


UNIVERSIDAD DEL BÍO - BÍO

FACULTAD DE INGENIERÍA

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL



“ANÁLISIS DEL EFECTO DE LOS BIOSÓLIDOS APLICADOS EN LA HIDROSIEMBRA DE TALUDES DE ALTA PENDIENTE”

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

MIGUEL HERNAN CIFUENTES GÓMEZ.

Profesor Guía: Ricardo Riveros Velásquez

Concepción, Diciembre 2017

AGRADECIMIENTOS

Primero que todo quiero agradecer a Dios por entregarme fuerza, salud y valentía para enfrentar este largo camino. En segundo lugar, a mis padres José Cifuentes y Jessica Gómez, quiero darles las gracias por todos estos años de sacrificio y apoyo, sin su esfuerzo y cariño no hubiese sido posible cumplir el objetivo.

Quisiera mencionar a mis dos hermanos, gracias por su compañía y apoyo estos años.

A las personas que colaboraron directamente en este proyecto, en especial a mis profesores, gracias por su tremenda ayuda y orientación.

Finalmente, no podía dejar de mencionar a mis grandes compañeros de universidad quienes han sido un pilar fundamental en mi formación como persona y profesional, sin su apoyo y compañía hubiese sido mucho más difícil el camino al objetivo.

INDICE GENERAL

CAPITULO 1: INTRODUCCION.....	1
1.1. OBJETIVOS	3
1.1.1. Objetivo General.....	3
1.1.2. Objetivos Específicos	3
CAPITULO 2: ANTECEDENTES GENERALES.....	4
2.1. Erosión	4
2.1.1. Erosión Hídrica	5
2.1.2. Erosión Eólica.....	5
2.1. Biosólidos.....	6
2.1.1. Restricciones en las normativas del uso y aplicación de biosólidos en suelos. 6	
2.1.2. Clasificación de Biosólidos	9
2.1.2.1. Lodos Clase A.....	9
2.1.2.2. Lodos Clase B.....	9
2.2. Hidrosiembra.....	10
2.2.1. Agua	10
2.2.2. Semillas.....	10
2.2.3. Mulch	10
2.2.4. Fertilizante.....	11
CAPITULO 3: METODOLOGÍA.....	12
3.1. Biosólidos.	13
3.2. Estudio y caracterización del suelo.....	14
3.3. Lisímetros.	14

3.4. Método de llenado y compactación del suelo en los lisímetros.	15
3.5. Extractor de testigos de suelo.....	16
3.6. Hidrosiembra.....	16
3.7. Sistema de recolección de flujo superficial.	18
3.8. Variables consideradas y procedimientos de obtención.	18
3.8.1. Medición de temperatura ambiente y temperatura de lisímetros.....	19
3.8.2. Medición de material erodado.	19
3.8.3. Medición de cobertura vegetal.	20
CAPITULO 4: ANÁLISIS DE RESULTADOS	21
4.1. Temperatura.	21
4.2. Cobertura vegetal.	23
4.3. Material Erodado.....	26
CAPITULO 5: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	27
Bibliografía	28
Anexo A. Mecánica de suelos	30
Anexo B. Datos Medición Temperaturas	32
Anexo C. Datos Medición Cobertura vegetal.....	33
Anexo D. Datos Crecimiento Vegetal	50
Anexo E. Datos Medición Material Erodado	51
Anexo F. Datos Densidad in situ lisímetros.	56
Anexo G. Elección Semillas.	58

Análisis del efecto de los biosólidos aplicados en la hidrosiembra de taludes de alta pendiente.

Autor: Miguel Hernán Cifuentes Gómez

Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, Universidad del Bio – Bio

Correo electrónico: mcifuentes1212@gmail.com

Profesor Patrocinante: Ricardo Riveros Velásquez

Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, Universidad del Bio – Bio

Correo electrónico: riveros@ubiobio.cl

RESUMEN

El aumento sustantivo de la población en Chile y por supuesto de la región del Bio Bio hace necesario el tratamiento de mayores cantidades de aguas servidas. Sin ir más lejos, en Chile se cuenta con casi un 100% de cobertura de tratamiento de aguas servidas a nivel país, solo en la región del Bio Bio el año 2015 fueron tratados 124,8 millones de m³ de aguas servidas, generando cerca de 108.000 m³ de lodos en las distintas PTAS, 15% del total a nivel país (SISS, 2015). Un porcentaje de estos lodos es reutilizado y otro de mayor cantidad es dispuesto en los distintos rellenos sanitarios sin ningún uso aparente. Luego, debido a la cantidad de lodos generados resulta necesario establecer usos o formas alternativas para su reutilización. Los lodos generados pueden ser utilizados en distintas aplicaciones o usos como en la creación o construcción de ladrillos (Materia prima), generación de energía eléctrica (Aprovechando precisamente el proceso de incineración de lodos) y por supuesto, para el mejoramiento de suelos, esto debido a que presenta grandes cantidades de nutrientes y materia orgánica esenciales tanto para el desarrollo vegetal como para el mejoramiento de los suelos en sí.

Palabras claves: Hidrosiembra, lodos, biosólidos, taludes

Numero de palabras: 7814

CAPITULO 1: INTRODUCCION

El aumento sustantivo de la población en Chile y por supuesto de la región del Bio Bio hace necesario el tratamiento de mayores cantidades de aguas servidas. Sin ir más lejos, En Chile se cuenta con un 99,85% de cobertura de tratamiento de aguas servidas a nivel país, solo en la región del Bio Bio el año 2015 fueron tratados 124,8 millones de m³ de aguas servidas, generando cerca de 108.000 m³ de lodos en las distintas PTAS, 15% del total a nivel país (SISS, 2015). Un porcentaje de estos lodos es reutilizado y otro de mayor cantidad es dispuesto en los distintos rellenos sanitarios sin ningún uso aparente. Luego, debido a la cantidad de lodos generados resulta necesario establecer usos o formas alternativas para su reutilización.

Los biosólidos pueden ser aplicados en distintos sectores como el agrícola y el forestal por mencionar algunos, además, pueden ser utilizados para la recuperación de suelos y también de taludes. (López, 2012)

Por otra parte, el problema principal que presentan los taludes de la región del Bio Bio y del país en general es la erosión, tanto eólica como hídrica, esta última en mayor medida, la cual es responsable del deterioro de las capas de suelo en taludes tanto superficiales, como en estratos más profundos, los que eventualmente con el tiempo terminarían fallando y provocando problemas en accesos y carreteras (Carrasco y Riquelme, 2003). Sumado a la escasa cobertura que presentan dichos taludes resulta indispensable el cuidado de estos, ya sea por métodos tradicionales de recubrimientos como la hidrosiembra o métodos más especializados como el uso de shotcrete, métodos que ayudaran a mitigar el desgaste producido por la erosión. Sin embargo, muchas veces la posibilidad de desarrollar estos métodos no es posible producto de la geografía del lugar o por la falta de recursos económicos. (Rivas, 2011)

El método de cobertura por hidrosiembra en taludes resulta ser una opción más que valida en la Región del Bio Bio para el control de la erosión, ya que posee un clima propicio para el crecimiento de vida vegetal. La vegetación retiene el agua de la lluvia, provocando disminución en la erosión por salpicadura. Además, el aumento de los índices de infiltración en taludes protegidos con vegetación, sumado a la evapotranspiración, permite reducir la escorrentía superficial. (Meneses, 2011)

Por consiguiente, resulta indispensable estudiar alternativas tanto de mejoramiento de esta técnica como la utilización de nuevos agentes que favorezcan el desarrollo de la hidrosiembra.

Es por esto que los biosólidos provenientes de las PTAS, los cuales poseen alto porcentaje de material orgánico pueden ser una de estas alternativas, ya que poseen concentraciones importantes de nutrientes como el caso del nitrógeno, nutriente esencial en el crecimiento de vegetación y que puede ser utilizado como fertilizante en la proliferación y desarrollo de la vegetación de hidrosiembras de taludes. (EPA, EEUU)

El presente proyecto de título busca precisamente estudiar los efectos y alcances de los lodos provenientes de PTAR aplicados en la hidrosiembra de taludes, esto con el fin de aprovechar de manera beneficiosa el uso de este producto, evitando el desperdicio de estos, muchos de los cuales van a parar a grandes vertederos o son incinerados, medidas poco amigables con el medio ambiente.

1.1. OBJETIVOS

1.1.1. Objetivo General

- Analizar el comportamiento en la hidrosiembra para taludes de alta pendiente utilizando biosólidos como material fertilizante.

1.1.2. Objetivos Específicos

- Determinar las variables relevantes en el proceso de vegetación de la hidrosiembra utilizando biosólidos.
- Comparar la erodabilidad entre hidrosiembra tradicional e hidrosiembra con concentración de biosólidos.
- Comparar la temperatura entre hidrosiembra tradicional e hidrosiembra con concentración de biosólidos.
- Comparar la cobertura y crecimiento vegetal entre hidrosiembra tradicional e hidrosiembra con concentración de biosólidos.

CAPITULO 2: ANTECEDENTES GENERALES

En este capítulo se abordarán conceptos y parámetros claves obtenidos de la literatura y experiencias anteriores necesarios para comprender de mejor manera este proyecto, tales como la hidrosiembra, el fenómeno de erosión, biosólidos, entre otros.

2.1. Erosión

La erosión corresponde al proceso de desgaste, transporte y deposición de la superficie terrestre producto de fenómenos geológicos exógenos, tales como, el viento, los hielos, corrientes de agua superficiales o incluso la acción de seres vivos. Se trata de un proceso con efectos irreversibles y de gran magnitud, provocando pérdidas importantes de las propiedades y características de los suelos como estabilidad mecánica, presencia de vegetación, reducciones de volumen y capacidad de campo, por mencionar algunos.



Figura 1. Erosión en taludes de arena
(Fuente: Hernández E. biodiversidadvirtual.org)

2.1.1. Erosión Hídrica

La erosión hídrica básicamente se atribuye al agua, en casi todas sus formas, ya sea como escurrimiento sobre los suelos (ríos, escorrentías, deshielos, etc) o bien en forma de precipitación. Esta última es la principal causa de erosión hídrica en la región del bio bio ya que las diferentes estaciones meteorológicas de la región dejan a su paso cantidades importantes de precipitaciones.

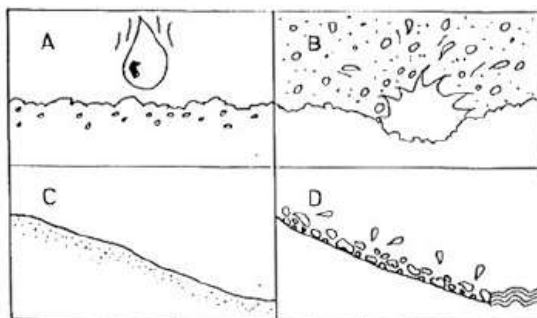


Figura 2. Etapas de erosión por salpicadura producto de precipitaciones
(Fuente: Rolf-Derpsch.com)

2.1.2. Erosión Eólica

La erosión eólica se debe básicamente a la acción del viento, observable de manera principal en suelos o superficies con escasa adherencia entre sus partículas (Terreno suelto), pocas precipitaciones y eventos considerables de viento.



Figura 3. Erosión eólica (Fuente: Wikipedia.org)

2.1. Biosólidos

Los biosólidos son definidos por la Agencia de protección del medio ambiente de Estados Unidos (EPA, EEUU) como “residuos sólidos, semisólidos o líquidos generados durante el tratamiento de aguas servidas domiciliarias. Los biosólidos incluyen las escorias o sólidos removidos durante el tratamiento primario, secundario o avanzado del proceso de tratamiento de aguas servidas y cualquier material derivado de los lodos, excepto las gravillas o cenizas generadas durante el proceso de incineración”. La CONAMA emitió el año 2009 el “Reglamento para el manejo de lodos”, en dicho reglamento los lodos se definen como: “Residuos semisólidos que hayan sido generados en plantas de tratamiento de aguas servidas”.

Luego, los biosólidos son una consecuencia del tratamiento de aguas residuales, mientras que los lodos o lodos activos son entendidos como las colonias de bacterias involucradas en dicho proceso. Sin perjuicio de lo anterior, en la literatura es común encontrar ambos conceptos como sinónimos y, a menos que se haga la distinción de forma expresa, en este proyecto se utilizarán indistintamente.

En términos generales, los biosólidos están compuestos en su mayor parte por materia orgánica, nutrientes y agua; pudiendo contener trazas de metales pesados, patógenos y otras impurezas no removidas en los procesos de tratamiento (Mendoza, 2010)

2.1.1. Restricciones en las normativas del uso y aplicación de biosólidos en suelos.

Las normas frente al uso de biosólidos aplicados en suelos quedan definidas por el decreto supremo n°4, 2009. Dichas normas y consideraciones se pueden resumir como sigue:

Tabla 1. Restricciones en el uso y aplicación de biosólidos. (Elaboración propia)

Restricciones	Descripción
Tiempo	La duración del plan de aplicación debe ser inferior a 1 año.
Distancia mínima para la aplicación	300 m de conjunto de viviendas, 100 m vivienda aislada.
	300 m de captación de aguas subterráneas para agua potable.
	Napa freática inferior a 1 m, sitios donde se genere un efecto de napa colgante.
	Estar fuera de una franja contigua al punto de captación de aguas superficiales, 1000 m aguas arriba, 200 m aguas abajo y 500 m de ancho.
	15 m de las riberas de un río.
	15 metros de un área que cuente con recurso de bebida animal.
Suelo Receptor	No aplicar a terrenos que posean un contenido de arena superior al 70% en zonas con precipitaciones medias anuales superiores a 100 mm.
	No aplicar a suelos saturados con agua la mayor parte del tiempo
	No aplicar a suelos cubiertos con nieve ya sea de forma temporal o estacionaria.
	No aplicar a suelos con riesgo de inundación.
	Aplicar en suelos con Ph mayor o igual a 5.
	No aplicar en terrenos con pendiente superior a 15%; sin embargo, si existe cobertura vegetal, arbustiva o arbórea se podrá realizar aplicación localizada.
	Aplicar cuando se pueda realizar restricción de acceso de animales y personas para evitar riesgos sanitarios.
Lodos	Restricción de metales pesados para lodos.
	Aplicar como máximo 90 ton/ha a suelos que cumplan con la cantidad de metales pesados de la Tabla 1 del reglamento y 30 ton/ha a suelos que no cumplan sin haber sido receptores de lodo.
	Aplicar lodos al suelo tipo A o B provenientes de PTAS que cuenten con un proyecto aprobado por la autoridad sanitaria.

