

UNIVERSIDAD DEL BÍO BÍO

FACULTAD DE INGENIERÍA

DEPARTAMENTO INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL

Profesor Patrocinante: Ricardo Riveros Velásquez.



“PROPUESTA DE RECUBRIMIENTO DE TALUDES EN BASE A MANTO VIVO DE CÉSPED Y MALLA METÁLICA”

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

NICOLÁS CONTRERAS GONZÁLEZ

Concepción, Enero 2015

*A mis padres, hermana y sobrina,
Julio Contreras, Elsa González,
Charlotte Contreras y Violeta Navarrete
lo que soy se los debo a ustedes, mis logros son sus logros.*

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar agradecer a mi familia por su apoyo incondicional y especialmente a mis padres por todo el esfuerzo y sacrificio realizado, todos estos años, para darme la oportunidad de estudiar.

Una de las enseñanzas más importante que me ha entregado mi familia es el respeto hacia los trabajadores, que no olvide que la práctica y experiencia puede, a veces, pesar más que la teoría. Es debido a lo anterior que agradezco enormemente a “Don Darío”, jardinero de la Universidad del Bío-Bío, por su ayuda en la elaboración de los mantos, desde lo conceptual hasta lo práctico.

Agradecer a la empresa IGMA S.A por su aporte teórico y por los insumos entregados. A sus trabajadores “Don Eduardo”, “Don Carlitos” y “Cheito” por su preocupación y ayuda al momento de la instalación del recubrimiento.

Finalmente agradecer al personal docente y administrativo del departamento de Ingeniería Civil y Ambiental.

Contenido

Resumen.....	1
Abstract:.....	2
1. INTRODUCCIÓN.....	3
1.1. Justificación del Proyecto de Título.....	3
1.2. Objetivos	4
<i>a) Objetivo General</i>	<i>4</i>
<i>b) Objetivos Específicos</i>	<i>4</i>
2. REVISIÓN BILIOGRÁFICA	5
2.1. Erosión	5
2.2. Cobertura Vegetal.....	6
2.2.1. <i>Intercepción de gotas de lluvia</i>	<i>7</i>
2.2.2. <i>Retención del Agua.....</i>	<i>7</i>
2.2.3. <i>Evapotranspiración.....</i>	<i>7</i>
2.2.4. <i>Infiltración.....</i>	<i>8</i>
2.2.5. <i>Coefficiente de Manning</i>	<i>8</i>
2.3. Métodos de Vegetación	8
3. DESARROLLO DE PROPUESTA	10
3.1. Metodología	10
3.1.1. <i>Ubicación de la zona de experimentación</i>	<i>11</i>
3.1.2. <i>Recopilación de información.....</i>	<i>12</i>
3.2. Bases de diseño	13
3.2.1. <i>Dimensión de los Mantos</i>	<i>13</i>
3.2.2. <i>Peso de los Mantos.....</i>	<i>13</i>
3.2.3. <i>Trabajabilidad.....</i>	<i>13</i>
3.2.4. <i>Enraizado</i>	<i>14</i>
3.3. Diseño	14
3.3.1. <i>Dimensionamiento.....</i>	<i>14</i>
3.3.2. <i>Trabajabilidad.....</i>	<i>15</i>
3.3.3. <i>Cubierta Vegetal</i>	<i>15</i>
3.3.4. <i>Anclaje.....</i>	<i>15</i>
4. DESARROLLO EXPERIMENTAL	16

4.1. Elaboración de mantos	16
4.2. Periodo de germinación	17
4.2.1. <i>Cuarta semana, 12 de Junio</i>	17
4.2.2. <i>Sexta semana, 26 de Junio</i>	18
4.2.3. <i>Décima tercera semana, 14 de Agosto</i>	18
4.3. Extracción de mantos	18
4.4. Enrollado de los Mantos	19
4.5. Transporte e Instalación	19
4.6. Adaptación del Césped	21
5. ANÁLISIS DE RESULTADOS	22
5.1. Generación de Recubrimiento de Césped	22
5.2. Evaluación de enraizamiento	22
5.3. Extracción y Transporte	23
5.4. Instalación y Adaptación	24
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	26
BIBLIOGRAFÍA	28
ANEXOS	29
ANEXO A: REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	29
ANEXO B: ALGUNAS TÉCNICAS DE BIOINGENIERÍA E HIDROSIEMBRA.	35
ANEXO C: PROVEEDORES DE TEPES	39
ANEXO D: SEMILLAS UTILIZADAS EN ROLLOS DE CÉSPED.	40
ANEXO E: SEGUIMIENTO GERMINACIÓN DE MANTOS	42
ANEXO F: DENSIDAD DE MANTOS	45
ANEXO G: EJECUCIÓN DE LA PROPUESTA	47
ANEXO H: REDUCCIÓN TEÓRICA DE LA TENSIÓN DE ARRASTRE	54

“PROPUESTA DE RECUBRIMIENTO DE TALUDES EN BASE A MANTO VIVO DE CÉSPED Y MALLA METÁLICA”

NICOLÁS CONTRERAS GONZÁLEZ

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

RICARDO RIVEROS VELÁSQUEZ

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

Resumen

Existen distintos tipos de recubrimientos de taludes que buscan la protección contra la erosión. Una de estas técnicas es la instalación de tepes de césped, normalmente con superficie de 0,5 m². Posterior a la instalación de éstos, el talud logra protección de forma inmediata, contrario a lo sucedido con otras opciones de recubrimientos en las que se necesita de tiempo para el crecimiento y poblamiento de vegetación en la superficie afectada. No obstante, dadas las dimensiones con las que se encuentran los tepes, recubrir un talud en estado natural implica una cantidad de tiempo no menor. Se propone la creación de un manto de césped con una superficie de 1,5 m² el cual es reforzado con una malla metálica hexagonal en su interior. De igual forma se crea un manto sin reforzamiento metálico para su comparación.

Basados en los resultados obtenidos se afirma que la malla no interviene en el proceso de germinación del césped por lo que el enlazamiento de las raíces con malla se realiza exitosamente, generando una estructura monolítica que permite su adecuada manipulación (enrollado) e instalación. El enraizado del manto sin armar no es lo suficientemente fuerte para mantener la estructura de césped uniforme.

Dentro de los factores analizados se tiene que el peso excesivo es el mayor inconveniente si se piensa en la implementación de esta técnica en taludes de alta pendiente. Se estima conveniente reducir el espesor de los mantos para solucionar el inconveniente y/o la utilización de un suelo de menor densidad.

Palabras claves: recubrimiento, manto, césped.

7.516Palabras Texto + Figuras*250 + 0*Figuras*500 = 9.766 Palabras Totales

Abstract:

There are various types of slopes covering looking for protection against erosion. One of these techniques is based on the regular 0.5 m² surface installation of sod rolls. After this course, the slope gets immediately protected, quite the reverse event that has happened from other covering options where time for vegetation growing and settlement is needed. However, given any sod dimensions, a slope cover under natural state can imply a significant time amount. It is proposed to create a 1.5 m² sod mantle surface with a hexagonal metallic mesh inside. Likewise non-metallic reinforcement mantle is built to contrast.

According to the results, a mesh does not intervene on sod germination processes so root and mesh binding is successfully done generating a monolithic structure that allows its proper handling and installation rolling. The non-reinforced mantle rooted is not strong enough to maintain the sod structure uniformed.

Among analyzed factors, the exceeding weight is considered to be the main inconvenient if this method technique is thought to be used in high slopes. It is calculated to reduce mantles thickness in order to solve problems or lower density soil use.

Keywords: covering, mantles, sod.

1. INTRODUCCIÓN

La erosión comprende el desprendimiento, transporte y posterior depósito de materiales de suelo o roca por acción de la fuerza de un fluido en movimiento. La erosión puede ser generada tanto por el agua como por el viento (Suárez, 2001).

La bioingeniería hace referencia al conjunto de técnicas de tratamiento de taludes en las que se combinan materiales vegetales vivos con medidas de ingeniería convencional para lograr estabilización y control de la erosión. Además proporciona soluciones eficaces en términos de costos a muchas de las preocupaciones medioambientales referidas al desarrollo de infraestructura.

El último objetivo de la bioingeniería es el aumento de la complejidad. Es por esto que el desarrollo de estas técnicas tratan de escapar de rigurosas descripciones y fundamentaciones matemáticas y de diseño, sin perder por ello validez para la orientación de los procesos de intervención de áreas afectadas por procesos erosivos apartando obras de mayor calado, que si bien son imprescindible en ciertas circunstancias, resultan poco atractivas en término económico.

El siguiente proyecto de título utiliza una cobertura herbácea en conjunto con una malla metálica para el control de erosión. Se busca entregar flexibilidad y uniformidad al manto de césped para que de esta forma se logre generar un recubrimiento que sea capaz de adaptarse a cualquier superficie, de instalación simple y tiempos mínimos.

1.1. Justificación del Proyecto de Título

El control de erosión se ha hecho cada vez más relevante en la estabilidad superficial de taludes. Existen diversas técnicas de revegetación a través de semilla, planta viva o mantos orgánicos que buscan recubrir el talud y protegerlos de las precipitaciones y escorrentías superficiales. Si bien los mantos orgánicos entregan una cobertura inmediata, éstos no aseguran el repoblamiento vegetal en el tiempo. Por su parte, las técnicas de sembrado e incorporación de planta viva que procuran el recubrimiento permanente, presentan dificultad para su germinación e implantación.

Siendo así, en algunos casos, estas técnicas se usan en forma complementaria generando la duplicidad de procesos de instalación, mayores tiempos de ejecución y riesgo para el personal involucrado, sin necesariamente asegurar la germinación y desarrollo de la vegetación en todo el terreno, como por ejemplo la utilización de hidrosiembra recubierta con mantos orgánicos. En

este contexto este proyecto de título propone el recubrimiento en base a manto vivo con mantos de césped reforzado que permita el anclaje y con ello la sujeción de la cobertura en alta pendiente.

1.2. Objetivos

a) Objetivo General

- Desarrollar propuesta de recubrimiento en base a manto vivo de césped y malla metálica.

b) Objetivos Específicos

- Identificar parámetros relevantes para el desarrollo del rollo de césped con malla.
- Generar rollo de césped con malla para su instalación en taludes de alta pendiente.
- Realizar experiencia a escala real de la instalación del rollo de manto vivo en talud de alta pendiente.
- Evaluar cualitativamente en condiciones reales el comportamiento del sistema de recubrimiento.

2. REVISIÓN BILIOGRÁFICA

En este capítulo se abordan los distintos temas y definiciones que ayudan a comprender de mejor manera el objetivo del tema propuesto. Se presenta la erosión como agente de deterioro superficial, su control a través de la vegetación y cómo esta afecta las propiedades resistentes del suelo.

2.1. Erosión

La erosión es un proceso natural, por medio del cual, las partículas del suelo se desprenden debido a la lluvia y son arrastradas por el escurrimiento. Las variables principales que determinan este proceso son la intensidad, magnitud y duración de la lluvia, las características del escurrimiento, altura y velocidad, las características del terreno y las propiedades del suelo (MOP, 2012).

La erosión puede ser natural o acelerada. En el primer caso existe un equilibrio dinámico caracterizado por una tasa de formación del suelo por descomposición de rocas similar a la tasa de remoción, siendo este proceso relativamente lento. La erosión acelerada, en cambio, se caracteriza por un rompimiento de este equilibrio natural lo que se manifiesta a través de una pérdida creciente de suelo que no se ve compensada por la formación de nuevo suelo (MOP, 2012). Se acepta para este proyecto las descripciones de erosión mencionadas según se detalla en Anexo A.

