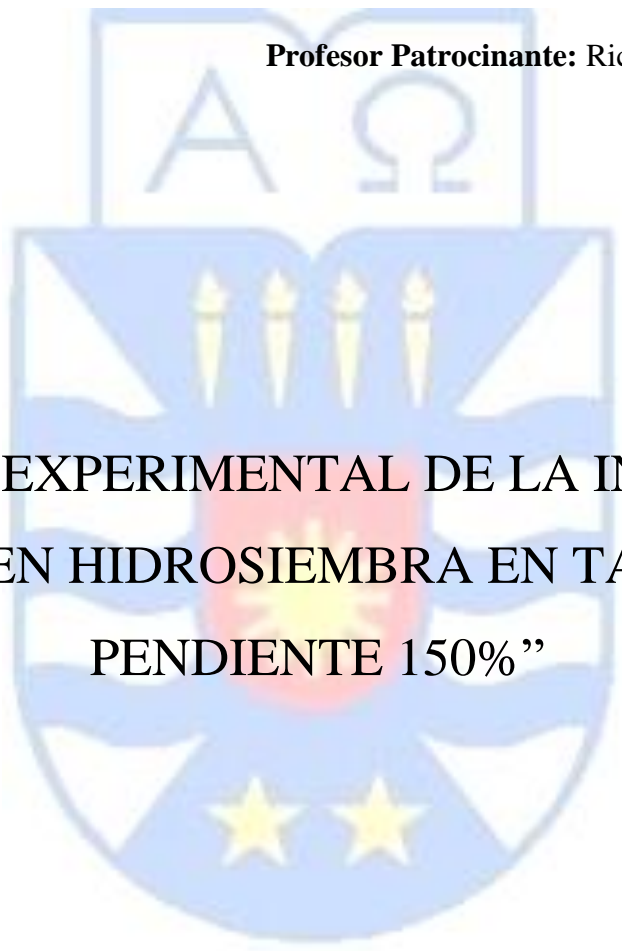


UNIVERSIDAD DEL BÍO BÍO

FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL

Profesor Patrocinante: Ricardo Riveros Velásquez.



“ANÁLISIS EXPERIMENTAL DE LA INFLUENCIA
DE MULCH EN HIDROSIEMBRA EN TALUDES CON
PENDIENTE 150%”

Proyecto de título presentado en conformidad a los requisitos para optar al título de Ingeniero
Civil

JESSICA PAOLA NIEVES JARA ARIAS

Octubre 2015 Concepción

AGRADECIMIENTOS

Agradezco en primer lugar a Dios por ayudarme a seguir y darme fuerzas en los momentos de flaqueo, por bendecirme y guiarme todos mis años de estudio y por estar siempre presente en mi vida.

A mis padres por apoyarme incondicionalmente desde que comencé este largo camino de la Ingeniería civil, a mi padre por sus consejos constantes, palabras de aliento y financiamiento para obtener mi titulación. A mi madre por su cariño y amor con que me motivó a seguir y por su ayuda física en el comienzo de este proyecto de título.

A mi pololo por ayudarme en cada momento de este proceso, por su comprensión, tolerancia, amor, apoyo y paciencia demostrados sobretodo en esta última etapa.

A mis tíos que me abrieron la puerta de su casa para que pudiera estudiar y estuvieron pendientes de cada certamen que tuve que rendir, apoyándome en todo.

A mi padrino que me ha apoyado y ha estado pendiente de cada paso que doy, ayudándome con material de apoyo e impresiones durante mis estudios.

Gracias a mi familia, amigos, compañeros y profesores por su apoyo, buena voluntad y disposición en ayudarme a lo largo de mi carrera.

ÍNDICE GENERAL

<u>CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN</u>	7
1.1 Justificación del Proyecto de Título	9
1.2 Objetivos	10
1.2.1 Objetivo General	10
1.2.2 Objetivos Específicos	10
<u>CAPÍTULO II: REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA</u>	11
2.1 Conceptos generales de la hidrosiembra	11
2.2 Elementos de la hidrosiembra	12
2.2.1 Agua	12
2.2.2 Semillas	12
2.2.3 Fertilizantes	13
2.2.4 Mulch	13
<u>CAPÍTULO III: METODOLOGÍA</u>	15
3.1 Descripción de variables	15
3.2 Construcción de los lisímetros	16
3.3 Sembrado de Lisímetros	17
3.4 Canaletas de recepción de material	20
<u>CAPÍTULO IV: ANÁLISIS DE LOS FACTORES DE INFLUENCIA Y ANÁLISIS DE RESULTADOS</u>	21
4.1 Análisis de riego	21
4.2 Análisis de adherencia	22
4.3 Análisis de vectores	26
4.4 Análisis de temperatura	26
4.5 Análisis de cobertura vegetal	28
<u>CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</u>	35
<u>BIBLIOGRAFÍA:</u>	37
<u>ÍNDICE DE FIGURAS</u>	
Figura 1 Mulch de celulosa	14
Figura 2 Esquemas de la experiencia	19
Figura 3 Distribución de los lisímetros	19

Figura 4	Canaletas de recepción de material	20
Figura 5	Musgo presente en lisímetros	22
Figura 6	Levantamiento del mulch	23
Figura 7	Vectores alimentándose de las semillas	26
Figura 8	Gráfico de temperaturas registradas	28
Figura 9	Gráfico de cobertura semana 4	29
Figura 10	Gráfico de cobertura semana 6	30
Figura 11	Gráfico grado de cobertura	31
Figura 12	Gráfico grado de cobertura investigación San Martín 2014	32
Figura 13	Gráfico cobertura vegetal según pendiente	34

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Rangos utilizados en la experiencia	18
Tabla 2	Porcentaje de mulch desprendido del talud, muestra 1	24
Tabla 3	Porcentaje de mulch desprendido del talud, muestra 2	24

ANÁLISIS EXPERIMENTAL DE LA INFLUENCIA DE MULCH EN HIDROSIEMBRA EN TALUDES CON PENDIENTE 150%

JESSICA JARA ARIAS

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

RICARDO RIVEROS VELÁSQUEZ

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

RESUMEN

En ingeniería civil, la hidrosiembra representa una práctica solución para el recubrimiento de taludes con pendientes medias. Sin embargo, no ha tenido los mismos resultados en taludes con pendiente 150% y se desconoce la dosificación óptima de mulch para obtener una máxima cobertura vegetal en ellos.

Este proyecto busca analizar la influencia de altas dosificaciones de mulch en taludes de alta pendiente. Para ello se implementaron taludes experimentales, con diferentes dosificaciones de mulch y tres repeticiones de cada una. Estos taludes experimentales estuvieron expuestos a las condiciones ambientales existentes con una mínima intervención de mantención, la técnica utilizada para su hidrosembado y sus componentes fueron los mismos, variando solo la cantidad de mulch. Se analizaron variables de temperatura, adherencia, presencia de vectores y cobertura vegetal. La experiencia tuvo una duración de 70 días, incluyendo etapa de germinación de semillas y desarrollo de cobertura vegetal.

Concluida la experiencia, se observó que las temperaturas registradas entre los taludes no tuvieron variación, además se observó que los vectores representan una gran amenaza a la hidrosiembra cuando las dosificaciones de mulch son bajas. Por otra parte, un exceso de mulch presenta una baja adherencia de la mezcla con el suelo y dificulta la germinación y crecimiento del pasto. La dosificación óptima de mulch fue 200 g/m², presentando un 38,58% de cobertura vegetal, a diferencia de los taludes sin mulch que presentaron un máximo de 3% de cobertura.

Palabras claves: hidrosiembra, mulch, cobertura.

Número de palabras: 6127+16*250=10127

EXPERIMENTAL ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF MULCH IN HYDROSEEDING ON SLOPES WITH GRADIENT 150%

JESSICA JARA ARIAS

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

RICARDO RIVEROS VELÁSQUEZ

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

ABSTRACT

In civil engineering, hydroseeding represents a practical solution to the covering of slopes with middling gradients. However, at present, it has not been tested in slopes with gradients of 150 % and the optimum amount of mulch to achieve maximum vegetal coverage is still unknown.

This project aims to analyze the influence of high dosages of mulch on slopes of high slope. For this, experimental slope were implemented with different dosages of mulch and three repetitions of each. These experimental slopes were exposed to the environmental conditions with minimal maintenance. The hydroseeding technique and components were the same varying only the amount of mulch. The variables of temperatura, adhesión, presence of vectors and vegetable cover were analyzed. The experience lasted 70 days including the stage of seed germination and development of vegetable cover.

Once the experiment was completed, we observed that the recorded temperatures between the slopes had no variation, besides we observed that the vectors represent a great threat to hydroseeding when the amounts of mulch are low. On the other side, an excessive amount of mulch presents low adherence of the mixture to the ground and hinders germination and growth of grass.

The optimum amount of mulch was 200 g/m², presenting 38.58% of vegetal coverage, in contrast to the slopes without mulch which presented a maximum of 3% of coverage.

Keywords: hydroseeding, mulch, coverage.

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

Dentro de la Ingeniería Civil, una de las áreas más complejas de trabajar es la de mecánica de suelos, dado que el suelo no es uniforme ni homogéneo, dentro de esta rama se encuentra la estabilidad de taludes, los cuales son grandes masas de suelo con una superficie inclinada respecto a la línea horizontal, que se originan por agentes naturales o la acción del hombre.

Los taludes en ingeniería por lo general presentan altas pendientes y se utilizan principalmente en carreteras, por lo que el control de la estabilidad estructural y superficial de éste se hace necesario para evitar posibles accidentes, evitando poner en riesgo la integridad física de los automovilistas y personas.

La estabilidad superficial de los taludes se ve afectada por la erosión eólica e hídrica, siendo esta última su mayor amenaza (Morgan, 1997). La erosión hídrica es producida por las precipitaciones; en donde las gotas de lluvia impactan en la cara del talud disgregando y arrancando las partículas por salpicaduras, las cuales pueden ser arrastradas por la escorrentía superficial formando surcos o cárcavas, o bien pueden depositarse en la base del talud.