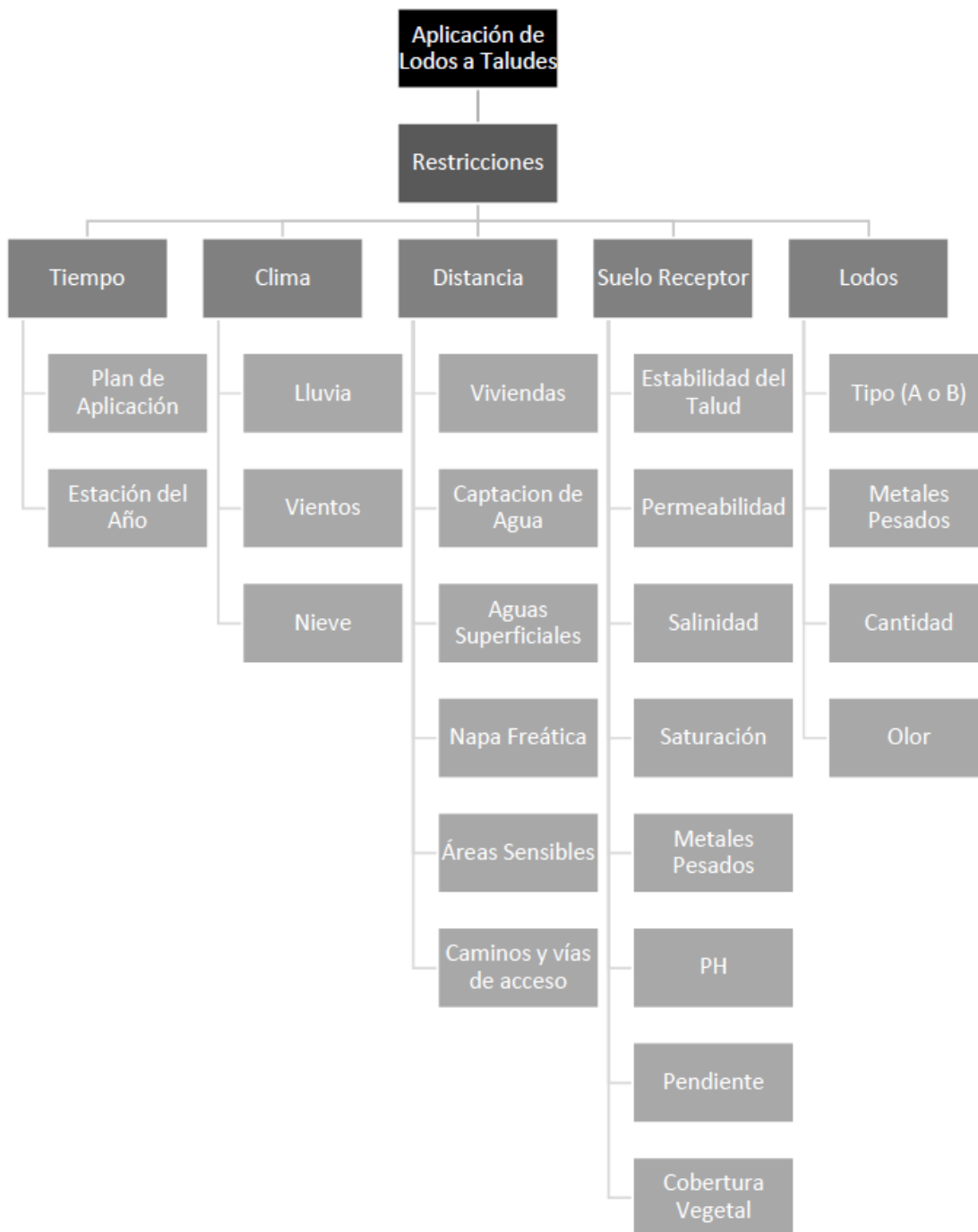


Figura 4. Listado de restricciones para la aplicación de lodos de PTAS en el suelo.

(Fuente: Cabrera C. 2014)

2.1.2. Clasificación de Biosólidos

Los parámetros por considerar para la clasificación sanitaria de lodos corresponden a la reducción del potencial de atracción de vectores (organismos capaces de transportar y transmitir agentes infecciosos) y la presencia de patógenos (Conama, 2009). Según este último parámetro se distinguen dos tipos de lodos: lodos Clase A y lodos Clase B.

2.1.2.1. Lodos Clase A

Lodos sin restricciones sanitarias para aplicación al suelo.

Se consideran lodos clase A aquellos que cumplan con los siguientes requisitos, adicionalmente al cumplimiento de la reducción de la atracción de vectores:

- Tener una densidad de coliformes fecales menor a 1000 (NMP) por gramo de sólidos totales, base material seca, o tener una densidad de salmonella sp. Menor a 3 NMP en 4 gramos de sólidos totales, base materia seca
- Tener contenido de ova helmíntica viable menor a 1 en 4 gramos de sólidos totales, base materia seca, cuyo cumplimiento se podrá demostrar mediante la aprobación por la autoridad sanitaria de las condiciones de operación de uno de los procesos de higienización. (DS N°4, 2009).

2.1.2.2. Lodos Clase B

Lodo apto para aplicación al suelo, con restricciones.

Se consideran lodos clase b aquellos que cumplan con los siguientes requisitos, adicionalmente al cumplimiento de la reducción de la atracción de vectores:

- La media geométrica del contenido de coliformes fecales, producto del análisis de un número de muestras no inferior a siete, tomadas al momento de su uso o de su eliminación, debe ser menor que 2.000.000 NMP por gramo de sólidos totales, en base materia seca. (DS N°4, 2009).

2.2. Hidrosiembra

La hidrosiembra es una técnica de siembra que surge en 1953 en Estados Unidos, consiste en la proyección sobre el suelo de una mezcla homogénea de semillas, mulches, estabilizadores de suelo, fertilizantes u otros elementos. Esta proyección ocurre mediante una cuba móvil con bomba de presión y boquillas de distribución. Las hidrosiembras son prácticas utilizadas para la conservación de suelo frente a la erosión, así como medidas de estabilización de laderas. Además, se pueden incluir dentro de las técnicas para restauración del paisaje, creación de suelo y revegetación. Uno de sus principales objetivos es la de establecer una cubierta vegetal en sobre terrenos de difícil acceso o de grandes pendientes. El método de hidrosiembra es más rápido y eficaz que la siembra convencional. (Taiba, 2016). La hidrosiembra clásica se compone por los elementos descritos a continuación.

2.2.1. Agua

El agua es de vital importancia para las semillas, ya que actúa como solvente, portador y acelerador del proceso de germinación de las semillas.

2.2.2. Semillas

Estructura botánica destinada a la reproducción sexuada o asexuada de una especie (DECRETO LEY N°3.557).

2.2.3. Mulch

El mulch es una cobertura natural que actúa como aislante, protegiendo el suelo tanto de las bajas temperaturas en invierno como de la evaporación del agua en verano, también del ataque de malas hierbas. El mulch teóricamente funciona como conservante de humedad, regulador de temperatura además de suministrar nutrientes al suelo.

El mulch puede estar compuesto de madera, fibras de celulosa o por mezcla de estos dos, tiene la capacidad de absorber 10 veces su peso en agua, es biodegradable y reciclable.

2.2.4. Fertilizante.

Se reconoce como fertilizante a toda sustancia o producto destinado a mejorar la productividad del suelo o las condiciones nutritivas de las plantas. Dentro de los fertilizantes se comprenden las enmiendas (producto aportado a la tierra, generalmente en grandes cantidades, para mejorar las cualidades físicas y corregir la acidez) y los abonos (Decreto LEY N° 3.557).

Los componentes básicos de cualquier fertilizante son nitrógeno, fósforo y potasio. La aplicación de fertilizantes tiene por objetivo entregar a las plantas el complemento nutricional necesario para que estas 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 época de aplicación de nutrientes, y las características de la especie, como también, el clima local que predomina en un sitio determinado. Esto permite emplear la combinación óptima de factores, de suelo, planta y clima (Toro, 1995).

CAPITULO 3: METODOLOGÍA

A continuación, se describen los métodos para realizar a cabo la experiencia del análisis del efecto de los biosólidos aplicados en taludes de alta pendiente en periodo invernal.

En esta experiencia se analizaron 3 dosificaciones de biosólidos para la aplicación en hidrosiembra de taludes, manteniendo constante la cantidad de agua, mulch y semillas en cada una de ellas.

Se confeccionaron 4 lisímetros los cuales fueron: lisímetro con hidrosiembra tradicional sin biosólidos, lisímetro con hidrosiembra + dosificación 1 biosólidos, lisímetro con hidrosiembra + dosificación 2 biosólidos, lisímetro con hidrosiembra + dosificación 3 biosólidos. El detalle de estas dosificaciones será abordado más adelante.

La experiencia se desarrolló en las instalaciones pertenecientes al laboratorio DICA de la universidad del Bio Bio, Concepción. La ubicación, resulto propicia para el correcto estudio de este proyecto, ya que se trataba de un sitio eriazo y expuesto a cualquier condición meteorológica. El inicio de la experiencia se desarrolló el día viernes 23 de junio, 2017.

Cada semana se registraron en cada lisímetro diferentes parámetros, tales como el crecimiento vegetal, material erodado y temperatura.

3.1. Biosólidos.

Los lodos utilizados en la experiencia fueron extraídos de la planta de tratamiento de aguas residuales de Hualpén, en la Región del Bío Bío. Son originados después de un proceso de estabilización proveniente del tratamiento de aguas residuales, el cual consiste en un proceso de digestión anaeróbica y luego secado en filtros de bandas. La estabilización es realizada para reducir los niveles de patogenicidad, atracción de vectores y su poder de fermentación. Debido a este proceso y sus altos contenidos de nitrógeno, fósforo y potasio los biosólidos tienen aptitudes principalmente para la aplicación forestal (abono), además de la recuperación de suelos degradados.

Los lodos estuvieron dispuestos entre las canchas de acopio y la aplicación de estos mismos en la experiencia alrededor de 1 mes.



Figura 5. Lodos depositados en canchas de acopio. Planta de tratamiento ESSBIO Hualpén, Concepción. Chile (Fuente: López, A. 2012)

3.2. Estudio y caracterización del suelo.

En lo que respecta al suelo empleado en los ensayos, este corresponde a una Arena Limosa más conocida por el nombre de maicillo, material característico en la cordillera de la costa. El material fue extraído de las canteras pertenecientes a la empresa Madesal áridos, camino a penco.

El estudio de mecánica de suelos se encuentra en el anexo A. Los resultados obtenidos fueron;

- Densidad natural húmeda: 2,169 (gr/cm³)
- Densidad máxima compactada seca (D.M.C.S): 1.983 (gr/cm³)
- Humedad optima: 9.375 %



Figura 6. Construcción de lisímetros. (Fuente: Elaboración propia)

3.3. Lisímetros.

La construcción de los lisímetros se realizó en base a lo propuesto por Riquelme (2010), sin embargo, fueron mejorados con el uso de planchas de terciado estructural en vez de planchas OSB y se agregaron palos de 2x2 en el interior de la estructura para dar mayor firmeza y estabilidad frente a las deflexiones producidas

por el empuje del suelo. En total fueron 4 los lisímetros construidos con una pendiente de 125% (51°), un área basal de 0,8 m² y un área superficial de 1,2 m². Se agregaron canaletas en cada uno de los lisímetros con el fin de registrar el material erodado. Los lisímetros fueron dispuestos uno al lado del otro para favorecer el estudio y comparación entre estos.



Figura 7. Construcción de lisímetros. (Fuente: Elaboración propia)

3.4. Método de llenado y compactación del suelo en los lisímetros.

El método de llenado fue realizado simulando terrazas con el fin de compactar las capas de forma horizontal. Dichas capas comprendían un espesor de 10-20 cm aproximadamente y fueron compactadas con un pisón artesanal de madera.



Figura 8. Compactación y llenado de lisímetros (Fuente: Elaboración propia)

3.5. Extractor de testigos de suelo.

Para controlar o mediar la densidad in situ en los ensayos se utilizó la metodología y calibración realizada por Hernández (2011), la cual consiste en un tubo de PVC de 24,5 mm de diámetro exterior y 22 mm de diámetro interior. Los PVC son adelgazados en el extremo de inserción en el suelo, con la finalidad de disminuir el efecto de borde o de confinamiento sobre la muestra. Dicho extractor se inserta a una profundidad de 25 mm en el suelo mediante un doble giro de 360°. Las muestras obtenidas son pesadas y llevadas a un horno para poder determinar su densidad. El valor promedio obtenido fue de 1,62 (gr/cm³). Los resultados de dichas extracciones se encuentran en el anexo E.



Figura 9. Densidad in situ (Fuente Elaboración propia)

3.6. Hidrosiembra.

Se presenta a continuación los pasos asociados a la aplicación de la hidrosiembra:

- Se retira aprox 0,5 cm del suelo superficial.
- Se preparo la mezcla, compuesta por mulch de celulosa, agua, semillas y fertilizante (Según corresponda).
- Se aplica la mezcla, correspondiente a las 4 dosificaciones (Tabla 1), y con una pendiente del 125%.
- No fue necesario el riego en esta experiencia por la estación del año en que se realizó la experiencia.

Se realizaron 4 dosificaciones de las cuales solo el fertilizante es reemplazado, manteniendo constante el resto de los componentes de la hidrosiembra. El elemento de reemplazo para el fertilizante fueron los lodos, suministrados además en distintas dosificaciones. La hidrosiembra tuvo lugar el día 23 de junio del 2017 alrededor de las 10:00 AM.

El resumen de las distintas dosificaciones se muestra a continuación:

Tabla 2. Dosificaciones utilizadas en la experiencia.

Componente	Agua (L/m ²)	Mulch (g/m ²)	Semillas (g/m ²)	Fertilizante g/m ²	Lodos g/m ²
LISIMETRO 1	2	100	40	40	-
LISIMETRO 2	2	100	40	-	500
LISIMETRO 3	2	100	40	-	1000
LISIMETRO 4	2	100	40	-	1500

Fuente: Experiencias anteriores y literatura.

El día de la hidrosiembra fue pronosticada lluvia, por lo que se decidió recubrir los lisímetros con nylon con el objetivo de proteger la hidrosiembra aplicada. Los nylon se mantuvieron durante 2 días, para capear los eventos de lluvia siguientes.



Figura 10. Esquema de la experiencia (Fuente: Elaboración propia)

3.7. Sistema de recolección de flujo superficial.

Para la medición y registro del material erodado se utilizaron canaletas de PVC, montadas en la parte final de los lisímetros. Se realizaron pequeñas perforaciones en todo el largo inferior de las canaletas con el objetivo de que el agua recibida pudiera escurrir y no saturar en demasía las muestras a estudiar.



Figura 11. Hidrosiembra y Sistema de recolección de flujo superficial
(Fuente: Elaboración propia)

3.8. Variables consideradas y procedimientos de obtención.

Uno de los alcances de este proyecto fue el de evaluar distintas variables relacionadas con el desarrollo y proliferación de vegetación en taludes. Las distintas variables fueron medidas durante un periodo de 7 semanas. Durante la etapa experimental del proyecto, cabe destacar, que las mediciones referentes a las distintas variables se evaluaron bajo condiciones ambientales naturales. Los distintos procedimientos y métodos de obtención son descritos a continuación.

3.8.1. Medición de temperatura ambiente y temperatura de lisímetros.

Las temperaturas de ambiente y lisímetros se midieron 3 veces por semana durante toda la experiencia (1 medición por lisímetro). Las temperaturas fueron registradas los días lunes, miércoles y viernes de cada semana entre las 17:00 y 18:00 horas. Las temperaturas en los lisímetros fueron medidas en el centro de estos, con el fin de entregar una estimación representativa. La profundidad de estas mediciones no superó los 5 cm, con el objetivo de obtener la temperatura superficial en los lisímetros y la hidrosiembra.

3.8.2. Medición de material erodado.

El material erodado producto de eventos de lluvia y viento es depositado en las canaletas de PVC ubicadas en la parte inferior de cada lisímetro, dicho material fue recogido los días viernes de cada semana, durante todo el tiempo de duración de la experiencia. El material fue extraído y depositado en pequeñas pailas con el fin de ser llevados al laboratorio del departamento de ingeniería civil para su posterior análisis. Dichas pailas fueron enumeradas y pesadas con anterioridad.

Dentro del laboratorio se procedió a pesar el material extraído con el fin de determinar el peso del suelo en terreno (restando el peso del recipiente). Posteriormente las muestras fueron depositadas en el horno del laboratorio por un tiempo mínimo de 24 horas a una temperatura de 60°C, temperatura ideal para que el material orgánico de la muestra no se quemara.

Finalmente, las muestras son retiradas del horno y pesadas nuevamente con el objetivo de obtener el peso del suelo seco (restando el peso del recipiente).

3.8.3. Medición de cobertura vegetal.

Las mediciones de la cobertura vegetal fueron registradas todos los viernes de cada semana de la experiencia. Se realizaron 2 procedimientos para determinar y cuantificar dicha cobertura.

El primero procedimiento consistió en la toma de fotografías y posterior análisis mediante el software canopeo, el cual se fundamenta en el uso de la colorimetría lo que permitió estimar de manera concreta el % de cobertura en cada lisímetro durante toda la experiencia.

