador y acelerador de su proceso

de germinación. Además, constituye un elemento imprescindible para que las plantas sean capaces de generar su propio alimento a través del proceso de fotosíntesis.

### *2.2.2 Mulch*

El mulch está compuesto por una variedad de materiales naturales o sintéticos. Este elemento protege a la semilla de vectores externos como aves o malas hierbas, además de asegurar condiciones favorables para una rápida germinación de las semillas, moderando la temperatura, reteniendo la humedad, aportando materia orgánica, manteniendo la estructura de la superficie del suelo y protegiendo al suelo en las heladas de invierno y evita la evaporación del agua en verano.

### *2.2.3 Semillas*

Se definen como una estructura botánica destinada a la reproducción sexual o asexual de una especie (Ley N°3.557 Art. 3, 1980, Ministerio de Agricultura). Es recomendable utilizar mezcla de distintas semillas 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 elementos esenciales que componen un fertilizante son principalmente: Nitrógeno, el cual se encarga del crecimiento de la planta; potasio, responsable de la multiplicación celular y de la formación de tejidos resistentes a las temperaturas extremas y el fósforo, que favorece la maduración de flores y frutos, permitiendo desarrollar sus características particulares y la resistencia necesaria para mantenerse rígidas.

### *2.2.5 Fijador o aglomerante*

El aglomerante es un producto biodegradable o sintético, que tiene la característica de ser soluble, permeable y de formar una película elástica homogénea sobre el terreno, ayudando a prevenir la erosión. (Pereira y Ramírez, 2008).

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

terreno, formando una membrana tridimensional que retiene la semilla al suelo, permitiendo que el agua y el aire la traspasen. También soporta las heladas y es efectiva en suelos ácidos y básicos. No se rehidrata y se mantiene estable tras riegos y lluvias. Permite retener la humedad por más tiempo, protegiendo al suelo de una deshidratación rápida, aumentando las semillas germinadas. Además, se reduce la demanda de agua para las semillas.

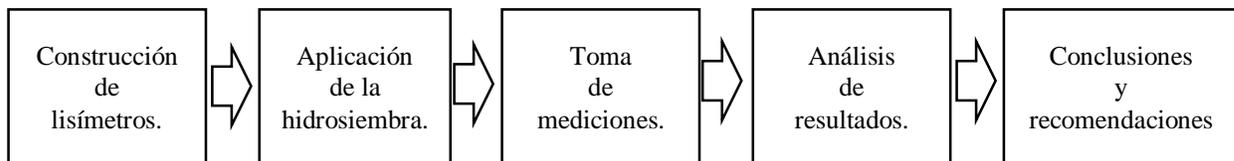
El fijador sintético ayuda a mejorar la infiltración de agua en el suelo, proporcionando mejor control de la erosión. Además, se necesita menos cantidad de este producto en comparación a uno biodegradable.

El aglomerante sintético es amigable con el medio ambiente, ya que es inocuo con los animales y plantas, descomponiéndose en un periodo de 3 a 6 meses, formando CO<sub>2</sub>, agua y nitrato de amonio.

Como no se tienen antecedentes en la zona, se propone desarrollar una investigación de acuerdo a la influencia de ligantes en la hidrosiembra, tanto en la adherencia como en la germinación de las semillas.

### CAPÍTULO 3: METODOLOGIA

Este capítulo hace referencia en forma cronológica los procedimientos realizados para llevar a cabo la experiencia (Ver Figura 4). Asimismo, se describen las variables que afectan a la germinación y adherencia de las semillas en su tiempo de crecimiento. Cabe destacar que la experiencia se realiza en época invernal con el propósito de comparar resultados con estudio realizado en época estival por Sanhueza (2015).



**Figura 4. Orden Cronológico de la experiencia.**

(Fuente Elaboración propia)

La experiencia consistió en realizar cuatro dosificaciones de hidrosiembra con los mismos componentes en igual proporción, en las que a tres de ellas se le incorporo distintos ligantes y se dejó una sin ligante, a modo de comparación.

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 homologas.

##### 3.1.1 Caracterización de Lisímetros.

Estos taludes a escala poseen las siguientes características:

- Pendiente de 45°, considerada alta en ingeniería
- Construcción con planchas de OSB, cuyas medidas son 1 m<sup>2</sup> de base y 1,22 metros de altura.
- Cada lisímetro está dividido en 2 franjas de 0.5 metros de ancho, con un área de 0,71 m<sup>2</sup> en pendiente.
- La cara expuesta de cada lisímetro está orientada hacia al noroeste, en contacto directo con las precipitaciones para encontrarse en condiciones más desfavorables (Ver Figura 5).



**Figura 5. Vista general y ubicación de lisímetros.**

(Fuente Elaboración propia)

### 3.1.2 Caracterización material de Relleno.

El material de relleno utilizado es característico de la Cordillera de la Costa, este corresponde a una arena limosa (Ver Anexo A) que contiene un escaso aporte de nutrientes y se considera representativo en la zona de Concepción. Naturalmente este material se mantiene en un rango que va desde el 60% al 80% de la densidad máxima compactada seca (D.M.C.S.) según Hernández, 2011.

Para la obtención de las características particulares del suelo se realizaron ensayos de granulometría, humedad, límites de atterberg y Proctor modificado:

- El material corresponde a una arena limosa.
- El material no presenta índices de plasticidad.
- La D.M.C.S es de  $2,04 \text{ t/m}^3$

Se controló la compactación de la capa superficial del talud (30 centímetros) con el testigo de PVC calibrado por Hernández (2011), el cual se tuvo como resultado que las doce franjas de los lisímetros se encuentran entre  $1,25 \text{ t/m}^3$  y  $1,61 \text{ t/m}^3$ , los cuales corresponden a un 61,3 % y un 78,8 % de la D.M.C.S. respectivamente.

### 3.2 Elección y caracterización de ligantes.

Existe una gran variedad de aglomerantes, en este experimento se decide utilizar el almidón de maíz, el polímero SNF 2070 y el yeso agrícola. Las características y el porqué de su elección se indican en el Anexo B.2.

### 3.3 Aplicación de la Hidrosiembra.

Se detalla a continuación los pasos que se siguieron en el hidrosebrado:

- Según el clima predominante en la región, se escogen los siguientes tipos de semillas.
  - ✓ Festuca Arundinacea (40% de la mezcla)
  - ✓ Lolium Multiflorum (40% de la mezcla)
  - ✓ Trifolium Subterraneum (20% de la mezcla)

Sus características y la razón por la que se eligió esas semillas se señalan en el Anexo B1.

- Se realizan 4 dosificaciones con diferentes ligantes y se aplican 3 repeticiones, utilizando las doce franjas disponibles en los lisímetros.
- Se prepara la mezcla de hidrosiembra dispuesta por mulch de celulosa, agua, semillas, fertilizantes y ligante correspondiente (Ver Tabla 1).
- Se aplica la mezcla correspondiente a las 4 dosificaciones.
- Se decide no promover la germinación a través de riegos, ya que la temporada en la que se realiza el experimento es lluviosa.

Se realiza una dosificación sin ligante, para luego compararla con los demás experimentos, y observar de esta manera el efecto que genera el aditivo sobre la mezcla.

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

**Tabla 1. Rangos Utilizados en la Experiencia**

Componente	Dosificación sin ligante	Dosificación Almidón de maíz	Dosificación con Polímero SNF 2070	Dosificación con Yeso Agrícola
Agua $l/m^2$	2	2	2	2
Mulch $g/m^2$	50	50	50	50
Semilla $g/m^2$	50	50	50	50
Fertilizante $g/m^2$	40	40	40	40
Ligante $g/m^2$	-	430,75	5	430,75

(Fuente: Elaboración propia)

Las dosificaciones se obtuvieron de la tesis de Sanhueza (2015). Se utilizan las mismas dosificaciones debido a que uno de los objetivos es comparar el comportamiento de la experiencia realizada en época estival versus la realizada en época invernal.

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

### **3.4 Elección y caracterización de Variables.**

Previo a la toma de mediciones es necesario escoger las variables que inciden en la germinación de las semillas. Conforme a los aspectos favorables de germinación y crecimiento de plantas, se determinó analizar la adherencia, temperatura, material erodado, hidrosiembra desprendida y cobertura vegetal.

#### *3.4.1 temperatura*

Según el tipo de semilla utilizado en la hidrosiembra, las temperaturas ideales para estas se mantienen en un rango que va desde los 9°C hasta los 25°C.

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

Para la medición de la temperatura se utilizó un termómetro de pinchar, ya que posee una mayor precisión.

#### *3.4.2 Material Erodado*

La erosión representa un problema en cuanto a la estabilidad de un talud producto a la degradación que provoca, pero además de esto, arrastra las semillas plantadas en él.

Se midió el material erodado para controlar cuan efectivo resulta ser las diferentes técnicas de hidrosembado.

El material erodado fue recibido en canaletas de PVC de 50 cm de ancho, con un despiche de 25 mm de diámetro al costado, eso con el fin de evacuar solamente el agua y no material arrastrado. De esta manera, para medir el material erodado se utilizó un horno para secar las muestras, luego son colocadas en una mufla (Ver Anexo D.3) para quemar el material orgánico y así determinar cuánto corresponde a suelo e hidrosiembra desprendida.

### *3.4.3 Cobertura Vegetal*

Según la germinación de las semillas y el comportamiento de las variables previamente descritas, se mide la cobertura vegetal. Así se determinará si la implementación de los distintos ligantes fue efectiva o no en el ámbito de la germinación.

Para medir la cobertura vegetal se utilizó el software AutoCAD por medio de polígonos que encerraran áreas donde se encuentre la vegetación, para así relacionarla con el área de cada talud, y con ello obtener el porcentaje cubierto por pasto.

