

UNIVERSIDAD DEL BÍO-BÍO

FACULTAD DE INGENIERÍA

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL

Prof. Patrocinante: Álvaro Suazo Schwencke.

“Análisis de Erosión Hídrica en Taludes Sembrados con Dichondra en Otoño”

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

FELIPE ARIEL PINEDA MORA

Concepción, Agosto 2014

ÍNDICE.

RESUMEN	1
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN.....	3
1.1 Justificación.	5
1.2. Objetivo General.....	5
1.3 Objetivos Específicos.	5
CAPÍTULO II: MATERIALES Y METODOLOGÍA.....	6
2.1. Suelo Utilizado.	7
2.2. Diochondra.....	8
2.2.1. Siembra de la Dichondra.	8
2.3. Procedimiento de Ensayo y toma de Muestras.	9
2.3.1. Registro de humedad en taludes a escala.....	10
2.3.2. Medición de porcentaje de cobertura en taludes sembrados.	10
2.3.3. Recolección del suelo erodado y cuantificación.....	11
2.3.4. Registro de precipitaciones y duración de lluvia.....	12
2.4. Definición de Variables.	12
2.5. Metodología de Análisis.	14
CAPÍTULO III: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.	16
3.1 Desarrollo de cobertura vegetal.	16
3.1.1 Influencia del suelo.....	17
3.1.2 Influencia de la lluvia.	17
3.1.3 Influencia de la humedad.....	17
3.1.4 Influencia de la temperatura.	18
3.2 Erosión hídrica de los taludes a escala en función de la cubierta vegetal.....	19
3.3 Comparación de erosión entre taludes con cubierta vegetal y talud sin cubierta.	22
3.3 Relación entre variable dependiente y variables independientes.....	22
CAPÍTULO IV: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	26

BIBLIOGRAFÍA.....	28
ANEXOS	30
ANEXO A. Mecánica de Suelos.....	31
ANEXO B. Cuantificación de material en bidones de flujo no decantado.....	34
ANEXO C. Modificación a taludes construidos por Riquelme.....	35
ANEXO D. Verificación de densidades en taludes a escala.....	37
ANEXO E. Tablas de resultados.	38
ANEXO F. Registros fotográficos de desarrollo de cobertura vegetal y otros.....	41

ANÁLISIS DE EROSIÓN HÍDRICA EN TALUDES SEMBRADOS CON DICHONDRA EN OTOÑO

Autor: Felipe Ariel Pineda Mora

Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, Universidad del Bío - Bío

Correo electrónico: felipepinedam@gmail.com

Profesor Patrocinante: Álvaro Suazo Schwencke

Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, Universidad del Bío - Bío

Correo Electrónico: asuazo@ubiobio.cl

RESUMEN

Los problemas de erosión hídrica afectan a muchos taludes de la Región del Biobío. Una de las soluciones a este problema, es la aplicación de cubiertas vegetales sobre éstos. Por este motivo, se propone la Dichondra para analizar su influencia sobre la erosión.

En el presente proyecto de título se ocuparon 4 taludes experimentales de los cuales 2 fueron sembrados con Dichondra, con la finalidad de analizar la germinación de esta y posteriormente realizar análisis de erosión hídrica en los taludes sembrados y no sembrados.

Los resultados obtenidos demuestran que en el periodo Otoño-Invierno no es recomendable la siembra de Dichondra, ya que la temperatura en casi la totalidad de los días de esta época es inferior a la requerida para la germinación. Las condiciones ambientales y de suelo permitieron el crecimiento de especies como pasto, musgo y diente de león en los taludes sembrados, las cuales tuvieron un significativo efecto en la disminución del suelo erodado.

Finalmente se obtiene que la precipitación y el porcentaje de cobertura son las variables independientes que tienen mayor incidencia en la cantidad de suelo erodado, además se infiere una asociación entre intensidad de precipitación y suelo erodado debido a que la duración total del evento lluvioso también presenta grado de asociación con este último.

Palabras Claves: Erosión hídrica, Suelo erodado, Talud experimental, Dichondra.

Número de palabras: $6422+11*250+2*250= 9672$.

HYDRIC EROSION ANALYSYS IN SLOPES SOWED WITH DICHONDRA IN AUTUMN

Author: Felipe Mora Ariel Pineda

Department of Civil and Environmental Engineering, Bío - Bío University

Email: felipepinedam@gmail.com

Advisory Professor: Alvaro Suazo Schwencke

Department of Civil and Environmental Engineering, Bío - Bío University

Email: asuazo@ubiobio.cl

ABSTRACT

Hydric erosion problems affect in many slopes of Biobío Region. One solution to this problem is the use of ground cover on them. For this reason, it is proposed dichondra to analyze its influence on erosion.

In this degree project were used 4 experimental slopes of which 2 were sowed with dichondra, with the purpose of analyze the germination of this and later analyze hydric erosion in seeded and unseeded slopes.

The results show that in the Autumn-Winter period is not recommended planting dichondra, since the temperature in almost all the days of this period is less than that required for germination. The environmental and soil conditions allowed the growth of species such as grass, moss and dandelion seeded slopes, which had a significant effect in decreasing the eroded soil.

Finally it is get that the rainfall and the percentage of coverage are the independent variables that have the greatest impact on the amount of eroded soil, also an association between rainfall intensity and soil eroded is inferred because the total duration of the rainfall event also presents a degree of association with the latter.

Keys Words: Hydric erosion, Eroded soil, experimental Slope, Dichondra.

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN.

La construcción de Obras Civiles en su gran mayoría requiere la realización de grandes movimientos de tierra, generando de esta forma taludes y terraplenes. Particularmente, en la Región del Biobío, producto de la construcción y ampliación de diversas obras de infraestructura vial, existe una gran cantidad de taludes que son potencialmente afectados por la erosión hídrica, debido a las precipitaciones de la zona, lo cual puede derivar en graves problemas de inestabilidad en el corto y largo plazo.

El viejo concepto de erosión hídrica suponía que el proceso se iniciaba siempre cuando el agua que cae no puede infiltrarse en su totalidad en el suelo, escurriendo el agua sobre la superficie con una velocidad determinada que depende de la pendiente. Hoy en día este concepto se debe modificar, pues se ha establecido que la principal causa de erosión hídrica no es la pendiente, sino el impacto de las gotas de lluvia sobre el suelo desnudo (Infogranja 2014). Según Derpsch (1991), la erosión hídrica se divide en las etapas que se mencionan a continuación. Por el impacto de la gota de lluvia sobre el suelo desnudo (Fig. 1.A), sus agregados son desintegrados en partículas minúsculas (Fig. 1.B) que tapan los poros, formando un sello superficial (Fig. 1.C) y así también se provoca el escurrimiento superficial del agua de lluvia. El agua que escurre, carga partículas de suelo que son depositadas en lugares más bajos cuando la velocidad de escurrimiento es reducida (Fig. 1.D).

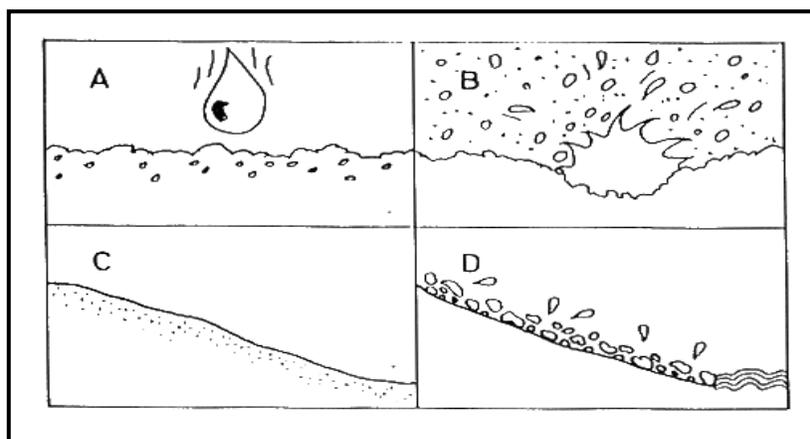


Figura 1: Etapas de la Erosión Hídrica.
(Fuente: Derpsch, 1991)

Según Meyer y Mannering (1967), las gotas de lluvia que caen durante un año en una hectárea de tierra, ejercen un impacto de energía que equivale a 50 toneladas de dinamita, lo cual indica el gran potencial erosivo de la lluvia sobre el suelo y por ende, la importancia de controlar la erosión hídrica en taludes.

Las soluciones a los problemas de erosión hídrica de taludes con las estructuras y materiales tradicionales, como lo son las rocas, piedra revestida, shotcrete, concreto, etc., han dado paso a la bioingeniería de suelos. Mediante el uso de materiales vivos, tales como semillas, plantas, parte de las legumbres, comunidades vegetales, se tiene un significativo efecto en el control de erosión hídrica en los taludes.