El segundo procedimiento consistió en el registro de forma manual (uso de regla) de las dimensiones de la cobertura. Se midió el largo de cada especie de forma representativa y además de realizó una valoración visual del crecimiento en términos generales de cada especie.



Figura 12. Funcionamiento Básico Canopeo. (Fuente: <http://www.canopeoapp.com/>)

CAPITULO 4: ANÁLISIS DE RESULTADOS

Durante este capítulo se expondrán los resultados obtenidos en la experiencia. Se evaluaron parámetros tales como: Material erodado, cobertura vegetal, temperatura ambiental y de taludes.

En el caso de la cobertura vegetal y material erodado se realizó una medición la semana 14, con el fin de obtener una idea del comportamiento a largo plazo de la hidrosiembra.

No se observaron vectores externos a considerar, tales como plagas, palomas u otros.

4.1. Temperatura.

El registro de las temperaturas se realizó 3 veces a la semana (6 pm) durante toda la experiencia (excepto la primera semana), los resultados se exponen a continuación:

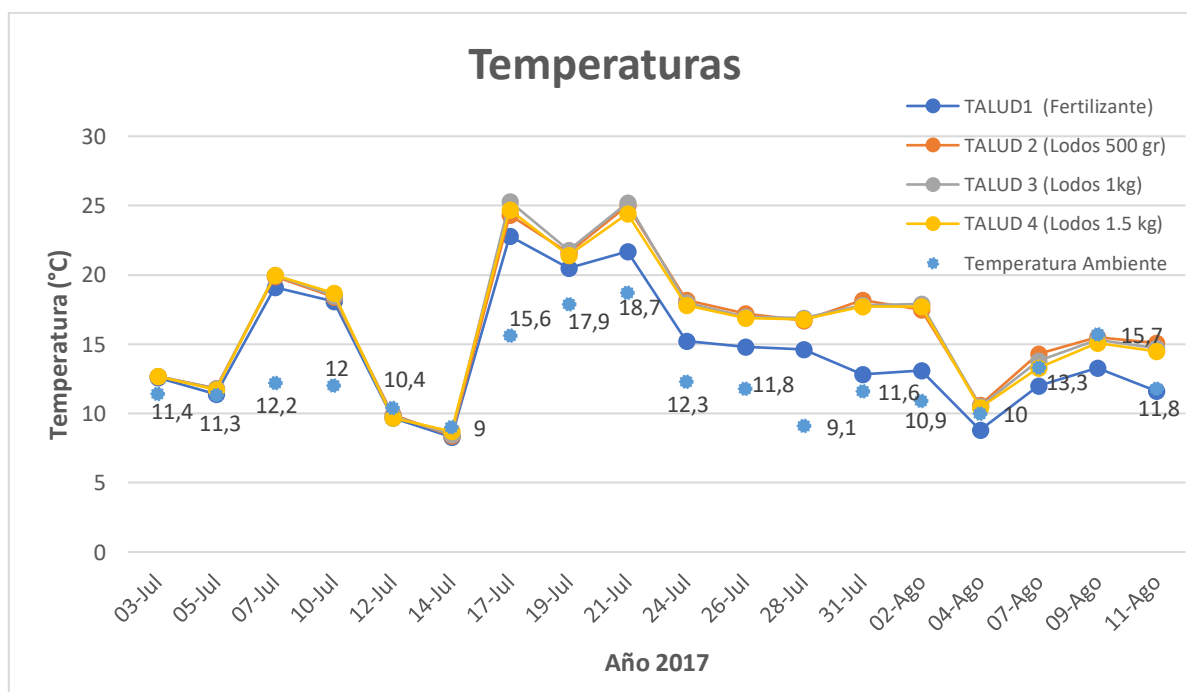


Figura 13. Gráfico de Temperaturas. (Fuente: Elaboración propia)

Se puede apreciar que la temperatura superficial en los lisímetros no varió en demasía, es más, las temperaturas observadas en los taludes 2, 3 y 4 prácticamente son las mismas entre sí. Luego, se desprende que la cantidad de lodos aplicados en la hidrosiembra no condiciona su comportamiento en cuanto a la temperatura.

En el caso del talud 1 si bien las primeras 3 semanas se comportó como el resto, las semanas posteriores presento variaciones con respecto a sus pares.

El talud 1 regulo de mejor manera la temperatura superficial, manteniendo las menores variaciones con respecto a la temperatura ambiente. No así los taludes 2, 3 y 4, los cuales presentaron mayor variación con respecto a la temperatura ambiental.

Por otra parte, en cuanto a la temperatura ambiente, se sabe que es un factor importante a la hora de la germinación de las distintas semillas, sobre todo las primeras 3 semanas. Por ejemplo, para el trébol trifolium la temperatura óptima para su correcto desarrollo es de entre 15 y 24 °C, y para la festuca es de entre 18 y 25° C. Las temperaturas registradas en la experiencia estuvieron dentro del rango recomendado, registrando temperaturas entre los 9 y 19 °C como mínima y máxima respectivamente.

El registro en detalle de las mediciones se encuentra en el anexo B.

4.2. Cobertura vegetal.

La cobertura vegetal se analizó semanalmente a través de registros fotográficos y de manera manual (Medición con regla). El procesado del registro fotográfico estuvo a cargo de la aplicación canopeo. El registro en detalle de las mediciones se puede encontrar en el anexo C.

En el siguiente grafico se puede observar el comportamiento en la cobertura vegetal registrado en cada talud.

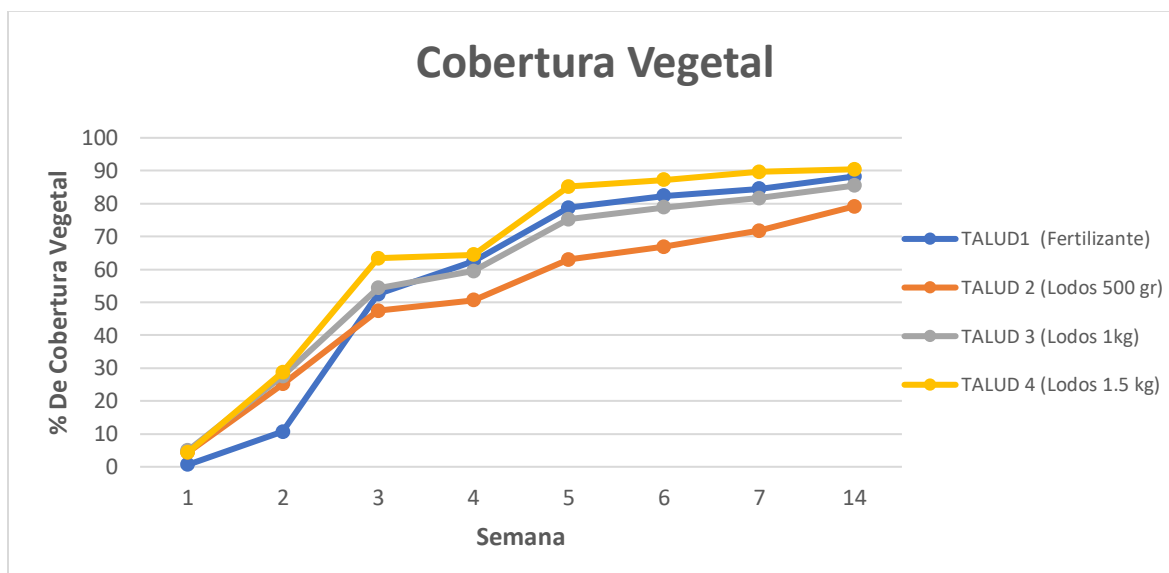


Figura 14. Gráfico de Cobertura Vegetal. (Fuente: Elaboración propia)

Del grafico se observa claramente la progresiva evolución en la cobertura vegetal de cada talud a lo largo de la experiencia. Se aprecia que el talud 4 con la concentración de lodos más alta, presenta un porcentaje en su cobertura de un 90% a la semana 14, mientras que el talud 2 que corresponde al de menor concentración de lodos registra un 80%, siendo este último el que registra los índices más bajos de cobertura de toda la experiencia. Luego se desprende que el talud con mayor concentración de lodos obtuvo mejores resultados que el de menor concentración.

Resulta interesante mencionar el comportamiento registrado por el talud 1, el cual en sus primeras 2 semanas evidencio una cobertura vegetal relativamente baja en comparación al resto, pero que a partir de la segunda semana mostro un aumento sustancial en su cobertura.

Entre las semanas 1 y 3 el crecimiento y germinación de las semillas en todos los taludes fue el más importante, esto, acompañado de algunos eventos de lluvia aislados los días previos, además de buenas temperaturas los días posteriores contribuyeron para un correcto desarrollo en la cobertura vegetal.

Crecimiento vegetal por especie.

Por otra parte, se realizó un registro en el crecimiento vegetal de forma manual utilizando regla para medir el crecimiento (promedio) de cada especie.

En cuanto a la Festuca se obtuvo lo siguiente:

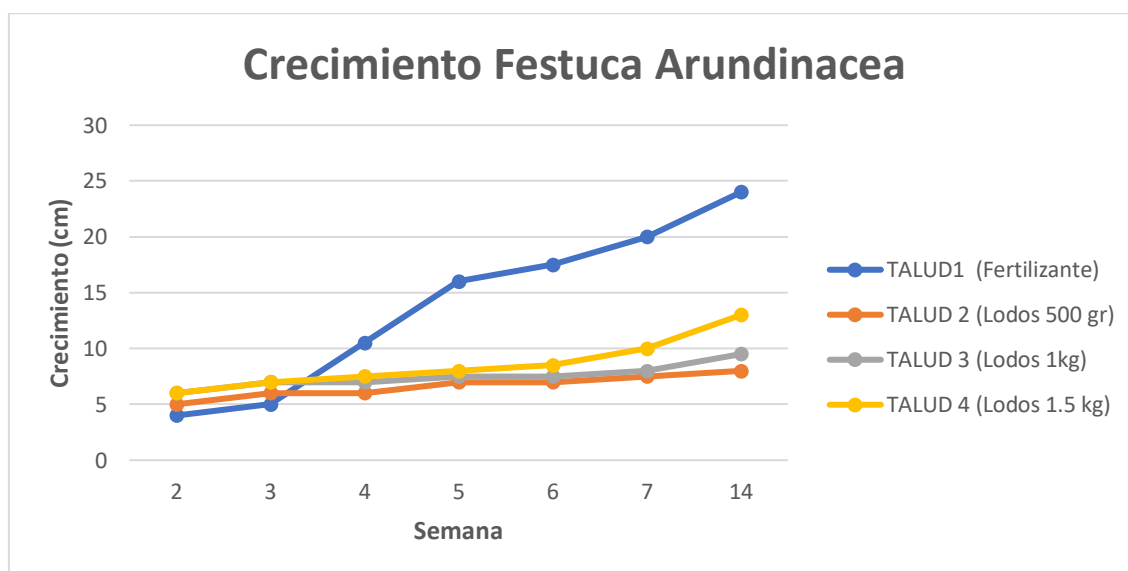


Figura 15. Gráfico de Crecimiento Festuca Arundinacea (Fuente: Elaboración propia)

Se aprecia que en el talud 1 el crecimiento de la festuca fue muy superior al resto de taludes, en cambio en los taludes 2, 3 y 4 el crecimiento fue inferior y de manera

más lenta. La concentración de lodos más alta resulto ser la que más se destacó por sobre las demás (Talud 2 y 3).

En relación con el Trebol Trifolium se obtuvo lo siguiente:

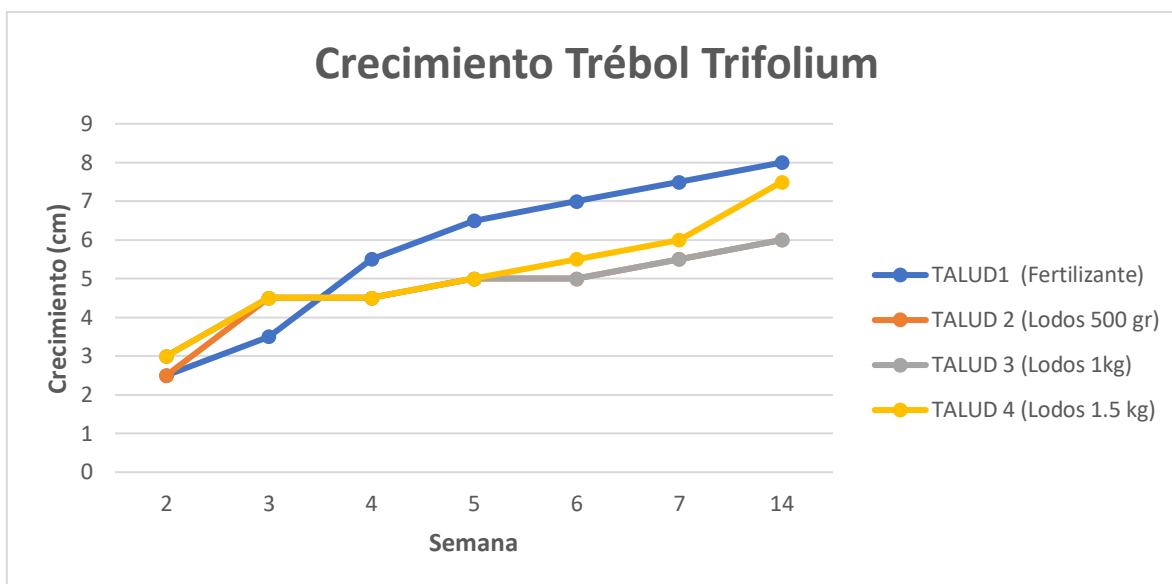


Figura 16. Gráfico de Crecimiento Trebol Trifolium. (Fuente: Elaboración propia)

Del grafico se extrae que en el talud 1 el crecimiento del trébol fue superior al resto, sin embargo, el talud 4 (con mayor concentración de lodos) al cabo de la semana 14 se acercó al crecimiento obtenido por el talud 1, lo que hace suponer que a largo plazo mantendría el crecimiento registrado por el talud 1.

En cuanto a los taludes 2 y 3 los resultados fueron prácticamente los mismos, inclusive presentando en las primeras 4 semanas resultados similares al talud 4, pero que a partir de la semana 5 su crecimiento se mantuvo, pero no al nivel de los taludes 1 y 4.

El talud 4, que presenta la mayor concentración de lodos evidencio una mejor respuesta al crecimiento del trébol respecto de sus pares (Talud 2 y 3).

4.3. Material Erodado.

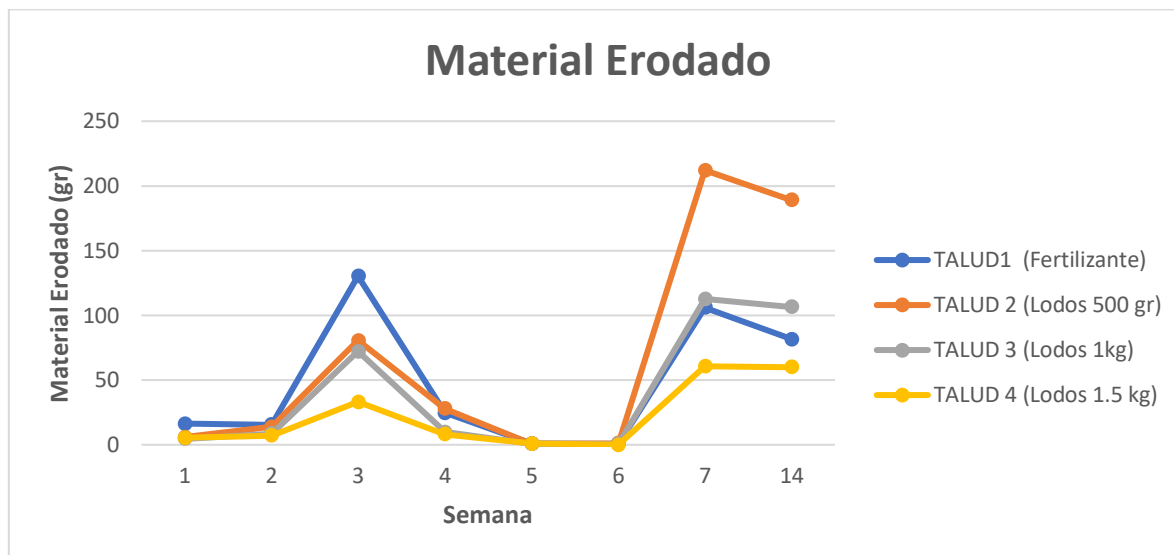


Figura 17. Gráfico de Material Erodado. (Fuente: Elaboración propia)

En relación con el material erodado registrado en los taludes con concentración de lodos, se puede apreciar que el talud 2 presenta los valores más altos de erodabilidad, Mientras que el talud 4 es el que menor material erodado registró a lo largo de toda la experiencia. De estos resultados se desprende que la cantidad de lodos aplicados condiciona la cantidad de material erodado, es decir mientras más lodos se aplicó en la hidrosiembra mejor fue el resultado (Menor valor de erodabilidad). El talud 4 es un claro ejemplo, donde mantuvo muy bajos sus niveles de erodabilidad inclusive frente a eventos de lluvia y fuertes vientos.