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

La experiencia se desarrolló en el Campus Concepción de la Universidad del Bío Bío, desde el 30 de junio al 11 de agosto del 2017. A continuación, se detallan los resultados con sus análisis respectivos.

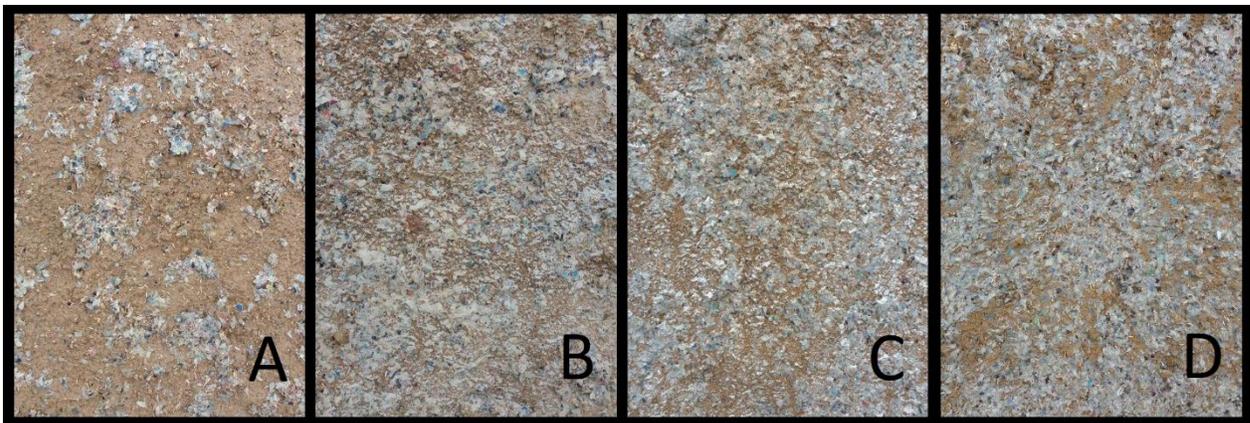
### **4.1 Análisis de Adherencia y Trabajabilidad.**

Al preparar el proceso de hidrosembro se puede verificar con que ligante la Trabajabilidad es mejor, además 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 distintas cuando entran en contacto, y se mantienen juntas en el tiempo.

Al aplicar la hidrosiembra se puede verificar rápidamente que el ligante que mejor adhiere la semilla al suelo es el polímero SNF 2070, seguido por el yeso agrícola, la hidrosiembra tradicional y por último el almidón de maíz (Ver Figura 6). Cabe destacar que se presentan las mismas observaciones en la experiencia realizada en época estival por Sanhueza (2015).



**Figura 6. Efecto de los ligantes en la adherencia.**

**A) Hidrosiembra tradicional, B) con yeso agrícola, C) con almidón, D) con polímero SNF 2070**

**(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.

Al igual que en el experimento realizado en época estival por Sanhueza (2015) el ligante que implicó más complicaciones en cuanto a su Trabajabilidad es el almidón de maíz, debido a que al

entrar en contacto con la mezcla de hidrosiembra se aglutina. Mientras que la inclusión del yeso agrícola y Polímero SNF 2070 a la hidrosiembra, no presentó ninguna dificultad en la administración de la mezcla (Figura 7).



**Figura 7. Procedimiento de mezcla de hidrosiembra.**

(Fuente: Elaboración propia)

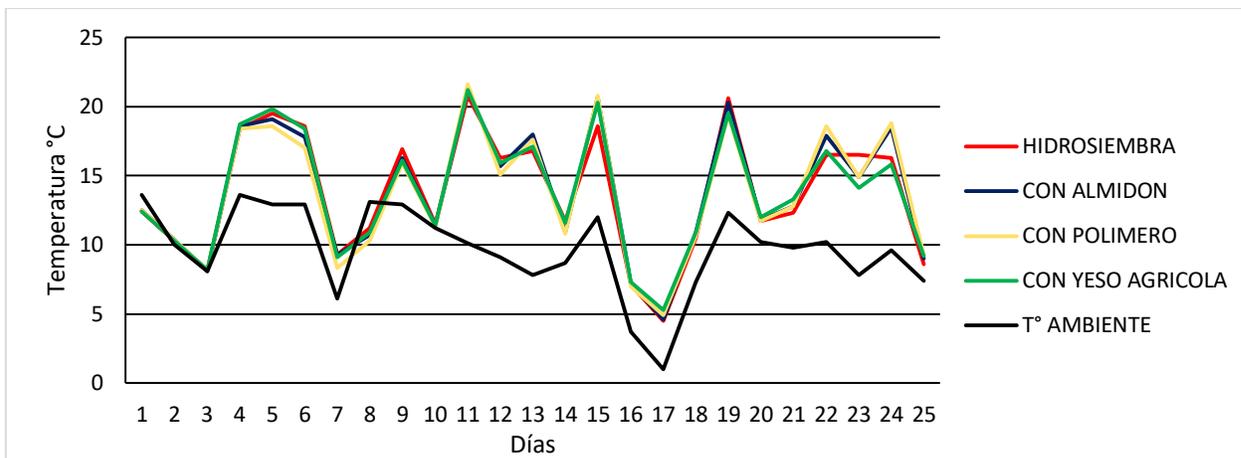
#### **4.2 Análisis de Temperatura.**

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

##### *4.2.1 Temperatura a Media mañana.*

Las mediciones de realizaron diariamente durante cinco semanas (Ver Anexo C). A partir del registro se construyó un gráfico que representa el promedio de las temperaturas de las tres repeticiones a las 10 horas v/s el tiempo en días (Ver Figura 8).

La figura 8 indica que la temperatura ambiente medida es generalmente menor en comparación a la obtenida superficialmente en los taludes. La temperatura ambiente promedio fue 9,6°C la cual es mucho menor a 16,3°C medida en época estival. Además, se observa que a medida que transcurren los días, la temperatura en los lisímetros que poseen yeso agrícola e hidrosiembra tradicional disminuyen levemente en comparación a la temperatura medida en los taludes experimentales que presentan el polímero y el almidón.



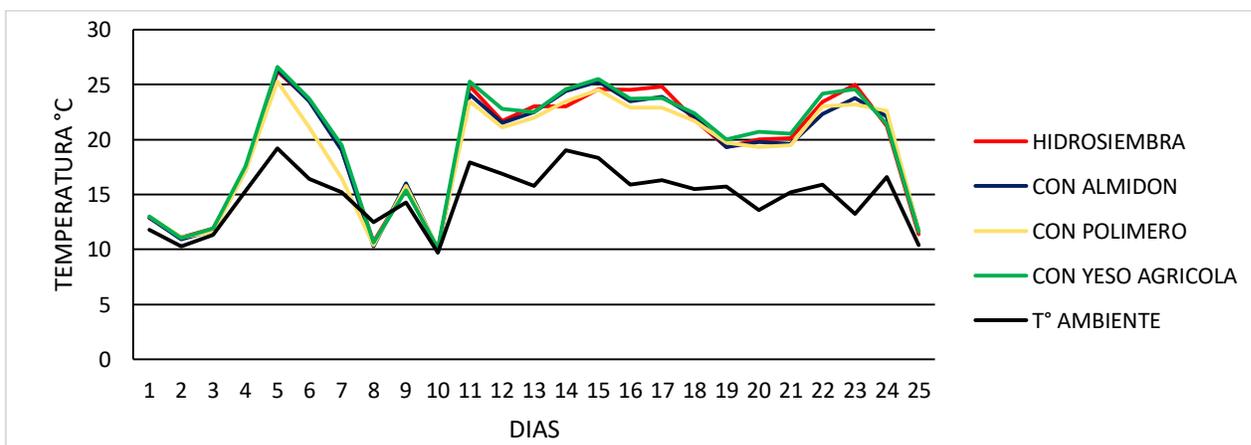
**Figura 8. Evolución de la temperatura a media mañana (10:00 horas).**

(Fuente: Elaboración propia)

#### 4.2.2 Temperatura a Media Tarde.

Las mediciones de realizaron diariamente durante cinco semanas (Ver Anexo C). A partir del registro se construyó un gráfico que representa el promedio de las temperaturas de las tres repeticiones a las 15 horas v/s el tiempo en días (Ver Figura 9).

La temperatura ambiente medida siempre es menor a la obtenida en la superficie de los taludes. Además, debido a que la experiencia se realiza temporada invernal se distinguen días en que baja considerablemente la temperatura superficial de los lisímetros. Es importante señalar que en la experiencia realizada por Sanhueza (2015) ocurre todo lo contrario, puesto a que se distingue un aumento en la temperatura superficial de los taludes. Por otro lado, la temperatura ambiente promedio fue de 14,9°C menor a la alcanzada en época estival con 22,0°C. Cabe destacar que las diferencias de temperatura entre las distintas técnicas no superan los  $\pm 2^\circ\text{C}$  en ambas experiencias.



**Figura 9. Evolución de la temperatura a media tarde (15:00 horas).**

(Fuente: Elaboración propia)

### 4.3 Análisis Material Erodado e Hidrosiembra Desprendida.

#### 4.3.1 Material erodado.

Semanalmente se hizo un control del material erodado captado en las canaletas ubicadas en los pies del talud. En la primera semana se recoge una superior cantidad de material erodado en el talud con hidrosiembra tradicional, seguido de los que contenían yeso agrícola, polímero SNF 2070 y Almidón de Maíz (Ver Figura 10), lo que guarda directa relación con una característica esencial de los aglomerantes que es prevenir la erosión superficial de taludes.