Según Lal (1988), los procesos que interactúan entre las plantas y el suelo que disminuyen la pérdida de suelo podrían resumirse en:

- El ligamento físico del suelo con tallos y raíces.
- La unión electroquímica y de nutrientes entre la raíz y el suelo.
- La disminución del escurrimiento por la acción de los tallos, cañas, hojas y el mantillo orgánico o cubierta vegetal.
- La infiltración a través de los canales de raíces.
- La mejor estructura y retención de agua, a consecuencia del aumento del contenido de materia orgánica.
- El incremento de la fauna y la actividad biológica que promueve una mejor estructura del suelo.

En cuanto a la aplicación de cubiertas vegetales, se han hecho investigaciones citando entre algunos, la siembra de trébol enano (Meneses, 2011) y congona (Solar, 2012) para la protección de taludes, donde los resultados han sido que la cubierta vegetal disminuye la cantidad de suelo erodado en los taludes sembrados. Pero es necesario conocer el comportamiento de otras especies frente a la erosión de taludes, con la finalidad de encontrar la especie más efectiva frente a la disminución de suelo erodado, por lo que en este caso se propone la *Dichondra* para su estudio.

1.1 Justificación.

El proyecto de título se sustenta en la necesidad de tratar el problema de erosión hídrica que afecta a muchos taludes de la Región del Biobío. Particularmente, analizar el efecto que tendría la siembra de dichondra en el control de la cantidad de suelo erodado en éstos.

Cabe destacar, que el efecto mitigante de erosión hídrica en taludes por parte de la dichondra, implica una solución económica al problema erosivo de los taludes y también, es una solución que mejora la estética de éstos, haciéndolos más armoniosos con el entorno.

1.2. Objetivo General.

Evaluar el suelo erodado en taludes experimentales sembrados y no sembrados con Dichondra, frente a las precipitaciones de Otoño.

1.3 Objetivos Específicos.

A partir del objetivo general del presente proyecto de título, se plantean los siguientes objetivos específicos:

- Analizar la germinación de la Dichondra frente a las condiciones de suelo y ambientales de la zona en Otoño.
- Analizar la evolución de coberturas vegetales desarrolladas en el periodo otoñal, en los taludes experimentales.
- Determinar y comparar la cantidad de suelo erodado en taludes experimentales en función de la cubierta vegetal, incluyendo taludes sin cobertura.
- Identificar las variables que pueden tener algún efecto en la cantidad de suelo erodado.

CAPÍTULO II: MATERIALES Y METODOLOGÍA.

El proyecto de título fue realizado en las dependencias del Laboratorio de Geotecnia y Medioambiente (LAGEMA), perteneciente al Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental de la Universidad del Biobío, Campus Concepción.

Para la realización del proyecto de título, fueron ocupados cuatro taludes experimentales de 25% de pendiente y 1 m² de base, los cuales fueron construidos según Riquelme (2010), como se muestra en la figura 2.



Figura 2: Taludes a escala.
(Fuente: Elaboración propia)

Para el desarrollo de la fase experimental del proyecto de título, se hicieron modificaciones a los taludes construidos por Riquelme (2010), los cuales se exponen en el Anexo C. De los 4 taludes experimentales ocupados, 2 fueron sembrados con dichondra (talud 1 y talud 2).

2.1. Suelo Utilizado.

Los taludes a escala fueron rellenos con el suelo característico de la Región del Bío-Bío. Para esto, se extrajo suelo del talud existente en las dependencias de LAGEMA (Ver Anexo A). Las principales características de este suelo utilizado son las siguientes:

- Clasificación según la Unified Soil Classification System (USCS): Arena Limosa (SM). La granulometría para la clasificación, se hizo según la norma NCh165 of 77.
- Densidad compactada seca: 1436 Kg/m^3 , según norma NCh 1516 of 79.
- Densidad máxima compactada seca: 1750 Kg/m^3 , según norma NCh 1534 of 79.

Debido a que los taludes experimentales han sido utilizados anteriormente para el estudio de erosión con otro tipo de cubiertas vegetales, se remueven 10 cm de capa superficial de suelo de tal forma de evitar que crezca vegetación utilizada en estudios anteriores por la presencia de semillas ocupadas. El suelo con que se rellena el talud es compactado utilizando un pisón manual de 30 Kg de peso y un área de impacto de $0,075 \text{ m}^2$. La compactación tiene por objetivo brindarle a los taludes una densidad entre un 60% y 80% de la densidad máxima compactada seca (DMCS).

Para verificar que los taludes cumplan con la densidad requerida, se ocupa el ensayo de densidad no invasivo de Hernández (2011). Dicho ensayo consiste en extraer muestras de suelo mediante probetas de PVC, las cuales son introducidas en cuatro puntos representativos de cada talud, obteniendo valores de densidades con un margen de error menor al 5% con el ensayo de cono de arena. Las probetas tienen una altura de 2,5 cm y un diámetro interior de 3,3 cm. Su punta es afilada con el propósito de evitar una compactación de la muestra debido a la presión ejercida cuando es introducida al suelo.

2.2. Dichondra.

La Dichondra, conocida comúnmente como oreja de ratón y cuyo nombre científico es “Dichondra Repens”, es una cubierta vegetal de hoja ancha con hábitos de crecimiento rastrero y bajo. Es una especie perteneciente a la familia de las Convolvulaceae y es una de las pocas usadas para césped que no es gramínea. Dentro de sus principales características destacan el no ser exigente en suelos, soporta muy bien la sombra, consume mucho menos agua que el césped, resiste temperaturas de hasta -9°C y se desarrolla bien en zonas húmedas, en general bajo árboles o a pleno sol con humedad suficiente. El mejor momento para su siembra es primavera-verano según ANASAC (2014), aunque en este caso la siembra se efectuó en Otoño para analizar la germinación de las semillas en esta época.

2.2.1. Siembra de la Dichondra.

La siembra de la dichondra fue realizada el día 7 de Abril de 2014. La metodología ocupada consta de las siguientes etapas:

1. Se procede a enrazar y dejar lo más liso posible la cara de los taludes.
2. Se vierten las semillas sobre los taludes, al voleo y con la mano a razón de 20 g/m², resultando para el talud 1 una cantidad de 22,1g de Dichondra y para el talud 2, 22,3g.
3. Se procede a compactar la cara de los taludes, de tal forma que las semillas queden hundidas y no cubiertas sobre éstos.

Una vez sembrados los taludes, se tiene un cuidado especial con las posibles precipitaciones que puedan ocurrir durante el proceso de germinación de la dichondra, ya que éstas podrían provocar un arrastre de las semillas por la superficie de los taludes. Para prevenir esto, se registra diariamente el pronóstico del tiempo para Concepción a través de windfinder (2014). Además, los taludes sembrados se cubren con polietileno aquellos días en que se pronostiquen precipitaciones.

Finalmente, durante el proceso de germinación, los taludes sembrados se someten a un sistema de riego artesanal (figura 3) con una frecuencia de 4 días.



Figura 3: Sistema de riego artesanal.
(Fuente: Elaboración propia)

2.3. Procedimiento de Ensayo y toma de Muestras.

Durante la fase experimental del proyecto de título, el procedimiento de ensayo sigue las siguientes etapas, las que serán descritas mas adelante.

1. Visualización del pronóstico de precipitaciones para Concepción (Windfinder 2014)
2. Registrar la humedad de los taludes experimentales antes del evento de precipitación.
3. Medición del porcentaje de cobertura sobre los taludes experimentales sembrados.
4. Aplicación de lluvia natural en taludes experimentales, de acuerdo a lo pronosticado.
5. Recolección del suelo erodado desde la canaleta de decantación ubicado en el pie de los taludes a escala.
6. Secado y posterior cuantificación del material erodado.
7. Medición de la cantidad de lluvia precipitada en el evento lluvioso.

2.3.1. Registro de humedad en taludes a escala.

El registro de humedad de los taludes a escala será medido con el sensor de humedad digital ECH2O Check (Decagon, 2011). La finalidad es obtener una humedad representativa de todo el talud experimental, por lo que se tomarán cinco mediciones de humedades por cada talud. La ubicación de los puntos donde será medida la humedad, se detallan en la figura 4.

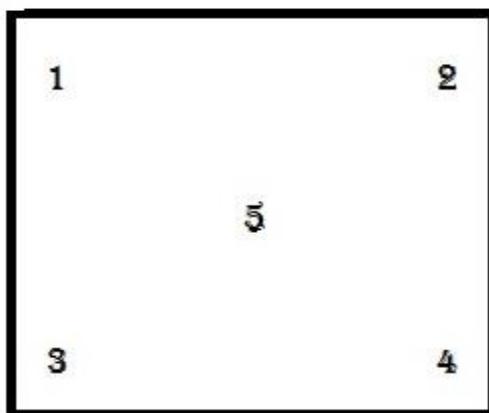


Figura 4: Puntos de medición de humedad.

(Fuente: Elaboración propia).

