

# UNIVERSIDAD DEL BÍO-BÍO

FACULTAD DE INGENIERÍA

DEPARTAMENTO INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL

**Profesor Patrocinante: Ricardo Riveros Velásquez**



## **“SISTEMA DE RECUBRIMIENTO DE MANTO VIVO PARA TALUDES DE ALTA PENDIENTE”**

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

**RICHARD ALEJANDRO ACUÑA LEIVA**

Concepción, Julio de 2015

*Dedicatoria:*

*Con todo mi cariño y amor,  
Para las personas que se han esforzado  
Para que pueda lograr mis sueños,  
Papá y Mamá.*

Agradecimientos:

Agradezco a toda mi familia en especial a mis padres Oscar Acuña y Mercedes Leiva por su esfuerzo, apoyo y confianza durante este proceso y a lo largo de toda mi vida. A mis hermanos Ingrid, Franco, Millaray y Ailyn, por su constante preocupación y palabras de optimismo.

A mis amigos de infancia, de universidad, por su gran apoyo y entrega de compañerismo. A mi amigo Pedro Vergara por su colaboración en la etapa de ejecución experimental del proyecto.

Además, a mi profesor guía Ricardo Riveros, por su dedicación y colaboración en este proyecto de título.

## ÍNDICE GENERAL

|   |    |
|---|----|
| ÍNDICE DE FIGURAS .....                             | vi |
| ÍNDICE DE TABLAS.....                               | vi |
| 1. INTRODUCCIÓN.....                                | 3  |
| 1.1 Objetivos.....                                  | 4  |
| 1.1.1 Objetivo general.....                         | 4  |
| 1.1.2 Objetivos específicos.....                    | 4  |
| 2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....                      | 5  |
| 2.1 Estabilidad superficial en taludes.....         | 5  |
| 2.2 Vegetación natural .....                        | 6  |
| 2.3 Vegetación en taludes de alta pendiente .....   | 8  |
| 2.4 Factores que afectan la revegetación.....       | 9  |
| 2.4.1 Época de siembra .....                        | 9  |
| 2.4.2 Pendiente .....                               | 9  |
| 2.4.3 Material de la superficie .....               | 10 |
| 2.4.4 Localización .....                            | 11 |
| 2.4.5 Germinación .....                             | 11 |
| 2.4.6 Análisis de los factores .....                | 11 |
| 2.5 Bioingeniería .....                             | 12 |
| 3. SISTEMA DE RECUBRIMIENTO .....                   | 13 |
| 3.1 Antecedentes generales .....                    | 13 |
| 3.2 Propuesta del sistema de recubrimiento .....    | 15 |
| 3.3 Cubierta vegetal.....                           | 16 |
| 3.4 Estructura de alojamiento.....                  | 17 |
| 3.4.1 Dimensiones de la estructura .....            | 19 |
| 3.4.2 Confección de estructura de alojamiento ..... | 20 |

|  |    |
|--|----|
| 3.5 Sistema de sujeción o anclajes.....  | 20 |
| 3.5.1 formato de los anclajes .....  | 20 |
| 3.5.2 Confección de sistema de sujeción.....   | 21 |
| 4. PARCELA DEMOSTRATIVA .....  | 22 |
| 4.1 Habilitación y características del talud.....  | 23 |
| 4.2 Implementación del sistema de recubrimiento.....                                       | 24 |
| 4.2.3 Instalación del sistema de recubrimiento .....                                       | 24 |
| 4.3 Medición cualitativa de variables relevante.....                                       | 25 |
| 4.3.1 Capacidad de alojamiento y adaptación al talud.....                                  | 25 |
| 4.3.2. Enraizado.....  | 26 |
| 4.3.3 Perdurabilidad del sistema.....  | 26 |
| 5. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....   | 27 |
| 5.1 Análisis de la influencia de los factores relevantes en la revegetación de talud ..... | 27 |
| 5.2 Desarrollo de la estructura y transporte de materiales .....                           | 27 |
| 5.3 Comportamiento del proceso de Instalación y adaptación.....                            | 28 |
| 5.4 Evaluación de enraizado.....   | 29 |
| 5.5 Perdurabilidad del sistema.....  | 30 |
| 5.6 Comportamiento o evaluación general del sistema de recubrimiento.....                  | 31 |
| 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....   | 32 |
| BIBLIOGRAFÍA .....   | 34 |
| ANEXOS.....  | 36 |
| ANEXO A: SISTEMAS DE PROTECCIÓN DE TALUDES .....   | 37 |
| ANEXO B: CARACTERÍSTICAS DE LOS TEPES DE PASTO .....                                       | 40 |
| ANEXO C: ESTUDIO DE SUELO DEL TALUD. ....  | 43 |
| ANEXO D: FICHA TÉCNICA DE LOS ELEMENTOS DEL SISTEMA. ....                                  | 46 |
| ANEXO E: COSTO DEL SISTEMA.....  | 48 |

|   |    |
|---|----|
| ANEXO F: CONFECCIÓN DE ESTRUCTURA DE ALOJAMIENTO..... | 49 |
| ANEXO G: ETAPA DE INSTALACIÓN.....                    | 51 |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| Figura 1. Efectos hidrológicos y mecánicos de la vegetación sobre una ladera..... | 7  |
| Figura 2. Composición del sistema de recubrimiento .....                          | 15 |
| Figura. 3 Dimensión del tepe de pasto.....  | 17 |
| Figura 4 Composición de la estructura de alojamiento .....                        | 18 |
| Figura 5. Dimensiones de una celda de la estructura de alojamiento .....          | 19 |
| Figura 6. Diseño del anclaje.....   | 21 |
| Figura 7. Talud de experimentación .....  | 23 |
| Figura 8. Sistema de recubrimiento instalado .....                                | 25 |
| Figura 9. Flexibilidad del sistema de recubrimiento .....                         | 28 |
| Figura 10. Proceso de enraizado.....  | 29 |
| Figura 11. Tepes de menores longitudes.....                                       | 30 |
| Figura 12. Recubrimiento sin mantención .....                                     | 31 |

## ÍNDICE DE TABLAS

|   |    |
|---|----|
| Tabla 1. Ventajas y desventajas de los diversos tipos de planta .....   | 8  |
| Tabla 2. Clasificación de erosión potencial de superficie y soporte para crecimiento de vegetación por tipo de suelo..... | 10 |

## **SISTEMA DE RECUBRIMIENTO DE MANTO VIVO PARA TALUDES DE ALTA PENDIENTE**

**RICHARD ACUÑA LEIVA**

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

**RICARDO RIVEROS VELÁSQUEZ**

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

### **Resumen**

Actualmente en nuestro país el arrastre de material superficial en taludes es un problema que afecta sobre todo a los taludes de altas pendientes, este fenómeno se produce por condiciones climáticas presente en la región, grandes cantidades de aguas y fuertes ráfagas de vientos, esto se ve acrecentado por la gran cantidad de cerros expuestos al ambiente, provocado por la intervención del ser humano para la urbanización o la construcción de caminos.

La revegetación natural es una solución que permite la estabilización y control del arrastre superficial, pero la condición de alta pendiente dificulta que el proceso natural ocurra en taludes.

La bioingeniería busca que el proceso natural de revegetación sea posible en taludes de alta pendientes y propone la utilización de construcciones mixtas, en las que se utilizan elementos vivos e inertes de forma combinada para asegurar la revegetación.

En este proyecto de título se implementó, un sistema de recubrimiento para taludes de alta pendiente, combinando una serie de elementos con el objetivo de mejorar sus aptitudes técnicas. En definitiva el sistema propuesto es definido por una estructura de alojamiento compuesta por una malla hexagonal galvanizada, un manto vegetal (tepes de pasto) y un sistema de sujeción (fierros de 6 milímetros en forma semi-grampa).

Una parcela demostrativa fue habilitada para analizar el comportamiento del sistema propuesto. Los resultados obtenidos fueron satisfactorios en cuanto a la aplicabilidad del sistema de recubrimiento en taludes de alta pendiente, se destaca su flexibilidad la cual permite la adaptación de las mallas y de la capa vegetativa a la cara del talud. El enraizamiento y el desarrollo del vegetal se generan de forma natural bajo condiciones de mantención mínimas.

**Palabras claves: sistema de recubrimiento, manto vivo, taludes.**

**7.386PalabrasTextos+13Figuras/Tablas\*250+1Figuras/Tablas\*500=11.136 Palabras Totales**

## RECOVERING SYSTEM OF VEGETAL COVER FOR HIGH INCLINATION SLOPES

RICHARD ACUÑA LEIVA

Department of Civil and Environmental Engineering, University of Bio-Bio

[riacuna@alumnos.ubiobio.cl](mailto:riacuna@alumnos.ubiobio.cl)

RICARDO RIVEROS VELÁSQUEZ

Department of Civil and Environmental Engineering, University of Bio-Bio

[riveros@ubiobio.cl](mailto:riveros@ubiobio.cl)

### **Abstract**

Currently in our country, erosion has become a problematic that affects specially the slopes of high inclinations, this phenomena is produced by the weather conditions of the region, heavy rain and strong gusts of wind, incremented by the many hills exposed to open ground, induced by human intervention road construction and urbanization.

Natural vegetation is a solution that allows the stabilization and control of erosion, however the high inclination conditions difficult the natural process occurs in slopes.

Bio-engineering pursues that the natural process of re-vegetation be possible in slopes of high inclinations, and proposes the use of mixed constructions in which living and inert elements are used combined to assure re-vegetation.

In this degree project, a recovering system for high inclination slopes was designed based in previous experiences, combining a series of elements with the objective of improving the technical aptitudes. Ultimately the proposed system is defined by a hosting structure which is a galvanized hexagonal mesh; a vegetal cover, these are grass sods and a retaining system which are 6 millimeter irons semi-grampa shaped.

The Project includes the development of a demonstration plot to analyze the behavior of the proposed system on field. The results were satisfactory in respect of the applicability of the high inclination slopes recovering system; we emphasize its flexibility, which permits the adaptation of meshes and the vegetative covers. Rooting and vegetal growth is generated naturally under minimum maintenance conditions.

**keywords: recovering system, vegetal cover, slopes**



## 1. INTRODUCCIÓN

La estabilidad superficial de los taludes de altas pendientes es un problema que existe en el país y en términos generales este fenómeno se genera por la remoción o desprendimiento de la capa superficial del suelo, los agentes responsables pueden ser el agua, viento, hielo y actuaciones humanas. La región del Biobío es afectada con esta problemática, ya que en su época invernal se producen grandes precipitaciones y vientos de altas velocidades, que afectan a una gran cantidad de cerros expuestos al ambiente, debido principalmente a la actividad desarrollada por el hombre sobre el medio natural, para la implementación de infraestructura vial y urbanizaciones.

Suarez (1998), encontró el efecto positivo de la vegetación, para evitar problemas de erosión, reptación y fallas subsuperficiales. Además Nazal (2007), obtuvo que las cubiertas vegetales solo actúan en el control de erosión superficial del talud. Basado en estas afirmaciones este proyecto se enfoca en proponer una nueva alternativa de recubrimiento vegetal para taludes de alta pendiente.

Los taludes de alta pendiente son aquellos que poseen una pendiente superior a  $60^\circ$ , diversos autores destacan la dificultad de revegetalizar taludes de más de  $45^\circ$  de pendiente. Se dificulta por varios factores entre ellos la escorrentía superficial, que aumenta su velocidad, descubre la raíz y en el caso de siembra arrastra las semillas.

La bioingeniería propone la estabilización y control del arrastre superficial de material en taludes a través del uso de vegetación, se busca que las partes de la planta por sí mismas, raíces y follaje funcionen como los elementos estructurales mecánicos para la protección del talud. Basado en esta disciplina, el objetivo de este proyecto de título es proponer un sistema mixto de recubrimiento, con la ayuda de experiencias anteriores en propuestas de recubrimiento en taludes de alta pendiente, aumentando sus aptitudes técnicas. Además, mencionar que para esta investigación se busca una solución a la problemática de estabilidad superficial y en ningún caso solución para dar mayor estabilidad al talud en falla profunda.