A partir de la segunda semana se observa que el material erodado recogido en los taludes con hidrosiembra con yeso agrícola y polímero aumenta casi el doble que la semana anterior, mientras que el talud con hidrosiembra tradicional disminuye en cantidad, aunque sigue siendo el que más material eroda. El talud que tiene hidrosiembra con almidón de maíz continúa siendo el que menos material se recoge en las canaletas. La semana número 4 y 5 se decide no retirar las canaletas para el control del material erodado ya que visualmente ninguna canaleta contenía material erodado u era muy despreciable, esto debido a las casi nulas precipitaciones en esas semanas (Ver Anexo C.3).

Finalmente se observa que el ligante con el cual se obtienen mejores resultados es el almidón de maíz tanto en temporada invernal como en la realizada por Sanhueza (2015) en temporada estival. Aunque, se observa que el yeso agrícola en época invernal logra mejores resultados. Cabe destacar que general hubo una mayor cantidad de material erodado total en época estival debido a que las altas temperaturas provocan una costra conformada por hidrosiembra y suelo en la superficie de los taludes que al aplicar riego es removida aumentando la cantidad de material erodado.

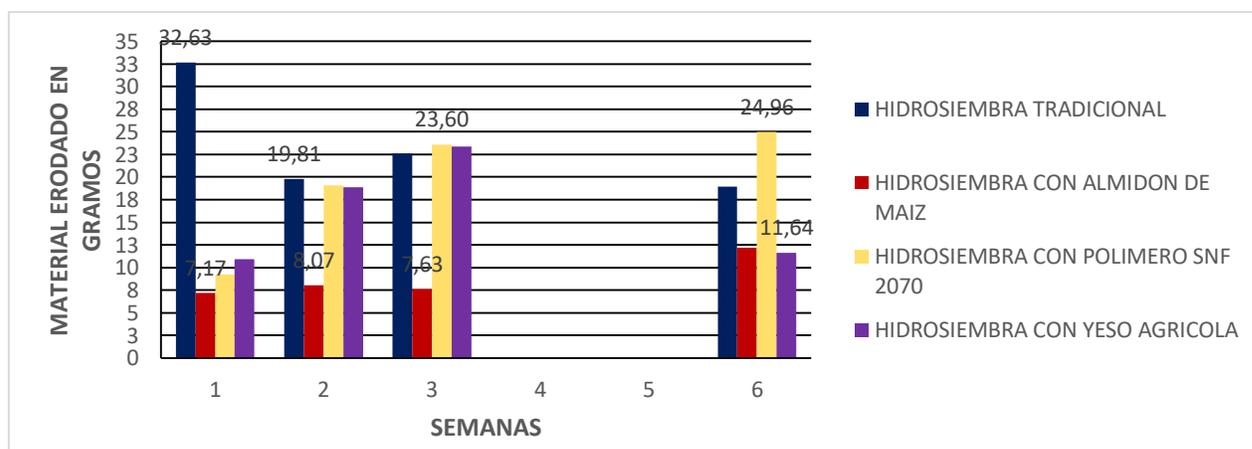


Figura 10. Material erodado v/s tiempo

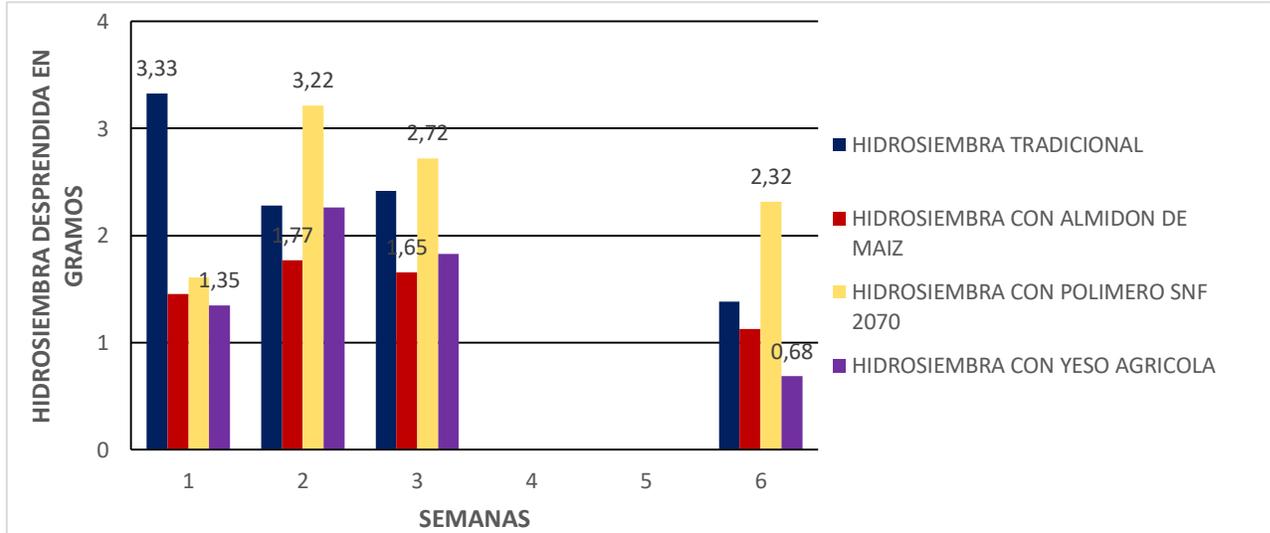
(Fuente: Elaboración propia)

### 4.3.2 Hidrosiembra Desprendida

Se observa que del material erodado, la dosificación que posee más cantidad de hidrosiembra desprendida en la primera semana es la hidrosiembra tradicional, seguido del Polímero SNF 2070, el almidón de maíz y yeso agrícola (Ver Figura 11). Aunque, desde la semana siguiente se observa que los lisímetros que presentan mayor cantidad de hidrosiembra desprendida en promedio es el Polímero SNF 2070, seguido por la hidrosiembra tradicional, Yeso agrícola y Almidón de Maíz.

Cabe destacar que los resultados obtenidos se dan para este tipo de suelo, dosificaciones, y variables que se mantienen constantes, como son las precipitaciones (Ver Anexo C.3) y exposición al sol.

En la experiencia realizada en época estival por Sanhueza (2015) se observa que el talud que tiene mejores resultados según la hidrosiembra desprendida es la hidrosiembra tradicional. No obstante, el talud con mejores resultados en época invernal según este parámetro fue el almidón de maíz, aunque esta misma mezcla obtiene muy malos resultados en la experiencia de Sanhueza (2015). Es importante señalar que la experiencia con yeso agrícola obtiene buenos resultados en ambas temporadas.



**Figura 11. Hidrosiembra desprendida v/s tiempo**

(Fuente: Elaboración propia)

#### 4.4 Cobertura

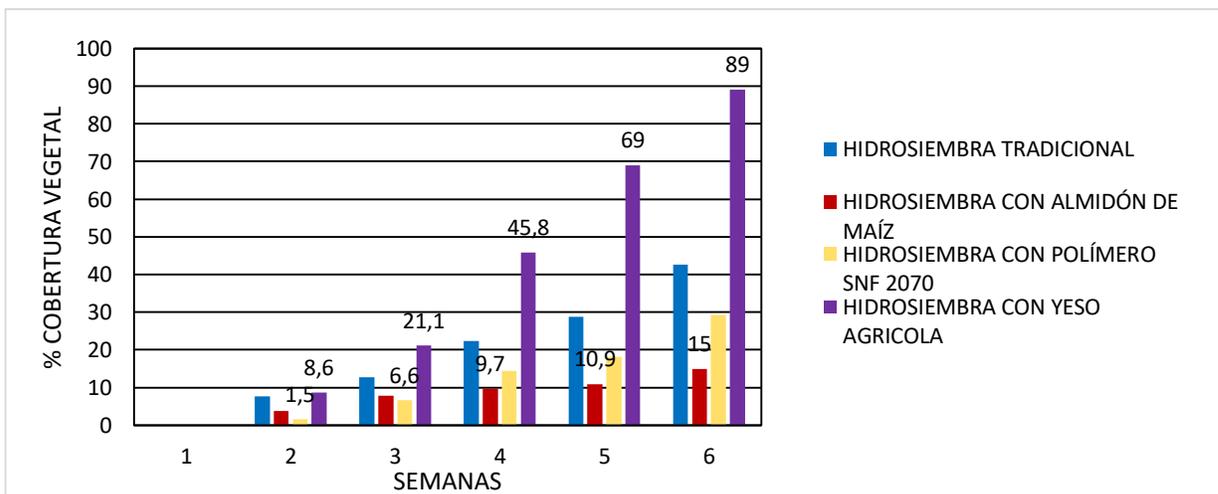
El análisis de cobertura se realizó al final de cada semana (Anexo D.4). A partir del registro se realizó el gráfico cobertura v/s tiempo (Figura 12), en el cual los resultados observados son un promedio de las tres repeticiones correspondientes a cada dosificación.

En la primera semana se observa que la cobertura vegetal en todas las muestras es cercana al 0%, aunque a partir de la semana 2 comienzan a germinar las semillas en todos los lisímetros. Por otro lado, pasar de las semanas la cobertura vegetal con yeso agrícola aumenta considerablemente con respecto a los demás experimentos.

Al finalizar la semana 6 el porcentaje de cobertura vegetal, más alto se registra en los lisímetros con yeso agrícola (89,0%), seguido por la hidrosiembra tradicional (42,6 %), polímero SNF 2070 (29,3 %) y almidón de maíz (15,0 %).

Si bien los taludes estaban ubicados en la misma orientación y mismo lugar, el proceso de germinación de semillas se ve afectado por distintos factores, como, por ejemplo: Variación entre muy altas y bajas temperaturas y/o vectores externos como aves que se comen las semillas (Ver Anexo D.4).