2.3.2. Medición de porcentaje de cobertura en taludes sembrados.

La medición del porcentaje de cobertura en los taludes experimentales será realizada a través del software ImajeJ. Éste es un programa de procesamiento digital que puede mostrar, editar, analizar e imprimir imágenes de 8, 16 y 32 bits. Fotografiando en planta los taludes experimentales con cobertura vegetal, se procesan las imágenes mediante análisis de colorimetría asociando con colores la cobertura vegetal, previa calibración del programa entre unidades métricas de los taludes experimentales y pixeles de la fotografía. Una vez seleccionados los colores que representan la cobertura vegetal, se puede obtener el área ocupada por esta. Conocido el área de los taludes experimentales, se puede hacer una relación entre estas áreas determinando de esta forma el porcentaje de cobertura vegetal.

2.3.3. Recolección del suelo erodado y cuantificación.

El escurrimiento superficial producido por la lluvia sobre el talud experimental, arrastra consigo el suelo que es erodado. Este escurrimiento, en conjunto con el suelo arrastrado por el escurrimiento superficial, es depositado en una canaleta de PVC ubicada en el pie del talud a escala (Figura 5), donde el material arrastrado decanta. La canaleta va unida a una manguera, la cual evacúa el excedente de agua con el material particulado fino no decantado hacia bidones.

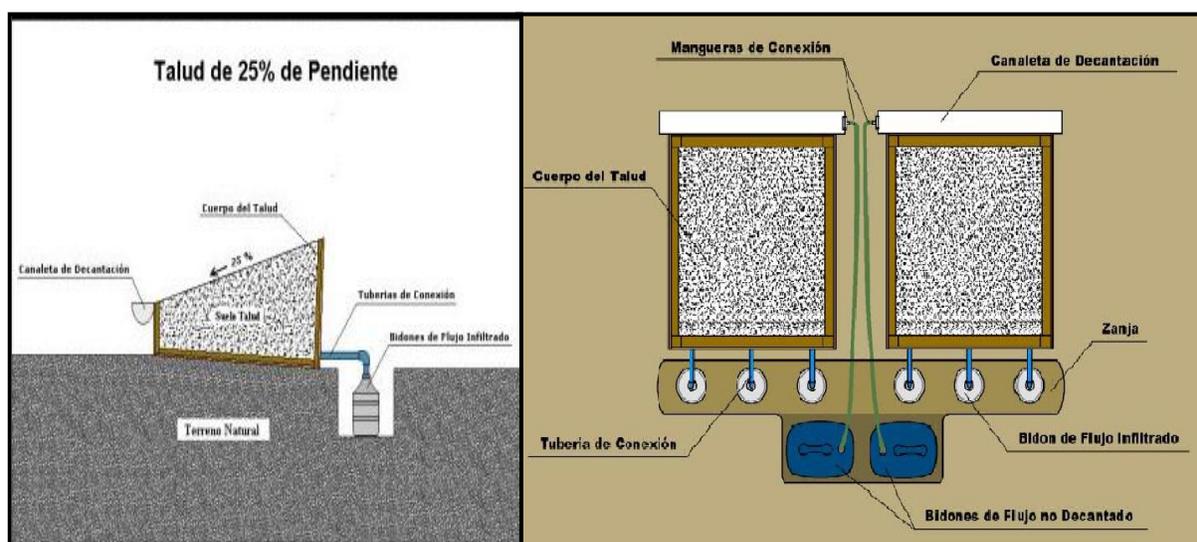


Figura 5: Vista Lateral y en planta de Taludes

(Fuente: Meneses, 2011)

Terminado el evento lluvioso, se procede a extraer el material de suelo erodado que decanta en la canaleta de PVC. Debido a que el material más fino del suelo erodado posiblemente no decante en la canaleta, circula con el agua hacia los bidones de flujo no decantado (Figura 5). Para extraer los finos, se homogeniza revolviendo la mezcla dentro del bidón, de tal forma que se extrae una muestra de éste con la que se pueda calcular la concentración de finos (Ver Anexo B) que contiene el bidón y de esta forma saber la cantidad de finos que poseen los bidones de flujo no decantado de cada talud a escala.

Finalmente, el suelo recolectado de la canaleta de PVC es secado en el horno a 60 °C durante tres días, con la finalidad de medir su masa seca. Luego de eso, la masa seca obtenida se suma a la concentración de finos presente en los bidones de flujo no decantado, obteniendo de esta forma el total de suelo erodado en el talud a escala, producto del evento lluvioso.

2.3.4. Registro de precipitaciones y duración de lluvia.

Para el registro de precipitaciones, se consideraron los registros de la estación Nonguén frente a la Universidad del Bío-Bío, con la cual se pueden conocer los valores de precipitación cada una hora. La estación está ubicada aproximadamente a 600 metros del LAGEMA, distancia en la cual se asume que no existe variación significativa de precipitaciones para el estudio.

Si bien la estación Nonguén registra las precipitaciones en intervalos de una hora, el registro puede derivar de un evento lluvioso que, efectivamente duró una hora o puede derivar de un evento lluvioso de una duración menor a la hora de intervalo que registra la estación. Es por esto que se establece una duración efectiva de lluvia, la cual se detalla en definición de variables.

2.4. Definición de Variables.

Para el análisis del proyecto de título se han establecido las siguientes variables:

- **Variable Dependiente:** En este caso es la cantidad de suelo erodado (E), la cual se define como el parámetro que se debe analizar en cada talud, en función de las variables independientes. Se ocupa el término suelo erodado y no erosión debido a que la erosión abarca además el impacto de las gotas de lluvias sobre el suelo, es

decir, la erosión es un concepto más amplio que solamente incluir el suelo que se transporta y es depositado en las partes bajas de los taludes, lo cual equivale al suelo erodado. De acuerdo a lo anterior, todos los análisis de erosión serán hechos en base al suelo erodado, el cual se mide en gramos (g).

- **Variables independientes:** Las variables independientes son aquellas que tienen algún efecto sobre la cantidad de suelo erodado en los taludes experimentales. En este caso se establecen las siguientes:
 - **Porcentaje de Cobertura (%C):** Porcentaje del área del talud experimental que es cubierto por la dichondra (taludes sembrados) y otras plantas. Se mide en %, a través de la relación (Área cobertura/Área Talud experimental).
 - **Humedad Volumétrica (H_v):** Corresponde a la humedad del talud experimental antes de iniciarse el evento lluvioso. Se mide en %, a través de la relación (m³ de agua/m³ de suelo)*100.
 - **Precipitación Total (PT):** Corresponde a la precipitación registrada para cada evento lluvioso. Se mide en milímetros (mm) y equivale a la suma de las precipitaciones horarias registradas por el pluviómetro de la DGA.
 - **Duración Total (DT):** Duración total del evento lluvioso en el cual se registraron mediciones. Se mide en horas (h).
 - **Duración Efectiva (DE):** Lapso de tiempo dentro de la duración total, en el cual efectivamente llovió. Se mide en horas (h).

Si bien el tema central del proyecto de título radica en la influencia de la cubierta vegetal sobre la erosión en los taludes experimentales, hay otros factores que también pueden tener algún tipo de influencia sobre ésta. Es por ello que en las variables independientes se han considerado factores adicionales al porcentaje de cobertura, para así analizar de mejor forma el efecto de la lluvia en la cantidad de suelo erodado.

2.5. Metodología de Análisis.

Una vez obtenidos los datos necesarios en la etapa experimental, se procedió al análisis de estos de la siguiente forma:

Para el análisis del crecimiento de la cobertura vegetal de *Dichondra*, se tomarán en cuenta los siguientes parámetros, que serán comparados con los datos obtenidos:

- Tiempo de germinación de semillas: 28 días (SAG, 2014).
- Temperatura óptima para crecimiento y germinación de *dichondra* oscilante entre los 15° y 20° C (Infojardín, 2014; Anasac, 2014).

Para los análisis de erosión, debido a que no se puede asumir que los resultados obtenidos se ajusten a una distribución conocida, se recurre a la estadística no paramétrica para su análisis. Se utilizará la prueba de los rangos con signo de Wilcoxon para analizar el comportamiento del suelo erodado frente a distintos porcentajes de cobertura desarrollado por los taludes. Para este caso, se realizará una comparación entre la cantidad de suelo erodado en aquellos taludes que desarrollaron cobertura vegetal y, la cantidad de suelo erodado en el talud que no desarrollo cobertura, donde se tiene que la hipótesis nula es:

- H_0 = No existe diferencia estadística entre las erosiones obtenidas en los taludes que desarrollaron cobertura vegetal (taludes 1, 2 y 3) y el talud que se mantuvo sin cobertura vegetal (talud 4).

En caso de rechazar la hipótesis nula, se acepta la hipótesis alternativa, la cual en este caso es:

- H_1 = Existe diferencia estadística entre las erosiones obtenidas en los taludes que desarrollaron cobertura vegetal (taludes 1, 2 y 3) y el talud que se mantuvo sin cobertura vegetal (talud 4).

Además se emplea el coeficiente de correlación de Spearman para ver el grado de asociación entre las variables independientes con la variable dependiente.

