

UNIVERSIDAD DEL BÍO BÍO

FACULTAD DE INGENIERÍA

DEPARTAMENTO INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL

Profesor Patrocinante: Ricardo Riveros Velásquez.

**“INFLUENCIA DE DISTINTOS LIGANTES EN LA
HIDROSIEMBRA DE TALUDES DE ALTA PENDIENTE”**

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

DAGOBERTO ANTONIO SANHUEZA CARRILLO.

Concepción, Marzo del 2015.

AGRADECIMIENTOS

Quisiera agradecer a los pilares fundamentales de mi vida, a mi madre y hermano, quienes con su confianza y apoyo me brindaron las herramientas necesarias para cumplir mis metas.

También quisiera agradecer al Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, en especial a los profesores Ricardo Riveros y Miguel Orellana, quienes con su disposición y buena voluntad formaron parte de este proyecto.

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:	REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	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	La Hidrosiembra y sus Componentes	8
2.2.1	Agua	8
2.2.2	Mulch	8
2.2.3	Semillas	9
2.2.4	Fertilizantes	9
2.2.5	Fijador o aglomerante	9
CAPÍTULO 3:	METODOLOGÍA	11
3.1	Lisímetros y Material de Relleno.	11
3.1.1	Caracterización de Lisímetros.	11
3.1.2	Caracterización Material de Relleno.	12
3.2	Elección y Caracterización de Ligantes.	12
3.3	Aplicación de la Hidrosiembra	12
3.4	Elección y Caracterización de Variables	14
3.4.1	Temperatura	14
3.4.2	Material Erodado	14
3.4.3	Cobertura Vegetal	14
CAPÍTULO 4:	ANÁLISIS 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
4.4.4	Cobertura con Yeso Agrícola.	23
4.5	Resumen Variables Analizadas.	24

CAPÍTULO 5:	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	25
CAPÍTULO 6:	BIBLIOGRAFÍA	27
ANEXO A	MECÁNICA DE SUELOS	28
ANEXO B	ELECCIÓN DE SEMILLAS Y LIGANTES	31
ANEXO C	MEDICIONES	40
ANEXO D	IMÁGENES DEL DESARROLLO DEL PROYECTO.	48

ÍNDICE DE FIGURAS

Pág.

Figura 1. Mecanismo de erosión por acción del viento.	6
Figura 2. Erosion por el golpe de la lluvia.	6
Figura 3. Proceso de erosión laminar.	7
Figura 4. Vista general y ubicación de lisímetros.	11
Figura 5. Efecto de los ligantes en la adherencia.	15
Figura 6. Incorporación de almidón a la mezcla de hidrosiembra.	15
Figura 7. Evolución de la temperatura a media mañana (10:00 horas).	16
Figura 8. Evolución de la temperatura a media tarde (14:00 horas).	17
Figura 9. Material erodado v/s tiempo.	18
Figura 10. Hidrosiembra desprendida v/s tiempo.	19
Figura 11. Cobertura v/s tiempo.	20
Figura 12. Repetición representativa de hidrosiembra tradicional.	21
Figura 13. Repetición representativa de hidrosiembra con almidón de maíz.	21
Figura 14. Repetición representativa de hidrosiembra con polímero SNF 2070.	22
Figura 15. Repetición representativa de hidrosiembra con yeso agrícola.	23

ÍNDICE DE TABLAS

Pág.

Tabla 1. Rangos Utilizados en la Experiencia.	13
Tabla 2. Evaluación de la influencia de los ligantes en los parámetros analizados.	24

INFLUENCIA DE DISTINTOS LIGANTES EN LA GERMINACIÓN Y ADHERENCIA DE HIDROSIEMBRA EN TALUDES DE ALTA PENDIENTE.

DAGOBERTO SANHUEZA CARRILLO

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

RICARDO RIVEROS VELÁSQUEZ

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

Resumen

La hidrosiembra es una solución que mitiga los efectos causados por la erosión superficial en taludes de alta pendiente, siendo compatible con el medio ambiente. 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 surge la necesidad de evitar el arrastre de semillas, para así asegurar una germinación homogénea a lo largo y ancho del mismo.

En este proyecto se evaluó la implementación de distintos ligantes a la hidrosiembra en primavera, con la finalidad de ver el impacto que provocan en la adherencia y germinación de las semillas.

Para conseguir este objetivo se utilizaron 12 franjas con una pendiente de 45°. Luego, se les aplicó hidrosiembra y fueron expuestos a condiciones naturales, donde por un periodo de 30 días se midió el material erodado, temperatura, y germinación, entre los meses octubre y noviembre del 2014, incurriendo en el riego diario para promover la germinación. Además, a 9 de ellos se les incorporaron ligantes de diversas procedencias como almidón de maíz, polímero SNF 2070 y yeso agrícola.

De los resultados obtenidos se observó que la mayor germinación se obtuvo con la incorporación de yeso agrícola, teniendo un 80,7% de cobertura. Además se concluyó que las temperaturas varían en un rango de 2 grados Celsius entre ligantes y se obtiene mayor adherencia en el polímero SNF 2070, yeso agrícola, hidrosiembra tradicional y almidón de maíz respectivamente.

Palabras claves: hidrosiembra, ligante, erosión.

Número de palabras: $5333+17*250=9968$

INFLUENCE OF DIFFERENT BINDERS IN THE GERMINATION AND ADHESION OF HYDROSEEDING IN HIGH GRADIENT SLOPES

DAGOBERTO SANHUEZA CARRILLO

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

RICARDO RIVEROS VELÁSQUEZ

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

Abstract

The hydroseeding is a solution that mitigates the effects caused by the superficial erosion in high gradient slopes, being compatible with the environment. The erosion produced by rainfall and wind, drag and drops the seeds of the hydroseeding at the feet of the slope.

For this reason comes the need to prevent the entrainment of seeds, in order to ensure uniform germination far and wide of it.

In this project the implementation of different binders was evaluated in spring hydroseeding, with the aim of seeing the impact they have on the adhesion and germination of seeds.

To achieve this objective 12 stripes were used with a gradient of 45 °. Then, we applied hydroseeding and were exposed to natural conditions, where for a period of 30 days the eroded material, temperature, and germination was measured, between October and November of 2014, incurring daily watering to promote germination. Furthermore, to 9 of them were incorporated binders of diverse origin such as corn starch, SNF70 polymer and agricultural gypsum.

From the results obtained it was observed that the higher germination was obtained by incorporating agricultural gypsum, with 80,7% coverage. Also, it was concluded that temperatures vary within a range of 2 degrees Celsius between binders and higher adhesion is obtained in the SNF 2070 polymer, agricultural gypsum, traditional hydroseeding and corn starch respectively.

Keywords: hydroseeding, binder, erosion.

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

Actualmente existen en Chile una gran cantidad de carreteras y caminos que están inmersos en laderas de cerros, generalmente rodeados por taludes. Se comprende bajo el nombre genérico de talud cualquier superficie inclinada respecto a la horizontal que hayan de adoptar permanentemente las masas de tierra, bien sea en forma natural o como consecuencia de la intervención humana en una obra de ingeniería .

La intervención humana sobre la topografía a través de la excavación de taludes acarrea efectos sobre los distintos procesos que interactúan de forma natural sobre la superficie terrestre. Uno de estos procesos es la erosión en el suelo.

En Chile la erosión más común es la producida por el agua de lluvia (Carrasco y Peralta, 2003). Además, la presencia de agua en un talud reduce su estabilidad al disminuir la resistencia del terreno y por ende, aumenta la tendencia a la inestabilidad, generando una reducción en la resistencia al corte de los planos de falla, al disminuir la tensión normal efectiva. Esto genera como consecuencia el deslizamiento de la masa de suelo a lo largo de la falla, afectando a la población que reside y/o circula por el lugar.

Si no se controla la erosión superficial en los taludes se pueden provocar accidentes, presentando un peligro para la sociedad en cuanto a su seguridad. Por lo tanto, es necesario proteger los taludes para disminuir las amenazas y riesgos naturales.

La erosión del suelo es un proceso de dos fases: desprendimiento de partículas individuales de la masa del 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 fase: su deposición (Morgan, 1997).

Para la mitigación de la erosión superficial en taludes existe la hidrosiembra, la cual reduce la velocidad de la escorrentía superficial en un 14% y la pérdida de suelo en un 98%, en comparación con un talud descubierto (Department of Environment and climate Change NSW, 2007). Sin embargo la germinación de semillas es inversamente proporcional al aumento de la pendiente en taludes. La causa de esto es la erosión producida por el agua de lluvia y el viento, puesto que la semilla es arrastrada y depositada a los pies del talud, dejando su cuerpo descubierto.

Actualmente existen diversas técnicas capaces de mitigar el efecto causado por la erosión superficial de taludes, como son la inclusión de geoceldas, hormigón proyectado o hidrosiembra, entre otros.

Esta investigación tiene como propósito mejorar la hidrosiembra, tanto en la adherencia como en la germinación de las semillas, para promover un mayor porcentaje de cobertura vegetal.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo General

Analizar la influencia de la implementación de distintos ligantes en la germinación y adherencia de hidrosiembra en taludes de alta pendiente.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Determinar las variables relevantes en el hidrosembado de taludes de alta pendiente.
- Implementar 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 (almidón de maíz, polímero SNF 2070 y yeso agrícola).
- Evaluar comportamiento técnico de hidrosiembra con los diferentes ligantes.

CAPÍTULO 2: REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

En este capítulo se describen las componentes de la erosión superficial e identifican los elementos característicos para emplear la hidrosiembra como medida de mitigación.

2.1 Erosión Superficial en Taludes.

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 describen los tipos de erosión más característicos.

2.1.1 Erosión Eólica.

La erosión eólica ocurre cuando los suelos sin vegetación son expuestos a altas velocidades de viento, específicamente cuando esta velocidad supera a las fuerzas gravitacionales y cohesivas de los elementos del suelo, provocando el desprendimiento y el transporte en suspensión de las partículas.

Las partículas más pequeñas son transportadas por suspensión, las medianas a través de saltos y brincos y las más gruesas se transportan rodando (Ver Figura 1). La velocidad necesaria para que se produzca el desprendimiento de partículas de suelo es de 20 km/hr a una altura de 30 cm sobre la superficie del terreno (Gray y Sotir, 1996).

Éste tipo de erosión es muy común en áreas de baja precipitación fluvial (menos de 375 mm / año) 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).

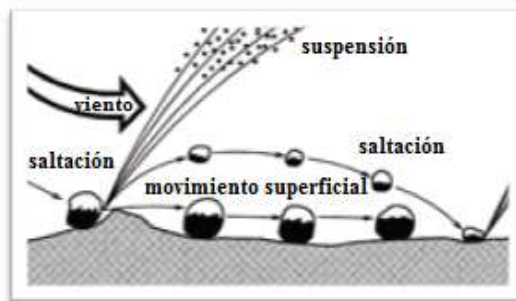


Figura 1. Mecanismo de erosión por acción del viento.

(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.

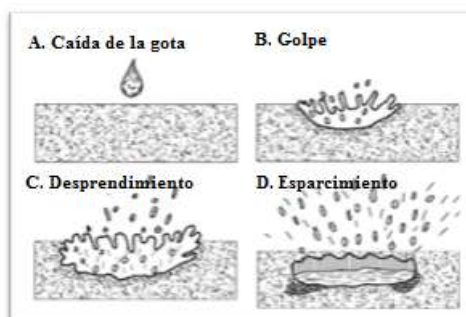


Figura 2. Erosion por el golpe de la lluvia.

(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.

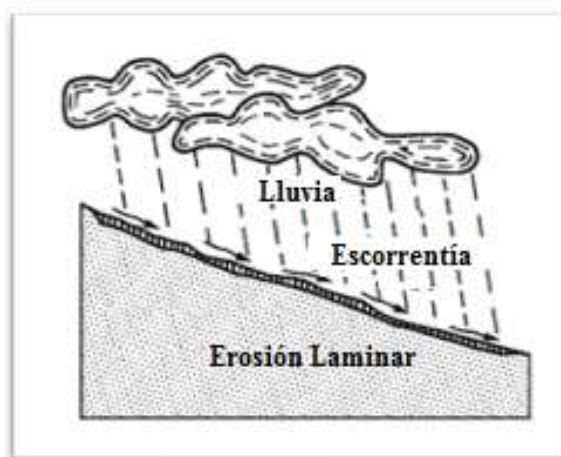


Figura 3. Proceso de erosión laminar.