Al comparar las coberturas vegetales obtenidas en ambas temporadas se observa que el ligante con cobertura vegetal más alto se obtuvo con el yeso agrícola, seguido por hidrosiembra tradicional, el polímero SNF 2070 y almidón de maíz. No obstante, en época invernal se obtuvo un mayor porcentaje de cobertura en los lisímetros que se les incorporo aditivos alcanzando un 16,3% más en el ligante con yeso agrícola, 5,6% en el polímero SNF 2070 y 0,3% en el almidón de maíz.

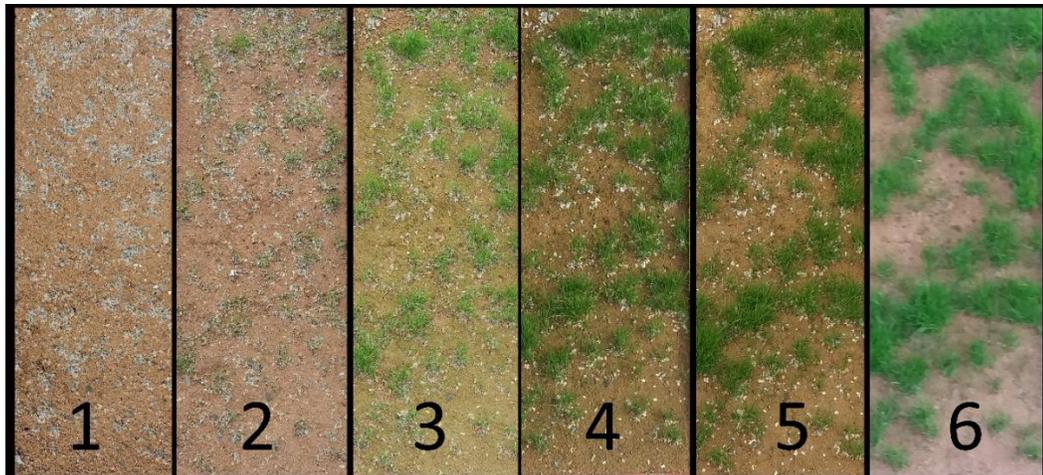


**Figura 12. Cobertura v/s tiempo**  
(Fuente: Elaboración propia)

A continuación, se ilustran las repeticiones más representativas de cobertura para cada dosificación, a lo largo de las 6 semanas.

#### 4.4.1 Cobertura con Hidrosiembra Tradicional

En la figura 13, se observa como germina la cobertura a partir de la semana 2. También se observa que la cobertura no crece en forma homogénea, a lo largo y ancho del talud experimental, debido a que las precipitaciones tenderían a arrastrar y juntar las semillas.

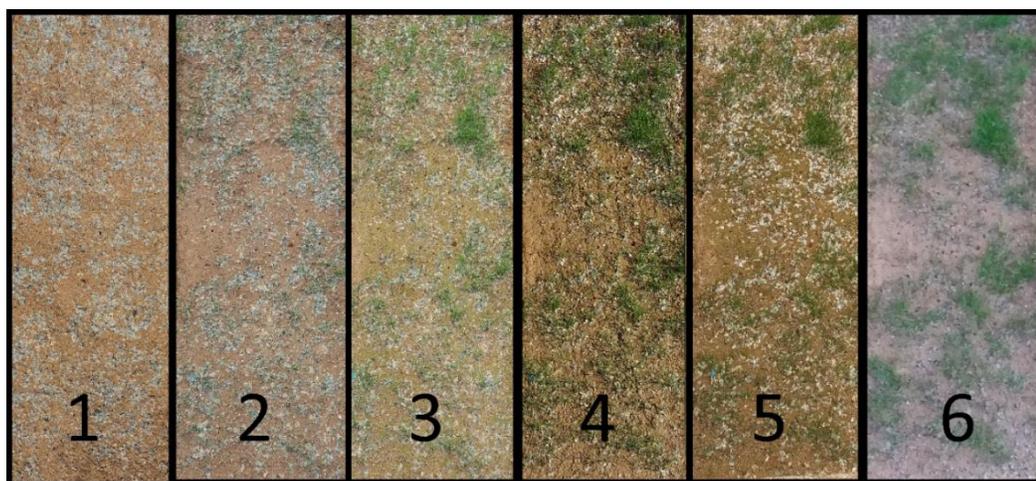


**Figura 13. Repetición representativa de hidrosiembra tradicional.**

(Fuente: Elaboración propia)

#### 4.4.2 Cobertura con Almidón de Maíz.

Respecto a la cobertura que se genera al incorporar almidón de maíz, se observa poca germinación debido a que esta quema la mayoría de las semillas, producto a su gran capacidad de adhesión, una vez seco (Ver Figura 14).



**Figura 14. Repetición representativa de Almidón de maíz.**

(Fuente: Elaboración propia)

#### 4.4.3 Cobertura con Polímero SNF 2070.

El polímero tiene la capacidad de absorber varias veces su peso en agua, es por eso que en este caso la germinación ocurre lentamente. Aunque al aumentar la temperatura ambiente, el polímero vuelve a su estado natural y libera el agua retenida.

Se observa que la mayor cantidad de cobertura vegetal es en la parte inferior del talud, esto debido a la gravedad y al escurrimiento de semillas que provocan las altas precipitaciones en esta época del año (Ver Anexo D.4), propiciando la germinación en la parte inferior del talud, en comparación de la parte superior (Ver Figura 15).



**Figura 15. Repetición representativa de Polímero SNF 2070.**

(Fuente: Elaboración propia)

#### 4.4.2 Cobertura con Yeso Agrícola.

La cobertura con yeso agrícola comienza a aparecer a partir de la semana 2 (Ver Figura 16). Esta dosificación es la que obtuvo mayor germinación, ya que este aditivo entrega nutrientes al suelo.

Se observa una cobertura homogénea a lo largo y ancho del talud experimental.

Cabe destacar que el yeso agrícola es un aditivo que incentiva el crecimiento y al transcurrir las semanas la cobertura vegetal ayuda a disminuir el material erosionado del talud.



**Figura 16. Repetición representativa de Yeso Agrícola.**

(Fuente: Elaboración propia)

## **CAPÍTULO 5: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

En el estudio realizado se determinó que las variables relevantes en el hidrosembado de taludes son el material erodado, la adherencia, la Trabajabilidad, la temperatura y el porcentaje de cobertura vegetal.

El desarrollo de la experiencia se realiza bajo condiciones adecuadas, similar al comportamiento de taludes de alta pendiente, por lo que la ejecución de la hidrosiembra se ejecuta en forma óptima. En relación a la germinación se observó al finalizar la sexta semana que el porcentaje de cobertura vegetal más alto se logra con el yeso agrícola (89,0%), seguido por la hidrosiembra tradicional (42,6%), polímero SNF 2070 (29,3%) y almidón de maíz (15,0%). Por lo tanto, el aditivo que incentiva una mayor germinación es el yeso agrícola. Cabe destacar, que el proceso de germinación se ve afectado por vectores externos como aves que se comen las semillas y además las drásticas variaciones de temperatura en la mañana y en la tarde. Por otra parte, la cobertura vegetal influye en el arrastre de material, mientras mayor sea la cobertura, menos material eroda.

Respecto al material erodado se observa que incrementa las semanas donde los lisímetros estuvieron expuestos a altas precipitaciones. Aunque, al pasar de las semanas el material erodado disminuye en los ligantes que presento mayor germinación, la cual previno una gran cantidad de erosión ya sea provocada por lluvia o viento. La técnica que eroda mas material es la hidrosiembra tradicional, seguido por el polímero SNF 2070, el yeso agrícola y almidón de maíz. También se observa que del material erodado, la dosificación que posee una mayor cantidad de hidrosiembra desprendida es el polímero SNF 2070, seguido por la hidrosiembra tradicional, yeso agrícola y almidón de maíz. Cabe destacar que estos resultados se dan para este tipo de suelo, dosificaciones y variables que se mantienen similares para todas las repeticiones tales como la temperatura y precipitaciones.

Con respecto a la temperatura, se mide una diferencia inferior a los 2°C entre las distintas dosificaciones. Además, la temperatura medida en la superficie de los taludes siempre fue mayor que la temperatura ambiente, ya sea a las 10 o a las 15 horas. Cabe destacar que en esta época se registran muy bajas temperaturas llegando a registrar en la madrugada casi 0°C.

Al comparar el comportamiento de esta experiencia realizada en época invernal versus la realizada por Sanhueza (2015) en época estival, ambas presentan mismos resultados en cuanto a Trabajabilidad y adherencia la cual se percibe de manera visual que al incorporar la mezcla de hidrosiembra al lisímetro, el ligante que presenta más adherencia es el polímero SNF 2070, seguido por el yeso agrícola, almidón de maíz y la hidrosiembra tradicional. En cuanto a la Trabajabilidad el único ligante con complicaciones para trabajar es el almidón de maíz, debido a que al entrar en contacto con la mezcla de hidrosiembra se aglutina, dificultando su disolución. También, se obtiene que en ambas experiencias el ligante con cobertura vegetal más alto se obtuvo con el yeso agrícola, seguido por hidrosiembra tradicional, el polímero SNF 2070 y almidón de maíz. No obstante, en época invernal se obtuvo un mayor porcentaje de cobertura en los lisímetros que se les incorporo aditivos alcanzando un 16,3% más en el ligante con yeso agrícola, 5,6% en el polímero SNF 2070 y 0,3% en el almidón de maíz. Con respecto al material erodado se obtienen muy buenos resultados con el almidón de maíz en ambas experiencias, aunque hubo en total mayor cantidad de material erodado en época estival, ya que debido a las altas temperaturas se produce una costra conformada por hidrosiembra y suelo en la superficie de los taludes que al aplicar riego es removida aumentando la cantidad de material erodado. Cabe destacar que la experiencia realizada en época invernal no se promueve el riego ya que se presentan precipitaciones aproximadas de 30 mm semanalmente.