Adicionalmente se realizaron diagramas de dispersión con su respectivo ajuste de línea de tendencia (regresiones lineales) donde se muestra el comportamiento de la variable dependiente frente a las distintas variables independientes. Los diagramas de dispersión y ajuste de línea de tendencia, fueron realizados en Microsoft Excel versión 2010.

Cabe destacar que para todos los análisis estadísticos se utilizó el software estadístico Infostats en su versión estudiantil y un nivel de significancia (p-valor) 0,05.

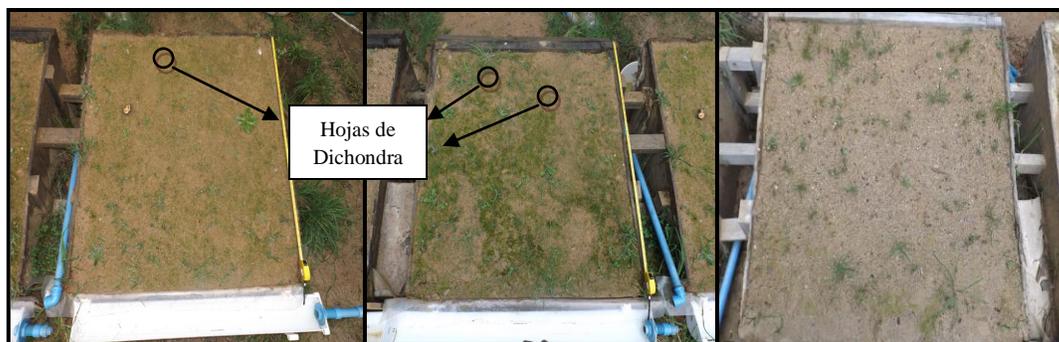
CAPÍTULO III: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.

En el presente capítulo se exponen los resultados obtenidos después de la recolección de información y posterior fase experimental del proyecto de título, que conto con 5 eventos de precipitación.

3.1 Desarrollo de cobertura vegetal.

Después de 99 días de ser sembrada la Dichondra, se observa el crecimiento de algunas hojas de esta especie (ver anexo F) que ocupan alrededor de 81 cm^2 de superficie en el caso del talud 2 (Fig. 6b) y, 20 cm^2 en el caso del talud 1 (Fig. 6a), lo que equivale al 0,0081% y 0,002 % respectivamente, de la superficie de los taludes experimentales. Debido a estos bajos porcentajes de cobertura alcanzado por la Dichondra, se considera que no germinó, ya que la cantidad de semillas sembradas (expuesto en 2.2.1) equivalían a la cantidad recomendada para cubrir completamente los taludes experimentales con Dichondra.

Las condiciones ambientales predominantes de la época otoñal en la zona y la tasa de riego en los taludes sembrados, solo favorecieron el crecimiento de otros tipo de cobertura vegetal compuesta por musgo, pasto y diente de león (figura 6).



a) Talud 1 Sembrado.

b) Talud 2 Sembrado.

c) Talud 3 sin Sembrar.

Figura 6: Desarrollo de cobertura vegetal a los 48 días después de la siembra.
(Fuente: Elaboración propia)

3.1.1 Influencia del suelo.

La dichondra no es exigente en tipos de suelos (infojardín 2014). La estructura del suelo con que se rellenaron los taludes a escala (arena limosa) permite un buen drenaje del agua y además una buena aireación de las raíces producto de la porosidad de la arena. Los céspedes necesitan suelos que tengan buen drenaje, una muestra de esto es que existen céspedes que están sembrados sobre suelos con casi 100% de arena en su composición. Además, el limo le da a la arena limosa una mayor cantidad de minerales.

En síntesis, se descarta que el suelo de la zona sea un factor influyente en que no se produzca la germinación, de esta forma toma principal relevancia los factores ambientales como elemento que imposibilita la germinación de la dichondra y por ende, el posterior crecimiento de la cubierta vegetal.

3.1.2 Influencia de la lluvia.

Producto de la pendiente de 25% del talud, la lluvia produce arrastre de las semillas por lo que se cubrieron los taludes sembrados durante los eventos de precipitación que ocurrieron durante el proceso de germinación de la Dichondra (se consideraron 45 días esperando que la Dichondra germinara). De esta forma, se descarta la lluvia como elemento que imposibilite la germinación de la Dichondra en este proyecto de título.

3.1.3 Influencia de la humedad.

Una de las características que hacen interesante la siembra de la Dichondra, es la baja dependencia del agua que tiene esta comparado a otras especies como por ejemplo el trébol enano. Los taludes sembrados, se sometieron a una tasa de riego con frecuencia cada 5 días.

Producto de que la humedad del suelo se mantuvo a una tasa de riego constante durante toda la fase experimental y los taludes sembrados se cubrieron durante los primeros 45 días después de ser sembrados (solo en caso de pronóstico de lluvia), para evitar posibles efectos de la lluvia sobre las semillas, se descarta la humedad como elemento que imposibilite la germinación de la Dichondra.

3.1.4 Influencia de la temperatura.

El productor de las semillas de Dichondra ocupadas (ANASAC, 2014) indica que el periodo ideal para la siembra es primavera-verano, cuando la temperatura del suelo supere los 15°C por un periodo prolongado, no recomendando la siembra en el periodo otoño-invierno ya que se corre el riesgo de que la dichondra no germine. Producto de lo anterior, la temperatura es objeto fundamental de estudio para ver su influencia en la germinación de la dichondra, durante la fase experimental del presente proyecto de título.

En la figura 7 se presentan las temperaturas para los días transcurridos entre la fecha de siembra de la dichondra (7 de abril) y el día 2 de julio.

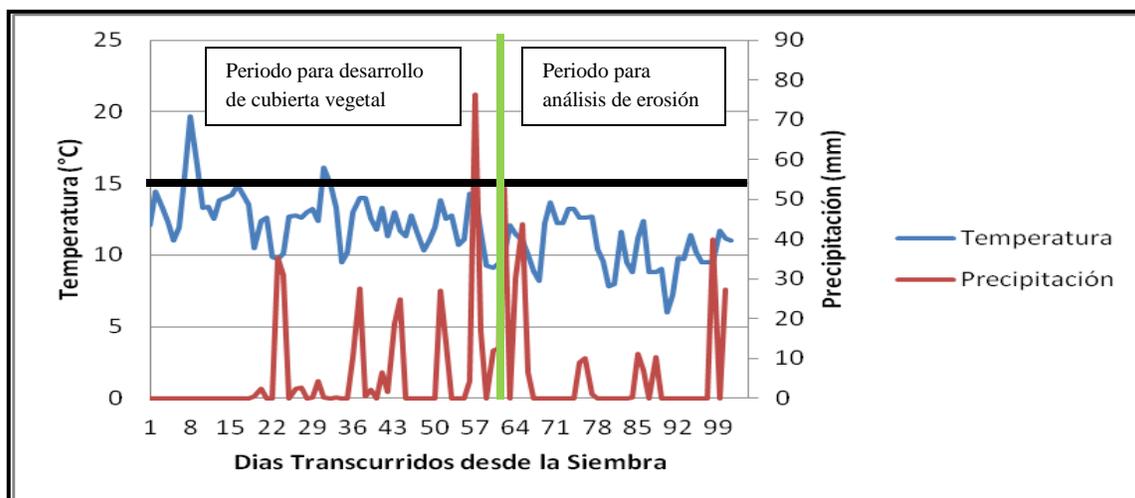


Figura 7: Registro de temperatura y precipitación en el tiempo.
(Fuente: Elaboración propia).

Como se puede apreciar en la figura 7, la mayor parte de los días registran temperaturas inferiores a los 15°C, por lo que se puede decir que la baja temperatura de los días transcurridos posterior a la siembra de la dichondra, produjeron que esta no germine y por ende, no crezca cubierta vegetal de Dichondra.

Además, se puede apreciar en la figura 7 la cantidad de días que se destinaron para que se pudiera desarrollar cobertura vegetal en los taludes a escala (hasta línea vertical verde). La cantidad de días empleada responde al lento crecimiento que tuvo la cubierta vegetal desarrollada, lo que imposibilitaba realizar estudios de suelo erodado en función de distintos porcentajes de cobertura desarrollados en los taludes a escala. En el caso de la germinación de la Dichondra se consideraron 45 días para su análisis, ya que a los 28 días después de la siembra aún no se obtenían resultados de germinación.

Las bajas temperaturas trajeron consigo 2 heladas, las cuales dejaron como consecuencia la quema de gran parte de las semillas que fueron sembradas (ver anexo F).

3.2 Erosión hídrica de los taludes a escala en función de la cubierta vegetal.

Debido a que no creció (o creció pero despreciable) cubierta vegetal de Dichondra en los taludes a escala, se analizó la erosión hídrica en función de la cubierta vegetal que se desarrolló en estos, incluyendo todas las especies que ahí crecieron.