(Fuente: Suárez ,2011)

2.2 La Hidrosiembra y sus Componentes

La hidrosiembra es un método de cultivo de césped inventado en Estados Unidos en 1953 , que consiste en la aplicación de una mezcla acuosa de semillas, fertilizantes, mulch, fijadores y/o aditivos, a la que también puede incorporarse materia orgánica, geles absorbentes, colorantes, hormonas y otros. Ésta mezcla se aplica sobre terrenos con declives o con poca vegetación, con la finalidad de producir una rápida revegetación del suelo en el área intervenida.

Este método es considerado como una de las herramientas más eficaces en el control y prevención de erosión superficial debido a que puede ser aplicada sobre diferentes tipos y calidades de suelo, entregando estabilización en terraplenes y taludes generados por la construcción de caminos.

Actualmente existe una creciente preocupación por el paisaje, por lo que no basta con el diseño de una carretera, sino que también ésta se integre con su entorno. La hidrosiembra es una buena opción en comparación a soluciones similares que mitigan la erosión superficial, como es la incorporación de geoceldas, hormigón proyectado, entre otras, que no tienen los mismos atributos ambientales debido a que resultan más invasivas.

Los componentes de la hidrosiembra son naturales y se describen brevemente a continuación.

2.2.1 Agua

El agua es un elemento imprescindible para la vida y en el caso de la hidrosiembra es de vital importancia, debido a que el agua actúa como solvente, portador y acelerador del proceso de germinación de las semillas.

Las plantas necesitan agua para realizar la fotosíntesis, debido a que es el único elemento en el que pueden disolverse las diferentes sales presentes en el suelo. La fotosíntesis es un proceso por el cual las plantas fabrican las sustancias que les son necesarias para su nutrición y desarrollo.

2.2.2 Mulch

El mulch está compuesto por una variedad de materiales, tanto naturales como sintéticos, orgánicos e inorgánicos. Este elemento protege a la semilla de vectores externos como aves o malas hierbas. Además, evita que el suelo quede en contacto con el aire, por lo tanto, protege al suelo en las heladas en invierno y evita la evaporación del agua en verano, entre otros beneficios.

2.2.3 *Semillas*

Las semillas son una estructura botánica destinada a la reproducción sexuada o asexuada de una especie (Ley N° 3.557 Art. 3, 1980, Ministerio de Agricultura). Para la hidrosiembra es recomendable utilizar mezcla de distintas semillas. Éstas deben ser especies que se adapten a las condiciones del clima y desarrollarse con un mínimo aporte de agua. Además, deben ser de fácil propagación, 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° 20089 DS17, 2005, Ministerio de Agricultura).

La aplicación de fertilizantes tiene por objetivo entregar a las plantas el complemento nutricional necesario para que éstas se desarrollen apropiadamente y logren tasas de crecimiento que satisfagan los requerimientos de los propietarios de las plantaciones. Para ello, es preciso considerar las características físicas y químicas de los suelos, las dosis y la época de aplicación de nutrientes, las características de la especie, y finalmente, el clima local que predomina en un sitio determinado. Esto permite emplear la combinación óptima entre suelo, planta y clima (Toro, 1995).

Los elementos esenciales que contiene un fertilizante son los siguientes: Nitrógeno, elemento encargado del crecimiento de la planta; potasio, responsable de la multiplicación celular y de la formación de tejidos resistentes a las temperaturas extremas, y finalmente el fósforo, elemento 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 aglomerante biodegradable sirve para proteger la semilla y al suelo de la erosión superficial. Este producto forma una membrana tridimensional que retiene la semilla al suelo, permitiendo que el agua y el aire la traspasen. Es flexible, por lo que soporta las heladas y es efectiva en suelos ácidos y básicos. No se rehidrata y se mantiene estable tras riegos y lluvias.

Al formar una capa tridimensional en la superficie del suelo, permite retener la humedad por más tiempo, protegiendo al suelo y la semilla de una deshidratación rápida. Esto aumenta la cantidad de semillas germinadas. Además se reduce la demanda de agua para las semillas.

Puede ser aplicado con equipos de hidrosiembra y de pulverización. Siendo ideal para cualquier suelo y tipo de semilla, especialmente en áreas ambientalmente sensibles.

Mientras tanto, el fijador sintético mejora la infiltración de agua en el suelo, proporcionando un mejor control de la erosión. Además, se necesita menos cantidad de este producto en comparación a un fijador biodegradable.

El aglomerante sintético une las partículas del suelo al mulch promoviendo una germinación superior; aumenta la infiltración de agua; protege las raíces desnudas con una capa que retiene la humedad y aumenta la supervivencia. Además, es amigable con el medio ambiente, debido a que es inocuo con los animales y plantas, descomponiéndose en un periodo de 3 a 6 meses, formando **CO²**, 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: METODOLOGÍA

En este capítulo se describe en forma cronológica los pasos que se realizaron para llevar a cabo la experiencia. Además, se describen las variables que afectan a la germinación y adherencia de las semillas en su periodo de crecimiento.

El desarrollo experimental consiste en realizar 4 dosificaciones de hidrosiembra con los mismos componentes en igual proporción, incorporando a 3 de ellas distintos ligantes, dejando una dosificación sin ligante, a modo de comparación.

Con la finalidad de tener coherencia en la obtención de datos, se realizan 3 repeticiones para cada dosificación.

3.1 Lisímetros y Material de Relleno.

Se opta por utilizar 6 lisímetros idénticos, separándolos en 2 franjas homólogas cada uno.

3.1.1 Caracterización de Lisímetros.

Estos taludes a escala poseen las siguientes características:

- Pendiente de 45° , considerada alta en ingeniería.
- Cada lisímetro fue construido con planchas de OSB, teniendo como medidas principales lo siguiente: 1m^2 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 $0,71\text{ m}^2$ en pendiente.
- La cara expuesta de cada lisímetro está orientada hacia el noroeste, en dirección directa a precipitaciones, debido a que se busca realizar la experiencia en las condiciones más desfavorables (Ver Figura 4).



Figura 4. 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 material corresponde a una arena limosa (Ver Anexo A) la que presenta escaso aporte de nutrientes. El estado natural de este material se mantiene en un rango que va desde 60% al 75% de la densidad máxima compactada seca (D.M.C.S).

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

- El material corresponde a una arena limosa.
- El material no presenta índices de plasticidad.
- La D.M.C.S es de 2,03 t/m³.

La compactación de la capa superficial del talud (30 centímetros) se controló con el testigo de PVC calibrado por Hernández (2011), el cuál entregó como resultado que las 12 franjas de los lisímetros se encuentran entre 1.22 t/m³ y 1.49 t/m³, los cuales corresponden a un 60,13% y un 73,38% de la D.M.C.S respectivamente.

3.2 Elección y Caracterización de Ligantes.

Debido a la diversidad de aglomerantes que existen en la actualidad, se decide utilizar el almidón de maíz, el polímero SNF 2070 y el yeso agrícola. Las características y el porqué de su elección se señalan en el Anexo B.2.

3.3 Aplicación de la Hidrosiembra

A continuación se detallan los pasos utilizados en el hidrosembado:

- Se retira la vegetación existente en los lisímetros.(Ver Anexo D.1)
- De acuerdo al clima predominante en la región se escogen los siguientes tipos de semillas.
 - ✓ Festuca Arundinacea (70% de la mezcla).
 - ✓ Lolium Multiflorum (20% de la mezcla).
 - ✓ Trifolium Subterraneum (10% de la mezcla).

Sus características y el porqué de su elección se señalan en el Anexo B.1.

- Se implementan 4 dosificaciones con distintos ligantes y se aplican 3 repeticiones, utilizando las 12 franjas disponibles en los lisímetros.
- Se prepara la mezcla de hidrosiembra compuesta por mulch de celulosa, agua, semillas, fertilizante y ligante según corresponda (Ver Tabla 1).
- Se aplica la mezcla, correspondiente a las 4 dosificaciones.
- Para promover la germinación de las semillas, se decide regar 1 vez al día 2 litros a cada franja.

Se realiza una dosificación sin ligante, para posteriormente compararla con las que poseen, y observar de esta manera el efecto que genera el aditivo sobre la mezcla.

A continuación se muestran las dosificaciones que se utilizaron para hidrosebrar (Tabla 1).

Tabla 1. Rangos Utilizados en la Experiencia.

Componente	Dosificación Sin Ligante	Dosificación con Almidón de Maíz	Dosificación con Polímero SNF2070	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)

La cantidad de yeso agrícola a utilizar se obtiene de literatura. Mientras tanto, la dosificación del polímero SNF 2070 se obtiene de la tesis de Humaña (2010).

Por otra parte, no se encuentra literatura relacionada a la utilización de almidón de maíz como ligante en hidrosiembra, por lo que se decide utilizar la misma cantidad que el yeso agrícola debido a su similitud en el precio de mercado.

Cabe destacar que se mantienen constantes los elementos de la hidrosiembra, modificando solamente la variable de estudio en este proyecto de título, que es la incorporación de ligante.

La mezcla se realiza de forma manual en tinetas con dosificación para 10 m², y con la ayuda de una motobomba se aplica la hidrosiembra a los lisímetros. (Ver Anexo D.2).

3.4 Elección y Caracterización de Variables

Antes de tomar mediciones es necesario seleccionar las variables que inciden en la germinación de las semillas. Según la discusión bibliográfica y estudio de los aspectos favorables de germinación y crecimiento de plantas, se determinó medir la temperatura ambiente, temperatura superficial del talud, material erodado y cobertura vegetal.

3.4.1 Temperatura

La temperatura ideal de las semillas utilizadas en la hidrosiembra, se mantienen en un rango que va desde los 9°C hasta los 25 °C según el tipo de semilla.

Se decide medir la temperatura ambiental y superficial del talud, con la finalidad de compararlas y posteriormente estudiar si el microclima que se genera favorece el crecimiento de las semillas.

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

3.4.2 Material Erodado

La erosión superficial es una variable que no sólo afecta a la degradación del talud, sino que también arrastra las semillas plantadas en él.

Se midió el material erodado del talud para estudiar la efectividad de la hidrosiembra en la protección del talud. La erosión provocada por la lluvia se simula a través del riego lo que a su vez sirve para la germinación de las semillas.

Para la recepción del material erodado se utilizaron canaletas de pvc de 50 cm de ancho, con un despiche de 25 mm de diámetro al costado, para que el agua se evacúe sin perder el material arrastrado. Además, para medir el material erodado se utilizó un horno para secar las muestras de suelo, y después una mufla (VER ANEXO D.3) para quemar el material orgánico y determinar qué porcentaje del material recolectado es suelo y cuanto corresponde a hidrosiembra desprendida.

3.4.3 Cobertura Vegetal

La cobertura vegetal se mide según la germinación de las semillas y el comportamiento de las variables anteriormente descritas. Esta medición permitirá dilucidar 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 ImageJ, que por medio de contrastes en fotografías entrega el porcentaje cubierto por pasto.

CAPÍTULO 4: ANÁLISIS DE RESULTADOS

La experiencia tuvo lugar en el Campus Concepción de la Universidad del Bío- Bío, desde el 9 de octubre al 28 de noviembre del 2014. A continuación se detallan resultados y sus respectivos análisis.

4.1 Análisis de Adherencia y Trabajabilidad.

4.1.1 Adherencia.

Al aplicar la hidrosiembra se puede observar en forma inmediata, que el ligante que mejor adhiere la semilla al suelo es el polímero SNF 2070, seguido por el yeso agrícola, hidrosiembra tradicional y almidón de maíz (Ver Figura 5). Por lo tanto, cabe destacar que la adherencia se mide visualmente en terreno una vez ejecutada la hidrosiembra, por lo que no se mide con ningún instrumento.



Figura 5. Efecto de los ligantes en la adherencia.

a) Hidrosiembra tradicional, b) con almidón, c) con polímero SNF 2070, d) con yeso agrícola
(Fuente: Elaboración propia).

4.1.2 Trabajabilidad.

El ligante más complejo de trabajar es el almidón de maíz, debido a que al entrar en contacto con la mezcla de la hidrosiembra, se aglutina lo que dificulta su expulsión a través de la motobomba (Ver Figura 6). Mientras tanto, la inclusión del polímero SNF 2070 y el yeso agrícola a la hidrosiembra, no implica ninguna dificultad en la administración de la mezcla.



Figura 6. Incorporación de almidón a la mezcla de hidrosiembra.

(Fuente: Elaboración propia).