Para finalizar:

Al aplicar cualquiera de estos ligantes, en estas dosificaciones y para este tipo de suelo, se reduce la cantidad de material erodado. Por lo tanto, se recomienda utilizar cualquier ligante en la hidrosiembra solamente si se considera el factor de material erodado. Pero, si se considera el factor de cobertura vegetal, ya sea para minimizar el impacto visual de una obra de ingeniería, se recomienda utilizar yeso agrícola, debido a que proporciona una mayor cobertura vegetal en un mismo periodo de tiempo, en comparación a los otros ligantes y a la hidrosiembra tradicional.

**CAPÍTULO 6: BIBLIOGRAFIA**

- 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.
- DECRETO LEY N° 3.557, 1980, Ministerio de Agricultura “disposiciones sobre protección agrícola”.
- Gray y Sotir (1996). Biotechnical and soil bioengineering slope stabilization: a practical guide for erosion control, Universidad de Michigan, Estados Unidos.
- Hernández (2011), Influencia de la pendiente y la precipitación en la erosión de taludes desprotegidos. Departamento Ingeniería Civil, Universidad del Bío Bío, Chile.
- Sanhueza (2015), Influencia de distintos ligantes en la hidrosiembra de taludes de alta pendiente. Departamento Ingeniería Civil, Universidad del Bío Bío, Chile.
- Morgan (1997), Erosión y conservación del suelo, España.
- Humaña (2010), Evaluación de protección de taludes de alta pendiente con distintas alternativas de hidrosembado, Departamento Ingeniería Civil, Universidad del Bío Bío, 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.
- Norma técnica de la ley 20089, 2005, Ministerio de Agricultura “sistema nacional de certificación de productos orgánicos agrícolas”.
- 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.
- Suárez (2011). Control de erosion en zonas tropicales, Instituto de Investigaciones sobre Erosión y Deslizamientos - Ingeniería de Suelos Ltda., Colombia.
- [www.FAGRO.EDU.uy](http://www.FAGRO.EDU.uy) , se accedió el 10 de septiembre del 2017.
- [www.asturnatura.com](http://www.asturnatura.com) se accedió el 5 de octubre del 2017.
- [www.botanicayjardines.com](http://www.botanicayjardines.com) , se accedió el 6 de octubre del 2017.

## ANEXO A MECÁNICA DE SUELOS

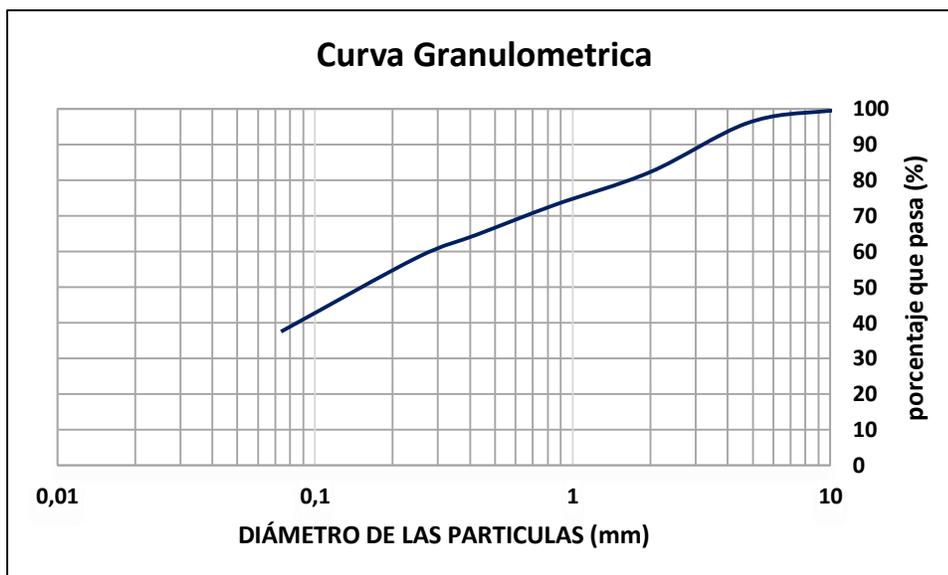
### A.1 Granulometría:

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

**Tabla A1: Granulometría.**

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

(Fuente: Elaboración propia)



**Figura A1: Curva granulométrica.**  
(Fuente: Elaboración propia)

**A.2 Límites de Atterberg.**

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

- Limite liquido: 28%
- Limite plástico: No es factible detectar el limite plástico acorde a la normativa empleada, por otra parte, el material presenta cualitativamente plasticidad NULA.
- Índice plástico: No procede.

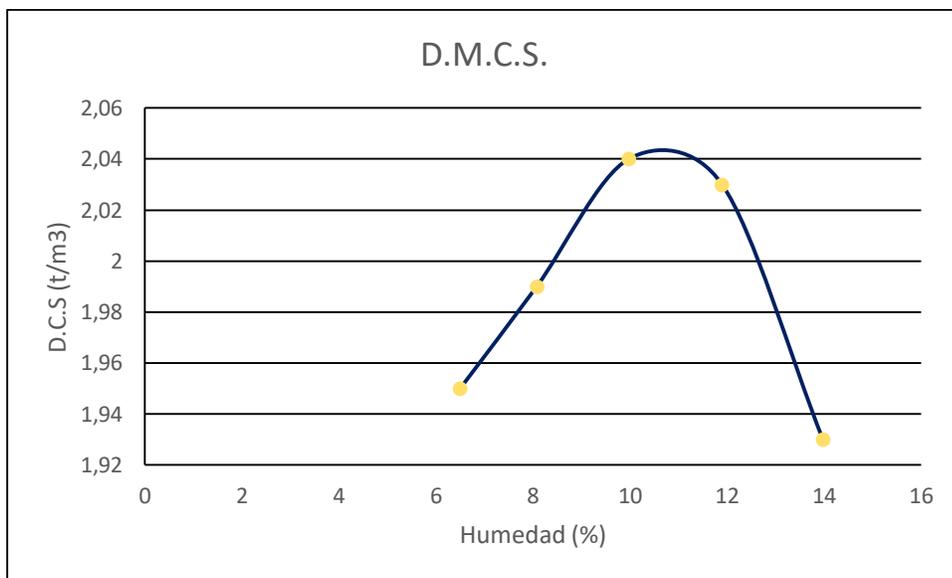
**A.3 Proctor Modificado.**

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

**Tabla A2: Datos Elaboración Proctor Modificado.**

ENSAYE N°	AGUA AGREGADA (%)	MOLDE + MATERIAL(g)	PESO MOLDE (g)	MATERIAL SOLO (g)	VOLUMEN MOLDE (cc)	D.C.H. (g/cm <sup>3</sup> )	HUMEDAD REAL (%)	D.C.S (T/m <sup>3</sup> )
1	4	3779	1818	1961	929	2,11	6,5	1,95
2	6	3820	1818	2002	929	2,16	8,08	1,99
3	8	3910	1818	2092	929	2,25	9,98	2,04
4	10	3932	1818	2114	929	2,27	11,9	2,03
5	12	3880	1818	2062	929	2,21	13,98	1,93

**(Fuente: Elaboración propia)**



**Figura A2: Densidad máxima compactada seca.**

**(Fuente: Elaboración propia)**

De la figura anterior se observa que la DMCS tiene un valor de 2,04 t/m<sup>3</sup>, la cual se alcanza con una humedad optima de 9,98%

**Tabla A3: Datos Compactación Material Experimentado.**

Talud experimental	peso material húmedo(g)	Peso material seco(g)	Peso agua (g)	Humedad (%)	DCS (t/m <sup>3</sup> )	% de la DMCS
1	15,97	13,56	2,41	17,77	1,41	69,0
2	10,51	8,88	1,63	18,36	1,61	78,8
3	14,63	12,67	1,96	15,47	1,41	69,3
4	14,94	12,64	2,3	18,20	1,25	61,3
5	15,26	13,01	2,25	17,29	1,49	73,1
6	15,30	12,89	2,41	18,70	1,29	63,5
7	17,8	15,19	2,61	17,18	1,60	78,5
8	11,69	9,74	1,95	20,02	1,29	63,5
9	15,85	13,6	2,25	16,54	1,46	71,7
10	15,82	13,44	2,38	17,71	1,38	67,7
11	16,97	14,53	2,44	16,79	1,38	67,8
12	17,79	14,75	3,04	20,61	1,45	71,1

**(Fuente: Elaboración propia)**

Se midieron las densidades en cada lisímetro, dando como resultado una compactación mínima de 61,3% y una compactación máxima de 78,8% obteniendo una compactación promedio de 69,6% de la D.M.C.S, la que equivale a una D.C.S. de 1,42 t/m<sup>3</sup>

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

### **B.1 Elección de semillas.**

Para la elección de semillas se debe tomar en consideración las características climáticas del lugar donde se realizará la hidrosiembra. La región donde se desarrolla el experimento (VII Región del Biobío) se caracteriza por marcar 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 una 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 bosque nativo y distintas especies.