Considerando que la erosión puede verse afectada por otras variables independientes además del porcentaje de cobertura, se considera el siguiente supuesto:

$$E = f(\%C, H_v, PT, DE) \quad \text{Ecuación 1.}$$

La ecuación 1 indica que la erosión es función de las variables independientes porcentaje de cobertura, humedad volumétrica, precipitación total y duración efectiva (o también se

puede suponer duración total DT). Lo anterior es válido solo para aquellos taludes en los cuales se desarrolló cobertura vegetal. Para el talud que se mantuvo descubierto, se aplica la misma ecuación 1 con la única diferencia que esta no considera el porcentaje de cobertura como una de sus variables independientes

Conocida las variables que componen la erosión y teniendo en cuenta que en este caso solo interesa obtener el comportamiento de la erosión en función del porcentaje de cobertura, se eliminan las variables PT y DE al obtener una erosión relativa. La erosión relativa se presenta en la ecuación 2.

$$Er_{ij}=E_{ij}/E_{4j}= f(\%C, H_v, PT, DE)/ f(H_v, PT, DE) \quad \text{Ecuación 2}$$

donde:

Er_{ij} = Erosión relativa del talud i respecto al talud 4, en el evento de precipitación j.

E_{ij} = Erosión del talud i en el evento de precipitación j.

E_{4j} = Erosión de talud 4 en el evento de precipitación j.

Debido a que los valores de erosión relativa son obtenidos para cada evento de precipitación, las variables PT y DE son iguales en E_{ij} y E_{4j} pero no H_v , la cual varía para cada talud y evento lluvioso, lo que implica que la erosión relativa sea de carácter adimensional y queda representada como lo indica la ecuación 3.

$$Er_{ij}= K_{ij} * f(\%C) \quad \text{Ecuación 3.}$$

donde:

K_{ij} = Factor adimensional resultante entre la división de la humedad del talud i en el evento de lluvia j con la humedad del talud 4 en el mismo evento.

Cabe mencionar además que cualquier parámetro asociado al suelo (excluyendo H_v) no se considera en este análisis ya que los 4 taludes ocupados presentan el mismo tipo de suelo, lo cual supone que todos los parámetros asociados son iguales.

La figura 8 muestra la distribución de de las erosiones relativas obtenidas para distintos porcentajes de cobertura. Los datos plasmados en la figura 5 pueden verse en la tabla xx del anexo e.

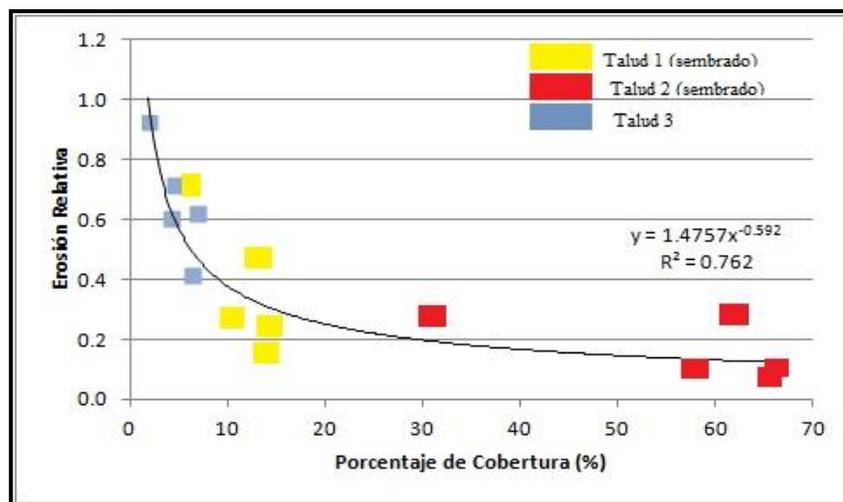


Figura 8: Dispersión de taludes que desarrollaron cobertura.
(Fuente: Elaboración propia).

Se puede apreciar claramente en la figura 8 que la tendencia de la erosión es disminuir mientras el porcentaje de cobertura aumenta. La línea de tendencia es de tipo potencial y se ajusta en un 76.2% a la dispersión de datos, lo cual es un buen nivel de ajuste.

3.3 Comparación de erosión entre taludes con cubierta vegetal y talud sin cubierta.

Una vez aplicada la prueba de Wilcoxon, se obtiene que para un nivel de confianza de 0,05 se rechaza la hipótesis nula aceptando la hipótesis alternativa, es decir, los taludes que desarrollaron algún porcentaje de cobertura vegetal (taludes 1, 2 y 3) presentan una significativa diferencia en la cantidad de suelo erodado en comparación al talud que se mantuvo sin cobertura vegetal (talud 4).

Se obtiene además para este caso, que los porcentajes de coberturas desarrollados en la etapa experimental del proyecto de título producen una disminución de erosión entre un 7% y 92%, teniendo el primer caso un porcentaje de cobertura de 1,9 % (el menor registrado) y el segundo un porcentaje de cobertura de 65.5% .

3.3 Relación entre variable dependiente y variables independientes.

Antes de establecer la relación existente entre la variable dependiente y las distintas variables independientes, a través del coeficiente de correlación de Spearman se establece el grado de asociación existente entre las distintas variables independientes, ya que el incluir variables independientes altamente correlacionadas puede derivar en errores de los posteriores análisis.

En la tabla 1, se pueden apreciar los coeficientes de correlación de Spearman entre las variables independientes. Se puede apreciar, que la variable duración efectiva (DE) tiene un alto grado de asociación con las variables precipitación total (PT) y duración total (DT), por lo que se excluye esta variable para el análisis de correlación entre variable dependiente e independientes.

	Hv	PT	DT	DE	%C
Hv	1				
PT	-0.31	1			
DT	-0.07	0.2	1		
DE	-0.15	0.7	0.7	1	
%C	-0.53	-0.06	0.2	0.06	1

Tabla 1: Correlaciones de Spearman para cada talud.
(Fuente: Elaboración propia).

En la tabla 2, se pueden apreciar los coeficientes de correlación de Spearman entre la variable dependiente suelo erodado (E) y la distintas variables independientes consideradas para el análisis. Se puede observar, que las variables independientes con mayor grado de asociación a la variable suelo erodado, son la precipitación total (PT) y el porcentaje de cobertura (%C) con un 69% y 70% de correlación respectivamente. Esto quiere decir, que un aumento en la precipitación aumenta en gran medida la cantidad del suelo erodado. Por su parte, el que el suelo erodado y el porcentaje de cobertura tengan un grado de asociación negativo indica la relación inversa de estas variables, es decir, un aumento en el porcentaje de cobertura disminuye la cantidad de suelo erodado. Dicho resultado reafirma lo obtenido en 3.2.

Por su parte, la humedad volumétrica inicial (Hv) y la duración total del evento lluvioso (DT), presentan bajos porcentajes de asociación con la variable suelo erodado, lo cual indica la baja incidencia que tienen estas variables en la cantidad de suelo que es arrastrado en cada evento lluvioso.

	E	Hv	PT	DT	%C
E	1				
Hv	0.12	1			
PT	0.69	-0.31	1		
DT	0.15	-0.07	0.2	1	
%C	-0.7	-0.53	-0.06	0.04	1

Tabla 2: Erosión y humedad (Hv) para cada talud y medición.
(Fuente: Elaboración propia).

La relación entre el suelo erodado y las variables independientes PT y DT, nos lleva además a deducir una relación entre la intensidad de precipitación y el suelo erodado.

A continuación se presentan los diagramas de dispersión asociados a la cantidad de suelo erodado y las distintas variables independientes medidas (excluyendo el porcentaje de cobertura analizado en 3.2), presentando además la línea de ajuste de tendencia y su ecuación asociada.

La figura 9 muestra la dispersión de datos de la cantidad de suelo erodado en función de la precipitación total. Se puede apreciar que para precipitaciones menores a 20 mm, se ve un comportamiento lineal entre suelo erodado y precipitación total.

Para precipitaciones mayores a 20 mm, se aprecia un aumento exponencial del suelo erodado en función de la precipitación. La línea de tendencia asociada se ajusta a los datos en un 69%, lo cual es consistente con lo obtenido a través del coeficiente de correlación de Spearman.

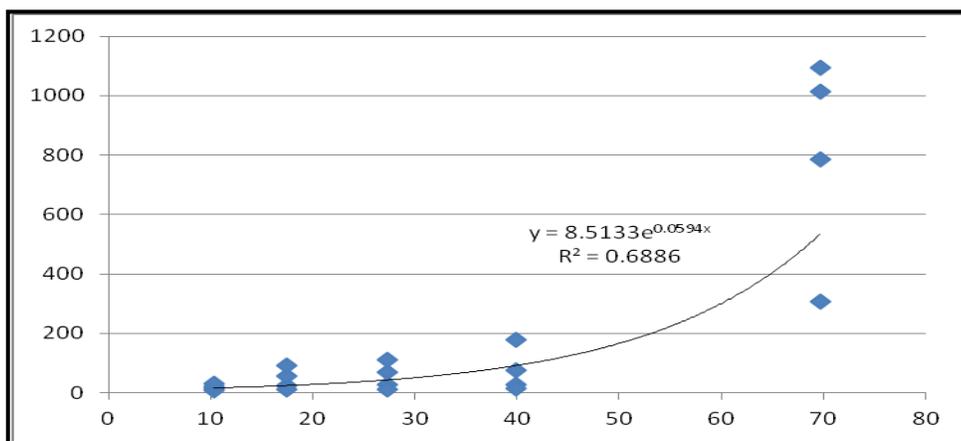


Figura 9: Análisis de dispersión de suelo erodado v/s precipitación total. (Fuente: Elaboración propia).