El control de la erosión en taludes sigue siendo un problema sin solución, sin embargo, se ha comprobado que la cobertura vegetal contribuye a la disipación de la energía cinética de las gotas de lluvia por medio de las hojas o follaje de las plantas, interceptándolas y evitando su impacto directo con el suelo. Esta vegetación actúa como una capa protectora o amortiguadora entre la atmósfera y el suelo, absorbiendo la energía de las gotas de lluvia (Riveros, 2003). Por lo que se está empleando distintas técnicas de siembra para crear vegetación en los taludes.

La hidrosiembra es una técnica económica y de fácil aplicación, asegurando una mayor germinación y por ende una mayor cobertura vegetal, siendo eficaz en el control de la erosión en terrenos horizontales, sin embargo no se ha probado su efectividad en terrenos de alta pendiente. Esta técnica consiste en una mezcla acuosa de semillas, mulch, fertilizantes y sustancias adherentes, las cuales son proyectadas en el terreno por medio de una máquina hidrosebradora (Environment & roads).

El mulch es una cubierta protectora que se extiende sobre el suelo, la cual puede ser orgánica o inorgánica, ésta capa evita la evaporación manteniendo la humedad, retiene parte del calor, aporta materia orgánica en el caso de los orgánicos y protege la semilla del sol para que no se quemé y puede protegerla de depredadores dependiendo de la cantidad de mulch utilizada.

La investigación realizada tiene como propósito analizar la influencia de altas dosificaciones de mulch en la aplicación de hidrosiembra para el control de erosión en taludes con 150% de pendiente.

El proyecto se basa en una experiencia en terreno con 6 taludes experimentales expuestos a condiciones reales con una mínima intervención de mantención, los cuales han sido construidos para aplicar 4 dosificaciones distintas de mulch con 3 repeticiones, para obtener coherencia en los datos.

1.1 Justificación del Proyecto de Título

La hidrosiembra es la proyección sobre el terreno de una mezcla acuosa de semillas, fertilizantes, mulch y sustancias adherentes por medio de una hidrosebradora, permitiendo que las semillas y fertilizantes se distribuyan uniformemente en el terreno, favoreciendo la germinación.

La hidrosiembra es una técnica que permite conseguir una siembra fácil y rápida, ya que sus condiciones aseguran una mayor germinación y por consiguiente más posibilidades de revegetación del terreno, esta técnica se aplica principalmente en jardinería y canchas de golf. Debido a que su efectividad en cobertura vegetal y control de la erosión sólo se ha comprobado en terrenos planos o de baja pendiente, su utilización en taludes de alta pendiente presenta una incertidumbre en cuanto a su adherencia y germinación.

El mulch es una capa protectora que se extiende sobre el terreno, el cual puede ser de diferentes tipos, como de fibra de madera, paja, celulosa, caucho, gravilla, entre otras. Tiene como objetivo ser una cubierta protectora que mantiene la humedad del suelo, mantiene la temperatura, evita que la semilla se desprenda o que se la coman las aves u otros depredadores y reduce la radiación solar en el suelo evitando el desarrollo de malas hierbas que compitan con el cultivo por los recursos hídricos y nutritivos presentes.

A pesar de la efectividad de la hidrosiembra en terrenos con baja pendiente, no ha tenido los mismos resultados en taludes con pendientes mayores a 100%, por lo que esta investigación busca analizar su comportamiento en este tipo de taludes de acuerdo a diferentes dosificaciones de mulch, dado a que no existe una dosificación recomendada para taludes de alta pendiente, haciendo necesario evaluar su influencia para mejorar la utilización de esta técnica en la ingeniería civil.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo General

Analizar la influencia de altas dosificaciones de mulch en la aplicación de hidrosiembra para el control de erosión en taludes experimentales con 150% de pendiente.

1.2.2 Objetivos específicos

- Definir las dosificaciones de mulch para su aplicación en taludes de pendiente 150%, de acuerdo a literatura.
- Identificar parámetros relevantes que condicionan el control de erosión a través del desarrollo vegetal en proceso de hidrosembado.
- Implementar experiencia de laboratorio que permita ejecutar la condición de aplicación de hidrosiembra en taludes de pendiente 150%, con diferentes dosificaciones de mulch.
- Analizar el grado de cobertura vegetal en taludes experimentales hidrosembados con diferentes dosificaciones de mulch.

CAPÍTULO II: REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo recopila información aportada por diversos autores enfocados en esta técnica.

Ramírez 2008 define la hidrosiembra como un método de rápida y sencilla aplicación. Rojas 1998 enfatiza que la hidrosiembra permite una mezcla homogénea entre sus componentes.

Enymer entrega las recomendaciones en relación a las dosis de mulch a utilizar.

A continuación se explican con detalle los conceptos generales y los elementos que se utilizan para realizar la hidrosiembra.

2.1 Conceptos generales de la hidrosiembra

La hidrosiembra es un sistema ecológico para crear vegetación con el fin de evitar la erosión y estabilizar terrenos planos o inclinados (que se encuentren mecánicamente estables). Este método permite seleccionar especies vegetales que sean consecuentes con el clima de la región donde se realizará el procedimiento, para así asegurar la germinación de las semillas y con ello la efectividad de la técnica.

La aplicación de la hidrosiembra se hace mediante una máquina hidrosebradora que mezcla de manera homogénea las semillas, fertilizante, mulch y agua; para luego proyectarlo sobre la superficie del talud. (Rojas, 1998).

Algunos beneficios de la hidrosiembra son:

- Ligereza en los materiales que lo componen.
- Facilidad de colocación.
- Sistema flexible; no utiliza hormigón y se adapta a las deformaciones del terreno.
- Adaptación al terreno de la obra. (Pereira, Ramírez, 2008).

2.2 Elementos de la hidrosiembra

La hidrosiembra requiere bajos niveles de mano de obra, por lo que se convierte en uno de los métodos más económicos y efectivos para revegetación, pero para garantizar su efectividad la mezcla debe contener dosificaciones específicas de sus cuatro elementos principales dependiendo de la pendiente del talud y el clima.

2.2.1 *Agua*

Es el solvente que se encuentra en mayor cantidad dentro de la mezcla homogénea, además es el portador y acelerador del proceso de germinación de las semillas.

2.2.2 *Semillas*

En la hidrosiembra se utilizan semillas herbáceas que tienen la capacidad de permanecer en el tiempo, generan mucha germinación, se desarrollan con un mínimo aporte de agua y requieren poca mantención en el tiempo. Estas semillas presentan dos etapas, la primera es la germinación donde el embrión se hincha y la cubierta de la semilla se rompe apareciendo el brote. La segunda y última etapa es el crecimiento de este brote para crear una cobertura vegetal en la superficie del terreno. El grado de cobertura vegetal obtenido en los taludes se define como el porcentaje de área cubierta de pasto en relación al área total de la cara del talud.

Las semillas utilizadas en esta investigación son una mezcla especial de semillas forrajeras compuesta por:

- 40% Festuca arundinacia

Es una gramínea forrajera de crecimiento erecto que mantiene un buen aspecto durante todo el año, posee raíces fibrosas y champosas que alcanzan 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 (www.fagro.edu.uy).

- 40% Lolium perenne

Esta especie, también llamada Ballica, es una gramínea perenne de importancia en la creación de céspedes debido a que es la que crece más rápido. Al tener rápida germinación y fácil establecimiento, estas plantas son utilizadas como componente de la mayoría de las mezclas de hidrosiembra (Humaña, 2010).

- 20% trifolium

También conocido como trébol, es un prado de alta resistencia al pisoteo, crecimiento bajo y rastrero, de rápido cubrimiento, resiste suelos húmedos y posee una baja necesidad de fertilización (Aroca, 2005).

2.2.3 *Fertilizantes*

Un fertilizante es un tipo de sustancia o denominados nutrientes, en formas químicas saludables y asimilables por las raíces de las plantas, para mantener o incrementar el contenido de estos elementos en el suelo. Las plantas no necesitan compuestos complejos, del tipo de las vitaminas o los aminoácidos, esenciales en la nutrición humana, pues sintetizan todo lo que precisan. Solo exigen una docena de elementos químicos, que deben presentarse en una forma que la planta pueda absorber. Dentro de esta limitación, el nitrógeno, por ejemplo, puede administrarse con igual eficacia en forma de urea, nitratos (de potasio y/o fosforo), compuestos de amonio o amoníaco puro. (www.agropaisa.com.co).

El fertilizante utilizado es un compuesto NPK, donde el nitrógeno influye en el desarrollo y fortalece el crecimiento de la planta, el fosforo ayuda en la absorción de energía esencial para la realización de fotosíntesis y el potasio aporta a la planta resistencia a la sequía y heladas.

2.2.4 *Mulch*

El mulch es una cobertura que actúa como aislante, la cual mantiene la humedad, regula la temperatura y suministra nutrientes al suelo.

Puede estar compuesto de fibras de celulosa, madera o por mezcla de éstas dos, y tiene la capacidad de absorber 10 veces su peso en agua, es un producto reciclado y biodegradable.

Sus funciones son proteger contra la erosión, proteger contra el impacto de las gotas de lluvia o riego, reducir la velocidad de evaporación, manteniendo más tiempo la humedad necesaria para la germinación, proteger la semilla contra aves y otros depredadores, aportar materia orgánica y prolongar el período vegetativo y de siembra.

El mulch utilizado en esta investigación es el de celulosa, el cual evita desprendimientos y erosión ante posibles inclemencias climatológicas, reduce la velocidad de evaporación, aporta materia orgánica y conserva la estructura superficial del suelo gracias a la adhesión de la pasta de celulosa sobre éste. Es ideal para su empleo en máquinas de recirculación o agitación por chorro

(sin agitador mecánico), evita los atascos que se producen frecuentemente en máquinas de recirculación y se dispersa rápidamente en el agua. (ENYMER).