Dado que esta investigación busca proponer una alternativa para los problemas de erosión en taludes con suelos desnudos, es que se enfocará en la erosión hídrica, es decir la erosión provocada por las precipitaciones.

La erosión hídrica es aquella producida por el agua lluvia a través del golpeteo de sus gotas sobre la superficie del terreno y cambios en regímenes de humedad, generando desprendimiento y arrastre de partículas y masas de suelo, se refiere básicamente a dos aspectos:

- a) Erosión por movimientos en masa: Suelos y rocas más o menos saturados de agua, hasta diversas profundidades y con velocidades variables.
- b) Erosión superficial del suelo: causada por el impacto de gotas de lluvia y por la corriente que se forma sobre la superficie, conocida como escorrentía. Esta última toma las formas de erosión laminar, en surco y/o en cárcavas. (Peláez, 2001).

Los datos e información que a continuación se presentan están concentrados en erosión superficial, dado el enfoque de la investigación.

El impacto de gotas produce que la energía de la lluvia se disipe sobre la superficie del suelo desprotegido produciendo la ruptura de los terrones y agregados, generando una salpicadura que desprende partículas (erosión por salpicadura), repartiéndolas en un área de aproximadamente un metro cuadrado. Parte de la lluvia se infiltra y parte fluye sobre la superficie (escorrentía). El impacto de la lluvia en el suelo está en función de la forma y tamaño de las gotas (erosividad) y de la resistencia del suelo al poder erosivo (erodabilidad).

La escorrentía produce el desprendimiento de suelo nuevo y el transporte del suelo removido, en una magnitud proporcional al caudal escurrido y a la velocidad que adquiere el flujo de agua sobre la superficie. Este agente produce los fenómenos erosivos más visibles y es el responsable del movimiento de las partículas de suelo removidas.

La cantidad y concentración de la escorrentía depende de varios factores, tales como: la intensidad de lluvia, pendiente y longitud de laderas y/o taludes, naturaleza y extensión de la cobertura vegetal, rugosidad de la superficie del terreno.

La cantidad de suelo desprendido por lluvia es directamente proporcional a la energía cinética y a la pendiente. Mientras tanto el desprendimiento por escorrentía comienza cuando las fuerzas de tracción del agua superan la resistencia al corte del suelo. La resistencia tractiva del agua depende de su velocidad y viscosidad (Cisneros et al., 2012).

Para que la erosión ocurra se requieren velocidades mayores que las que son necesarias para el transporte de los sedimentos. Las partículas son erosionadas cuando las fuerzas de tracción, levantamiento y abrasión exceden las fuerzas de gravedad, cohesión y fricción, que tratan de mantener las partículas en su sitio (Suárez, 2001).

2.2. Cobertura Vegetal

El método natural para combatir la erosión es el uso de cobertura vegetal, desde los arbustos a las hierbas. Un suelo desnudo está propenso, como se describió anteriormente, a la separación de sus partículas y al arrastre de éstas ladera abajo. En ese contexto la vegetación cumple un papel fundamental tanto en el control de la escorrentía superficial como en la disminución de la energía con que las gotas de lluvia llegan a la superficie del suelo.

La vegetación actúa como una capa protectora o amortiguadora entre la atmósfera y el suelo. Absorben parte de la energía de las gotas de lluvia con los componentes aéreos, es decir, hojas y tallos, evitando el contacto directo con el suelo. De igual forma ayudan a disipar la energía del agua en movimiento aportando mayor rugosidad reduciendo su velocidad y con esto la capacidad de arrastre del flujo superficial. A su vez sus componentes subterráneos, es decir, el sistema radicular contribuye en el aumento de la resistencia mecánica del suelo (López, 1999).

Por lo tanto, cuando se habla de vegetación no se habla solamente en términos paisajísticos, sino que la vegetación debe considerarse como un material de Ingeniería. A partir de las definiciones y descripciones del aporte de la vegetación que diferentes autores demuestran, se puede mencionar resumidamente que la vegetación interviene, en la ladera y/o talud, mecánicamente, e hidráulicamente (ver Anexo A).

El papel de la vegetación tiene que ver entre otros, con los siguientes aspectos hidráulicos:

2.2.1. Intercepción de gotas de lluvia

El follaje intercepta la lluvia impidiendo el impacto directo sobre el suelo y amortiguando la energía de las gotas. Parte de la lluvia interceptada es retenida y evaporada (Anexo A). Sin embargo, parte de ésta alcanza finalmente la tierra por goteo o por flujo sobre las hojas y troncos.

2.2.2. Retención del Agua

Sobre la superficie, la vegetación y residuos incrementan su aspereza, o dicho en otras palabras, aumentan el coeficiente de rugosidad del terreno, disminuyendo así la velocidad de escorrentía.

2.2.3. Evapotranspiración

La evapotranspiración incluye el efecto combinado de evaporación de la humedad de la corteza terrestre por extracción, a través de las raíces, y la transpiración por el follaje. Su efecto es una disminución de la humedad en el suelo.

La evapotranspiración profundiza los niveles de aguas freáticas y al mismo tiempo puede producir asentamientos de suelos arcillosos blandos y agrietamientos por desecación. El área de influencia depende de la extensión y profundidad del sistema radicular. Durante un día soleado un eucalipto puede extraer hasta 500 litros de agua y un pasto hasta un litro por metro cuadrado. (Suárez, 1998).

La evapotranspiración puede medirse utilizando la relación entre la evaporación de la superficie cubierta por plantas y la de un cuerpo de agua expuesto (E_t/E_0) (Anexo A).

2.2.4. *Infiltración*

Al disminuirse la velocidad del agua por acción de la vegetación se aumenta la retención del flujo y por ende la infiltración. Cuando el agua de la lluvia alcanza el suelo vegetado se infiltra debido a la materia orgánica, raíces y el alto nivel de actividad biológica que forman un sistema continuo de poros y, por lo tanto, una mayor conductividad. Es ésta tal vez la principal forma de disminución de la escorrentía durante una lluvia por acción de la vegetación.

2.2.5. *Coefficiente de Manning*

La velocidad de la escorrentía depende en gran parte de la de rugosidad del terreno y la vegetación aumenta ésta considerablemente. El coeficiente de Manning de 0,05 para vegetación baja hasta 0.2 para vegetación alta. Al aumentar la rugosidad disminuyen las velocidades y en esa forma disminuye la erosión. En anexo A se puede observar los distintos valores del coeficiente de Manning dependiendo el tipo de vegetación.

2.3. Métodos de Vegetación

La materia prima de este método son las semillas, las que de acuerdo al proyecto, diseño y problemática van variando, desde el sembrado de césped hasta el sembrado de especies arbóreas.

Las semillas se pueden colocar por extendido directo, es decir, utilizando métodos manuales o mecánicos, dependiendo de la topografía, para extender las semillas sobre el suelo. Otra forma es sembrar individualmente las semillas en sectores localizados, excavando un orificio en el suelo y depositando la o las semillas. Esta técnica es mayormente utilizada para la plantación de especies de árboles y arbustos.

La hidrosiembra es una técnica eficaz para la revegetación de superficies desnudas, y con muy buenos resultados. Pese a eso, como toda técnica, tiene algunas desventajas, como frente a grandes intensidades de lluvia debido a que se genera un lavado de la solución, produciendo que la semilla no se adhiera al talud generando la no germinación y por ende el no poblamiento vegetal de la zona afectada (Anexo B).

Para contrarrestar y proteger el hidrosembado de las precipitaciones se instalan, sobre éste, mantos orgánicos en toda la superficie, consiguiendo proteger la solución y aportar con material orgánico, nutrientes, durante el periodo de germinación.

Los mantos orgánicos poseen una duración limitada antes de comenzar a degradarse. Si esta degradación se genera antes de la germinación la protección no cumple su objetivo debido que las semillas quedan expuestas directamente a los rayos del sol, a las heladas, a lluvias, escorrentía o la acción de mamíferos, lo que conlleva al no recubrimiento de la superficie afectada.

Otro escenario a analizar es que la germinación de las semillas depende en gran medida de las características del suelo y del cuidado que se tengan durante este periodo, ya que para conseguir un hidrosembado exitoso es necesario destinar recursos para un riego continuo, lo que no siempre es posible llevar a cabo, trayendo consigo nefastos resultados al pasar las semanas.

Se debe tener en consideración que la adaptación, germinación de la semilla y fortalecimiento de la vegetación no es de un día para otro y necesita de un periodo de tiempo no menor para poder observar resultados satisfactorios de la hidrosiembra y que esta cumpla con su objetivo.

Si se orienta el trabajo a taludes de alta pendiente las dificultades para trabajar y el riesgo que eso conlleva aumenta, al igual que la dificultad para la estabilización y germinación de las semillas. Además frente a mayores pendientes la erosión se agrava debido al aumento de la velocidad del escurrimiento de las aguas lluvias.

Cuando los tiempos son limitados y se debe asegurar el recubrimiento y estabilización inmediata de la superficie tratada es posible utilizar otra técnica que consiste en la plantación de tepes o alfombras de césped.

Los tepes son porciones de tierra cubierta de césped, muy trabada por las raíces, que se cortan para la instalación en otros sitios. Su utilización es recomendada en zonas sometidas a procesos de erosión muy activos, donde es imprescindible lograr un recubrimiento instantáneo del talud, de igual forma cumple apropiadamente la retención de partículas arrastradas por escorrentía.

Una crítica a esta técnica es producto de los efectos ambientales que puede tener sobre las áreas naturales de donde se cortan los cespedones. Además el costo para la ejecución de esta técnica es mayor en comparación a la hidrosiembra, considerando esta como la más cercana en cuanto a características finales.

La utilización de tepes entrega una solución inmediata al problema de erosión, por lo cual cumple con su objetivo. Desde su aplicación la densidad superficial (hojas y tallos) interceptan las gotas de lluvia eliminando de lleno la erosión por salpicadura, provocada por la lluvia, y disminuye la fuerza de arrastre de la escorrentía, ya demostrado anteriormente. Lo anterior descrito refleja el funcionamiento de los tepes de césped como recubrimiento de taludes frente a la acción directa del agua superficial en forma de lluvia y en escorrentía.

3. DESARROLLO DE PROPUESTA

Se propone desarrollar un manto vivo de césped con el fin de permitir el recubrimiento inmediato de taludes de alta pendiente para evitar de esta forma el proceso erosivo en la superficie de éstos.

Para esta investigación es necesaria la implementación de dos tipos de mantos. El primero corresponde a un manto tradicional, es decir suelo-césped, mientras que el segundo manto incorpora una malla hexagonal metálica enlazada a nivel de las raíces, generando una interacción suelo-malla-césped.

Se busca analizar que la inclusión de la malla permite generar un rollo de césped de mayor dimensión que los ofrecidos en el comercio actualmente, buscando con esto disminuir tiempos de instalación al ser anclado en el coronamiento del talud y desenrollado. Así se propone desarrollar y analizar si la armadura añadida a los mantos entrega las condiciones necesarias para cumplir con el objetivo planteado.

3.1. Metodología

Para llevar a cabo la propuesta es necesaria la recopilación de información con el fin de comprender la composición y funcionalidad de la cobertura vegetal sobre la superficie afectada, centrándose en la técnica de recubrimiento de taludes con tepes de césped debido a su similitud con el objetivo de la investigación. A partir de lo anterior se logra determinar los parámetros relevantes generando de tal forma las bases para el diseño de la propuesta.