Las figuras 10 y 11 muestran la dispersión de datos de la cantidad de suelo erodado en función de la duración total y la humedad volumétrica inicial respectivamente.

Se puede apreciar en ambos casos que la línea de tendencia presenta un bajo ajuste a la dispersión de datos, presentando en el caso de la duración total un 18% de ajuste y en la humedad volumétrica inicial un 3.6% de ajuste, lo cual reafirma la baja correlación existente entre estas variables con la cantidad de suelo erodado.

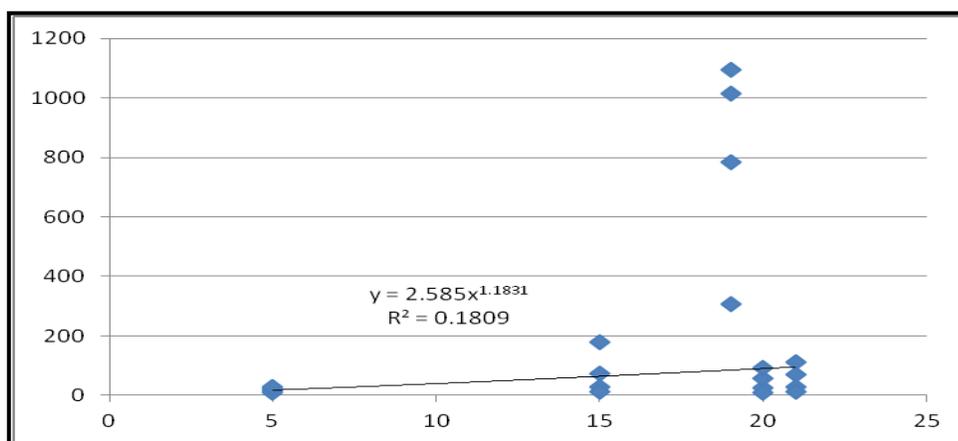


Figura 10: Análisis de dispersión de suelo erodado v/s Duración total.
(Fuente: Elaboración propia).

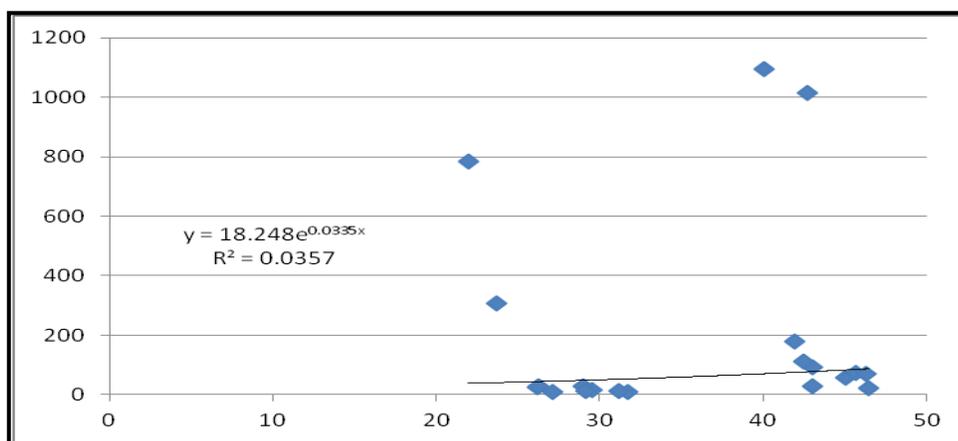


Figura 11: Análisis de dispersión de suelo erodado v/s humedad volumétrica inicial.
(Fuente: Elaboración propia).

CAPÍTULO IV: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

Del proyecto de título se obtienen las siguientes conclusiones:

Se concluye que la dichondra no germinó debido a que la época en la cual se desarrolló la experiencia, presentó la gran parte del tiempo temperaturas inferiores a la requerida para que las semillas germinen (15°C). Además se registraron heladas la cuales produjeron que se quemaran gran parte de las semillas sembradas.

Si bien las condiciones ambientales en que se desarrolló el proyecto de título no permitió el desarrollo de cubierta vegetal de dichondra, permitió que se desarrollara otro tipo de cubierta vegetal, la cual se compone en su mayoría de pasto y musgo, además de diente de león. Por esta razón, los análisis de erosión realizados fueron hechos en base a la cobertura vegetal desarrollada.

La cobertura vegetal que se desarrolló en los taludes a escala, logró disminuir la cantidad de suelo erosionado en un rango de 7% a 92% con respecto al talud que se mantuvo sin ningún tipo de cobertura en los eventos de precipitación registrados. La tendencia de disminución de erosión a medida que incrementaba el porcentaje de cobertura vegetal es clara, por lo que se concluye que la cubierta vegetal desarrollada es efectiva para la disminución de erosión.

La tasa de riego cada 4 días en los taludes que se sembraron fueron influyentes para el crecimiento del pasto y musgo, ya que en aquellos taludes no sometidos a riego el desarrollo de cobertura vegetal fue muy lento o bajo. Específicamente en el talud 4, el cual se mantuvo sin cubierta vegetal, el crecimiento de vegetación fue casi nulo y lo poco que creció se retiraba para mantenerlo descubierto.

Dentro de todas las variables independientes registradas que podrían tener alguna influencia sobre el suelo erodado, se concluye que el porcentaje de cobertura y la precipitación total del evento lluvioso son las variables que tienen un nivel de asociación más alto con la cantidad de suelo erodado. Se reafirma en este caso la alta influencia del porcentaje de cobertura en la disminución del suelo erodado, teniendo un 70% de correlación con esta

última. La precipitación total tiene un efecto significativo en la cantidad de suelo erodado, ya que un aumento de esta variable incrementa exponencialmente la cantidad de suelo arrastrado durante el evento lluvioso, para precipitaciones mayores a 20 mm. Además, el hecho que el suelo erodado este asociado a la duración total del evento lluvioso, permite inferir una relación entre intensidad de precipitación y suelo erodado.

Finalmente, como no hubo desarrollo de cubierta vegetal de *Dichondra*, impidiendo esto estudiar su influencia en la cantidad de suelo erodado, se recomienda realizar la misma experiencia en la época Primavera-Verano donde la temperatura es mayor y por ende, se producirá la germinación de la *Dichondra* pudiendo de esta forma hacer un análisis de la evolución de la cubierta vegetal en el transcurso del tiempo, considerando los factores ambientales y del suelo en la Región del Biobío para dicha época, además de los respectivos análisis de arrastre de suelo para taludes a escala.

BIBLIOGRAFÍA.

- ANASAC (2014). [En línea].
<www.anasac.cl> [Consulta: Junio 2014].
- Derpsch R. (2004). Entender el proceso de erosión y de infiltración de agua en el suelo. [En línea].
<www.rolf-derpsch.com/erosion-es.html> [Consulta: Abril 2014].
- DGA (2014). Dirección General de Aguas, Ministerio de Obras Públicas. [En línea]
<<http://www.dga.cl/Paginas/default.aspx>> [Consulta: 7 de Abril al 14 de Julio].
- Foro de Jardinería Infojardín. [En línea].
<<http://www.infojardin.com>> [Consulta: 7 de Abril al 30 de Junio].
- Hernández, D. (2011). Influencia de la pendiente y la precipitación en la erosión de taludes desprotegidos. Proyecto de Título Ingeniería Civil. Universidad del Biobío.
- Lal, R. (1988). Erodability and erosivity. Pp: 141-160. In: Lal, R. (Ed.) soil erosion research methods. CRC Press. New York, EEUU. 244 p.
- 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 Biobío.
- Montgomery, D. y Runger, C. (2012). Probabilidad y Estadística aplicada a la Ingeniería. Mc Graw-Hill Interamericana Editores.
- Norma Chilena NCh 165 of 77. Tamizado y determinación de granulometría.

- Norma Chilena NCh 1515. of 79. Determinación del contenido de humedad.
- Norma Chilena NCh 1516. of 79. Determinación de la densidad in situ.
- Norma Chilena NCh 1517/ I of 1979. Determinación del límite líquido.
- Norma Chilena NCh 1517/ II of 1979. Determinación del límite plástico.
- Norma chilena NCh 1534 of 1979. Relaciones humedad/densidad.
- Observatorio Geodésico Transportable Tigo. [En línea].
<<http://www.tigo.cl>> [Consulta: 10 de Junio al 14 de Julio].
- Riquelme, C. (2010). Diseño de Lisímetros para Estudiar la Erosión Hídrica en Taludes a Escala. Proyecto de Título Ingeniería Civil. Universidad del Biobío.
- Sitio de la asociación Argentina de Productores de Granja Infogranja. [En línea].
<<http://www.infogranja.com.ar>> [Consulta: Abril 2014].
- Solar, C. (2012). Efectos de las etapas del desarrollo de la congona sobre la erosión en talud de baja pendiente. Proyecto de Título Ingeniería Civil. Universidad del Biobío.
- Windfinder (2014) GmbH & Co. Observaciones, previsión y estadísticas de viento, olas y tiempo. [En línea].
<http://www.windfinder.com/forecast/concepcion&wf_cmp=7> [Consulta: 7 de Abril al 14 de Julio].