Figura 1: Mulch de celulosa (Fuente: Elaboración propia)

CAPÍTULO III: METODOLOGÍA

Para analizar la influencia de altas dosificaciones de mulch en la hidrosiembra se realizan 6 lisímetros (taludes experimentales) con pendiente de 150% similar a las utilizadas habitualmente en carreteras, cuya inclinación está dada por la relación de tres unidades verticales a dos unidades horizontales. Estos taludes poseen un área expuesta de $1.2 m^2$ cada uno, el relleno de estos se hizo con batolito costero, el cual es una arena limosa pobre de nutrientes predominante en rellenos y cortes de la octava región.

Cada lisímetro se divide en dos verticalmente, obteniéndose 12 franjas de estudio las cuales poseen la misma orientación y exposición a agentes ambientales.

Para encontrar la influencia del mulch se realizan mezclas con distintas dosificaciones de éste y con igual cantidad de semillas, agua y fertilizantes. Se utilizan 4 dosificaciones diferentes de mulch en 3 repeticiones cada una.

Los rangos de mulch propuestos en literatura oscilan entre $85 - 200 g/m^2$ siendo el recomendado $100 g/m^2$ para terrenos planos, por o tanto en esta investigación se utilizará un rango de $0 - 450 g/m^2$ para analizar su influencia en alta pendiente.

De acuerdo a literatura e investigaciones anteriores se definirán las variables de influencia a lo largo de toda la experiencia. Entre ellas se encuentra el riego, tipo de suelo y exposición a condiciones ambientales, los cuales serán parámetros controlados para cada lisímetro.

La temperatura será una variable cuantitativa medida ambientalmente y en cada lisímetro, para analizar si el mulch regula la temperatura en época primavera-verano.

La presencia de vectores, cobertura vegetal y adherencia son variables no controladas, las cuales serán medidas cualitativamente para analizar la influencia de mulch en el control de erosión en taludes de alta pendiente.

3.1 Descripción de variables

Según antecedentes observados en proyectos de hidrosiembra realizados anteriormente se desprenden las variables relevantes que podrían o no influir en este proyecto, en cualquiera de las dos etapas de las semillas. Estas variables se medirán en forma cuantitativa y cualitativa, las cuales se definen así:

Variables cuantitativas: Temperatura ambiente, datos recopilados de www.weather.com, temperatura de los lisímetros estos se miden de forma superficial (1cm) y en tres puntos de cada

franja y se obtiene un promedio. Los análisis se realizarán con las mediciones de temperatura en los lisímetros sin mulch y los con 450 (g/m²) para medir su influencia en la regulación de la temperatura.

La cobertura vegetal es una de las variables relevantes, en base a ella se analizará la influencia del mulch en la hidrosiembra, ésta se mide en base a registros fotográficos cada dos semanas.

Variables cualitativas: Adherencia, esta se observa en el transcurso de la experiencia, es una variable relevante ya que la germinación y el buen desarrollo de la planta está muy condicionada por ésta. La medición se realizará mediante la observación de la formación de costra de mulch y su posterior levantamiento de la cara del talud.

Los vectores presentes en el área de estudio se incluirán como una variable relevante, dado que pueden influir en la primera etapa de la hidrosiembra, donde la semilla aún no germina completamente.

El riego de los lisímetros es una variable controlada a lo largo de la experiencia, cuya cantidad y frecuencia será constante para todas las dosificaciones de mulch.

La adherencia tendrá además una medición cuantitativa indirecta, que será analizada de acuerdo a la cantidad de desprendimiento de material para cada dosificación.

3.2 Construcción de los lisímetros

Se utilizan 6 lisímetros con una pendiente de 150% (pendiente característica de taludes de carretera), los cuales se dividen en 2 en forma vertical obteniéndose 12 franjas, las cuales tendrán 4 dosificaciones diferentes de mulch, con 3 repeticiones cada una para obtener datos representativos. Cada franja posee 0.6 m² de exposición donde se aplicará la mezcla.

El relleno de los lisímetros utilizados es un material compactado asumiendo un rango de 65% a 75% en relación a la densidad máxima compactada seca (DMCS) del suelo (ANEXO A). Estos lisímetros presentaban una pendiente de 100%, la cual fue aumentada a 150% para realizar la experiencia y se retiró la capa superficial del suelo, dejando la superficie lo más aproximada al corte de un talud real.

La orientación de los taludes es noroeste, principalmente para que la superficie expuesta del talud reciba la mayor cantidad de rayos solares en el día, los cuales son necesarios para la germinación y posterior desarrollo de la planta. Sin embargo esta orientación es una de las más negativas en la hidrosiembra, dado que la lluvia y/o viento impacta directamente la superficie expuesta del talud, logrando desprender fácilmente la mezcla de semillas.

3.3 Sembrado

Como se mencionó anteriormente, para analizar la influencia de la alta cantidad de mulch en la hidrosiembra para el control de la erosión de taludes, es necesario analizar el comportamiento del mulch de acuerdo a diferentes dosificaciones de éste.

Las dosificaciones de mulch escogidas se basan en rangos utilizados en suelos planos en una experiencia realizada en la Universidad del Bío-Bío en primavera-verano del año 2013, para taludes con pendiente 100%, se utilizó una de las dosificaciones de esa investigación (200 g/m²) para poder comparar resultados de acuerdo a los obtenidos en esta ocasión.

Se realiza una dosificación sin mulch, para posteriormente comparar los resultados obtenidos con las que poseen este componente en diferentes proporciones y observar el efecto que genera el mulch sobre la mezcla.

Las dosificaciones de agua, semillas y fertilizantes son constantes para todas las repeticiones, sin embargo la dosificación de mulch es variable para poder encontrar la influencia de éste en la generación de cobertura vegetal, lo cual se ve representado en la siguiente tabla. La distribución de las dosificaciones de mulch en terreno se aprecia en la figura 3.

Tabla 1: Rangos utilizados en la experiencia.

Componente	Dosificación 1	Dosificación 2	Dosificación 3	Dosificación 4
Agua l/m^2	2	2	2	2
Mulch g/m^2	0	50	200	450
Semilla g/m^2	50	50	50	50
Fertilizante g/m^2	40	40	40	40

(Fuente: Elaboración propia)

Para realizar la hidrosiembra se siguieron los siguientes pasos:

- Se preparó la mezcla, compuesta por mulch de celulosa, agua, semillas y fertilizante, se colocó el agua y luego se fueron agregando los elementos comenzando con el de menor densidad hasta el de mayor densidad.
- Se aplicó la mezcla, correspondiente a las 4 dosificaciones (Tabla 1), y con una pendiente del 150%.
- Se regó una vez al día, en la tarde, con la finalidad de mantener húmedo el suelo, con una dosificación de $1.5 \text{ lt}/m^2$ de agua.

La mezcla de los componentes se realiza de forma manual, el mulch se debe moler, obteniéndose una mezcla homogénea de textura pastosa.

Se realizan 3 repeticiones de las cuatro dosificaciones para observar coherencia en los datos, estas se realizan de forma simultánea con el propósito que estén sometidos a las mismas condiciones climáticas. Por lo tanto, de los 6 lisímetros, se tomara como 1 repetición cada 2 lisímetros, lo que se traduce en 3 repeticiones (Ver figura 2 y 3).



Figura 2: Esquema de la experiencia (Fuente: Elaboración propia)



Figura 3: Distribución dosificaciones de mulch (Fuente: Elaboración propia)

3.4 Canaletas receptoras de material

Las canaletas colocadas en el pié de cada lisímetro fueron diseñadas para drenar exceso de agua y retener sedimentos que se desprendan de éste; ya sea suelo, semillas y/o mulch. Para posteriormente medir la adherencia de la mezcla (Ver figura 3).

La adherencia de la pasta de mulch se cuantificó por medio de la cantidad de material depositado en las canaletas de cada lisímetro, cuyas muestras fueron extraídas, secadas durante 24 horas y posteriormente incineradas.

La incineración se realizó durante 2 horas a 500°C, con el objetivo de quemar toda la materia orgánica presente en las muestras y así obtener la cantidad de mulch desprendido.



Figura 4: Canaletas de recepción de material (Fuente: Elaboración propia)

CAPÍTULO IV: ANÁLISIS DE LOS FACTORES DE INFLUENCIA Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

La experiencia se realizó durante las estaciones de primavera y verano (23 de octubre 2014 – 02 enero 2015), donde se recopilaron todos los datos de las variables que podrían influir en la cobertura vegetal presente en los lisímetros.

En este capítulo se presenta el análisis de influencia respecto de cada variable en los taludes experimentales, además, se incluye el grado de cobertura registrado de acuerdo a las condiciones presentes en la investigación.

4.1 Análisis de riego

El riego recomendado en primavera/verano para mezcla de semillas forrajeras por Sociedad agrícola nacional ANASAC es 1.5 lt/m^2 para terrenos planos, por lo que se aumentó a 2.5 lt/m^2 , considerando la alta pendiente de los lisímetros y además considerando la nula germinación durante los primeros cinco días. El riego se realizó con una regadera, para que las gotas de agua perdieran energía y no arrastraran material hasta la base de cada una de las franjas de análisis.

La cantidad de agua administrada fue suficiente para producir la germinación de las semillas en los lisímetros, esto queda demostrado con la presencia de musgo (briófitas) en la capa de mulch (ver figura 3), el cual sólo se presenta en hábitat con alto porcentaje de humedad. Por lo que se descarta que la baja germinación se deba a falta de riego. Sin embargo, la condición de alta pendiente probablemente no permitió una total infiltración del agua, debido a que la capa de mulch también actúa como una barrera, dificultando una rápida absorción de ésta.



Figura 5: Musgo presente en lisímetros (Fuente: Elaboración propia)

4.2 Análisis de adherencia

La adherencia se midió de dos formas, indirecta por medio del material desprendido del lisímetro y cualitativa al observar el posible levantamiento de la capa de mulch.