Por otra parte, cabe destacar el comportamiento registrado por el talud 1, el cual las primeras 4 semanas obtuvo valores por sobre el resto de sus pares (Crecimiento vegetal más bajo que el resto), pero que a partir de la semana 5 pudo mantener, inclusive mejorar sus niveles de erodabilidad frente al resto, posicionándose entre la semana 6 y 14 como el segundo mejor resultado solo superado por el talud 4.

Los picos registrados en el grafico se condicen con los eventos de lluvia y viento registrados a lo largo de la experiencia.

CAPITULO 5: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La experiencia se realizó sin mayores complicaciones y de forma satisfactoria. Las variables a obtener por la experiencia fueron registradas y analizadas, obteniendo conclusiones las cuales son expuestas a continuación.

Las temperaturas superficiales registradas en los lisímetros con concentración de biosólidos no presentaron variaciones entre sí, por lo que se concluye que la cantidad de biosólidos aplicados no condiciona el comportamiento de la temperatura superficial en taludes. Sin embargo, y a diferencia del uso de fertilizante los lodos aumentan la temperatura superficial en los lisímetros.

La aplicación de lodos en reemplazo del fertilizante provoca un aumento en la cobertura vegetal en el corto plazo, sin embargo, en el mediano-largo plazo el fertilizante (Entrega lenta) iguala, inclusive supera a la cobertura vegetal obtenida con lodos (Dosificaciones inferiores a 1,5 kg). La cantidad de lodos a aplicar se correlaciona con la cobertura vegetal, es decir, mientras más lodos se apliquen mayor será la cobertura.

El crecimiento vegetal en festucas y tréboles se condice con cada una de las dosificaciones, es decir, mientras se aumente la concentración de lodos en la hidrosiembra los resultados serán mejores (Mayor crecimiento vegetal). Sin embargo, los lodos frente al fertilizante tradicional no alcanzan la tasa de crecimiento de estos.

En cuanto al material erodado, una variable muy relevante en la sustentabilidad de un talud se concluye que a mayor cantidad de biosólidos menor será la cantidad de material erodado.

El comportamiento registrado en los taludes con concentración de biosólidos en reemplazo del fertilizante tradicional resultó ser positivo, viable y no muy diferente a lo obtenido por la hidrosiembra tradicional, lo que justifica el uso de este material para futuros proyectos de recuperación de suelos y taludes.

La concentración de biosólidos correspondiente a 1,5 kg por m² fue la que mejores resultados obtuvo.

Se recomienda para futuras experiencias aumentar el rango de concentración de lodos para encontrar un valor óptimo, además de experimentar en otras estaciones de año.

Bibliografía

- Aroca, A. (2005). Influencia del uso de lodos en el crecimiento de especies utilizadas para protección de erosión en la región del Bío Bío. Memoria de título ingeniería civil, universidad del Bio Bio.
- Beroiz, L. (2013). Desarrollo del trébol sembrado en taludes para la protección de la erosión. Memoria de título ingeniería civil, universidad del Bio Bio.
- Cabrera, C. (2014). Desarrollo de propuesta técnico ambiental para la aplicabilidad de biosólidos en taludes. Memoria de título ingeniería civil, universidad del Bio Bio.
- Canopeo [Software].
< <http://www.canopeoapp.com/> > [Consulta: 06 junio, 2017].
- DS N°4 (2009). Reglamento para el manejo de lodos generados en plantas de tratamiento de aguas servidas.
- Gutiérrez, L. (2012). Erosión en taludes de alta pendiente tratados con mezcla de biosólidos, suelo y trébol enano. Memoria de título ingeniería civil, universidad del Bio Bio.
- Hernández, L. (2013). Erosión en taludes de pendiente media tratados con congona y biosólidos aplicados en mezcla con el suelo. Memoria de título ingeniería civil, universidad del Bio Bio.
- Informe de gestión del sector sanitario, SiSS. (2015).
- Lopez, A. (2012). Análisis de la erosión en taludes de baja pendiente tratados con mezcla de biosólidos, suelo y trébol enano. Memoria de título ingeniería civil, universidad del Bio Bio.

- Mendoza, F. (2010). Análisis de la erodabilidad de mezclas suelo-biosólidos. Memoria de título ingeniería civil, universidad del Bio Bio.
- Meneses, A. (2011). Análisis de la erosión hídrica en taludes a escala sembrados con trébol enano durante otoño e invierno. Memoria de título ingeniería civil, universidad del Bio Bio.
- NCh2952.c2004, Lodos – Requisitos y condiciones para un plan de aplicación en suelos.
- Riquelme, C. (2010). Diseño de lisímetros para estudiar la erosión hídrica en taludes a escala. Memoria de título ingeniería civil, universidad del Bio Bio.
- Rivas, R. (2011). Efectos de la incorporación de biosólidos en la erosión de taludes desprotegidos. Memoria de título ingeniería civil, universidad del Bio Bio.
- Reyes, O. (2013). Estimación de la erodabilidad de un suelo mezclado con biosólidos. Memoria de título ingeniería civil, universidad del Bio Bio.
- Rocha, T. (2015). Germinación y crecimiento de dichondra en mezclas de suelo y biosólidos. Memoria de título ingeniería civil, universidad del Bio Bio.
- San Martín, D. (2013). Determinación óptima de mulch, para mejorar condición técnica del hidrosembado en taludes de alta pendiente. Memoria de título ingeniería civil, universidad del Bio Bio.

Anexo A. Mecánica de suelos

Granulometría

Tabla A.1 Granulometría (Fuente: Elaboración Propia)

Tamiz (N°)	Retenido Parcial (g)	Retenido parcial (%)	Retenido acumulado (%)	Pasa (%)
0,75	0	0	0	100
0,375	7,3	0,72	0,72	99,3
4	33,66	3,34	4,06	95,9
10	138,2	13,71	17,78	82,2
20	93,2	9,25	27,03	73
40	83,9	8,33	35,35	64,6
60	64,1	6,36	41,71	58,3
200	207,4	20,58	62,29	37,7
finos	308,04			

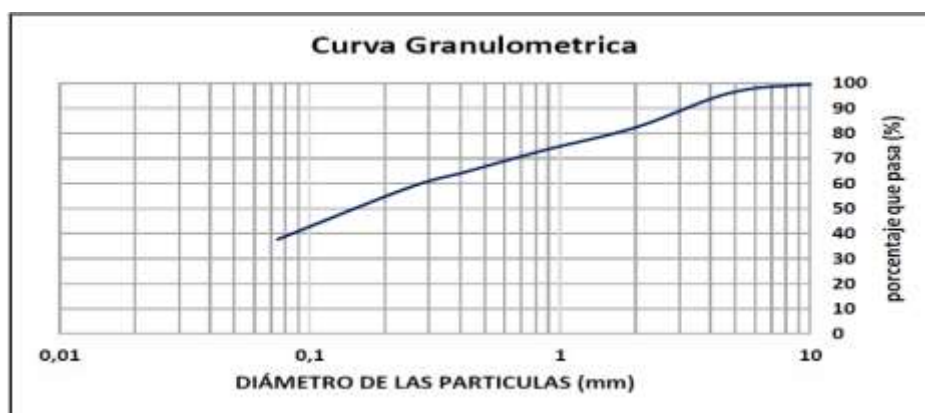


Figura 18. Curva Granulométrica (Fuente: Elaboración Propia)

Límites de Atterberg

Se realizó el ensayo para determinar los límites de atterberg según las normas NCh. 1517/1 of. 1979 y NCh. 1517/2, los límites de atterberg y limite plástico corresponden a:

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

Proctor Modificado

Se realizó el ensayo de Proctor modificado según la norma NCh1534 of. 1989, se presentan los resultados a continuación:

Tabla A.2 Proctor modificado (Fuente: Elaboración Propia)

Ensayo N°	Agua Agregada (%)	Molde + Material (gr)	Peso Molde (gr)	Material (gr)	Volumen Molde (cm ³)	D.C.H (gr/cm ³)	Humedad Real (%)	D.C.S (gr/cm ³)
1	5	3919	1958	1961	931	2,10633727	7,0035	1,9685
2	7	3978	1958	2020	931	2,16970999	9,3750	1,9837
3	9	3985	1958	2027	931	2,17722879	10,8926	1,9634
4	11	3974	1958	2016	931	2,16541353	13,0546	1,9154

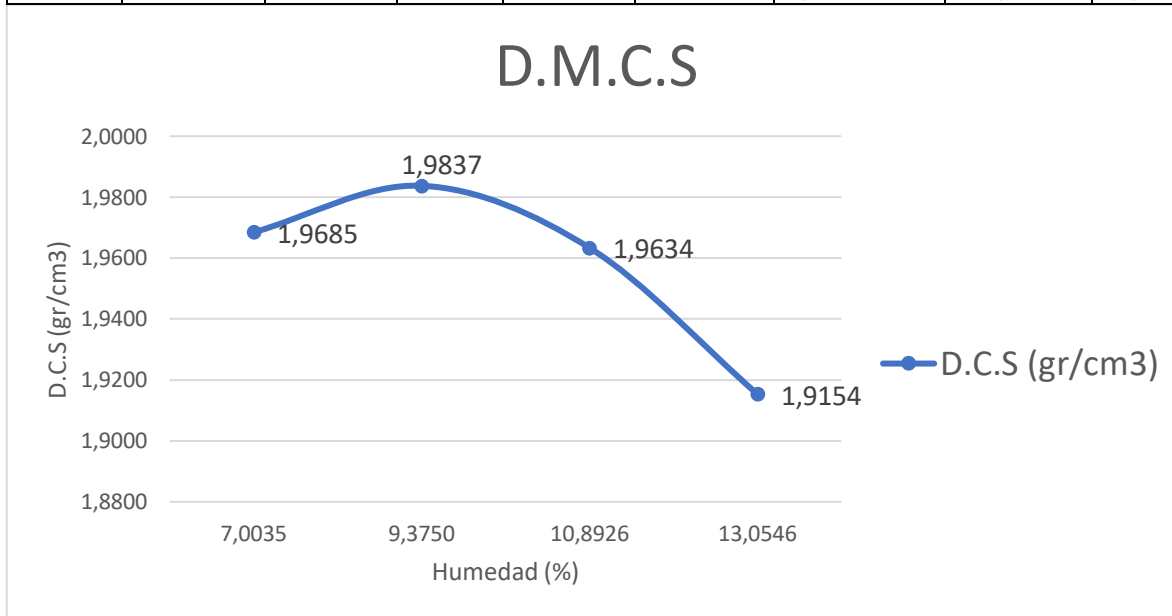


Figura 19. Proctor Modificado (Fuente: Elaboración Propia)

De el grafico se desprende que la D.M.C.S tiene un valor de 1,98 gr/cm³, la cual es alcanzada con una humedad optima del 9,375 %.

Anexo B. Datos Medición Temperaturas

Tabla B.1 Mediciones Temperaturas (Fuente: Elaboración Propia)

Fecha	TALUD 1 (Fertilizante)	TALUD 2 (Lodos 0.5kg)	TALUD 3 (Lodos 1kg)	TALUD 4 (Lodos 1.5 kg)	Temperatura Ambiente
03-Jul	12,6	12,7	12,7	12,7	11,4
05-Jul	11,4	11,8	11,8	11,7	11,3
07-Jul	19,1	19,9	20	20	12,2
10-Jul	18,1	18,4	18,5	18,7	12
12-Jul	9,7	9,9	9,8	9,7	10,4
14-Jul	8,3	8,4	8,5	8,7	9
17-Jul	22,8	24,3	25,3	24,7	15,6
19-Jul	20,5	21,6	21,8	21,4	17,9
21-Jul	21,7	25	25,2	24,4	18,7
24-Jul	15,2	18,2	18	17,8	12,3
26-Jul	14,8	17,2	17	16,9	11,8
28-Jul	14,6	16,7	16,9	16,8	9,1
31-Jul	12,8	18,2	17,8	17,7	11,6
02-Ago	13,1	17,5	17,9	17,7	10,9
04-Ago	8,8	10,6	10,5	10,4	10
07-Ago	12	14,3	13,8	13,3	13,3
09-Ago	13,3	15,5	15,3	15,1	15,7
11-Ago	11,6	15,1	14,7	14,5	11,8

Nota: Todos los datos registrados están en grados Celsius (°C)

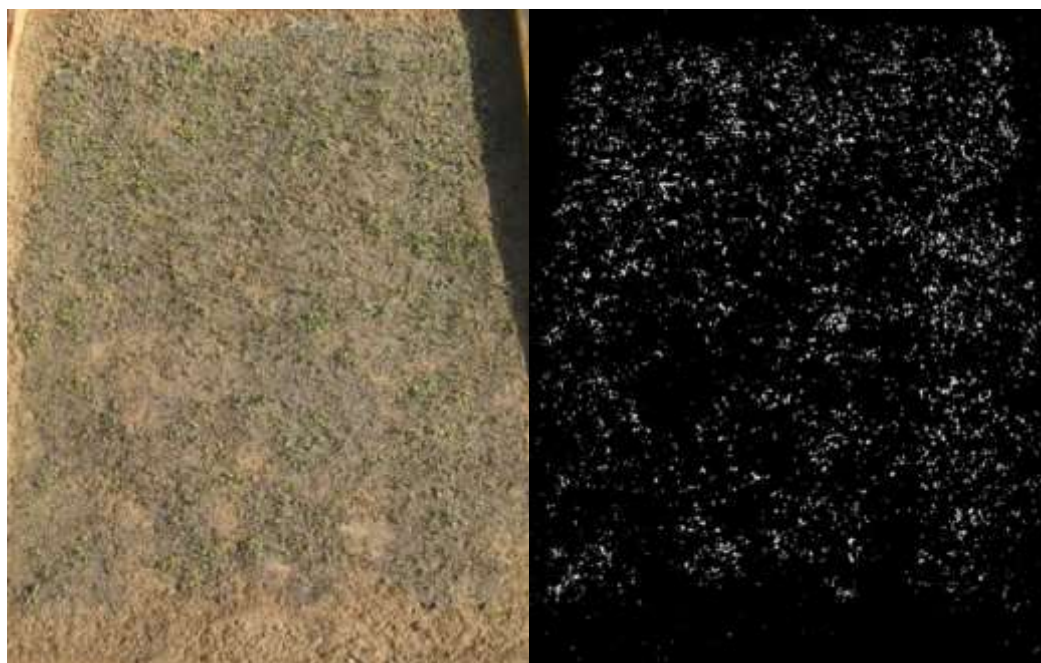
Anexo C. Datos Medición Cobertura vegetal

Semana 1. 30 de junio del 2017.