ANEXOS

ANEXO A. Mecánica de Suelos.

A.1. Granulometría.

La granulometría se efectuó según la norma NCh 165 of. 77, en la cual los resultados obtenidos se presentan en la siguiente tabla:

Tamiz	Peso Ret. (g)	% Retenido	% que pasa
4	3,71	1,45	98,55
10	17,96	7	91,56
20	17,92	6,98	84,57
40	18,91	7,37	77,2
60	31,92	12,44	64,77
200	129,45	50,44	14,32
Σ	219,45		
Residuo	26,76		

Tabla 3: Granulometría.
(Fuente Elaboración Propia).

A.2 Límites de Atterberg.

Para la caracterización del suelo, debido a la presencia de finos se utilizaron los límites de Atterberg conforme a la norma NCh 1517/ I of. 1989 y para el límite plástico la NCh 1517/ II of. 1970. Los resultados se presentan a continuación:

- Límite líquido: 41,17.
- Límite Plástico: 30,88.
- Índice de plasticidad: 10,27.

A.3. Clasificación del Suelo.

Ocupando el Software Suelos y de acuerdo a la Unified Soil Classification System (USCS), en función de la granulometría obtenida se tiene lo siguiente:

Tamiz	%pasa
80 mm	100
50 mm	100
25 mm	100
20 mm	100
10 mm	100
5 mm	98,55
2 mm	91,56
0,5 mm	77,20
0,08 mm	14,32
LL	41,17
IP	10,27

Clasificación

AASHTO:
Clasificación: IG:

USCS:
Material orgánico:
 Presencia de material orgánico
Límite líquido horno (orgánico):

Cu: Cc:

Clasificación:

Arenas limosas

Buttons: Clasifica, Salir, Acerca de

Figura 12: Clasificación de suelo.
(Fuente: Software Suelos, 2014).

A.4. Obtención de parámetros del suelo natural.

Para obtener los parámetros del suelo en estado natural, de donde es extraído para rellenar los taludes a escala, se realizó un ensayo de cono de arena conforme a la norma NCh 1516. Of 79. Los resultados obtenidos se exponen a continuación:

- Densidad compactada húmeda: 1733 Kg/m³.
- Densidad compactada seca: 1436 Kg/m³.
- Humedad natural: 20,7 % (NCh 1515. Of 79).

A.5. Ensayo Proctor Modificado.

Se realizó el ensayo proctor modificado conforme a la norma NCh 1534 of. 1979, cuyo detalle se muestra en la tabla xx.

Ensayo	Agua Agregada (%)	Mat+Molde (g)	Tara Molde (g)	Peso Mat (g)	Vol. Molde (cm3)	DCH (Kg/m3)	DCS (Kg/m3)	Hum. Real (%)
1	11	3538	1732	1806	948	1905,06	1716,27	13,69
2	13	3584	1732	1852	948	1953,59	1728,84	14,19
3	15	3640	1732	1908	948	2012,66	1750,14	16,02
4	17	3631	1732	1899	948	2003,16	1712,11	17,5
5	19	3618	1732	1886	948	1989,45	1671,81	20,04

Tabla 4: Proctor.
(Fuente: Elaboración propia).

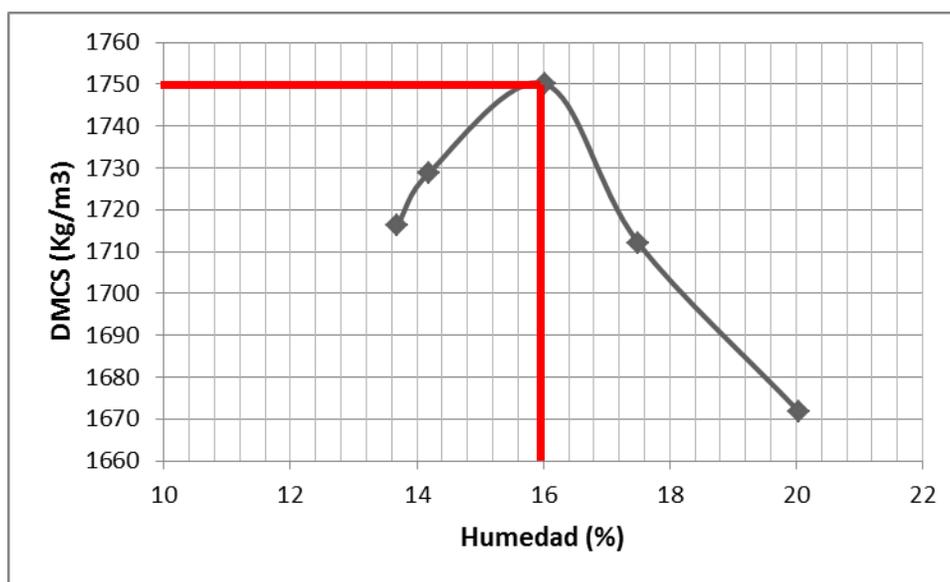


Figura 13: DMCS según variación de Humedades.
(Fuente: Elaboración Propia).

De acuerdo al gráfico xx, la máxima densidad que alcanza el suelo ensayado es 1750 Kg/m³ a una humedad de 16%.

ANEXO B. Cuantificación de material en bidones de flujo no decantado.

Para cuantificar el material que no se deposita en la canaleta de decantación y es conducido a los bidones de flujo no decantado, se sigue la siguiente metodología:

1. Conocida la masa de los bidones vacíos, se procede a medir la masa de los bidones con el contenido de mezcla agua y suelo fino no decantado.
2. Agitar los bidones, de tal forma que la mezcla sea homogénea.
3. Extraer una alícuota desde los bidones.
4. Depositar la alícuota en una paila de masa conocida y posteriormente medir la masa total.
5. Someter a secado la alícuota extraída de los bidones y posteriormente medir la masa de las partículas de suelo seco. Una vez conocida la masa seca de las partículas de suelo, se puede conocer la cantidad de agua y partículas de suelo que contenía la alícuota.
6. Conocida la cantidad de suelo y agua que contiene la alícuota, se puede obtener la cantidad de partículas total existente en los bidones, relacionando la masa de la alícuota extraída con la masa de la mezcla contenida en los bidones.

ANEXO C. Modificación a taludes construidos por Riquelme.

Riquelme (2010), en su proyecto de título diseña lisímetros para el estudio de erosión, los cuales se pueden apreciar en la figura 14:

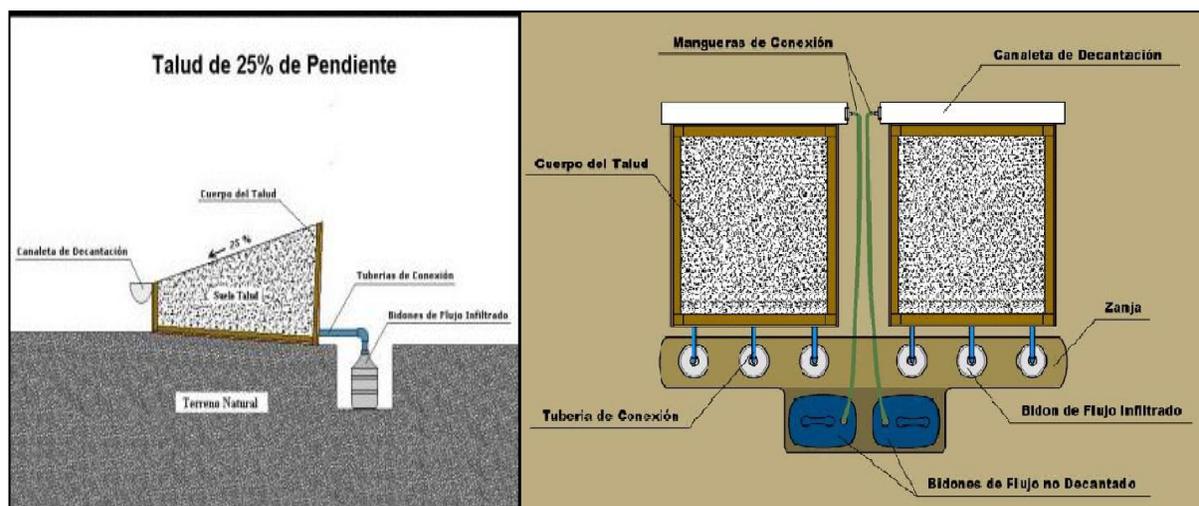


Figura 14: Diseño de Lisímetros.
(Fuente: Riquelme, 2010).