4.2 Análisis de Temperatura

En esta investigación, se decide medir la temperatura de los lisímetros y del ambiente, tanto en la mañana como en la tarde. A continuación se presentan ambas mediciones con su respectivo análisis.

4.2.1 Temperatura a Media Mañana.

Las mediciones de temperatura se realizaron de forma diaria (Anexo C.1). A partir de este registro se realizó el gráfico temperatura a las 10 hr v/s tiempo (Ver Figura 7), en donde los valores utilizados son un promedio de las tres repeticiones que se realizaron a cada dosificación.

La figura 7 indica que la temperatura ambiente medida es mayor en comparación a la obtenida superficialmente en los taludes. Además, se observa que a medida transcurren los días, la temperatura en los lisímetros que poseen yeso agrícola e hidrosiembra tradicional aumenta en comparación a la temperatura presentada en los taludes experimentales que presentan el polímero y el almidón.

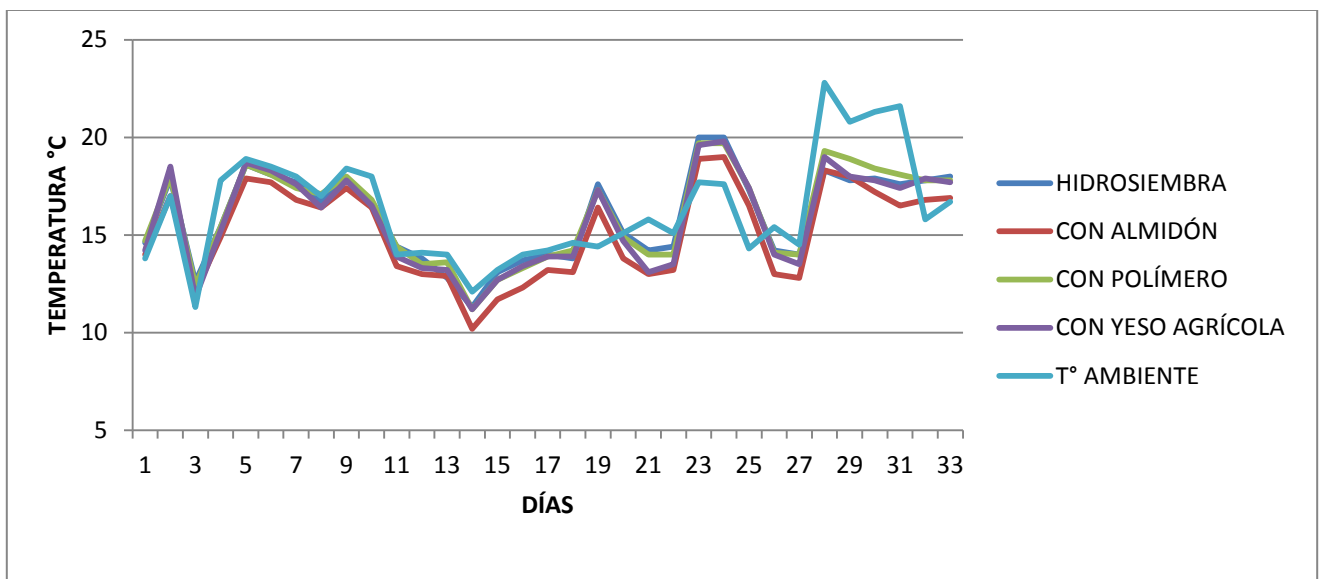


Figura 7. Evolución de la temperatura a media mañana (10:00 horas).

(Fuente: Elaboración propia).

4.2.2 Temperatura a Media Tarde

Algo similar a lo que sucede a media mañana sucede a media tarde (14:00 horas), solamente que la temperatura ambiente es menor a la presentada en los lisímetros. Además, se observa que la temperatura entre los lisímetros, no varía en más de 2°Celsius (Ver Figura 8).

A contar del día 18, se distingue un aumento en la temperatura. Esto se debe a la temporada en la que se realiza la experiencia.

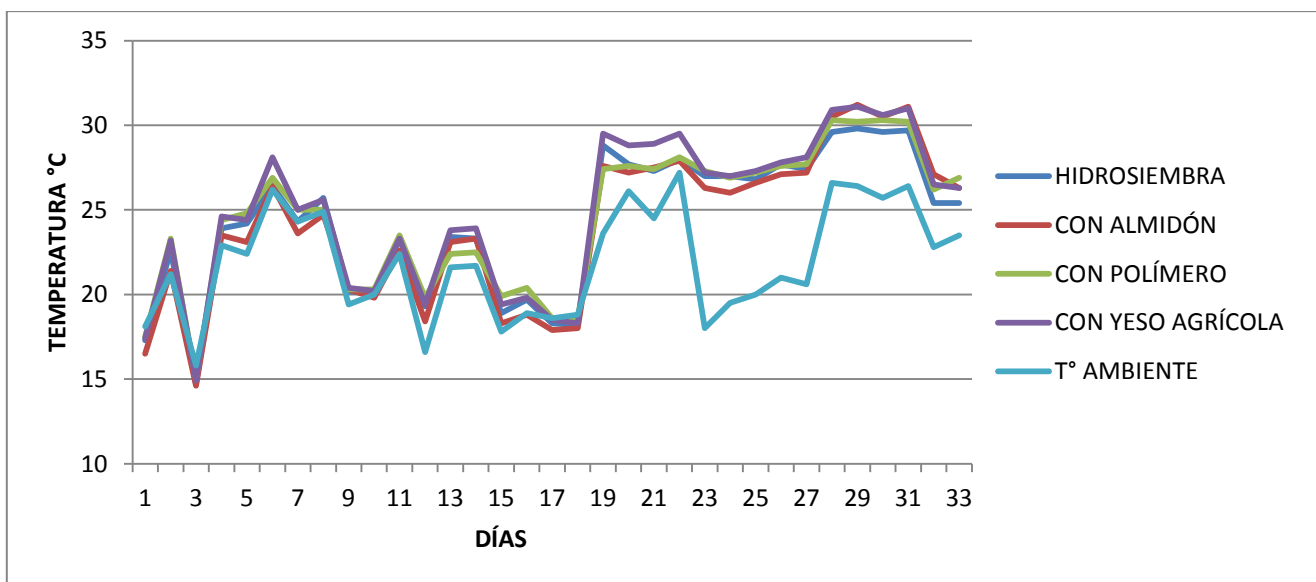


Figura 8. Evolución de la temperatura a media tarde (14:00 horas).

(Fuente: Elaboración propia).

4.3 Análisis Material Erodado e Hidrosiembra Desprendida.

4.3.1 Material Erodado

En un comienzo, la cantidad de material erodado es superior en los lisímetros que poseen almidón de maíz, seguidos por los que poseen hidrosiembra tradicional, el yeso agrícola y el polímero SNF 2070 (Ver Figura 9). Esto tiene concordancia a lo obtenido en el análisis de adherencia de la hidrosiembra, en donde se observa que: la adhesión de la mezcla es mejor con el polímero SNF 2070, seguido por el yeso agrícola, hidrosiembra y almidón de maíz. Por lo tanto, en la primera semana se observa que, a mayor adhesión del hidrosembado al suelo, menor será su capacidad de erosionar material, ya sea suelo o la propia mezcla de hidrosiembra.

En la segunda semana se observa que la cantidad de material erodado aumenta considerablemente. Esto se debe a un aumento en la temperatura ambiental, lo que provoca una costra conformada por hidrosiembra y suelo en la superficie de los taludes. Dicha costra es removida de los lisímetros debido a la aplicación de riego, produciendo un aumento en la cantidad de material erodado.

Desde la tercera semana en adelante, la cantidad de material erodado disminuye, debido a que las semillas empiezan a germinar. Además, la temperatura aumenta producto de la época en la que se realiza la experiencia, por lo que el agua que se incorpora en forma de riego se ocupa para promover el crecimiento de la cobertura.

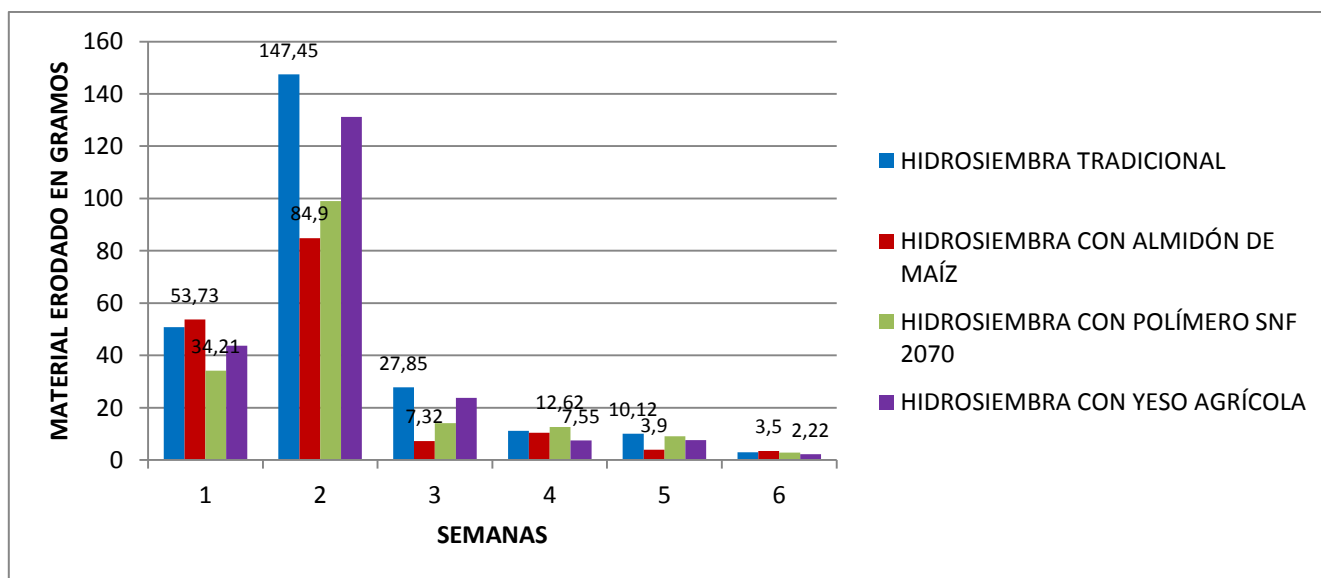


Figura 9. Material erodado v/s tiempo.

(Fuente: Elaboración propia)

4.3.2 Hidrosiembra Desprendida

Se observa que la dosificación que posee mayor material erodado es la hidrosiembra tradicional, seguido por el yeso agrícola, polímero SNF 2070 y almidón de maíz respectivamente.

Por otra parte, se observa que del material erodado, la dosificación que posee un mayor porcentaje de hidrosiembra desprendida es el almidón de maíz, seguido del polímero SNF 2070, el yeso agrícola y la hidrosiembra tradicional (Ver Figura 10).

Por lo tanto, se observa que a mayor cantidad de material erodado, menor es la cantidad de hidrosiembra desprendida que posee éste material.

Cabe destacar que estos resultados se dan para este tipo de suelo, dosificaciones, y variables que se mantienen constantes, como son el riego y la exposición al sol.

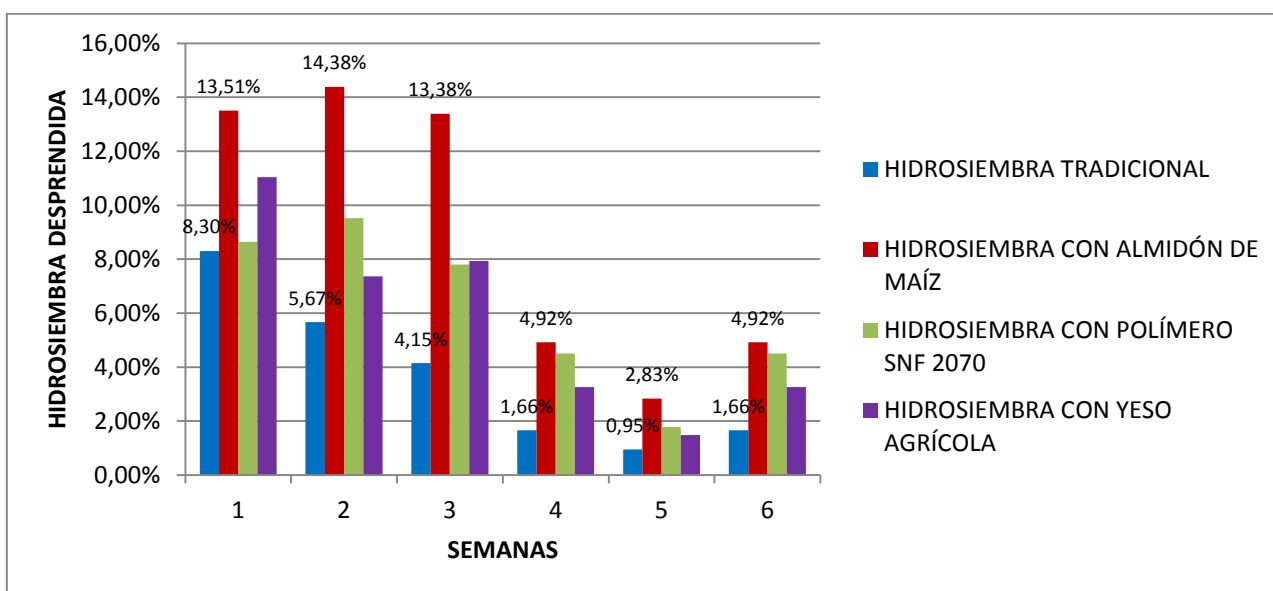


Figura 10. Hidrosiembra desprendida v/s tiempo.

