

**UNIVERSIDAD DEL BÍO-BÍO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**DEPARTAMENTO INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL**

**Profesor Patrocinante:** Álvaro Suazo Schwencke.

**“DESARROLLO DEL TRÉBOL  
SEMBRADO EN TALUDES PARA LA  
PROTECCIÓN DE LA EROSIÓN”**

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

**LEANDRO ESTEBAN BEROIZ MARCHANT.**

**CONCEPCIÓN, ABRIL 2013**

**Agradecimientos:**

*Quisiera agradecer a dios por haberme dado la posibilidad de llegar a este momento de mi vida; El camino no fue fácil a lo largo de estos años pero la perseverancia dio sus frutos al finalizar esta etapa, además no hubiera sido posible sin el apoyo incondicional de la familia que siempre confió en mí. También agradecer a todas esas personas que fueron mis compañeros y amigos durante todo este periodo de estudio ya que sin ellos no hubiese sido posible.*

*Y una mención especial para Eillyn que comenzó siendo compañera de estudio y finalizo como la compañera de mi corazón, su incondicionalidad cariño y apoyo fue lo más valioso que pude recibir.*

*“La perseverancia es la virtud por la cual todas  
las otras virtudes dan su fruto”*

*Arturo Graf (1848-1913)*

## **NOMENCLATURA.**

NCh	Norma Chilena Oficial.
LAGEMA	Laboratorio de Geotecnia y Medioambiente, Departamento de ingeniería Civil. Universidad del Bío- Bío.
AASHTO	American Association of State Highway and Transportation Officials.
USCS	Sistema Unificado de Clasificación de Suelos.
DMCS	Densidad Máxima Compactada Seca.

## ÍNDICE GENERAL

1. INTRODUCCIÓN .....	3
1.1.- Justificación del tema .....	5
1.2.- Alcances de la Investigación. ....	5
1.3.- Objetivos de la investigación. ....	5
1.3.1    Objetivo general .....	5
1.3.2    Objetivos específicos .....	5
2. MATERIALES Y MÉTODOS .....	6
2.1    Materiales y Equipos .....	6
2.1.1    Suelo .....	6
2.1.2    Especie vegetal seleccionada.....	7
2.1.3    Lisímetros .....	7
2.1.4    Taludes de estudio .....	7
2.1.5    Programa Computacional CobCal 2.....	8
2.1.6    Otros elementos utilizados .....	8
2.2    Instalación de los Lisímetros. ....	9
2.2.1    Llenado y compactación de los lisímetros.....	9
2.2.2    Sembrado del trébol.....	9
2.3    Procedimiento y variables .....	10
2.3.1    Etapas de clasificación.....	10
2.3.2    Registro fotográfico.....	10
2.3.3    Elección de tréboles.....	11
2.3.4    Humedad aprovechable (H.A.).....	11
2.3.5    Peso y humedad de lisímetros .....	11
2.3.6    Precipitación y riego.....	11
2.3.7    Temperatura.....	12
2.3.8    Crecimiento aéreo.....	13
3. ANÁLISIS DE RESULTADOS .....	14
3.1    ETAPA 1 RIEGO DE LISÍMETROS .....	14

3.1.1	Variaciones Climáticas.....	14
3.1.2	Etapas de crecimiento.....	15
3.1.3	Porcentaje de Cobertura.....	17
3.1.4	Humedades diarias.....	18
3.2	ETAPA 2: DESARROLLO EN TALUDES .....	21
3.2.1	Variaciones climáticas.....	21
3.2.2	Desarrollo del trébol en pendiente.....	22
3.2.3	Análisis estadístico .....	24
CAPITULO 4: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....		26
REFERENCIAS .....		28

## ÍNDICE DE ANEXOS

**Anexo A “ANTECEDENTES GENERALES”**

**Anexo B “MECÁNICA DE SUELOS”**

**Anexo C “INFORMACIÓN Y COMPACTACIÓN DE LISÍMETROS”**

**Anexo D “REGISTRO DE HUMEDADES”**

**Anexo E “DETALLES COBERTURA VEGETAL”**

**Anexo F “ANÁLISIS ESTADÍSTICO”**

## **DESARROLLO DEL TRÉBOL SEMBRADO EN TALUDES PARA LA PROTECCIÓN DE LA EROSIÓN**

**Autor: Leandro Beroiz Marchant.**

Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, Universidad del BíoBío

Correo Electrónico: [lberoiz@alumnos.ubiobio.cl](mailto:lberoiz@alumnos.ubiobio.cl)

**Profesor Patrocinante: Álvaro Suazo S.**

Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, Universidad del BíoBío

Correo Electrónico: [asuazo@ubiobio.cl](mailto:asuazo@ubiobio.cl)

### **RESUMEN**

Un problema general en nuestra región es el mal manejo de los suelos, ya que se suele dejar las capas superficiales menos porosas cuando se realiza un talud, permitiendo la infiltración de menor cantidad de aguas de lluvias, aumentando la escorrentía y favoreciendo la erosión. El presente Proyecto de Título tiene por finalidad determinar taludes y tasas de riego mínimas que garanticen el desarrollo del trébol, con el objetivo de protegerlos de la erosión y restringir el riego debido a sus costos. Se utilizaron treinta lisímetros, los cuales poseían una cubierta vegetal de trébol enano (*Trifolium Repens* Huía), sometiéndose a diferentes frecuencias y tasas de riego, las cuales fueron programadas a través de la humedad aprovechable del suelo. Registrando sus variaciones de humedad diariamente por 28 días. Además se realizaron mediciones de crecimiento a los 7, 14, 21 y 28 días a partir de la siembra. Posteriormente se efectuó un análisis con el fin de determinar la opción más factible, de tasas y frecuencias de riego. Considerando la opción más factible, es puesta en práctica en seis taludes de diferentes pendientes, tres taludes ubicados en lisímetros a escala y los restantes en un talud real aledaño. Se evalúa el desarrollo del trébol bajo las recomendaciones de riego planteadas y se determinan pendientes compatibles para su crecimiento.

**Palabras claves:** Humedad, riego, recubrimiento vegetal, talud, trébol.

**Numero de palabras totales:** 6645 + 11 Figuras/Tablas 250 + 2 Figuras/Tablas 300 = 9995

## **SEEDED CLOVER DEVELOPMENT ON SLOPES FOR EROSION PROTECTION**

**Author: Leandro Beroiz Marchant.**

Department of Civil and Environmental Engineering, University of BíoBío

Email: lberoiz@alumnos.ubiobio.cl

**Sponsor Professor: Alvaro Suazo S.**

Department of Civil and Environmental Engineering, University of BíoBío

Email: asuazo@ubiobio.cl

### **ABSTRACT**

A general problem is the mismanagement of soil, as they tend to leave less porous surface layers at the time of the creation of slopes, thereby allowing less infiltration of rainwater, increasing runoff and erosion encouraging. This project aims at determine slopes angle minimum and irrigation rates that to ensure clover development, in order to protect them from erosion. Thirty lysimeters were used, which had a cover of dwarf clover (*Trifolium repens* Huia), undergoing different frequencies and rates irrigation, which were programmed through the available soil moisture, recording their daily moisture variations for 28 days. Besides growth were measured at 7, 14, 21 and 28 days after planting. Subsequently, an analysis to determine the most feasible option, rate and frequency irrigation. Considering the selected option, it is implemented in six different slopes, three lysimeters located on slopes and remaining at an actual adjacent slope. Thus the clover developments are evaluated under irrigation recommendations and are determined slopes raised and supported for its growth.

**Keywords:** Moisture, vegetation coating, irrigation, clover, slope.

## 1. INTRODUCCIÓN

Uno de los problemas más trascendentales en los procesos de degradación es la erosión del terreno, causada por la acción del agua o del viento y se asocia a la falta y/o pérdida de la cobertura vegetal.

Además surgen numerosas complicaciones en las zonas desprovistas de vegetación, producto de los grandes volúmenes de precipitaciones acrecentados en la época invernal de la Región del Bío-bío, especialmente en la ciudad de Concepción, donde las precipitaciones son del orden de los 1100 mm anuales. La geomorfología, el alto porcentaje de limos de alta vulnerabilidad a la erosión y el régimen pluviométrico de Chile, sitúan a la erosión hídrica como la primera causa de degradación de los suelos (Carrasco y Riquelme, 2003).

La degradación física del suelo es la precursora del exceso de escorrentía, la disminución de la humedad, del restringido crecimiento y profundidad a la cual pueden penetrar las raíces y por ende, del crecimiento de las plantas en general. La cantidad de agua que llega a las raíces depende de la condición física del suelo. Su influencia sobre la infiltración y la escorrentía afecta la evaporación y la transpiración de la capa vegetal.

La cantidad de humedad del suelo que permanece disponible un cierto tiempo para las plantas depende de la textura, porosidad, volumen anterior de humedad, del volumen perdido por evaporación directa, la evapotranspiración y el drenaje profundo.

El riego (si existe disponibilidad) por lo general es necesario cuando dos tercios del agua disponible entre la capacidad de campo y el punto permanente de marchitez, han sido agotados. Si no existe la posibilidad de riego es necesario manipular el suelo, de tal forma que permita desarrollar y retener la máxima cantidad en poros de varios tamaños. Esto ampliará la capacidad de retención de agua y permitirá que las plantas resistan durante más tiempo los períodos de sequía.

Considerando lo anterior se hace necesario la forestación de aquellos taludes descubiertos. Una buena cubierta vegetal comienza con un estudio de las condiciones del suelo del talud que se desea proteger y una revisión del clima imperante en la zona donde se emplazarán los proyectos. Esto con la finalidad de obtener un desarrollo óptimo del vegetal, lo que asegurará una alta protección frente a las precipitaciones.

Las cubiertas de protección no deben utilizarse cuando es necesario alcanzar un factor de seguridad y un grado de confianza elevados. Una cubierta vegetal, únicamente actúa como

elemento secundario, y el peso de la estabilización debe recaer sobre elementos estructurales e inertes. Para casos menos críticos, donde las consecuencias de un eventual deslizamiento o derrame, el recubrimiento vegetal puede asumir un rol de igual o mayor importancia que los elementos estructurales inertes (López, 1999).

Por lo tanto un aspecto importante a estudiar, es analizar las diferencias que se producen en el desarrollo vegetal de una especie, en particular “Trébol Enano” (*Trifolium repens* huia) (Meneses, 2011; Cabrer, 2011). El trébol entre los recubrimientos vegetales destaca por su efectividad. Éstos protegen el suelo de la erosión hídrica y tienen la ventaja de tener un rápido desarrollo, con lo que se puede lograr una cobertura rápida. Sin embargo requiere riego, por lo que se hace necesario determinar el nivel de desarrollo logrado hasta su marchitez, bajo distintas condiciones de humedad y pendiente.

### **1.1.- Justificación del tema**

Debido a la importante influencia de la pendiente y precipitación en la erosión de taludes desprotegidos (Hernández, 2011), una medida es la incorporación de vegetación, evitando así la erosión hídrica.

El trébol tiene la ventaja de tener una rápida cobertura. Sin embargo requiere riego, por lo que se hace necesario determinar las humedades y tasas de riegos óptimas para el progreso de éste, hasta su germinación y desarrollo. Además se prolongará la investigación en pendientes con estabilidad límite contrastando con los trabajos de Meneses (2011), Cabrer (2011) y López (2012).

### **1.2.- Alcances de la Investigación.**

El fin de la investigación es obtener la mejor tasa de riego para un desarrollo seguro del trébol restringiendo sus costos de riego. Para finalizar se evalúa la máxima pendiente donde el trébol pueda desarrollarse en óptimas condiciones.

### **1.3.- Objetivos de la investigación.**

#### *1.3.1 Objetivo general*

- Analizar el desarrollo del trébol sembrado en taludes bajo distintas condiciones de riego y pendientes.

#### *1.3.2 Objetivos específicos*

- Evaluar bajo distintas frecuencias y tasas de riego el desarrollo del trébol en terreno plano.
- Plantear humedades y condiciones de riego mínimo para el crecimiento del trébol hasta su germinación.
- Evaluar la influencia de altas pendientes en el desarrollo del trébol bajo las recomendaciones de riego mínimo.
- Determinar umbrales de pendientes compatibles con el desarrollo del trébol.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

Se aplicaron diversas frecuencias y tasas de riego en lisímetros que poseían un suelo determinado. Posteriormente se utilizó el mismo suelo con diferentes pendientes.

Este estudio se lleva a cabo en el Laboratorio de Geotecnia y Medioambiente (LAGEMA) perteneciente al Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental de la Universidad del Bío-Bío, Campus Concepción, durante los meses Noviembre Diciembre 2012 y Enero-Febrero 2013.

Para realizar los ensayos se utilizaron diversos materiales y métodos, que serán detallados en el presente capítulo. El análisis de las muestras obtenidas tuvo lugar en el Laboratorio de Mecánica de Suelos de la misma Universidad.

### 2.1 Materiales y Equipos

A continuación se realiza una descripción de los materiales utilizados en las experiencias.

#### 2.1.1 Suelo

El tipo de suelo es característico de la región del Biobío y fue extraído de un talud existente en las dependencias del sector LAGEMA en la Universidad del Bío-Bío.

a) Ensayo de compactación Proctor.

Siguiendo las consideraciones de NCh 1534 of 79, se desarrolló el ensayo Proctor modificado obteniendo la densidad máxima compactada seca (DMCS) correspondiente a  $1780 \frac{kg}{m^3}$  con un porcentaje de humedad del 18,5 %.

b) Determinación de la humedad.

Siguiendo las consideraciones de NCh 1515 of 79, se desarrolló el ensayo de humedad, obteniendo una humedad natural del suelo de un 18.7%

El tipo de suelo utilizado corresponde al mismo que fue analizado en experiencias anteriores en el laboratorio. Por razones prácticas se agregan los siguientes datos (Solar, 2011).

- Clasificación U.S.C.S : Arena Limosa (SM)
- Densidad natural húmeda:  $1777 \text{ kg/m}^3$ .
- Densidad compactada seca:  $1254 \text{ kg/m}^3$ .
- Límite líquido: 12,8%.

- Límite plástico: 5,19%.
- Índice de plasticidad: 7,61

### 2.1.2 *Especie vegetal seleccionada*

Para esta experiencia se utilizó trébol enano (*Trifolium Repens* Huía), que pertenece al grupo de las especies puras. Es un prado de alta resistencia al pisoteo, crecimiento bajo y rastrero, especialmente indicado para lugares húmedos y suelos. Por su resistencia al pisoteo puede sembrarse solo o asociado con gramíneas, las cuales le confieren al prado un aspecto más parejo y denso de color verde oscuro.

Es de rápido cubrimiento, resiste suelos húmedos y posee una baja necesidad de fertilización. La mejor fecha para sembrarlo es temprano en otoño, recomendada en esta época una dosis máxima de 250g / 20 m<sup>2</sup>, aunque se puede sembrar todo el año. (Aroca, 2005). La dosis utilizada para los lisímetros fue de 250g/15m<sup>2</sup> siendo la recomendada por el fabricante, por lo tanto 0,5 g se aplicaron en los lisímetros, mientras que se usó 17 g/m<sup>2</sup> en taludes.

### 2.1.3 *Lisímetros*

Se utilizaron como lisímetros baldes de 4 L, instalados sobre mesones con una rotación diaria, obteniendo las mismas condiciones climáticas (sombra, luz, viento). La experiencia será realizada con 30 baldes, los cuales se le aplicará el mismo tipo suelo y las variables independientes serán las tasas de riego, humedades iniciales y frecuencia de riego. Los lisímetros poseen las siguientes dimensiones:

- Diámetro: 19 cm
- Altura total: 18,5 cm
- Altura utilizada: 16,5 cm
- Volumen: 3,920 L

### 2.1.4 *Taludes de estudio*

Los taludes a estudiar serán de diferentes pendientes, tres de éstos se ubicarán en los lisímetros diseñados por Riquelme (2010), los cuales poseen 1 m<sup>2</sup> de base en planta, mientras los demás estarán en un talud reperfilado ubicado a los pies del cerro en el laboratorio LAGEMA. En la tabla N° 1 se muestran las pendientes de cada talud.