Para cumplir con este objetivo el sistema de recubrimiento vegetal propuesto, es implementado en una parcela demostrativa, para analizar el comportamiento del sistema y evaluar de forma cualitativa la eficiencia y factibilidad del desarrollo del sistema de recubrimiento, con énfasis en el crecimiento del enraizado.

## **1.1 Objetivos**

### *1.1.1 Objetivo general*

- Evaluar cualitativamente mediante una parcela demostrativa el desarrollo de un sistema de recubrimiento de manto vivo para taludes de alta pendiente que procure la revegetación de terreno.

### *1.1.2 Objetivos específicos*

- Identificar factores relevantes que influyen en la problemática de revegetación en taludes de alta pendiente.
- Proponer estructura del recubrimiento y sistema de sujeción que permita la instalación de manto vivo en taludes de alta pendiente.
- Observar el proceso de construcción, desarrollo y comportamiento de la propuesta de recubrimiento en parcela demostrativa.
- Analizar cualitativamente el comportamiento del sistema de recubrimiento propuesto.

## **2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA**

Este capítulo recopila lo contribuido por diversos autores con respecto a la estabilidad superficial de taludes e intenta resumir el estado del arte actual en el análisis del efecto de la vegetación en los procesos erosivos y métodos de control de erosión. Además, identificar las problemáticas o limitantes en generar el proceso de revegetación.

### **2.1 Estabilidad superficial en taludes**

De Matteis (2003), entiende por estabilidad a la seguridad de una masa de tierra contra la falla o movimiento. Uno de los principales problemas que provoca inestabilidades en los taludes es el arrastre superficial de material, debido a factores erosivos.

En la Naturaleza continuamente se encuentran superficies desiguales, tanto naturales como artificiales, en las que existe un conflicto entre fuerzas que tienden a desestabilizar la zona (gravedad, filtración, etc.) y las que se oponen a ellas (resistencia del terreno, raíces, etc.). Este fenómeno sucede independientemente del tipo de terreno en el que nos encontremos, y cuando las fuerzas que dominan son las desestabilizadoras, se produce la inestabilidad del talud (castro, 2010).

Existe un gran número de factores que influyen en la estabilidad de los taludes, entre los cuales se pueden destacar los aspectos topográficos o los climáticos. Pero sin duda hay dos factores que por su influencia destacan sobre todos los demás: el primero de ellos es la existencia de agua; de hecho, es en época de lluvias cuando se dan un mayor número de fenómenos de inestabilidad; el otro factor importante es la acción del hombre (obras lineales, excavaciones en edificaciones, etc.) que puede dar lugar repentinamente a taludes inestables (De Matteis, 2003).

Suarez (2001), define el arrastre de material como el desprendimiento, transporte y posterior depósito de materiales de suelo o roca por acción de la fuerza de un fluido en movimiento; esta puede ser generada tanto por el agua como por el viento.

## 2.2 Vegetación natural

León (2001), describe que el efecto de la vegetación sobre la estabilidad de los taludes ha sido muy debatido en los últimos años, el estado del arte actual deja muchas dudas e inquietudes y la cuantificación de los efectos de estabilización de las plantas sobre el suelo, no ha tenido una explicación universalmente aceptada. Sin embargo, Suárez (2001), encontró que la experiencia ha demostrado el efecto positivo de la vegetación como agente regulador de los procesos que intervienen en la generación de pérdidas de suelo evitando problemas de erosión, reptación y fallas subsuperficiales.

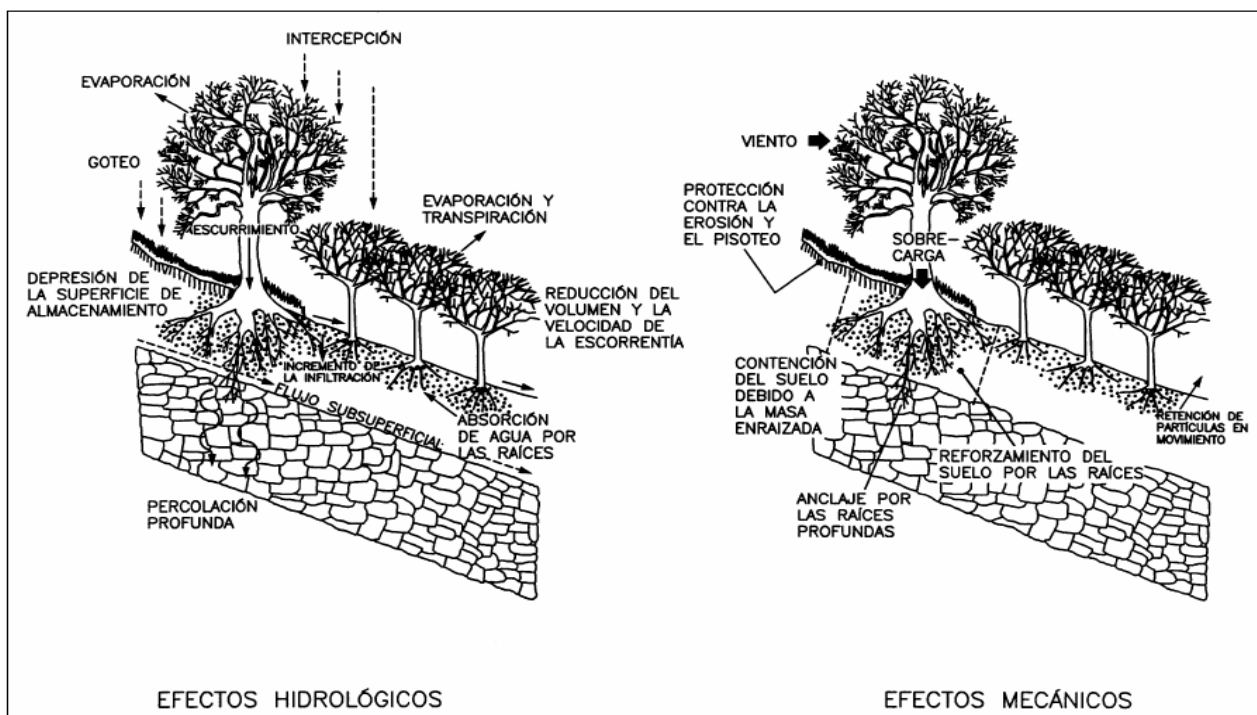
La vegetación incluyendo árboles, arbustos, hierbas y pastos representan la mejor protección contra la erosión. Las observaciones de los taludes naturales muestra que estos son más estables con vegetación que sin ella; Sin embargo, no existe claridad suficiente sobre los procedimientos de diseño de esta cobertura vegetal, especialmente en lo referente al efecto de las raíces de pastos, hierbas y árboles. La remoción de la cobertura vegetal expone el suelo a la acción de la lluvia, la escorrentía y el viento, facilitando la erosión. La vegetación es multifuncional, relativamente económica, se auto repara, es visualmente atractiva y no requiere generalmente, de equipos pesados o complejos para su instalación. Sin embargo, hay ciertas limitaciones como la susceptibilidad a las quemas y sequías, la dificultad de establecimiento en taludes de alta pendiente y la imposibilidad de resistir fuerzas de socavación o acción del oleaje, así como su lentitud de germinación y crecimiento (Abramson, 1996, citado por Suárez 2001).

León, describe los efectos de la cubierta vegetal frente a la acción provocada por el agua:

- **Dispersión directa:** Intercepción por el follaje y evaporación de gota de agua lluvia.
- **Transpiración:** Humedad que pasa de estratos profundos al aire.
- **Protección directa:** Contra el impacto de las gotas de lluvia.
- **Efecto sujetador:** El sistema radicular sobre las partículas del suelo.
- **Penetración de raíces a través del perfil:** Al morir dejan espacios que favorecen el proceso de infiltración y de aireación.
- **Mejoramiento de la estructura del suelo:** Principalmente por aporte de materia orgánica, y con ello el volumen y la velocidad del flujo.

En la figura 1 se muestra los efectos de la cubierta vegetal sobre el suelo, incrementa la capacidad de almacenamiento de agua del suelo y su tasa de infiltración, como consecuencia se produce una reducción del volumen de escorrentía generado y de su velocidad con el consiguiente efecto sobre la intensidad y extensión de los procesos erosivos.

Las raíces cumplen una función muy importante de absorción, grandes cantidades de agua son absorbidas por las plantas junto con minerales y productos que la planta requiere para su alimentación. El tronco soporta los órganos fotosintéticos y reproductivos, especialmente las hojas.



**Figura 1. Efectos hidrológicos y mecánicos de la vegetación sobre una ladera.**

(Fuente: Humaña, 2010)

En tabla 1, Suarez describe las ventajas y desventajas de los diversos tipos de planta.

**Tabla 1. Ventajas y desventajas de los diversos tipos de planta.**

| Tipo     | Ventajas  | Desventajas   |
|----------|---|---|
| Pastos   | Versátiles y baratos; variedades para escoger con diferentes tolerancias; fácil de establecer; buena densidad de cobertura. | Raíces poco profundas y se requiere mantenimiento permanente.       |
| Juncos   | Crecen rápidamente y son fáciles de establecer en las riberas de ríos.  | Difíciles de obtener y el sistema de plantación no es sencillo.     |
| Hierbas  | Raíz relativamente profunda.  | Algunas veces son difíciles de establecer y no se consiguen raíces. |
| Arbustos | Variedades para escoger. Existen especies que se reproducen por estaca. Raíz profunda, buena cobertura, bajo mantenimiento. | Algunas veces son difíciles de establecer.                          |
| Arboles  | Raíces profundas, no requieren mantenimiento.   | Es demorado su establecimiento y generalmente son más costosos.     |

(Fuente: Suarez, 2001)

### 2.3 Vegetación en taludes de alta pendiente

Se tiene como norma general que no es posible establecer buena vegetación en taludes de más de 60° de pendiente y es difícil de 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. En un principio si se tiene un proceso adecuado de cuidado el pasto puede germinar muy bien pero con el tiempo va muriendo poco a poco y con el paso de los años puede desaparecer (Helliwell D.R. 1995, citado por Suarez 2001).

Una de las causas por la cual es muy difícil establecer vegetación en taludes de altas pendientes, es que las aguas lluvias no logran ser infiltradas, al no existir infiltración la vegetación no captura la humedad requerida para germinar y permanecer viva. Además la pérdida de material por escurrimiento y la falta de nutrientes del suelo expuesto.

En taludes de alta pendiente la vegetación adicionalmente requiere tener un sistema de estructura que se integre con esta vegetación, para que ayuden a sostener la vegetación mientras esta se establece y que favorezca la infiltración de agua y la humedad.

## **2.4 Factores que afectan la revegetación**

El establecimiento exitoso de vegetación en un talud está determinado por muchos factores o limitaciones, sin duda que algunos parámetros son más determinantes o influyentes que otros en generar condiciones de revegetación. En determinadas variables que se mencionan a continuación se pueden dar soluciones de menos complejidad en comparación a otras, esto también depende del escenario que presenta el terreno del talud y la solución que se requiere plantear.

### *2.4.1 Época de siembra*

Las épocas ideales de plantación son las semanas anteriores a la temporada de lluvias, sin embargo esta variable se puede controlar al realizar la plantación en épocas secas disponiendo de un programa adecuado de riego, entonces la vegetación queda limitada a una mantención sistemática. Si se realiza en temporadas de lluvias es probable que la escorrentía superficial arrastre las semillas o descubra las raíces si se realiza una plantación. También depende de la característica de la especie vegetal, esta determina la época más idónea para su siembra o plantación.

### *2.4.2 Pendiente*

La pendiente es un factor determinante en la empleabilidad de la vegetación y del grado de dificultad que se pueda encontrar a la hora de plantar o revegetar en un talud. Para taludes de pendiente alta se requiere incorporara elementos para la germinación de la planta (nutrientes, estructuras para anclajes o colocación), para dar mayor estabilidad a la planta y aumentar la retención de humedad. Cabe recordar que a una mayor pendiente, la velocidad del escurrimiento superficial incrementa, siendo este un factor determinante en la generación de un mayor arrastre de material. En taludes de pendiente fuerte se aconseja no sembrar árboles, sino arbustos para disminuir las fuerzas del viento sobre ello, pero teniendo en cuenta la gran dificultad del trasplante en taludes de altas pendientes. Especialistas en vegetación recomiendan la utilización de pastos en taludes de altas pendientes ya que estos proporcionan protección a todo el talud contra el impacto de las gotas de lluvia y un mayor control en el escurrimiento superficial.