(Fuente: Elaboración propia)

4.4 Cobertura

El análisis de cobertura se realizó de forma semanal (Anexo D.3). A partir del registro se realizó el gráfico cobertura v/s tiempo (Figura 11), en donde los valores utilizados son un promedio de las tres repeticiones que se realizaron a cada dosificación.

De la figura 11, se puede observar que el porcentaje de cobertura vegetal más alto se logra con el yeso agrícola (80,7%), seguido por la hidrosiembra tradicional (56,7%), polímero SNF 2070(28,1%) y almidón de maíz (19,6%), al finalizar la semana 7.

En la primera semana el porcentaje de cobertura es mínimo, no superando el 1% en todas las muestras, pero a partir de la semana 2, el yeso agrícola comienza a casi duplicar su porcentaje de germinación semana tras semana. Por otro lado, a partir de la semana 5 el polímero SNF 2070 empieza a aumentar su germinación al igual que el almidón.

Pese a que todos los taludes estaban ubicados en la misma orientación, el proceso de germinación de semillas se ve afectado por diversos factores, como por ejemplo: las altas temperaturas que secan las semillas y/o vectores externos como pájaros que se comen las semillas (Ver Anexo D.4).

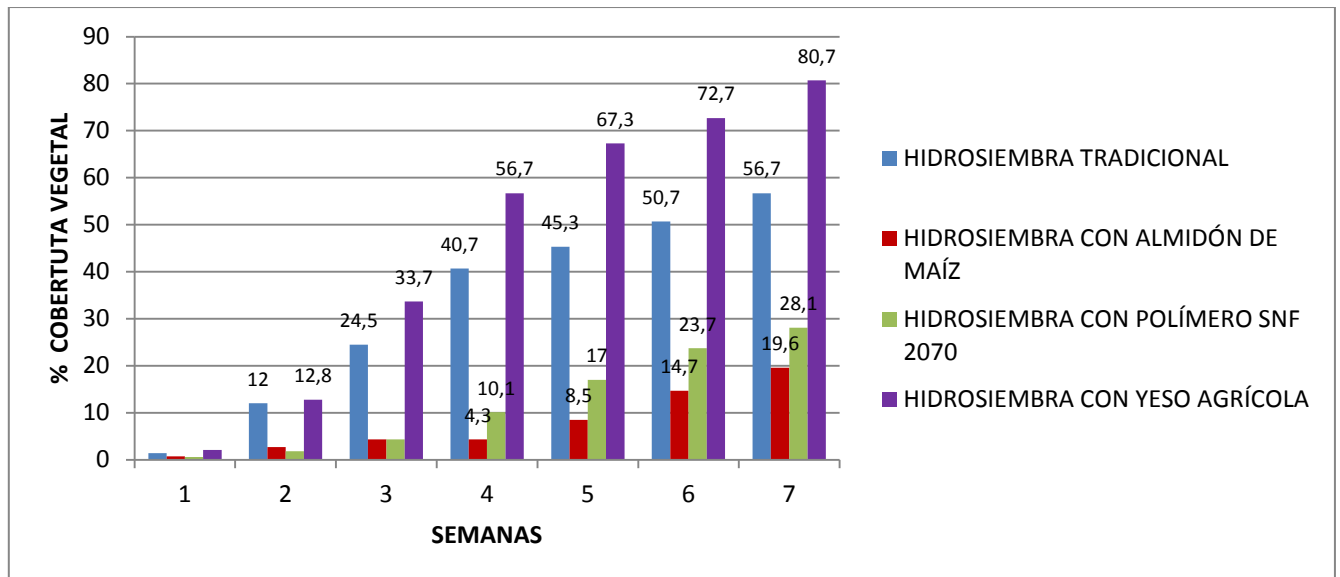


Figura 11. Cobertura v/s tiempo.

(Fuente: Elaboración propia).

A continuación se ilustran las repeticiones más representativas de cobertura para cada dosificación, a lo largo de las 7 semanas.

4.4.1 Cobertura con Hidrosiembra Tradicional.

En la figura 12, se observa cómo germina la cobertura a partir de la semana 2. Además, se observa que a contar de la semana 5, la vegetación se empieza a secar debido a las altas temperaturas predominantes en ésta época del año. También se observa como la cobertura crece en forma homogénea, a lo largo y ancho del talud experimental.



Figura 12. 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 que el tipo de semilla que germina es la Festuca Arundinacea y el Lolium Multiflorum. Además, se observa poca germinación debido a que el almidón quema la mayoría de las semillas, producto a su gran capacidad de adhesión, una vez seco (Ver Figura 13). Cabe señalar que la germinación también se ve afectada por la intervención de vectores externos como aves (Ver Anexo D.4).



Figura 13. Repetición representativa de hidrosiembra con almidón de maíz.

(Fuente: Elaboración propia).

4.4.3 Cobertura con Polímero SNF 2070.

En este caso la germinación ocurre lentamente. Esto se debe a que el polímero absorbe varias veces su peso en agua, por lo que el riego que se incorpora es absorbido por este elemento. Luego, el polímero vuelve a su estado natural y libera el agua retenida, debido a un aumento en la temperatura ambiente. Este proceso se observa a contar de la semana 4, en donde empieza aparecer cobertura en forma significativa (Ver Figura 14).

Además, se observa que el polímero mantiene humedad en la parte baja del talud, lo que provoca una germinación mayor a los pies del mismo, en comparación a la parte superior. Esto se debe a que el polímero, puede que haya decantado hacia la parte inferior del talud, debido al efecto de la gravedad o al escurrimiento del riego, propiciando la germinación en la parte inferior del talud, en desmedro de la parte superior.

Cabe mencionar que, pese a que todos los taludes estaban ubicados en la misma orientación, el proceso de germinación se ve afectado por vectores externos, específicamente por pájaros, que se comieron parte de la dosificación de semillas.



Figura 14. Repetición representativa de hidrosiembra con polímero SNF 2070.

(Fuente: Elaboración propia).

4.4.4 Cobertura con Yeso Agrícola.

La cobertura con yeso agrícola comienza a aparecer a contar de la semana 2. Esta dosificación es la que obtuvo mayor germinación, debido a que el yeso agrícola entrega nutrientes al suelo.

Con este ligante germinan los tres tipos de semillas que se utilizaron, y se observa una cobertura homogénea a lo largo y ancho del talud.

Respecto al yeso agrícola se puede decir que es un aditivo que incentiva el crecimiento de la cobertura, pero a su vez permite la erosión del talud.

Esto se refleja en ser la segunda dosificación en erodar más material (primero está la hidrosiembra tradicional), y ser la segunda en poseer un menor porcentaje de hidrosiembra desprendida, de ese material erodado (después de la hidrosiembra tradicional).



Figura 15. Repetición representativa de hidrosiembra con yeso agrícola.

(Fuente: Elaboración propia).

4.5 Resumen Variables Analizadas.

En la tabla 2 se indica la evaluación de la influencia que genera la presencia de los ligantes en los parámetros analizados.

Tabla 2. Evaluación de la influencia de los ligantes en los parámetros analizados.

Parámetro Analizado	Hidrosiembra tradicional	Con almidón	Con polímero	Con yeso agrícola
Material erodado	MUY MALO	MUY BUENO	BUENO	MALO
% hidrosiembra desprendida	MUY BUENO	MUY MALO	MALO	BUENO
Cobertura vegetal	BUENO	MUY MALO	MALO	MUY BUENO
adherencia	MALO	MUY MALO	MUY BUENO	BUENO
temperatura	BUENO	MUY MALO	MALO	MUY BUENO

(Fuente: Elaboración propia).

En el primer parámetro analizado, la evaluación de la influencia de los ligantes se hace asignando los calificativos de muy bueno, bueno, malo y muy malo. Esta evaluación se hace acorde a la cantidad de material erodado, en donde cada calificativo se relaciona directamente con la cantidad de material erodado en forma ascendente, respectivamente.

En el segundo parámetro los resultados se ordenan de menor a mayor y se asignan los calificativos de muy bueno, bueno, malo y muy malo, respectivamente. .

Desde el tercer parámetro en adelante, los resultados obtenidos para cada dosificación se ordenan de mayor a menor, asignando el calificativo de muy bueno, bueno, malo y muy malo, respectivamente.

Dicho lo anterior, se recomienda utilizar cualquier ligante en la técnica de hidrosiembra solamente si se considera el factor de material erodado. Pero, si se considera el factor de cobertura vegetal, se recomienda utilizar yeso agrícola, debido a que proporciona una mayor cobertura en un mismo periodo de tiempo, en comparación a los otros ligantes y a la hidrosiembra tradicional.

CAPÍTULO 5: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Las variables a las que estuvo sujeta la experiencia se describieron en el capítulo 3.4, siendo las más relevantes: la temperatura, el material erodado y la cobertura vegetal.

Respecto a la implementación de la experiencia, se puede mencionar que se logra realizar bajo condiciones adecuadas, similares a los taludes de alta pendiente, ejecutándose la aplicación de la hidrosiembra en forma óptima.

Respecto a la germinación se puede observar que el porcentaje de cobertura vegetal más alto se logra con el yeso agrícola (80,7%), seguido por la hidrosiembra tradicional (56,7%), el polímero SNF 2070 (28,1%) y almidón de maíz (19,6%) al finalizar la séptima semana. Dado estos resultados, se observa que el ligante que entrega un mayor incentivo para la germinación es el yeso agrícola, con una cobertura vegetal del 80,7% en el talud experimental. Cabe destacar, que la germinación de las semillas se ve afectada por la intervención de vectores externos (aves), durante la primera semana de la experiencia. Por otra parte, la cobertura vegetal influye en el arrastre de material, ya que a mayor cobertura, menor es el material erodado.

En relación al material erodado, se observa un aumento considerable en la segunda semana, producto del incremento en la temperatura ambiental, provocando una costra conformada por hidrosiembra y suelo en la superficie de los taludes. Dicha costra es removida de los lisímetros debido a la aplicación de riego, produciendo un aumento en la cantidad de material erodado. De la tercera semana en adelante, la cantidad de material erodado disminuye, debido a que la hidrosiembra en los lisímetros empieza a germinar. En este ítem, la dosificación que eroda más material es la hidrosiembra tradicional, seguido del yeso agrícola, el polímero SNF 2070 y el almidón de maíz, al finalizar la experiencia. Por otra parte, se observa que del material erodado, la dosificación que posee un mayor porcentaje de hidrosiembra desprendida es el almidón de maíz, seguido del polímero SNF 2070, el yeso agrícola y la hidrosiembra tradicional. Por lo tanto, se observa que a mayor cantidad de material erodado, menor es la cantidad de hidrosiembra desprendida que posee éste material. Cabe destacar que estos resultados se dan para este tipo de suelo, dosificaciones, y variables que se mantienen similares para todas las repeticiones, como son el riego y la exposición al sol.

Respecto a la adherencia, se observa de forma cualitativa que el polímero SNF 2070 es el ligante que mejor adhiere la semilla al suelo, seguido por el yeso agrícola, la hidrosiembra tradicional y el almidón de maíz. Además, en la primera semana se observa que a mayor adhesión del hidrosebrado al lisímetro, menor será su capacidad de erosionar material, ya sea suelo o la propia mezcla de hidrosiembra.