La adherencia de la mezcla a la cara del talud experimental fue exitosa para los diferentes porcentajes de mulch presentes durante las primeras 4 semanas, dado que las canaletas presentaban baja cantidad de material y no hubo levantamiento de la capa de mulch en los taludes. Sin embargo, desde la quinta semana se observó que la vegetación de las franjas con mayor cantidad de mulch (450 g/m^2) comenzaron a levantar la capa de mulch del talud, esto debido al gran espesor y textura dura, la cual formó una especie de costra en el talud (Ver figura 5). Los brotes al crecer no fueron capaz de romperla y comenzaron a levantarla junto con su crecimiento, la capa de mulch perdió superficie de contacto con el terreno por lo que en ese sector las semillas no germinaron, quedando encapsuladas en el mulch sin contacto con el suelo.



Figura 6: Levantamiento del mulch (Fuente: Elaboración propia)

El levantamiento de la capa de mulch sólo se produce en los lisímetros con 450 g/m^2 , por lo que la adherencia influye directamente en condiciones con exceso de mulch.

La adherencia medida de forma indirecta por medio del material desprendido del talud y depositado en las canaletas de recepción, se realizó incinerando la totalidad de este material para obtener los valores de mulch desprendido de los lisímetros. Las tablas 2 y 3 muestran los valores obtenidos del material depositado en las canaletas.

La tabla 3 posee valores alterados (*), esto debido a que tres canaletas fueron sacadas de los lisímetros para cortar el pasto del sector, asimismo estas canaletas presentan hojas del pasto cortado junto con la muestra, lo que modifica el porcentaje orgánico de ellas. Sin embargo las muestras alteradas presentaron bajo desprendimiento de material, alrededor de 1% de mulch caído, por lo que este suceso no es relevante en el análisis de adherencia.

Tabla 2: Porcentaje de mulch desprendido del talud, muestra 1.

Dosificación de mulch (g/m ²)	Material erodado canaletas (g)	Mulch por franja (g)	Mulch caído (g)	total mulch caído (%)
0	38,68	0	0	0
50	25,08	30	0,640	2,13
	11,90		2,015	6,72
	13,87		4,162	13,87
200	16,14	120	1,114	0,93
	12,22		1,003	0,84
	4,79		1,343	1,12
450	11,76	270	0,708	0,26
	14,16		0,814	0,30
	15,06		0,767	0,28

(Fuente: Elaboración propia)

Tabla 3: Porcentaje de mulch desprendido del talud, muestra 2.

Dosificación de mulch (g/m ²)	Material erodado canaletas (g)	Mulch por franja (g)	Mulch caído (g)	total mulch caído (%)	Mulch caído en ambas muestras (%)
50	32,42	30	8,25	27,51	29,64
	17,97		13,19	43,97	50,69
	18,77		11,17	37,24	51,11
200	15,67	120	0,99	0,82	1,75
	11,21		1,37	1,14 *	1,98 *
	10,90		1,22	1,02 *	2,14 *
450	12,55	270	1,27	0,47	0,73
	10,65		3,22	1,19 *	1,49 *
	12,11		1,66	0,61	0,89

(Fuente: Elaboración propia)

Para el suelo en estado natural el porcentaje de materia orgánica fue de 3,08%, y de acuerdo a este valor, se obtuvieron los porcentajes de mulch presentes en la muestra.

La primera toma de muestras se realizó el 06 de noviembre de 2014, dos semanas después de la hidrosiembra; en las franjas sin mulch la semilla se desprendió casi inmediatamente, debido principalmente a la alta pendiente del lisímetro y las condiciones climáticas de la zona como el viento y una llovizna presente el día 25 de octubre de 2014, sólo dos días después de realizada la hidrosiembra.

La segunda toma de muestras se realizó el 27 de noviembre de 2014, cuyos resultados mantuvieron la tendencia, mostrando que las franjas con 50 (g/m²) tienen gran desprendimiento de materia orgánica. Este gran desprendimiento de la capa de mulch se debe a que no se logra una cobertura continua, brindándole una baja protección a la semilla quedando expuesta a los vectores del lugar, los cuales escarban la superficie desprendiendo las semillas junto con el mulch.

La mejor adherencia medida en forma indirecta se presenta en los lisímetros con 450 (g/m²) de mulch, los cuales poseen menos de 1% de desprendimiento de material, lo que se explica debido al espesor de esta capa, ya que al ser densa y firme el desprendimiento de las partículas es menos probable que en los otros casos formando una costra en la superficie del talud. Sin embargo, esta dosificación no presenta adherencia en la medición cualitativa, donde sobre un 70% de la capa de mulch se levantó, impidiendo la formación de cobertura vegetal.

De acuerdo a la medición indirecta los lisímetros con dosificación de 200 (g/m²) presentaron un promedio de 1,96% de desprendimiento de mulch, siendo un valor despreciable en cuanto al área total de muestra. Por otra parte, en la medición cualitativa esta dosificación no presentó levantamiento de la capa ni formación de costra.

Por lo tanto, la dosificación de mulch donde tuvo menos influencia la variable de la adherencia es en los lisímetros con 200 (g/m²).

4.3 Análisis de vectores

Los vectores son agentes generalmente orgánicos, como aves, insectos u otros animales, los cuales afectan directamente una plantación o siembra. Estos vectores afectan de dos formas, una de ellas es transmitir plagas o virus en las siembras y otra forma es alimentarse de las semillas y/o plantas propiamente tal, disminuyendo o anulando el grado de cobertura esperado. Siendo ésta última la más importante en la hidrosiembra.



Figura 7: Vectores alimentándose de las semillas (Fuente: Elaboración propia)

Los principales vectores observados a lo largo de toda la experiencia fueron las palomas, las cuales se observan en la figura 6 alimentándose de las semillas de las franjas sin mulch y además rasguñaron las franjas que tenían $50 \text{ (g/m}^2\text{)}$, al ser las que tenían menos mulch, la capa de protección de la semilla era delgada y al excavar desprendieron gran parte de éstas, las cuales no se encontraron en la canaleta, por lo que se asume que se alimentaron de ellas.

4.4 Análisis de temperatura

Las mediciones de temperatura se realizaron una vez al día durante 38 días a partir desde que se realizó la hidrosiembra, las mediciones se tomaron en 3 puntos de cada franja (arriba, al centro y abajo) y se registró el promedio de éstas, aunque en todos los taludes la temperatura fue la misma en los 3 puntos (estimado, ya que se utilizó termómetro de mercurio manual).

El mulch tiene la propiedad de regular la temperatura, por lo que en primer lugar se busca encontrar si hay variación en las temperaturas de los lisímetros con diferentes dosificaciones de mulch, para ello se analizarán las temperaturas de los lisímetros sin mulch y los lisímetros con mayor dosificación de mulch, sometiéndolas a un análisis estadístico para determinar si el mulch regula o no la temperatura en época de altas temperaturas.

Las temperaturas son sometidas a un análisis estadístico, específicamente un test paramétrico análisis de varianza (ANOVA).

Este test define como hipótesis:

$$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_k$$

H_1 : No todas las medias son iguales

H_0 : Todas las medias de temperaturas son iguales, no importando la cantidad de mulch aplicado en los taludes.

H_1 : Todas las medias de temperaturas no son iguales en los taludes, y dependería de la cantidad de mulch aplicado en los taludes.

Se obtuvo el mismo resultado para todas las repeticiones:

H_0 se acepta y H_1 se rechaza, lo que indica que todas las temperaturas fueron igual independiente de la dosificación de mulch presente. (ANEXO B).

Por lo tanto, la temperatura en la hidrosiembra no varía dependiendo de la cantidad de mulch aplicada en cada lisímetro, y por ende la germinación de las semillas en este aspecto no se ve condicionada por las diferentes dosificaciones de mulch utilizadas en esta experiencia. Por lo que se puede decir que en primavera el mulch no regula la temperatura.

La temperatura registrada durante los días de medición presentó una máxima de 22°C (Ver figura 7), lo cual está dentro del rango necesario para la germinación de las semillas utilizadas. Las semillas de festuca necesitan una temperatura óptima entre 18°C – 25°C para germinar y la temperatura óptima de germinación de la ballica es 15,5°C – 25°C. Ambas especies en conjunto representan el 80% del total de semillas utilizadas y no se ven afectadas por las temperaturas registradas de la época, por lo que este parámetro no influye directamente en la germinación de la hidrosiembra.

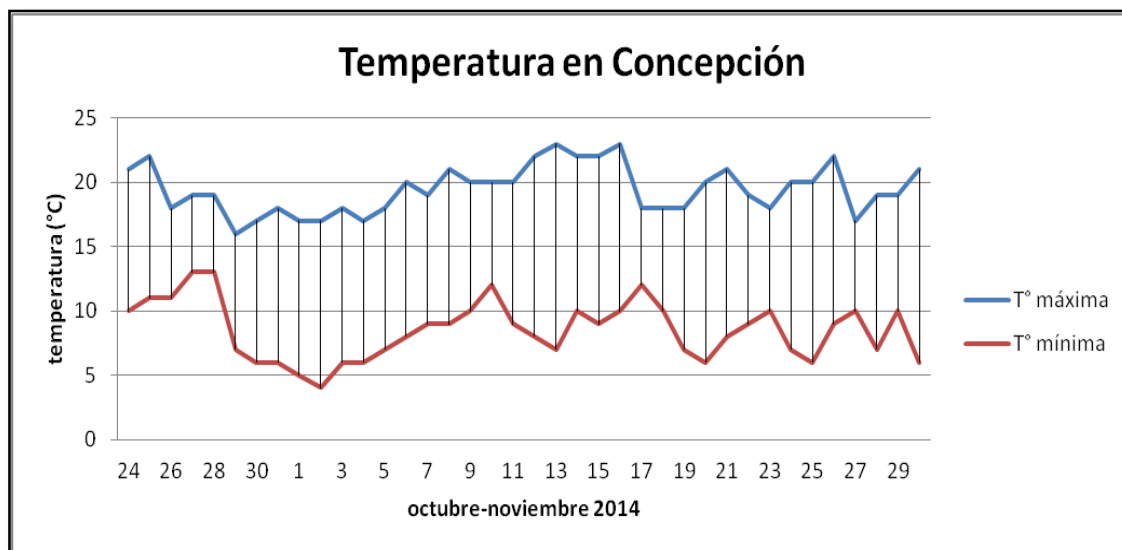


Figura 8: Gráfico de temperaturas registradas (Fuente: Elaboración propia)

4.5 Análisis de cobertura vegetal

El análisis de cobertura en un principio se realizaría semanalmente para apreciar de mejor manera el grado de cobertura en los lisímetros, sin embargo las primeras dos semanas la cobertura fue mínima, no superando el 2% en todos los lisímetros, por lo que no se consideraron estas semanas en el análisis. Finalmente el análisis se realizó cada dos semanas durante 6 semanas, esto debido a la lenta germinación y lento crecimiento del pasto. Los registros fotográficos se muestran en el Anexo B, a partir de las cuales se obtuvieron los siguientes gráficos:

Semana 4:

En la segunda y tercera semana comienzan a aparecer los primeros brotes, cuya tardanza se debe al calor de la época, ya transcurrida las cuatro primeras semanas los brotes han crecido y se puede apreciar fácilmente el grado de cobertura.