Realizado el diseño, en base a los parámetros relevantes, se lleva a cabo el sembrado de tres mantos de césped, dos de éstos con inclusión de malla metálica y uno sin la incorporación de malla metálica.

Posterior al sembrado y durante las tres o cuatro semanas siguientes, se debe procurar ciertos cuidados para evitar intervenciones imprevistas que afecten el natural desarrollo del césped como

es la intervención de animales. Otro factor a tener en consideración es la humedad necesaria para el normal proceso de germinación, la cual depende del regado y/o del tiempo atmosférico, debido que las constantes precipitaciones en la zona pudieran producir el lavado del suelo y, por ende, la interrupción del crecimiento de los mantos. Producto de lo anterior es que para la realización de las muestras se instala un cerco perimetral y considerando que el sembrado se ejecuta entre las estaciones otoño – invierno es que se dispone de un techo provisorio para enfrentar las lluvias acontecidas durante el tiempo de germinación. Además durante esta etapa se debe identificar si la inclusión de la malla metálica interviene en el proceso de crecimiento del césped.

Se realizan dos cortes de césped previo a la extracción de las coberturas vegetal, con el fin de prolongar el tiempo buscando de esta forma un enraizado más denso. Realizada la segunda poda comienza la etapa de extracción de los mantos en la que son enrollados, cargados y transportados para finalmente ser instalados en el talud de prueba, de la Universidad del Bío Bio, anclando éstos en la cabecera y desenrollándolos hacia el pie de talud, cubriendo la superficie expuesta. Pasado un periodo de tiempo se evalúa la adaptación y funcionamiento de ambos tipos de mantos.

A continuación se expone la metodología utilizada en el diseño, generación e implementación de la propuesta realizada verificando el cumplimiento del objetivo planteado.

3.1.1. Ubicación de la zona de experimentación

Se utilizan dos sectores de la Universidad del Bío-Bío para llevar a cabo la investigación. En primer lugar se utiliza radier ubicado en la zona posterior de la Universidad, a un costado del Laboratorio de Ciencias de la Construcción, en el cual se realiza el sembrado de los mantos. El lugar destinado para la aplicación de esta técnica de control de erosión corresponde a un talud con exposición Noroeste, ubicada en terrenos del Laboratorio de Geotecnia de la Escuela de Ingeniería Civil y Ambiental (LAGEMA), en el sector Sureste de la Universidad del Bío-Bío (figura 1).

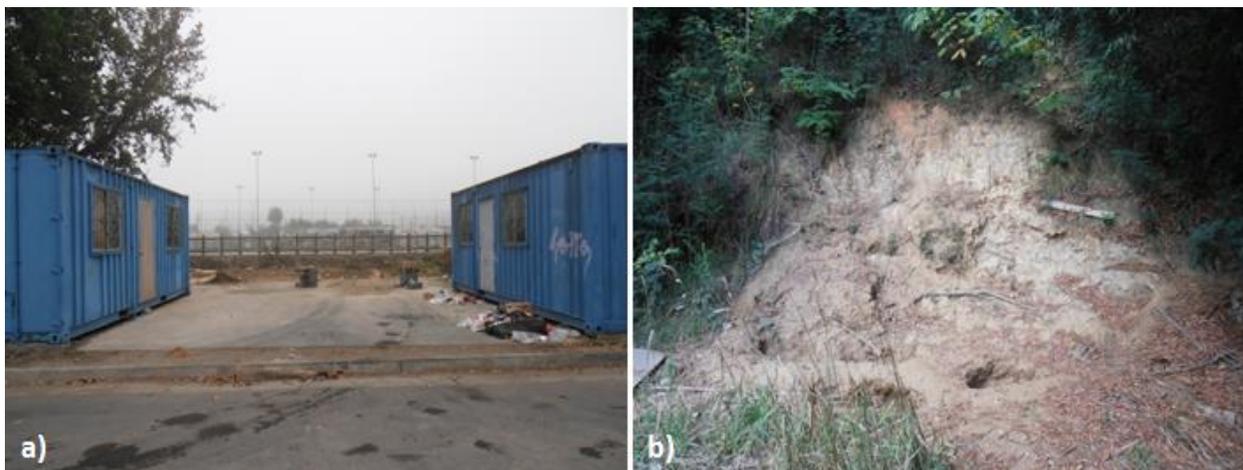


Figura 1: a) Sector utilizado para la elaboración de los mantos de césped, b) Sector utilizado para la instalación de los mantos de césped. (Fuente: Elaboración propia).

3.1.2. Recopilación de información

De la revisión bibliográfica se determina que la instalación de tepes es la técnica más próxima a los mantos que se propone implementar, por lo que lo primero a realizar es determinar las características que éstos poseen.

Se realizaron consultas y cotizaciones de tepes de césped a proveedores de la Región del Bío-Bío y Metropolitana mediante llamados telefónicos y correo electrónico, información que se entrega en el Anexo C.

Green Chile de la Región Metropolitana, utiliza algún tipo de malla. Se le pregunta al proveedor acerca de la malla, el cual responde que el tejido cumple una función de esqueleto en el tepe y posee la característica de ser biodegradable.

La utilización de tepes para el recubrimiento de taludes, implica mayor tiempo de trabajo en comparación a la utilización de hidrosiembra, debido al tamaño y su peso. Sus dimensiones más comunes son de 1 metro de largo por 0,5 metros de ancho y su peso bordea los 20 Kg. Para su instalación es necesario colocar el tepe en la superficie y asegurar a ésta con algún tipo de anclaje superficial, para así conseguir el enraizamiento y por ende buen funcionamiento de esta técnica. Suponiendo un talud cualquiera, independiente a su pendiente, levantar 20 kg, sujetar el tepe en la superficie esperando la fijación y continuar con dicha labor por unos cuantos metros lineales ocupa un tiempo considerable, si se repite la misma rutina pero ahora en elevación se tiene un trabajo lento y con un elevado grado de riesgo para los trabajadores.

La información expuesta entrega de alguna forma la tendencia de las características de los tepes actuales en el mercado, tanto en su composición, dimensionamiento y trabajabilidad. A partir de lo anterior se puede determinar ciertos parámetros a considerar al momento de diseñar el manto de césped propuesto.

3.2. Bases de diseño

Las bases de diseño corresponden a las características determinadas a partir de la recopilación de información y las que se buscan según los objetivos de la propuesta. De lo anterior se definen los siguientes parámetros relevantes.

3.2.1. Dimensión de los Mantos

Una diferencia entre los tepes tradicionales y los mantos de césped propuestos es la superficie que abarca el recubrimiento. Por ende el largo y ancho son términos a considerar en el diseño. Por su parte, el espesor de los mantos armados metálicamente depende de la profundidad a la que se incorpora la malla metálica por lo que se prevé mayor que el espesor de los mantos sin armar.

3.2.2. Peso de los Mantos

Ley N°20001 regula el peso máximo a carga humana.. Los trabajadores no deberán operar cargas superiores a 50 Kg.

Los mantos propuestos son de mayores dimensiones que los tradicionales por lo que se debe tener en consideración no sobrepasar la carga máxima ya que es primordial velar por la seguridad e integridad física de los trabajadores.

3.2.3. Trabajabilidad

Éste parámetro hace referencia específicamente a la flexibilidad que debe poseer el manto propuesto, debido que su finalidad es su implementación en obras en las que normalmente presentan condiciones adversas para su transporte e instalación produciendo una forzada manipulación.

Se busca que la incorporación de la malla hexagonal metálica entregue esta cualidad a los mantos armados, considerando que éstos deben ser enrollados, transportados y desenrollados sobre un talud, para así cumplir con los objetivos del proyecto.

3.2.4. *Enraizado*

Este parámetro es uno de los más relevantes al momento de proponer y generar este tipo de recubrimiento, debido que, para lograr una estructura uniforme son las raíces las encargadas de generar la unión de la superficie de los mantos. Se debe verificar, cualitativamente, el buen enlazamiento entre la malla y el suelo una vez germinados los mantos, la medición consta en observar que el largo de las raíces sobrepasan el nivel de la malla.

El enraizamiento junto con los anclajes son los encargados de fijar los mantos en el talud. Sin embargo si las raíces no son capaces de penetrar la superficie recubierta la cobertura vegetal desaparecerá a corto plazo sin asegurar el control de erosión, por lo que este parámetro será medido en terreno. Según la experiencia y proveedores el método para determinar si las raíces han logrado sujetarse al suelo consiste en acercarse a un extremo del recubrimiento y levantarlo; Si al efectuar esta acción el césped no se desgarró, su adaptación y enraización se ha logrado exitosamente. Si ocurre lo contrario quiere decir que las raíces no han sido capaces de interactuar de buena manera con la superficie. Hay otro parámetro relevante para la verificación de la adaptación de la estructura vegetal, se debe observar la verticalidad de tallos y hojas del césped, lo que indica que la cubierta herbácea se mantiene con vida.

3.3. **Diseño**

El objetivo es diseñar un recubrimiento natural de mayores dimensiones que las ofrecidas en el mercado, que estén pensados para dar solución al problema de erosión en obras de ingeniería, es decir, deben ser capaces de adaptarse a las condiciones adversas de trabajo que normalmente se presentan en este tipo de actividad. Debido a esto es imprescindible que su estructura sea firme, uniforme y que presente flexibilidad para facilitar su manipulación e instalación.

A partir de la información recopilada y basados principalmente en los parámetros relevantes se lleva a cabo el diseño de los mantos de césped armados con malla hexagonal metálica.

3.3.1. *Dimensionamiento*

Para generar una comparación y observar diferencias es que los mantos se diseñan con la misma longitud y el mismo ancho. Sin embargo, debido a la incorporación de la malla existe diferencia de espesores entre éstos, como se ve en la Tabla 1.

Mantos	Cantidad	Longitud (m)	Ancho (m)	Espesor (m)
Con Malla	4	3.2	0.5	0.045
Sin Malla	2	3.2	0.5	0.035

Tabla 1: Dimensionamiento de mantos a elaborar.

3.3.2. Trabajabilidad

La flexibilidad es una propiedad que debe ser entregada a los dos mantos a través de la malla hexagonal metálica. La armadura debe tener las mismas dimensiones que los mantos (Tabla 1). Respecto a su posición en el manto ésta debe ser situada sobre una capa de tierra de 0,025 m de espesor y luego ser cubierta por otros 0,02 m del mismo suelo utilizado de base.

3.3.3. Cubierta Vegetal

Para la elección de semilla a emplear en los mantos, se ha tomado como referencia las utilizadas por una empresa especialista en la aplicación de Hidrosiembra en taludes de la zona. Por lo tanto el tipo de césped a proyectar corresponde a una combinación en distintas proporciones de tres tipos, Festuca, Ballica y Trébol, las que se describen en el Anexo D.

La combinación de semillas es para obtener una homogenización de las distintas especies en las dosificaciones. La cantidad a utilizar en los tres mantos es de $40 \text{ g}/\text{m}^2$ de semilla, mientras que la cantidad de fertilizante a utilizar es de $30 \text{ g}/\text{m}^2$.

3.3.4. Anclaje

Los anclajes, en forma de U, están elaborados a partir de una barra de acero de 6 mm de diámetro y longitud total 30 cm (15 cm cada extremo).