### 2.4.3 Material de la superficie

El material de la superficie determina la solución o tipo de recubrimiento que se puede emplear al talud, la humedad, la fertilidad y la resistencia a la penetración de las raíces en el suelo, están directamente relacionadas con la composición de los materiales de la superficie. Castro (2010), describe el grado de generar erosión potencial en una superficie y la capacidad de crecimiento de las plantas en distintos tipos de suelos (ver tabla 2).

**Tabla 2. Clasificación de erosión potencial de superficie y soporte para crecimiento de vegetación por tipo de suelo.**

| USDA textura del suelo   | Símbolo grupo USCS | Descripción USCS del suelo    | Erosión Potencial de superficie (Cárcavas, laminar viento) | Soporte para el establecimiento de vegetación |
|--------------------------|--------------------|-------------------------------|--|---|
| Grava                    | GW                 | Grava bien graduada           | Baja a Media   | Pobre   |
| Grava                    | GP                 | Grava pobremente graduada     | Baja   | Muy pobre                                     |
| Grava / Limo             | GM                 | Grava limosa                  | Baja a Media   | Pobre a aceptable                             |
| Grava / Arcilla          | GC                 | Grava arcillosa               | Baja   | Pobre a aceptable                             |
| Arena                    | SW                 | Arena bien graduada           | Media a Alta   | Pobre a aceptable                             |
| Arena                    | SP                 | Arena pobremente graduada     | Media a Alta - Erosión eólica alta                         | Muy pobre                                     |
| Arena Limosa             | SM                 | Arena limosa                  | Media a Alta   | Bueno a muy bueno                             |
| Franco Arcilloso Arenoso | SC                 | Arena arcillosa               | Media a Alta   | Bueno a muy bueno                             |
| Limo                     | ML                 | Limo                          | Alta Erosión eólica - Alta a muy Alta                      | Bueno a muy bueno                             |
| Arcilla                  | CL                 | Arcilla                       | Baja a Media   | Aceptable a bueno                             |
| Limo                     | MH                 | Limo de alta plasticidad      | Media  | Bueno   |
| Arcilla                  | CH                 | Arcilla de alta plasticidad   | Baja a Media   | Aceptable a bueno                             |
| -                        | PT, OL / OH        | Turba/Orgánico, Limo/Arcillas | Baja a Alta  | Muy bueno                                     |

(Fuente: castro, 2010)



#### *2.4.4 Localización*

La orientación del talud afecta al crecimiento de algunas especies vegetativas, con referencia a la localización del talud, los taludes que reciben la exposición directa del sol de la tarde presentan mayores dificultades, que los que reciben el sol de la mañana o poseen condiciones de sombra relativa.

La zona geográfica donde el clima es más seco o árido es más complejo empleo de vegetación, sin embargo en zonas como en el norte de Chile o zonas con climas adversos se logra establecer vegetación con la ayuda de tecnología.

La humedad con un alto contenido en sal, las aguas duras y la polución del aire tienen efectos químicos negativos en las plantas. Estos factores hay que tenerlos en cuenta cuando se toman decisiones sobre la aplicación de vegetación como elemento protector del talud.

#### *2.4.5 Germinación*

En un talud que queda sin cobertura vegetal y expuesta a la capacidad erosiva del agua (lluvia) y a la gravedad del talud, se expone al desprendimiento de material. Se hace necesario entonces, que la germinación, proceso mediante el cual una semilla se desarrolla hasta convertirse en una planta sea rápida y eficaz; la cual se dificulta en taludes de alta pendiente por la falta de retención de humedad y es precisamente esta sequedad (deshidratación) el factor principal que garantiza la viabilidad de la semilla. Además, dependiendo de la variedad de planta de que se trate, puede requerir mayor atención en cuanto a temperatura y condiciones de luz.

#### *2.4.6 Análisis de los factores*

En el análisis de las limitantes observadas que influyen en la problemática de revegetación de los taludes de alta pendiente, se hace evidente una mayor complejidad de controlar la pendiente y la germinación. La pendiente en la mayoría de los casos no es posible modificarla, dificultando el proceso de implementación de vegetación en el talud y el proceso de germinación. En el caso del parámetro de época de siembra este se puede manejar o implementar en época más adecuada para la vegetación y el tipo de suelo define la vegetación que se puede implementar sobre la superficie, como base se obtiene la vegetación más óptima para utilizar en el terreno.

## 2.5 Bioingeniería

El término bioingeniería se está estableciendo en nuestra sociedad, cada vez más preocupada por el medio ambiente y sus recursos naturales (León, 2001). En los últimos años, se ha extendido por todo el mundo la práctica de la revegetación, como sistema de integración medioambiental y paisajística de muros y taludes.

La bioingeniería comprende el uso de la vegetación para la estabilización de taludes y el control de la erosión. La bioingeniería de suelos es única en el sentido de que las partes de la planta por sí mismas o sea las raíces y el follaje funcionan como los elementos estructurales mecánicos para la protección del talud. Los elementos vivos se colocan en el talud en diversos sistemas de arreglos geométricos en tal forma que ellos actúan como refuerzo, como drenaje o como barreras para los sedimentos (Suárez, 2001). Conceptualmente se utiliza el término bioingeniería para referirse a aquellas técnicas que usan cualquier forma de vegetación, ya sea una simple planta o una colección de ellas como material de ingeniería (es decir aquel material que tiene características y comportamientos cuantificables) (Castro, 2010).

Suárez (2001), describe que la bioingeniería tiene como objetivo satisfacer las siguientes finalidades en distintos ámbitos.

- 1- Finalidad técnica: protección contra los agentes erosivos y ayuda a la estabilización de las pendientes frente a los deslizamientos.
- 2- Finalidad ecológica: creación de ambientes naturales mediante el empleo de técnicas de restauración del paisaje, principalmente con especies autóctonas que contribuyan a acelerar la recuperación del ecosistema original de la zona.
- 3- Finalidad estética y paisajista: disminución del impacto causado por obras humanas y agentes naturales, y adecuación al paisaje circundante.
- 4- Finalidad socioeconómico: relativa al beneficio social y a la gestión económico de los recursos naturales, con una disminución de los costos constructivos y energéticos.

### **3. SISTEMA DE RECUBRIMIENTO**

#### **3.1 Antecedentes generales**

En el capítulo anterior se ha expuesto el problema de regeneración de revegetación, la cual afecta a los taludes de altas pendientes, sin duda que la vegetación cumple un papel muy importante en control del arrastre superficial de material y que los sistemas de recubrimientos existentes cumplen con este objetivo, pero existen grandes falencias y desventajas en taludes de altas pendientes. Actualmente no hay capacidad de colocación de manto vivo en taludes de altas pendientes, en el caso de hidrosiembra no resisten grandes intensidades de lluvia y no asegura el proceso de germinación; la falta de nutriente en los taludes de altas pendientes dificulta la germinación de semillas y la capacidad de subsistir de las plantas.

La propuesta de recubrimiento a implementar aborda directamente dos de los factores que afectan la revegetación. La pendiente, incluyendo un sistema de anclaje para establecer la vegetación y la germinación, eliminándola a través de tepes de pastos.

En el avance de nuevas propuestas de sistemas de recubrimiento vegetal se han atacado las dificultades mencionadas, Contreras (2015) propone la utilización de una cobertura herbácea en conjunto con una malla metálica para el control de erosión. La gran dificultad o desventaja presentada en este proyecto es el tiempo en generar los tepes de pasto en conjunto con la malla metálica, el tiempo de germinación y posterior enraizado determina el éxito de los tepes de pasto generados; las raíces generan el entrapado del suelo, malla y vegetación. Otra dificultad que presenta el tepe de pasto generado es su peso, al incluir una malla en el centro de la porción de tierra, aumenta el espesor del tepe provocando un aumento en su masa. El aumento de peso dificulta el traslado y su posterior instalación.

En otra propuesta estudiada, Riveros (2003) consistió en una estructura de alojamiento de malla hexagonal, la cual es anclada al talud por anclajes metálicos. La estructura forma una serie de celdas que permiten alojar un sustrato de suelo mejorado con nutrientes, de manera que la implantación de los vegetales seleccionados se desarrolle correctamente. Las especies vegetales utilizadas fueron plantas (Doca, Dimorfeteca y Gongona).

El tiempo en la adaptación o compactación del sustrato es lento, realizada la etapa experimental Riveros (2003), observo perdidas de suelo en cifras menores. Otra desventaja, es que las plantas no proporcionan una cobertura total del talud.

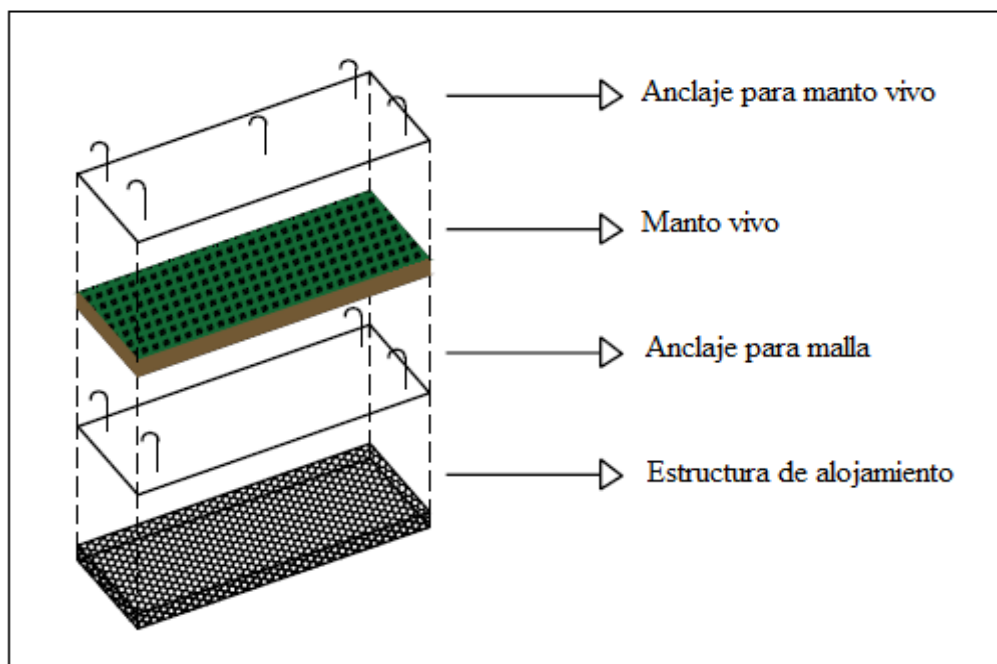
Se busca con la nueva alternativa de recubrimientos de taludes es disminuir las desventajas o problemáticas que presentan los taludes de altas pendientes y aumentar algunas las aptitudes técnicas en comparación de los sistemas ya existentes, el sistema de recubrimiento a implementar o experimentar se destacan los siguientes puntos:

- Capacidad de recubrir el talud de forma inmediata. Sin duda que en toda búsqueda de solución a una problemática los tiempos son de gran importancia y muy limitados, una técnica para asegurar el recubrimiento inmediato son los tepes de pastos.  
En la utilización de tepes de pastos eliminamos la etapa de germinación, al implementar una solución de siembra de semillas se encuentra con la etapa de germinación, la cual es mucho más dificultosa en taludes altas pendientes, debido la falta de nutrientes que estos poseen sus suelos. Además, en épocas de invierno se enfrenta al escurrimiento superficial, produciendo el arrastre de semillas.
- Sistema de sujeción, al existir un sistema de sujeción o anclaje mejora la adherencia del recubrimiento al talud. El anclaje permite implementar manto vivo en taludes de altas pendiente y fijarlo a la cara del talud.
- La capa vegetativa es adosado a un material orgánico. Los taludes de alta pendiente poseen poca capacidad de retención de agua y nutrientes, por lo tanto el tepe de pasto aportara un porcentaje de nutrientes para su posterior crecimiento, los nutrientes son sustancias químicas disueltas en la humedad del suelo, necesarias para el crecimiento y desarrollo normal de las plantas, además, la vegetación (los pastos) permite la acumulación de partículas finas y de nutrientes.
- Efecto visual paisajístico, entrega belleza escénica del entorno natural.