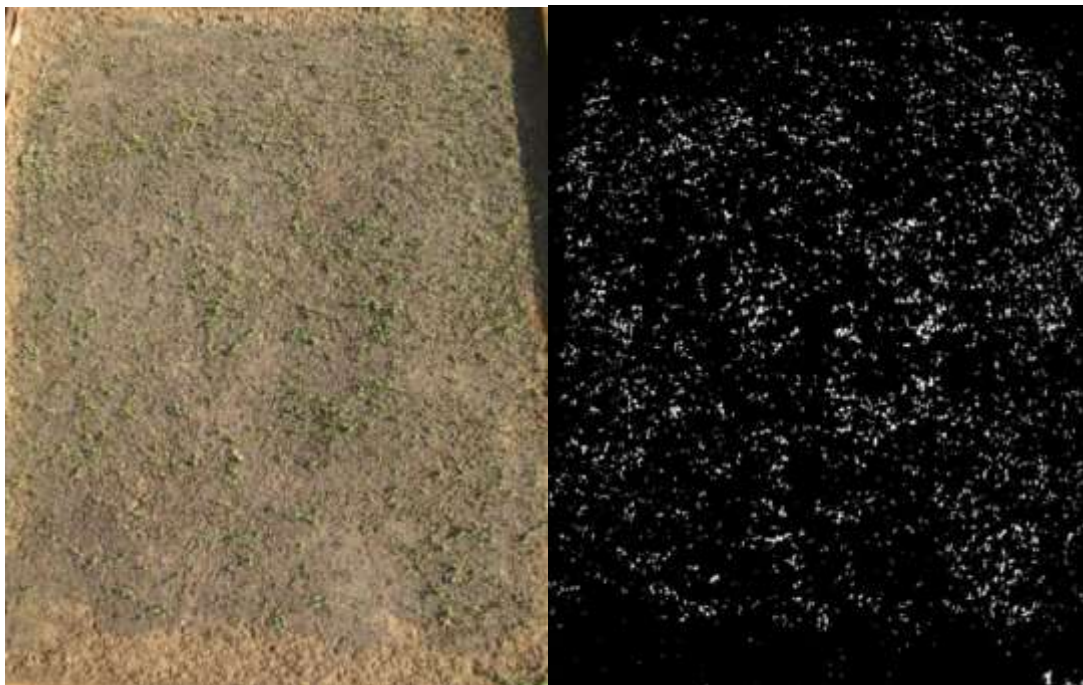
Talud 1



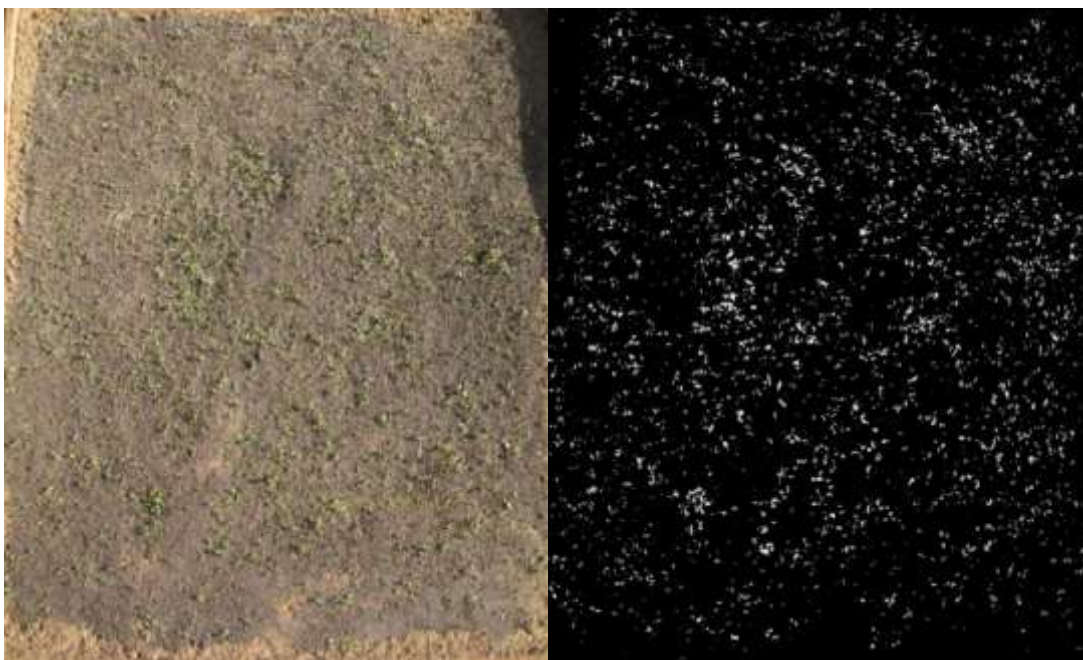
Talud 2



Talud 3

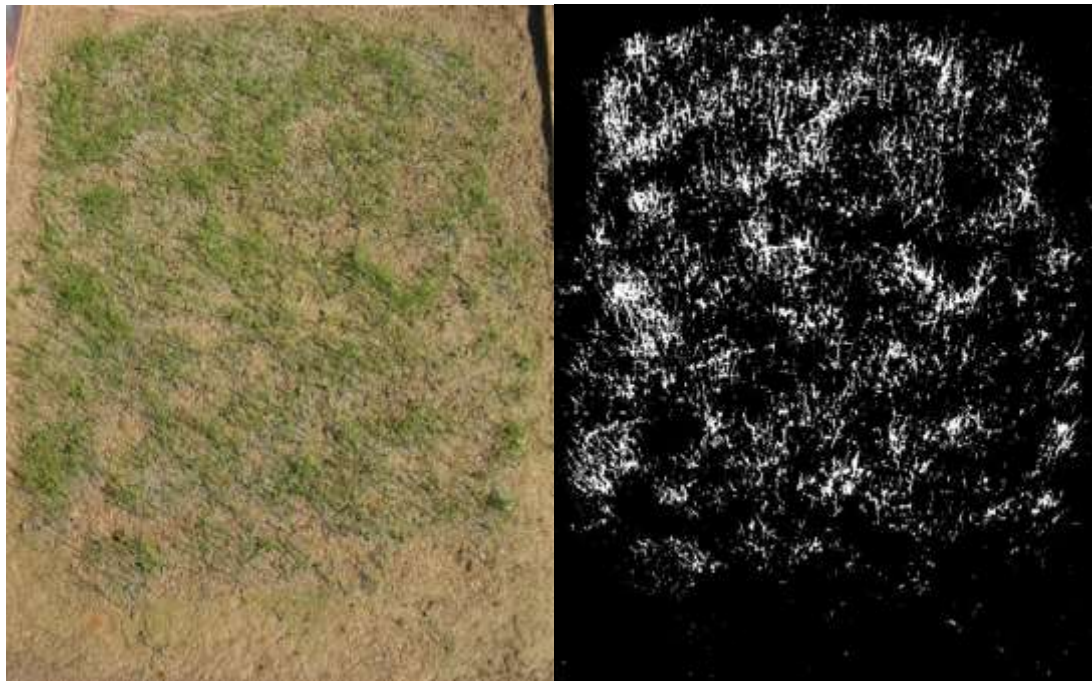


Talud 4

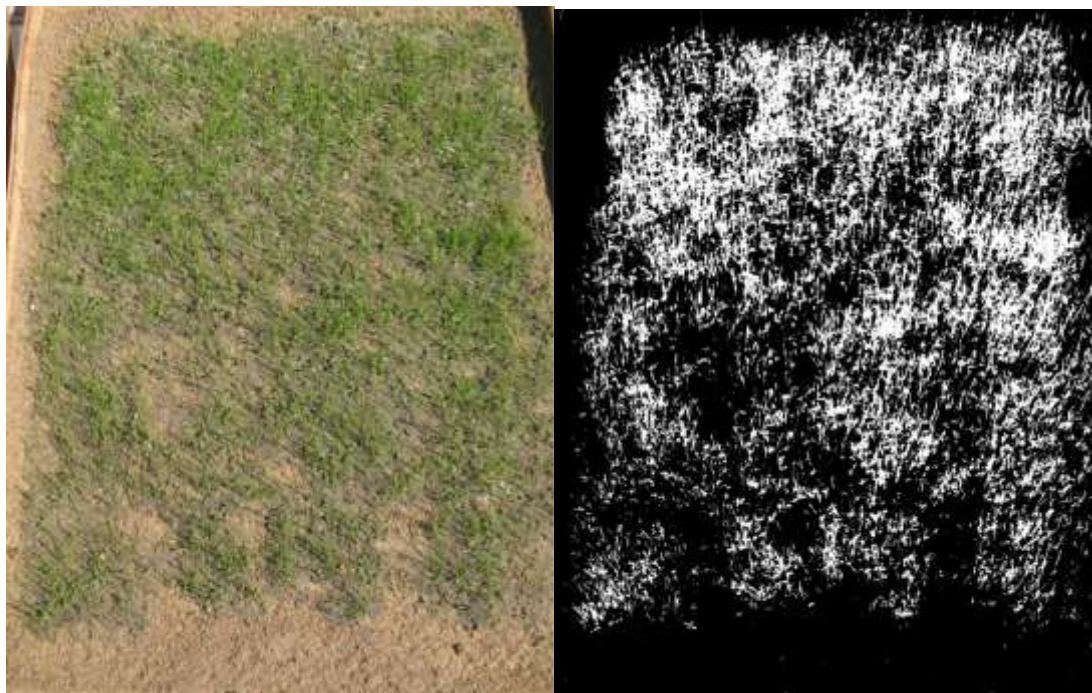


Semana 2. 07 de julio del 2017.