**Tabla N°1: Pendientes taludes.**  
(Fuente Elaboración Propia).

N° Lisímetro	Pendiente (%)	Ubicación
T1	25	Lisímetro
T2	25	Lisímetro
T3	60	Lisímetro
C1	25	Cerro bajo
C2	70	Cerro medio
C3	170	Cerro alto

### 2.1.5 Programa Computacional CobCal 2

CobCal 2 es un programa de procesamiento de imagen digital de dominio público utilizado para estimar la superficie o el porcentaje de cobertura vegetal de un cultivo. Realiza la determinación utilizando fotografías digitales de la superficie muestral. Basándose en colorimetría estima la superficie o el porcentaje de cobertura. Permite realizar el cálculo en rastrojos, cultivos o malezas, siempre que sea posible detectar variaciones de color entre éstos y el suelo. Para el caso de este proyecto de título este programa fue utilizado para calcular el porcentaje de cobertura del trébol en los lisímetros y taludes.

### 2.1.6 Otros elementos utilizados

El calibre o pie de metro es un instrumento utilizado para medir dimensiones de objetos relativamente pequeños, desde centímetros hasta fracciones de milímetros. Este instrumento fue utilizado para medir los diferentes tamaños de tallos, en los tréboles durante su desarrollo.

También se utilizados los siguientes elementos:

- 1 Probeta de 500 ml
- 1 Probeta de 100 ml
- 1 Regadera artesanal.
- 1 Balanza de 15 Kg  $\pm$  1 g
- 1 Cámara fotográfica
- 1 Balanza de alta precisión  
15000 g  $\pm$  0,01 g
- 1 Horno de Secado

## 2.2 Instalación de los Lisímetros.

En este punto se incluye la preparación del suelo, como su colocación en lisímetros y taludes. Además se presenta el sembrado correspondiente en ambas experiencias (taludes y lisímetros).

### 2.2.1 Llenado y compactación de los lisímetros

El objetivo de la compactación fue obtener una densidad aproximada a la real, obteniendo resultados representativos en la investigación. La compactación del suelo dentro de los lisímetros se realizó asumiendo un rango de 65% a 75% en relación a la densidad máxima compactada seca (DMCS) del suelo. Este proceso se realizó manualmente con un pisón metálico de 2,39 Kg y un área basal de 0,01962 m<sup>2</sup>, mediante 5 capas de 4 cm, las que se compactaron dejando caer el pisón metálico desde una altura de 30 cm hasta lograr la densidad deseada.

Para los ensayos de la segunda etapa de la investigación se utilizaron tres taludes adecuados según el modelo desarrollado por Riquelme (2010). La pendiente de cada lisímetros se presentan en la tabla N°1 y un área de planta de 1 m<sup>2</sup> aproximadamente en cada uno de éstos. Los lisímetros poseen material compactado, dado que fueron utilizados en ensayos con otro tipo de cobertura vegetal. En consecuencia se retiró una capa superficial de suelo, aproximadamente 10 cm de espesor y luego se dispuso a la siembra de la cobertura vegetal.

De la misma forma se trabaja en una zona de talud real, localizada en el propio laboratorio LAGEMA el cual posee características que se han imitado en todos los lisímetros. Se enrasa estableciendo zonas de pendiente constantes, originando tres áreas de estudio (Figura. 1).

### 2.2.2 Sembrado del trébol

Fue realizado el 22 de Noviembre en su etapa inicial. En primer lugar se retiraron 0,5 cm de suelo superficial de los 30 lisímetros para el sembrado de la semilla. Procediendo con una razón de 12,5 g/m<sup>2</sup> mediante la técnica del boleó. Posteriormente se colocó una capa de suelo de 0,5 cm, compactada manualmente con un pisón protegiendo la semilla de las aves. Repitiendo el proceso con la misma razón para los taludes de la segunda etapa. En la segunda etapa se siembran los tres lisímetros mediante la misma metodología, mientras que en el talud de pendiente alta se conformó una pasta de semillas y suelo homogéneo la cual se colocó en forma de manto, manteniendo la misma razón de siembra. Cabe destacar que no se agregó algún fertilizante con el propósito de determinar el desarrollo, bajo condiciones de crecimiento naturales.



a) Lisímetros

b) Talud natural

Figura 1: Proceso de Compactación y Enrasado.

(Fuente Elaboración Propia).

## 2.3 Procedimiento y variables registradas

### 2.3.1 Etapas de clasificación

Se definen las distintas etapas de clasificación del trébol (Tekeli et al. 2006), para poder evaluar cada experiencia de la misma forma obteniendo resultados apropiados estadísticamente. Se tienen los siguientes parámetros establecidos:

- *Pre-brote*: Será todo aquél que sea menor a 5 mm de largo en su tallo o brote/hoja.
- *Germinación*: Aquel trébol que posea un largo superior a 5 mm con máximo de 10 mm. (Nichols et al. 2009).
- *Pre-FloreCIMIENTO*: Todo trébol cuyo largo sea mayor a 10 mm.
- *FloreCIMIENTO completo*: Aparición de flores que se reúnen en inflorescencias de tipo racimo de 10-40 mm de diámetro.

### 2.3.2 Registro fotográfico

El registro fotográfico se realizó al término de cada semana, con el objetivo de registrar su crecimiento (altura) y porcentaje de cobertura. Esto facilita la interpretación de los valores, obteniéndose resultados y conclusiones confiables.

### 2.3.3 Elección de tréboles

Se medirán los tréboles de mayor tamaño (longitud del tallo) de 3 a 5 para cada lisímetro y se calculará un promedio como trébol representativo de esa experiencia. Las mediciones se realizarán al término de cada semana para las dos etapas durante el transcurso de la experiencia.

### 2.3.4 Humedad aprovechable (H.A.)

La humedad utilizable por las plantas es la diferencia entre el grado de humedad del suelo en un momento determinado y el grado de humedad correspondiente al punto de marchitez permanente en ese suelo. Por lo tanto el máximo de agua utilizable por las plantas será la diferencia entre la capacidad de campo 30,9 % (Salas, 2003) y punto de marchitez permanente 20,2% (Salas, 2003).

### 2.3.5 Peso y humedad de lisímetros

Variable que se medirá con una frecuencia diaria y antes de aplicar riego, con el objeto de encontrar las variaciones que ocurren en el sistema, debido al cambio de las condiciones, principalmente riego y temperatura. Por ende se medirá la humedad mediante el agua almacenada entre un día y otro. Se tomará los pesos de los lisímetros todos los días en un rango de horas semejante durante el tiempo que dure la experiencia. Además la humedad inicial se medirá mediante muestras del suelo las cuales se secarán al horno por un periodo de 24 horas a una temperatura de 105 °C (NCh 1515 of 79).

### 2.3.6 Precipitación y riego.

El objetivo de este trabajo fue desarrollado en condiciones de precipitación nulas para los lisímetros de la primera etapa, mientras que en los taludes las precipitaciones se registrarán en la estación de la Dirección General de Aguas, Estero Nonguen Frente a la Universidad del Bío-Bío. Conjuntamente las condiciones de riego tienen un rol concluyente para evaluar el desarrollo vegetal. La falta de agua provoca un menor crecimiento y supervivencia de toda la cobertura vegetal. Dado que el objetivo de la investigación es determinar tasas de riego fiables para el desarrollo del trébol, se establecieron diferentes frecuencias y tasas de riego para cada lisímetro, las que se detallan en la tabla 2. Se considero una tasa de riego patrón para los lisímetros N°2,3 y 4 respectivamente según Sumanasena (2011).

**Tabla N°2: Tasas de riego (HA: humedad aprovechable).**  
**(Fuente Elaboración Propia).**

N° Muestra	Frecuencia de riego
1	Lisímetro patrón sin vegetación
2	Lisímetro patrón / Saturado día 0 / Hasta min 50% HA, luego volver al 100%
3	Lisímetro patrón / Saturado día 0 / Hasta min 50% HA, luego volver al 100%
4	Lisímetro patrón / Saturado día 0 / Hasta min 50% HA, luego volver al 100%
5	Mantiene su HA 80% de saturación
6	Mantiene su HA 60% de saturación
7	Mantiene su HA 50% de saturación
8	Mantiene su HA 40% de saturación
9	Mantiene su HA 30% de saturación
10	Mantiene su HA 20% de saturación
11	HA 100% inicial + 100% a los 4 días
12	HA 100% inicial + 100% a los 5 días
13	HA 100% inicial + 100% a los 5 días
14	HA 100% inicial + 100% a los 7 días
15	HA 100% inicial + 100% a los 10 días
16	HA 100% inicial + 100% a los 15 días
17	HA 100% inicial
18	HA 100% inicial + 80% a los 5 días
19	HA 100% inicial + 80% a los 10 días
20	HA 100% inicial + 80% a los 15 días
21	HA 100% inicial + 50% a los 5 días
22	HA 100% inicial + 50% a los 10 días
23	HA 100% inicial + 50% a los 15 días
24	HA 100% inicial + 100% cada 5 días
25	HA 100% inicial + 100% cada 7 días
26	HA 100% inicial + 100% cada 20 días
27	HA 100% inicial + 100% cada 14 días
28	HA 100% inicial + hasta mínimo 20% de HA volver al 100%
29	HA 100% inicial + hasta mínimo 30% de HA volver al 100%
30	HA 100% inicial + hasta mínimo 70% de HA volver al 100%

### 2.3.7 Temperatura

Debido a que variable temperatura es uno de los factores climáticos que influye directamente en las pérdidas de agua por la evapotranspiración afectando la humedad, se procedió hacer un registro diario de la temperatura, cuyos datos fueron obtenidos del Observatorio Geodésico TIGO.

### 2.3.8 *Crecimiento aéreo*

Con la finalidad de facilitar la interpretación de los valores o resultados del desarrollo del trébol, se elaboró un registro semanal del crecimiento aéreo del trébol. Este crecimiento fue medido desde la superficie del suelo hasta la parte más alta de la planta, la cual estará totalmente extendida. El área ocupada por el trébol será definida utilizando el programa CobCal 2, con imágenes de cada lisímetro talud al término de cada semana. Se prolonga el método en la etapa siguiente.

### 2.3.9 *Análisis estadístico.*

Los resultados obtenidos se analizaron estadísticamente utilizando el software estadístico InfoStats en su versión estudiantil, mediante el cual se realizó un modelo de regresión lineal múltiple lo que permitió determinar el efecto de las variables en el proceso de crecimiento. Además se utilizó el método no paramétrico de Wilcoxon que permite certificar si la humedad de un lisímetro patrón y otro con diferente tasa de riego tienen diferencias estadísticamente significativas. Adicionalmente se realizó un análisis de correlación no paramétrica de Spearman, con la finalidad de obtener el grado de asociación entre las variables propuestas. Cabe destacar que para los análisis estadísticos se consideró un nivel de significancia (p-valor)  $< 0,01$ , exigiendo un alto nivel de relación entre las variables.

### 3. ANÁLISIS DE RESULTADOS

En este capítulo se analizan los principales datos obtenidos de los ensayos realizados en la primera y segunda etapa. A partir de los datos obtenidos en la primera etapa se logrará conseguir un patrón de riego que se utilizará en la experiencia que la prosigue y la incidencia que tiene en la disminución del agua en la cubierta vegetal.

#### 3.1 ETAPA 1 RIEGO DE LISÍMETROS

Los treinta lisímetros se sometieron a diferentes tasas de riego, originando distintos grados de crecimientos. Se realizaron mediciones a los 0, 7, 14, 28 días a partir de la siembra, determinando el efecto del riego en las distintas etapas de desarrollo. Los resultados obtenidos se presentan a continuación junto a las variables presentadas en la metodología de este proyecto.

##### 3.1.1 Variaciones Climáticas.

Un factor importante al evaluar el desarrollo del trébol bajo las distintas tasas de riego, son las condiciones climáticas a la cual estuvieron expuestos los lisímetros mientras transcurría la experiencia (desde 22 de noviembre hasta el 20 de diciembre del 2013). Durante el período de medición las condiciones climáticas no fueron las ideales debido a las constantes precipitaciones (figura 6) que causaban tener que resguardar los lisímetros para evitar el ingreso no programado de agua en la experiencia.

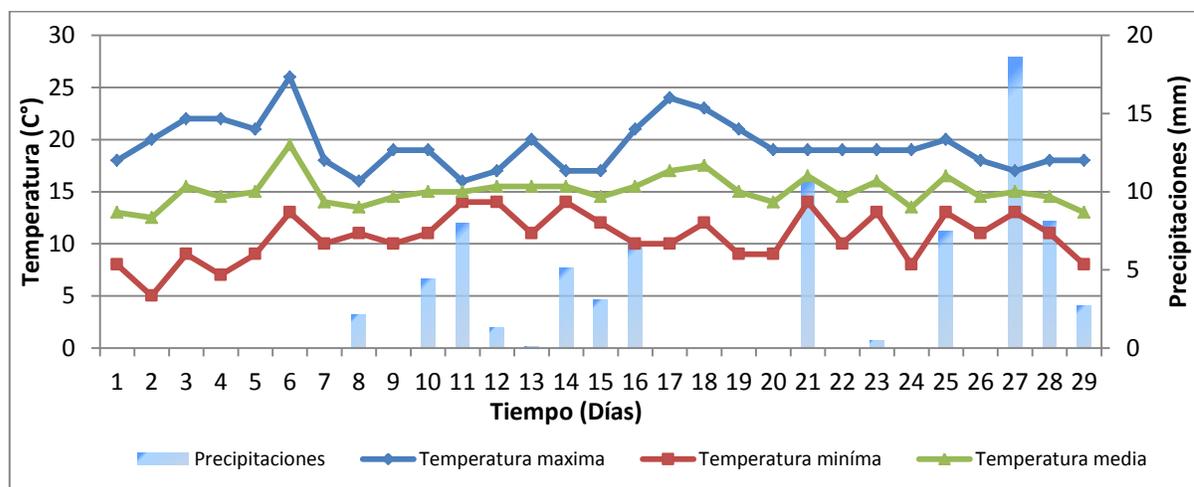


Figura 2: Temperatura - Precipitaciones.

(Fuente Elaboración Propia).

En la figura 6 se puede observar las variadas precipitaciones encontradas en el transcurso de la experiencia, la cual se centralizó durante la mitad de la experiencia y en los últimos días de medición. La temperatura media fue de 15,5 C° y se presentó una temperatura máxima y mínima de 26 C° y 5 C° respectivamente.

Dadas las agitadas condiciones climáticas se produjeron filtraciones en algunos lisímetros, evidenciadas mediante el aumento de humedades en aquellos que no poseían riego en días anteriores. Un detalle de las humedades se encuentra en el ANEXO D.

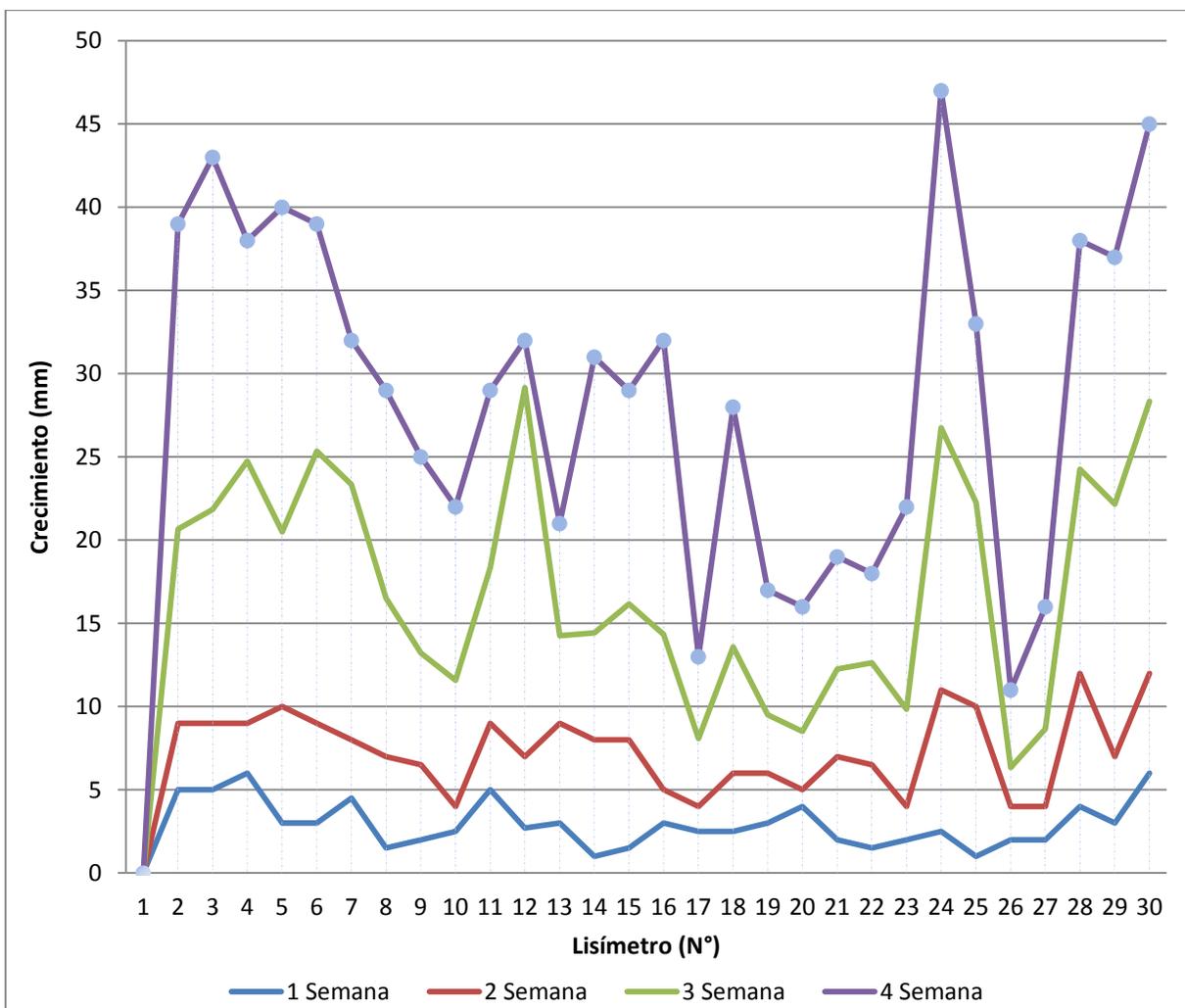
### *3.1.2 Etapas de crecimiento.*

Se puede determinar la escasez del recurso hídrico en la experiencia, como esencial en el desarrollo del trébol. Por ende, se hizo necesario caracterizar las distintas etapas a los 7, 14, 21 y 28 días.