Para evidenciar el correcto funcionamiento del sistema de recubrimiento se deben observar variables de medición, que no van relacionadas directamente con los factores relevantes de revegetación, van directamente relacionadas con las características del sistema de recubrimiento. Se relaciona con las capacidades de los elementos utilizados, en definitiva se quiere analizar su capacidad de alojamiento y adaptación, su capacidad de enraizamiento y su perdurabilidad en el tiempo.

### 3.2 Propuesta del sistema de recubrimiento

Se propone entonces, el sistema compuesto por una estructura de alojamiento la cual es una malla hexagonal galvanizada, para el manto vivo se propone tepes de pastos y el sistema de sujeción o anclaje fierro liso de 6 milímetros en forma de semi-grampa (figura 2), en el desarrollo de este capítulo se especifica la elección y utilización de los materiales ya mencionados.



**Figura 2. Composición del sistema de recubrimiento.**

(Fuente: elaboración propia)

### 3.3 Cubierta vegetal

Los tepes son porciones de tierra cubierta de césped, muy trabada por las raíces, que se cortan en dimensiones determinadas para la instalación en otros sitios. La densidad de sus tallos y hojas interceptan las gotas de lluvia eliminando de lleno la erosión por salpicadura y disminuye la fuerza de arrastre de la escorrentía.

La característica primordial de la vegetación a implementar es su capacidad de recubrimiento inmediato, además de las propiedades del vegetal. También, la eliminación de la etapa de germinación, como ya se ha mencionado anteriormente las desventajas que presenta este ciclo.

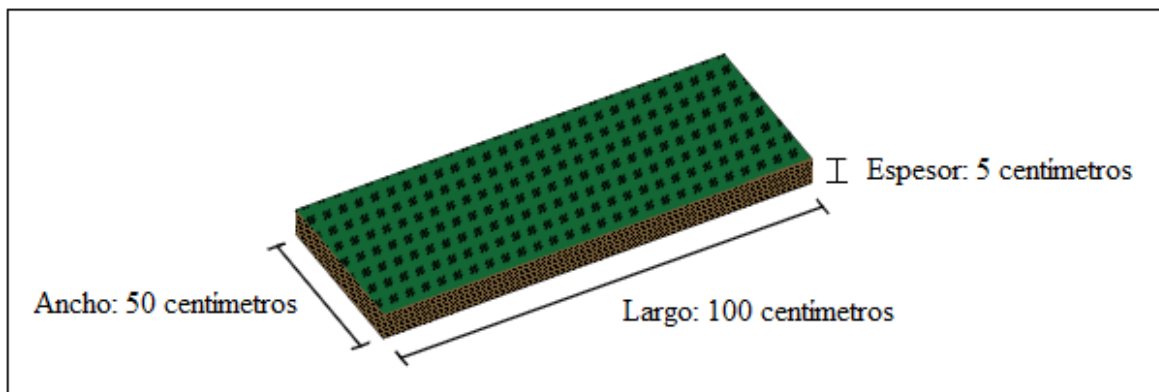
La gran ventaja entregada por los tepes de pasto es que tiene una capa de suelo que mantiene vivo el pasto, solo requiere humedad a través de riego hasta que logre el propio pasto pueda obtenerla directamente del suelo mediante el enraizado.

Los pastos son el tipo de vegetación más comúnmente utilizado para el control de escurrimiento superficial, existen una gran variedad de especies, y esto facilita su empleo.

Para la elección de los tepes de pasto se emplearon los siguientes criterios.

- Que estos sean de fácil adquisición, que el mercado disponga de ellos de forma rápida y continua.
- Que el costo de los tepes sea acorde a los precios del mercado, complementado con la capacidad técnica necesaria para implementar en la zona requerida, que sean pastos para cualquier época del año y que su mantención sea moderada.
- Que visualmente la capa de pasto sea suficientemente uniforme para que permita que las precipitaciones no impacten en forma directa la cara del talud.

Con estos criterios empleados se concluyó utilizar tepes de pastos comercializados permanentemente en el mercado de áreas verdes, las dimensiones se observan en la figura 3.



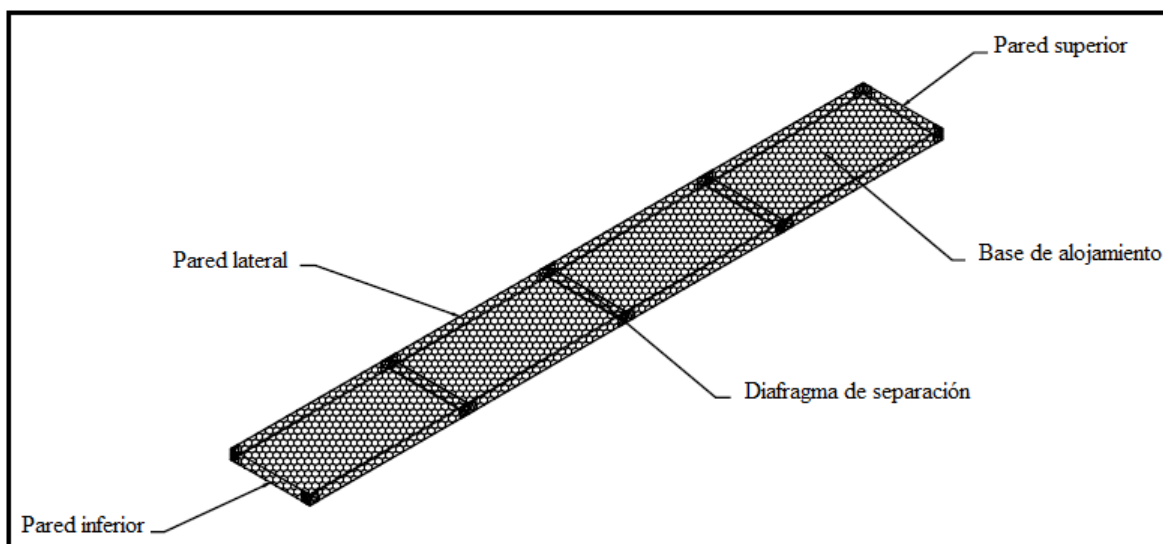
**Figura 3. Dimensión del tepe de pasto.**

(Fuente: elaboración propia)

Mencionar que el mercado de generación de tepes de pasto desarrolla productos con semillas de distintas calidades, características y para distintos usos o requerimientos. La composición de la cubierta vegetal a implementar se compone de las siguientes semillas: *Lolium perenne* en un 55% y *festuca arundinacea* en un 45%, información entregada por el proveedor. En el anexo B se profundiza las características de cada especie.

### 3.4 Estructura de alojamiento

La estructura de alojamiento se refiere al esqueleto que mantendrá estable la vegetación, esta estructura consiste en una serie de celdas donde se colocaran los tepes de pastos, está compuesto por la base, paredes laterales, paredes superior e inferior y un diafragma de separación como lo muestra la figura 4. La estructura planteada se ideó en base a la experiencia experimentada por Riveros (2003), las dimensiones son otras por la finalidad de cada recubrimiento, en el proyecto implementado son tepes de pasto, esto influyó en la determinación de las nuevas dimensiones.



**Figura 4: Composición de la estructura de alojamiento.**

(Fuente: elaboración propia)

Se optó por la utilización de malla hexagonal galvanizada, respecto a otro tipo de material considerando condiciones técnicas y económicas. Esta malla es comercializada para distintos usos domésticos y para construcción.

La materialidad y el diseño de la estructura de alojamiento entregan varias características:

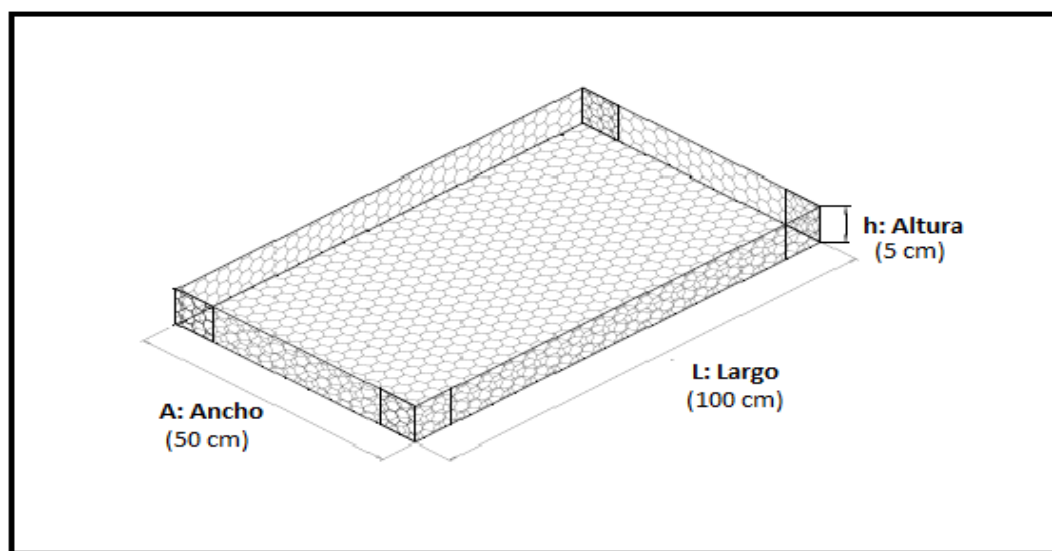
- Flexibilidad, lo que permite adaptarse de buena forma a las irregularidades de la superficie del talud. Esto es muy relevante, ya que la malla siempre debe estar en contacto con el suelo para que de igual forma lo haga la capa vegetal y se pueda producir el enraizamiento de los tepes de pasto.
- Rigidez, a diferencia de las mallas plásticas las paredes y los diafragmas de la estructura a diseñar, son lo suficientemente rígidos para sostener el peso de los tepes de pasto.
- Mayor resistencia para la sujeción, el alambre de la malla es lo bastante resistente para sostener la estructura en los puntos de esfuerzos que se producen en la zona de sujeción del sistema. Evitando posibles deslizamientos de la estructura.
- Abertura del entramado, la abertura del entramado es de  $\frac{3}{4}$  pulgadas facilitando la penetración o paso de las raíces del pasto hacia el talud y el libre tránsito de los nutrientes.
- Moldeable, son fáciles de cortar y de realizar los pliegues para dar la forma a la estructura.



- Liviano, la estructura es de muy poco peso. El caso de la estructura a utilizar figura 3, su peso es de 800 gramos.
- Degradación, la degradación es relativamente rápido en comparación a las mallas de polímeros, debido a que el diámetro del alambre es relativamente pequeño por lo que resulta menos dañino para el medio ambiente.

### 3.4.1 Dimensiones de la estructura

En el mercado comercial existen distintas medidas para las mallas hexagonales, por lo tanto es más flexible otorgar las medidas correctas y el mejor aprovechamiento de las mallas, sin que se produzcan mayores pérdidas por los despuntes. Las dimensiones de la estructura de alojamiento están determinadas en base a las dimensiones de los tepes de pasto. Cada celda tendrá la dimensión del tepe de pasto (figura 5), en la cual se definen claramente las dimensiones de, ancho, largo y altura. El largo total de la estructura es definido por las condiciones de seguridad y trabajabilidad que se pueda experimentar en el talud, se decidió 4 celdas lo que da un largo total de 4 metros (figura 4).



**Figura 5: Dimensiones de una celda de la estructura de alojamiento.**

(Fuente: elaboración propia)

### *3.4.2 Confección de estructura de alojamiento*

Dada las dimensiones de la estructura de alojamiento establecidas anteriormente se optó por adquirir una malla hexagonal galvanizada de 0.6 metros de ancho por un largo de 50 metros, para disminuir las pérdidas por cortes. El ancho total para darle forma al ancho de celda de la estructura es de 60 centímetros, por lo cual se tiene un aprovechamiento del 100 % y además se evita los cortes para lograr la medida del ancho.