Los lisímetros con ausencia de mulch presentan 0% de cobertura, lo que se explica por los factores de influencia mencionados anteriormente, sin embargo, los lisímetros con 200 (g/m²) son los que han presentado mayor porcentaje de cobertura llegando a un 12,06%, los cuales se aprecian en el siguiente gráfico:

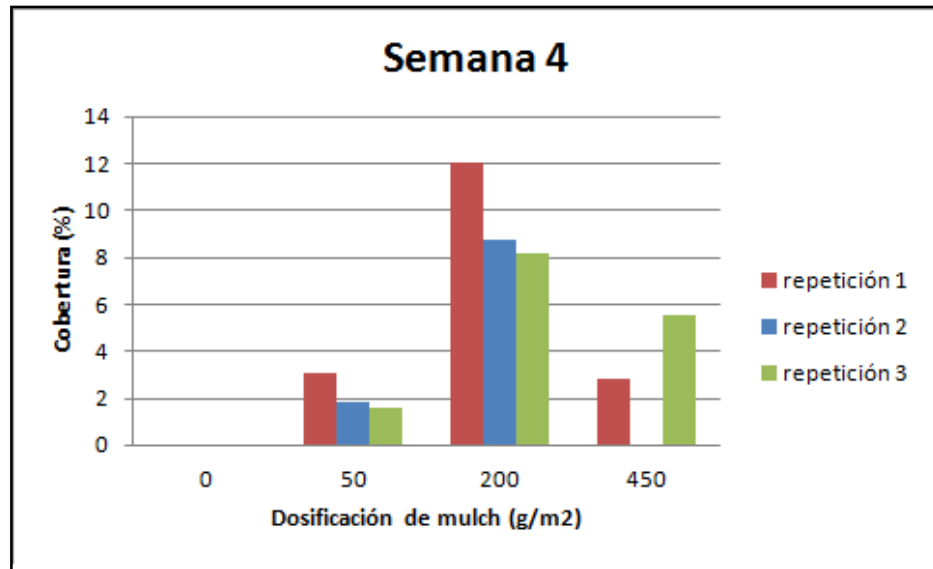


Figura 9: Gráfico cobertura semana 4 (Fuente: Elaboración propia)

Semana 6:

Transcurridas las seis semanas, el grado de cobertura aumentó considerablemente en comparación con las mediciones anteriores, donde los lisímetros con 200 (g/m²) siguen la tendencia aumentando su cobertura rápidamente, alcanzando un máximo de 38,58% de cobertura vegetal (Ver figura 9).

En una de las franjas con ausencia de mulch se observó un 3,25% de cobertura, correspondiente a semillas que quedaron en la parte baja del talud, sobre la canaleta y fueron cubiertas por el suelo que se desprendió, protegiéndolas y permitiendo su germinación.

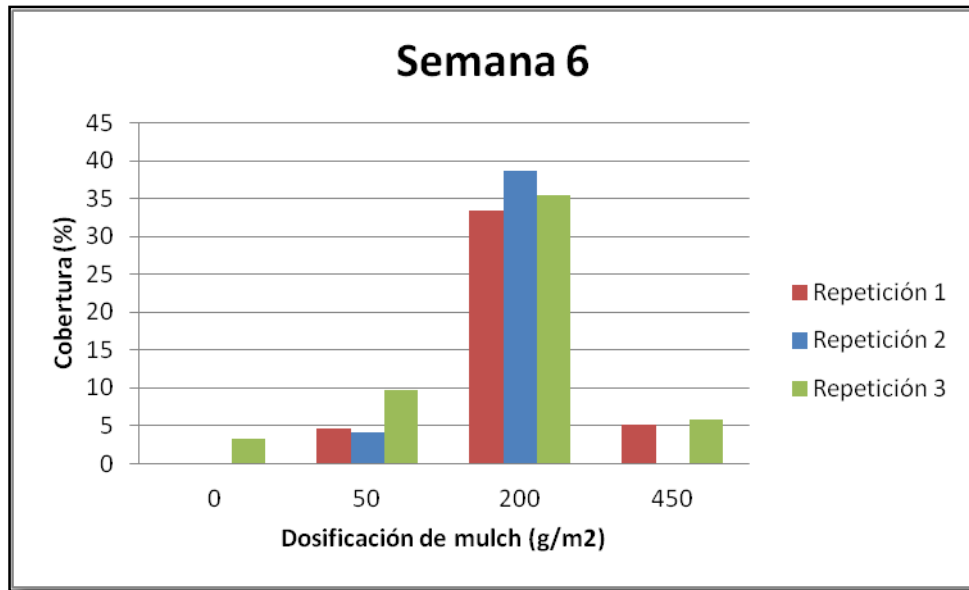


Figura 10: Gráfico cobertura semana 6 (Fuente: Elaboración propia)

Por lo tanto, según los gráficos, se desprende que el mulch es muy necesario en la hidrosiembra. Si bien no reguló la temperatura de los lisímetros, los protegió de los vectores presentes. Aun así donde se utilizó la máxima dosificación de mulch, la cobertura no tuvo buenos resultados, esto se debe a que la capa se levantó con el tiempo perdiendo zona de contacto entre las semillas y el suelo.

De acuerdo a estos análisis, se obtuvo que la dosificación de mulch que menos se ve afectada por las variables en la hidrosiembra para taludes con 150% de pendiente es de 200 (g/m²), lo cual se aprecia en el siguiente gráfico:

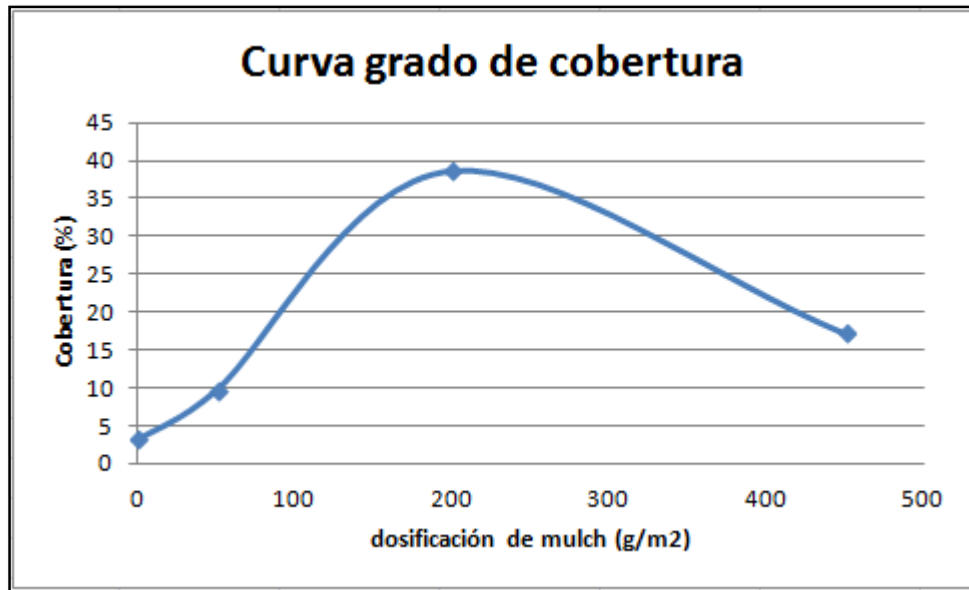


Figura 11: Gráfico grado de cobertura (Fuente: Elaboración propia)

Para la hidrosiembra en taludes con 150% de pendiente, las dosificaciones de mulch influyen directamente en el grado de cobertura vegetal que se desea lograr, sin embargo, eso no significa que a mayor cantidad de mulch será mayor el grado de cobertura. Esto queda demostrado en la experiencia realizada, observando que si la dosificación de mulch es demasiada, la capa al ser gruesa no absorbe suficiente humedad y se separa del suelo, los brotes al ir creciendo ayudan a que esta separación se mantenga en el tiempo.

Los grados de cobertura obtenidos en esta experiencia para taludes con pendiente 150% se pueden comparar con la experiencia realizada por San Martín 2014 para taludes con pendiente 100% donde se tiene en común la dosificación de 200 (g/m²).