4. DESARROLLO EXPERIMENTAL

Expuestos los parámetros relevantes y realizado el diseño se procede a la generación de los dos mantos de césped con malla metálica y al manto de césped sin la inclusión de armadura.

Durante esta etapa se debe llevar a cabo un seguimiento de la propuesta, observando el tiempo de germinación del sembrado y la densidad del poblamiento vegetal en la superficie del manto, además de verificar, previo a la extracción, si el enraizado cumple con lo requerido según el diseño.

4.1. Elaboración de mantos

Se utilizan tres moldes rectangulares de madera con dimensiones de 1 m x 3,2 m y un espesor de 2", aproximadamente 0,05 m (figura 2). Los moldes se sitúan en plano sobre losa de hormigón. Para llenar los moldes se utiliza suelo apto para la plantación, experiencia y criterio de la persona encargada de la germinación de los mantos.

Dos de los tres mantos fueron armados con una malla hexagonal, por lo que para éstos se debe efectuar el llenado en dos pasos: primero rellenar hasta una altura de 2,5 cm, extender la malla y cubrir con 2 cm de suelo para asegurar que toda la superficie de la armadura quede fija en la primera capa. Para el manto sin armadura se debe llenar el molde directamente con 3,5 cm de suelo.



Figura 2. Construcción de mantos. a) Manto de césped natural, b) Manto de césped con incorporación de malla metálica hexagonal, c) Detalle de recubrimiento de malla hexagonal previo al sembrado. (Fuente: elaboración propia).

Con las capas de suelo ya instaladas se debe realizar el sembrado en toda la superficie, según cantidades ya especificadas. Luego de lanzadas las semillas se cubren éstas con una delgada capa de suelo, aumentando de esta forma el espesor final del manto (figura 3).

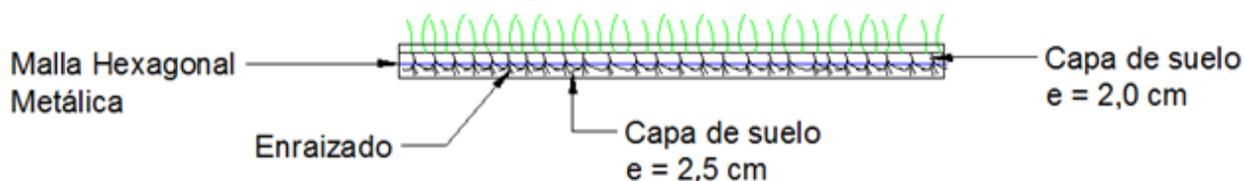


Figura 3: Esquema manto con armadura metálica.

(Fuente: Elaboración propia).

Debido a la época en que se han generado los mantos, el riego no ha sido necesario. Las condiciones atmosféricas presentes durante el periodo de germinación, abundantes precipitaciones, han entregado la humedad necesaria al sembrado e incluso provoca la saturación de un manto generando el lavado de semillas en una zona de la superficie.

Cada manto de césped es dividido en dos, consiguiendo en total seis muestras, cuatro con malla y dos sin malla. Las dimensiones de muestras corresponden a 3,2 m de largo y 0.5 m de ancho.

4.2. Periodo de germinación

Una vez ya crecido el césped se procede a cortarlo por primera vez al día 45 con el fin de que vuelva a crecer con mayor fuerza y se vuelve a cortar una segunda vez a la espera que su estructura sea firme al igual que su enraizado con el suelo.

Se realiza un seguimiento a la germinación de las semillas, como se expone en el Anexo E.

4.2.1. Cuarta semana, 12 de Junio

Se cumple un mes desde la siembra de los mantos. Debido a las fuertes precipitaciones los mantos extremos han sufrido la saturación del suelo durante las primeras dos semanas de germinación, lo que produjo un retardo en el crecimiento de ambos mantos. Pese a lo anterior y como se aprecia en la figura 5, la cobertura es abundante en los mantos b) y c) no siendo inconveniente para la germinación la inclusión de la malla hexagonal. No obstante el exceso de agua existente en el manto a) ha generado un notorio retraso en la germinación (ver figura 4).



Figura 4. 31 días desde el sembrado de los mantos. (Fuente: Elaboración propia).

4.2.2. Sexta semana, 26 de Junio

Se realiza el primer corte. Se puede apreciar que la germinación de las semillas se ha realizado normalmente. Tras una comparación entre los mantos con y sin armadura se observa que la incorporación de la malla hexagonal no afecta el crecimiento de los elementos del césped ni tampoco su densidad.

4.2.3. Décima tercera semana, 14 de Agosto

Luego de cumplir 49 días desde el primer corte realizado. Los mantos se encuentran en condiciones para efectuarles el segundo corte, dada su cobertura y humedad.

4.3. Extracción de mantos

Ya efectuado el segundo corte y con una semana de posterior crecimiento, el manto de césped se encuentra en condiciones para desarrollarse en el talud en cuestión.

Se pueden apreciar diferentes factores que intervienen en la trabajabilidad de esta propuesta, como lo son el peso de los mantos, dimensiones y forma de transportarlos. Lo anterior corresponde a características relevantes al momento de evaluar la propuesta y generar una comparación respecto a sus símiles.

Respecto al peso de los mantos (detalles en Anexo F), se tiene que:

- Mantos de césped con malla hexagonal metálica poseen una densidad de $1609,33 \frac{Kg}{m^3}$

- Manto de césped sin malla hexagonal metálica posee una densidad de $1155,56 \frac{Kg}{m^3}$

4.4. Enrollado de los Mantos

Posterior a la separación de las muestras se da comienzo a la etapa enrollado para su transporte e instalación. En esta etapa se vislumbra el primer resultado respecto al parámetro trabajabilidad. El manto con armadura metálica no presenta problemas al momento de ser enrollado mientras tanto el manto sin malla carece de uniformidad, lo que genera la rotura de la cobertura desde el inicio del enrollado (ver figura 5).



Figura 5: a) Manto enrollado con armadura; b) Manto enrollado sin armadura.

(Fuente: Elaboración propia).

Dada la experiencia de los proveedores en mantos sin armadura, se opta por generar tepes, mantos de dimensiones menores. Por lo tanto se divide cada uno de los dos mantos en tres tepes de $0,5 \text{ m}^2$, ($0,5 \text{ m} \times 1 \text{ m}$), para facilitar su traslado y futura instalación. La alfombra de pasto está conformada únicamente por el entrelazamiento de sus raíces. Si bien se obtiene una cobertura uniforme, ésta no trabaja monolíticamente al momento de ser enrollada. A su vez los mantos con malla sí logran generar un sistema flexible, gracias a la unión entre las raíces y la armadura incorporada. Producto de la transformación de manto a tepes de la cobertura sin armar es que una muestra con malla también fue dividida en 3 tepes de $0,5 \text{ m}^2$ con el fin de comparar si existen diferencias entre ambos sistemas.

4.5. Transporte e Instalación

El transporte de los mantos es realizado en forma de rollos, mientras que los tepes son transportados sin la necesidad de enrollarlos, tal como se aprecia en la figura 6.

En el intento de transportar los tepes sin armar se aprecia que, pese a disminuir sus dimensiones, el enraizamiento no es capaz de mantener la estructura de éstos. De igual forma son levantados y transportados en secciones más pequeñas.



Figura 6: a) Traslado de tepe de césped armado con malla hexagonal; b) Enrollamiento de manto de césped armado con malla hexagonal. (Fuente: Elaboración propia).

Previo a la instalación se lleva a cabo la limpieza y el perfilado de la superficie del talud, tal como se ejecuta en las obras de recubrimiento.

La propuesta de instalación no se pudo llevar a cabo debido al peso de cada manto de césped. La instalación real fue desarrollada con inconvenientes debido al peso de la cubierta y a la pendiente del talud. Los rollos fueron dejado en el pie del talud y de esta posición son desenrollados hacia arriba (ver Anexo G). Producto del peso y la pendiente, el manto a medida que es desenrollado se va deslizando hacia abajo, por lo que se debe anclar dispersamente para facilitar la sujeción del recubrimiento.

La instalación del primer manto armado es realizado con cuatro personas mientras tanto los otros dos se trabaja con tres personas.

La instalación de los tepes con malla es realizada desde la zona inferior del talud agregando los siguientes hacia arriba. La colocación se realiza extendiendo los tepes completos sobre la superficie, dado su peso y la flexibilidad que éste permite. Se debe tener en consideración que entre tepes no debe quedar espacio; la unión debe realizarse juntando los extremos de ambos y

anclarlos (ver Anexo G). En la figura 7 se aprecia el recubrimiento instalado en el talud, tres mantos con inclusión de malla metálica y tres tepes armados metálicamente.

Las estructuras de césped sin armadura se rompen con facilidad no cumpliendo con el objetivo de instalación.



Figura 7: Mantos y tepes armados instalados. (Fuente: Elaboración propia).

4.6. Adaptación del Césped

El césped por naturaleza se posiciona en dirección al sol, sea cual sea el ángulo de la superficie en que éste se encuentre sembrado. La verticalidad del pasto es una muestra de que el recubrimiento al extraerse e instalarse en otro sector no ha perdido vida. Se aprecia como al paso de aproximadamente 10 días todo el recubrimiento se posiciona hacia el sol y no mantiene la perpendicularidad respecto de la superficie del talud (observar imagen en Anexo G).

5. ANÁLISIS DE RESULTADOS

El comportamiento de los mantos de césped durante el proceso de germinación, extracción e instalación entrega resultados enfocados en los parámetros relevantes. De esta forma son evaluados y analizados con el fin de determinar si el recubrimiento propuesto presenta las condiciones para ser una alternativa de solución para superficies afectadas por erosión.

5.1. Generación de Recubrimiento de Césped

Generar el recubrimiento sobre radier, en época de abundante lluvia, trajo consigo la acumulación excesiva de agua entre las partículas del suelo utilizado para el sembrado, debido impermeabilidad de la base y a la nula pendiente para la evacuación del fluido.

Los tres mantos orgánicos son sembrados con la misma cantidad de semilla y de abono, con el mismo espesor de suelo. La malla hexagonal metálica es incorporada en los dos mantos externos mientras que el central no lleva armadura. Se observa que el tiempo de germinación de la semilla es el mismo para las tres muestras al igual que el crecimiento posterior a los dos cortes realizados. Se observa una única diferencia que es el porcentaje de cobertura vegetal. Las zonas extremas de los mantos externos poseen una menor densidad de pasto en comparación con la zona media de dichos mantos. A su vez el manto central posee una alta densidad de pasto en la totalidad de su superficie (ver Anexo E).

5.2. Evaluación de enraizamiento

El enraizado es otro de los parámetros relevantes para evaluar el resultado de la propuesta. El primer enraizado evaluado es el generado posterior a la germinación. El resultado observado es positivo ya que la raíz sobrepasa el nivel de la malla generando la unión suelo-malla esperada (ver Figura 8).



Figura 8: Perfil manto con malla hexagonal
(Fuente: Elaboración propia).

5.3. Extracción y Transporte

Durante el enrollado se observa que el enraizamiento, factor clave, se ha profundizado más allá de la malla intermedia. Además el enraizamiento al ser lo suficientemente profundo genera la envoltura total del suelo utilizado como base del manto, produciendo que el espesor de los rollos sea de aproximadamente 6 cm. Los mantos con malla al ser sometidos al enrollamiento muestran una adaptación a esta nueva forma, manteniendo la estructura del suelo. Se observan las mismas características, recién descritas, para los tres tepes con mallas desarrollados.