Durante la primera semana (Figura 3) se observa que sólo la mitad de los lisímetros lograron la etapa de pre-brote (3 mm). Los lisímetros con mayor desarrollo son aquéllos que han recibido una mayor cantidad de agua en este periodo, aumentando su humedad promedio.

Aquellos lisímetros que poseían las mismas tasas de riego (N° 2, 3, 4) presentan un comportamiento semejante entre sí. De la misma forma se comportan los lisímetros N° 12 y 13 respectivamente, los cuales se aplicó una saturación a los 5 días Post-Sembrado.

En la segunda semana los lisímetros patrones (N° 2, 3, 4) desarrollan un crecimiento de 9 mm de forma idéntica. Cabe mencionar que los lisímetros rotan diariamente para exponerse a las mismas variables climáticas (radiación, viento y sombras creada por maleza y arboles aledaños al laboratorio), mientras los lisímetros N°12 y N°13 (ambos idénticos) poseen una diferencia promedio de 2 mm. Se comprueba en la segunda semana que todos han pasado la etapa de pre-brote mencionada en el capítulo 2.4.1 encontrándose en la etapa de germinación. Aquellos lisímetros con una mayor frecuencia de riego sobrepasan la barrera de los 10 mm de crecimiento y se encuentran en la etapa de pre-florecimiento.



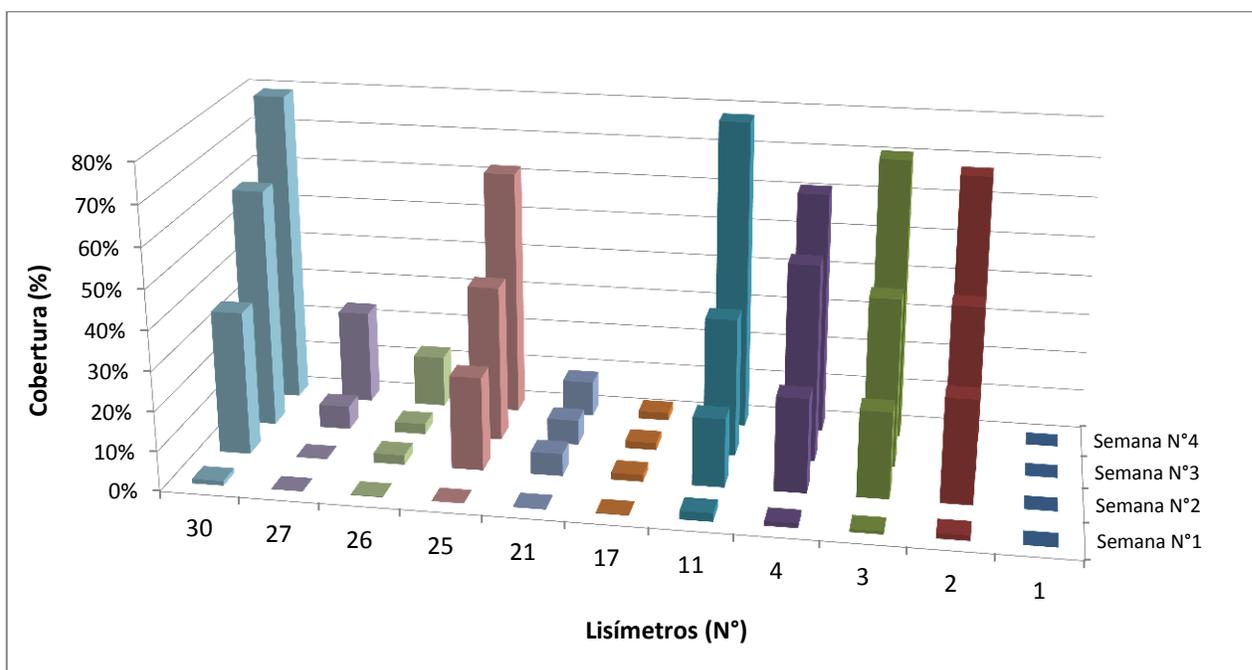
**Figura 3: Desarrollo (Altura plantas) del trébol para tasas de riego indicadas en tabla 2 (Fuente Elaboración Propia).**

En la tercera semana se observa la tendencia de aquellos lisímetros que crecen con mayor velocidad debido a su frecuencia de riego. Consecuentemente aquéllos que no se les ha incorporado agua son los que poseen el crecimiento menor (N°17, N°20, N°26, N°27). Se observa un aumento considerable en el desarrollo del lisímetro 12, correspondiendo a una filtración de lluvia que ocurrió en este periodo, por lo que se debió anular como lisímetro patrón. En la cuarta y última semana de investigación hay tendencias significativas. Todo aquel lisímetro que superó una humedad promedio del 22% supera los 35 mm de desarrollo, mientras los que se encuentran entre 20% y 21% poseen un crecimiento mínimo de 20 mm a las 4 semanas de desarrollo. Todos los lisímetros que posean una humedad menor a 20% se halla en etapas deficientes de crecimiento.

El máximo de crecimiento fue en el lisímetro 24 el cual se exponía cada 5 días al riego, con 47 mm de largo, mientras los menores fueron aquellos que se exponía a 25, 21 y 14 días de riego (N°17, 26 y 27 respectivamente).

### 3.1.3 Porcentaje de Cobertura

A través del análisis de diversas imágenes digitales, se determinó el porcentaje de cobertura de la cubierta vegetal y su evolución durante el desarrollo de la experiencia. Luego del análisis semanal de los lisímetros, se obtuvieron valores promedios en porcentajes de cobertura vegetal. Con estos valores se elaboró la figura 4 la cual exhibe la evolución en porcentaje de cobertura durante a los 28 días de desarrollo. Cabe mencionar que para efectos prácticos se determinó publicar sólo aquellos relevantes para la segunda etapa.



**Figura 4: Análisis de fotografía mediante Software CobCal  
(Fuente Elaboración Propia).**

En la figura 12 se aprecia que el recubrimiento experimentó un aumento constante en todas las experiencias. Durante los primeros 7 días se muestra una cobertura aproximada del 1%. Durante las próximas semanas se diferencia el porcentaje de cobertura con aquellos que poseían tasas de riegos más frecuentes a diferencia de las más esporádicas. Se observa que el lisímetro con mayor

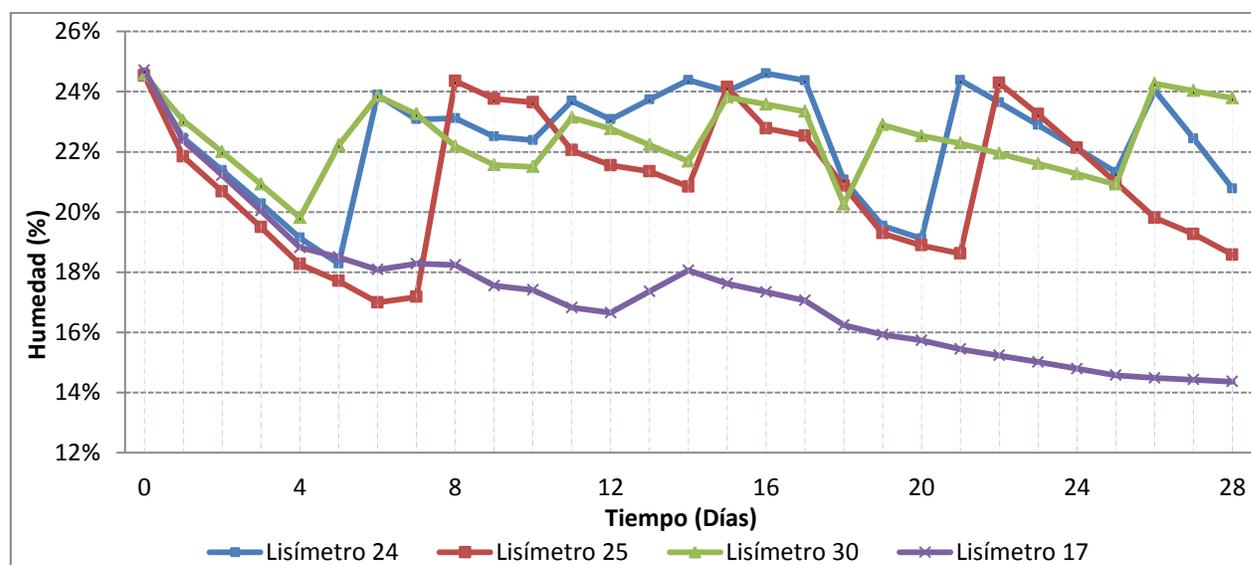
cobertura fue aquél cuya humedad aprovechable no disminuía del 70% (N°30) con una cobertura final de un 79% , mientras aquél que poseía una frecuencia de 25 días de riego (N°17) obtuvo el menor valor con un 2% de cobertura.

En este proceso no hubo problemas de baja precisión de los datos entregados por el Software CobCal 2, debido a que no hubo cambios de posición en la toma de las fotografías que fueron analizadas. Tampoco hubo errores acumulativos producto de las sombras creadas por las plantas y por los elementos que rodeaban a los lisímetros (rejas y arbustos), a diferencia de lo ocurrido en la etapa de taludes.

### 3.1.4 Humedades diarias

La humedad es la variable más relevante en este estudio. Por ende se realizó muestras diarias de cada lisímetro registrando la variación de la humedad respecto al peso. Debido al gran número de lisímetros en la figura 5 se grafica la humedad en las tres mayores tasas de crecimiento (N°17, 24, 25, 30). Además se grafica el lisímetro 17 cuyo crecimiento fue el menor en toda la experiencia. Se corrobora que la humedad muestra un comportamiento lineal en la pérdida de agua por evaporación, finalizando con un promedio de 17,2%. Cabe mencionar que el día 14 se infiltran precipitaciones demostrando un leve aumento de humedad.

Se determina un promedio de humedad del 22,5% para los lisímetros de mayor rendimiento, siendo ésta la humedad óptima para el crecimiento.



**Figura 5: Variación de humedad del suelo en el tiempo**  
(Fuente Elaboración Propia).

Se hace necesario identificar las experiencias más favorables para la elección del lisímetro patrón que será utilizado en la etapa 2 (Taludes). En la tabla N°3 se aprecian las variables de los lisímetros, de la cual se opta por el lisímetro 25, cuya tasa de riego es cada 7 días y luego se vuelve a saturar. Además muestra un crecimiento (aéreo y planta) aceptable en comparación a los de mayor índice, siendo la tasa de riego la más propicia para efectos prácticos.

**Tabla 3: Lisímetros de buen comportamiento en 4 semanas**  
(Fuente Elaboración Propia).

N° Muestra	Cubierta vegetal (%)	Crecimiento planta (mm)	Humedad promedio (%)	Volumen Total (mm)	Lluvia infiltrada (mm)	Frecuencia riego (veces/mes)
1	0.0	0	13.97	1.04	1.04	---
2	67.7	39	23.16	86.7	30.8	4
3	70.8	43	22.45	78.3	0.0	5
4	61.2	38	22.10	83.2	1.1	5
5	71.3	40	22.29	88.7	0.0	18
6	44.5	39	22.07	55.8	0.0	18
7	61.1	32	20.97	56.5	0.0	18
8	33.8	29	20.88	49.6	0.0	18
9	34.2	25	19.88	56.6	0.0	18
10	44.8	22	20.50	67.0	29.8	18
11	78.2	29	20.14	37.0	3.1	2
12	66.4	32	21.93	62.9	27.2	2
13	23.8	21	18.87	35.2	0.0	2
14	72.4	31	19.73	37.6	0.4	2
15	55.8	29	20.50	40.9	3.0	2
16	57.1	32	19.85	40.9	11.9	2
17	2.0	13	17.32	24.0	4.0	1
18	21.4	28	20.39	48.8	17.3	2
19	25.5	17	19.20	49.4	13.8	2
20	13.5	16	19.00	40.1	0.5	2
21	8.9	19	18.83	40.7	14.0	2
22	25.2	18	20.04	38.4	10.7	2
23	14.6	22	18.64	32.0	6.5	2
24	75.6	47	22.42	70.4	0.0	6
25	62.4	33	21.02	72.7	0.0	4
26	13.0	11	18.99	67.0	0.0	3
27	23.7	16	19.56	58.5	0.0	3
28	57.8	38	21.88	84.9	13.7	4
29	37.7	37	21.74	71.7	3.2	4
30	79.4	45	22.46	79.7	0.0	7

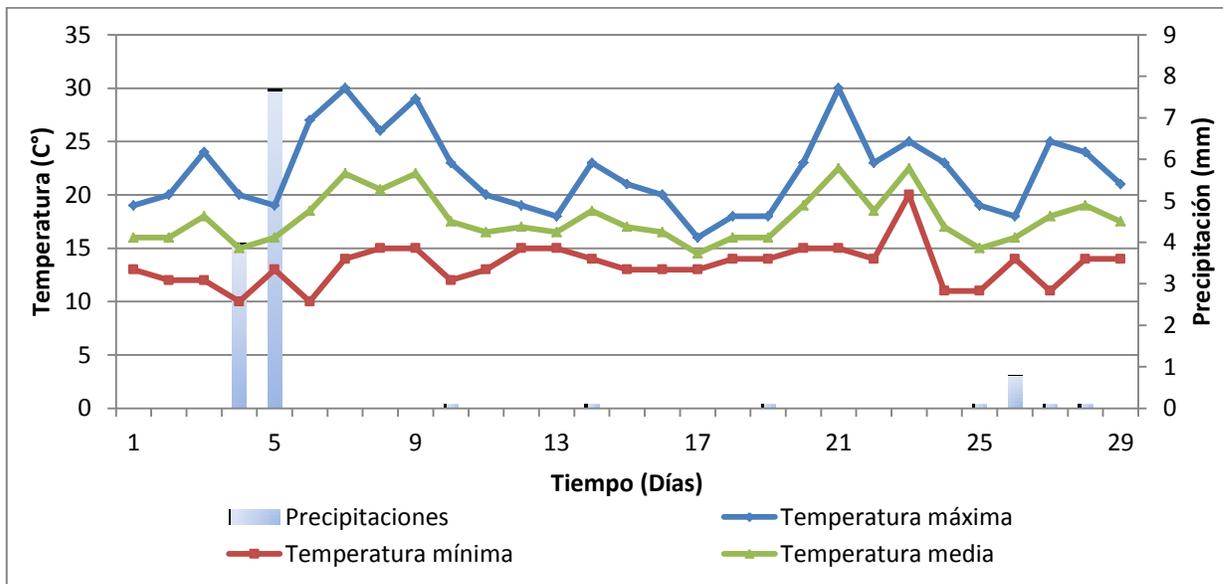
Analizando la tabla 3 se observa tendencias de humedad, donde aquellos lisímetros que poseían un alto porcentaje de ésta, necesitaban una alta frecuencia y volumen aportado de agua. Pero aquéllos que fue necesario saturar sólo dos veces (dentro de los primeros 15 días) tuvieron resultados más que aceptables. En consecuencia se riega dos veces con la precaución de saturar el suelo, poseyendo una baja tasa de riego total y una baja frecuencia, que es lo que se busca en el presente proyecto. Hay que considerar que el crecimiento de éstos no fue tan aceptable, pero en concepto práctico es preferible una planta con una buena cobertura en comparación al crecimiento, debido a que generalmente se encuentran con otras especies que generan otras características. Además se observa el agua infiltrada en este proceso y el volumen total aportado (riego + infiltración). Todo aquel lisímetro que supera una humedad promedio del 22% supera los 35 mm de desarrollo, de 20 a 22% de humedad poseen un crecimiento mínimo de 20 mm mientras que aquellos lisímetros con humedad menor a 20% poseen desarrollos deficientes.