En relación a la trabajabilidad, se percibe que el ligante más complejo de trabajar es el almidón de maíz, debido a que al entrar en contacto con la mezcla de la hidrosiembra se aglutina, dificultando su disolución y expulsión de la motobomba.

Respecto a la temperatura se mide una diferencia inferior a los 2°C entre las distintas dosificaciones. Además, la temperatura desde la tercera semana aumenta producto de la época en la que se realiza la experiencia. Dicho esto, se concluye que la temperatura no fue relevante, para esta época del año, tipo de suelo, dosificaciones de ligante y variables que se mantuvieron de forma similar.

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.

Se propone para futuras investigaciones:

- Realizar la experiencia con distintas dosificaciones de ligantes, para analizar su influencia en la cobertura vegetal y en el material erodado.
- Utilizar otros aditivos para ver la influencia en la hidrosiembra, o modificar las variables que no se estudiaron en este proyecto de título, como por ejemplo el riego o la exposición al sol.
- Realizar esta experiencia en otra época del año, y analizar la influencia de la temperatura en la germinación y adherencia de las semillas.

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.
- 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.
- Humaña (2010), Evaluación de protección de taludes de alta pendiente con distintas alternativas de hidrosembado, Departamento 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”.
- 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.
- Toro (1995). Manejo nutritivo de plantaciones forestales: Simposio IUFRO para cono sur sudamericano, Universidad Austral de Chile. Facultad de Ciencias Forestales, Chile.
- www.EMERESA.cl , se accedió el 15 noviembre del 2014.
- www.COMMONS.WIKIMEDIA.org , se accedió el 17 de octubre del 2014.
- www.FAGRO.EDU.uy , se accedió el 21 de octubre del 2014..

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 (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: Elaboración propia)

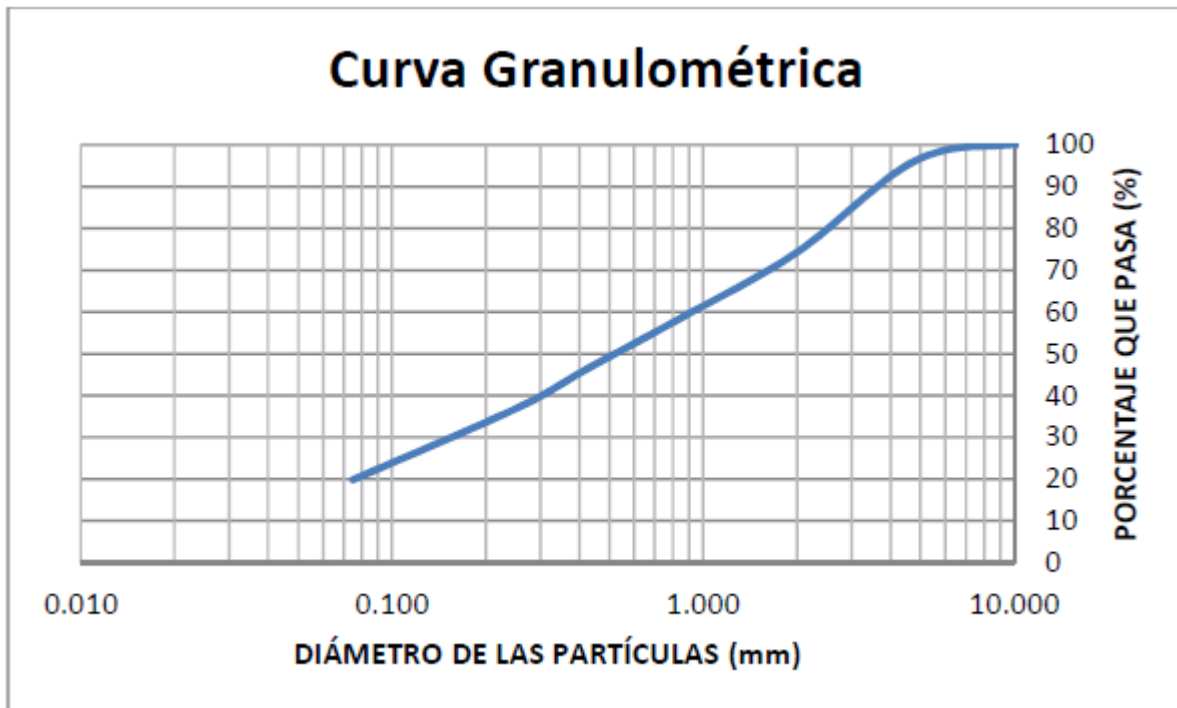


Figura A1: Curva granulométrica.

(Fuente: Elaboración propia)

A.2 Límites de Atterberg.

Los límites de Atterberg y Límite plástico se realizaron de acuerdo a la norma NCh 1517/1 of. 1979 y la norma NCh 1517/2 respectivamente.

- Limite Líquido: 49.4%
- Limite Plástico: aunque se puede determinar el Limite Líquido, no es factible detectar el Limite Plástico acorde a la normativa empleada, además, el material presenta cualitativamente plasticidad NULA.
- Índice plástico: No procede.

A.3 Proctor Modificado

Se realizó un Proctor modificado según la norma NCh 1534 of.1989. A continuación se presentan los resultados obtenidos.

Tabla A2: Datos Elaboración Proctor Modificado.

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	2.16	7.56	2.01
7	1823	2059	929	2.22	9.46	2.02
9	1823	2086	929	2.25	11.47	2.01
11	1823	2050	929	2.21	13.71	1.94
13	1823	1986	929	2.14	15.76	1.85

(Fuente: Elaboración propia)

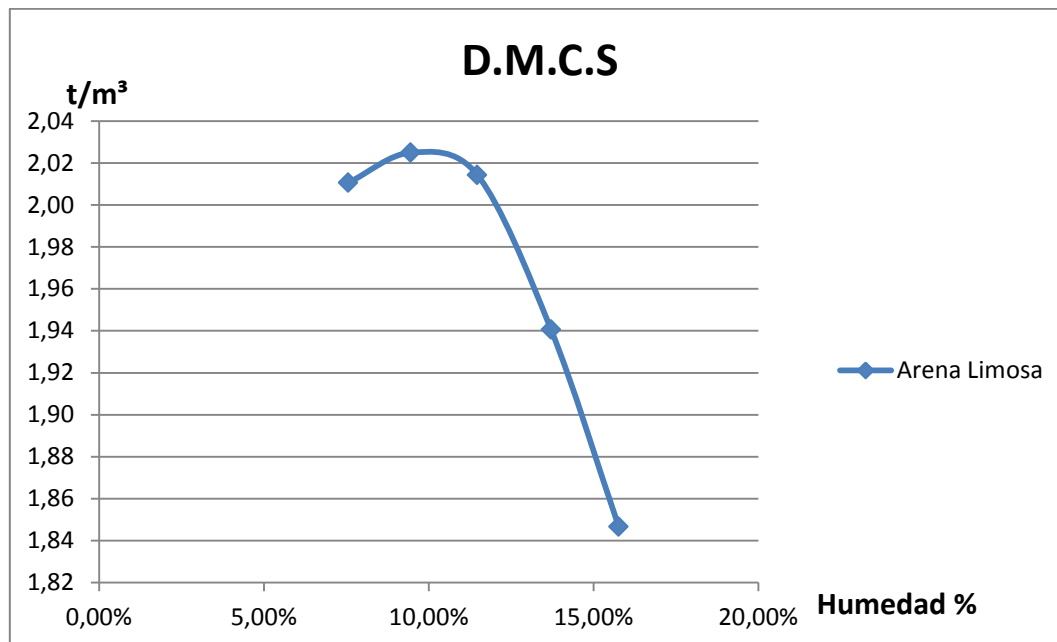


Figura A2: Densidad máxima compactada seca.

(Fuente: Elaboración propia)

De la figura A2 se puede observar que la DMCS tiene un valor de 2.02 t/m³, la cual se alcanza con una humedad óptima de 9.46%

Tabla A3: Datos Compactación Material Experimentado.

Talud experimental	Peso material húmedo (g)	Peso material seco (g)	Peso agua (g)	Humedad (%)	DCS (t/m ³)	% de la DMCS
1	22	19.2	2.8	14.58	1.33	65.67 %
2	17	14.8	2.2	14.86	1.33	65.77 %
3	27.2	23.7	3.5	14.77	1.35	66.81 %
4	22.9	19.8	3.1	15.66	1.32	65.19 %
5	19.3	16.8	2.5	14.88	1.34	66.54 %
6	11.9	10.4	1.5	14.42	1.32	65.12 %
7	19.2	16.7	2.5	14.97	1.37	68.05 %
8	15	12.9	2.1	16.28	1.33	65.88 %
9	13.8	11.9	1.9	15.97	1.39	68.88 %
10	21.8	18.9	2.9	15.34	1.35	66.77 %
11	17.7	15.8	1.9	12.03	1.34	66.22 %
12	18.1	15.8	2.3	14.56	1.32	65.12 %

(Fuente: Elaboración propia)

Se midieron las densidades en cada lisímetro, dando como resultado una compactación mínima de 65,12% y una compactación máxima de 68,88% obteniendo una compactación promedio de 66,33% de la D.M.C.S, la que equivale a una D.C.S. de 1.34 t/m³

ANEXO B ELECCIÓN DE SEMILLAS Y LIGANTES

B.1 Elección de semillas.

Para la elección de las semillas a utilizar, hay que tener en consideración las características del lugar donde se va a implementar la hidrosiembra, es por esto que, lo primero es caracterizar el clima del sector.

La región del Bío-Bío 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, desarrollándose la última etapa del clima mediterráneo.

En la franja costanera y en los sectores altos y laderas occidentales de la Cordillera de la Costa se presenta un clima templado húmedo, con una humedad constante y precipitaciones que fluctúan entre 1.200 mm. a 2.000 mm. Anuales de norte a sur de la región, lo que permite la existencia de diversidad de bosque nativo y distintas especies.

Dicho lo anterior, se escogieron las siguientes plantas:

- Festuca arundinacea
- Lolium multiflorum (Ballica italiana)
- Trifolium subterraneum (Trébol Subterráneo)

A continuación se describen las semillas a utilizar:

B.1.1 Festuca arundinacea:

También conocida como Cañuela Alta y Festuca Alta, la Festuca Arundinacea es una gramínea forrajera de crecimiento erecto que mantiene un buen aspecto durante todo el año (Ver Figura B1). Esta planta es ideal para el control de la erosión en taludes, pues posee un sistema radicular fibroso y champoso que alcanza una profundidad de 30 a 35 cm., lo que la hace resistente a la aridez pues requiere aportes de agua muy inferiores a las otras especies, además, mejora su resistencia a la extracción y al pisoteo. Sus hojas nacen de la base de la planta en forma abundante, volviéndose rígidas y cortantes cuando alcanzan su madurez.

La Festuca Arundinacea es una planta perenne que produce una gran cantidad de semillas, aunque su establecimiento es lento.

Ésta semilla se adapta a zonas templadas de transición y climas mediterráneos secos, se incorpora bien a todo tipo de suelos; de los ligeramente ácidos a los neutros y alcalinos; soporta tanto los terrenos secos como los suelos enlodados, presentando así un buen comportamiento en terrenos con mala infiltración.

Ésta gramínea en combinación con otras especies debe tener un papel predominante, llegando al 70% - 75% en peso de la composición..



Figura B1. Caracterización Festuca arundinacea: a) aspecto general de la planta, b) detalle de la panoja, c) detalle de la base de la lámina, d) detalle de la espiguilla.

(Fuente: www.fagro.edu.uy)

B.1.2 Lolium multiflorum:

Ésta planta pertenece a la familia de las gramíneas forrajeras, siendo conocida vulgarmente como Ballica italiana, lolio o raigrás entre otros.

La Ballica italiana presenta tallos de 30 a 130 cm, con una estructura erecta y delgada; crece de forma agrupada o solitaria presentando una ramificación baja de 2-5 por nudo; sus hojas son verdes, glabras, lineares, con la punta delgada, enrolladas a lo largo del eje en las plantas jóvenes, lisas en la cara inferior y escábridas la cara superior.