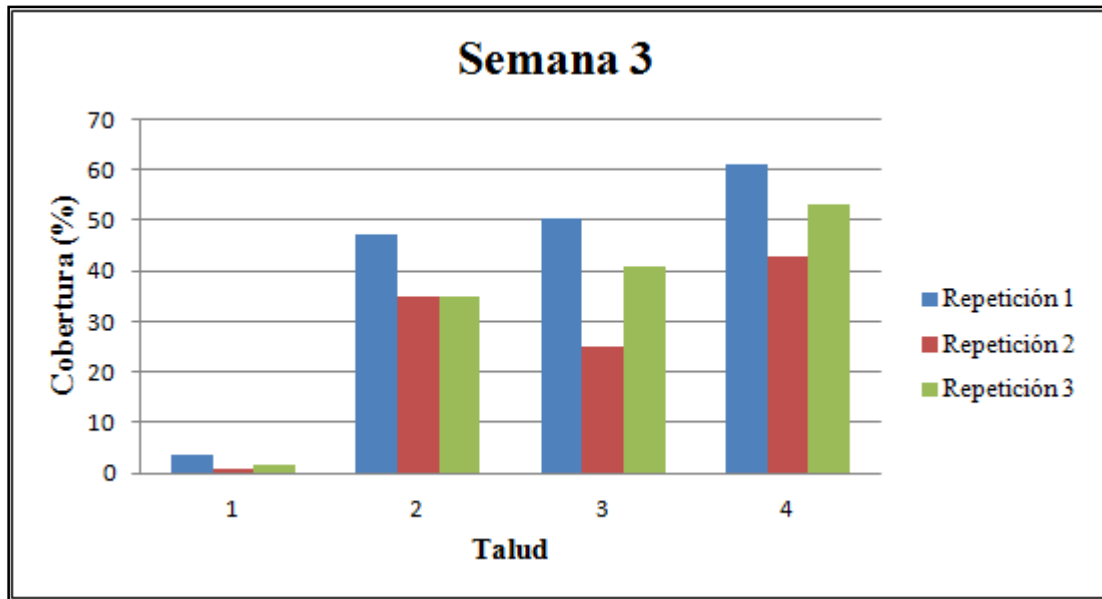


Figura 12: Gráfico grado de cobertura San Martin 2014

(Fuente: San Martin 2014)

En el gráfico anterior el talud número 3 presenta la dosificación de 200 (g/m²), donde obtuvo un máximo de 49,4% de cobertura vegetal, lo cual no se aleja demasiado de los valores obtenidos en esta experiencia durante la misma época del año para taludes con 150% de pendiente. Por lo tanto, se puede inferir que la alta pendiente de los lisímetros si influye en la cantidad de vegetación presente luego de realizar una hidrosiembra, presentando una variación de aproximadamente 10% entre las máximas coberturas obtenidas en ambos proyectos para una misma dosificación de mulch.

La variación registrada entre ambas experiencias se explica por diferentes factores presentes, entre ellos se encuentran:

- La pendiente del talud, los taludes de esta experiencia al tener una gran inclinación ayudó a que las semillas se desprendieran con mayor facilidad, ya sea por el viento o por el agua de riego.
- La orientación de los taludes, estos taludes presentan orientación noroeste, siendo esta orientación la más desfavorable, quedando la cara del talud con mayor exposición a los agentes climáticos.

- El clima, el año 2013 en el periodo de estudio registró mayores lluvias, en relación a las registradas en la misma fecha del año 2014. Por lo tanto, al ser época de altas temperaturas, esas lluvias ayudaron a que hubiera mayor germinación en aquella experiencia. Por otra parte, las temperaturas registradas en esta experiencia fueron mayores a las de la experiencia anterior, haciendo que algunas semillas se quemaran, obteniéndose una menor germinación.

Considerando los factores expuestos, la variación de cobertura presente entre ambas investigaciones queda determinada por la influencia de éstos en diferentes medidas a lo largo de la experiencia. Sin embargo, el siguiente gráfico muestra los mínimos y máximos valores de cobertura vegetal para cada investigación, donde se aprecia que los valores obtenidos en ésta experiencia para taludes con pendiente 150% presentan menor rango de error que los valores obtenidos en la experiencia con taludes 100%, obteniéndose una mayor validez en ellos.

Considerando la influencia de los factores y la validez de los datos obtenidos, se infiere que la hidrosiembra es una buena alternativa para controlar la erosión en taludes con pendiente 150%.

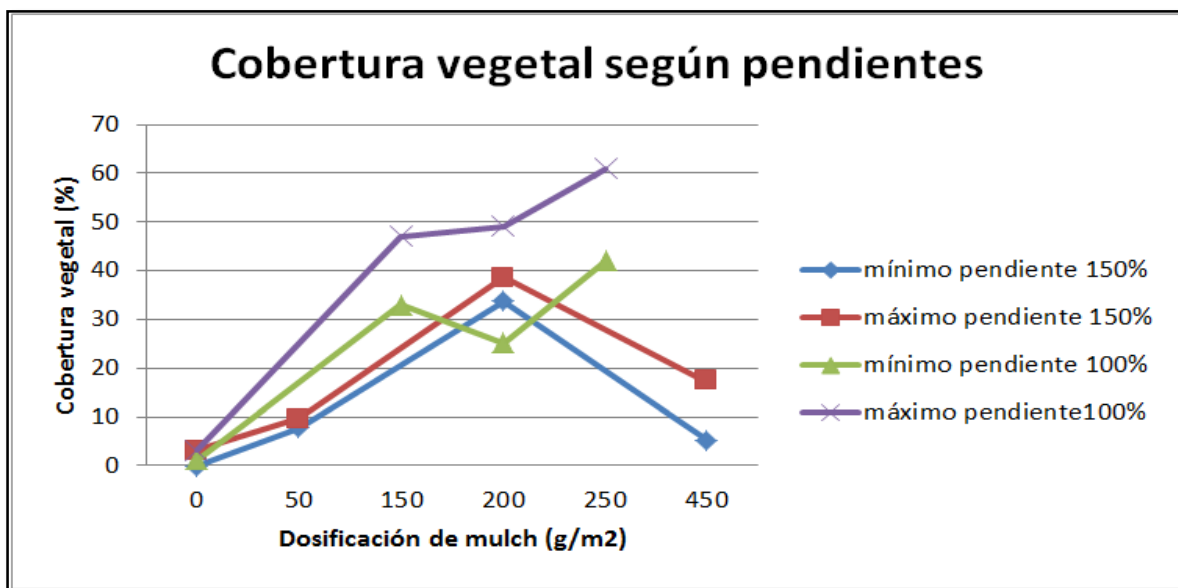


Figura 13: Gráfico cobertura vegetal según pendientes
(Fuente: Elaboración propia)

CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La experiencia realizada obtuvo resultados satisfactorios, en cuanto al análisis de las variables influyentes en el grado de cobertura en lisímetros con pendiente 150%.

Se estima que la implementación en taludes experimentales fue apropiada, permitiendo medir las variables más relevantes que condicionan el control de la erosión en taludes hidrosebrados, permitiendo proyectar resultados a condición de escala real.

Las dosificaciones de mulch utilizadas permitieron encontrar un punto de inflexión en el grado de cobertura vegetal, entregando un óptimo de 200 g/m^2 para dosificaciones estudiadas.

El mulch en dosificaciones de 50 g/m^2 no logra una cubierta de protección continua, exponiendo el terreno y facilitando el arrastre de material, por lo tanto, se considera una dosificación muy baja para el control de erosión. Por otra parte, en dosificaciones altas, se forma una costra impidiendo la formación de cobertura vegetal.

El riego es fundamental en la hidrosiembra en época de altas temperaturas, se aumentó su dotación a 2.5 lt/m^2 una vez al día, para mantener la humedad de los lisímetros.

La adherencia tuvo dos fases, en un principio todos los lisímetros con mulch presentaron total adherencia al suelo, sin embargo, las franjas con ausencia de mulch no se adhirieron y las semillas fueron arrastradas por el viento y riego casi al instante. Al pasar los días las franjas con exceso de mulch comenzaron a perder adherencia, levantándose producto del crecimiento de los brotes del pasto que no atravesaron la costra de mulch formada.

El principal vector presente en la experiencia fueron las palomas, las cuales rasguñaron los lisímetros con menor dosificación de mulch botando gran parte de éste y las semillas, con lo que se obtuvieron valores de cobertura casi insignificantes. Por lo que es posible manifestar que en dosificaciones menores el mulch no protege de vectores.

Las temperaturas medidas en los lisímetros no tienen variaciones significativas, ya que en todos los lisímetros independientemente de la cantidad de mulch presente, la temperatura es prácticamente la misma. Por lo que es posible concluir que en primavera-verano el mulch no cumple la función de regular la temperatura en la hidrosiembra.

La pendiente del talud puede influir en el grado de cobertura vegetal, ya sea por permitir un rápido flujo del agua de riego, haciendo que no se alcance a absorber toda por el mulch, o porque la alta pendiente disminuye las horas de luz directa que reciben las semillas, disminuyendo su temperatura y retardando la germinación.

El mulch es imprescindible al aplicar hidrosiembra en taludes con pendiente 150%, debido a que los lisímetros con ausencia de mulch presentaron como máximo 3,25% de cobertura vegetal en una de las franjas. Los lisímetros con 200 (g/m²) presentaron los mejores resultados en cuanto a adherencia y grado de cobertura, obteniendo un desprendimiento de mulch máximo de 2,14% y un grado de cobertura total de 38,58%, observándose que la dosificación recomendada de mulch en taludes con pendiente 150% es 200 (g/m²) en época de altas temperaturas.

Los datos obtenidos en las repeticiones de las dosificaciones de mulch presentan bajo rango de error, dando coherencia y validez a los resultados.

El grado de cobertura vegetal observado es menor que en condiciones horizontales o de baja pendiente, sin embargo, representan una posible solución al problema de erosión superficial en taludes viales, minimizando así el riesgo de desprendimiento de material en épocas de fuertes lluvias.

Se propone para futuras experiencias:

- Aplicar la hidrosiembra en época de otoño, para verificar si el mulch regula la humedad y temperatura en un clima menos cálido y/o con lluvias estacionales.
- Aplicar la hidrosiembra en taludes con pequeñas terrazas para comparar la efectividad de ésta con los análisis ya obtenidos en esta experiencia.
- Se propone realizar la experiencia con rangos menores de variación de dosificaciones en torno al óptimo encontrado en esta investigación.