El manto de césped central, aquel sin inclusión de malla, al igual que los mantos extremos posee un sistema radicular desarrollado el cual cubre toda la capa de suelo. Pese a esto el enrollado no se puede llevar a cabo debido al rompimiento de la estructura de suelo.

Referente al peso, los mantos y tepes armados son aproximadamente 30% más pesados que los mantos y tepes sin malla. Esta variación no es del todo debido a la inclusión de la malla sino más bien corresponde a la capa de suelo utilizada; la malla queda dentro de dos capas de suelo aparte de la capa protectora de las semillas.

Al cargar los mantos para su traslado se observa que su manipulación, tras el enrollamiento, es limitada debido al peso. La malla ocupa el papel de esqueleto en la estructura de césped, por lo que el disminuir el espesor del suelo no modifica la propiedad monolítica del recubrimiento.

Los tepes pesan un tercio de lo que pesan los mantos. Si bien su manipulación se simplifica, el peso sigue siendo un factor relevante. Los tepes con malla son fácilmente transportados y se pueden maniobrar sin dañar la muestra sujetando la estructura desde los extremos de la malla. En cambio los tepes sin armadura se parten al querer enrollarlos. Así mismo al ser levantados completamente el enraizado no es capaz de mantener unido el tepe desarmando la estructura.

5.4. Instalación y Adaptación

El objetivo de crear los mantos de césped es facilitar su instalación, comenzar desde la corona y finalizar en el pie del talud, disminuyendo tiempo de trabajo y simplificando la labor a los trabajadores.

Durante el traslado y hasta situar los mantos en el pie del talud, éstos se mantienen con la estructura uniforme. El procedimiento llevado a cabo para la instalación de los tres mantos es el mismo. La única variable distinta es la cantidad de personas utilizadas, para la instalación del primer manto y con cuatro personas se logra situar el recubrimiento en su totalidad con cierta complejidad debido al peso pero no se genera daño en la estructura. Los dos mantos restantes sufren daños debido que la fuerza deslizante generada por la masa del recubrimiento, incrementada por la alta pendiente del talud, supera la fuerza ejercida por los trabajadores generando una forzada manipulación para el desenrollado del manto. Bajo este punto de vista el espesor existente de la capa de suelo no significa mayor estabilidad de éste y sí se verifica que la malla toma las tensiones sobre el manto. Los desprendimientos se generan mayoritariamente en los bordes, debido que en aquellas zonas se toman los mantos para su instalación.

Los tepes con mallas son instalados con dos personas. El tiempo requerido para recubrir la misma superficie que un manto es 40% menor. La trabajabilidad que le otorga la malla a los tepes simplifica su instalación y no existen desprendimientos en la estructura del recubrimiento. El peso del tepe de igual forma genera dificultad en su instalación.

Los tepes sin malla se desgarran durante la etapa de extracción, por lo que la instalación de bloques de tepes sin malla genera la disgregación general de la estructura al momento de levantarlos. El enraizado observado es abundante pero no lo suficientemente fuerte para mantener la estructura uniforme.

Durante la instalación de los mantos y tepes armados existe el desprendimiento de suelo bajo la malla. Se observa que la falta de suelo en aquellos sectores no debilita la uniformidad de la

muestra, debido que las raíces entorno a la malla se encargan de mantener la unión de la estructura.

El talud recubierto expuesto a precipitaciones, como ya está comprobado, controla la erosión. Se observa que ambos tipos de recubrimiento no sufren deslizamientos, manteniéndose en la posición instalada; los anclajes cumplen su función. La superficie de los mantos y tepes mantienen la cobertura vegetal implicando el buen funcionamiento suelo-malla y una buena interacción raíz-malla. Al pie del talud se observa suelo proveniente de los mantos, dado que el recubrimiento mantiene su estructura, los restos son partículas sueltas de suelo de los mismos mantos, que quedaron del enrollado y no corresponden a erosión del recubrimiento.

El talud está recubierto en un 100% por el manto, suelo y vegetación, por lo que, el flujo superficial no genera erosión en su superficie. Sin embargo el suelo de la cobertura sí queda expuesto a las precipitaciones y escorrentía. Teóricamente el flujo genera una tensión de arrastre la cual, según la Ecuación A.1, Anexo A, debiera ser disminuida producto de la vegetación. La verificación, teórica, de lo anterior, precisamente entrega que la tensión de arrastre es aproximadamente 32 veces menor que la que tensión de arrastre generada sobre la superficie sin vegetación (Anexo H).

El césped en estado natural presenta una orientación vertical, perpendicular a la base en el plano. En la instalación el pasto continúa su perpendicularidad respecto a la base, la superficie del talud, no siendo esta su condición natural. El primer manto instalado tarda aproximadamente once días en que el césped adopte la posición natural, es decir no perpendicular a la superficie sino que en orientación vertical. Los tepes tardaron aproximadamente diez días, mientras que los últimos dos mantos instalados tardaron aproximadamente doce días.

Para que la propuesta sea válida los mantos deben asegurar el recubrimiento a largo plazo de la superficie. Para esto es necesario que la cubierta se adapte a las nuevas condiciones del terreno. Para que se lleve a cabo la penetración de las raíces en el talud es lo principal.

Al evaluar los mantos y los tepes instalados se observa que presentan un enraizado satisfactorio en el talud, se ha generado la adherencia de la cubierta vegetal con la nueva superficie.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Dado los resultados observados una vez finalizado el periodo de implementación de los mantos y tras un seguimiento a lo largo de todo el proceso, considerando el comportamiento de éstos en la etapa de extracción, transporte e instalación, se puede afirmar que la malla incorporada no interviene en el proceso natural de germinación en cuanto al tiempo y en la superficie con cubierta vegetal. Por otro lado, la malla funciona como complemento del enraizado natural otorgándole mayor flexibilidad, beneficiando el trabajo en sectores de mayor complejidad para su instalación. Por lo tanto, se concluye que la propuesta de generar un recubrimiento de taludes en base a manto vivo de césped y malla metálica es válida.

El tiempo utilizado en la instalación de los mantos es superior a la instalación de tepes, recubriendo la misma superficie, lo cual implica el no cumplimiento del fin de la propuesta. Pero dado que el rollo es instalado contrario a lo propuesto, con una excesiva manipulación, soportando flexiones forzadas de la estructura vegetal es que se puede afirmar que la cubierta no debe tener problemas al ser puesta sobre el talud según lo estipulado, es decir, desde el coronamiento hacia el pie del talud. Esto hará que su manipulación sea menor durante el proceso de desenrollado evitando realizar pliegues que pueden afectar la estructura. Bajo dicha condición el tiempo de instalación del rollo reforzado debe estar bajo el tiempo de incorporación de los tepes en una misma superficie, lo que justifica la implementación de esta propuesta.

Pasados dos meses, desde la instalación, el recubrimiento de césped se mantiene, el enraizado manto-talud se ha generado y la verticalidad de los tallos indica una exitosa adaptación. Dado lo anterior se puede prever una cobertura duradera, debido a las características de las especies que componen los mantos.

El peso de los rollos dificulta el proceso de transporte e instalación. Se observa que el desprendimiento de suelo bajo la malla no influye en la uniformidad del manto. Por lo tanto, para que la aplicación de la cubierta vegetal pueda llevarse a cabo en zonas con condiciones de difícil acceso y de pendientes altas se debe procurar disminuir el peso reduciendo el espesor de los mantos al menos 2,5 cm, lo que equivale una disminución de aproximadamente un 42%, es decir se pasa de aproximadamente 145 kg a aproximadamente 85 Kg.

Dado los antecedentes se recomienda que los aspectos a considerar al momento de generar un manto de césped para su instalación en taludes de alta pendiente son, de acuerdo a lo analizado en este proyecto, el tipo de especie de césped a utilizar, no realizar los mantos sobre superficie impermeable ya que prolonga el tiempo de germinación, la incorporación de una malla la cual permita otorgar mayor resistencia y flexibilidad a la estructura de césped considerando la forzada manipulación al momento de la instalación y las irregularidades que presentan las superficies a proteger. Además el peso debe ser controlado, reduciendo el espesor del manto, pensando que es el parámetro más influyente debido a su influencia en todo momento, extracción, transporte e instalación.

BIBLIOGRAFÍA

Cisneros, J. et al. (2012). *Erosión Hídrica, Principios y técnicas de manejo*, Universidad Nacional de Río Cuarto, Facultad de Agronomía y Veterinaria, Servicio de Conservación y Ordenamiento de Tierras (SECYOT), Argentina.

Colegio oficial de ingenieros técnicos agrícolas y peritos agrícolas de Cataluña, (1998). *Obras de Bioingeniería, Técnicas de Estabilización de Taludes*, España.

García, Díaz, R. (2005). *Estudio de la protección de la vegetación ante los flujos de aguas de escorrentías en laderas naturales*, Depto. Ingeniería Forestal. E. T. S. Ingenieros de Montes. Universidad Politécnica de Madrid, España.

León Pelaez, J. D. (2001). *Estudio y Control de la Erosión Hídrica*, Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Departamento de Ciencias Forestales, Colombia.

López Jimeno, C. (1999). *Manual de Estabilización y Revegetación de Taludes*, España.

MOP (2012). *Manual de Carreteras, Volumen N°2 Procedimientos de Estudios Viales*, 2012, Chile.

Mataix, C. (2001). *Capítulo X, Técnicas de Revegetación de Taludes*, Estudios y Proyectos Mineros S.A, España.

Riveros, R. (2004). Proyecto de Título: Implementación y Optimización de Sistemas de Recubrimiento Económico, no Tradicional, para taludes de la VIII Región. Departamento de Ingeniería Civil, Universidad del Bío Bio, Chile.

Suárez Díaz, J. (1998). *Deslizamientos y Estabilidad de Taludes en Zonas Tropicales*, Instituto de Investigaciones sobre Erosión y Deslizamientos, Colombia.

Suárez Díaz, J. (2001). *Control de Erosión en Zonas Tropicales*, Instituto de Investigaciones sobre Erosión y Deslizamientos, Colombia.

Temple, D. (1983). *Design of grass-lined open channels*. American Society of Agricultural Engineers Transactions, USA.

ANEXOS

ANEXO A: REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

Erosión

Se puede aceptar la consideración de dos tipos básicos de erosión: la geológica o natural, y la antrópica o acelerada. La primera se produce normalmente sin la acción del hombre, estando por tanto fuera de su control; es tan lenta que pasa inadvertida y contribuye de cierto modo a la formación del relieve mismo y a la meteorización de las rocas. En este tipo de erosión intervienen el agua (ríos, mar, lluvia), el viento, la temperatura y la gravedad; es considerada benéfica, pues la estabilidad de la superficie y un equilibrio entre el suelo, la vegetación, los animales y el agua; se ha presentado durante millones de años y existe actualmente como en el pasado, variando especialmente dadas las diferencias en el carácter de las rocas y en las condiciones climáticas y de vegetación. Ejemplo de la elevada erosión y depositación que ha ocurrido durante el tiempo geológico se tiene en la gran extensión y espesor de las rocas sedimentarias encontradas en la corteza terrestre.

Por otra parte, en la erosión acelerada ha mediado el hombre, destruyendo la vegetación protectora al introducir otros usos al suelo y con ello rompiendo el equilibrio natural. Así, se ha favorecido la acción erosiva del agua y del viento, en especial en terrenos inclinados, al usar sistemas de cultivos y herramientas inadecuadas, al talar los bosques y/o quemar la vegetación, al construir obras de infraestructura, etc. (León, 2001).