### 3.2 ETAPA 2: DESARROLLO EN TALUDES

En esta etapa se pretende analizar los datos obtenidos utilizando el patrón (frecuencia de riego) elegido en la etapa anterior, cuya tasa de riego es cada 7 días. Fueron tres lisímetros de diferentes pendientes los utilizados en este período, además un talud ubicado en el cerro aledaño al laboratorio con tres zonas de estudio (tabla 1).

#### 3.2.1 Variaciones climáticas

Considerando que la variable climática es trascendental en este proceso, se registra las temperaturas y precipitaciones mientras se continúa la experiencia. La fecha fue del 3 al 31 de enero del 2013 completando las cuatro semanas programas. En la figura 6 se observa las escasas precipitaciones en el transcurso de la experiencia, la temperatura media fue de 17,7 C°, una temperatura máxima y mínima de 30 C° y 10 C° respectivamente.



**Figura 6: Temperaturas y precipitaciones durante la segunda etapa, (Fuente Elaboración Propia).**

### 3.2.2 Desarrollo del trébol en pendiente

En primera instancia se observó durante el proceso de germinación, un levantamiento de la capa superficial de suelo (figura 7) al igual que en los lisímetros de la etapa anterior. Este fenómeno se ocasionó por la compactación de la capa superficial que cubre la semilla, la cual fue levantada por la germinación del trébol.



**Figura 7: Levantamiento capa superficial**  
(Fuente Elaboración Propia).

En las semanas que prosiguieron a la germinación, se observó distintas conductas en el desarrollo del trébol; Aquéllos sembrados a pie del cerro no se comportaron de la misma forma que los sembrados en los lisímetros de talud. Las tablas 4 y 5 describen las características en las dos últimas semanas de desarrollo.

**Tabla 4: Desarrollo del trébol en taludes a la tercera semana**  
(Fuente Elaboración Propia).

	Longitud (mm) – Día 21				Cobertura
	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Promedio	%
T1	31	23	32	28.8	46.57
T2	14	20	24	19.4	24.65
T3	31	23	37	30.1	46.49
C1	16	22	15	17.7	7.96
C2	14	11	12	12.3	2.33
C3	10	12	10	10.7	1.07

Al mismo tiempo todos los taludes fueron sometidos a la misma tasa de riego así como frecuencia, siendo saturados cada 7 días. En consecuencia se puede determinar las diferencias de crecimiento y cobertura debido a las diferentes pendiente de cada talud. A mayor pendiente la cobertura y el crecimiento de la planta eran menores.

**Tabla 5: Desarrollo de trébol en taludes a la cuarta semana  
(Fuente Elaboración Propia).**

	Longitud (mm) – Día 28				Cobertura
	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Promedio	%
T1	33	35	40	36.0	49.14
T2	30	22	25	25.7	29.36
T3	48	42	35	41.7	53.07
C1	21	26	30	25.7	8.38
C2	21	17	15	17.7	2.60
C3	16	14	10	13.3	1.30

Además un mal uso del riego en el talud afectaría el arrastre de las semillas en las primeras semanas, por lo que es preferible usar un poco caudal por un periodo más prolongado ya que permitiría la infiltración del agua evitando la escorrentía en el talud.

Hay que considerar que el riego fue mediante una regadera artesanal y el tiempo de regadío no fue el óptimo para saturar la muestra. En consecuencia siendo la misma tasa y frecuencia de riego que la primera etapa, no se obtuvieron los mismos niveles de crecimiento y cobertura que en terreno plano, pero se logran crecimientos semejantes a estudios anteriores (Castillo, 2009, López; 2012; Meneses; 2011) en el periodo estudiado. Pese a lo anterior se disminuye la humedad y se aumenta la frecuencia de riego reduciendo de esta forma el agua utilizada. Además hay que considerar que no existió uso de fertilizante en la siembra del trébol por lo cual se confirman los niveles de crecimiento, abriendo una ventana a obtener niveles superiores a los mostrados en este informe.

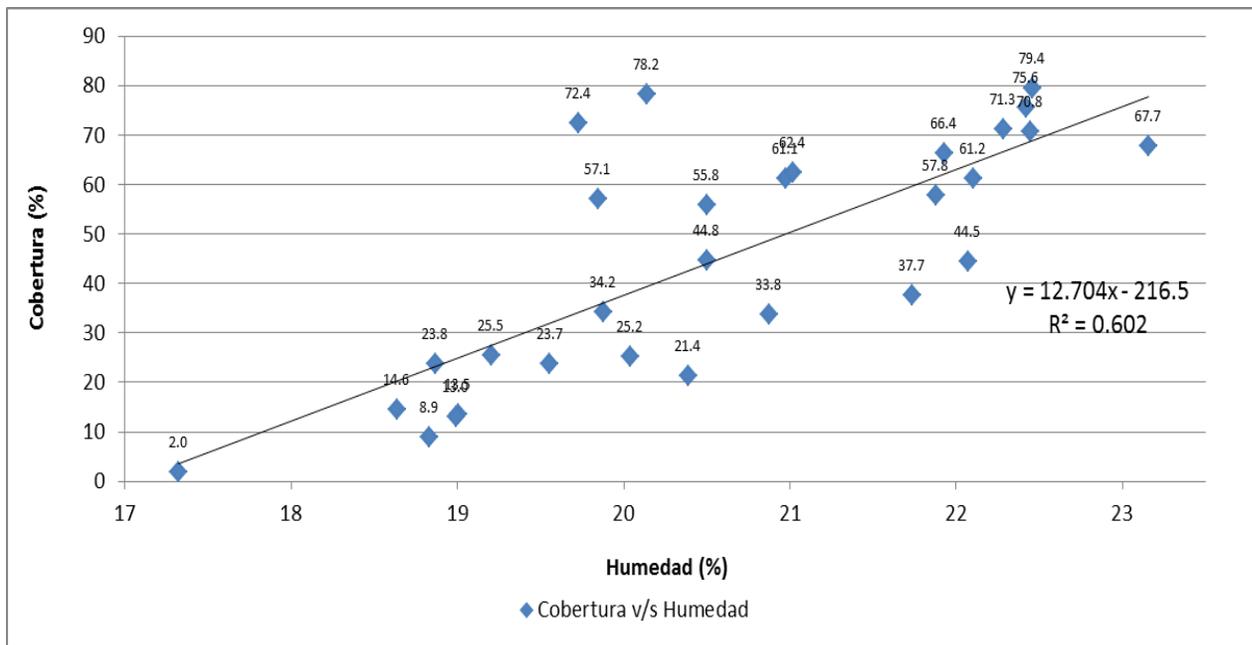
Cabe mencionar que la cobertura del talud C3 (170%) y del C2 (70%) fue insuficiente, en el desarrollo del trébol. Pero existieron coberturas superiores al 50% para los taludes de pendiente baja (25%), estimando pendientes máximas para el crecimiento del orden de 40%. No se utilizó ninguna malla geotextil para la implementación de la semilla lo cual para efectos prácticos aumentaría el umbral de pendiente. Las diferencias de crecimiento y cobertura entre los lisímetros T y C se pueden derivar de la diferencia de pendientes, las cuales aumentaban la escorrentía superficial para la misma cantidad de riego. Además las lluvias existentes las primeras semanas generaron escurrimientos que provenían desde el seno del cerro, pudieron erosionar algunas semillas depositándolas al pie del talud, caso no evidenciado en los taludes de lisímetros ya que su volumen de control era mucho menor ( $1 \text{ m}^2$ ).

3.2.3 Análisis estadístico

Al analizar los datos obtenidos mediante un análisis de regresión lineal (Anexo F) se obtiene que la relación entre humedad v/s crecimiento se ajusta en un 81% (coeficiente de regresión lineal  $R^2=0,81$ ), lo que permite afirmar que la variable humedad está correlacionada o influye en el crecimiento, al igual que el volumen de riego el cual posee un  $R^2=0,68$ .

De la figura 8 se puede observar puntos que escapan a la línea de tendencia. Con una humedad muy baja se alcanzan coberturas relativamente altas en comparación a lisímetros que poseían una humedad alta y habían demandado mayor cantidad de agua en la experiencia.

Lo anterior se debe a la cantidad de riego que recibe la planta en los días críticos de crecimiento, ya que sus frecuencias (Tabla 3) varían dentro de los primeros 15 días, manteniendo una humedad promedio en este periodo de un 22,3% lo que sería suficiente para un desarrollo seguro de la planta.



**Figura 8: Correlación lineal entre cobertura v/s humedad**  
(Fuente Elaboración Propia).

Los datos de la tabla 3 son llevados a un análisis correlación de Spearman y cuyos resultados se encuentran en la figura 9. Se observa una buena correlación entre las variables a medir, siendo la mejor entre humedad y crecimiento. Cabe destacar que los valores son positivos ya que a una

mayor humedad o volumen de riego (variables independientes) la cobertura y crecimiento serán mayores (variables dependientes).

**Coefficientes de correlación**

Correlación de Spearman: Coeficientes\probabilidades

	Cobertura (%)	Crecimiento (mm)	Humedad promedio (%)	Volumen de riego (ml)
Cobertura (%)	1.00	3.7E-08	9.2E-07	4.3E-03
Crecimiento (mm)	0.82	1.00	2.0E-11	9.5E-05
Humedad promedio (%)	0.77	0.90	1.00	1.7E-07
Volumen de riego (ml)	0.51	0.66	0.80	1.00

**Figura 9: Correlación Spearman obtenida con InfoStat  
(Fuente Elaboración Propia).**

Estos análisis permiten concluir que el volumen de riego es un parámetro significativo en el desarrollo de la cubierta vegetal, ya que con 40 mm de riego durante los primeros 15 días de desarrollo se alcanzan coberturas mayores al 80% de las muestras y crecimientos mayores al 50%. Además que un único periodo de riego es inconcebible para el desarrollo del trébol ya que no logra coberturas ni crecimientos significativos. En consecuencia el valor de la humedad es tan importante como en el periodo que se aplica en riego. Es por eso la importancia de la etapa crítica de desarrollo (Primeros 15 días).

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Al término del primer mes del trébol sembrado en los lisímetros, se concluye que todo aquel lisímetro que supera una humedad promedio del 22% en las primeras dos semanas posee un crecimiento de la planta mayor a los 35 mm. De la misma forma, aquellos que se encuentran en el rango de 20 a 21% de humedad, poseen 20 mm mínimos en el crecimiento de su cubierta vegetal.

Con humedades menores a 20% se presentaron crecimientos deficientes y diferencias de cobertura vegetal de hasta un 400% con aquellos de mejor evolución. En consecuencia una humedad menor al 20% en el proceso de germinación y desarrollo del trébol, es insuficiente para la utilización como cubierta vegetal en protección de la erosión.

Para el porcentaje de cubierta vegetal se determinó que los valores dependían directamente de la humedad y sembrado del trébol, siendo la humedad la estudiada en este proyecto de título. El uso del software facilitó la comparación que se realizó entre la cobertura vegetal y humedad, mostrando resultados lineales entre sí, es decir, a mayor humedad y volumen de riego mayor era el porcentaje de cobertura.

El volumen de riego se determina fundamental en el proceso de germinación del trébol, ya que se requiere un mínimo de 40 mm de agua aportada en los primeros 7 días para lograr un crecimiento mayor a 25 mm, ya sea de riego o precipitaciones. Así se aumenta su humedad promedio en los primeros 15 días, los cuales son críticos para el desarrollo, asegurando el crecimiento de la planta.

Se opta por el lisímetro cuya tasa de saturación de humedad aprovechable se corrige cada 7 días, pues muestra un crecimiento (aéreo y planta) aceptable, en comparación a los de mayor índice, siendo un 30% menor que el mejor, eligiendo esta tasa de riego, como la más propicia para ser puesta en práctica. Ya que el riego una vez por semana se hace factible económica y técnicamente para su implementación.

La dosificación elegida no obtiene los mismos resultados en los taludes, debido a las diferentes pendientes que presentan, presentando escorrentía superficial en cada uno de los taludes, la cual es estimulada en momentos de riego. Por ende se hace necesario prolongar el tiempo de regadío disminuyendo el caudal, provocando de esta manera la infiltración del agua aportada, llegando a los niveles de humedad estimados 22%. El método de riego utilizado no fue óptimo para saturar la muestra, por lo que se recomienda utilizar un método alternativo.

El desarrollo del trébol en taludes con pendientes mayores a 60% fueron insuficientes, pero existieron coberturas superiores al 50% para taludes de pendiente menores a 25%. Por ende las pendientes recomendables para el manejo del trébol en taludes son de 0 a 40%, teniendo mejores resultados cuando se disminuye la pendiente. Sin embargo queda pendiente un estudio más detallado de la tasa recomendada, mediante un riego óptimo.

Considerando estudios anteriores del estudio del trébol, se disminuye la humedad y frecuencia de riego reduciendo de esta forma el agua utilizada. Sumando que no existió uso de fertilizante en la siembra del trébol, lo cual aumenta los niveles de crecimiento, se abre una ventana a obtener niveles superiores a los mostrados en este informe.

Además se recomienda en el cálculo de humedad aprovechable para los distintos tipos de suelo, considerar una profundidad no más allá de las capas superficiales del suelo, ya que las plantas están propensas a sufrir estrés hídrico sólo unos pocos días después del tiempo seco.

## REFERENCIAS

- Aguilar, R. (1997). Informe “Inspección acceso norte a Concepción, octava región”. Preparado para Zañartu ingenieros consultores.
- Aroca, A. (2005). “Influencia del uso de Lodos en el crecimiento de especies utilizadas para protección de erosión en la Región del Bío-Bío”. Proyecto de Título Ingeniería Civil. Universidad del Bío- Bío.
- Cabrer, J. (2011). “Efectos en la erosión de la etapa de germinación de trébol enano en un talud de alta pendiente”. Proyecto de título Ingeniería Civil .Universidad del Bío- Bío.
- Carraco, J.; y Riquelme,J (2003). “Métodos y prácticas de conservación de suelos y aguas”. Boletín INIA N°103. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Centro Regional Rayentué. San Fernando,23-43 p.
- Castillo, M. (2009). “Influencia del método de incorporación de biosólidos secos sobre un suelo en el desarrollo vegetal y en la evapotranspiración del trébol”. Proyecto de Título Ingeniería Civil, Universidad del Bío-Bío.
- Dirección General de Aguas, Ministerio de Obras Públicas (DGA). [En línea] <<http://dgsatel.mop.cl/index.asp>> [consultas: 22 de Noviembre del 2012 al 31 de Febrero de 2013].
- Ferrari, M.; Ferrari, C.; y Ferrari, C. (2006) Manual de Software de análisis y procesamiento de imagen digital CobCal. [en línea] <http://www.cobcal.com.ar/pantallas.php>. Acceso Febrero 2013.
- 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.
- López, J. (1999). “Manual de estabilización y revegetación de taludes maduros”. España.