BIBLIOGRAFÍA:

- Reglamento Técnico de Control y certificación de semillas y plantas forrajeras de 15 Julio 1986, aprobado por la Orden de 31/01/76 y modificado por la Orden de 1/0786 (BOE, N° 168 de 15/07/86)
- SAN MARTIN Venegas, Daniela Andrea. Determinación óptima de Mulch, para mejorar condición técnica del hidrosembado en taludes de alta pendiente. Tesis (Ingeniero Civil). Concepción, Chile. Universidad del Bío-Bío. Depto. Ingeniería Civil y Ambiental, 2014.
- RIVEROS Velásquez, Ricardo E. Implementación y optimización de sistema de recubrimiento económico, no tradicional para taludes de la VIII Región. Tesis (Ingeniero Civil). Concepción, Chile. Universidad del Bío-Bío. Depto. Ingeniería Civil y Ambiental, 2003.
- ANASAC. Riego. [en línea]<<http://www.anasac.cl/agropecuarios/productos>> [Consulta: 30 septiembre 2014]
- LEÓN Peláez, Juan Diego. Estrategias para el control y manejo de la erosión en Cárcavas.[en línea] <http://www.unalmed.edu.co/~poboyca/documentos/documentos1/documentos.Juan%20Diego/Plnaifi_Cuencas_Pregado/cap%201%20y%202%20libro%20erosion.pdf> [consulta:20 octubre 2014]
- Pereira, Ramírez. Bases para la implementación de un nuevo negocio para la empresa IGMA S.A., Concepción, Chile. Universidad del Bío-Bío. Depto. Ingeniería Industrial 2008.
- Hidrosembado. Hidrosembado de taludes a gran altura. [en línea] <<http://www.hidrosembado.net/obras.html>> [Consulta: 25 noviembre 2014]
- LOPEZ, C. 1990. Manual de Estabilización y revegetación de Taludes. Madrid (España).

- Humaña (2010), Evaluación de protección de taludes de alta pendiente con distintas alternativas de hidrosembado, Departamento Ingeniería Civil, Universidad del Bío-Bío, Chile.
- ACCUWEATHER. Temperaturas registradas en concepción, octubre y noviembre 2014. [en línea]
<<http://www.accuweather.com/es/cl/concepcion/57655/november.weather/57655?monyr=11/1/2014>> [consulta: 16 febrero 2015]

ANEXOS

ANEXO A: MECÁNICA DE SUELOS

Granulometría:

Se realizó una granulometría de acuerdo la norma NCh 165 of. 77, los resultados obtenidos se exponen en la siguiente tabla.

Tabla A1: Granulometría

	Retiene	% retenido	% pasa
0,75			100
0,375	4,2	1,3	98,7
4	16	5,0	93,7
10	48,8	15,2	78,5
20	47,4	14,8	63,7
40	40,8	12,7	51,0
60	27,5	8,6	42,4
200	52,3	16,3	26,1
Residuos	83,5		

(Fuente: Elaboración propia)

Límites de Atterberg

Los límites de atterberg se realizaron de acuerdo a la norma NCh 1517/ I of. 1979 y para el límite plástico la NCh 1517/ II of. 1979. Los cuales se presentan a continuación:

Límite líquido: 41,17

Límite plástico: 30,88.

Índice de plasticidad: 10,27.

Proctor modificado

Se realizó un Proctor modificado según de la norma NCh 1534 of. 1979, el detalle se presenta en la tabla.

Tabla A2: Proctor modificado

Ensayo	Molde + material (kg)	Tara molde (kg)	Material (kg)	Volumen Molde (m3)	D.C.H. (kg/m3)	Humedad aparente (%)	Humedad Real (%)	D.C.S. (kg/m3)
1	3,678	1,823	1,855	0,000929	1996,771	3	5,5%	1887,28
2	3,774	1,823	1,951	0,000929	2100,108	5	6,6%	1960,928
3	3,861	1,823	2,038	0,000929	2193,757	7	8,9%	1999,310
4	3,885	1,823	2,062	0,000929	2219,591	9	10,8%	1980,354
5	3,859	1,823	2,036	0,000929	2191,604	11	12,5%	1916,664

(Fuente: Elaboración propia)

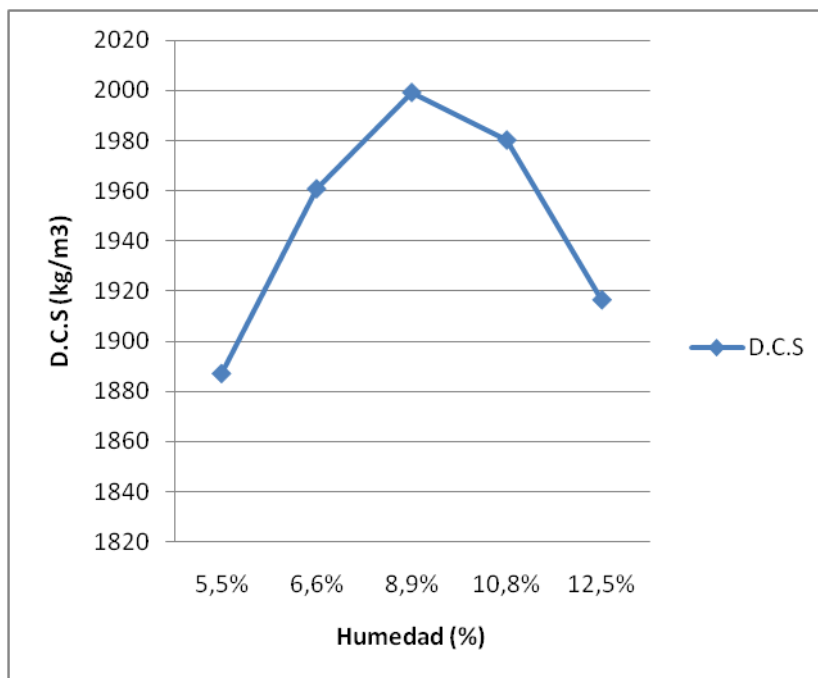


Figura A1: Proctor modificado (Fuente: Elaboración propia)

De acuerdo al grafico se obtiene que la máxima densidad que se puede alcanzar el suelo analizado, es 1999 kg/m3 y con una humedad óptima de 8,9%.

Las densidades se midieron en dos puntos del talud arriba y abajo como se muestra en la siguiente tabla. Obteniendo que los taludes poseen un 68% de compactación.

Materia orgánica

El porcentaje de materia orgánica presente en el suelo de los lisímetros es 3,08%.

Tabla A3: cálculo materia orgánica

Muestra de suelo (g)	Suelo inorgánico (g)	Suelo orgánico (g)	Materia orgánica (%)	Materia orgánica del suelo (%)
25	24,19	0,81	3,24	3,08
25	24,26	0,74	2,96	
25	24,24	0,76	3,04	

(Fuente: Elaboración propia)

ANEXO B: SEMILLAS

- 40% Festuca arundinacia

Es una gramínea forrajera de crecimiento erecto que mantiene un buen aspecto durante todo el año. 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. Sus hojas nacen de la base de la planta y son abundantes, de color verde oscuro. Cuando alcanzan su madurez se tornan rígidas y cortantes. (www.fagro.edu.uy).



- 40% Lolium perenne

Esta especie, también llamada Ballica, es una gramínea perenne de importancia en la creación de céspedes y en la producción de forrajes en lugares de clima templado y subtropical. De todas las especies forrajeras perennes, la Ballica es la que crece más rápido. Al tener rápida germinación y fácil establecimiento, estas plantas son utilizadas como componente de la mayoría de las mezclas de hidrosiembra. Su inflorescencia está compuesta por espigas alternadas a izquierda y derecha de un eje central, donde las flores se reúnen en una espiga lateralmente comprimida.

La Ballica llega a crecer entre 8 y 90 cm. Los tallos tienen de 2 a 4 nudos y sus hojas son de color verde oscuro y brillante. Como en la mayor parte de las gramíneas, la reproducción puede ser por semillas o por macollos. Esta planta tiene el potencial de producir gran cantidad de biomasa de buena calidad, pero necesita suelos con niveles altos de fertilidad y es sensible a la sequía y al exceso de agua. (Humaña, 2010).



- 20% trifolium

También conocido como trébol, es un prado de alta resistencia al pisoteo, crecimiento bajo y rastrero, especialmente indicado para lugares húmedos y suelos. Por su resistencia al pisoteo puede sembrarse solo o asociado con gramíneas, las cuales le confieren al prado un aspecto más parejo y denso de color verde oscuro.

Es de rápido cubrimiento, resiste suelos húmedos y posee una baja necesidad de fertilización. (Aroca, 2005).