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



Figura B2. Lolium multiflorum, aspecto general.
(Fuente: commons.wikimedia.org)

B.1.3. Trifolium subterraneum:

El Trébol Subterráneo (*Trifolium subterraneum L.*) es una leguminosa anual e invernada, originaria de la zona mediterránea. Posee un sistema radicular semiprofundizador, con una raíz pivotante y gran cantidad de raíces secundarias donde se localizan los nódulos; sus tallos son generalmente rastreros, aunque existen también variedades semirrectas; sus hojas son trifoliadas, suspendidas,

alternas y rara vez pelosas en la base; y finalmente sus folíolos suelen tener marcas color verde claro formando una V completa, pudiendo medir entre 30 a 33 mm.

Después de la formación de la semilla, sus flores tienen la cualidad de formar un canastillo que se entierra, protegiendo de esta manera a la semilla y facilitando su resiembra natural (Ver Figura B3). Esta característica hace que el Trébol Subterráneo se comporte como perenne en condiciones favorables, adaptándose para ser usado en prados de larga duración, pues las praderas de Trébol Subterráneo tienen una duración de 10 o más años, y su permanencia se ve afectada en gran medida por el manejo que se dé en el período de formación de la semilla.

Dependiendo de las precipitaciones, ésta planta puede ser sembrada en asociación con gramíneas perennes o de rotación corta; la asociación de Trébol Subterráneo con Ballicas tiene éxito debido a que la precipitación suple los requerimientos hídricos mínimos de las gramíneas acompañantes. Finalmente, esta leguminosa presenta fluctuaciones estacionales; con un temprano crecimiento en otoño; disminución en invierno y rápida aceleración en primavera; manteniendo 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

También conocido como fécula de maíz o maicena, el almidón de maíz es un polisacárido constituido por dos compuestos de diferente estructura. Ambos compuestos, la amilosa y la amilopectina, están estructurados por largas cadenas de moléculas de glucosa, conformando la primera el 20% del almidón y la segunda el 80%.

Éste polisacárido se obtiene al moler los diferentes tipos de maíz. Suele formar parte de los carbohidratos que se ingieren de manera habitual a través de los alimentos proporcionando entre el 70 y el 80% de las calorías que consume el ser humano.

La maicena se debe conservar y almacenar en un lugar fresco y seco, donde no esté en contacto con olores fuertes. Se presenta como un polvo blanco muy fino (Ver Figura B4), con sabor característico. Éste producto cuenta con diversas características como son la gelatinización, retrogradación y gelificación. Durante la gelatinización se produce la lixiviación de la amilosa, produciéndose normalmente dentro de un intervalo amplio de temperatura, siendo los gránulos más grandes los primeros en gelatinizar; la retrogradación se define como 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)

La maicena posee diversas propiedades, permitiendo su uso en diversos ámbitos. Por lo general, suele utilizarse como agente espesante en diferentes preparaciones, ya sea en productos horneados, panes, dulces, entre otros. Sin embargo sus usos son más variados, en la industria es común utilizarlo como adhesivo de cartón corrugado, debido a la formación de capas delgadas y resistentes que forma este polisacárido. Además, se utiliza para pegar papel, madera y tejidos; en los cementos de goma, y las resinas como el alquitrán y la masilla. Mientras tanto, en la industria farmacéutica se emplea como agente lubricante, aglutinante y diluyente; y en la industria minera se utiliza como agente depresor en los sistemas de flotación para separar minerales. Otra propiedad que posee el almidón de maíz es ser un fungicida natural y antibacterial, característica que permite controlar el crecimiento de hongos en una plantación. El crecimiento bacteriano y de hongos en el suelo puede ser devastador para las plantas, debido a que daña sus raíces provocando su muerte. Finalmente, en este proyecto de título se decide utilizar el almidón de maíz por sus características de aglomerante y de fungicida.

B.2.2 Polímero

Los polímeros son sustancias compuestas por monómeros, que a su vez, son unidades básicas moleculares formadas en cadenas de enlaces covalentes, repitiéndose sucesivamente. Estos eslabones forman los polímeros mediante el proceso de 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 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.

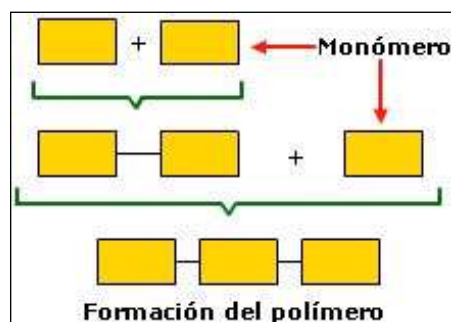


Figura B5: Esquema de formación del monómero
(Fuente: Humaña 2010)

Los polímeros, a su vez, pueden ser naturales o sintéticos. Entre los polímeros naturales se encuentran almidones, celulosa, ADN, proteínas y el caucho natural.

Mientras tanto, el polímero sintético surge por la necesidad de sustituir el caucho natural durante la segunda guerra mundial, dando origen al caucho sintético y a la industria de los polímeros sintéticos y plásticos. Estas sustancias pueden encontrarse en forma de polvo seco, gránulos de distinto tamaño y forma o en composición líquida o gel.

Debido a la infinidad de polímeros existentes, se decide implementar el polímero SNF 2070 de la empresa Aguas y Riles S.A, utilizado en la tesis de Humaña el año 2010.

El polímero escogido es un polímero de estructura lineal aniónico de peso molecular medio (Granulado) teniendo como característica principal el ser superabsorbente.

Los polímeros superabsorbentes son polímeros hidrofílicos entrecruzados con capacidad de absorber muchas veces su propio peso en agua. Esta propiedad es útil al aplicarlos en la agricultura, pues al incorporar una poliacrilamida en el suelo (en forma de gel granular o acondicionador de suelo) se cumplen diversas funciones, donde la más importante es la de acondicionarlo para aumentar la capacidad de retención de agua.

Al entrar en contacto con el agua, el polímero SNF 2070 se hidrata y se transforma en un gel transparente (Ver Figura B6). Permitiendo absorber varias veces su peso en agua.

La hidratación es totalmente reversible y la partícula retorna a su tamaño original en seco. El agua contenida en el gel puede ser removida por una variedad de métodos, tales como calor o presión.



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

Las principales ventajas que poseen los polímeros superabsorbentes son:

Aumento en forma duradera de la reserva hídrica aprovechable en suelos; reducción de la frecuencia de riego en al menos un 50 %; aporte uniforme de agua a las plantas mejorando la productividad del cultivo; disminución de la evacuación de nutrientes hacia la napa freática; mejora de la estructura del suelo. Además, otra ventaja que implica utilizar polímeros superabsorbentes es su nulo impacto ambiental, debido a que el polímero se degrada en forma natural en el suelo bajo la acción de los rayos UV y los ataques microbiológicos, formando dióxido de carbono, agua y nitrato de amonio, donde el compuesto nitrogenado de la molécula es rápidamente consumido por las bacterias del suelo. El tener estos productos finales de descomposición hace de los polímeros superabsorbentes un producto atóxico y biodegradable.

B.2.3 Yeso Agrícola

El Sulfato de Calcio Dihidratado ($\text{Ca SO}_4 \times 2\text{H}_2\text{O}$) 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 B7), lo que permite una rápida disponibilidad de nutrientes en forma homogénea.



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

A continuación se mencionan los diversos beneficios que proporciona el yeso agrícola:

- El yeso agrícola es una fuente de calcio y azufre, ya que contiene un equivalente a 32,5% de óxido de calcio (CaO) y 18,6% de azufre (S), estimulando el crecimiento radicular y vegetativo de los cultivos, favoreciendo la actividad de las bacterias fijadoras de nitrógeno. Además, Permite un mejor aprovechamiento de otros nutrientes como: potasio, fósforo y magnesio.
- Interviene en la formación de clorofila.
- Recupera suelos sódicos: el yeso agrícola se utiliza como enmienda en suelos alcalinos con elevados niveles de sodio, en los cuales reacciona con el sulfato proveniente del producto formando sulfato de sodio, que es altamente soluble y puede ser eliminado del área de influencia de las raíces mediante riegos profundos.
- Mejora estructura del suelo debido a que produce una floculación de coloides, es decir, forma agregados produciendo mayor cantidad de poros y en consecuencia una mayor aireación de suelo.
- El yeso mejora la tierra compactada: La compactación en suelos puede disminuir con la aplicación de yeso agrícola, sobre todo cuando se combina con labranza profunda.
- El yeso impide el endurecimiento del suelo y ayuda a la germinación de semillas.
- Se puede aplicar de varias maneras: el yeso agrícola se puede aplicar como solución en agua, esparciéndolo en la tierra antes del cultivo o en pleno crecimiento del plantío.
- y finalmente es factible su uso en agricultura orgánica por ser un producto natural y no tóxico.

Se decide utilizar el yeso agrícola en esta experiencia, debido a sus características de fertilizante y a su fácil forma de administrar.

ANEXO C MEDICIONES

C.1 Temperatura

A continuación se presentan los promedios de las repeticiones de las temperaturas medidas en horario de mañana (10 hr) y en horario de tarde (14 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	T° AMBIENTE	FECHA	HIDROSIEMBRA	CON ALMIDÓN	CON POLÍMERO	CON YESO AGRÍCOLA
			T° PROMEDIO	T° PROMEDIO	T° PROMEDIO	T° PROMEDIO
1	13,8	15-oct	14,6	14	14,7	14,2
2	17	16-oct	17,9	17	18	18,5
3	11,3	17-oct	12,6	12,1	12,4	11,8
4	17,8	20-oct	15,4	14,9	15,4	15,2
5	18,9	21-oct	18,6	17,9	18,6	18,7
6	18,5	22-oct	18,1	17,7	18,1	18,3
7	18	23-oct	17,7	16,8	17,4	17,6
8	17	24-oct	16,7	16,4	17,1	16,4
9	18,4	27-oct	17,8	17,4	18	17,8
10	18	28-oct	16,7	16,4	16,8	16,5
11	14	29-oct	14,4	13,4	14,4	13,9
12	14,1	30-oct	13,8	13	13,5	13,3
13	14	31-oct	12,8	12,9	13,6	13,2
14	12,1	03-nov	11,3	10,2	11,2	11,2
15	13,2	04-nov	13,1	11,7	12,7	12,7
16	14	05-nov	13,7	12,3	13,3	13,4
17	14,2	06-nov	14	13,2	13,9	13,9
18	14,6	07-nov	13,8	13,1	14,2	13,9
19	14,4	10-nov	17,6	16,4	17,3	17,3
20	15,1	11-nov	15,1	13,8	14,9	14,7
21	15,8	12-nov	14,2	13	14	13,1
22	15,1	13-nov	14,4	13,2	14	13,5
23	17,7	14-nov	20	18,9	19,7	19,6
24	17,6	17-nov	20	19	19,7	19,8
25	14,3	18-nov	17,3	16,5	17,4	17,4
26	15,4	19-nov	14,2	13	14,1	14
27	14,5	20-nov	14	12,8	14	13,5
28	22,8	21-nov	18,3	18,3	19,3	19
29	20,8	24-nov	17,8	18	18,9	18
30	21,3	25-nov	17,9	17,2	18,4	17,8
31	21,6	26-nov	17,6	16,5	18,1	17,4
32	15,8	27-nov	17,8	16,8	17,8	17,9
33	16,7	28-nov	18	16,9	17,8	17,7

(Fuente: Elaboración propia)

Tabla C2: Temperatura a las 14 hr.