Para lograr el largo total de la estructura, la malla se debe cortar a 4.40 metros, con estas dimensiones se logra el largo de 4 metros de largo, los restantes 0.4 metros se reparten en las paredes superior e inferior y los diafragmas de separación.

Con las dimensiones ya definidas se le da la forma a la estructura, realizando los cortes necesarios, luego los dobleces y finalmente el amarre con alambres del mismo espesor que la malla hexagonal. En Anexo F, se complementa con imágenes el proceso de confección de la estructura de alojamiento.

## **3.5 Sistema de sujeción o anclajes**

Se denomina sistema de sujeción a la estructura que evita el deslizamiento de la estructura de alojamiento y de la capa vegetal, en la instalación de la estructura al talud. Esta tiene la función de soportar la masa de la estructura, es de gran relevancia mientras la especie vegetal no desarrolle su capacidad de enraizar o penetrar el sustrato de la cara del talud. Para ningún caso el sistema de sujeción cumple una condición de dar mayor estabilidad al talud.

### *3.5.1 Formato de los anclajes*

Los anclajes están elaborados a partir de una barra de acero de 6 mm de diámetro y longitud total 25 centímetros, dándole una forma de semi-grampa (figura 6). Se considera esta forma o diseño dado que los 20 centímetros rectos cumplirán el agarre o fricción al producirse la penetración en el suelo del talud. Los restantes 5 centímetros se curvan en un semi-círculo encargado de sostener la adherencia de la malla y manto vivo hacia el talud.



**Figura 6. Diseño del anclaje**

(Fuente: elaboración propia)

Se consideró 4 anclajes en cada celda de la estructura para sujetar la malla, más allá de sujetar la malla al talud es dar el mayor contacto de la malla con el talud, considerando que el peso de la malla es muy mínimo. Para sujetar el tepe de pasto se consideró 5 anclajes, en este caso igual se pensó dar el mayor contacto del tepe de pasto con la cara del talud, pero aquí influye el peso de la capa vegetativa, por ende se consideró agregar otro anclaje.

### *3.5.2 Confección de sistema de sujeción.*

En la confección del sistema de sujeción, se utilizó fierro liso de 6 metros de largo, los cuales son cortados a 25 centímetros de largo y finalmente doblado para darle la forma de semi-grampa.

#### **4. PARCELA DEMOSTRATIVA**

Con el fin de verificar el sistema de recubrimiento propuesto de alta pendiente se constituye una parcela demostrativa en un talud de tamaño real. En esta etapa se analiza en condiciones de terreno, la implementación y comportamiento del sistema de recubrimiento, que pretende determinar a través de una parcela demostrativa la efectividad del recubrimiento en un talud real, su capacidad de alojamiento y adaptación en un talud de alta pendiente y su capacidad de enraizamiento.

Se decidió trabajar con cinco franjas de experimentación todas unidas entre sí, para que el sistema de recubrimiento trabaje de forma conjunta, las franjas hace referencia a las estructuras de alojamientos con sus respectivos mantos vegetativos y anclajes. Las cinco franjas abarcan una superficie total de 10 metros cuadrados, logrando cubrir aproximadamente un 70 % del talud experimentado.

El periodo de seguimiento a la parcela demostrativa se realizó del lunes 17 de noviembre del 2014, fecha donde se ejecutó la instalación del sistema de recubrimiento, hasta el 9 de enero del 2015, dando un total de 8 semanas de observación. Además una observación final en el mes de marzo del 2015, considerando que en el periodo enero-febrero no se realizó riego.

El periodo primavera-verano en la cual se implementó la experiencia, se requirió realizar un riego moderado, el lugar emplazado para ensayar el talud no existía disponibilidad de redes de agua, con lo que se acudió a un riego manual de 2 veces por semanas en el periodo de las 8 semanas de seguimiento. En los meses noviembre-diciembre se realizó el riego.

#### 4.1 Habilitación y características del talud

Se habilitó un talud ubicado en cerro al interior de la Universidad del Bío-Bío, específicamente el laboratorio de geotecnia y medio ambiente (LAGEMA), ver figura 7.



**Figura 7. Talud de experimentación. a) vista frontal. b) vista lateral.**

(Fuente: elaboración propia)

Previo a la instalación del sistema de recubrimiento se efectuó una limpieza y despeje del lugar de trabajo, dado que este inicialmente se encontraba con excesiva presencia de vegetación, además la presencia de raíces, con el objetivo de que la experimentación sea ejecutada de forma satisfactoria.

Como se menciona en el Anexo C el tipo de suelo es una arena limosa (SM), un suelo bueno a muy bueno para el establecimiento de vegetación como se indica en la tabla 2. Otro factor a tener en consideración es la humedad con la cual se encuentra el terreno, la que corresponde a un 12% de humedad, es necesario considerarlo ya que para el normal proceso de desarrollo de crecimiento del pasto se requiere humedad.

La pendiente promedio del talud corresponde a 60° de inclinación, es una pendiente promedio ya que el terreno no posee una superficie uniforme. La orientación de la cara del talud corresponde hacia la dirección Este.

## **4.2 Implementación del sistema de recubrimiento**

En la implementación del sistema de recubrimiento de manto vivo, se describe la etapa de instalación.

### *4.2.3 Instalación del sistema de recubrimiento*

En Anexo G, se complementa con registro fotográfico la etapa de la instalación del sistema de recubrimiento de manto vivo.

#### a) Traslado de materiales

Se menciona este punto para destacar la flexibilidad en poder realizar el traslado de la estructura de alojamiento, por las condiciones de materialidad de la malla hexagonal galvanizada se puede enrollar para facilitar su traslado. Los tepes de pasto comercialmente los venden en rollos, de igual manera facilita su traslado.

#### b) Instalación de estructura de alojamiento

Para la instalación de la estructura de alojamiento, se desenrollaron las mallas desde los 4 metros de altura hasta el pie del talud y sujetadas con sus anclajes correspondientes, según se menciona anteriormente.

#### c) Instalación de tepes de pasto

Realizada la etapa anterior se prosiguió con la instalación de los tepes de pastos sobre la estructura de alojamiento, cada tepe fue colocado dentro de una celda de alojamiento para su posterior anclado al talud.

En la figura 8, se muestra el sistema totalmente instalado.



**Figura 8. Sistema de recubrimiento instalado.**

(Fuente: elaboración propia)

### **4.3 Medición cualitativa de variables relevante**

Durante la realización de parcela demostrativa se examinó los siguientes puntos.

#### *4.3.1 Capacidad de alojamiento y adaptación al talud*

La capacidad de alojamiento hace referencia específicamente a la flexibilidad y trabajabilidad que debe poseer el sistema de recubrimiento propuesto, además se debe tener en cuenta que la finalidad es implementarlo en sectores que normalmente presentan condiciones adversas para su transporte e instalación.

La adaptación al talud apunta a la adherencia, unión del sistema de recubrimiento con el talud o la resistencia al deslizamiento que tendrá dicho sistema con la superficie de contacto, con el fin de facilitar el enraizado entre el manto vivo y el suelo del talud.

En la evaluación de la adherencia se pueden definir dos etapas, la primera es la adherencia inmediata que proporciona el sistema de sujeción o anclaje. Y la segunda es la adherencia que posteriormente proporciona el enraizado de la vegetación.

#### *4.3.2. Enraizado*

El enraizado es el encargado de generar la unión de los mantos vivos con la superficie del talud, como se hace mención en el punto anterior el enraizamiento junto con los anclajes son los encargados de fijar los mantos en el talud.

Este parámetro es uno de los más relevantes al momento de proponer y generar este tipo de recubrimiento, si las raíces del manto no son capaces de penetrar la superficie del talud no se producirá la adherencia a largo plazo y tampoco posterior desarrollo o crecimiento de la cobertura vegetal, por consecuencia, lo más probable que el pasto desaparecerá sin asegurar el control de erosión.

Para determinar el enraizamiento se levantará los tepes de pasto, si al efectuar esta acción el tepe opone resistencia quiere decir que se está produciendo la enraización. Hay otra forma en la cual podemos determinar la aclimatación de la vegetación, se debe observar la verticalidad de tallos y hojas del césped, lo que indica que la cubierta herbácea se mantiene con vida y es probable que sea debido al enraizado.

#### *4.3.3 Perdurabilidad del sistema*

La perdurabilidad hace referencia a la durabilidad, permanencia o capacidad de mantenerse un elemento en el tiempo. Igualmente uno de los objetivos en buscar nuevas alternativas de recubrimientos es la capacidad de estos subsistir a través tiempo. En definitiva se observará la capacidad del sistema en subsistir en el ambiente experimentado.

En la ficha técnica de los tepes de pasto (ver Anexo D), se especifica que el uso es para toda época del año y debe existir un riego moderado. Con respecto a lo último es de gran relevancia para que se produzca la perdurabilidad del sistema, sobre todo en época estival.



## **5. ANÁLISIS DE RESULTADOS**

En lo siguiente se expone el comportamiento del sistema de recubrimiento de manto vivo para taludes de alta pendientes, especialmente en la etapa de experimentación y los resultados enfocados en los factores y variables relevantes. Realizando un análisis de evaluación en el proceso de instalación, adaptación y su desarrollo.

### **5.1 Análisis de la influencia de los factores relevantes en la revegetación de talud**

De los factores relevantes descritos en el capítulo 2, influyeron directamente dos factores en la revegetación del talud. El primero es la pendiente, para poder instalar la vegetación en el talud se incorporó una estructura de alojamiento y un sistema de anclaje, logrando establecer de manera exitosa la vegetación al talud. La segunda es la germinación, proceso de mayor dificultad en un talud de alta pendiente, esto se abordó eliminando el proceso de germinación a través de los tepes de pastos, además los tepes poseen una capa de suelo que aporta nutrientes al talud.

La época de siembra influye en un rango menor, la época primavera-verano no es la más ideal para instalación de vegetación, pero se dispuso un riego manual periódico, controlando la variable de época de siembra. La localización no afecta en la parcela demostrativa, teniendo sol solo en las tardes. Por último el tipo de suelo está dado por la condición geológica del terreno y no es modificable, en este caso influyo de forma positiva, el suelo del talud es una arena limosa un suelo bueno a muy bueno para el crecimiento de vegetación.

### **5.2 Desarrollo de la estructura y transporte de materiales**

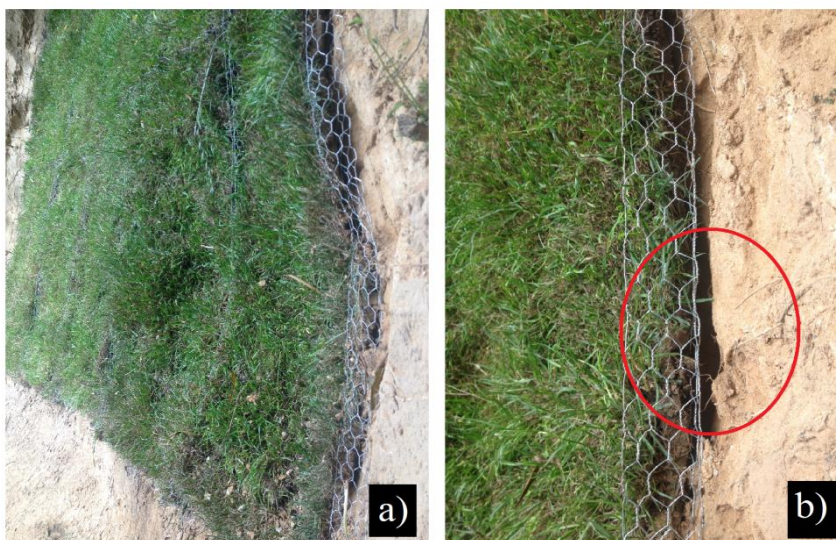
Debido a las características de la materialidad de la malla hexagonal galvanizada, se destaca la facilidad para el traslado de los materiales, ya que ambos pueden ser enrollados. Igualmente se trabajó de manera relativamente fácil, el espesor de los alambres relativamente pequeño facilita el corte de estos y su capacidad de darle forma, destacando a la vez la rigidez que estos adquieren trabajando en forma conjunta.