ANEXO C: MEDICIONES

- Primera medición de adherencia realizada:

Dosificación de mulch	Suelo total canaletas (g)	Suelo inorgánico (g)	Materia orgánica (%)	Mulch de la muestra (%)	Mulch por franja (g)	Mulch caído (g)	Total mulch caído (%)
0 g/m ²	38,68	37,49	3,08	0	0	0	0
50 g/m ²	25,08	23,68	5,63	2,55	30	0,640	2,13
	11,90	9,52	20,01	16,93		2,015	6,72
	13,87	9,28	33,09	30,01		4,162	13,87
200 g/m ²	16,14	14,53	9,98	6,9	120	1,114	0,93
	12,22	10,84	11,29	8,21		1,003	0,84
	4,79	3,3	31,11	28,03		1,343	1,12
450 g/m ²	11,76	10,69	9,10	6,02	270	0,708	0,26
	14,16	12,91	8,83	5,75		0,814	0,30
	15,06	13,83	8,17	5,09		0,767	0,28

- Segunda medición de adherencia realizada:

Dosificación de mulch	Suelo total canaletas (g)	Suelo inorgánico (g)	Materia orgánica (%)	Mulch de la muestra (%)	Mulch por franja (g)	Mulch caído (g)	Total Mulch caído (%)
50 g/m ²	32,42	23,17	28,54	25,46	30	8,25	27,51
	17,97	4,22	76,49	73,41		13,19	43,97
	18,77	7,02	62,60	59,52		11,17	37,24
200 g/m ²	15,67	14,20	9,39	6,31	120	0,99	0,82
	11,21	9,49	15,32	12,24		1,37	1,14
	10,9	9,34	14,31	11,23		1,22	1,02
450 g/m ²	12,55	10,89	13,21	10,134	270	1,27	0,47
	10,65	7,098	33,35	30,27		3,22	1,19
	12,11	10,08	16,78	13,70		1,66	0,61

- Medición de temperatura (°C):

Octubre		24	25	26	27	28	29	30	31
Mulch (g/m ²)	0	18,5	18,5	18	18	18,5	18	18,5	18
		18,5	18	17,5	18	18	17,5	18	18
		18	18	18	18,5	18	18	18	18
	50	18	18	18	18,5	18,5	17,5	18	18
		18,5	18	18	18,5	18,5	17,5	18	18
		18	18,5	18,5	18	18,5	17,5	18	18
	200	18	18	17,5	18	18	17,5	18,5	18
		18	18	17,5	18	18	17,5	18	18
		18	18	18	18	18	17,5	18	18
	450	18	18	18	18	18	17,5	18	18
		18	18	18	18,5	18	17,5	18	17,5
		18	18	18	18	18,5	17,5	18	17,5

Noviembre		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
Mulch (g/m ²)	0	18	18,5	18,5	18	18,5	20	20	20	20,5	20	20,5	21	21,5	20,5	20,5	
		18,5	18	18	18	19	20	20	20	20,5	20,5	20,5	21,5	22	20	21	
		18	18	18	18,5	19	20	20,5	20	20,5	20	20,5	21	22	21	21	
	50	18	18	18	18,5	19	20,5	20,5	20,5	20,5	20,5	20,5	20,5	20,5	20,5	20,5	21
		18	18	18	18,5	18,5	20	20,5	20,5	20	20	20,5	21	21	20	21	
		18	18	18,5	18	19	20,5	20,5	20,5	20	20	20,5	21	21	20	21	
	200	18,5	18,5	18,5	18,5	19,5	20,5	20,5	20	20,5	20	20,5	20,5	21	20	21	
		18,5	18	18	18	19	20	20,5	20	20,5	20	20	20,5	21,5	20,5	21	
		18	18	18	18	19	20	20,5	20	20,5	20	20,5	21	21,5	20,5	21	
	450	18	18	18	18,5	19	20	20	20	20	20,5	20,5	22	21,5	20	21	
		18	18	18	18,5	19	20	20	20,5	20,5	20	20	21	21,5	20	21	
		18	18	18	18	19	20	20	20,5	20	20	20	21	21	20	21	

Noviembre	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	
Mulch (g/m ²)	0	20,5	19	19	19,5	21,5	21,5	20,5	20	21	21	21,5	20	20	20,5	20,5
		20,5	19,5	19	19	21	21,5	20	20	20,5	21	21,5	20	20,5	20	21
		20,5	19	18,5	19	21	21	21	19,5	21	21	21,5	19,5	20	20	20,5
	50	20,5	19	19	19,5	20,5	20,5	20,5	20	21	21	21,5	20,5	20	20,5	21
		20,5	19	19	19,5	21	21	20	20	21	20	21,5	20	20	20,5	21
		20,5	19,5	19,5	19,5	21	21,5	20	20	21	21	21,5	20	20	20,5	20,5
	200	20	19	19	19	21	21	20	19,5	21	21	21,5	20	20	20,5	20,5
		20	19	19	19	20,5	20,5	20,5	20	21	21	21	20	20	20,5	21
		20	19	19	19	20,5	20,5	20,5	20,5	21	21	21	20,5	20	20	21,5
	450	20	19	19,5	19	21	21,5	20	20	21	20,5	21,5	20,5	20	20	21
		20	19	19,5	19	21	21,5	20	20	21	20,5	21,5	20	20	20,5	21
		20,5	19	19	19	21	22,1	20	20	21	21	21,5	20	20	20	21

ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE TEMPERATURAS:

Primero se debe tener claro la hipótesis:

Son dos posibles:

$$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_k$$

$$H_1: \text{ No todas las medias son iguales}$$

El procedimiento de cálculo:

$$\text{Variabilidad}_{total} = \text{Variabilidad}_{entre\ grupos} + \text{Variabilidad}_{dentro\ grupos}$$

La variabilidad entre datos se estima con la varianza (S^2), y con suma de cuadrados (SS), que es cociente entre la varianza y los grados de libertad.

$$SS_{total} = SS_{entre\ grupos} + SS_{dentro\ grupos}$$

Las fórmulas de sumas de cuadrados se observan a continuación:

$$ss_{total} = \sum x^2 - \frac{(\sum x)^2}{N}$$

$$SS_{entre\ grupos} = \left[\frac{(\sum x_1)^2}{n_1} + \frac{(\sum x_2)^2}{n_2} + \dots + \frac{(\sum x_k)^2}{n_k} \right] - \frac{(\sum x)^2}{N}$$

Donde,

K Número de grupos

N	Número total de datos
n_1, n_2, \dots, n_k	Número de datos de cada grupo
x	Cada uno de los datos de cada grupo

Cálculo de los grados de libertad de las sumas de cuadrados:

g.l. SS_{total}	N-1
g.l. $SS_{entre\ grupos}$	k-1
g.l. $SS_{dentro\ grupos}$	N-k

Conversión de las sumas de cuadrados (SS) en varianzas:

$$S^2_{entre\ grupos} = \frac{SS_{entre\ grupos}}{g \cdot l_{entre\ grupos}} \quad S^2_{dentro\ grupos} = \frac{SS_{dentro\ grupos}}{g \cdot l_{dentro\ grupos}}$$

Calculo del estadístico F:

$$F = \frac{S^2_{entre\ grupos}}{S^2_{dentro\ grupos}}$$

El contraste de hipótesis se realiza comparando el valor de la F con el valor $F_{crít}$ obtenido a partir de la tabla para el valor de α previamente establecido (normalmente $\alpha=0.05$ o inferior). La búsqueda de dicha $F_{crít}$ requiere del número de grados de libertad del numerador y del denominador. La forma habitual de notación que se usa en las tablas lleva el valor de α entre paréntesis, y los grados de libertad del numerador y del denominador a continuación, en orden consecutivo y separado por comas.

Si $F < F_{crít}$ se acepta H_0 y se rechaza H_1 (las medias son iguales)

Si $F > F_{crít}$ se rechaza H_0 y se acepta H_1 (alguna de las medias es diferente)

El análisis se realiza para cada día de la experiencia, a continuación se presentan los valores obtenidos para el día 24 de octubre de 2014, que es el primer día de medición.

Análisis de varianza de un factor						
RESUMEN						
Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza		
Columna 1	3	55	18.3333333	0.08333333		
Columna 2	3	54	18	0		
ANÁLISIS DE VARIANZA						
Origen de la variación de cuadrados de libertad de los cuadrados				F	Probabilidad o crítico para F	
Entre grupos	0.16666667	1	0.16666667	4	0.11611652	7.70864742
Dentro de los	0.16666667	4	0.04166667			
Total	0.33333333	5				

$F < F_{\text{crít}}$, por lo tanto, las temperaturas son iguales en los lisímetros sin mulch y los lisímetros con 450 g/m^2 , es decir, el mulch no regula la temperatura.

Así se procede con todos los días y se obtuvieron los siguientes resultados.

octubre		24	25	26	27	28	29	30	31
Mulch 0 v/s 450	F	4	1	1	-6.66E-16	0	4	1	4
	F crit	7.7086	7.7086	7.7086	7.7086	7.7086	7.7086	7.7086	7.7086

noviembre		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Mulch 0 v/s 450	F	1	1	1	0.5	1	1	4	4	4	0	4	0.2	4.5	3	1
	F crit	7.7086	7.7086	7.7086	7.7086	7.7086	7.7086	7.7086	7.7086	7.7086	7.7086	7.7086	7.7086	7.7086	7.7086	7.7086

noviembre		16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Mulch 0 v/s 450	F	4	1	4.5	1	1	0	3	1	1	4	1	2	1	0.5	4
	F crit	7.7086	7.7086	7.7086	7.7086	7.7086	7.7086	7.7086	7.7086	7.7086	7.7086	7.7086	7.7086	7.7086	7.7086	7.7086

Se observa que durante toda la experiencia $F < F_{crit}$, por lo que se demuestra que en temporada de primavera- verano el mulch no regula la temperatura en lisímetros con pendiente 150%, independiente de la dosificación de mulch que se utilice.

- Temperaturas registradas en Concepción durante la experiencia realizada.

Octubre	24	25	26	27	28	29	30	31
Temperatura mínima (°C)	10	11	11	13	13	7	6	6
Temperatura máxima (°C)	22	18	19	19	16	17	18	17

Noviembre	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Temperatura mínima (°C)	5	4	6	6	7	8	9	9	10	12	9	8	7	10	9
Temperatura máxima (°C)	17	17	18	17	18	20	19	21	20	20	20	22	23	22	22

Noviembre	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Temperatura mínima (°C)	10	12	10	7	6	8	9	10	7	6	9	10	7	10	6
Temperatura máxima (°C)	23	18	18	18	20	21	19	18	20	20	22	17	19	19	21

Las temperaturas máximas registradas durante la experiencia fueron 22°C, las cuales están dentro del rango para la germinación de las semillas.

ANEXO D: FOTOGRAFÍAS DEL DESARROLLO DEL PROYECTO

- Construcción de lisímetros con pendiente 150% a partir de lisímetros con pendiente 100%.



- Medición de adherencia en los lisímetros.
- *muestras recogidas de las canaletas, bandejas ya secadas en el horno*



- *muestras incineradas, crisoles sólo contienen la materia inorgánica*



- levantamiento de la capa de mulch en lisímetros con 450 (g/m²)



- lisímetros con 50 (g/m²) afectados por los vectores.



- lisímetros más representativos de cada muestra.