En base a esto, se escogieron las siguientes semillas:

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

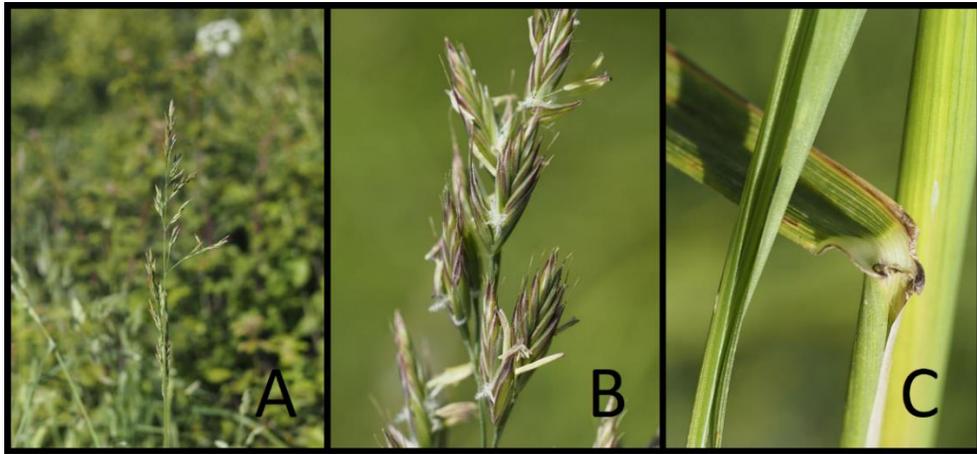
Se presenta a continuación la descripción de las semillas utilizadas:

#### *B.1.1 Festuca Arundinacea*

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

La Festuca Arundinacea es una planta que genera una gran cantidad de semillas, no obstante, su crecimiento es lento.

La semilla se adapta a zonas templadas de transición como es el caso de la Región del Biobío y presenta un buen comportamiento en terrenos secos y también enlodados.



**FIGURA B1. Caracterización Festuca Arundinacea: A) En su habitat B) Detalle de la Espiga C) Detalle de la base de la lámina.**  
(Fuente: [www.asturnatura.com](http://www.asturnatura.com))

### *B.1.2 Lolium Multiflorum*

Se conoce además como Ballica italiana, Lolio o Raigrás, perteneciente a la familia de las gramíneas. Presenta tallos de 30 a 130 cm con una estructura erecta y delgada, además de una ramificación baja de 2-5 por nudo; sus hojas son de color verde con punta delgada (Ver Figura B2).

Esta planta crece en climas templados, zonas de cultivo o en abandono, cunetas, prados y bordes de bosques, además una de sus características más importantes es la resistencia al frío, no obstante, una de sus debilidades es la sensibilidad al calor y la sequía, tanto así que en veranos calurosos y secos detienen completamente su crecimiento. Se adapta en suelos de mala calidad, aunque produce menos cobertura y florece a menor altura. Es resistente al pisoteo ya que posee un rápido rebrote. Presenta una germinación rápida de aproximadamente 5 a 7 días, y un crecimiento acelerado, esto puede impedir el establecimiento de otras especies menos competitivas en siembras densas, 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.botanicayjardines.com](http://www.botanicayjardines.com))

### B.1.3. *Trifolium Subterraneum*

Esta Planta es también conocida como Trébol Subterráneo, es una leguminosa anual e invernifera, cuyo origen proviene de la zona mediterránea. Posee una raíz pivotante y gran cantidad de raíces secundarias, sus tallos son generalmente rastreros, aunque también existen variedades semirrectas, sus hojas son trifoliadas, suspendidas, alternas; sus folíolos suelen tener marcas de color verde claro, formando una V completa, pudiendo medir entre 30 a 33 milímetros.

Después de que se forma la semilla, sus flores protegen la semilla formando un canastillo que se entierra, de esta manera facilitando su resiembra natural (Ver Figura B3). Esta característica hace que esta planta se comporte como un perenne en condiciones favorables, adaptándose para ser usado en prados de larga duración (10 o más años), y su permanencia depende de gran medida del manejo que se da en el periodo de crecimiento de la semilla.

Esta planta presenta fluctuaciones estacionales; con un temprano crecimiento en otoño, disminución en invierno y rápida aceleración en primavera, lo que mantiene una elevada tasa hasta la floración, etapa donde decae y finalmente muere.



**Figura B3. *Trifolium Subterraneum*, aspecto de la hoja en primavera e invierno.  
(Fuente: Cares, 2008)**

## B.2 Elección de ligantes

### B.2.1 Almidón de Maíz

Es conocido también como fécula de maíz o maicena. Es un polisacárido el cual está constituido por dos compuestos de distinta estructura, la amilosa y la amilopectina. Estos están constituidos por largas cadenas de moléculas de glucosa, conformando la primera el 20% del almidón y la segunda lo restante.

Este ligante se obtiene al moler los distintos tipos de maíz. Forma parte de alimentos con carbohidrato que se ingieren de forma habitual proporcionando casi el 80% de las calorías que consume el ser humano. Se debe conservar en un lugar fresco y seco, en el cual no tenga contacto con olores fuertes.

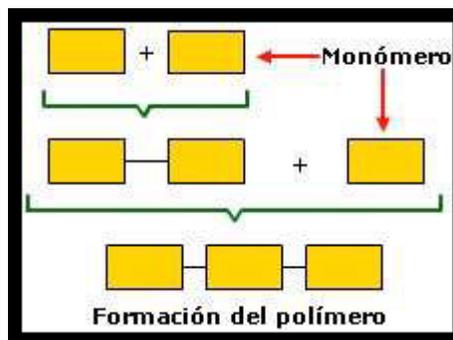
Este polisacárido se presenta como un polvo blanco muy fino (Ver Figura B4), con sabor característico. Este producto provoca gelatinización, retrogradación y gelificación. Durante la primera se produce la lixiviación de la amilosa dentro de un intervalo amplio de temperatura, donde los gránulos más grandes son los primeros en gelatinizar; la retrogradación es la insolubilización y la precipitación espontánea, principalmente de las moléculas de amilosa, debido a que sus cadenas lineales se orientan paralelamente y reaccionan entre sí por puentes de hidrógeno a través de sus múltiples hidroxilos; y finalmente, se cuenta con una excelente gelificación debido a que posee una baja viscosidad.



**Figura B4: Almidón de maíz  
(Fuente: Elaboración propia)**

### B.2.2 Polímero

Los polímeros son sustancias compuestas por 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 este 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 B5). El tipo de polímero que se forme depende de la naturaleza de los grupos funcionales que lo integren, y la diferencia entre ellos radica en la forma en que se disponen los monómeros dentro del polímero.



**Figura B5: Esquema de formación del monómero**  
(Fuente: Humaña 2010)

Los polímeros pueden ser naturales o sintéticos. Entre los naturales están los almidones, ADN, proteínas 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 SNF CHILE. Su estructura es lineal aniónica de peso molecular medio (granulado) y su característica principal es ser superabsorbente. Este tipo de Polímero tiene la capacidad de absorber muchas veces su propio peso en agua, lo que resulta conveniente para su uso en la agricultura, ya que aumenta la capacidad de retención de agua.

Al entrar al contacto con el agua, el Polímero SNF 2070 se hidrata y se transforma en un gel transparente (Ver Figura B6). La hidratación es completamente reversible ya que en seco la partícula vuelve a su estado natural. El agua contenida en el gel se puede remover por una variedad de métodos, como el calor o presión.



**Figura B6: Polímero en contacto con el agua  
(Fuente: Humaña 2010)**

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

- Aumenta en forma duradera la reserva hídrica aprovechable en suelos.
- Reduce la frecuencia de riego en al menos 50%.
- Aporte uniforme de agua a las plantas, mejorando la productividad.
- Disminución de la evacuación de nutrientes hacia la napa freática.
- Mejora la estructura del suelo.
- Nulo impacto ambiental, ya que es un producto atóxico y biodegradable bajo la acción de los rayos UV y los ataques microbiológicos.

### B.2.3 Yeso Agrícola

Es también conocido como Sulfato de Calcio Dihidratado ( $\text{CaSO}_4 \times 2\text{H}_2\text{O}$ ), se utiliza como fertilizante natural y como enmienda al suelo aumentando su capacidad productiva. Se presenta en una granulometría uniforme (Ver Figura B7), lo que permite una rápida disponibilidad de nutrientes en forma homogénea.



**Figura B7: Yeso agrícola  
(Fuente: Elaboración propia)**

A continuación, se mencionan los beneficios que proporciona el Yeso Agrícola:

- Es un producto natural no tóxico, lo que permite su uso en agricultura.
- Estimula el crecimiento radicular y vegetativo de los cultivos.
- Permite un mejor aprovechamiento de nutrientes como el potasio, fósforo y magnesio.
- La forma de aplicarlo no necesariamente es diluido en agua, sino que también se puede esparcir en la tierra en seco, antes o después de la siembra.
- Provoca una mayor cantidad de poros en el suelo, ayudando a la aireación de este.
- Interviene en la formación de clorofila.
- Mejora la tierra compactada. La compactación en suelos puede disminuir con la aplicación de yeso agrícola, sobre todo cuando se combina con la labranza profunda.
- El yeso impide el endurecimiento del suelo y ayuda a la germinación de las semillas.
- Es factible su uso en agricultura orgánica por ser un producto natural y no tóxico.

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

## ANEXO C MEDICIONES

### C.1 Temperatura

A continuación, se presentan los promedios de las repeticiones de las temperaturas medidas en horario a media mañana (10 hr) y en horario a media tarde (15 hr). Se decide trabajar con los promedios debido a que las diferencias en las repeticiones fueron mínimas.