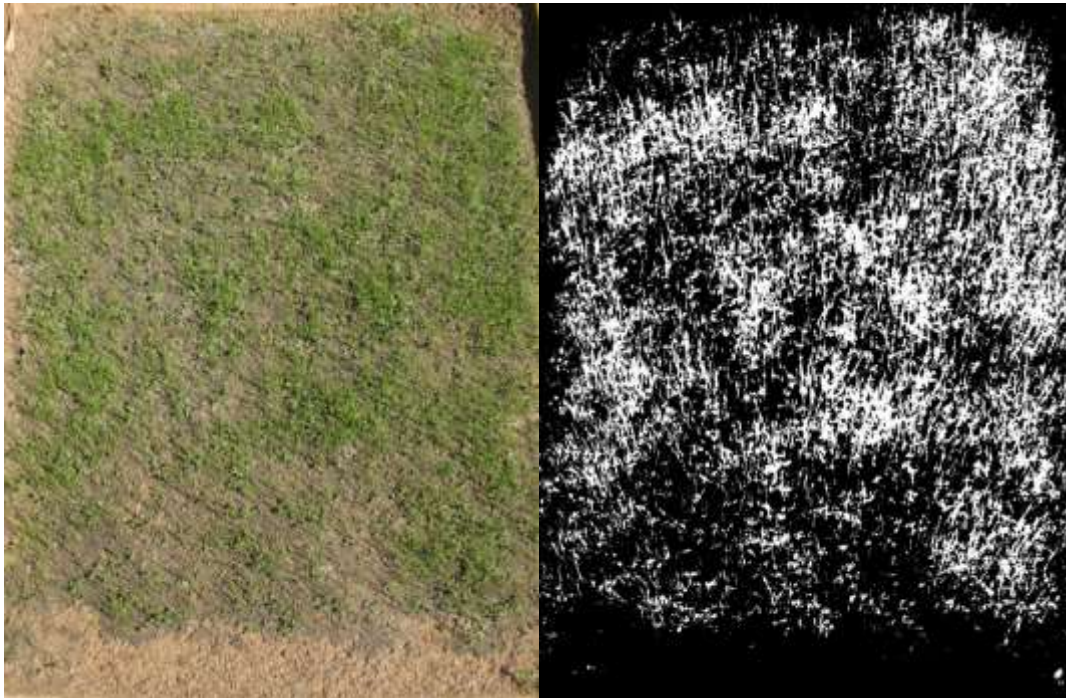
Talud 1



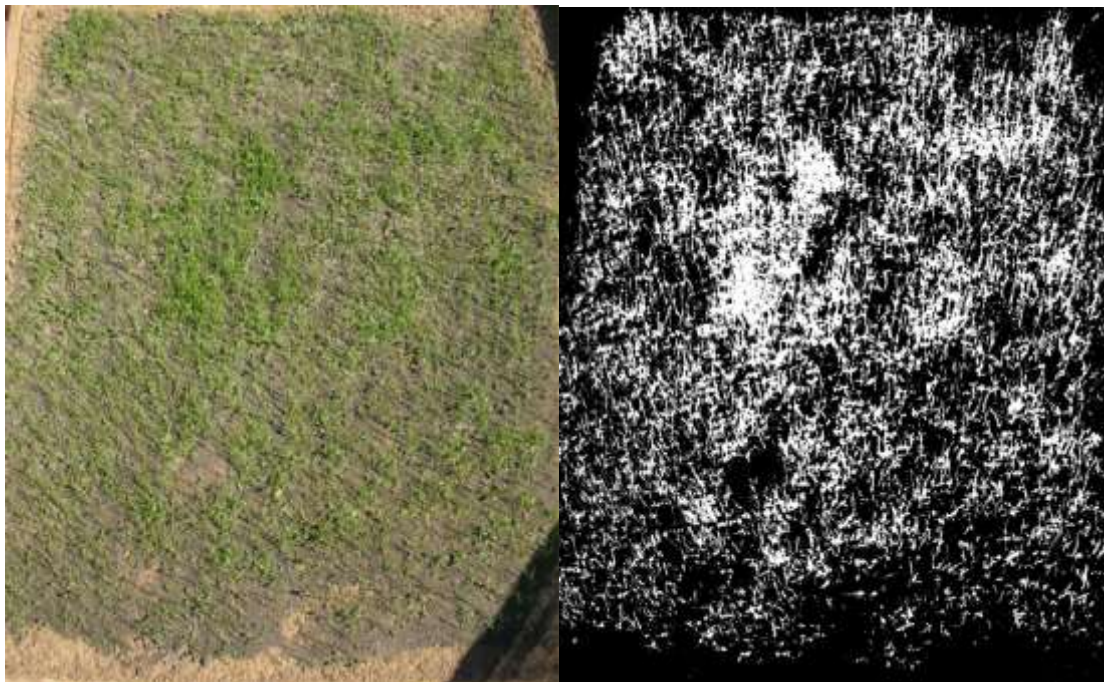
Talud 2



Talud 3

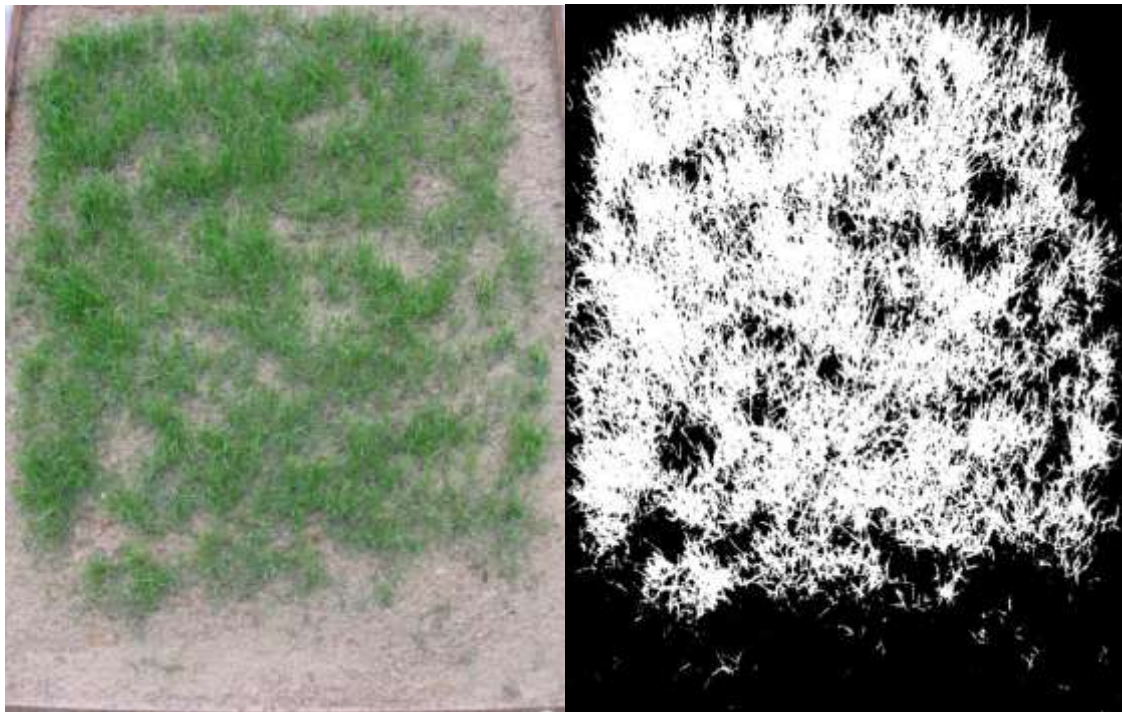


Talud 4

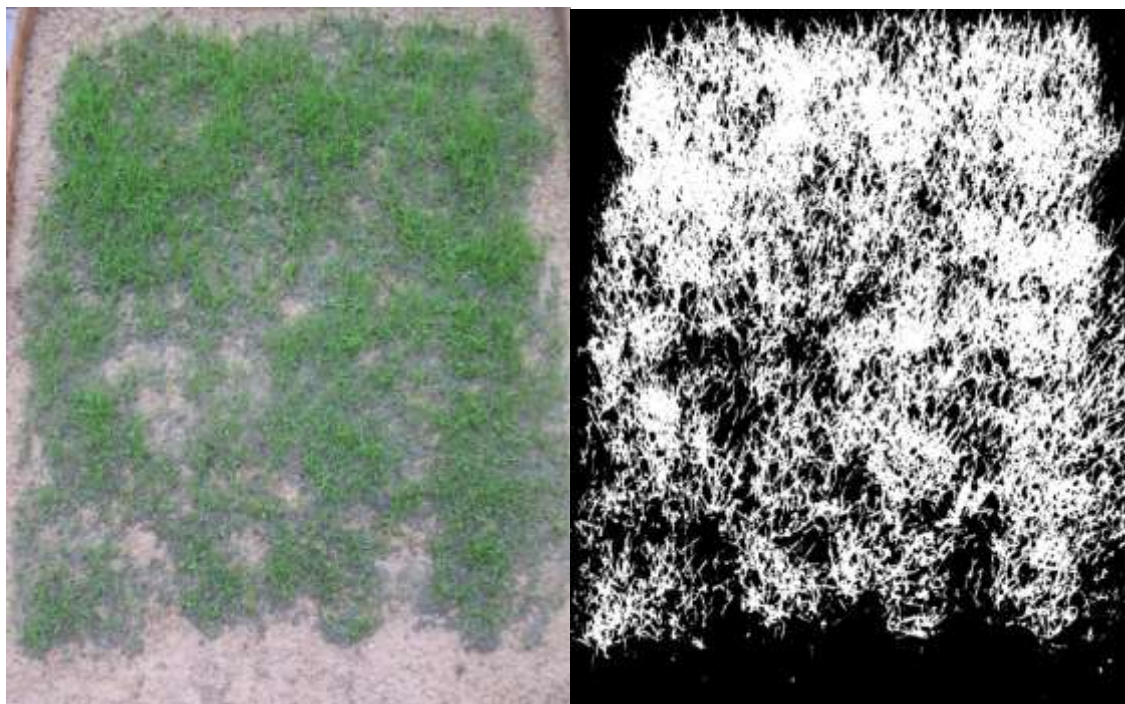


Semana 3. 14 de julio del 2017.

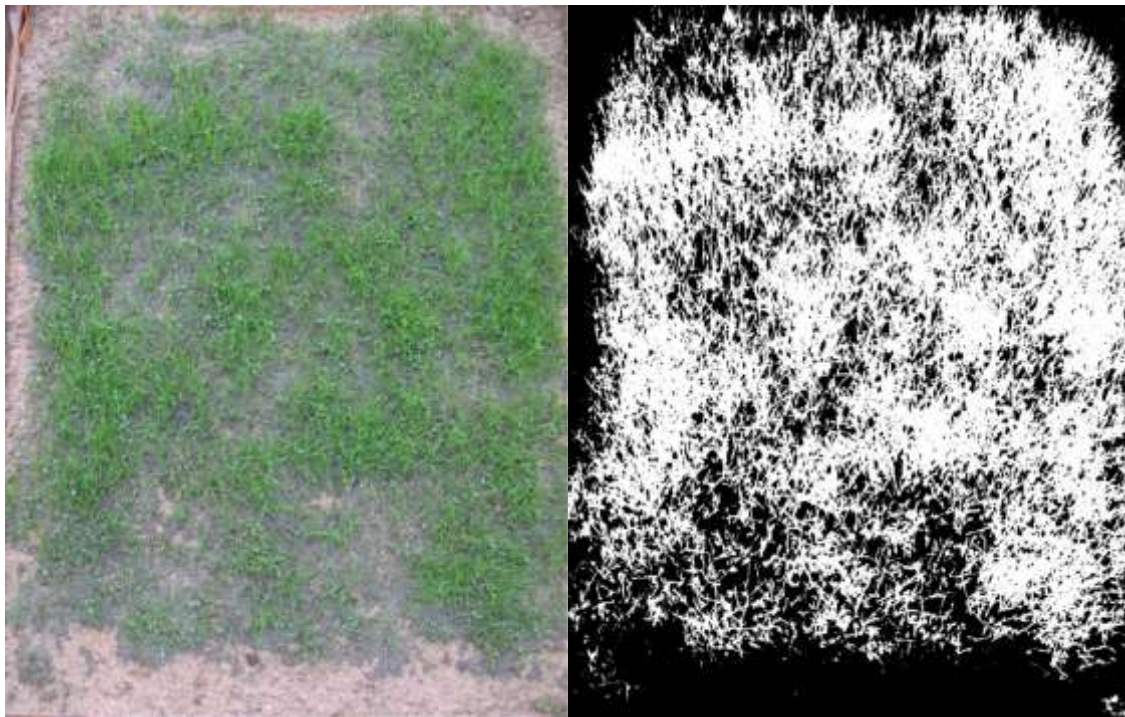
Talud 1



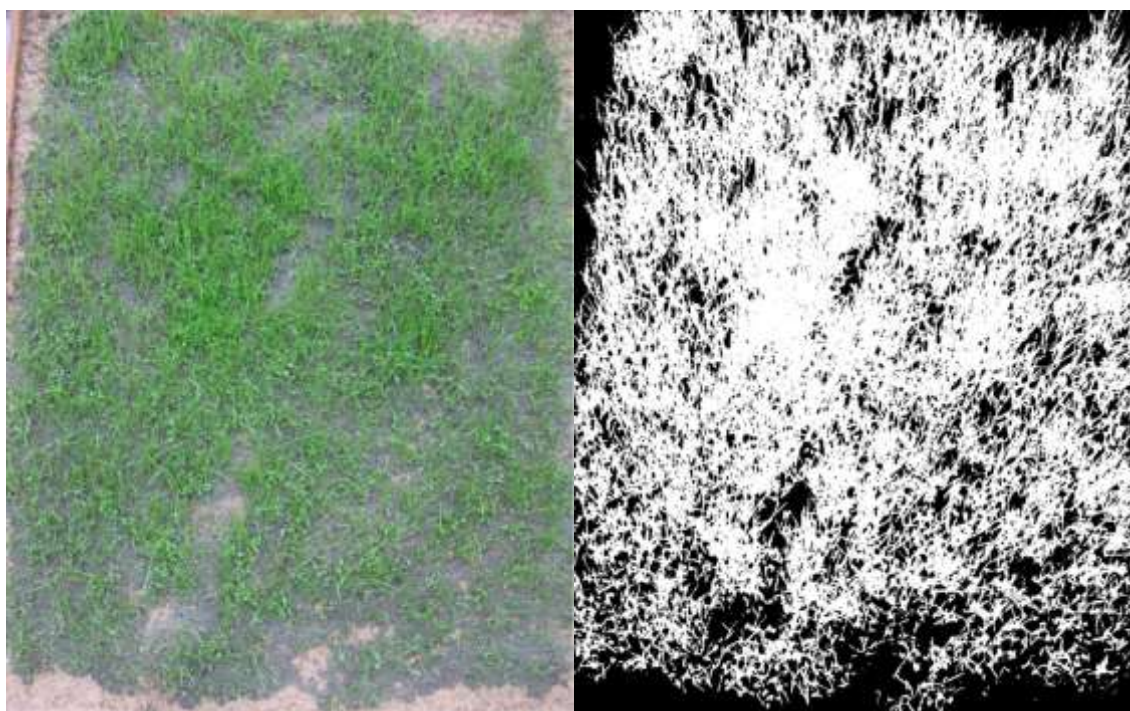
Talud 2



Talud 3



Talud 4

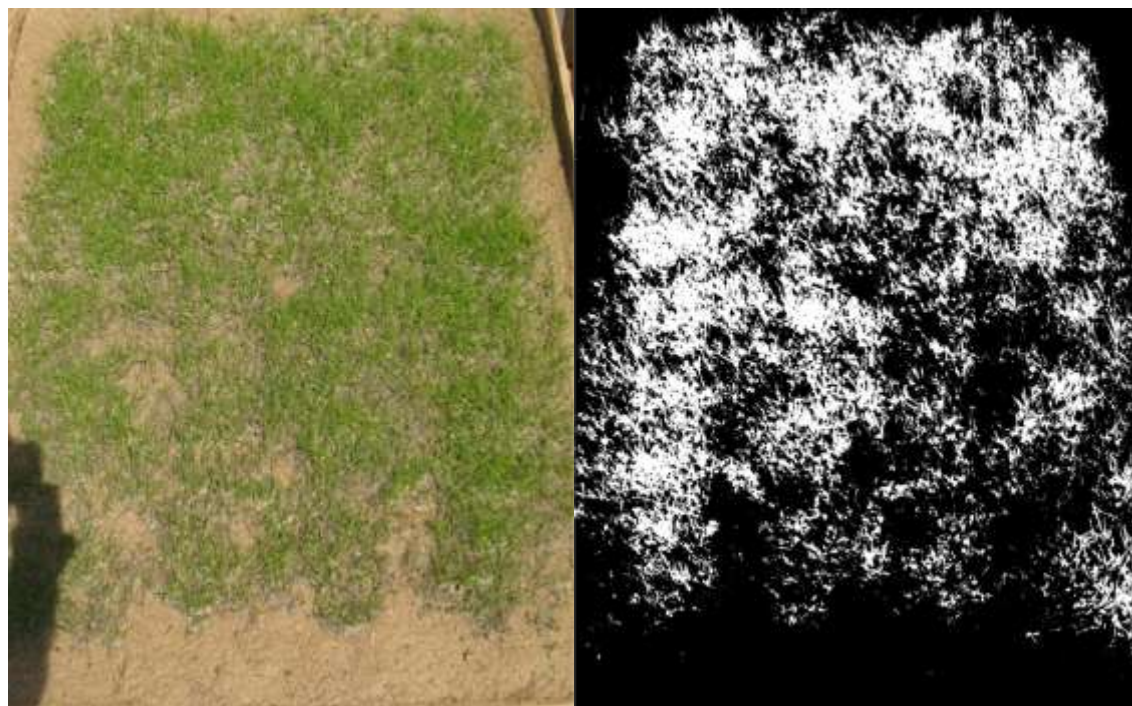


Semana 4. 21 de julio del 2017.