- Meneses, A. (2011). “Análisis de la erosión hídrica en taludes a escala sembrados con trébol enano durante otoño e invierno”. Proyecto de título Ingeniería Civil, Universidad del Bío-Bío.
- Morgan, R. (1997) “Erosión y conservación del suelo” Tercera Edición. Ediciones Mundi- Prensa. España.
- Nichols, P., Malik, A., Stockdale, M., Colmer, T. (2009). “Salt tolerance and avoidance mechanisms at germination of annual pasture legumes: importance for adaptation to saline environments”, *Plant and Soil: international journal on plant-soil relationships*, 315, pp. 241-255.
- Norma Chilena NCh 1515 of 1979, “Mecánica de suelos –Determinación de la humedad”, Instituto Nacional de Normalización (INN).
- Norma Chilena NCh 1534/ 1 of 79, “Mecánica de suelos –Relaciones humedad/ densidad – Parte 1: Métodos de compactación con pisón de 2,5 kg y 305 mm de caída”, Instituto Nacional de Normalización (INN).
- Norma Chilena NCh 1517/ 2 of 1979, “Mecánica de suelos –Límite de consistencia- Parte1: Determinación del límite plástico”, Instituto Nacional de Normalización (INN).
- Norma Chilena NCh 165 of 77. “Áridos para morteros y hormigones –Tamizado y determinación de la granulometría, Instituto Nacional de Normalización (INN).
- Norma Chilena NCh 3236 n 2010. “Mecánica de suelos –Tamizado y determinación de la granulometría, Instituto Nacional de Normalización (INN).
- Orellana, C. (2008). “Medición de Evapotranspiración en plantas aptas para el control de la erosión en condiciones climáticas desfavorables”. Proyecto de Título Ingeniería Civil. Universidad del Bío-Bío.

- Pizarro, Morales, Vega, Olivares, Valdés, Balocchi. (2009). “Propuesta de un modelo de estimación de erosión hídrica para la región de Coquimbo, Chile” .Programa hidrológico internacional de la UNESCO para América latina y El caribe. Documento Técnico N° 18.
- Riquelme, C. (2010). “Diseño de lisímetros para estudiar la erosión hídrica en taludes a escalas”. Proyecto de título Ingeniería Civil .Universidad del Bío- Bío.
- Salas, R. (2003). “Recuperación De Suelo Degradado A Partir De La Aplicación De Lodos Provenientes De Plantas Depuradoras”. Proyecto de Título Ingeniería Civil. Universidad del Bío- Bío.
- Shaxson, F., R. Barber. (2005). “Optimización de la humedad del suelo para la producción vegetal. El significado de la porosidad del suelo”. Boletín de suelos de la FAO N° 79. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.
- Solar, C. (2012) “Efectos de las etapas de desarrollo de congona sobre la erosión hídrica en talud de baja pendiente”. Proyecto de Título Ingeniería Civil. Universidad del Bío- Bío.
- Sumanasena. H.; Horne, D.; y Scotter, D. (2011) “Effects of irrigation frequency on ryegrass and white clover growth. 1. Experimental results”. Soil Research, v.49, 355–360.
- Sumanasena. H.; Horne, D.; y Scotter, D. (2011) “Effects of irrigation frequency on ryegrass and white clover growth. 2. Improving irrigation efficiency”. Soil Research v. 49, 355–360.
- Tekeli, A.S.; Ates, E. (2006). "Valores nutritivos de diferentes tréboles anuales (*Trifolium* sp.) en diferentes etapas de crecimiento". Revista Cubana de Ciencia Agrícola, num. Sin mes, pp. 97-103.

# ANEXOS

## ANEXO A ANTECEDENTES GENERALES

El suelo utilizado en esta experiencia corresponde a arena limosa, el cual es característico de la región. Fue extraído de las faldas del cerro de la Universidad Del Bío-Bío. Posee bajos niveles de nitrógeno, fósforos y potasio (suelo degradado), es fácil de erodar y es posible encontrarlo en pendientes medianas y altas.

### A.1 Propiedades del suelo

A continuación se describen las propiedades del suelo más importante para la investigación en estudio.

#### A.1.1 Capacidad de Campo (CC)

Se define como el contenido de agua que retiene un suelo en contra de la fuerza de gravedad, en condiciones de equilibrio y cuando no existe extracción de agua del suelo por las plantas, sea esta por evaporación o transpiración. Se expresa como porcentaje sobre la de la textura, cantidad de materia orgánica y grado de compactación de este.

Se puede obtener saturado de un suelo de agua y que se ha dejado drenar libremente alrededor de 24 a 48 horas luego se cancela de la siguiente forma:

$$C.C = \frac{(P_{sh} - P_{ss})}{P_{ss}} * 100$$

Donde

C.C= Capacidad de campo del suelo en estudio

Psh= Peso de suelo húmedo

Pss = Peso del suelo seco.

La capacidad de campo para suelos arcillosos de la región es 30,9 % (Salas 2003)

### A.1.2 Densidad Aparente ( $D_a$ )

La densidad Parente es la relación ente la masa secada al horno de las partículas del suelo y el volumen total, incluyendo el espacio de poros que ocupan. La densidad aparente de los suelos arcillosos es de 1,28 g/cm<sup>3</sup> a 1,37 g/cm<sup>3</sup> aproximadamente.

### A.1.3. Permeabilidad

Uno de los factores más importantes en la filtración del agua es la permeabilidad que se define como la capacidad que tiene un suelo para ser atravesado por un fluido. Si el suelo es muy permeable, el agua se estanca en la superficie antes de que empiece a escurrir. Los suelos arcillosos se caracterizan por ser un suelo semipermeable.

### A.1.4. Humedad

Se denomina humedad del suelo a la cantidad de agua por volumen de tierra que hay en un terreno.

Para determinar la humedad de un suelo y expresarla en porcentaje, se pesa una muestra de suelo y a continuación se seca en una estufa a temperatura de 105 + 5 ° C, por un periodo de 24horas ó hasta obtener 2 pesadas consecutivas iguales.

El contenido de humedad se calcula con la siguiente fórmula

$$\text{Humedad}(\%) = \left( \frac{M_{\text{suelo}} - M_{\text{suelo secado al horno}}}{M_{\text{suelo secado al horno}}} \right) * 100$$

Dónde:

*Humedad* = Humedad en el suelo en %.

$M_{\text{suelo}}$ : Masa de suelo inicial.

$M_{\text{(suelo secado al horno)}}$ : Masa del suelo secada al horno.

## A.2. Características de la vegetación.

La vegetación juega un papel importante en evotranspiracion debido a que son los encargados de aportar con su transpiración. También se destaca la función que ellas cumplen como estabilizadoras y protectora de suelo degradados.

### A.2.1. Características Hídricas de la vegetación

El proceso de fotosíntesis implica la llegada de CO<sub>2</sub> proveniente de la atmósfera al mesófilo las hojas. Esto conlleva una apertura estomática y a su vez pérdida de agua hacia la atmósfera.

Las pérdidas de agua por las hojas a través de la transpiración debe ser suplida por la absorción de ésta desde el suelo. Si no se logra esta compensación, la planta se deshidrata, cerrando sus estomas y reduciendo así la producción de materia orgánica de fotosíntesis.

### A.2.2 Umbral de Riego (U.R)

Es un porcentaje del agua aprovechable que tiene que consumirse antes de que se riegue de nuevo.

### A.2.3. Punto de marchitez Permanente (P.M.P)

Es el contenido de agua de un suelo que ha perdido toda su agua a causa del cultivo o por evaporación y, por lo tanto, el agua que permanece en el suelo no está disponible para el mismo. En esas condiciones, el cultivo está permanentemente marchito y no puede revivir cuando se le coloca en un ambiente saturado de agua. Al contacto manual, el suelo se siente casi seco o muy ligeramente húmedo

Se puede estimar de la siguiente forma:

$$P.M.P = \frac{C.C}{1.85}$$

Dónde:

P.M. P= punto de marchitez permanente expresado en %

C.C = capacidad de campo del suelo en estudio

Para suelos arcillosos de la región el P.M. P es de 20,21 % (Salas, 2003)

### A.2.4. Humedad aprovechable

El agua utilizable por las plantas es la diferencia entre el grado de humedad del suelo en un momento determinado y el grado de humedad correspondiente al punto de marchitez permanente de este suelo, por lo tanto el máximo de agua utilizable por las plantas será la diferencia entre la capacidad de campo y punto de marchitez permanente.

### A.2.5. Importancia de la Capa Vegetal en el Suelo

- Permite la evapotranspiración: Permite que el agua quede en la superficie y sea evaporada.
- Disminuye la infiltración (aumenta la evaporación) El agua que se infiltra en parte quedar retenida en un nivel freático del que no va a salir o puede pasar un tiempo se retención hasta llegar al afloramiento por mantenimiento de los que sí se podrá evaporar.
- Influye sobre el agua de escorrentía superficial: Otra parte del agua va a resbalar por los troncos de árboles y llegar hasta ríos más limpios incluso de lo que cayó.
- Previene la erosión: Si no hay un manto de vegetación suficiente libre el suelo el agua puede tener efecto erosión y arrastrar los nutrientes que se encuentren en él haciendo que pierda fertilidad
- Influye en la caracterización del ecosistema: la capa vegetal que recubre el suelo influirá sobre el tipo de animales que se encuentre sobre ella y formar parte de las cadenas tróficas. Un cambio provocado bruscamente sobre a vegetación puede ocasionar un ecosistema no viable e incluso resultar irreversible.

#### *A.2.6 Evapotranspiración*

Es trascendental el estudio de los procesos de la evapotranspiración ya que ayudan a modelar, predecir y acrecentar los rendimientos de los cultivos. En este caso, el uso de metodologías que involucran el desarrollo del trébol.

#### *A.2.7. Factores que influyen en la evapotranspiración*

La evapotranspiración depende del poder evaporante de la atmósfera, que además depende de factores como:

- Radiación solar
- Temperatura
- Humedad
- Presión atmosférica
- Viento

### A.2.8. Evapotranspiración Real ETR

Suma de cantidades de agua evaporadas a partir del suelo y transpiradas por los vegetales, bajo las condiciones meteorológicas, de humedad del suelo, de vegetación, existente en un lugar y durante un intervalo de tiempo dado.

### A.2.9. Evapotranspiración Potencial ETP

Cantidad de agua capaz de ser perdida en fase vapor en un clima dado, por una extensión continua y corta de vegetación (tapiz vegetal) que cubra completamente el suelo saturado. Incluye la evaporación a partir del suelo y la transpiración de la vegetación, bajo las condiciones atmosféricas y durante un intervalo de tiempo dado.

### A.2.10 Calculo Evapotranspiración

La evapotranspiración se obtiene mediante un balance hídrico que se hace en un volumen de control que corresponde a los lisímetros el cual se evaluará con una frecuencia diaria. El método directo consiste en usar un recipiente cerrado lateralmente para evitar pérdidas en el volumen de control y del cual se conseguirá obtener un balance hídrico en cada uno de los lisímetros como:

$$\text{Precipitaciones} + \text{Riego} = \text{ETR} + \text{Infiltración} \pm \Delta \text{almacenamiento}$$

(Ecuación N°1)

Donde  $\Delta$ almacenamiento se mide mediante tomas de peso diarias, mientras que la infiltración se aproxima a cero en el volumen de control estudiado ya que se programa no sobrepasar su capacidad de campo máxima. Además las precipitaciones se consideran nulas pues los lisímetros se recubren para evitar filtraciones de estas, en algún caso eventual se considerarán en el estudio. Por lo tanto la ecuación utilizada será la siguiente.

$$\text{ETR} = \text{Riego} \pm \Delta \text{almacenamiento}$$

(Ecuación N°2)

### **A.3.Sistemas de Siembra de Recubrimientos Vegetales**

Existen diversos sistemas de siembra, los cuales se deben adaptar a la condición del lugar donde se realizará la protección del talud. Los más usados son los siguientes:

#### *A.3.1.- Siembra manual*

La siembra en forma manual consiste simplemente en distribuir manualmente, lo más uniforme posible las semillas sobre la cara del talud. Es importante que al momento de sembrar, el terreno se encuentre en condiciones de recibir las semillas, es decir, que el suelo no esté muy seco, por lo que existe para cada zona una época de siembra, la cual debe ser respetada. Las condiciones climáticas inmediatas antes, durante y después de la siembra deben ser las adecuadas, evitando temperaturas muy altas o muy bajas.

#### *A.3.2.- Hidrosiembras*

Consiste en la proyección de una mezcla homogénea de semillas, mulch, fijadores, fertilizantes, aditivos y agua sobre el talud, mediante una máquina hidrosebradora. Tecnológicamente diseñado para establecer vegetación de una forma efectiva, ecológica, rápida y económicamente atractiva. Las semillas deben ser seleccionadas para el terreno específico.

### **A.4. Cubierta Vegetal**

Los tipos de cubierta vegetal utilizados en cada lugar dependen principalmente del tipo de suelo a proteger y de las condiciones climáticas imperantes en el lugar donde se emplaza el talud. Ballica, Festuca, Trébol Rosado, Trébol Subterráneo y Trébol enano (*Trifolium Repens*)

## ANEXO B: RESULTADOS ESTUDIO MECÁNICA DE SUELOS.

A continuación se muestra algunos parámetros del suelo estudiado

### B.1 Granulometría

Se realizó una granulometría siguiendo lo recomendado por la norma NCh 165 of. 77, los resultados obtenidos se exponen en la tabla B1

**Tabla B1: Granulometría.(Fuente: Solar 2012)**

Tamiz	Peso retenido (gr)	Porcentaje retenido (%)	Porcentaje que pasa (%)
Nº 4	0	0	100
Nº 10	112,35	20,06	79,94
Nº 20	0	0,00	79,94
Nº 40	134,6	24,04	55,90
Nº 60	0	0,00	55,90
Nº 200	297,85	53,19	2,71
Suma	544,8		
Residuo (gr)	113,11		
Peso suelo seco (gr)	560		

Clasificación AASHTO = Grupo A-2-4 (gravas y arenas limosas arcillosas)

Clasificación USCS = SM (arena limosa)

### B.2. Límites de consistencia.

Para encontrar el limete liquido se utilizo la norma NCh 1517 of 79. Y para el límite plástico la NCh 1517/ II of. 1979.

*Limite líquido*

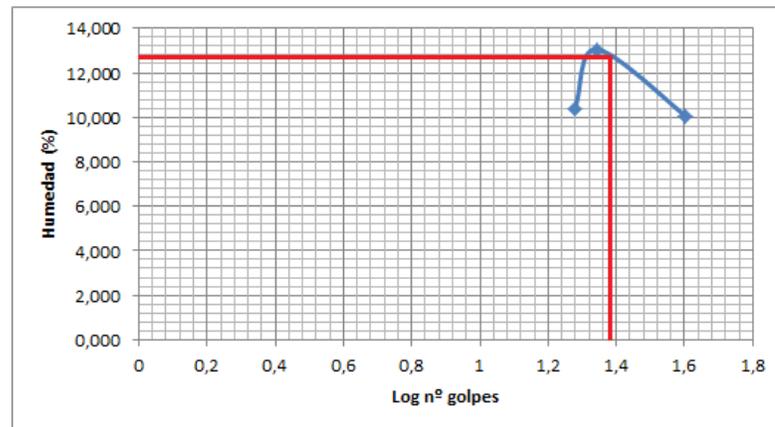
**Tabla B2: Resumen ensayos para limite liquido (Fuente: Solar 2012)**

Cápsula	Golpes (n°)	Peso cápsula (gr)	Peso material húmedo (gr)	Peso material seco (gr)	Peso agua (gr)	% w
70	19	18,15	27,57	24,70	2,87	10,41
15	40	23,32	35,84	32,23	3,61	10,07
F	22	15,37	31,70	27,56	4,14	13,06

LL = w % a los 25 golpes = 12,8 %.

Método de ensayo empleado: Mecánico

Tipo de Acanalador empleado: Tipo ASTM



**Figura B1: Determinación límite líquido.(Fuente: Solar 2012)**

*Limite plástico*

**Tabla B3: Resumen Límite líquido.(Fuente: Solar 2012)**

Cápsula	Peso ( gr)	Peso cápsula + bastones húm. (gr)	Peso cápsula + bastones secos (gr)	Peso agua (gr)	% Humedad
14	22,52	28,34	26,87	1,47	5,19
12	20,00	30,66	28,88	1,78	5,81
a-5	17,67	24,59	22,96	1,63	6,63
Promedio					5,87

L = 5,87%

*Índice de plasticidad*

IP = LL - LP = 12,8 - 5,87 = 6,93

## ANEXO C INFORMACIÓN Y COMPACTACIÓN DE LISÍMETROS

Como se mencionó anteriormente, este suelo en estado natural presentó una densidad compactada húmeda de  $1777 \text{ kg/m}^3$ , una densidad compactada seca de  $1250 \text{ kg/m}^3$  y una humedad natural de 17% (NCh 1515. Of 79)



**Figura C 1: Balde 4 lts.**

**Fuente: Plásticos Haddad**

Una vez extraído el suelo del talud, este se acumuló en una zona expuesta a la humedad en el laboratorio. Debido a esto el suelo adquirió humedad adicional, llegando a 18%, por lo que cubicación de la cantidad de suelo a ingresar a cada lisímetro se calculó considerando esta nueva condición. También se cubico el volumen interno de cada lisímetro mediante volúmenes de agua ver tabla C1.