**Tabla C1: Temperatura a las 10 hr.**

Día	Ambiente (°C)	Fecha	Tradicional (°C)	Almidón (°C)	Polímero (°C)	Yeso Agrícola (°C)
1	13,6	03-jul	12,4	12,5	12,5	12,4
2	10	04-jul	10,3	10,4	10,4	10,3
3	8,1	05-jul	8,2	8,1	8,2	8,2
4	13,6	06-jul	18,4	18,6	18,4	18,7
5	12,9	07-jul	19,5	19,1	18,6	19,8
6	12,9	10-jul	18,6	17,8	17	18,4
7	6,1	11-jul	9,3	9,3	8,3	9,1
8	13,1	12-jul	11,2	10,7	10,3	10,9
9	12,9	13-jul	16,9	16,3	15,9	16,1
10	11,2	14-jul	11,5	11,4	11,3	11,4
11	10,1	17-jul	20,8	21,3	21,6	21,2
12	9,1	18-jul	16,3	15,7	15,1	15,9
13	7,8	19-jul	16,8	18	17,6	17,1
14	8,7	20-jul	11,7	10,9	10,8	11,6
15	12	21-jul	18,6	20,7	20,8	20,3
16	3,7	24-jul	7,1	7,2	7	7,3
17	1	25-jul	4,5	4,6	4,9	5,3
18	7,3	26-jul	10,5	10,9	10,6	10,9
19	12,3	27-jul	20,6	20,3	19,4	19,5
20	10,2	28-jul	11,7	11,8	11,7	12
21	9,8	31-jul	12,3	12,8	12,8	13,3
22	10,2	01-ago	16,5	17,9	18,6	16,8
23	7,8	02-ago	16,5	14,9	14,9	14,1
24	9,6	03-ago	16,3	18,5	18,8	15,8
25	7,4	04-ago	8,6	9	9,3	9,2

(Fuente: Elaboración propia)

**Tabla C2: Temperatura a las 15 hr.**

<b>Día</b>	<b>Ambiente (°C)</b>	<b>Fecha</b>	<b>Tradicional (°C)</b>	<b>Almidón (°C)</b>	<b>Polímero (°C)</b>	<b>Yeso Agrícola (°C)</b>
1	11,8	03-jul	12,9	12,9	13	13
2	10,3	04-jul	11,1	10,9	11,1	11
3	11,3	05-jul	11,9	11,7	11,6	11,9
4	15,3	06-jul	17,2	17,2	17,1	17,6
5	19,2	07-jul	26,2	26,4	25,3	26,6
6	16,4	10-jul	23,6	23,5	21,1	23,7
7	15,2	11-jul	19,1	19	16,5	19,5
8	12,5	12-jul	10,7	10,3	10,4	10,6
9	14,3	13-jul	15,6	16	15,8	15,4
10	9,7	14-jul	9,9	10	10,1	10,1
11	17,9	17-jul	24,9	24,1	23,5	25,3
12	16,9	18-jul	21,7	21,5	21,1	22,8
13	15,8	19-jul	23	22,5	22	22,5
14	19	20-jul	23	24,4	23,5	24,6
15	18,3	21-jul	24,6	25,3	24,5	25,5
16	15,9	24-jul	24,5	23,5	22,9	23,7
17	16,3	25-jul	24,8	23,9	22,9	23,8
18	15,5	26-jul	21,8	22,1	21,7	22,4
19	15,7	27-jul	19,3	19,3	19,7	20
20	13,6	28-jul	20	19,8	19,3	20,7
21	15,2	31-jul	20,1	19,6	19,5	20,5
22	15,9	01-ago	23,4	22,3	23	24,2
23	13,2	02-ago	25	23,8	23,2	24,6
24	16,6	03-ago	21,2	22,1	22,6	21,4
25	10,4	04-ago	11,4	11,7	11,7	11,6

**(Fuente: Elaboración propia)**

## C.2 Hidrosiembra Desprendida

### C.2.1 Hidrosiembra Desprendida por Semana.

#### C.2.2.1 Semana 1 (viernes 7 de julio)

**Tabla C3: Hidrosiembra Desprendida Semana 1.**

Nº	Peso seco muestra total	Peso crisol	Peso entrada crisol + material	Peso salida crisol + material	Material quemado	Suelo	% quemado	Hidrosiembra desprendida
1	29,8	38,81	54,79	53,16	1,63	14,35	11,36	3,04
2	20,84	38,62	51,71	49,86	1,85	11,24	16,46	2,95
3	47,26	19,9	37,39	35,91	1,48	16,01	9,24	4,00
4	9,79	20,32	29,92	28,76	1,16	8,44	13,74	1,18
5	11,7	20,6	32,21	30,52	1,69	9,92	17,04	1,70
6	11,21	37,23	48,17	47,04	1,13	9,81	11,52	1,16
7	9,82	23,79	33,44	31,87	1,57	8,08	19,43	1,60
8	5,71	22,09	27,72	26,34	1,38	4,25	32,47	1,40
9	5,98	36,1	42,08	40,71	1,37	4,61	29,72	1,37
10	11,45	23,93	35,35	33,01	2,34	9,08	25,77	2,35
11	8,16	23,79	31,88	30,66	1,22	6,87	17,76	1,23
12	8,03	23,93	31,88	30,64	1,24	6,71	18,48	1,25

NOTA: LOS PESOS ESTAN EN GRAMOS

(Fuente: Elaboración propia)

**Tabla C4: Hidrosiembra Desprendida Semana 1.**

HIDROSIEMBRA	3,33 g
HIDROSIEMBRA CON ALMIDON	1,35 g
HIDROSIEMBRA CON POLIMERO	1,46 g
HIDROSIEMBRA CON YESO AGRICOLA	1,61 g

(Fuente: Elaboración propia)

C.2.2.2 Semana 2 (viernes 14 de julio)

**Tabla C5: Hidrosiembra Desprendida Semana 2.**

Nº	Peso seco muestra total	Peso crisol	Peso entrada crisol + material	Peso salida crisol + material	Material quemado	Suelo	% quemado	Hidrosiembra desprendida
1	17,48	38,81	56,12	54,02	2,1	15,21	13,80	2,12
2	19,62	38,62	58,01	55,66	2,35	17,04	13,79	2,38
3	22,34	37,23	59,31	57	2,31	19,77	11,68	2,34
4	14,53	20,32	34,64	32,67	1,97	12,35	15,95	2,00
5	19,95	19,9	33,35	31,64	1,71	11,74	14,56	2,54
6	22,13	20,6	36,77	35,13	1,64	14,53	11,28	2,24
7	7,28	23,79	30,73	29,32	1,41	5,53	25,49	1,48
8	6,96	22,09	28,82	27,09	1,73	5	34,6	1,79
9	8,85	23,93	32,68	30,67	2,01	6,74	29,82	2,03
10	19,13	36,1	55,1	51,74	3,36	15,64	21,48	3,38
11	18,81	37,23	55,54	52,42	3,12	15,19	20,53	3,21
12	19,23	36,1	54,01	51,16	2,85	15,06	18,92	3,06

NOTA: LOS PESOS ESTAN EN GRAMOS

(Fuente: Elaboración propia)

**Tabla C6: Hidrosiembra Desprendida Semana 2.**

HIDROSIEMBRA	2,28 g
HIDROSIEMBRA CON ALMIDON	1,77 g
HIDROSIEMBRA CON POLIMERO	3,22 g
HIDROSIEMBRA CON YESO AGRICOLA	2,26 g

(Fuente: Elaboración propia)

C.2.2.3 Semana 3 (viernes 21 de julio)

**Tabla C7: Hidrosiembra Desprendida Semana 3.**

Nº	Peso seco muestra total	Peso crisol	Peso entrada crisol + material	Peso salida crisol + material	Material quemado	Suelo	% quemado	Hidrosiembra desprendida
1	19,64	19,9	38,89	36,95	1,94	17,05	11,38	2,01
2	20,77	20,32	36	34,3	1,7	13,98	12,16	2,25
3	27,42	38,81	66,02	63,06	2,96	24,25	12,21	2,98
4	18,8	20,6	37,64	35,55	2,09	14,95	13,98	2,31
5	23,66	23,79	46,8	44,4	2,4	20,61	11,64	2,47
6	27,64	38,62	66,24	65,53	0,71	26,91	2,64	0,71
7	7,43	22,09	29,42	27,84	1,58	5,75	27,48	1,60
8	6,32	23,93	30,13	28,59	1,54	4,66	33,05	1,57
9	9,14	19,9	28,95	27,18	1,77	7,28	24,31	1,79
10	26,95	38,62	60,55	57,59	2,96	18,97	15,60	3,64
11	23,53	37,23	60,62	58,24	2,38	21,01	11,33	2,39
12	20,33	38,81	57,9	55,9	2	17,09	11,70	2,13

NOTA: LOS PESOS ESTAN EN GRAMOS

(Fuente: Elaboración propia)

**Tabla C8: Hidrosiembra Desprendida Semana 3.**

HIDROSIEMBRA	2,41 g
HIDROSIEMBRA CON ALMIDON	1,65 g
HIDROSIEMBRA CON POLIMERO	2,72 g
HIDROSIEMBRA CON YESO AGRICOLA	1,83 g

(Fuente: Elaboración propia)

C.2.2.4 Semana 4 (viernes 28 de julio)

Visualmente no se registra material erodado en ninguna repetición la semana 4.

C.2.2.5 Semana 5 (viernes 04 de agosto)

Visualmente no se registra material erodado en ninguna repetición la semana 5.