Con respecto a la fabricación de los anclajes no se produjeron mayores dificultades, cabe recordad que en la actualidad, en el área de la construcción hay métodos convencionales para darle formas a los aceros estructurales.

### 5.3 Comportamiento del proceso de Instalación y adaptación

Recordar que el largo total de la estructura es de 4 metros, a esa altura se utilizó una escalera facilitando instalación del sistema de recubrimiento.

La estructura de alojamiento es liviana no presenta mayores dificultades para alojar y anclar al talud. Se ha destacado la flexibilidad de las mallas y de los tepes de pasto, los cuales se acomodan a la superficie con presencias de irregularidades, esto es efectivo para discontinuidades poco bruscas (figura 9-a), ya que al existir discontinuidades muy severas (hoyos, socavón o baches), la malla no queda en contacto con la superficie del talud, esto se aprecia en la figura 9-b.



**Figura 9. Adaptación del sistema de recubrimiento.**

(Fuente: elaboración propia)

Los tepes de pastos presentan distintos pesos, esto se debe a los distintos porcentajes de humedad que posee cada tepe, el promedio de estos son 15 kilogramos. El peso dificulta o hace más riesgosa la manipulación para el desenrollado del manto.

El anclaje es introducido a través de percusión, en su gran mayoría los anclajes que se introducen al talud quedan con suficiente apreté, al ser estos lisos en partes del talud donde el suelo se encuentra menos compacto, no logran quedar lo suficientemente estable o no se produce la fricción requerida, por lo se incrustan más anclajes en la zona de conflicto.

## 5.4 Evaluación de enraizado

El enraizado es otro de los parámetros relevantes para evaluar el resultado de la propuesta.

En la segunda semana se manifiestan las primeras raíces poco profundas, con un promedio de 1 centímetro de penetración de largo, relativamente parejo en todo el tepe y solo en las superficies de contacto (ver figura 10-a). En la cuarta semana las raíces han alcanzado una mayor longitud, pero también solo en las zonas de contacto con el talud, (figura 10-b). Para la séptima semana la profundidad o largo de las raíces son similares a las observadas en la cuarta semana, pero sin embargo se advierte una mayor densificación de las raíces (figura 10-c), desarrollando raíces incluso en las zonas donde no existe contacto, pero estas no alcanzan a penetrar la superficie debido a la distancia de separación del tepe con el suelo, la distancia es aproximadamente 2 centímetros. Las zonas donde no se produjo el desarrollo de raíces se logara mantener vivo por la porción de suelo existente en el tepe de pasto y a la humedad entregada por el riego.



**Figura 10. Proceso de enraizado. a) enraizado en 2 semanas. B) enraizado en 4 semanas. c) enraizado en 7 semanas.**

(Fuente: elaboracion propia)

Al evaluar 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 estimándolo en forma conservadora en un 90 %, de la superficie cubierta.

## 5.5 Perdurabilidad del sistema

Al analizar la perdurabilidad de la propuesta, los mantos deben asegurar el recubrimiento a largo plazo. Para esto es necesario que la cubierta se adapte a las nuevas condiciones del terreno y sin duda darle la mantención necesaria a la vegetación, para que se lleve a cabo la penetración de las raíces en el talud; que es lo principal.

El periodo primavera-verano en la cual se implementó la experiencia, se realizó el riego moderado establecido, logrando el desarrollo exitoso de la vegetación. Se aprecia en el desarrollo de raíces y la orientación vertical que adopta el pasto, además en lo verdoso del pasto.

En los meses noviembre-diciembre se realizó el riego. En enero-febrero no se realizó riego provocando el deterioro de la vegetación (figura 12-a), pero no en su totalidad; se observan algunos tallos con vidas (figura 12-b). También al realizar el tacto de los tallos deteriorado (los de color café claro), se detecta que aún conservan algún grado de humedad. Sin duda la carencia de riego establecida como requerimiento de la especie escogida provoco el daño a la vegetación.

La perdurabilidad entonces, se asegura bajo las condiciones de requerimientos establecidas y de la capacidad de la especie. También las condiciones climáticas.



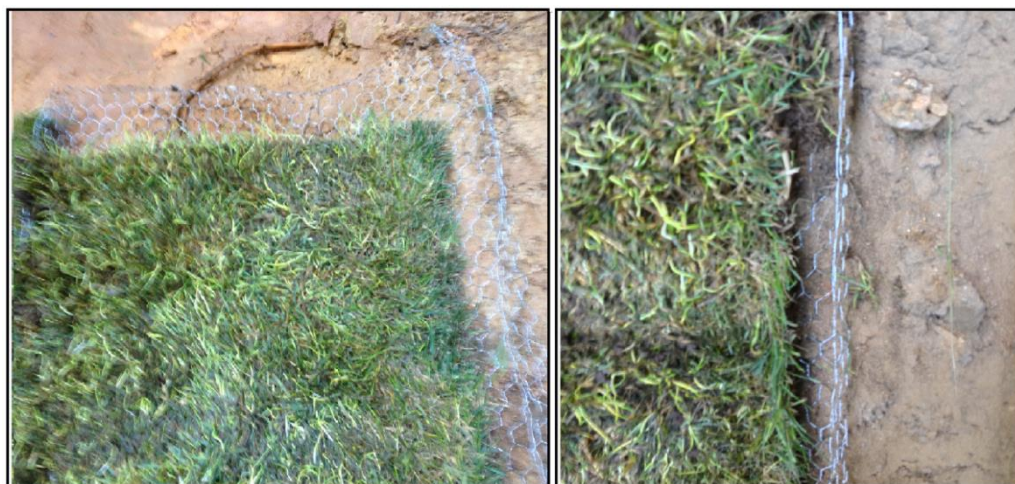
**Figura 12. Recubrimiento sin mantención.**

(Fuente: elaboracion propia)

## 5.6 Comportamiento o evaluación general del sistema de recubrimiento

Al analizar el comportamiento general del sistema se enfoca en todo su conjunto, en la actuación de todos sus elementos (base de alojamiento, manto vegetal y sistema de sujeción). Sin duda que el sistema es flexible en su conjunto, reconociendo las características individuales de los elementos hace de gran trabajabilidad el sistema en colectivo.

Los tepes comerciales adquiridos mayormente si cumplían las medidas descritas en el producto, sin embargo, existían tepes con mayores e inferiores mediadas señalas, provocando que limitada cantidad de superficie quede expuesta (figura 11). Se extrajo porciones de tepes sobrantes para cubrir el área faltante y dar una solución de cobertura total del talud.



**Figura 11. Tepes de menores longitudes.**

(Fuente: elaboración propia)

Durante el estudio se observa que el sistema de recubrimiento no sufre deslizamientos, manteniéndose en la posición instalada, por lo tanto los anclajes cumplen su función de unión; generando la adherencia primaria que requiere el sistema. La adherencia secundaria la concede el enraizamiento, la cual se produce de forma satisfactoria a los 2 meses de instalación; bajo las condiciones que el vegetal requiere (riego).

## 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Los resultados del proyecto fueron satisfactorios en cuanto a la aplicabilidad del sistema de recubrimiento de manto vivo para taludes de altas pendiente. Una vez finalizado el periodo de implementación de los mantos y tras un seguimiento a lo largo de todo el proceso de la etapa experimental lo primero que se observa es que la estructura de alojamiento otorga la rigidez y sostenibilidad al sistema destacando la flexibilidad y ayudando al desarrollo de las raíces del manto vegetal. En consecuencia la inclusión de malla metálica es totalmente valida.

Los tepes de pasto se habitúan a la condiciones del talud, desde la instalación el recubrimiento, este se mantiene, el enraizado se genera y la verticalidad de los tallos indica una exitosa adaptación. Dado lo anterior se puede prever un revestimiento duradero, bajo el mantenimiento mínimo que requiere el vegetal. Cabe mencionar igualmente que la revegetación con el manto vivo consigue un embellecimiento y un entorno amigable con el medio ambiente.

Los elementos empleados en el sistema propuesto son de fácil adquisición, el mercado comercial cuenta con una oferta continua. También se destaca lo práctico que es el proceso de instalación, dadas las características de los materiales; se hace referencia específicamente a que son livianos y de fácil manipulación. Considerando estos puntos el sistema es de fácil y rápida aplicabilidad. El sistema se puede emplear en taludes de altas pendientes y a mayores alturas, utilizando métodos de trabajabilidad similares existentes en sistemas de recubrimiento usados en hidrosiembra o mantos orgánicos.

El periodo de tiempo donde se implementó la parcela demostrativa aumentó la fragilidad del éxito del sistema propuesto, debido al clima de altas temperaturas, provocando la disminución de la humedad en tiempos más cortos. Con el poco riego realizado se logra desarrollar la vegetación, al no existir riego en un tiempo prolongado como se muestra en el punto de perdurabilidad del sistema, la vegetación detiene su desarrollo. Para esto se recomienda realizar la implementación del sistema en periodos de mayores humedades (otoño o primavera) o la otra opción es implementar un riego sistemático y adecuado para que la vegetación se encuentre establecida y sea permanente. Otra recomendación a la condición adversa del clima es buscar tepes de pastos con especies que se adapten a condiciones adversas como lo es la sequía.

Para el caso donde no se produce la fricción necesaria de los anclajes con el suelo, se recomienda aumentar el diámetro de los fierros y usar barras estriadas.

Se recomienda que el talud posea una superficie plana, con pocas irregularidades para una mejor adaptación del sistema (tepe-talud), lo que eventualmente hará necesario realizar trabajos en el terreno para alcanzar este escenario. Para que el enraizamiento se produzca en la totalidad de la cobertura vegetal.

En conclusión general los resultados obtenidos son mayormente satisfactorios, se genera el recubrimiento inmediato y se produce el enraizamiento; existiendo reparos y falencias solucionables en futuras aplicaciones. Principalmente el sistema cumple con las aptitudes técnicas planteadas.

## BIBLIOGRAFÍA

Castro, A. (2010).” Técnicas de protección de taludes viales utilizadas en la zona central de Chile”. Memoria de Título, Ingeniería Civil, Universidad de Chile, Chile.

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.

Contreras, N. (2015). “Propuesta de recubrimiento de taludes en base a manto vivo de césped y malla metálica”. Proyecto de título, Ingeniería Civil, Universidad del Bío-Bío, Chile.

Corominas, J. Y Garcia Yague, A. IV (1997), *Simposio Nacional sobre Taludes y Laderas Inestables. Terminología de los movimientos de laderas*. Editorial Granada, España.

De Matteis, A. (2003). *Geología y Geotecnia - Estabilidades de taludes*, Universidad Nacional de Rosario, Facultad de Cs. Exactas, Ingeniería y Agrimensura. Argentina.

Gray, D., (1996), *Biotechnical and Soil Bioengineering Slope Stabilization: A Practical Guide for Erosion Control*. Editor John Wiley & Sons. Canada.

Hernández, D. (2011). ”Influencia de la pendiente y la precipitación en la erosión de taludes desprotegidos”. Proyecto de Título, Ingeniería Civil, Universidad del Bío-Bío, Chile.

Humaña, E. (2010), Evaluación de protección de taludes de alta pendiente con distintas alternativas de hidrosembado, Departamento Ingeniería Civil, Universidad del Bío-Bío, Chile.

León Peláez, 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.

Nazal, J. (2007). “Control de la Erosión en Taludes mediante Biomantos y Cubierta Vegetal”. Proyecto de Título, Ingeniería Civil, Universidad del Bío-Bío, Chile.

Rivas, L. (2011). “Análisis del frente húmedo en talud real, a través de muestreo con equipo de penetración dinámica”. Proyecto de Título, Ingeniería Civil, Universidad del Bío-Bío, Chile.



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-Bío, 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: SISTEMAS DE PROTECCIÓN DE TALUDES

En la actualidad existen distintos sistemas de protección a taludes, a continuación conoceremos los más utilizados:

- **Hidrosiembra**

Es un método rápido y económico de siembra, a través de proyección hidráulica que permite la revegetación, previniendo la erosión de suelo, ya que ayuda a establecer la cubierta vegetal. Este método permite implantaciones uniformes en superficies inaccesibles para cualquier otro método tradicional de siembra.