DÍA	T° AMBIENTE	FECHA	HIDROSIEMBRA	CON ALMIDÓN	CON POLÍMERO	CON YESO AGRÍCOLA
			T° PROMEDIO	T° PROMEDIO	T° PROMEDIO	T° PROMEDIO
1	18,1	15-oct	17,3	16,5	17,5	17,4
2	21,2	16-oct	22,6	21,4	23,3	23,2
3	15,8	17-oct	14,7	14,6	15	14,9
4	22,9	20-oct	23,9	23,5	24,4	24,6
5	22,4	21-oct	24,2	23,1	24,8	24,4
6	26,2	22-oct	26,4	26,4	26,9	28,1
7	24,3	23-oct	24,3	23,6	25	25
8	24,9	24-oct	25,7	24,7	25	25,6
9	19,4	27-oct	20,2	20,3	20,3	20,4
10	20	28-oct	20	19,8	20,3	20,2
11	22,4	29-oct	23,3	22,6	23,5	23,3
12	16,6	30-oct	19,3	18,4	19,8	19,4
13	21,6	31-oct	23,4	23,1	22,4	23,8
14	21,7	03-nov	23,3	23,3	22,5	23,9
15	17,8	04-nov	18,9	18,3	19,9	19,4
16	18,9	05-nov	19,7	18,8	20,4	19,8
17	18,6	06-nov	18,3	17,9	18,6	18,5
18	18,8	07-nov	18,2	18	18,6	18,3
19	23,6	10-nov	28,8	27,6	27,4	29,5
20	26,1	11-nov	27,7	27,2	27,6	28,8
21	24,5	12-nov	27,3	27,5	27,4	28,9
22	27,2	13-nov	28	27,9	28,1	29,5
23	18	14-nov	27	26,3	27,3	27,2
24	19,5	17-nov	27	26	26,9	27
25	20	18-nov	26,8	26,6	27,2	27,3
26	21	19-nov	27,7	27,1	27,6	27,8
27	20,6	20-nov	27,4	27,2	27,7	28,1
28	26,6	21-nov	29,6	30,5	30,3	30,9
29	26,4	24-nov	29,8	31,2	30,2	31,1
30	25,7	25-nov	29,6	30,5	30,3	30,6
31	26,4	26-nov	29,7	31,1	30,2	31
32	22,8	27-nov	25,4	27,1	26,2	26,5
33	23,5	28-nov	25,4	26,3	26,9	26,3

(Fuente: Elaboración propia)

C.2 Hidrosiembra Desprendida

C.2.1 Materia Orgánica del Suelo

Tabla C3: Cantidad de Materia Orgánica del Suelo

N° MUESTRA	PESO SECO MUESTRA	PESO CRISOL	PESO ENTRADA CRISOL+MATERIAL	PESO SALIDA CRISOL +MATERIAL	PESO MATERIAL QUEMADO	PESO SUELO FINAL	% quemado
1	170,92	38,8	88,94	87,78	1,16	47,82	2,43%
2	195,19	38,61	86,02	84,79	1,23	44,95	2,74%
3	214,4	37,22	93,97	92,81	1,16	54,43	2,13%

PROMEDIO:
2,43%

NOTA: LOS PESOS ESTÁN EN GRAMOS

(Fuente: Elaboración propia)

C.2.2 Hidrosiembra Desprendida por Semana.

C.2.2.1 Semana 1 (lunes 20 de octubre)

Tabla C4: Hidrosiembra Desprendida Semana 1.

N° TALUD	PESO SECO MUESTRA TOTAL	PESO CRISOL	PESO ENTRADA CRISOL+MATERIAL	PESO SALIDA CRISOL +MATERIAL	MATERIAL QUEMADO	SUELO	% QUEMADO	MATERIAL ERODADO
1	42,96	23,78	36,99	35,92	1,07	12,14	8,81%	6,38%
2	32,38	20,61	29,81	28,55	1,26	7,94	15,87%	13,44%
3	60,35	19,89	29,36	28,65	0,71	8,76	8,11%	5,67%
4	53,88	23,91	36,34	34,72	1,62	10,81	14,99%	12,56%
5	51,32	20,3	31,83	31	0,83	10,7	7,76%	5,33%
6	63,03	37,22	56,47	53,1	3,37	15,88	21,22%	18,79%
7	18,54	36,09	51,15	49,35	1,8	13,26	13,57%	11,14%
8	43,44	38,61	58,34	56,06	2,28	17,45	13,07%	10,63%
9	58,24	38,8	52,93	51,02	1,91	12,22	15,63%	13,20%
10	65,77	22,08	36,73	35,31	1,42	13,23	10,73%	8,30%
11	23,75	19,89	28,87	27,94	0,93	8,05	11,55%	9,12%
12	33,85	38,62	55,8	53,91	1,89	15,29	12,36%	9,93%

NOTA: LOS PESOS ESTAN EN GRAMOS.

(Fuente: Elaboración propia)

Tabla C5: Porcentaje Hidrosiembra Desprendida Semana 1.

HIDROSIEMBRA	8,3%
HIDROSIEMBRA CON ALMIDÓN	13,51%
HIDROSIEMBRA CON POLÍMERO	8,65%
HIDROSIEMBRA CON YESO AGRÍCOLA	11,04%

(Fuente: Elaboración propia)

C.2.2.2 Semana 2 (lunes 27 de octubre)

Tabla C6: Hidrosiembra Desprendida Semana 2.

N° TALUD	PESO SECO MUESTRA TOTAL	PESO CRISOL	PESO ENTRADA CRISOL+MATERIAL	PESO SALIDA CRISOL +MATERIAL	MATERIAL QUEMADO	SUELO	% QUEMADO	MATERIAL ERODADO
1	70,24	38,61	62,27	60,3	1,97	21,69	9,08%	6,65%
2	46,93	38,8	56,82	53,95	2,87	15,15	18,94%	16,51%
3	93,97	37,22	53,79	52	1,79	14,78	12,11%	9,68%
4	111,5	36,09	68,38	66,09	2,29	30	7,63%	5,20%
5	189,97	19,89	38,06	36,58	1,48	16,69	8,87%	6,44%
6	92,73	23,91	41,76	39,62	2,14	15,71	13,62%	11,19%
7	86,71	22,08	32,74	31,35	1,39	9,27	14,99%	12,56%
8	155,79	20,61	35,66	34,09	1,57	13,48	11,65%	9,22%
9	182,14	23,78	43,22	42,06	1,16	18,28	6,35%	3,91%
10	114,99	20,3	35,54	33,23	2,31	12,93	17,87%	15,43%
11	116,45	38,61	54,52	53,24	1,28	14,63	8,75%	6,32%
12	126,4	38,8	59,39	57,5	1,89	18,7	10,11%	7,68%

NOTA: LOS PESOS ESTAN EN GRAMOS

(Fuente: Elaboración propia)

Tabla C7: Porcentaje Hidrosiembra Desprendida Semana 2.

HIDROSIEMBRA	5,67%
HIDROSIEMBRA CON ALMIDÓN	14,38%
HIDROSIEMBRA CON POLÍMERO	9,52%
HIDROSIEMBRA CON YESO AGRÍCOLA	7,36%

(Fuente: Elaboración propia)

C.2.2.3 Semana 3 (lunes 3 de noviembre)

Tabla C8: Hidrosiembra Desprendida Semana 3.

N° TALUD	PESO SECO MUESTRA TOTAL	PESO CRISOL	PESO ENTRADA CRISOL+MATERIAL	PESO SALIDA CRISOL +MATERIAL	MATERIAL QUEMADO	SUELO	% QUEMADO	MATERIAL ERODADO
1	11,88	20,3	28,89	28,36	0,53	8,06	6,58%	4,14%
2	2,96	22,08	28,22	27,63	0,59	5,55	10,63%	8,20%
3	10,42	19,89	30,5	29,78	0,72	9,89	7,28%	4,85%
4	13,79	20,61	32,87	31,89	0,98	11,28	8,69%	6,26%
5	30,68	23,91	46,18	44,74	1,44	20,83	6,91%	4,48%
6	8,99	23,78	32,64	31,49	1,15	7,71	14,92%	12,48%
7	13,27	38,8	50,76	49,76	1	10,96	9,12%	6,69%
8	14,04	37,22	52,23	51,17	1,06	13,95	7,60%	5,17%
9	40,99	36,09	69,6	67,63	1,97	31,54	6,25%	3,81%
10	10,02	38,61	48,26	47,03	1,23	8,42	14,61%	12,18%
11	18,82	20,3	32,66	31,85	0,81	11,55	7,01%	4,58%
12	43,38	22,08	35,53	34,59	0,94	12,51	7,51%	5,08%

NOTA: LOS PESOS ESTAN EN GRAMOS

(Fuente: Elaboración propia)

Tabla C9: Porcentaje Hidrosiembra Desprendida Semana 3.

HIDROSIEMBRA	4,15%
HIDROSIEMBRA CON ALMIDÓN	13,38%
HIDROSIEMBRA CON POLÍMERO	7,81%
HIDROSIEMBRA CON YESO AGRÍCOLA	7,93%

(Fuente: Elaboración propia)

C.2.2.4 Semana 4 (lunes 10 de noviembre)

Tabla C10: Hidrosiembra Desprendida Semana 4.

N° TALUD	PESO SECO MUESTRA TOTAL	PESO CRISOL	PESO ENTRADA CRISOL+MATERIAL	PESO SALIDA CRISOL +MATERIAL	MATERIAL QUEMADO	SUELO	% QUEMADO	MATERIAL ERODADO
1	4,09	20,3	24,44	24,29	0,15	3,99	3,76%	1,33%
2	2,68	19,89	22,56	22,37	0,19	2,48	7,66%	5,23%
3	4,1	20,61	24,7	24,39	0,31	3,78	8,20%	5,77%
4	7,42	22,08	29,57	29,18	0,39	7,1	5,49%	3,06%
5	14,61	23,78	38,14	37,56	0,58	13,78	4,21%	1,78%
6	6,3	23,91	30,28	29,85	0,43	5,94	7,24%	4,81%
7	21,68	36,09	57,58	56,13	1,45	20,04	7,24%	4,80%
8	6,46	37,22	43,67	43,28	0,39	6,06	6,44%	4,00%
9	14,91	38,8	53,83	53,21	0,62	14,41	4,30%	1,87%
10	22,26	38,61	60,92	59,43	1,49	20,82	7,16%	4,73%
11	12,07	20,3	32,44	31,82	0,62	11,52	5,38%	2,95%
12	8,77	19,89	28,7	28,27	0,43	8,38	5,13%	2,70%

(Fuente: Elaboración propia)

Tabla C11: Porcentaje Hidrosiembra Desprendida Semana 4.

HIDROSIEMBRA	1,66%
HIDROSIEMBRA CON ALMIDÓN	4,92%
HIDROSIEMBRA CON POLÍMERO	4,51%
HIDROSIEMBRA CON YESO AGRÍCOLA	3,26%

(Fuente: Elaboración propia)

C.2.2.5 Semana 5 (lunes 24 de noviembre)

Tabla C12: Hidrosiembra Desprendida Semana 5.

N° TALUD	PESO SECO MUESTRA TOTAL	PESO CRISOL	PESO ENTRADA CRISOL+MATERIAL	PESO SALIDA CRISOL +MATERIAL	MATERIAL QUEMADO	SUELO	% QUEMADO	MATERIAL ERODADO
1	3,96	37,22	41,1	40,94	0,16	3,72	4,30%	0,93%
2	1,77	38,8	40,52	40,38	0,14	1,58	8,86%	3,21%
3	11,48	36,09	47,43	46,8	0,63	10,71	5,88%	1,73%
4	6,62	38,61	44,84	44,51	0,33	5,9	5,59%	1,58%
5	12,71	20,3	32,82	32,3	0,52	12	4,33%	0,95%
6	5,3	20,61	25,76	25,41	0,35	4,8	7,29%	2,43%
7	8,28	19,89	27,74	27,27	0,47	7,38	6,37%	1,97%
8	5,73	22,08	27,71	27,38	0,33	5,3	6,23%	1,90%
9	13,68	37,22	50,8	50,23	0,57	13,01	4,38%	0,98%
10	4,63	38,8	43,32	42,98	0,34	4,18	8,13%	2,85%
11	7,65	36,09	43,47	43,07	0,4	6,98	5,73%	1,65%
12	10,58	38,61	48,87	48,44	0,43	9,83	4,37%	0,97%

NOTA: LOS PESOS ESTAN EN GRAMOS

(Fuente: Elaboración propia)

Tabla C13: Porcentaje Hidrosiembra Desprendida Semana 5.

HIDROSIEMBRA	0,95%
HIDROSIEMBRA CON ALMIDÓN	2,83%
HIDROSIEMBRA CON POLÍMERO	1,78%
HIDROSIEMBRA CON YESO AGRÍCOLA	1,48%

(Fuente: Elaboración propia)

C.2.2.6 Semana 6 (lunes 1 de diciembre)

Tabla C14: Hidrosiembra Desprendida Semana 6.