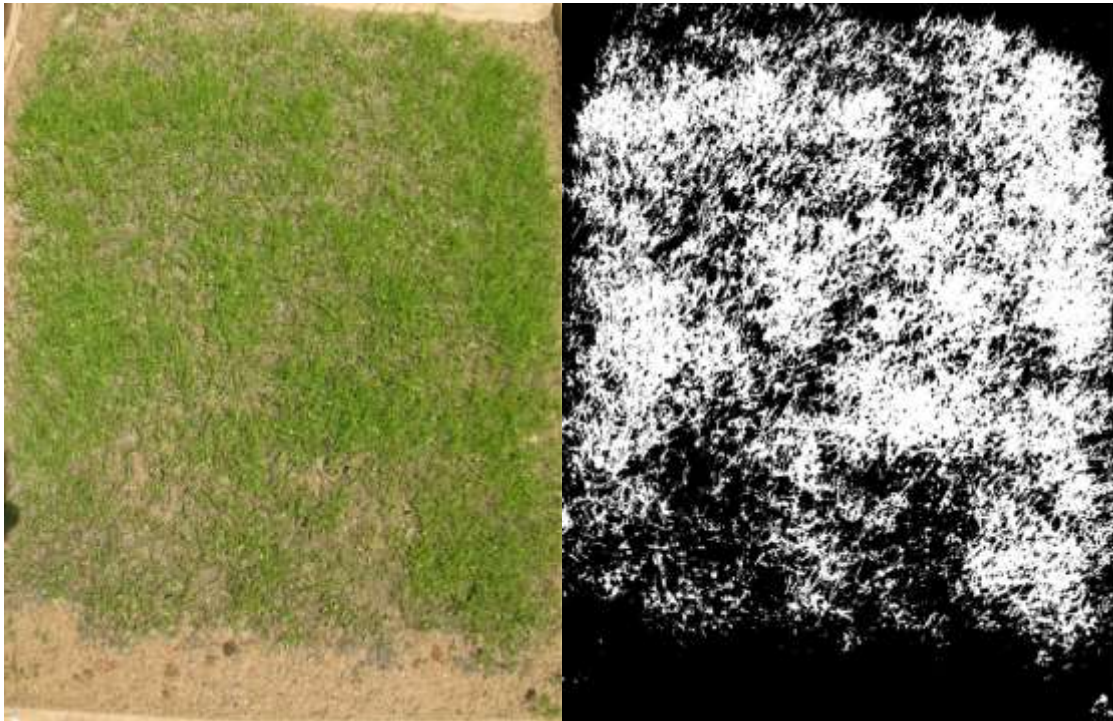
Talud 1



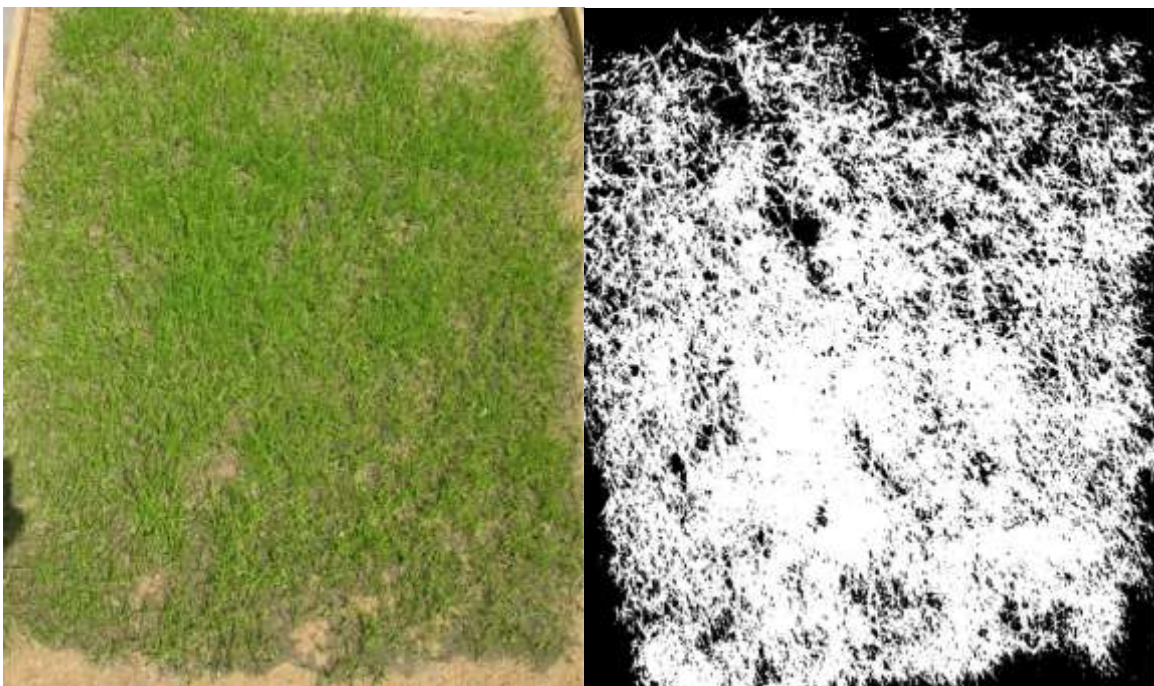
Talud 2



Talud 3



Talud 4

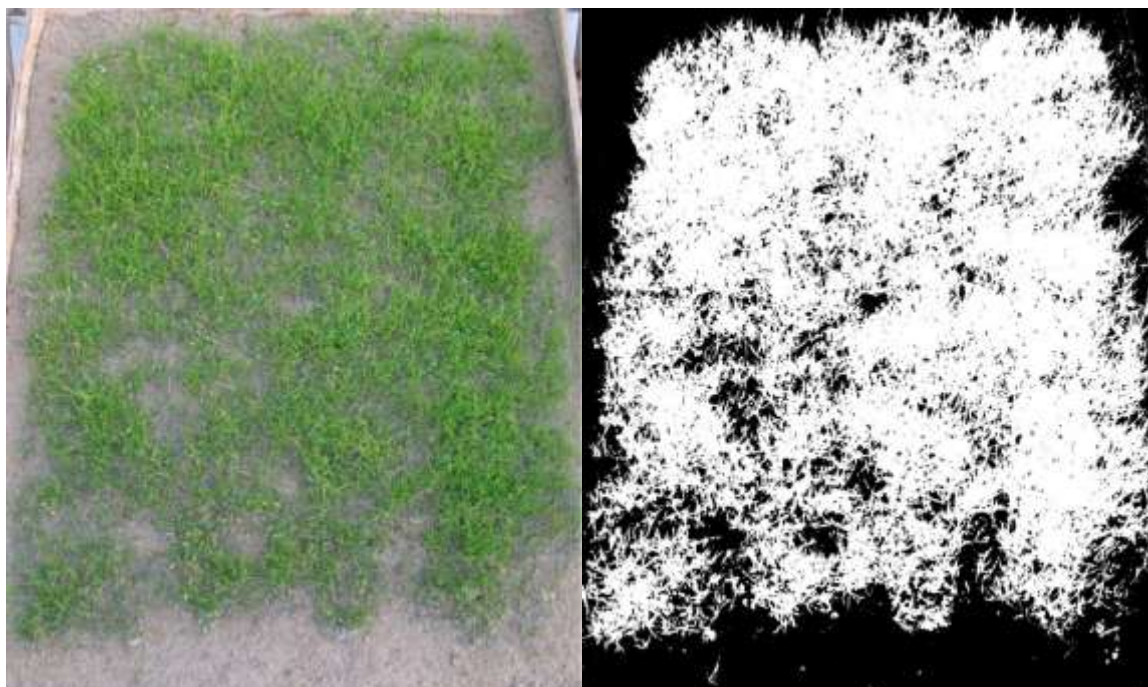


Semana 5. 28 de julio del 2017.

Talud 1



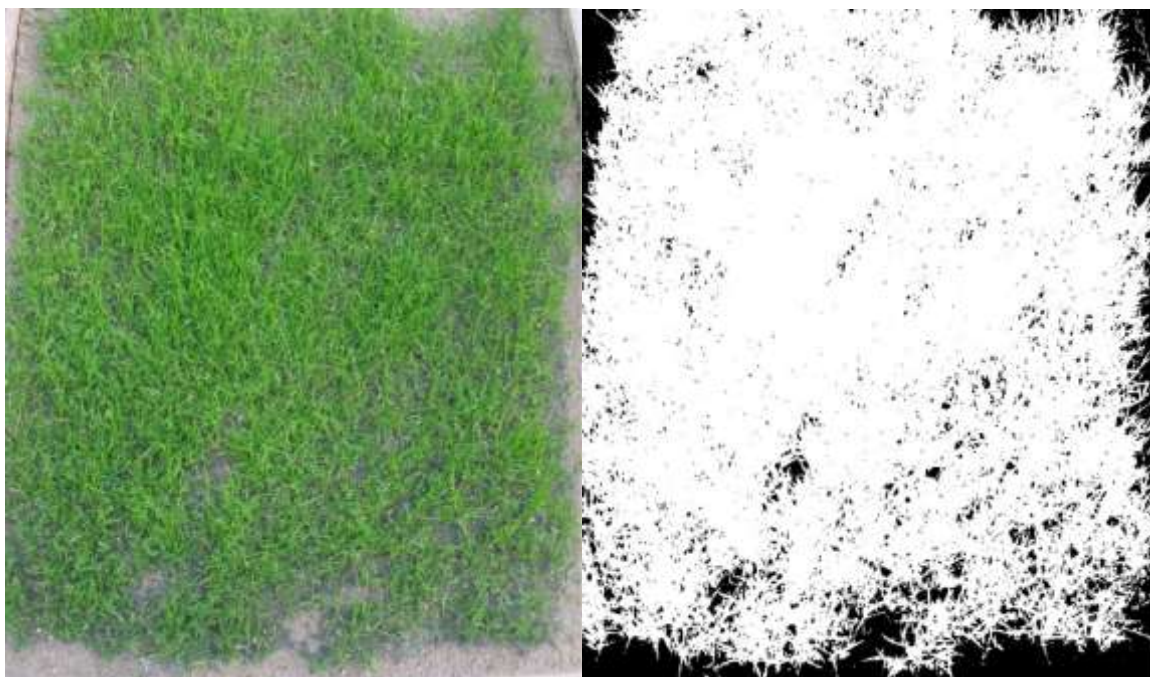
Talud 2



Talud 3



Talud 4

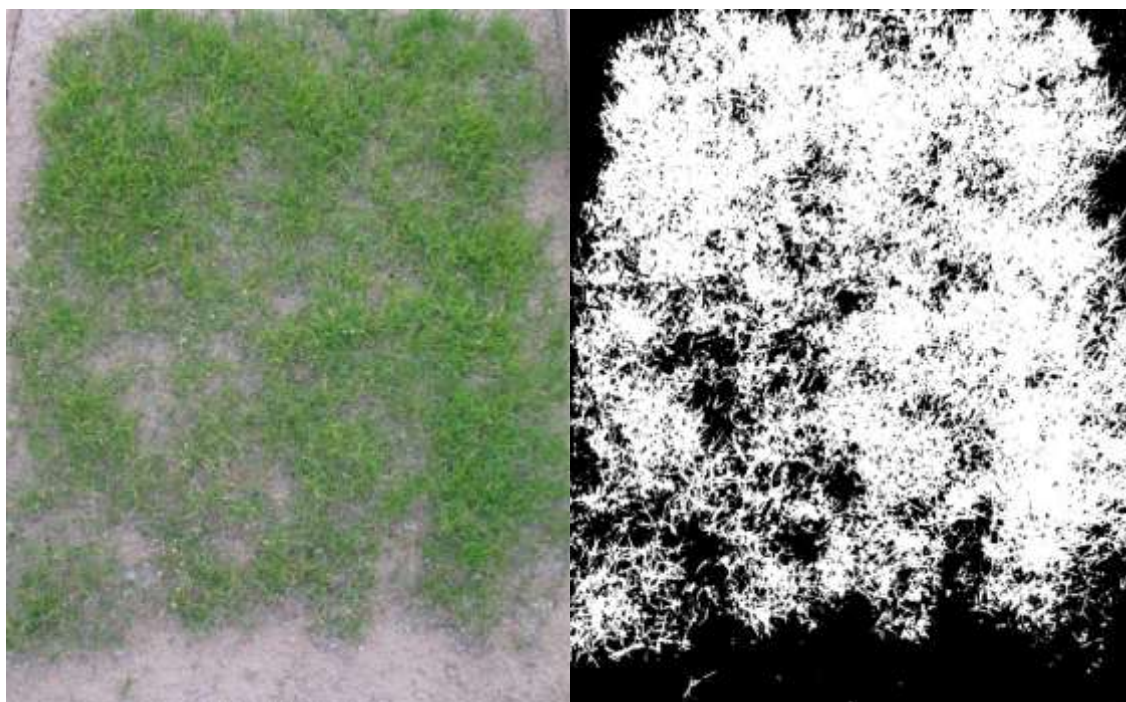


Semana 6. 04 de agosto del 2017.

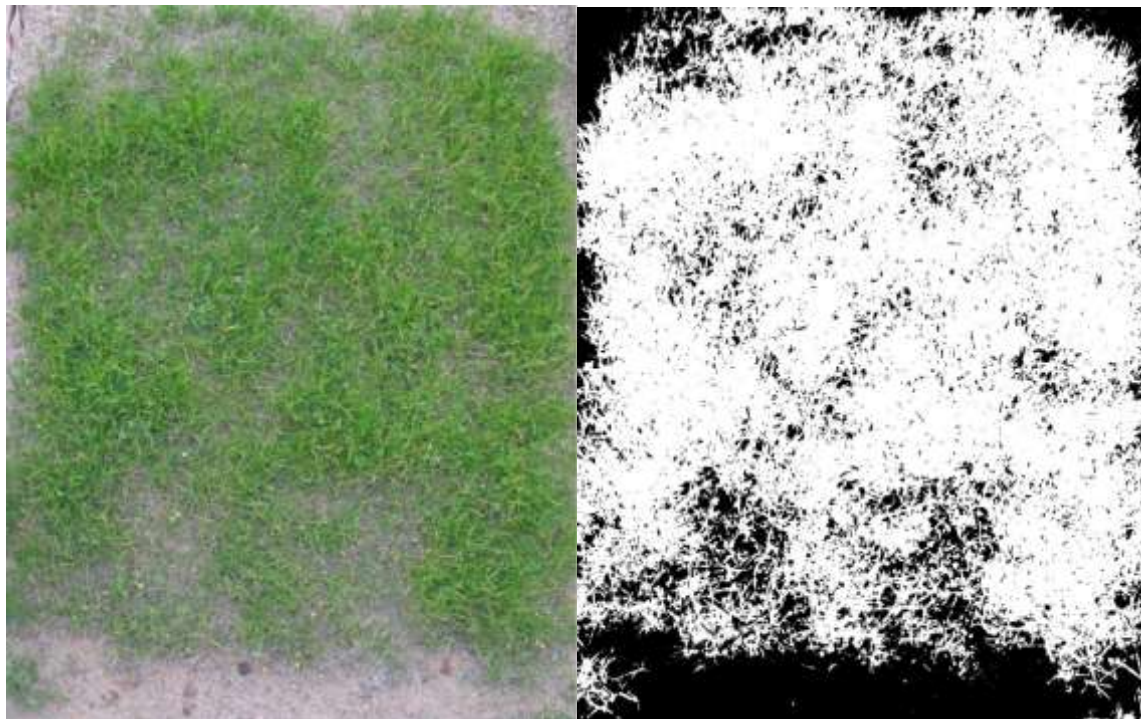
Talud 1



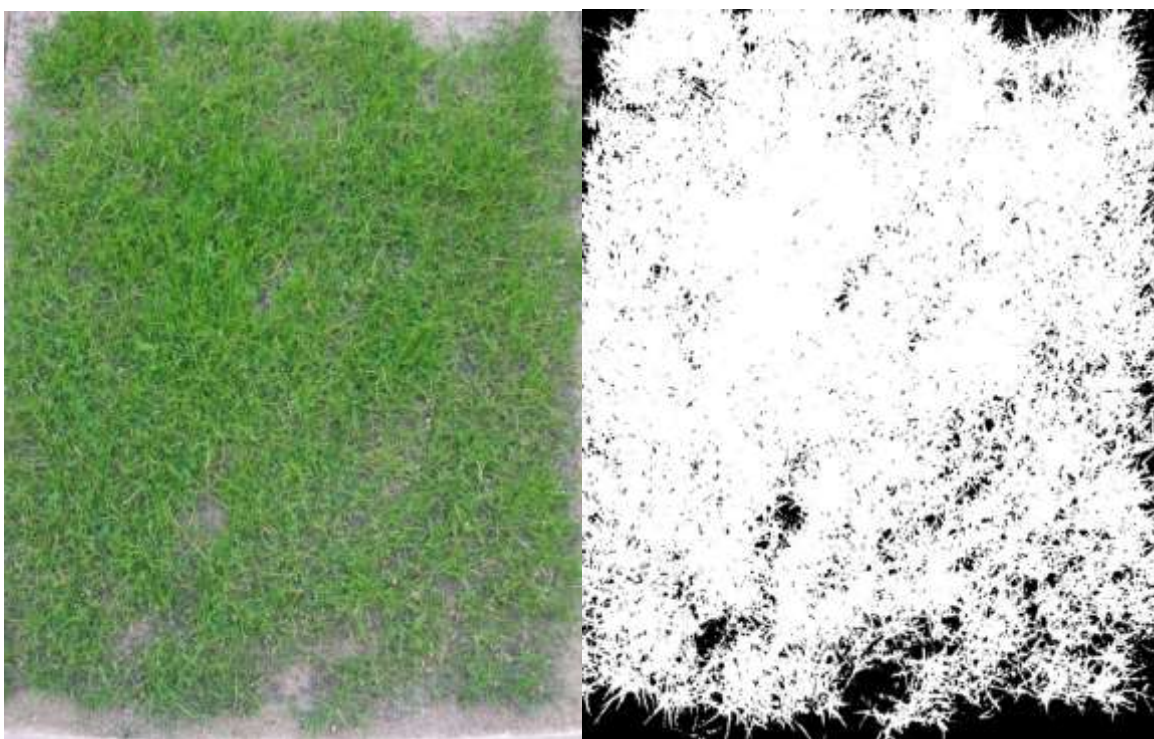
Talud 2



Talud 3



Talud 4

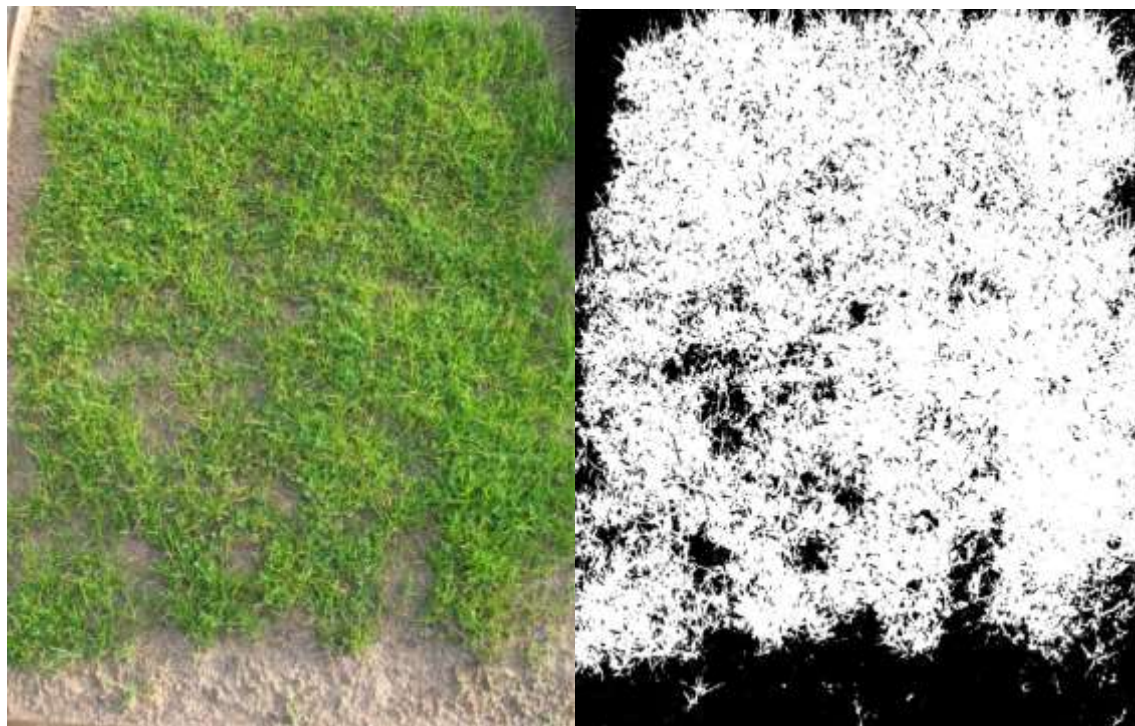


Semana 7. 11 de agosto del 2017.