La erosión es un fenómeno complejo que básicamente consiste en la disgregación o meteorización de un suelo o de un material rocoso por la acción de los agentes atmosféricos, y la posterior denudación por arrastre de las partículas disgregadas.

En general existen diferentes tipos de erosión, como por ejemplo: erosión hídrica, erosión eólica, erosión pluvial, erosión glacial, entre otras. A escala reducida de un talud y zonas aledañas, los únicos que revisten importancia la erosión eólica y, sobre todo, la erosión hídrica producida por las gotas lluvia que impactan sobre el terreno disgregando partículas que son arrastradas por las aguas de escorrentía (López, 1999).

Cobertura Vegetal

La vegetación cumple un importante papel en términos de la prevención de movimientos en masa, de manera especial con relación a los deslizamientos superficiales en laderas. Algunas formas en que la vegetación afecta el balance de fuerzas son:

- a) Refuerzo de las raíces: mecánicamente las raíces refuerzan el suelo al transferirle resistencia a la cizalladura, con tensiones de resistencia en la raíz.
- b) Modificación del contenido de humedad del suelo: la evapotranspiración y la intercepción por el follaje limitan la aparición de esfuerzos en el suelo por humedad.
- c) Peso de la vegetación: ejerce dos tipos de esfuerzos, uno desestabilizante hacia debajo de la pendiente y uno que es componente perpendicular a la pendiente el cual tiene a incrementar la resistencia al deslizamiento (León, 2001).

A continuación se presenta información complementaria a la indicada en el punto 2 del proyecto de título, acerca de los aspectos hidráulicos que aporta la vegetación.

Intercepción de Gotas de Lluvia

Tipo de vegetación	IC max (mm)
Festuca	1,2
Rye Grass	2,5
Bosque de pinos	1,0
Bosque tropical	0,8-2,5
Soja	0,7
Trigo	3,0
Maíz	0,8
Alfalfa	2,8
Monte frutal (manzano)	0,5

Figura A.1. Capacidad de almacenaje por intercepción de diferentes tipos de vegetación (Fuente: Cisneros et al., 2012) (Nota: IC max (mm): Intercepción máxima alcanzada para una lluvia).

Evapotranspiración

Especie vegetal	relación E_f/E_o
Eucalipto	1.5
Arroz	1.35
Palma de aceite	1.2
Cacao	1.0
Bosques	0.9
Ficus	0.9
Pastos	0.8
Papa	0.7
Caña de azúcar	0.73
Banano o plátano	0.70
Maíz	0.67
Algodón	0.63
Café	0.5

Figura A.2. Relaciones de evapotranspiración para diferentes especies vegetales. (Fuente: Suárez, 1998).

Coefficiente de Manning

Tipo de Vegetación (mm)	n de Manning
Pasto muy alto (h > 600)	0.06 a 0.20
Pasto alto (h de 250 a 600)	0.04 a 0.15
Pasto medio (de 150 a 200)	0.03 a 0.08
Pasto corto (de 50 a 150)	0.03 a 0.06
Pasto muy corto (h < 50)	0.02 a 0.04

Figura A.3. Valores del coeficiente de Manning para diferentes vegetación. (Fuente: Suárez, 2001).

En general las descripciones anteriores hacen referencia a los aspectos hidráulicos y mecánicos que intervienen directamente en los recubrimientos vegetales del suelo, pero dado que ésta investigación está orientada a la erosión y estabilidad superficial se centrará en el estrato herbáceo y no en el arbustivo ni en el arboleo pese a que ambos tipos de igual forma ayudan en el control de la erosión gracias a sus partes aéreas (copas y hojas en mayor altura), éstas funcionan como una pantalla frente a la lluvia, la que al chocar pierden energía cinética que transportan las gotas en su caída y una cantidad no menor de agua queda interceptada.

Resistencia del Estrato Herbáceo

Los estudios sobre la resistencia del tapiz de hierba se han realizado en función de alguno de los dos parámetros hidráulicos siguientes: el coeficiente de rugosidad de Manning o la tensión hidráulica de arrastre.

En un tapiz herbáceo cuando el número de tallos es bastante alto y por lo tanto relativamente denso, éste llega a ser lo suficientemente eficaz frente a la tensión de arrastre que ejerce el flujo de agua de tal forma que se puede asegurar que evita la erosión sobre las partículas del suelo.

Según Temple D. M, 1983, la capacidad de protección de un recubrimiento de césped es el resultado de las acciones separadas pero relacionadas:

- Una región cerrada de amortiguamiento hasta un límite en la cual la velocidad es muy reducida. La acción es un resultado directo de la resistencia del vegetal que se transmite al suelo a través del tallo y el sistema radical. Porque esta región representa una distorsión del perfil de velocidad.
- La segunda acción del césped es el impedir local y temporalmente altas velocidades y tensiones cortantes en la región asociada al grado de protección, está dominado por la uniformidad en la cubierta del suelo y es relativamente independiente de la resistencia del flujo.

En la zona a la cual Temple, 1983, define como región cerrada, prácticamente se puede asegurar que el agua aunque este en contacto con el suelo circula a una velocidad muy pequeña, puesto que la red de tallos y hojas de la vegetación herbácea impide que se produzca una velocidad de cierta intensidad.

La figura A.4, muestra que la curva típica del perfil de velocidades se sitúa o nace por encima de la altura $h_{p,m}$ siendo esta la altura de desviación de la velocidad, estando normalmente muy cercana a la altura de la vegetación $h_{p,up}$.

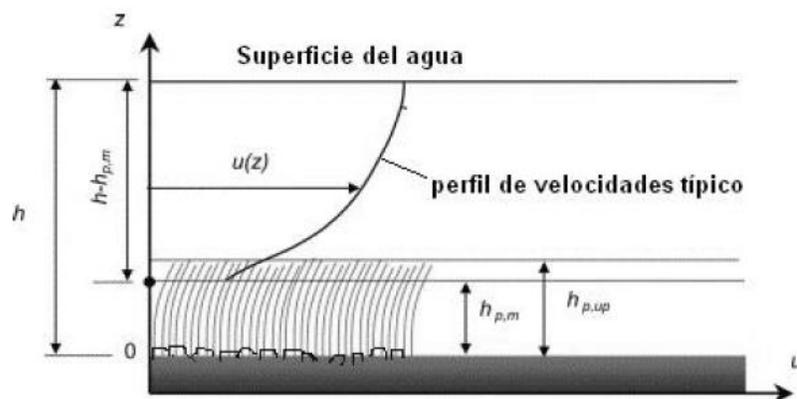


Figura A.4. Curva típica del perfil de velocidad. (Fuente: García, 2005).

También se puede abordar la resistencia al flujo desde el punto de vista de la tensión de arrastre Ecuación 1, donde la expresión normal de la tensión de arrastre ($\tau = \gamma * h * j$) se ve disminuida. Según TEMPLE, 1980, textual:

$$\tau = \gamma * h * j * (1 - C_f) * \left(\frac{n_s}{n}\right) \quad \text{Ec. (A.1)}$$

Donde:

γ : Peso Específico

C_f : Factor de cobertura vegetal, el cual varía desde un valor 0.5 para plantas anuales con una densidad de 538 elementos /m² hasta 0.90 para césped de densidad de 5380 elementos/m²

n_s : (coeficiente de rugosidad de Manning correspondiente al suelo, se acepta de 0,0156 como valor para superficie sin vegetación).

n : (coeficiente de rugosidad de Manning total). Si bien, el mismo autor comenta que esta expresión debe de ser comprobada, en esta expresión se refleja la pérdida cuantitativa de la tensión de arrastre debido de la vegetación.

Otra característica es la propiedad de flexibilidad que posee la vegetación herbácea. La flexibilidad de la hierba hace que el comportamiento de esta frente al flujo hidráulico sea distinto, según la cuantía de este; cuando el flujo es pequeño, la tensión hidráulica también es pequeña y los tallos de hierba reaccionan como elementos rígidos, por el contrario al aumentar el caudal aumenta la tensión de arrastre, la resistencia que ofrece la hierba no es capaz de soportar esta tensión y flexiona longitudinalmente sobre su propio tallo disminuyendo la superficie que ofrece al flujo y consecuentemente su resistencia al flujo, si bien en este caso disminuye la resistencia al flujo y la erosión también supone una medida de supervivencia porque con la flexión, se consigue evitar la rotura del tallo, circunstancia que no podría realizarse si el tallo estuviera lignificado (ver figura A.5).

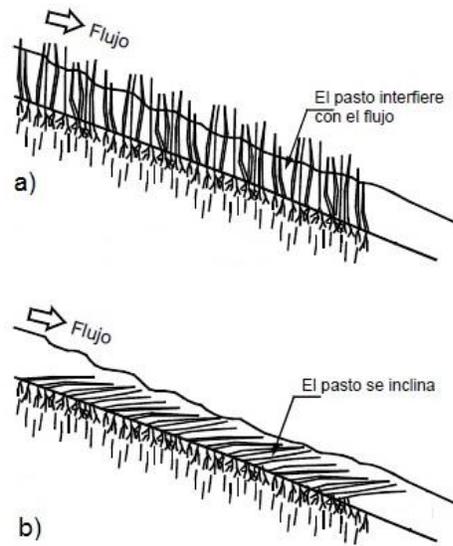


Figura A.5. Representación esquemática del recubrimiento herbáceo frente a un flujo. a) flujo pequeño, implicando que los tallos de hierba actúen como elementos rígidos. b) flujo grande, implicando la flexión longitudinalmente de su tallo. (Fuente: Suarez, 2001).

ANEXO B: ALGUNAS TÉCNICAS DE BIOINGENIERÍA E HIDROSIEMBRA.

Estacas vivas

El uso de estacas vivas en las técnicas de estabilización de taludes en las obras de bioingeniería comporta la plantación de estacas en el suelo, con el fin de que éstas enraícen y se desarrollen en una planta completa (ver figura B.1).

Esta es una técnica apropiada para reparar pequeñas depresiones, que frecuentemente se encuentran encharcadas. Un sistema de estacas crea una estera de raíces en el suelo, la cual lo estabiliza, reforzando y uniendo entre sí las partículas del mismo y eliminando un posible exceso de agua. Se puede llevar a cabo en situaciones cuando se dispone de poco tiempo para su ejecución y cuando se precisa un método económico; cuando se desee sujetar los materiales de recubrimiento utilizados para el control de la erosión.

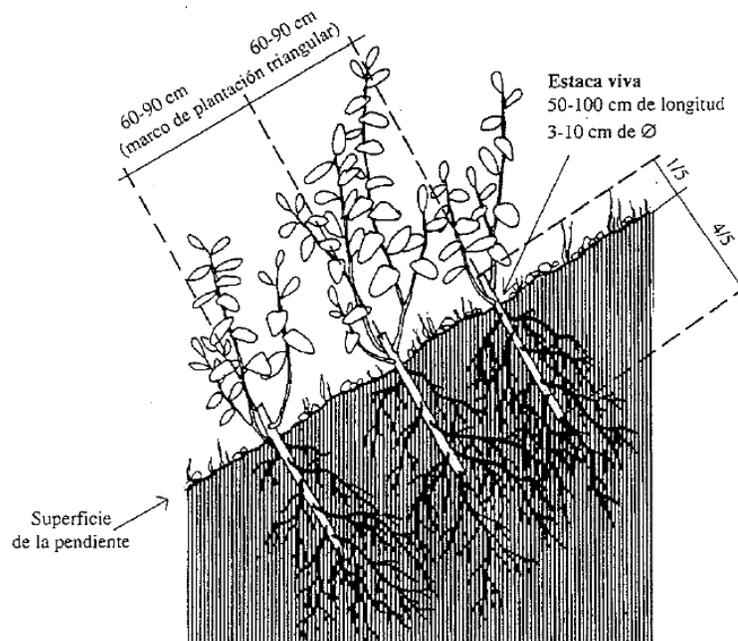


Figura B.1. Esquematación de técnica “Estacas Vivas”. (Fuente: Colegio oficial de ingenieros técnicos agrícolas y peritos agrícolas de Cataluña, 1998).