**Tabla C 1: Volumen balde**

**Fuente: Elaboración Propia**

	Volumen	Masa
	Grs.	
Balde	3919.5	223.5

Se asumió un rango de densidades de los lisímetros entre 65% y 75% de DMCS del suelo, aproximándose lo más posible al promedio de estos valores, un valor del  $1250 \text{ kg/m}^3$ . De acuerdo a una humedad de 18%, se determina introducir en el volumen mencionado 5.82 Kg de masa húmeda, estableciendo una compactación que se realizó manualmente con un pisón metálico de 2,39kg y un área basal de  $0,01962 \text{ m}^2$ , mediante 5 capas de 4 cm con la finalidad de controlar con mayor detalle la densidad a la cual se deseaba llegar, las que se compactaron dejando caer el pisón metálico desde una altura de 30 cm hasta lograr la densidad deseada.

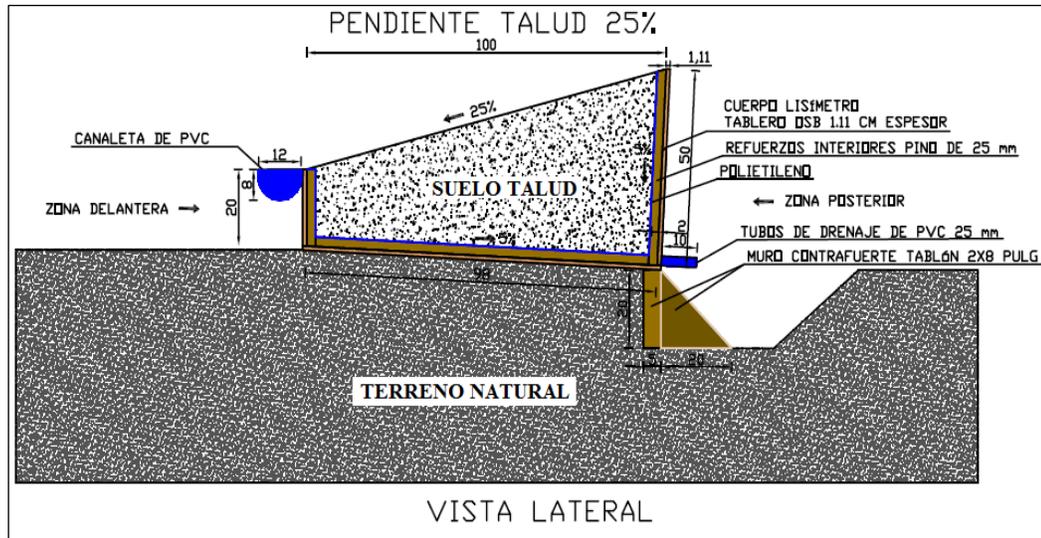
La figura C 2 muestra el pisón utilizado en la compactación en conjunto con los lisímetros compactados, mencionados anteriormente.



**Figura C 2: Compactación Baldes**

**Fuente: Elaboración Propia**

Para la etapa 2 se utilizaron 3 lisímetros adecuados según el modelo desarrollado por Riquelme (2010). Como se puede apreciar en la Figura C3, los taludes utilizados poseen una pendiente del 25% y un área vertical proyectada de  $1 \text{ m}^2$  aproximado. En la zona posterior de los lisímetros existe un sistema de drenaje con tubos de PVC, la cual permite evacuar o eliminar agua infiltrada en los suelos. En esta investigación no se trabajó con infiltración ni se evidenció por lo cual este sistema no fue utilizado. También existe una canaleta de PVC con el objetivo de medir y cuantificar la escorrentía superficial el cual tampoco utilizaremos en este proceso.



**Figura C 3: Diseño lisímetros**

**Fuente: Riquelme (2010)**

Para los lisímetros construidos por Solar (2012), se procedió hacer una limpieza ver figura C3, posteriormente se realiza un reperfilamiento retirando 10 cm en su zona superior, con la finalidad de mantener la compactación de estos.



**Figura C4. Lisímetros antes y después de limpieza con re perfilamiento.**

**Fuente elaboración propia**

Posteriormente se procede a realizar la limpieza y enrasado del talud ubicado a espaldas de los lisímetros, con el fin de establecer 3 zonas de estudio las cuales se constituirían de diferentes pendientes, sin embargo esta vez hubo que cortar las raíces encontradas en el lugar, dado que podían interferir en el desarrollo de trébol que sería sembrado en el lugar, en la figura C4 se muestra el antes y después de la limpieza y enrasado.



**Figura C5. Talud antes y después de limpieza con re perfilamiento.**

**Fuente elaboración propia**

## ANEXO D REGISTRO HUMEDADES

Se llevó a cabo un registro de humedades realizando muestras diarias de cada lisímetro en una balanza de alta precisión 4100 grs  $\pm$  0.01 grs, registrando la variación de la humedad respecto al peso.

**Tabla D 1. Descripción de lisímetros**

**Fuente Elaboración propia**

N° Muestra	Frecuencia de riego
1	Lisímetro patrón sin vegetación
2	Lisímetro patrón / Saturado día 0 / Hasta min 50% HA, luego volver al 100%
3	Lisímetro patrón / Saturado día 0 / Hasta min 50% HA, luego volver al 100%
4	Lisímetro patrón / Saturado día 0 / Hasta min 50% HA, luego volver al 100%
5	Mantiene su HA 80% de saturación
6	Mantiene su HA 60% de saturación
7	Mantiene su HA 50% de saturación
8	Mantiene su HA 40% de saturación
9	Mantiene su HA 30% de saturación
10	Mantiene su HA 20% de saturación
11	HA 100% inicial + 100% a los 4 días
12	HA 100% inicial + 100% a los 5 días
13	HA 100% inicial + 100% a los 5 días
14	HA 100% inicial + 100% a los 7 días
15	HA 100% inicial + 100% a los 10 días
16	HA 100% inicial + 100% a los 15 días
17	HA 100% inicial
18	HA 100% inicial + 80% a los 5 días
19	HA 100% inicial + 80% a los 10 días
20	HA 100% inicial + 80% a los 15 días
21	HA 100% inicial + 50% a los 5 días
22	HA 100% inicial + 50% a los 10 días
23	HA 100% inicial + 50% a los 15 días
24	HA 100% inicial + 100% cada 5 días
25	HA 100% inicial + 100% cada 7 días
26	HA 100% inicial + 100% cada 20 días
27	HA 100% inicial + 100% cada 14 días
28	HA 100% inicial + hasta mínimo 20% de HA luego volver al 100%
29	HA 100% inicial + hasta mínimo 30% de HA luego volver al 100%
30	HA 100% inicial + hasta mínimo 70% de HA luego volver al 100%

**Tabla D2. Primera semana variación peso**

N° Muestra	Día 0 Sin riego	Día 0	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5	Día 6	Día 7
	(grs)	(grs)	(grs)	(grs)	(grs)	(grs)	(grs)	(grs)	(grs)
1	5938	5938	5805	5788	5772	5755	5730	5720	5749
2	5924	6503	6344	6258	6173	6087	6300	6256	6233
3	5963	6542	6317	6228	6139	6050	6321	6272	6228
4	5943	6522	6299	6206	6113	6020	6300	6246	6206
5	5939	6518	6322	6246	6169	6093	6191	6385	6346
6	5961	6540	6393	6317	6241	6165	6108	6250	6265
7	5939	6518	6382	6297	6211	6126	6094	6153	6171
8	5971	6550	6402	6326	6251	6175	6138	6159	6169
9	5961	6540	6356	6266	6175	6085	6030	6090	6096
10	5970	6549	6352	6263	6175	6086	6026	6038	6057
11	5964	6543	6307	6225	6190	6142	6419	6370	6335
12	5916	6495	6365	6278	6192	6105	6041	6428	6366
13	5918	6497	6370	6288	6205	6123	6060	6426	6367
14	5923	6502	6318	6235	6153	6070	6008	5989	6005
15	5919	6498	6367	6285	6204	6122	6059	6036	6038
16	5922	6501	6363	6277	6190	6104	6036	6013	6023
17	5929	6508	6312	6220	6128	6036	6012	5982	5996
18	5953	6532	6389	6307	6225	6143	6085	6340	6284
19	5917	6496	6327	6241	6155	6069	6001	5979	5989
20	5922	6501	6347	6257	6166	6076	6005	5986	5991
21	5911	6490	6316	6234	6151	6069	6008	6140	6106
22	5931	6510	6378	6297	6216	6135	6077	6052	6063
23	5923	6502	6351	6266	6182	6097	6036	6014	6027
24	5921	6500	6319	6233	6146	6060	5996	6438	6370
25	5913	6492	6269	6178	6086	5995	5954	5903	5916
26	5938	6517	6330	6240	6150	6060	5984	5966	5970
27	5932	6511	6328	6240	6153	6065	6000	5975	5988
28	5907	6486	6265	6171	6078	5984	6258	6210	6163
29	5927	6506	6325	6242	6159	6076	6297	6249	6218
30	5917	6496	6367	6282	6196	6111	6300	6435	6385

**Tabla D2. Segunda semana variación peso**

**Fuente: Elaboración propia**

N° Muestra	Día 8	Día 9	Día 10	Día 11	Día 12	Día 13	Día 14
	(grs)	(grs)	(grs)	(grs)	(grs)	(grs)	(grs)
1	5750	5730	5729	5709	5709	5690	5670
2	6226	6186	6176	6610	6554	6627	6700
3	6511	6471	6461	6314	6276	6353	6429
4	6505	6465	6455	6293	6553	6444	6334
5	6411	6354	6344	6283	6327	6319	6310
6	6295	6245	6235	6212	6261	6363	6465
7	6235	6185	6175	6172	6184	6235	6285
8	6205	6155	6145	6120	6174	6152	6130
9	6125	6075	6065	6044	6113	6085	6057
10	6079	6029	6019	5992	6044	6136	6227
11	6329	6279	6269	6184	6156	6263	6369
12	6373	6323	6313	6218	6182	6188	6194
13	6366	6316	6306	6222	6181	6136	6090
14	6490	6440	6430	6314	6288	6292	6296
15	6042	5992	5982	6437	6392	6464	6535
16	6020	5970	5960	6150	6123	6195	6266
17	5993	5943	5933	5891	5879	5930	5980
18	6287	6237	6227	6147	6121	6196	6271
19	5990	5940	5930	6266	6220	6175	6130
20	5992	5942	5932	5898	5892	5861	5830
21	6107	6057	6047	5993	5976	6058	6140
22	6058	6008	5998	6213	6186	6266	6346
23	6020	5970	5960	5931	5917	5997	6077
24	6373	6323	6313	6421	6370	6425	6480
25	6477	6427	6417	6286	6246	6230	6190
26	5973	5923	5913	5932	5915	5888	5860
27	5984	5934	5924	5904	5890	5858	5825
28	6162	6112	6102	6000	6406	6376	6345
29	6217	6167	6157	6075	6435	6502	6569
30	6297	6247	6242	6375	6344	6301	6257

**Tabla D3. Tercera semana variación peso**

**Fuente: Elaboración propia**

N° Muestra	Día 15	Día 16	Día 17	Día 18	Día 19	Día 20	Día 21
	(grs)						
1	5669	5667	5665	5660	5656	5652	5632
2	6660	6640	6620	6352	6229	6210	6480
3	6375	6355	6335	6111	6386	6360	6340
4	6276	6256	6236	6028	6369	6328	6308
5	6340	6402	6382	6095	6250	6358	6338
6	6412	6392	6372	6205	6175	6268	6248
7	6230	6210	6190	6029	6101	6184	6164
8	6140	6202	6182	6072	6119	6159	6139
9	6085	6134	6114	5961	6037	6083	6063
10	6190	6170	6150	6012	6021	6038	6018
11	6299	6279	6259	6091	6006	5998	5978
12	6066	6046	6026	5896	5835	6669	6649
13	6038	6018	5998	5900	5845	5828	5808
14	6253	6233	6213	6065	5990	5976	5956
15	6470	6450	6430	6260	6152	6124	6104
16	6241	6501	6481	6249	6158	6106	6086
17	5948	5928	5908	5850	5828	5815	5795
18	6234	6214	6194	6069	6023	5994	6416
19	6095	6075	6055	5949	5892	5878	6380
20	5820	6385	6365	6130	6060	6036	6016
21	6100	6080	6060	5964	5949	5900	6200
22	6310	6290	6270	6131	6074	6074	6220
23	6052	6212	6192	6029	5982	5996	5976
24	6449	6499	6479	6208	6090	6058	6480
25	6460	6345	6325	6192	6071	6041	6021
26	5838	5818	5798	5790	5781	5764	6510
27	6510	6400	6380	6228	6154	6116	6096
28	6313	6293	6273	6046	5995	6373	6353
29	6531	6511	6491	6247	6142	6107	6087

**Tabla D4. Cuarta semana variación peso**

**Fuente: Elaboración propia**

N° Muestra	Día 22	Día 23	Día 24	Día 25	Día 26	Día 27	Día 28
	(grs)						
1	5630	5629	5627	5625	5620	5618	5616
2	6400	6330	6270	6222	6500	6470	6440
3	6279	6217	6156	6094	6502	6463	6424
4	6241	6174	6107	6040	6495	6398	6300
5	6327	6316	6304	6293	6322	6288	6254
6	6253	6257	6262	6266	6393	6307	6221
7	6157	6151	6144	6137	6382	6245	6107
8	6141	6142	6144	6145	6402	6268	6133
9	6045	6028	6010	5992	6356	6223	6089
10	6030	6042	6053	6065	6352	6706	7060
11	5928	5878	5828	5778	5768	5760	5752
12	6579	6508	6438	6367	6360	6355	6349
13	5783	5757	5732	5706	5701	5695	5689
14	5914	5872	5830	5788	5782	5781	5779
15	6057	6010	5962	5915	5865	5855	5850
16	6037	5987	5938	5888	5872	5861	5850
17	5780	5766	5751	5736	5730	5726	5722
18	6273	6130	5986	5843	5832	5826	5819
19	6252	6124	5995	5867	5854	5846	5838
20	6018	6021	6023	6025	6008	5999	5990
21	6094	5989	5883	5777	5772	5766	5759
22	6135	6050	5965	5880	5879	5878	5876
23	5940	5904	5868	5832	5820	5815	5809
24	6417	6354	6291	6228	6450	6318	6185
25	6472	6384	6292	6201	6110	6069	6018
26	6439	6368	6296	6225	6200	6158	6050
27	5975	5988	5984	6117	6099	6092	6084
28	6333	6313	6293	6598	6590	6581	6572
29	6057	6028	5998	5968	6480	6454	6427
30	6278	6251	6223	6196	6470	6450	6429

**Tabla D5. Primera semana variación de humedad**

**Fuente: Elaboración propia**

N° Muestra	Día 0 Sin riego	Día 0	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5	Día 6	Día 7
1	17%	17%	16%	15%	15%	15%	14%	14%	15%
2	17%	25%	23%	22%	21%	20%	22%	22%	21%
3	18%	25%	22%	21%	20%	19%	22%	22%	21%
4	18%	25%	22%	21%	20%	19%	22%	22%	21%
5	17%	25%	22%	22%	21%	20%	21%	23%	23%
6	18%	25%	23%	22%	21%	21%	20%	22%	22%
7	17%	25%	23%	22%	21%	20%	20%	20%	21%
8	18%	25%	23%	23%	22%	21%	20%	20%	21%
9	18%	25%	23%	22%	21%	19%	19%	20%	20%
10	18%	25%	23%	22%	21%	19%	19%	19%	19%
11	18%	25%	23%	22%	21%	20%	24%	23%	23%
12	17%	25%	23%	22%	21%	20%	19%	24%	23%
13	17%	25%	23%	22%	21%	20%	19%	24%	23%
14	17%	25%	22%	21%	20%	19%	18%	18%	18%
15	17%	25%	23%	22%	21%	20%	19%	19%	19%
16	17%	25%	23%	22%	21%	20%	19%	19%	19%
17	17%	25%	22%	21%	20%	19%	18%	18%	18%
18	18%	25%	23%	22%	21%	20%	19%	23%	22%
19	17%	25%	23%	21%	20%	19%	18%	18%	18%
20	17%	25%	23%	22%	21%	19%	18%	18%	18%
21	17%	24%	22%	21%	20%	19%	18%	20%	20%
22	17%	25%	23%	22%	21%	20%	19%	19%	19%
23	17%	25%	23%	22%	21%	20%	19%	19%	19%
24	17%	25%	22%	21%	20%	19%	18%	24%	23%
25	17%	25%	22%	21%	19%	18%	18%	17%	17%
26	17%	25%	23%	21%	20%	19%	18%	18%	18%
27	17%	25%	23%	21%	20%	19%	18%	18%	18%
28	17%	24%	22%	21%	19%	18%	22%	21%	20%
29	17%	25%	23%	21%	20%	19%	22%	22%	21%
30	17%	25%	23%	22%	21%	20%	22%	24%	23%