La hidrosiembra consiste en una mezcla homogénea de semillas, mulch, fijadores, fertilizantes y agua, proyectado sobre el terreno mediante una máquina hidrosebradora. La hidrosiembra es realizada en los suelos pobres (ausencia de materia orgánica, déficit de elementos nutritivos).

- Agua: Esta es de vital importancia para las semillas, ya que actúa como solvente, portador y acelerador del proceso de germinación de las semillas.
- Semilla: 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. Se deben elegir especies de rápida germinación, enraizamiento vigoroso, pronto desarrollo, poder tapizante, período vegetativo amplio y, naturalmente, adaptadas a las condiciones edáficas y climáticas de la zona. Además de todo ello, deben existir en el mercado.
- Fertilizantes: Se reconoce como fertilizante a toda sustancia o producto destinado a mejorar la productividad del suelo o las condiciones nutritivas de las plantas. 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 éstas se desarrollen apropiadamente y logren tasas de crecimiento que satisfagan los requerimientos de los propietarios de las plantaciones. Para ello, es preciso considerar las características físicas y químicas de los suelos, las dosis y 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.

- **Mulch:** El mulch es una cobertura natural que actúa como aislante, protegiendo el suelo tanto de las heladas en invierno como de la evaporación del agua en verano, también del ataque de malas hierbas. Este teóricamente conserva la humedad, regula la temperatura y suministra nutrientes al suelo. Existen 2 tipos de mulch los orgánico e inorgánicos.

1- **Orgánicos:** Celulosa, papel, serrín, astillas, lana de madera, mallas de fibras vegetales (yute), heno y paja, molidos de soja, corteza de árboles, hoja y acículas, mantillo, turba, vainas, cáscaras y espuma de urea.

2- **Inorgánicos:** Fibra de vidrio, grava y gravillas, emulsiones bituminosas, plásticos, etc.

- **Fijadores:** Productos solubles y biodegradables que forman una película homogénea, elástica y permeable sobre el terreno, que ayudan a mantener la tierra y el mulch para prevenir erosión. Ayuda a adherir los materiales entre sí y al suelo, esto evita que el riego excesivo y la lluvia arrastren la semilla.

- **Mantas orgánicas**

Las mantas orgánicas biodegradables han sido desarrolladas específicamente para el control de la erosión de la superficie causada por el agua, el viento y otros agentes desde el primer momento; actúan como un colchón amortiguador de la energía cinética de los diferentes agentes, evitando el arrastre del manto superficial de suelo.

Consiste en un colchón de paja y fibra vegetal con o sin semilla incorporada, con una red superior e inferior de refuerzo con hilos de propileno, que se sujeta al terreno a través de unos anclajes.

El sistema facilita también un rápido desarrollo de la vegetación en áreas de reciente actuación, al hacer más lenta la evaporación y manteniendo mayor índice de humedad en el suelo, a la vez que almacena agua al disminuir la escorrentía superficial. También se mejora la estructura del suelo gracias a la compensación de temperaturas extremas por su acción de sombra y creación de microclima.

- **Biorrollos**

Se denominan biorrollos a estructuras cilíndricas fabricadas a base de fibra de coco, sustratos, gravas u otros materiales de similares características, envueltas en una red de yute o coco, de aproximadamente 2,5 m. de longitud y un diámetro de 40 a 50 cm.

Se trata de productos naturales y ecológicos que favorecen el establecimiento de especies vegetales por plantación directa o revegetación espontánea; su gran ligereza permite una manipulación e instalación rápida y sencilla.

Son utilizados no sólo como medida de control de la erosión en taludes y laderas de baja pendiente, sino que también como medida complementaria de otros sistemas de control de la erosión y estabilización superficial de taludes, además de ser utilizado para fijar orillas de cauces de ríos y crear islas artificiales, a la vez que permite la revegetación de zonas panatanosas.

El principal inconveniente es que la revegetación requiere un tiempo de desarrollo que depende de las especies vegetales; esto quiere decir que sólo después de varios períodos de vegetación existe un arraigamiento de toda la extensión, siendo entonces el tiempo un factor primordial a la hora de tener éxito en la implantación de esta medida de control de la erosión.

- **Geosintéticos**

Los geosintéticos son productos en los que, al menos uno de sus componentes, está formado por un polímero sintético o natural, de forma plana, como cinta o en estructura tridimensional. Estos se dividen en varios grupos (geotextiles, geomallas, georedes, entre otros).

Su función es similar a la obtenida con las mantas orgánicas, constituyendo, por tanto, una alternativa a éstas, motivada por la utilización de nuevos materiales y su posibilidad de fabricación industrializada. Esto las ha convertido en una solución de mayor durabilidad por su carácter imputrescible, y más competitivas frente a otras.

## ANEXO B: CARACTERÍSTICAS DE LOS TEPES DE PASTO

Los tepes de pastos están compuestos por dos especies y se describen a continuación.

- **Lolium perenne (Ballica)**

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

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



**Figura B1: Lolium perenne**

(Fuente: Nazal, 2007)

Clima: La Ballica Perenne es una especie nativa que se adapta mejor en aquellas zonas de climas templados o fríos con buena distribución de precipitaciones. Bajo estas condiciones se puede obtener la máxima potencialidad de persistencia y producción de la especie, pues es sensible al calor y a las sequías.

Suelo: Aunque se adapta a diferentes tipos de suelos, crece mejor en los de textura media y prospera bien en suelos arcillosos, pesados y algo húmedos. Su comportamiento más deficiente es en aquellos suelos de textura liviana, como los arenosos, debido al excesivo drenaje y la consecuente falta de humedad. El PH óptimo para su crecimiento fluctúa entre 5.8 y 6.7, pues los suelos demasiado ácidos afectan la absorción de nutrientes, principalmente el fósforo.

Época de Siembra: La época más recomendable es el otoño después de las primeras lluvias, ya que las siembras de primavera tienen el inconveniente de que puedan crecer con algunas enfermedades.

- **Festuca arundinacea ( festuca)**

Descripción: La Festuca es una gramínea forrajera de crecimiento erecto. Posee en sistema radicular fibroso y profundizador, sin estolones, pero que forma champas. Sus tallos, no abundantes, pueden llegar hasta 1 metro de altura, dependiendo de la fertilidad del suelo. Sus hojas nacen de la base de la planta y son abundantes, de color verde oscuro. Cuando alcanzan su madurez se tornan rígidas y cortantes. Su inflorescencia es una panícula, la que produce gran cantidad de semillas. Es una planta perenne, aunque su establecimiento es lento. Si se mantiene en forma adecuada y en suelos de buena fertilidad, debiera mantener su persistencia y productividad por muchos años.



**Figura B2: Festuca arundinacea**

(Fuente: Nazal, 2007)

Clima: Es una planta que no puede crecer con temperaturas muy bajas. Durante el invierno permanece en latencia y no crece, aunque cuando las temperaturas extremas de invierno no son muy exageradas, puede permanecer verde hasta avanzada la temporada. La tolerancia de la festuca a grados de humedad es amplia. Soporta sequías prolongadas superiores a cuatro meses, pero también tolera los excesos y drenajes difíciles.

Suelos: La festuca es una especie que prospera en una gran variedad de suelos, desde los livianos a arcillosos o pesados. Prospera mejor en suelos pesados, y que tolera en mejor forma suelos mal drenados que secos. También se adapta mejor que otras forrajeras a suelos de baja fertilidad, soportando en amplio rango de acidez. Al respecto, Spedding y Diekmahans (1972) señalan que prospera mejor en suelos con pH 6.5 a 8, pero se la ha visto prosperar en pH tan disímiles como 4.7 a 9.5.

Época de Siembra: La época de siembra óptima de siembra en las zonas centro norte y sur con riego, lo mismo que en secano en la zona de transición, es otoño. En la zona mediterránea húmeda, la época puede ser otoño o primavera, en un suelo firme y rodillazo en lo posible antes y después de la siembra, con el cuidado necesario para evitar enmalezamiento desde la emergencia hasta el establecimiento del pasto. El riesgo de enmalezamiento es mayor en siembras de primaveras.



## ANEXO C: ESTUDIO DE SUELO DEL TALUD.

Es necesario el estudio de suelo para determinar si la vegetación es adaptable al talud experimental. La humedad es medida el día de la instalación, sin embargo los ensayos de granulometría y límites de atterberg son extraídos de tesis anteriores.

- **Humedad**

**Tabla C1: Humedades medidas**

| Muestra | Tara (g) | Tara + muestra humedad (g) | Tara + muestra seca (g) | Peso agua (g) | Peso seco (g) | humedad % |
|---------|----------|----------------------------|-------------------------|---------------|---------------|-----------|
| 1       | 49,4     | 551,5                      | 497,2                   | 54,3          | 447,8         | 12,13     |
| 2       | 71,4     | 504,7                      | 459                     | 45,7          | 387,6         | 11,79     |

(Fuente: elaboración propia)

El promedio de humedad medido es de un 12 %.

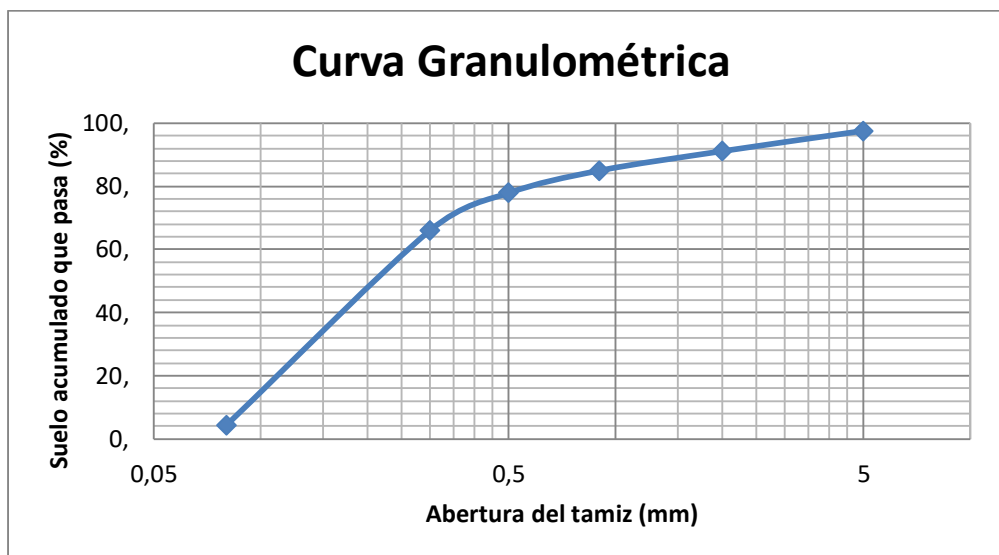
- **Granulometría**

**Tabla C2: Granulometría**

| Tamiz  | Peso Retenido (gr) | % Retenido | % Retenido Acumulado | % Pasa |
|--------|--------------------|------------|----------------------|--------|
| Nº 4   | 3.7                | 2.29       | 0.22                 | 97.71  |
| Nº 10  | 10.44              | 6.46       | 6.68                 | 91.25  |
| Nº 20  | 9.98               | 6.18       | 12.86                | 85.07  |
| Nº 40  | 11.46              | 7.09       | 19.95                | 77.98  |
| Nº 60  | 19.24              | 11.91      | 31.85                | 66.08  |
| Nº 200 | 99.93              | 61.84      | 93.69                | 5.1    |

(Fuente: Rivas, 2011)

La figura B2 que a continuación se muestra representa la curva granulométrica del suelo en estudio.