Fajinas Vivas

El uso de fajinas vivas comporta la confección de manojos atados de ramas vivas cortadas de plantas leñosas que se colocan en el fondo de zanjas poco profundas, excavadas transversalmente siguiendo el contorno del talud, recubriéndolas después parcialmente de tierra. Las ramas tienen una longitud superior a 1 m. (generalmente muy superior) y un diámetro inferior a 10 cm. Para

evitar que se muevan pueden fijarse con estacas de madera o estaquillas de la misma especie empleada en la construcción de las fajinas. Esta técnica es sumamente efectiva al proporcionar estabilidad para proteger a los taludes frente a deslizamientos superficiales (0.25 – 0.75 m de profundidad); Además genera un protección inmediata a la erosión al igual que sirve como drenaje de pendientes excesivamente húmedas (ver figura B.2).

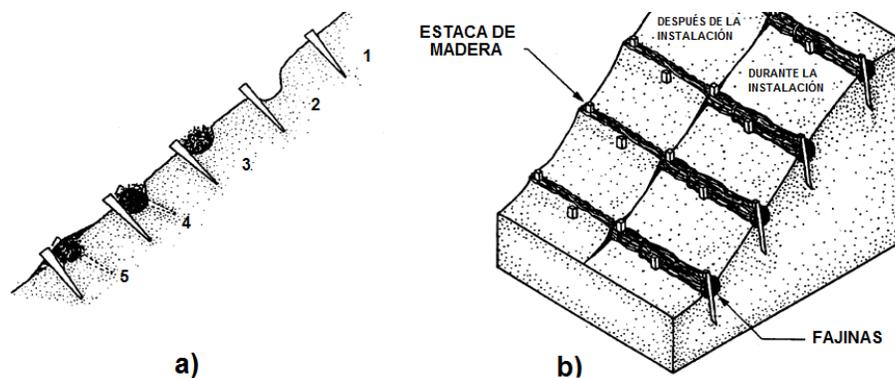


Figura B.2. Esquemización de técnica en base a “Fajinas” a) Etapas constructivas, 1) Estaca de contorno situada perpendicular a la superficie, 2) Aperturas de zanjas situadas por encima de estacas, 3) Colocación de fajinas en zanjas, 4) Sujeción de las fajinas al talud clavándolas con estacas de madera, 5) Recubrimiento de las fajinas con el mismo suelo del talud y apisonado dejando descubierto un 10-20% de la fajina. b) Imagen del antes y después de la instalación. (Fuente: Mataix, 2001).

Escalones de Matorral

Esta técnica consiste en situar ramas de especies leñosas, (de 20 - 50 mm de diámetro y 1 - 2.5 m de longitud), con capacidad para enraizar en pequeñas zanjas o entre capas sucesivas de tierra a lo largo de la pendiente de los taludes, de manera que formen una especie de terrazas o escalones. Esta técnica difiere de las fajinas en la orientación de las ramas y la profundidad a la que se sitúan. En los escalones de matorral las ramas se orientan más o menos perpendicular al perfil del talud y se introducen hasta dos metros dentro de él, mientras que las fajinas se sitúan paralelas al perfil del talud y se entierran muy someramente (ver figura B.3).

Esta técnica proporciona de forma inmediata el control de la erosión, las ramas introducidas refuerzan el suelo ya antes de que desarrollen las raíces, e incrementan de forma significativa su resistencia al deslizamiento y a los movimientos rotacionales. La vegetación desarrollada a partir

de las ramas retiene los sedimentos y mejoran la infiltración en los suelos secos además de drenar los suelos excesivamente húmedos.

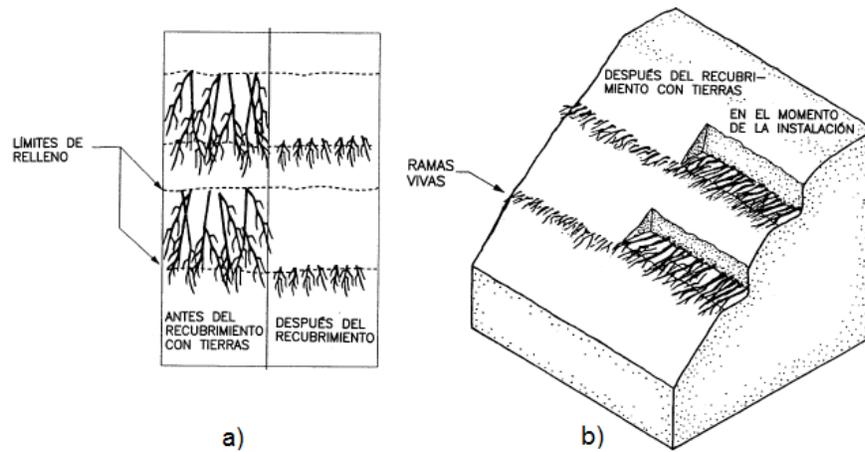


Figura B.3. Esquematización de técnica “Escalones de Matorral”. a) Vista en planta de talud y etapas de la técnica; b) Imagen del antes y después de la instalación. (Fuente: Mataix, 2001).

Hidrosiembra

La Hidrosiembra es otra técnica de siembra de semillas a través de dispersión mecánica. La Hidrosiembra es una de las herramientas más eficaces para controlar y prevenir la erosión y la sedimentación en terraplenes, cortes de camino, vertederos y otras intervenciones que se generan producto de la construcción y desarrollo de diferentes obras civiles, la cual se proyecta sobre un suelo desnudo, ya sea plano o inclinado, una mezcla homogénea que incluye semillas, mulch, resinas estabilizadoras, fertilizantes, aditivos y agua a través de una máquina hidrosembradora.

Cada uno de los elementos que conforman la mezcla posee una función específica. Los fertilizantes adaptan de acuerdo al terreno y a la época del año en que serán aplicados, las resinas estabilizadoras cumplen la función de aglomerar, es decir pegar los elementos de la Hidrosiembra entre sí y de igual forma al suelo, formando una especie de costra. Los aditivos ayudan a las plantas a crecer más rápidos.

Es posible la utilización de todo tipo de semillas con diferentes tratamientos y dosificaciones según sea el caso, estas pueden ser flores, pastos, arbustos, etc. A toda la mezcla se le suma el mulch, que es un componente orgánico de distintas variedades, como por ejemplo paja molida o fibra de madera o celulosa, el cual cubre la disolución protegiéndola tanto de las heladas en el

invierno como de la evaporación de agua en el verano, además a medida que se descompone entrega nutrientes lentamente al suelo.

Posterior al hidrosembado se instala sobre éste un manto orgánico los cuales se usan provisionalmente para proteger la Hidrosiembra realizada mientras se produce la germinación. Generalmente este proceso puede durar de 3 semanas a un mes para observar a simple vista los resultados. Este proceso requiere de riego diario para lograr su germinación. Los mantos de control de erosión ayudan a prevenir la erodabilidad del suelo en taludes frente al viento, lluvia y/o escorrentía mientras la superficie no ha logrado la cubierta vegetal. Los mantos pueden ser de paja, fibra de coco, esterillas dependiendo la función y las características del proyecto en las que se utilizarán (ver figura B.4).



Figura B.4. Etapa hidrosembado. (Fuente: empresa especialista, 2012).

No es posible establecer buena vegetación en taludes de más de 60° de pendiente y es difícil revegetalizar taludes de más de 45° de pendiente. Los pastos son plantas originarias de terrenos planos y no es fácil establecerlos adecuadamente sobre zonas de alta pendiente.

La razón por la cual no es fácil establecer vegetación en altas pendientes es por un lado la dificultad de la semilla para su fijación en el suelo y por otro lado que el agua lluvia no es interceptada por el talud en suficiente proporción para garantizar humedad y la infiltración es prácticamente nula, por lo que al no existir infiltración la vegetación no tiene la humedad requerida para germinar.

ANEXO C: PROVEEDORES DE TEPES**Verde Andino**

Productora de pasto natural de la Región Metropolitana, vende tepes de pasto de 0.5 m² (1 m x 0.5 m). El precio es de \$1200 por metro cuadrado. Tepes Sin Malla.

Pasto Listo

Productora de césped natural de la Región Metropolitana, vende tepes de pasto de 0.5 m² (1 m x 0.5 m). El precio es de \$1800 por metro cuadrado. Tepes Sin Malla.

Green Chile

Productora de pasto en alfombra de la Región Metropolitana, vende Pasto en rollo de 1 m² (2 m x 0.5 m). El precio es de \$1500 por metro cuadrado. Alfombra con Malla degradable.

Paisajismo Vida y Verde

Vendedora de césped en rollo de la Región del Bío Bio, vende tepes de 0.5 m² (1 m x 0.5 m). El precio es de \$3000 por metro cuadrado. Tepes Sin Malla.

Vivero Lonquimay

Vivero de la Región del Bío Bio, vende tepes de 0.5 m² (1 m x 0.5 m). El precio es de \$2900 por metro cuadrado. Tepes Sin Malla.

Agrocomercial Santa Inés

Productora de césped en alfombra de la Región del Bío Bio, vende tepes de 0.5 m² (1 m x 0.5 m). El precio es de \$2500 por metro cuadrado. Tepes Sin Malla.

Ecopalmetas

Productora de césped en alfombra, vende tepes de 2 m² (1 m x 2 m). El precio es de \$2500 por metro cuadrado. Tepes Sin Malla.

ANEXO D: SEMILLAS UTILIZADAS EN ROLLOS DE CÉSPED.

Festuca (*Festuca arundinacea*).

La Festuca o también llamada Cañuela Alta y Festuca Alta, corresponde a una Gramínea perenne, de crecimiento erecto, con sistema radical fibroso, champoso y profundizador, 30 a 35 cm. lo que la hace ideal para el control de la erosión en taludes. Posee tallos que pueden llegar hasta 1 m. de altura, sus hojas nacen en la base de la planta, son abundantes y de color verde oscuro, manteniendo buen aspecto durante todo el año (ver figura D.1). Resistente a condiciones de sequía, al pisoteo, arrancamiento, al frío y al calor.



Figura D.1. Descripción festuca. A: aspecto general de la planta; b: detalle de la panoja; c: detalle de la base de la lámina, nótese las aurículas y la lígula breve y truncada; d: detalle de la espiguilla.

Ballico (*Lolium perenne*):

El Ballico o también llamado Raygrass perenne y Pasto inglés, corresponde a una Gramínea perenne. Con crecimiento entre 10 y 80 cm, cespitosa con los tallos lisos y un sistema radical denso, como consecuencia de la presencia de raíces de menor diámetro que las otras plantas, lo que le otorga una mayor capacidad de exploración del suelo, sin embargo estas no son profundizadoras, ver figura 12. Se caracteriza por su rápida germinación, a los 5 – 7 días después de sembrar esta la hierba afuera y verde. Se adapta muy bien a climas fríos, resistente al pisoteo, de gran densidad. Debido a su rápida germinación y fácil establecimiento son usados en la mayoría de las mezclas (ver figura D.2).