**Tabla D6. Segunda semana variación de humedad**

**Fuente: Elaboración propia**

N° Muestra	Día 8	Día 9	Día 10	Día 11	Día 12	Día 13	Día 14
1	15%	14%	14%	14%	14%	14%	14%
2	21%	21%	21%	26%	25%	26%	27%
3	25%	24%	24%	22%	22%	23%	24%
4	25%	24%	24%	22%	25%	24%	23%
5	24%	23%	23%	22%	23%	22%	22%
6	22%	22%	21%	21%	22%	23%	24%
7	21%	21%	21%	21%	21%	21%	22%
8	21%	20%	20%	20%	21%	20%	20%
9	20%	19%	19%	19%	20%	19%	19%
10	19%	19%	19%	18%	19%	20%	21%
11	23%	22%	22%	21%	20%	22%	23%
12	23%	23%	22%	21%	21%	21%	21%
13	23%	22%	22%	21%	21%	20%	20%
14	24%	24%	24%	22%	22%	22%	22%
15	19%	18%	18%	24%	23%	24%	25%
16	19%	18%	18%	20%	20%	21%	22%
17	18%	18%	17%	17%	17%	17%	18%
18	22%	21%	21%	20%	20%	21%	22%
19	18%	18%	17%	22%	21%	21%	20%
20	18%	18%	17%	17%	17%	16%	16%
21	20%	19%	19%	18%	18%	19%	20%
22	19%	18%	18%	21%	21%	22%	23%
23	19%	18%	18%	17%	17%	18%	19%
24	23%	23%	22%	24%	23%	24%	24%
25	24%	24%	24%	22%	22%	21%	21%
26	18%	17%	17%	17%	17%	17%	16%
27	18%	17%	17%	17%	17%	16%	16%
28	20%	20%	20%	18%	24%	23%	23%
29	21%	21%	20%	19%	24%	25%	25%
30	22%	22%	21%	23%	23%	22%	22%

**Tabla D7. Tercera semana variación de humedad**

**Fuente: Elaboración propia**

N° Muestra	Día 15	Día 16	Día 17	Día 18	Día 19	Día 20	Día 21
1	14%	14%	14%	13%	13%	13%	13%
2	26%	26%	26%	23%	21%	21%	24%
3	23%	23%	23%	20%	23%	23%	23%
4	22%	22%	21%	19%	23%	23%	22%
5	23%	23%	23%	20%	22%	23%	23%
6	24%	23%	23%	21%	21%	22%	22%
7	21%	21%	21%	19%	20%	21%	21%
8	20%	21%	21%	19%	20%	20%	20%
9	19%	20%	20%	18%	19%	19%	19%
10	21%	21%	20%	18%	19%	19%	19%
11	22%	22%	22%	20%	18%	18%	18%
12	19%	19%	19%	17%	16%	27%	26%
13	19%	19%	18%	17%	16%	16%	16%
14	22%	21%	21%	19%	18%	18%	18%
15	24%	24%	24%	22%	20%	20%	20%
16	21%	25%	24%	22%	20%	20%	19%
17	18%	17%	17%	16%	16%	16%	15%
18	21%	21%	21%	19%	19%	18%	24%
19	20%	19%	19%	18%	17%	17%	23%
20	16%	23%	23%	20%	19%	19%	19%
21	20%	19%	19%	18%	18%	17%	21%
22	22%	22%	22%	20%	19%	19%	21%
23	19%	21%	21%	19%	18%	18%	18%
24	24%	25%	24%	21%	20%	19%	24%
25	24%	23%	23%	21%	19%	19%	19%
26	16%	16%	15%	15%	15%	15%	25%
27	25%	23%	23%	21%	20%	20%	20%
28	22%	22%	22%	19%	18%	23%	23%
29	25%	25%	25%	22%	20%	20%	20%
30	24%	24%	23%	20%	23%	23%	22%

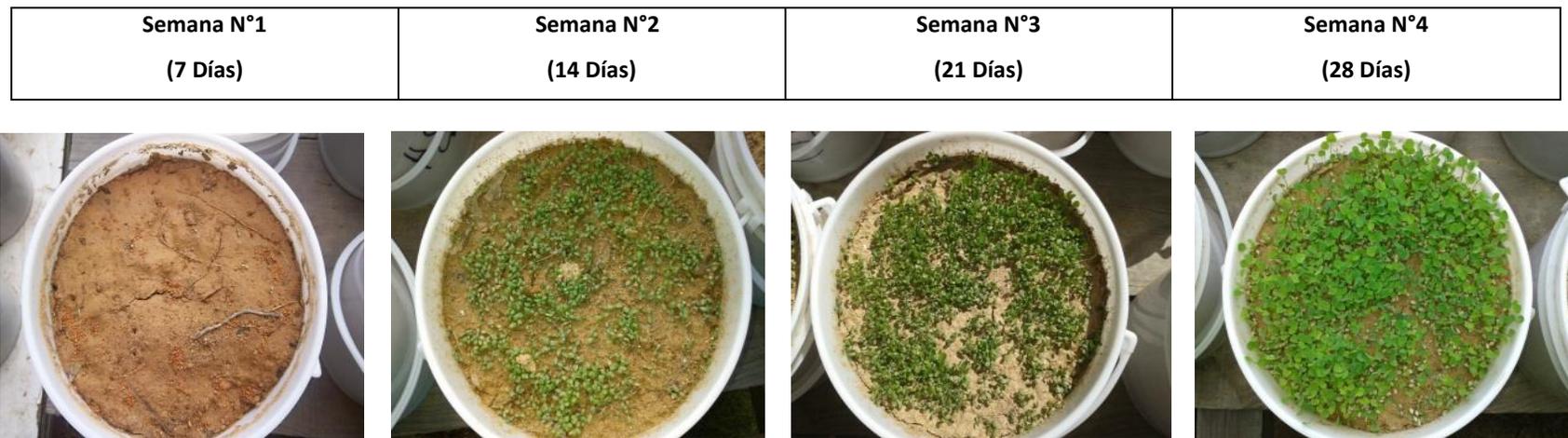
**Tabla D8. Cuarta semana variación de humedad**

**Fuente: Elaboración propia**

N° Muestra	Día 22	Día 23	Día 24	Día 25	Día 26	Día 27	Día 28	Promedio
1	13%	13%	13%	13%	13%	13%	13%	13.97%
2	23%	23%	22%	21%	25%	24%	24%	23.16%
3	22%	21%	20%	20%	25%	24%	24%	22.45%
4	21%	21%	20%	19%	25%	23%	22%	22.10%
5	23%	22%	22%	22%	22%	22%	22%	22.29%
6	22%	22%	22%	22%	23%	22%	21%	22.07%
7	20%	20%	20%	20%	23%	22%	20%	20.97%
8	20%	20%	20%	20%	23%	22%	20%	20.88%
9	19%	19%	18%	18%	23%	21%	20%	19.88%
10	19%	19%	19%	19%	23%	27%	31%	20.50%
11	17%	17%	16%	15%	15%	15%	15%	20.14%
12	26%	25%	24%	23%	23%	23%	23%	21.93%
13	15%	15%	15%	14%	14%	14%	14%	18.87%
14	17%	17%	16%	15%	15%	15%	15%	19.73%
15	19%	18%	18%	17%	16%	16%	16%	20.50%
16	19%	18%	17%	17%	17%	16%	16%	19.85%
17	15%	15%	15%	15%	14%	14%	14%	17.32%
18	22%	20%	18%	16%	16%	16%	16%	20.39%
19	22%	20%	18%	16%	16%	16%	16%	19.20%
20	19%	19%	19%	19%	18%	18%	18%	19.00%
21	20%	18%	17%	15%	15%	15%	15%	18.83%
22	20%	19%	18%	17%	17%	17%	17%	20.04%
23	18%	17%	16%	16%	16%	16%	16%	18.64%
24	24%	23%	22%	21%	24%	22%	21%	22.42%
25	24%	23%	22%	21%	20%	19%	19%	21.02%
26	24%	23%	22%	21%	21%	20%	19%	18.99%
27	18%	18%	18%	20%	20%	20%	19%	19.56%
28	23%	22%	22%	26%	26%	26%	25%	21.88%
29	19%	19%	18%	18%	24%	24%	24%	21.74%
30	22%	22%	21%	21%	24%	24%	24%	22.46%

## ANEXO E COBERTURA VEGETAL

A continuación se presenta la evolución mediante las fotografías tomadas semanalmente.



**Figura E 0: Evolución Lisímetro elegido para la segunda Etapa (N°25)**  
(Fuente Elaboración Propia).



**Figura E1: Evolución Lisímetro 1**  
(Fuente Elaboración Propia).



**Figura E 2: Evolución Lisímetro 2  
(Fuente Elaboración Propia).**



**Figura E 3: Evolución Lisímetro 3  
(Fuente Elaboración Propia).**



**Figura E 4: Evolución Lisímetro 4  
(Fuente Elaboración Propia).**



**Figura E 5: Evolución Lisímetro 5  
(Fuente Elaboración Propia).**



**Figura E 6: Evolución Lisímetro 6  
(Fuente Elaboración Propia).**



**Figura E 7: Evolución Lisímetro 7  
(Fuente Elaboración Propia).**



**Figura E 8: Evolución Lisímetro 8**  
(Fuente Elaboración Propia).



**Figura E 9: Evolución Lisímetro 9**  
(Fuente Elaboración Propia).



**Figura E 10: Evolución Lisímetro 10**  
(Fuente Elaboración Propia).



**Figura E 11: Evolución Lisímetro 11**  
(Fuente Elaboración Propia).



**Figura E 12: Evolución Lisímetro 12**  
(Fuente Elaboración Propia).



**Figura E 13: Evolución Lisímetro 13**  
(Fuente Elaboración Propia).



**Figura E 14: Evolución Lisímetro 14  
(Fuente Elaboración Propia).**



**Figura E 15: Evolución Lisímetro 15  
(Fuente Elaboración Propia).**



**Figura E 16: Evolución Lisímetro 16  
(Fuente Elaboración Propia).**



**Figura E 17: Evolución Lisímetro 17**  
(Fuente Elaboración Propia).



**Figura E 18: Evolución Lisímetro 18**  
(Fuente Elaboración Propia).



**Figura E 19: Evolución Lisímetro 19**  
(Fuente Elaboración Propia).



**Figura E 20: Evolución Lisímetro 20**  
**(Fuente Elaboración Propia).**



**Figura E 21: Evolución Lisímetro 21**  
**(Fuente Elaboración Propia).**



**Figura E 22: Evolución Lisímetro 22**  
**(Fuente Elaboración Propia).**



**Figura E 23: Evolución Lisímetro 23**  
(Fuente Elaboración Propia).



**Figura E 24: Evolución Lisímetro 24**  
(Fuente Elaboración Propia).



**Figura E 25: Evolución Lisímetro 25**  
(Fuente Elaboración Propia).



**Figura E 26: Evolución Lisímetro 26**  
(Fuente Elaboración Propia).



**Figura E 27: Evolución Lisímetro 27**  
(Fuente Elaboración Propia).



**Figura E 28: Evolución Lisímetro 28**  
(Fuente Elaboración Propia).



**Figura E 29: Evolución Lisímetro 29**  
(Fuente Elaboración Propia).



**Figura E 30: Evolución Lisímetro 30**  
(Fuente Elaboración Propia).

## ANEXO F ANÁLISIS ESTADÍSTICO

### F1 Regresión lineal

Para el análisis de regresión lineal y todos los estudios estadísticos, se procedió a eliminar el lisímetro número 1, por no presentar cubierta vegetal y el objetivo de evitar errores y realizar un análisis más ajustado.

La figura F1 muestra la tabla de variables ingresada al programa estadístico InfoStat, en cual se procederán a analizar.

**Tabla F1: Variables de la experiencia**

(Fuente Elaboración Propia).

N° Muestra	Cubierta vegetal	Crecimiento planta	Humedad promedio	Volumen Total de riego	Lluvia infiltrada	Frecuencia riego
	(%)	(mm)	(%)	(mm)	(mm)	riego/mes
1	0.0	0	13.97	1.04	1.04	
2	67.7	39	23.16	86.7	30.8	4
3	70.8	43	22.45	78.3	0.0	5
4	61.2	38	22.10	83.2	1.1	5
5	71.3	40	22.29	88.7	0.0	18
6	44.5	39	22.07	55.8	0.0	18
7	61.1	32	20.97	56.5	0.0	18
8	33.8	29	20.88	49.6	0.0	18
9	34.2	25	19.88	56.6	0.0	18
10	44.8	22	20.50	67.0	29.8	18
11	78.2	29	20.14	37.0	3.1	2
12	66.4	32	21.93	62.9	27.2	2
13	23.8	21	18.87	35.2	0.0	2
14	72.4	31	19.73	37.6	0.4	2
15	55.8	29	20.50	40.9	3.0	2
16	57.1	32	19.85	40.9	11.9	2
17	2.0	13	17.32	24.0	4.0	1
18	21.4	28	20.39	48.8	17.3	2
19	25.5	17	19.20	49.4	13.8	2
20	13.5	16	19.00	40.1	0.5	2
21	8.9	19	18.83	40.7	14.0	2
22	25.2	18	20.04	38.4	10.7	2
23	14.6	22	18.64	32.0	6.5	2
24	75.6	47	22.42	70.4	0.0	6
25	62.4	33	21.02	72.7	0.0	4
26	13.0	11	18.99	67.0	0.0	3
27	23.7	16	19.56	58.5	0.0	3
28	57.8	38	21.88	84.9	13.7	4
29	37.7	37	21.74	71.7	3.2	4
30	79.4	45	22.46	79.7	0.0	7

**Tabla F2: Frecuencia de Riego**  
(Fuente Elaboración Propia).

<b>N° Muestra</b>	<b>Frecuencia de riego</b>
1	<i>Lisímetro patrón sin vegetación</i>
2	<i>Lisímetro patrón / Saturado día 0 / Hasta min 50% HA, luego volver al 100%</i>
3	<i>Lisímetro patrón / Saturado día 0 / Hasta min 50% HA, luego volver al 100%</i>
4	<i>Lisímetro patrón / Saturado día 0 / Hasta min 50% HA, luego volver al 100%</i>
5	<i>Mantiene su HA 80% de saturación</i>
6	<i>Mantiene su HA 60% de saturación</i>
7	<i>Mantiene su HA 50% de saturación</i>
8	<i>Mantiene su HA 40% de saturación</i>
9	<i>Mantiene su HA 30% de saturación</i>
10	<i>Mantiene su HA 20% de saturación</i>
11	<i>HA 100% inicial + 100% a los 4 días</i>
12	<i>HA 100% inicial + 100% a los 5 días</i>
13	<i>HA 100% inicial + 100% a los 5 días</i>
14	<i>HA 100% inicial + 100% a los 7 días</i>
15	<i>HA 100% inicial + 100% a los 10 días</i>
16	<i>HA 100% inicial + 100% a los 15 días</i>
17	<i>HA 100% inicial</i>
18	<i>HA 100% inicial + 80% a los 5 días</i>
19	<i>HA 100% inicial + 80% a los 10 días</i>
20	<i>HA 100% inicial + 80% a los 15 días</i>
21	<i>HA 100% inicial + 50% a los 5 días</i>
22	<i>HA 100% inicial + 50% a los 10 días</i>
23	<i>HA 100% inicial + 50% a los 15 días</i>
24	<i>HA 100% inicial + 100% cada 5 días</i>
25	<i>HA 100% inicial + 100% cada 7 días</i>
26	<i>HA 100% inicial + 100% cada 20 días</i>
27	<i>HA 100% inicial + 100% cada 14 días</i>
28	<i>HA 100% inicial + hasta mínimo 20% de HA volver al 100%</i>
29	<i>HA 100% inicial + hasta mínimo 30% de HA volver al 100%</i>
30	<i>HA 100% inicial + hasta mínimo 70% de HA volver al 100%</i>

Se procede a realizar una regresión lineal en el software InfoStat ,existiendo una buena correlación el modelo se utilizará para tomar decisiones.