**Figura C1: Curva granulométrica suelo.**

(Fuente: Rivas, 2011)

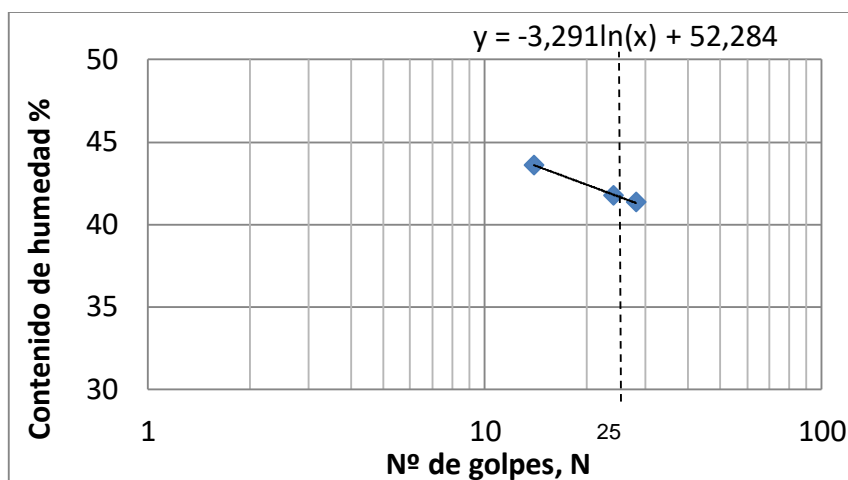
- **Límites de Atterberg**

**Tabla C3: Resumen ensayos para límite líquido.**

| Ensayo N°                    | 1            | 2            | 3            |
|------------------------------|--------------|--------------|--------------|
| Capsula N°                   | <b>J</b>     | <b>52</b>    | <b>I</b>     |
| Peso del suelo húmedo + cap. | <b>39.85</b> | <b>32.62</b> | <b>38.52</b> |
| Peso del suelo seco + cap.   | <b>34.24</b> | <b>28.34</b> | <b>33.09</b> |
| Peso de tara                 | <b>20.68</b> | <b>18.09</b> | <b>20.64</b> |
| Peso del suelo seco          | 13.56        | 10.25        | 12.45        |
| Peso de agua                 | 5.61         | 4.28         | 5.43         |
| Contenido de humedad %       | 41.4         | 41.8         | 43.6         |
| Numero de golpes, N          | <b>28</b>    | <b>24</b>    | <b>14</b>    |

(Fuente: Rivas, 2011)

Gráfica para determinar límite líquido:



**Figura C2: Curva de fluides del suelo.**

(Fuente: Rivas, 2011)

Para la muestra los resultados obtenidos son los siguientes:

- Límite Plástico: LP = no presenta
- Límite Líquido: LL = 41,69 %

Clasificación: Luego de realizados los ensayos, tanto de análisis de granulometría como límites de Atterberg, se procedió a clasificar el suelo según USCS. Si se observa la curva granulométrica se puede apreciar que se encuentra en una zona entre arenas y limos. Por otra con los límites de Atterberg se ingresa al gráfico de plasticidad y se obtiene que la muestra de suelo corresponda a una arena limosa (SM).

## ANEXO D: FICHA TÉCNICA DE LOS ELEMENTOS DEL SISTEMA.

- **Estructura de alojamiento:**

**Tabla D1: ficha técnica de malla hexagonal galvanizada**

|                    |   |
|--------------------|---|
| Resumen producto   |   |
| Abertura entramado | 3/4"  |
| Ancho              | 0.6 m   |
| Largo              | 25 m  |
| Observaciones      | Rollo de malla hexagonal galvanizada tipo gallinero |
| Peso               | 4,25 kg   |
| Uso                | Protección de criaderos de aves y animales          |
| Precio (\$)        | \$ 17.030   |

(Fuente: elaboración propia)

**Tabla D1: ficha técnica de alambre galvanizado multiuso**

|                  |   |
|------------------|---|
| Resumen producto |   |
| Diámetro         | 0.71 mm   |
| Rendimiento      | 321.8 m x kg  |
| Display          | 40 m  |
| Observaciones    | Alambre galvanizado corriente BCC (Bajo contenido de carbono) |
| Peso             | 0.165 kg  |
| Uso              | Múltiples usos profesionales y domestico                      |
| Precio (\$)      | \$ 1390   |

(Fuente: elaboración propia)

- **Cubierta vegetal**

**Tabla D1: ficha técnica de los tepes de pasto**

|                  |  |
|------------------|--|
| Resumen producto |  |
| Rendimiento      | 0.5 m2                                 |
| Riego            | Moderado                               |
| Observaciones    | Efecto visual inmediato                |
| Exposición       | Sol                                    |
| Ancho            | 50 cm.                                 |
| Largo            | 100 cm.                                |
| Usos             | Para césped en cualquier época del año |
| Precio (\$)      | \$ 1.250                               |

(Fuente: elaboración propia)

- **Sistema de sujeción**

**Tabla D1: ficha técnica de fierro liso**

|                  |                      |
|------------------|----------------------|
| Resumen producto |                      |
| Diámetro         | 6 mm                 |
| Largo            | 6 m                  |
| Peso             | 2,37 kg              |
| Uso              | Refuerzo de hormigón |
| Precio(\$)       | \$ 1.350             |

(Fuente: elaboración propia)

**ANEXO E: COSTO DEL SISTEMA.**

Los costos del sistema de recubrimiento (Tabla E1) se refiere específicamente a los materiales netamente utilizados en la realización de la experimentación del sistema de recubrimiento, excluyendo los costos de ejecución y de las herramientas utilizadas tales como alicates, tijeras, martillo, galletero, etc. Los costos de ejecución se refieren netamente a la mano de obra. También, se asume que las condiciones en terreno están dadas para implementar el sistema de recubrimiento.

**Tabla E1: costos del sistema**

| Ítem         | Descripción                      | Unidad  | cantidad | Precio (\$) | Total (\$) |
|--------------|----------------------------------|---------|----------|-------------|------------|
| <b>1-</b>    | <b>Estructura de alojamiento</b> |         |          |             |            |
|              | Malla                            | ml      | 1        | 17030       | 17030      |
|              | rollo alambre                    | kg      | 1        | 1390        | 1390       |
| <b>2-</b>    | <b>Cubierta vegetal</b>          |         |          |             |            |
|              | tepes de pasto                   | palmeta | 20       | 1250        | 25000      |
| <b>3-</b>    | <b>Sistema de sujeción</b>       |         |          |             |            |
|              | Fierro 6 mm                      | ml      | 8        | 1350        | 10808      |
| costo total: |                                  |         |          |             | 54220      |

(Fuente: elaboración propia)

En la tabla E2 se exponen los costos de precios unitarios:

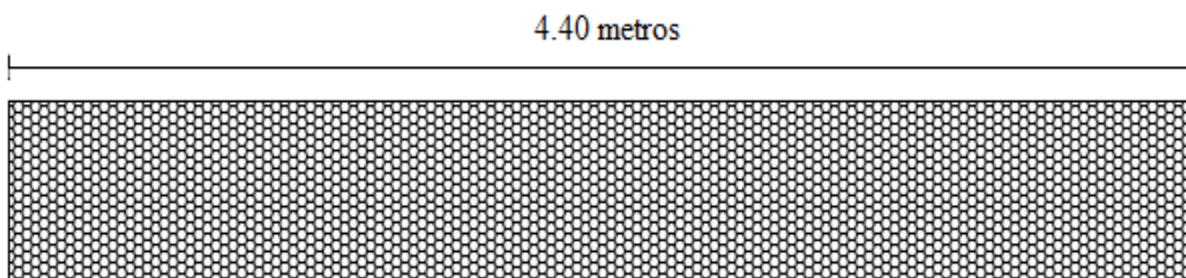
**Tabla E2: costos del sistema por metro cuadrado**

| Ítem              | Descripción                      | Unidad               | cantidad | Precio (\$) | Total       |
|-------------------|----------------------------------|----------------------|----------|-------------|-------------|
| <b>1-</b>         | <b>Estructura de alojamiento</b> | <b>m<sup>2</sup></b> | <b>1</b> | <b>1534</b> | <b>1534</b> |
|                   | Malla                            | ml                   | 2,2      | 681         | 1499        |
|                   | rollo alambre                    | ml                   | 1        | 35          | 35          |
| <b>2-</b>         | <b>Cubierta vegetal</b>          | <b>m<sup>2</sup></b> | <b>1</b> | <b>2500</b> | <b>2500</b> |
|                   | tepes de pasto                   | palmeta              | 2        | 1250        | 2500        |
| <b>3-</b>         | <b>Sistema de sujeción</b>       | <b>m2</b>            | <b>1</b> | <b>1013</b> | <b>1013</b> |
|                   | Fierro 6 mm                      | ml                   | 4,5      | 225         | 1013        |
| costo total (\$): |                                  |                      |          |             | 5046        |

(Fuente: elaboración propia)

## ANEXO F: CONFECCIÓN DE ESTRUCTURA DE ALOJAMIENTO.

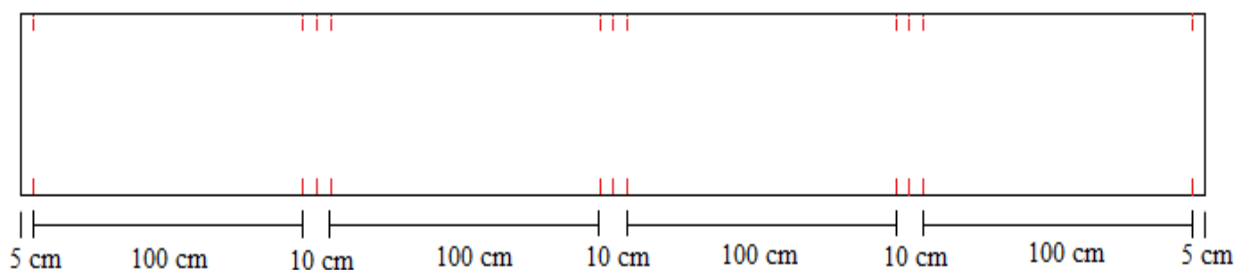
El rollo de malla se corta a 4.40 metros, para fabricar una estructura de alojamiento (Figura F1).



**Figura F1. Malla total para estructura de alojamiento**

(Fuente: elaboración propia)

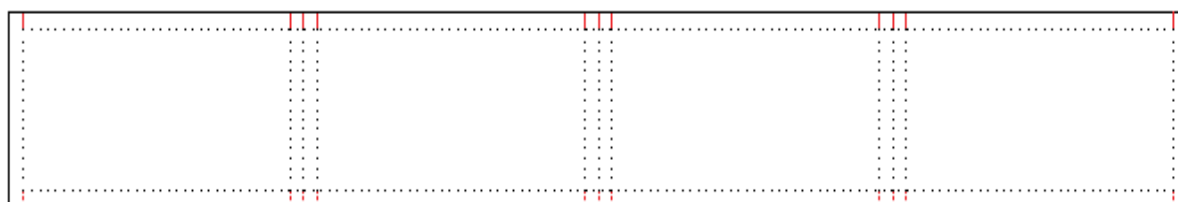
Posterior se realizan los cortes (líneas rojas), en las medidas indicadas en figura F2.



**Figura F2. Cortes para dar forma a la estructura**

(Fuente: elaboración propia)

Por último se realizan los dobleces en la sección segmentada (figura F3).



**Figura F3. Segmentos para dar forma a la estructura**

(Fuente: elaboración propia)

En la figura F4, se muestran imágenes de la etapa de elaboración de estructura de alojamiento.



**Figura F4. Elaboración de la estructura de alojamiento.**

(Fuente: elaboración propia)



## ANEXO G: ETAPA DE INSTALACIÓN.

La instalación fue efectuada anclando la estructura de alojamiento desde parte superior del talud y desenrollada hacia la base, posteriormente se anclan los tepes de pasto en cada celda de la estructura. Así consecutivamente ocurre con las cinco franjas experimentadas, como se observa en las figuras 1 2 3. El trabajo es llevado a cabo por 2 personas.



**Figura G1: Instalación de la primera franja.**

(Fuente: Elaboración propia)



**Figura G2: Instalación de la segunda franja.**

(Fuente: Elaboración propia)



**Figura G3: Instalación de la tercera franja.**

(Fuente: Elaboración propia)



**Figura G4: Instalación de la cuarta franja.**

(Fuente: Elaboración propia)



**Figura G5: Instalación de la quinta franja.**

(Fuente: Elaboración propia)