Figura D.2. Ballico (*Lolium perenne*)

El Trébol Subterráneo (*Trifolium subterraneum* L.):

Es una leguminosa anual, invernal, originaria de la zona mediterránea. La planta tiene un sistema radicular semiprofundizador, con una raíz pivotante y gran cantidad de raicillas donde se localizan los nódulos. Sus tallos son generalmente rastreros, aunque existen también variedades semirrectas. Las flores, después de la formación de la semilla, tienen la cualidad de formar un canastillo que se entierra, protegiendo de esta manera a la semilla y facilitando su resiembra natural. Esta característica hace que el Trébol Subterráneo, aunque es una especie anual, en condiciones favorables se comporta como perenne y se adapta para ser usado en prados de larga duración, pues las praderas de Trébol Subterráneo tienen una duración de 10 o más años, y su permanencia se ve afectada en gran medida por el manejo que se dé a la misma en el período de formación de la semilla (ver figura D.3).



Figura D.3. Trébol subterráneo.

ANEXO E: SEGUIMIENTO GERMINACIÓN DE MANTOS

A continuación se presenta el seguimiento semana a semana de la etapa de germinación del césped en los mantos elaborados.



Figura E.1: a) 1° semana del sembrado; b) 2° semana del sembrado; c) 3° semana del sembrado; d) 4° semana del sembrado. (Fuente: Elaboración propia).



Figura E.2: a) 5° semana del sembrado; b) 6° semana del sembrado; c) 7° semana del sembrado, posterior al primer corte; d) 8° semana del sembrado. (Fuente: Elaboración propia).



Figura E.3: a) 9º semana del sembrado; b) 10º semana del sembrado; c) 11º semana del sembrado; d) 12º semana del sembrado; e) 13º semana del sembrado, posterior al segundo corte.

(Fuente: Elaboración propia).

ANEXO F: DENSIDAD DE MANTOS

Densidad de mantos de césped:

Determinación densidad manto sin malla

Para determinar la densidad del manto y/o tepe sin malla se extrae una muestra la cual es medida y pesada (ver figura F.1).

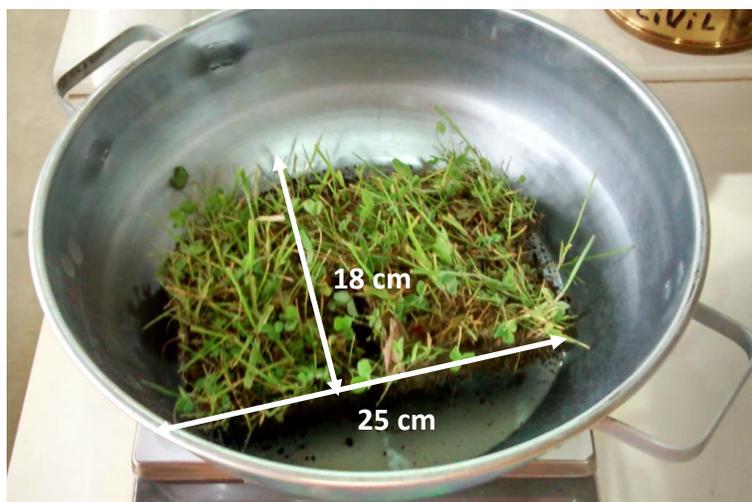


Figura F.1: Muestra extraída manto sin malla. (Fuente: Elaboración propia).

$$Largo_{muestra} = 0.25 \text{ (m)}; \text{ Ancho}_{muestra} = 0.18 \text{ (m)}; \text{ Espesor}_{muestra} = 0.045 \text{ (m)}$$

$$Masa_{muestra} = 3.12 \text{ (Kg)}.$$

$$Densidad_{muestra} = \frac{3.12}{0.25 \times 0.18 \times 0.045} = 1540.74 \left(\frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \right)$$

a) Tepe de Césped sin malla

$$Largo_{tepe} = 1.00 \text{ (m)}; \text{ Ancho}_{tepe} = 0.50 \text{ (m)}; \text{ Espesor}_{tepe} = 0.045 \text{ (m)}$$

$$Volumen_{tepe} = 1.00 \times 0.50 \times 0.045 = 0.0225 \text{ (m}^3\text{)}$$

$$Masa_{tepe} = 1540.74 \times 0.0225 = 34.67 \text{ (Kg)}$$

b) Manto de Césped sin malla

$$Largo_{manto} = 3.00 \text{ (m)}; \text{ Ancho}_{manto} = 0.50 \text{ (m)}; \text{ Espesor}_{manto} = 0.045 \text{ (m)}$$

$$Volumen_{manto} = 3.00 \times 0.50 \times 0.045 = 0.0675 \text{ (m}^3\text{)}$$

$$Masa_{manto} = 1540,74 \times 0.0675 = 104 \text{ (Kg)}$$

Determinación densidad manto con malla

La densidad del manto es determinada a partir de la información entregada por los tepes con armadura metálica, debido que éstos poseen las mismas propiedades, (tipo de suelo, malla, dosificación de semillas) que los mantos.



Figura F.2: Determinación del peso de tepe con malla
(Fuente: Elaboración propia).

a) Tepe con malla

$$Largo_{tepe} = 1.00 \text{ (m)}; \text{ Ancho}_{tepe} = 0.50 \text{ (m)}; \text{ Espesor}_{tepe} = 0.06 \text{ (m)}$$

$$Volumen_{tepe} = 1.00 \times 0.50 \times 0.06 = 0.03 \text{ (m}^3\text{)}$$

$$Masa_{tepe} = 48.28 \text{ (Kg)}$$

$$Densidad_{tepe} = \frac{48,28}{1.00 \times 0.50 \times 0.06} = 1609.33 \left(\frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \right)$$

b) Manto con malla

$$Largo_{manto} = 3.00 \text{ (m)}; \text{ Ancho}_{manto} = 0.50 \text{ (m)}; \text{ Espesor}_{manto} = 0.06 \text{ (m)}$$

$$Volumen_{manto} = 3.00 \times 0.50 \times 0.06 = 0.09 \text{ (m}^3\text{)}$$

$$Masa_{manto} = 1609.33 \times 0.09 = 144.84 \text{ (Kg)}$$

ANEXO G: EJECUCIÓN DE LA PROPUESTA

Preparación del Talud

Para poder realizar un análisis del comportamiento real de los mantos de césped, con y sin armadura, se procede a su instalación a escala real. El lugar destinado para la ejecución de esta técnica de control de erosión corresponde a un talud con exposición Noroeste, ubicada en terrenos del Laboratorio de Geotecnia de la Escuela de Ingeniería Civil y Ambiental (LAGEMA), en el sector Sureste de la Universidad del Bío Bio.

El talud se encuentra poco intervenido y bastante erosionado debido al escaso poblamiento vegetal en las zonas afectadas. Previo a la implementación de la técnica se realiza una limpieza (ver figura G.1), y un perfilamiento de la superficie (ver figura G.2).

Luego de la limpieza y perfilamiento, el talud está en condiciones para la implementación del recubrimiento de césped armado con malla metálica hexagonal (ver figura G.3).



Figura G.1: Limpieza talud.
(Fuente: Elaboración propia).



**Figura G.2: Perfilamiento talud.
(Fuente: Elaboración propia).**



Figura G.3: a) Talud en condiciones naturales; b) Talud tras limpieza. (Fuente: Elaboración propia).

Instalación del recubrimiento en talud.

Instalación de manto

La instalación fue efectuada anclando la base del manto a los pies del talud y desenrollada por la superficie hacia arriba. El trabajo es llevado a cabo por tres personas como se puede apreciar en la figura G.4.



Figura G.4: Instalación del primer manto armado con malla metálica. (Fuente: Elaboración propia).

Instalación de tepe

La instalación de los tepes es realizada por dos personas. El trabajo fue llevado a cabo instalando el primer tepe en la parte superior del talud para así continuar hasta los pies de éste. En la figura G.5 se aprecia la instalación del primer tepe en la zona alta.



Figura G.5: Instalación de tepe en zona alta del talud. (Fuente: Elaboración propia).

La figura G.6 refleja el enraizado existente tanto en los tepes como en los mantos, previo anclaje en la superficie.



Figura G.6: Enraizado generalizado para tepes y mantos. (Fuente: Elaboración propia).

Mantos sin malla

El recubrimiento sin malla elaborado para la comparación con los armados metálicamente, no es instalado en el talud debido al rompimiento de la estructura. El enraizamiento únicamente no es capaz de mantener unido el manto y/o tepe al someterlo al enrollamiento para su traslado, de igual forma la capa de césped se divide al manipularlo en busca de una nueva forma de traslado (ver figura G.7).



Figura G.7: Manto de césped sin malla, las raíces no mantienen la estructura frente a manipulación para su traslado. (Fuente: Elaboración propia).

Seguimiento adaptación del recubrimiento

Posterior a la instalación del recubrimiento es necesario llevar a cabo un seguimiento del comportamiento de los mantos y tepes en el talud, la adaptación del césped es lo que asegura el buen funcionamiento del recubrimiento.

Enraizado

El enraizado del recubrimiento en general es el que proporciona la estabilidad y el buen funcionamiento de éste a largo plazo. Cabe recordar que los mantos de césped no entregan estabilidad global, sino más bien una solución a la erosión. En la figura G.8 se visualiza el enraizamiento del manto con la superficie a los 14 días, al levantar uno de los lados del recubrimiento se observa el rompimiento de algunas raíces, indicando que ha comenzado el proceso de unión talud-manto.



Figura G.8: Enraizado a los 14 días de la instalación del recubrimiento sobre el talud.

(Fuente: Elaboración propia).

En la Figura G.9 se aprecia el enraizado a los 20 días. Se quitan los anclajes correspondientes y se levanta sujetando la malla, lo que se observa son raíces que ya han comenzado la unión con el suelo del talud.



Figura G.9: Enraizado a los 20 días de la instalación del recubrimiento sobre el talud, ha comenzado el enraizamiento. (Fuente: Elaboración propia).

Adaptación del Manto



G.: Césped en posición vertical, orientado al sol. (Fuente: Elaboración propia).

ANEXO H: REDUCCIÓN TEÓRICA DE LA TENSIÓN DE ARRASTRE

Considerando que el valor del coeficiente C_f es igual a 0.8, debido al recubrimiento total de la superficie del manto, castigado un 20% por las zonas menos pobladas debido a la saturación durante la gestación de los mantos. El valor del coeficiente de rugosidad de Manning es de 0.1 debido a la altura del pasto utilizado en el recubrimiento implementado, según figura A.3, Anexo A. Con estas condiciones el valor de la tensión de arrastre, es disminuida, según Ecuación H.1:

$$\tau = \gamma * h * j * (1 - 0.8) * \left(\frac{0.0156}{0.1}\right) = 0.0312 * \gamma * h * j \quad \text{Ec. (H.1)}$$

Es decir aproximadamente 32 veces más pequeña que la tensión de arrastre en el suelo sin cobertura herbácea.

Cabe destacar que la demostración recién hecha corresponde a la comparación entre el suelo del manto sin cubierta y con cubierta, debido que es la que está expuesta directamente a la escorrentía superficial. La superficie del talud está un 100% recubierta por lo tanto no queda expuesta a la tensión de arrastre del flujo superficial.