Resultados

C:\Users\Leo\Desktop\Tesis\resultados estadisticos\Datos.IDB2: 3/15/2013

**Análisis de regresión lineal**

**Coefficientes de regresión y estadísticos asociados**

Variable	const	Humedad %	const p-valor	Humedad % p-valor	R <sup>2</sup>
Cubierta Vegetal %	-216.27	12.69	<0.0001	<0.0001	0.60
Crecimiento mm	-97.66	6.15	<0.0001	<0.0001	0.81

Figura F1: Regresión lineal InfoStat

(Fuente Elaboración Propia).

Resultados

Nueva tabla: 3/20/2013 - 4:45:23 PM

**Análisis de regresión lineal**

**Coefficientes de regresión y estadísticos asociados**

Variable	const	Volumen de riego (ml)	const p-valor	Volumen de riego (ml) p-va..	R <sup>2</sup>
Cobertura (%)	4.29	0.71	0.7312	0.0018	0.31
Crecimiento (mm)	8.95	0.35	0.0681	0.0001	0.43
Humedad promedio (%)	16.88	0.06	<0.0001	<0.0001	0.68

Figura F2: Regresión lineal InfoStat

(Fuente Elaboración Propia).

De la misma forma se procedió a analizar la regresión lineal mediante gráficos Excel.

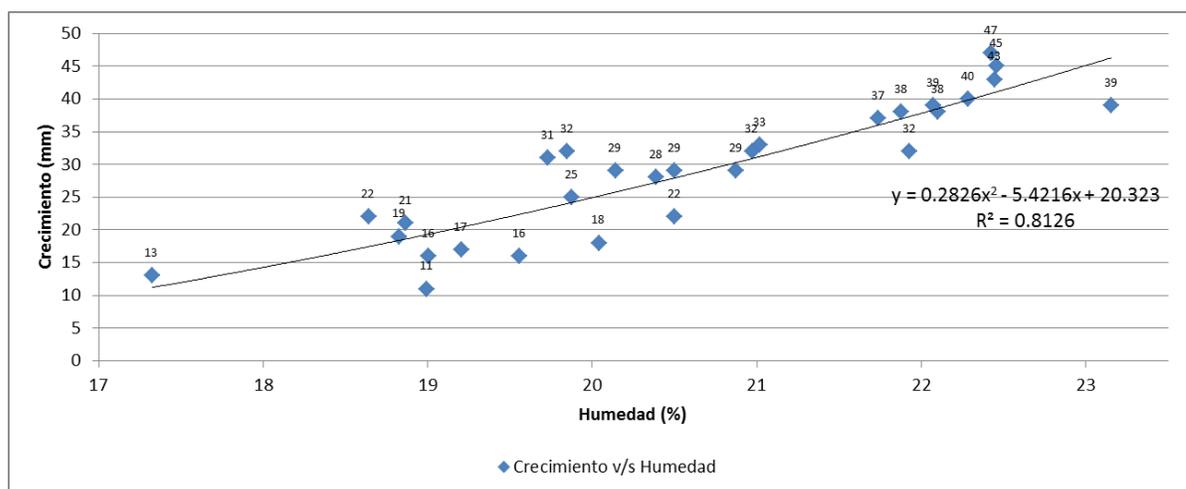
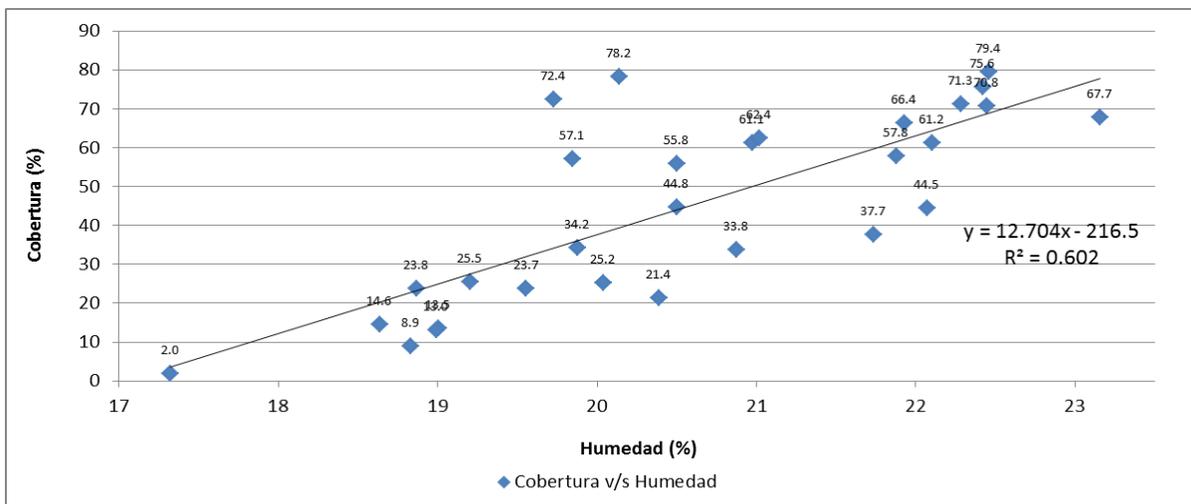
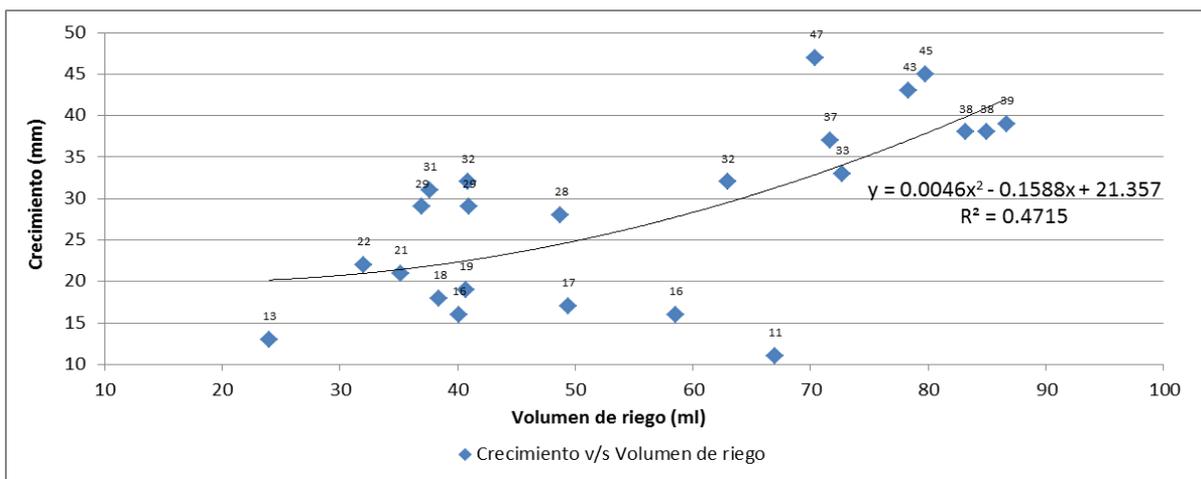


Figura F2: Crecimiento v/s Humedad

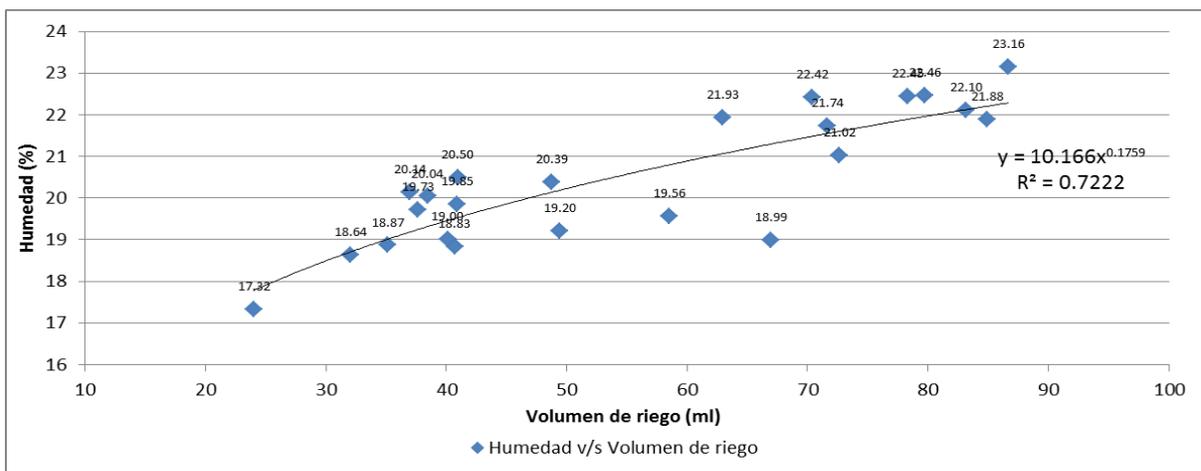
(Fuente Elaboración Propia).



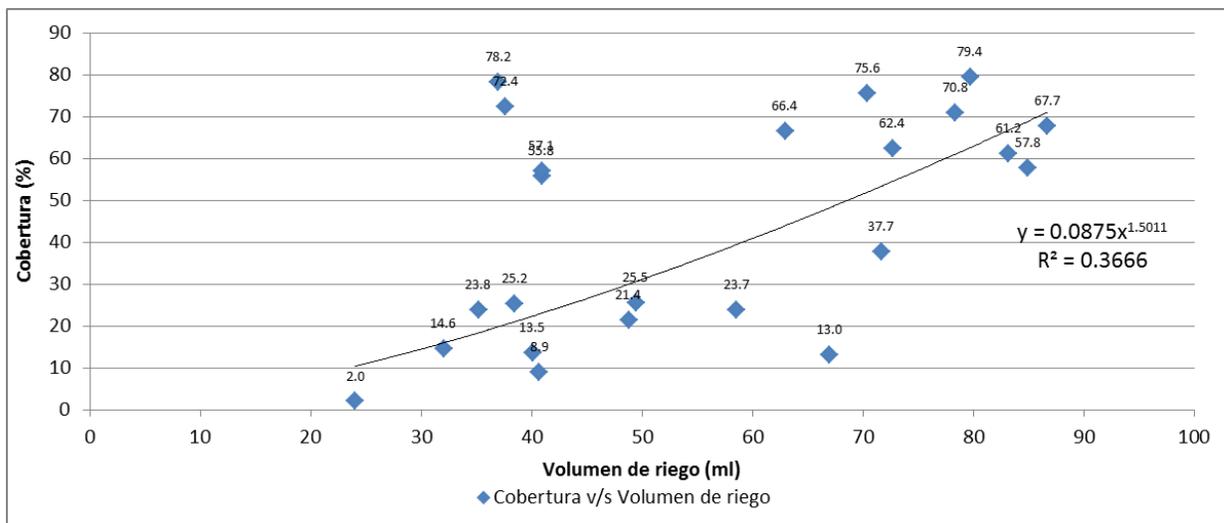
**Figura F2: Cobertura v/s Humedad**  
 (Fuente Elaboración Propia).



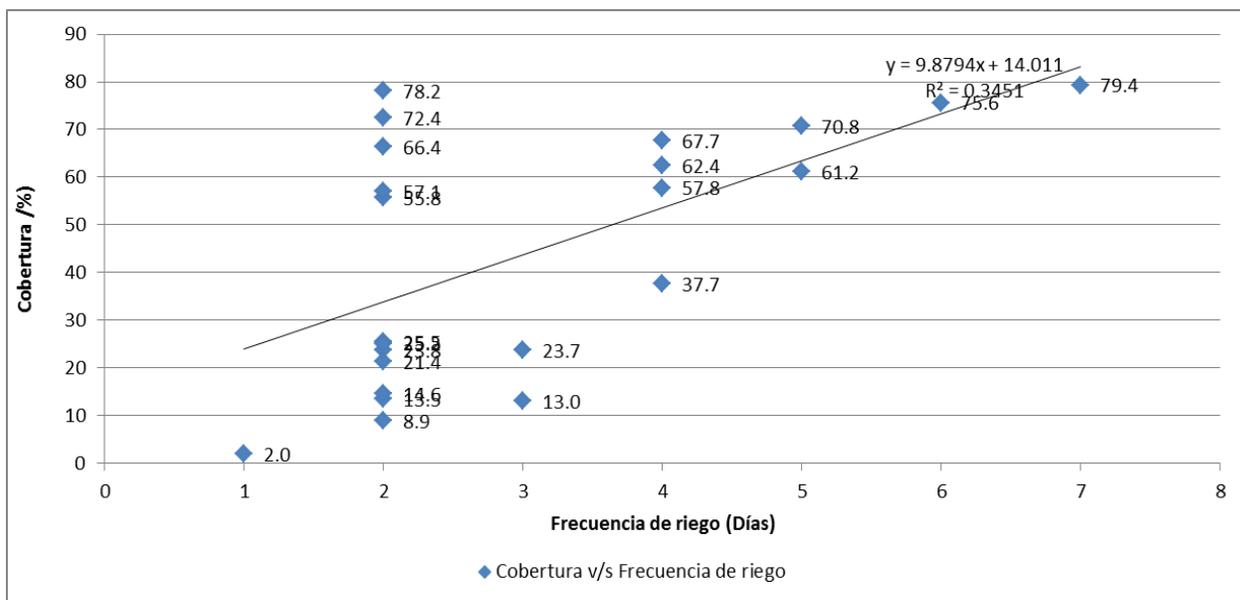
**Figura F2: Crecimiento v/s Volumen de riego**  
 (Fuente Elaboración Propia).



**Figura F2: Humedad v/s Volumen de riego**  
 (Fuente Elaboración Propia).



**Figura F2: Cobertura v/s Volumen de riego**  
(Fuente Elaboración Propia).



**Figura F2: Cobertura v/s Frecuencia de riego**  
(Fuente Elaboración Propia).

### F2 Correlación de Spearman

Los mismos datos de la tabla F1, son llevados a un análisis correlación y cuyos resultados se encuentran en la figura F4.

Coeficientes de correlación

Correlación de Spearman: Coeficientes\probabilidades

	Cobertura (%)	Crecimiento (mm)	Humedad promedio (%)	Volumen de riego (ml)
Cobertura (%)	1.00	3.7E-08	9.2E-07	4.3E-03
Crecimiento (mm)	0.82	1.00	2.0E-11	9.5E-05
Humedad promedio (%)	0.77	0.90	1.00	1.7E-07
Volumen de riego (ml)	0.51	0.66	0.80	1.00

**Figura F4: Correlacion Spearman InfoStat**  
(Fuente Elaboración Propia).

### F3 Prueba no paramétrica de Wilcoxon

Para visualizar el aporte de la humedad entre los diferentes lisímetros, se realiza el método comparativo de Wilcoxon. Para la primera etapa se hace una comparación de los lisímetros (N°17, 25, 30 respectivamente) siendo trascendentales con los lisímetros que tenían la recomendación óptima de riego (lisímetros N°2, 3, 4 respectivamente)

Prueba de Wilcoxon (muestras apareadas)

P-valor estimado por Bootstrap

Obs(1)	Obs(2)	N	Var(R+)	media(dif)	DE(dif)	Bt	p(2 colas)
Patron Lisímetro 25	4	4	7.50	2.60	3.72		0.3772

**Figura F5: Comparación riego óptimo con el elegido para 2° Etapa**  
(Fuente Elaboración Propia).

Prueba de Wilcoxon (muestras apareadas)

P-valor estimado por Bootstrap

Obs(1)	Obs(2)	N	Var(R+)	media(dif)	DE(dif)	Bt	p(2 colas)
Patrón Lisímetro 17	4	4	7.50	12.28	11.01		0.1292

**Figura F6: Comparación riego óptimo con el de menor crecimiento**  
(Fuente Elaboración Propia).

Prueba de Wilcoxon (muestras apareadas)							
P-valor estimado por Bootstrap							
Obs(1)	Obs(2)	N	Var(R+)	media(dif)	DE(dif)	Bt	p(2 colas)
Patrón	Lisímetro	24	4	7.50	-2.65	4.17	0.3700

**Figura F7: Comparación riego óptimo con el de mayor crecimiento**

**(Fuente Elaboración Propia).**