C.2.2.6 Semana 6 (viernes 11 de agosto)

**Tabla C9: Hidrosiembra Desprendida Semana 5.**

Nº	Peso seco muestra total	Peso crisol	Peso entrada crisol + material	Peso salida crisol + material	Material quemado	Suelo	% quemado	Hidrosiembra desprendida
1	27,98	38,62	66,5	64,8	1,7	26,18	6,49	1,71
2	15,17	38,81	53,82	52,33	1,49	13,52	11,02	1,51
3	13,78	19,9	33,22	32,31	0,91	12,41	7,33	0,94
4	8,23	23,81	31,81	31,32	0,49	7,51	6,52	0,50
5	14,58	20,6	34,75	33,85	0,9	13,25	6,79	0,93
6	12,11	20,31	31,79	31,2	0,59	10,89	5,42	0,62
7	10,49	22,09	32,03	31,12	0,91	9,03	10,08	0,96
8	12,51	23,93	35,85	34,79	1,06	10,86	9,76	1,11
9	13,6	38,81	52,01	50,74	1,27	11,93	10,65	1,31
10	23,29	38,62	60,75	58,32	2,43	19,7	12,34	2,56
11	20,27	37,24	56,84	55,22	1,62	17,98	9,01	1,68
12	31,32	36,11	59,71	57,66	2,05	21,55	9,51	2,72

NOTA: LOS PESOS ESTAN EN GRAMOS

(Fuente: Elaboración propia)

**Tabla C10: Hidrosiembra Desprendida Semana 5.**

HIDROSIEMBRA	1,38 g
HIDROSIEMBRA CON ALMIDON	1,13 g
HIDROSIEMBRA CON POLIMERO	1,32 g
HIDROSIEMBRA CON YESO AGRICOLA	0,68 g

(Fuente: Elaboración propia)

**Tabla C11: Tabla Resumen Cantidad Material Erodado.**

	MATERIAL ERODADO en gramos				
	SEMANA 1	SEMANA 2	SEMANA 3	SEMANA 4	SEMANA 5
HIDROSIEMBRA TRADICIONAL	32,63	19,81	22,61	0	18,98
HIDROSIEMBRA CON ALMIDON DE MAIZ	7,17	8,07	7,63	0	12,20
HIDROSIEMBRA CON POLIMERO 2070	9,21	19,06	23,60	0	24,96
HIDROSIEMBRA CON YESO AGRICOLA	10,9	18,87	23,37	0	11,64

(Fuente: Elaboración propia)

**Tabla C12: Tabla Resumen Cantidad Hidrosiembra Desprendida.**

	HIDROSIEMBRA DESPRENDIDA en gramos				
	SEMANA 1	SEMANA 2	SEMANA 3	SEMANA 4	SEMANA 5
HIDROSIEMBRA TRADICIONAL	3,33	2,28	2,41	0	1,38
HIDROSIEMBRA CON ALMIDON DE MAIZ	1,46	1,77	1,65	0	1,13
HIDROSIEMBRA CON POLIMERO 2070	1,61	3,22	2,72	0	2,32
HIDROSIEMBRA CON YESO AGRICOLA	1,35	2,26	1,83	0	0,68

(Fuente: Elaboración propia)

**C.2 Cobertura vegetal**

**Tabla C16: Porcentaje cobertura vegetal.**

Semana	Hidrosiembra	COBERTURA VEGETAL %			
		Repetición 1	Repetición 2	Repetición 3	Promedio
1	Tradicional	0	0	0	0
	Almidón	0	0	0	0
	Polímero	0	0	0	0
	Yeso agrícola	0	0	0	0
2	Tradicional	7,6	7,6	7,5	7,6
	Almidón	4,8	3,2	3,2	3,7
	Polímero	2,5	1,0	1,1	1,5
	Yeso agrícola	7,6	8,6	9,7	8,6
3	Tradicional	11,7	13,6	12,8	12,7
	Almidón	9,9	7,4	6,3	7,9
	Polímero	6,9	8,7	4,2	6,6
	Yeso agrícola	21,2	20,0	22,2	21,1
4	Tradicional	17,7	22,9	26,3	22,3
	Almidón	11,0	10,6	7,5	9,7
	Polímero	18,8	15,4	9,1	14,4
	Yeso agrícola	44,3	42,8	50,3	45,8
5	Tradicional	24,1	29,3	32,7	28,7
	Almidón	12,2	11,5	9,1	10,9
	Polímero	23,3	17,6	13,6	18,2
	Yeso agrícola	63,7	63,0	80,2	69,0
6	Tradicional	35,1	42,2	50,4	42,6
	Almidón	18,8	13,5	12,8	15,0
	Polímero	37,6	25,5	24,9	29,3
	Yeso agrícola	88,3	84,4	94,4	89,0

(Fuente: Elaboración propia)

### C.3 Precipitaciones.

A continuación, se presentan datos de precipitaciones durante el desarrollo de la experiencia, facilitados por el Centro de Investigación Tecnológica de la Universidad del Bío Bío.

**Tabla C17: Precipitaciones.**

jul-17		ago-17	
Día	PP(mm)	Día	PP(mm)
1	0	1	0
2	0,25	2	0
3	0	3	0
4	18,29	4	0
5	16	5	0,76
6	0,25	6	20,07
7	1,27	7	0
8	0	8	10,92
9	1,78	9	34,04
10	0	10	3,56
11	0	11	20,57
12	0	12	0
13	17,78	13	27,18
14	6,1	14	20,83
15	22,35	15	0
16	0,25	16	0
17	0	17	0
18	0	18	12,45
19	0	19	4,57
20	0	20	0,51
21	0	21	0
22	0	22	3,81
23	4,83	23	17,53
24	0	24	20,07
25	0	25	9,65
26	0	26	0
27	0	27	26,92
28	0,76	28	22,61
29	0,25	29	0
30	0	30	0
31	0	31	0
<b>Total</b>	90,16	<b>Total</b>	256,05

(Fuente: Elaboración propia)

## ANEXO D IMÁGENES DEL DESARROLLO DEL PROYECTO.

### D.1 Construcción de Lisímetros.



**Figura D1: Construcción de lisímetros.**  
(Fuente: Elaboración propia)

### D.2 Hidrosiembra

#### D.2.1 Dosificación



**Figura D2: Dosificación elementos de la hidrosiembra tradicional.**  
(Fuente: Elaboración propia)



**Figura D3: Dosificación de ligantes.**  
(Fuente: Elaboración propia)

#### *D.2.2 Aplicación hidrosiembra*



**Figura D4: Hidrosiembra aplicada**  
(Fuente: Elaboración propia)

### D.3 Material Erodado

#### D.3.1 Toma de Muestras

Semanalmente se procede a la extracción de los sedimentos depositados en las canaletas de los lisímetros.



**Figura D5: Proceso toma de muestras.**  
(Fuente: Elaboración propia)

#### D.3.2 Quema de Muestras.

Se secan las muestras en el horno por 2 días para asegurar que el material quede seco completamente, luego se pesa el material y se coloca en crisoles y se procede a calcinar las muestras por 120 minutos a 550°C en una mufla



**Figura D6: muestra en crisoles y mufla.**  
(Fuente: elaboración propia)

#### D.4 Cobertura Vegetal.

##### D.4.1 Vectores externos.

La germinación de semillas se ve afectada por vectores externos (Pájaros) la semana 1.



**Figura D7: Vectores externos semana 1  
(Fuente: Elaboración propia)**

##### D.4.2 Cobertura Vegetal

- *Semana 1*



**Figura D8: Repetición Representativa Semana 1  
(Fuente: Elaboración propia)**

- *Semana 2*



**Figura D9: Repetición Representativa Semana 2**  
(Fuente: Elaboración propia)

- *Semana 3*



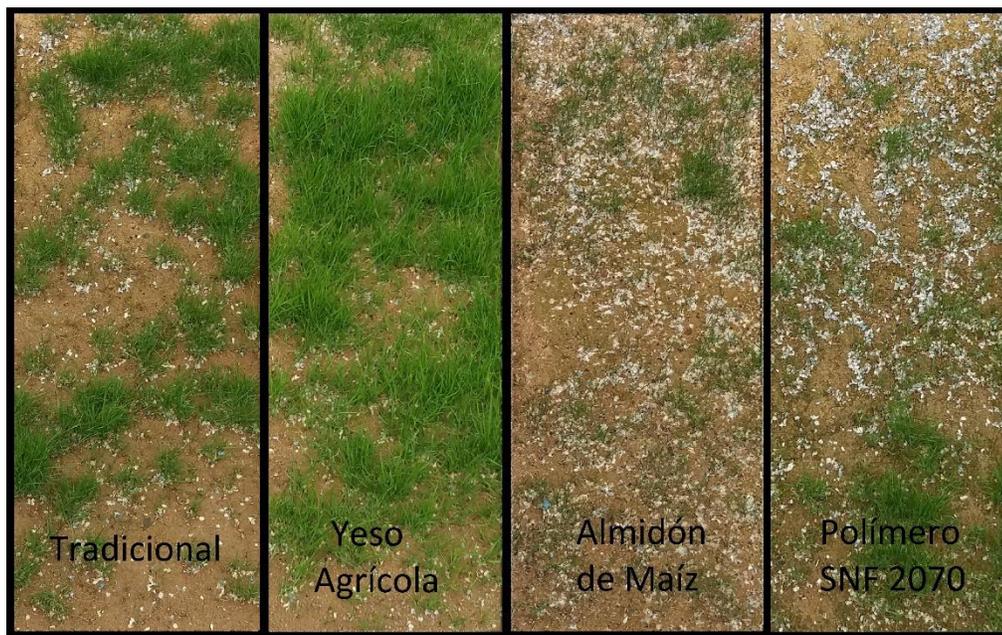
**Figura D10: Repetición Representativa Semana 3**  
(Fuente: Elaboración propia)

- *Semana 4*



**Figura D11: Repetición Representativa Semana 4**  
(Fuente: Elaboración propia)

- *Semana 5*



**Figura D12: Repetición Representativa Semana 5**  
(Fuente: Elaboración propia)

- *Semana 6*



**Figura D13: Repetición Representativa Semana 6**  
(Fuente: Elaboración propia)

- *Semana 7*



**Figura D14: Repetición Representativa Semana 7**  
(Fuente: Elaboración propia)