N° TALUD	PESO SECO MUESTRA TOTAL	PESO CRISOL	PESO ENTRADA CRISOL+MATERIAL	PESO SALIDA CRISOL +MATERIAL	MATERIAL QUEMADO	SUELO	% QUEMADO	MATERIAL ERODADO
1	1,24	19,89	21,12	21,04	0,08	1,15	6,96%	4,53%
2	1,34	20,61	21,91	21,74	0,17	1,13	15,04%	12,61%
3	2,15	20,3	22,39	22,12	0,27	1,82	14,84%	12,40%
4	2,95	22,08	24,94	24,7	0,24	2,62	9,16%	6,73%
5	3,12	37,22	40,21	40	0,21	2,78	7,55%	5,12%
6	5,87	38,8	44,39	43,76	0,63	4,96	12,70%	10,27%
7	2,15	38,61	40,75	40,55	0,2	1,94	10,31%	7,88%
8	0,82	36,09	36,86	36,77	0,09	0,68	13,24%	10,80%
9	4,66	19,89	24,55	24,29	0,26	4,4	5,91%	3,48%
10	3,29	20,61	23,7	23,46	0,24	2,85	8,42%	5,99%
11	4,13	20,3	24,34	24,05	0,29	3,75	7,73%	5,30%
12	2,89	22,08	24,85	24,67	0,18	2,59	6,95%	4,52%

NOTA: LOS PESOS ESTAN EN GRAMOS

(Fuente: Elaboración propia)

Tabla C15: Porcentaje Hidrosiembra Desprendida Semana 6.

HIDROSIEMBRA	4,38%
HIDROSIEMBRA CON ALMIDÓN	9,62%
HIDROSIEMBRA CON POLÍMERO	8,53%
HIDROSIEMBRA CON YESO AGRÍCOLA	7,35%

(Fuente: Elaboración propia)

Tabla C16: Tabla Resumen Cantidad Material Erodado.

	MATERIAL ERODADO en gramos.					
	SEMANA 1	SEMANA 2	SEMANA 3	SEMANA 4	SEMANA 5	SEMANA 6
HIDROSIEMBRA TRADICIONAL	50,84	147,45	27,85	11,20	10,12	3,01
HIDROSIEMBRA CON ALMIDÓN DE MAÍZ	53,73	84,9	7,32	10,41	3,9	3,5
HIDROSIEMBRA CON POLÍMERO SNF 2070	34,21	99,04	14,17	12,62	9,14	2,81
HIDROSIEMBRA CON YESO AGRÍCOLA	43,72	131,23	23,74	7,55	7,64	2,22

(Fuente: Elaboración propia)

Tabla C17: Tabla Resumen % Hidrosiembra Desprendida.

	% MATERIAL ORGÁNICO					
	SEMANA 1	SEMANA 2	SEMANA 3	SEMANA 4	SEMANA 5	SEMANA 6
HIDROSIEMBRA TRADICIONAL	8,30%	5,67%	4,15%	1,66%	0,95%	1,66%
HIDROSIEMBRA CON ALMIDÓN DE MAÍZ	13,51%	14,38%	13,38%	4,92%	2,83%	4,92%
HIDROSIEMBRA CON POLÍMERO SNF 2070	8,65%	9,52%	7,81%	4,51%	1,78%	4,51%
HIDROSIEMBRA CON YESO AGRÍCOLA	11,04%	7,36%	7,93%	3,26%	1,48%	3,26%

(Fuente: Elaboración propia)

C.3 Cobertura vegetal

Tabla C16: Porcentaje cobertura vegetal

SEMANA	HIDROSIEMBRA	COBERTURA VEGETAL %			
		REPETICIÓN 1	REPETICIÓN 2	REPETICIÓN 3	PROMEDIO
1	TRADICIONAL	2,7	1	0,6	1,4
	CON ALMIDÓN	1,3	0,7	0,2	0,7
	CON POLÍMERO	0,2	0,8	0,9	0,6
	CON YESO	3	2	1,2	2,1
2	TRADICIONAL	17	12	7	12
	CON ALMIDÓN	3	2,7	2,3	2,7
	CON POLÍMERO	2,3	1,7	1,3	1,8
	CON YESO	19	9,5	10	12,8
3	TRADICIONAL	33	24,5	16	24,5
	CON ALMIDÓN	5	3,8	4	4,3
	CON POLÍMERO	4,2	3,9	4,8	4,3
	CON YESO	35	28	38	33,7
4	TRADICIONAL	51	38	33	40,7
	CON ALMIDÓN	5	3,8	4	4,3
	CON POLÍMERO	13	6,4	11	10,1
	CON YESO	53	57	60	56,7
5	TRADICIONAL	58	41	37	45,3
	CON ALMIDÓN	10	6,7	8,7	8,5
	CON POLÍMERO	19	17	15	17
	CON YESO	57	66	79	67,3
6	TRADICIONAL	64	45	43	50,7
	CON ALMIDÓN	16	11	17	14,7
	CON POLÍMERO	23	27	21	23,7
	CON YESO	66	72	80	72,7
7	TRADICIONAL	70	52	48	56,7
	CON ALMIDÓN	20	15	23,7	19,6
	CON POLÍMERO	28	32	24,3	28,1
	CON YESO	75	80	87	80,7

(Fuente: Elaboración propia)

ANEXO D IMÁGENES DEL DESARROLLO DEL PROYECTO.

D.1 Limpieza 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 elementos de la hidrosiembra tradicional.
(Fuente: Elaboración propia)



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



Figura D5: Tamaño venta de ligantes en el mercado.
(Fuente: Elaboración propia)

D.2.2 Aplicación hidrosiembra



Figura D6: Proceso mezcla elementos de la hidrosiembra.
(Fuente: Elaboración propia)



Figura D7: Motobomba loncin utilizada en la experiencia
(Fuente: www.emaresa.cl)



Figura D8: Aplicación de la hidrosiembra en los lisímetros.
(Fuente: Elaboración propia)



Figura D9: Hidrosiembra aplicada
(Fuente: Elaboración propia)

D.3 Material Erodado

D.3.1 Materia Orgánica del Suelo

Para determinar la materia orgánica del suelo, se tomaron 3 muestras al azar y se analizaron en laboratorio.



Figura D10: Peso entrada mufla.
(Fuente: Elaboración propia)



Figura D11: Peso salida mufla.
(Fuente: Elaboración propia)

D.3.2 Toma de Muestras

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



Figura D12:Proceso toma de muestras.
(Fuente: Elaboración propia)

D.3.3 Quema de Muestras

Después de secar las muestras en el horno, el material se pesa y se coloca en crisoles. Luego, el material se quema por 100 minutos a 550°C en una mufla.



Figura D13:muestra en crisoles y mufla.
(Fuente: Elaboración propia)

D.4 Cobertura Vegetal.

Vectores externos

La germinación de las semillas se ve afectada por vectores externos (Pájaros), a continuación se presentan imágenes en los días que incidieron en los lisímetros.



Figura D14: Vectores externos semana 1
(Fuente: Elaboración propia)

Cobertura vegetal

- Semana 1



Figura D15: Cobertura semana 1
(Fuente: Elaboración propia)

- Semana 2



Figura D16: Cobertura semana 2
(Fuente: Elaboración propia)

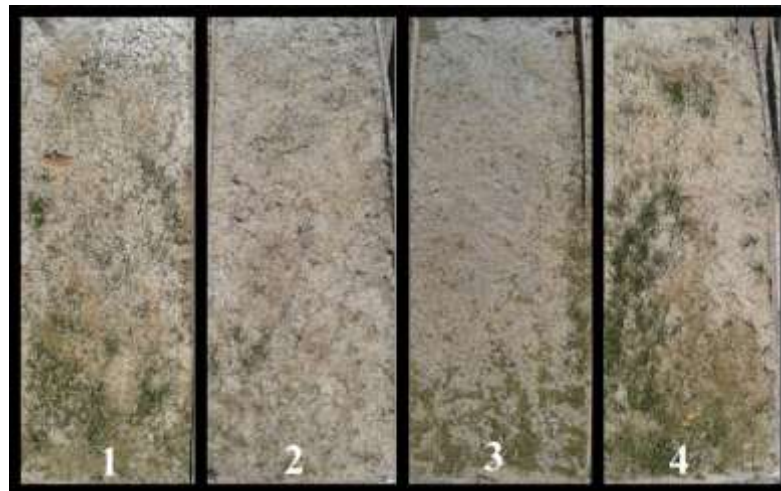


Figura D17: Repetición representativa semana 2
(Fuente: Elaboración propia)

- Semana 3



Figura D18: Cobertura semana 3
(Fuente: Elaboración propia)



Figura D19: Repetición representativa semana 3
(Fuente: Elaboración propia)

- Semana 4



FiguraD20: Cobertura semana 4
(Fuente: Elaboración propia)



Figura D21: Repetición representativa semana 4
(Fuente: Elaboración propia)

- Semana 5



Figura D22: Cobertura semana 5
(Fuente: Elaboración propia)

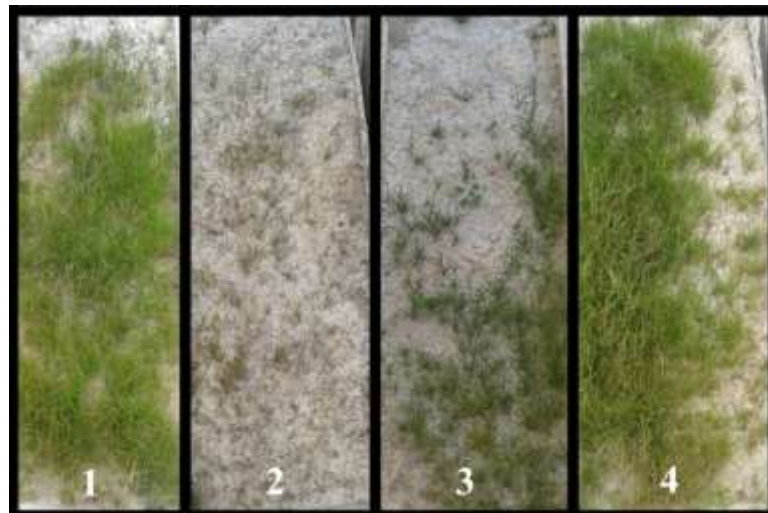


Figura D23: Repetición representativa semana 5
(Fuente: Elaboración propia)

- Semana 6



Figura D24: Cobertura semana 6
(Fuente: Elaboración propia)

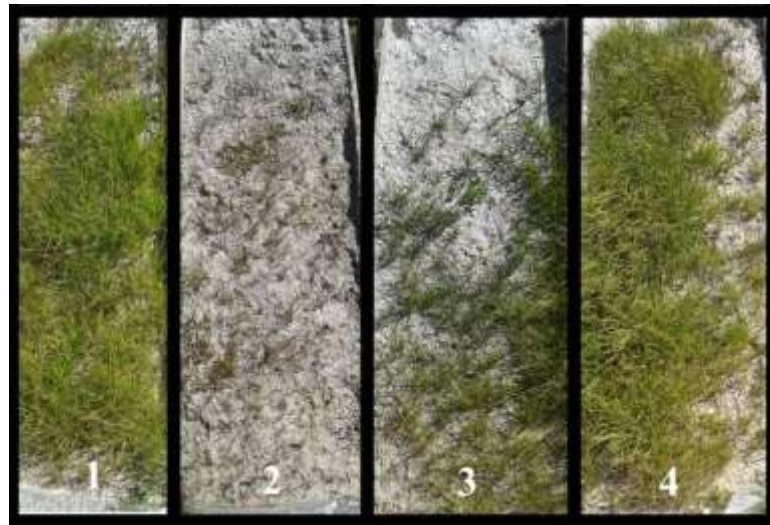


Figura D25: Repetición representativa semana 6
(Fuente: Elaboración propia)

- Semana 7



Figura D26: Cobertura semana 7
(Fuente: Elaboración propia)

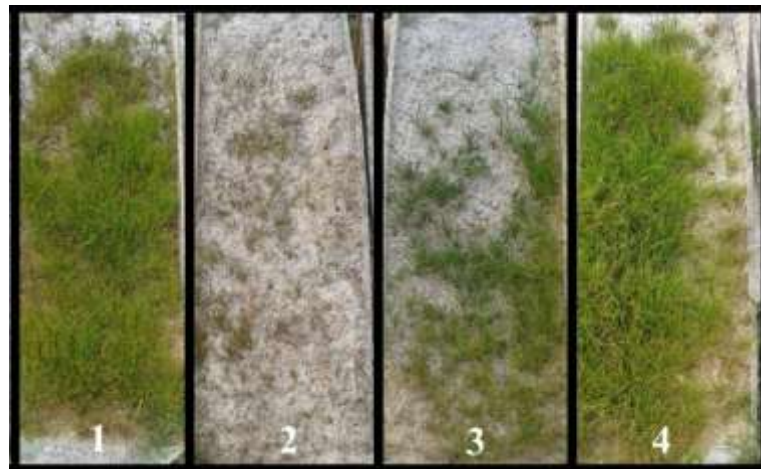


Figura D27: Repetición representativa semana 7
(Fuente: Elaboración propia)