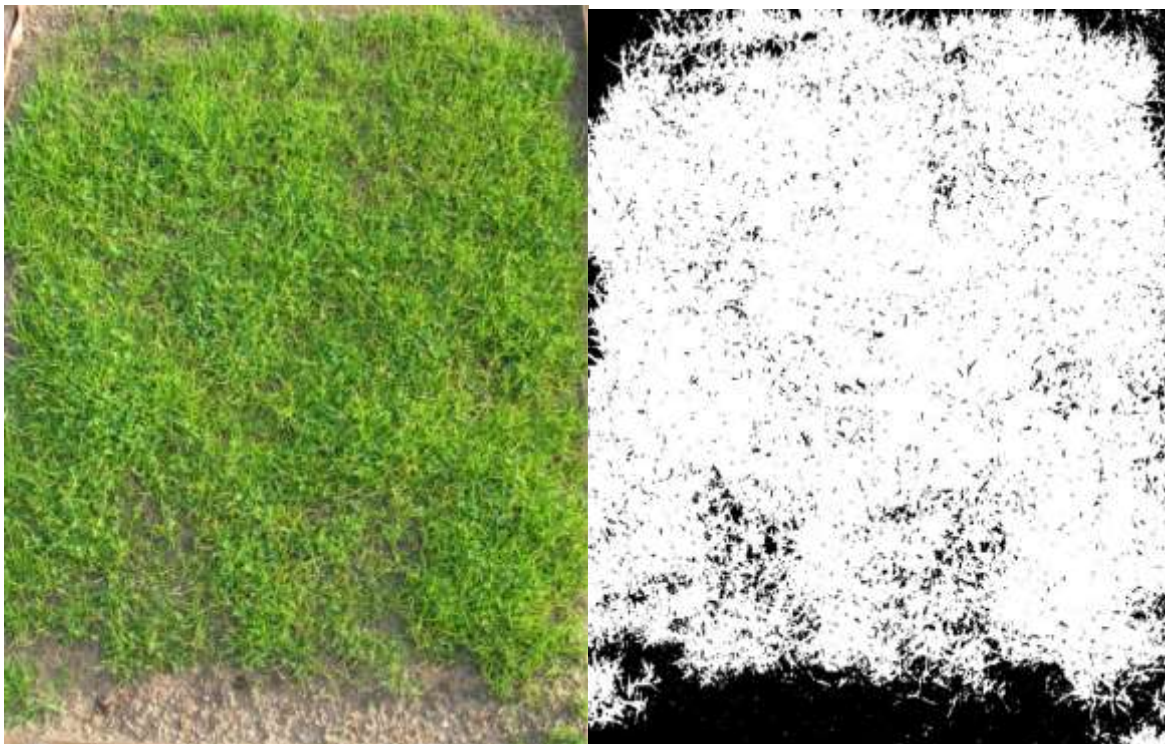
Talud 1



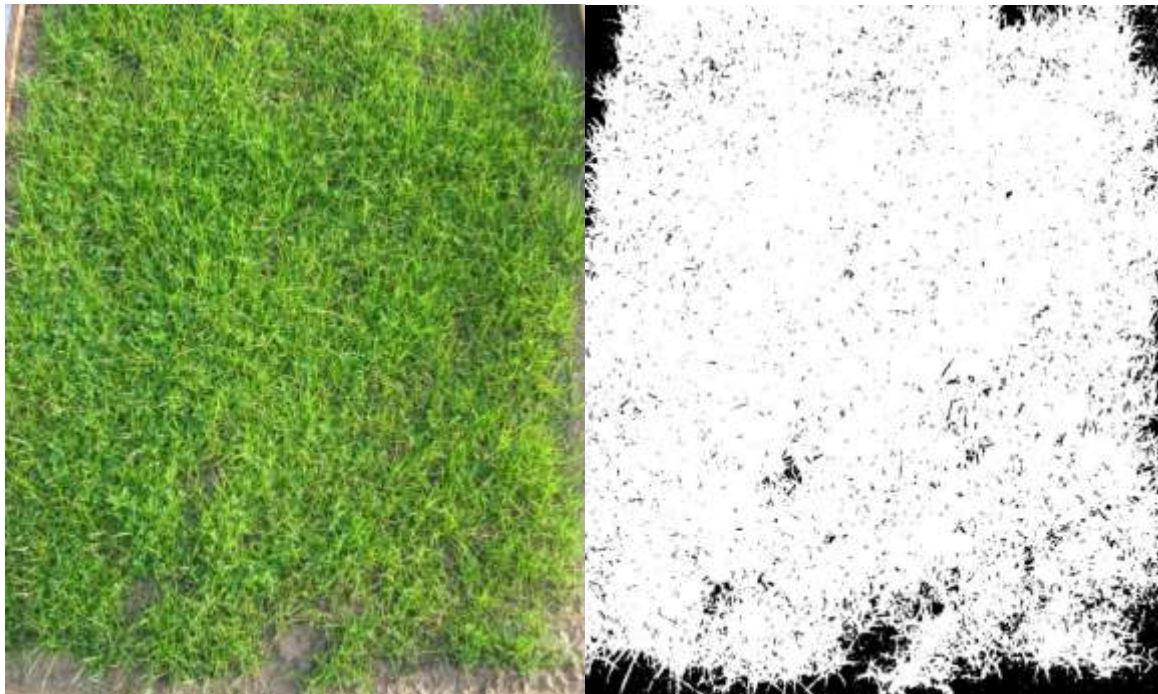
Talud 2



Talud 3

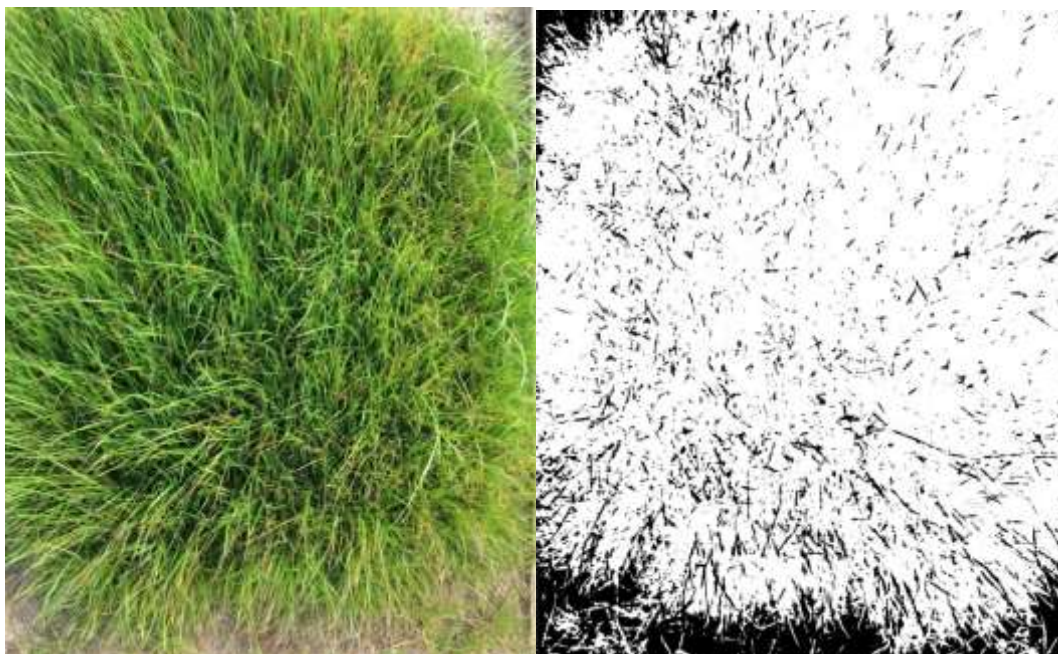


Talud 4



Semana 14. 29 de septiembre del 2017.

Talud 1



Talud 2



Talud 3



Talud 4



Tabla C.1 Coberturas Vegetales (Canopeo)

Semana	TALUD1 (Fertilizante)	TALUD 2 (Lodos 500 gr)	TALUD 3 (Lodos 1kg)	TALUD 4 (Lodos 1.5 kg)
1	0,61	4,33	4,92	4,31
2	10,66	25,18	27,57	28,74
3	52,48	47,43	54,36	63,34
4	62,37	50,67	59,48	64,45
5	78,75	62,95	75,24	85,19
6	82,39	66,85	78,88	87,2
7	84,49	71,7	81,67	89,6
14	88,25	79,16	85,47	90,43

Nota: Todos los datos registrados están en porcentajes (%)

Anexo D. Datos Crecimiento Vegetal

Trébol Trifolium.

Tabla D.1 Mediciones Crecimiento Trébol (Fuente: Elaboración Propia)

Semana	TALUD 1 (Fertilizante)	TALUD 2 (Lodos 500 gr)	TALUD 3 (Lodos 1kg)	TALUD 4 (Lodos 1.5 kg)
2	2,5	2,5	3	3
3	3,5	4,5	4,5	4,5
4	5,5	4,5	4,5	4,5
5	6,5	5	5	5
6	7	5	5	5,5
7	7,5	5,5	5,5	6
14	8	6	6	7,5

Nota: Todos los datos registrados están en centímetros (cm)

Festuca Arundinacea.

Tabla D.2 Mediciones Crecimiento XXXX (Fuente: Elaboración Propia)

Semana	TALUD 1 (Fertilizante)	TALUD 2 (Lodos 500 gr)	TALUD 3 (Lodos 1kg)	TALUD 4 (Lodos 1.5 kg)
2	4	5	6	6
3	5	6	7	7
4	10,5	6	7	7,5
5	16	7	7,5	8
6	17,5	7	7,5	8,5
7	20	7,5	8	10
14	24	8	9,5	13

Nota: Todos los datos registrados están en centímetros (cm)

Anexo E. Datos Medición Material Erodado

A continuación, se exponen los datos registrados en la etapa experimental en cuanto a la cantidad de material erodado por los taludes, durante las 7+1 semanas de la experiencia.

Nomenclatura:

Talud 1: Talud con hidrosiembra tradicional.

Talud 2: Talud con hidrosiembra + concentración de lodos 500gr.

Talud 3: Talud con hidrosiembra + concentración de lodos 1000gr.

Talud 4: Talud con hidrosiembra + concentración de lodos 1500gr.

Semana 1. 30 de junio del 2017.

Tabla E.1 Material erodado semana 1.

(Fuente: elaboración propia)

Talud	Peso capsula (gr)	Peso antes de secar + cap (gr)	Peso seco + cap (gr)	Peso seco total (gr)
1	24,57	58,38	40,89	16,32
2	24,32	41,1	30,17	5,85
3	25,7	35,35	30,31	4,61
4	27,59	39,3	33,02	5,43

Semana 2. 07 de julio del 2017.

Tabla E.2 Material erodado semana 2.

(Fuente: elaboración propia)

Talud	Peso capsula (gr)	Peso antes de secar + cap (gr)	Peso seco + cap (gr)	Peso seco total (gr)
1	24,57	40,2	40	15,43
2	24,32	38,3	38	13,68
3	25,7	34,6	34,4	8,7
4	27,59	34,8	34,6	7,01

Semana 3. 14 de julio del 2017.

Tabla E.3 Material erodado semana 3.

(Fuente: elaboración propia)

Talud	Peso capsula (gr)	Peso antes de secar + cap (gr)	Peso seco + cap (gr)	Peso seco total (gr)
1	24,32	163,7	154,62	130,3
2	24,57	113,1	105	80,43
3	25,7	105,7	97,89	72,19
4	27,59	67	60,55	32,96

Semana 4. 21 de julio del 2017.

Tabla E.4 Material erodado semana 4.

(Fuente: elaboración propia)

Talud	Peso capsula (gr)	Peso antes de secar + cap (gr)	Peso seco + cap (gr)	Peso seco total (gr)
1	24,57	52,72	49,18	24,61
2	24,32	52,41	52,14	27,82
3	25,7	36,5	35,61	9,91
4	27,59	36,49	35,6	8,01

Semana 5. 28 de julio del 2017.

Tabla E.5 Material erodado semana 5.

(Fuente: elaboración propia)

Talud	Peso capsula (gr)	Peso antes de secar + cap (gr)	Peso seco + cap (gr)	Peso seco total (gr)
1	24,57	25,66	25,58	1,01
2	24,32	27,07	25,08	0,76
3	25,7	26,36	26,34	0,64
4	27,59	29,51	28,58	0,99

Semana 6. 04 de agosto del 2017.

Tabla E.6 Material erodado semana 6.

(Fuente: elaboración propia)

Talud	Peso capsula (gr)	Peso antes de secar + cap (gr)	Peso seco + cap (gr)	Peso seco total (gr)
1	24,57	25,23	25,19	0,62
2	24,32	25,58	25,55	1,23
3	25,7	26,48	26,47	0,77
4	27,59	27,7	27,63	0,04

Semana 7. 11 de agosto del 2017.

Tabla E.7 Material erodado semana 7.

(Fuente: elaboración propia)

Talud	Peso capsula (gr)	Peso antes de secar + cap (gr)	Peso seco + cap (gr)	Peso seco total (gr)
1	24,57	175,41	130,54	105,97
2	24,32	310	236,41	212,09
3	25,7	177,59	138,43	112,73
4	27,59	110,52	88,25	60,66

Semana 14. 29 de septiembre del 2017.

Tabla E.8 Material erodado semana 14.

(Fuente: elaboración propia)

Talud	Peso capsula (gr)	Peso antes de secar + cap (gr)	Peso seco + cap (gr)	Peso seco total (gr)
1	24,57	106,6	106,16	81,59
2	24,32	286	213,51	189,19
3	25,7	133,1	132,18	106,48
4	27,59	87,7	87,53	59,94

Anexo F. Datos Densidad in situ lisímetros.

Parámetros del testigo

Diámetro interior: 2.2 (cm)
 Diámetro exterior: 2.5 (cm)
 Volumen: 9,503317777 (cm³)
 Radio Interior: 1.1 (cm)
 Profundidad: 2.5 (cm)

Tabla F.1 Densidad in-situ.

(Fuente: elaboración propia)

MOLDE	PESO MOLDE (gr)	PESO MOLDE + MAT NATURAL (gr)	PESO MOLDE + MAT SECO (gr)	PESO MAT SECO (gr)	PESO DEL AGUA (gr)	HUMEDAD (%)	D.H (gr/cm ³)	D.S (gr/cm ³)
A1	4,6	23,1	20	15,4	3,1	20,130	1,947	1,620
A2	4,3	21,2	18,6	14,3	2,6	18,182	1,778	1,505
A3	4,5	20,8	19	14,5	1,8	12,414	1,715	1,526
A4	2,9	18,8	17,5	14,6	1,3	8,904	1,673	1,536
A5	5,5	22	20,4	14,9	1,6	10,738	1,736	1,568
A6	4,4	22,3	19,8	15,4	2,5	16,234	1,884	1,620
A7	2,6	21,8	18,8	16,2	3	18,519	2,020	1,705
A8	4,2	22,6	19,7	15,5	2,9	18,710	1,936	1,631
A9	5,4	23,2	21,1	15,7	2,1	13,376	1,873	1,652
A10	5,5	26,2	22,3	16,8	3,9	23,214	2,178	1,768
A11	5,5	23,7	21	15,5	2,7	17,419	1,915	1,631
A12	5,6	25,4	22,4	16,8	3	17,857	2,083	1,768
							PROM	1,6275

Anexo G. Elección Semillas.

G.1 Festuca Arundinacea.

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

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

G.2 Trébol Trifolium.

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

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

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