Como se puede apreciar, básicamente los lisímetros constan de un cuerpo del talud, canaleta de decantación, bidones de flujo no decantado, mangueras de conexión, bidones de flujo infiltrado y tuberías de conexión.

Para el presente proyecto de título, se eliminarán los bidones de flujo infiltrado con su tubería de conexión, ya que en este caso no se pretende hacer balance hídrico. Por esta razón, se habla de taludes a escala y no lisímetros. Además, la mínima separación que existe entre taludes, imposibilita que las mangueras de conexión (3/4" de diámetro) puedan dar la curva desde el empalme con la canaleta de decantación para dirigirse hacia los bidones de decantación, por lo que las mangueras se reemplazaron por un tubo de PVC de diámetro 3/4" que se une a la canaleta de decantación con un codo de PVC del mismo diámetro, como se muestra en la figura 15.



Figura 15: Reemplazo de manguera por tubo de PVC
(Fuente: Elaboración propia).

ANEXO D. Verificación de densidades en taludes a escala.

Para la verificación de densidades se ubicaron las probetas para extraer suelo, como muestra la figura 16.

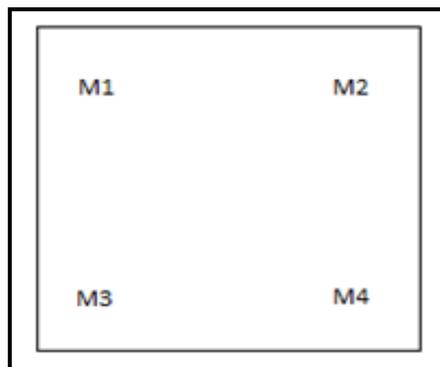


Figura 16: Ubicación de probetas para densidades.
(Fuente: Elaboración propia).

Se realizaron 2 verificaciones de densidad en los taludes. La primera de ellas antes de sembrar los taludes y la segundo al final la etapa experimental del proyecto de título.

Los resultados obtenidos, para una D.M.C.S. de 1750 Kg/m³ se exponen en la tabla 5.

		Masa suelo (gr)	Volumen (cc)	Densidad (Kg/m3)	% D.M.C.S.
	Talud 1	112.2	85.6	1310.75	74.90
Medición	Talud 2	104.5	85.6	1220.79	69.76
1	Talud 3	109.5	85.6	1279.21	73.10
	Talud 4	110.2	85.6	1287.38	73.56
	Talud 1	97.2	85.6	1135.51	64.89
Medición	Talud 2	89.5	85.6	1045.56	59.75
2	Talud 3	95.4	85.6	1114.49	63.68
	Talud 4	95.2	85.6	1112.15	63.55

Tabla 5: Resultados para verificación de densidades.
(Fuente: Elaboración propira).

ANEXO E. Tablas de resultados.

A continuación se presentan los datos medidos en cada evento de precipitación, los cuales fueron utilizados para los distintos análisis y gráficos de dispersión.

Talud	Medición	Erosión (g)	Hv (%)	PT(mm)	DT (hr)	DE (hr)	%C (%)
	1	784.54	21.94	69.7	19	17	5.66
	2	25.6	26.2	17.4	20	13	10.40
1	3	14	29.52	10.3	5	5	12.80
	4	28.5	26.3	39.9	15	15	13.84
	5	27.97	29	27.3	21	21	14.1
	1	307.8	23.66	69.7	19	17	30.76
	2	10.2	27.08	17.4	20	13	57.64
2	3	8.5	31.7	10.3	5	5	61.56
	4	13.7	29.14	39.9	15	15	65.47
	5	12.2	31.2	27.3	21	21	66
	1	1015.46	42.68	69.7	19	17	1.9
	2	56.9	45.06	17.4	20	13	4.167
3	3	21.2	46.46	10.3	5	5	4.43
	4	74.54	45.7	39.9	15	15	6.31
	5	70.43	46.3	27.3	21	21	6.73
	1	1093.42	40.04	69.7	19	17	0
	2	93.2	43.06	17.4	20	13	0
4	3	29.5	43	10.3	5	5	0
	4	177.9	41.96	39.9	15	15	0
	5	112.5	42.5	27.3	21	21	0

Tabla 6: Registro de datos para cada medición y talud.
(Fuente: Elaboración propia).

Talud	Medición	Erosión Relativa
	1	0.72
	2	0.27
1	3	0.47
	4	0.16
	5	0.25
	1	0.28
	2	0.11
2	3	0.29
	4	0.08
	5	0.11
	1	0.93
	2	0.61
3	3	0.72
	4	0.42
	5	0.63

Tabla 7: Registro de erosiones relativas para cada medición y talud.
(Fuente: Elaboración propia).

A continuación se presentan los resultados obtenidos para la prueba de los rangos con signos de Wilcoxon, donde se comparan la cantidad de suelo erodado para los taludes 1, 2 y 3 (E1, E2, E3) con la cantidad de suelo erodado en el talud 4 (E4).

Medición	E1	E4	Dif.	Ordenados	Rango (+/-)
1	784.54	1093.42	-308.88	-15.5	-1
2	25.6	93.2	-67.6	-67.6	-2
3	14	29.5	-15.5	-84.53	-3
4	28.5	177.9	-149.4	-149.4	-4
5	27.97	112.5	-84.53	-308.88	-5

Tabla 8: Prueba de Wilcoxon para talud 1 y 4.
(Fuente: Elaboración propia).

Medición	E2	E4	Dif.	Ordenados	Rango (+/-)
1	307.8	1093.42	-785.62	-21	-1
2	10.2	93.2	-83	-83	-2
3	8.5	29.5	-21	-100.3	-3
4	13.7	177.9	-164.2	-164.2	-4
5	12.2	112.5	-100.3	-758.62	-5

Tabla 9: Prueba de Wilcoxon para talud 2 y 4.
(Fuente: Elaboración propia).

Medición	E3	E4	Dif.	Ordenados	Rango (+/-)
1	1015.46	1093.42	-77.96	-8.3	-1
2	56.9	93.2	-36.3	-36.3	-2
3	21.2	29.5	-8.3	-42.07	-3
4	74.54	177.9	-103.36	-77.96	-4
5	70.43	112.5	-42.07	-103.36	-5

Tabla 10: Prueba de Wilcoxon para talud 3 y 4.
(Fuente: Elaboración propia).

Para todos los resultados anteriores, se tienen los siguientes estadísticos.

W+	0
W-	15
Alfa	0.05
n	5
Vcr	0

Tabla 11: Estadísticos para prueba de Wilcoxon.
(Fuente: Elaboración propia).

Se tiene que para una cantidad de datos $n=5$ y un nivel de significancia de 0.05, el valor crítico (Vcr) para la prueba de Wilcoxon es cero. Como $W=Vcr$, se tiene que se rechaza hipótesis nula, aceptando hipótesis alternativa.

ANEXO F. Registros fotográficos de desarrollo de cobertura vegetal y otros.

A continuación se muestra la secuencia de imágenes que muestran el desarrollo de la cobertura vegetal en los taludes 1 y 2, a contar del día que fueron sembradas las semillas.



Figura 17: Desarrollo de cobertura vegetal en talud 1 y 2 (Izquierda a derecha) a los 38 días.

(Fuente: Elaboración propia).



Figura 18: Desarrollo de cobertura vegetal en talud 1 y 2 (Izquierda a derecha) a los 48 días.

(Fuente: Elaboración propia).



Figura 19: Desarrollo de cobertura vegetal en talud 1 y 2 (Izquierda a derecha) a los 63 días.
(Fuente: Elaboración propia).



Figura 20: Desarrollo de cobertura vegetal en talud 1 y 2 (Izquierda a derecha) a los 84 días.
(Fuente: Elaboración propia).

En el caso de talud 3, la cubierta vegetal comenzó a desarrollarse varios días después de haber sido sembrada la dichondra (a diferencia de los taludes 1 y 2).

A continuación se presentan imágenes con el desarrollo de cobertura vegetal del talud 3, teniendo en cuenta los días transcurridos desde que se sembraron con dichondra los taludes 1 y 2.



Figura 21: Desarrollo de cobertura vegetal en talud 3 a los 84 y 94 días respectivamente. (Fuente: Elaboración propia).

Las siguientes imágenes muestran las semillas que se quemaron después de dos heladas que se registraron en el desarrollo del proyecto de título.



Figura 22: Semillas quemadas producto de heladas. (Fuente: Elaboración propia).

Las distintas especies que se desarrollaron en los taludes con cobertura, se muestran en las siguientes imágenes.



Figura 23: Cobertura vegetal desarrollada.
(Fuente: Elaboración propia).

Las imágenes siguientes muestran el pequeño porcentaje de hojas de dichondra que crecieron en los taludes.



Figura 24: Hojas de dichondra que crecieron.
(Fuente: Elaboración propia).