



**UNIVERSIDAD DE TALCA  
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES  
ESCUELA DE INGENIERÍA FORESTAL**

**ANÁLISIS COMPARATIVO DEL DESARROLLO DE PLÁNTULAS DE PINUS  
RADIATA D. DON Y DE LA RETENCIÓN DEL SUELO EROSIONADO, EN  
OBRAS DE CONSERVACIÓN DE AGUAS Y SUELOS**

**MARÍA JOSÉ FAÚNDEZ HERRERA**

**Memoria para optar al Título de:  
INGENIERO FORESTAL**

**PROFESOR GUÍA: Dr. Ing. ROBERTO PIZARRO TAPIA**

**TALCA – CHILE**

**2004**



**UNIVERSIDAD DE TALCA**  
**FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA FORESTAL**

La Srta. María José Faúndez Herrera, ha realizado la Memoria:  
**“Análisis Comparativo del Desarrollo de Plántulas de *Pinus radiata* D. Don y de la Retención del Suelo Erosionado, en obras de Conservación de aguas y Suelos”**, como uno de los requisitos para optar al Título de Ingeniero Forestal. El profesor Guía es el Sr. Roberto Pizarro Tapia.

La comisión de Calificación constituida por los profesores Sr. Roberto Pizarro y Sra. Ursula Doll, han evaluado con nota 6,9 (seis coma nueve).

**CRISTIAN LOPEZ MONTECINOS**  
**DIRECTOR**  
**ESCUELA INGENIERIA FORESTAL**

Talca, Junio de 2004

## **AGRADECIMIENTOS**

Debo expresar mis sinceros agradecimientos a quienes me dieron su apoyo, confianza y aportaron a la realización de esta investigación, en especial a:

- Mis padres a quien debo todo el esfuerzo y dedicación para concretar esta meta.
- Al Profesor Roberto Pizarro, quién guió este estudio, por su dedicación y apoyo incondicional.
- A la profesora Gloria Icaza, por su gran disposición, inmensa ayuda y entrega de conocimientos estadísticos vitales para el desarrollo de este estudio.
- A todos mis amigos y compañeros que por su incondicional apoyo, contribuyeron de alguna otra manera en la realización de este estudio.

# ÍNDICE

## RESUMEN

## SUMMARY

<b>1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
<b>2. OBJETIVOS.....</b>	<b>3</b>
<b>3. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>4</b>
3.1 Marco General.....	4
3.2 Concepto de erosión y Métodos de Evaluación.....	4
3.3 Los Principales factores Ambientales y de Suelos que Influyen Sobre los procesos erosivos.....	6
3.3.1 Precipitación.....	6
3.3.2 Suelo.....	7
3.3.3 Relieve.....	8
3.3.4 Vegetación.....	9
3.4 Obras de Conservación de Aguas y Suelos.....	10
3.5 Investigaciones Asociadas a Obras de Conservación de Aguas y Suelos.....	12
<b>4. ANTECEDENTES GENERALES.....</b>	<b>15</b>
<b>5. METODOLOGÍA.....</b>	<b>22</b>
5.1 Pasos metodológicos.....	22
5.1.1 Revisión Bibliográfica.....	22
5.1.2 Descripción de los ensayos.....	22

5.1.2.1	Zanjas de Infiltración y Subsolado.....	22
5.1.2.2	Erosión.....	23
5.1.3	Toma de datos de las plantas.....	24
5.1.4	Toma de datos de erosión.....	25
5.1.5	Análisis Estadístico de las variables diámetro de cuello y altura.....	26
5.1.6	Análisis de la sobrevivencia de la plantación.....	28
5.1.7	Discusión de los resultados.....	30
5.1.8	Conclusiones y Recomendaciones.....	30
5.2	Materiales.....	30
<b>6.</b>	<b>PRESENTACIÓN DE RESULTADOS.....</b>	<b>31</b>
6.1	Caracterización numérica de las zonas en estudio, para las variables diámetro de cuello, altura y sobrevivencia de la plantación.....	31
6.1.1	Resultados de los ensayos en diámetro de cuello y altura de las plantas.....	31
6.1.2	Resultados de la variable sobrevivencia.....	35
6.2	Análisis Estadístico de la información obtenida.....	36
6.2.1	Análisis Paramétrico.....	36
6.2.2	Análisis no Paramétrico.....	38
6.2.2.1	Diámetro de cuello y altura.....	38
6.2.2.2	Análisis Estadístico para la variable sobrevivencia.....	44
6.3	Resultados de los clavos de erosión.....	48

<b>7. ANÁLISIS DE RESULTADOS</b> .....	49
7.1 Representación de los sitios elegidos.....	49
7.2 Análisis de los resultados para diámetro de cuello .....	49
7.3 Análisis de los resultados para la altura de las plantas .....	51
7.4 Análisis de los resultados de la sobrevivencia.....	53
7.5 Análisis de los clavos de erosión.....	55
<b>8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b> .....	57
8.1 Conclusiones.....	57
8.2 Recomendaciones.....	59
<b>9. BIBLIOGRAFÍA</b> .....	60

## **APÉNDICES**

## RESUMEN

El presente estudio realizó una comparación de dos prácticas conservación de aguas y suelos, zanjales de infiltración y subsolado. Así, se establecieron 8 ensayos con repeticiones y una unidad testigo, ubicados en la VI, VII y VIII regiones, a los cuales se asociaron plantaciones de *Pinus radiata* D. Don. Los ensayos fueron instalados en marzo del 2002 y evaluados en agosto del 2003. Asimismo, se pretendió conocer el nivel de sedimentación de los suelos de las zonas en estudio; para esto, dentro de las zanjales de infiltración se instalaron clavos de erosión, para determinar el nivel de arrastre de sedimentos en esos sectores.

El subsolado consideró 2 distanciamientos entre líneas de subsolado, de 4 m y 5 m, mientras que las zanjales consideraron 2 anchos diferentes de 20 cm y 30 cm. Se evaluaron las variables diámetro de cuello, altura y sobrevivencia de la plantación. En los clavos de erosión, solo se evaluó la variable de altura de sedimentación al interior de las zanjales.

La mejor respuesta al año de crecimiento, se obtuvo para el subsolado con un distanciamiento de 4 m, cuyas ganancias en diámetro de cuello y altura son casi 2 veces mejores con respecto al testigo. En cuanto a las zanjales estas obtuvieron valores en general muy cercanas al testigo, pero siempre mejores a éste. En cuanto a la sobrevivencia, en general se obtuvieron valores por sobre el 85%, para todos los tratamientos.

En el caso de los clavos de erosión se generó sedimentación como era de esperarse, mayoritariamente en las zanjales de mayor base.

Finalmente, este estudio es uno de los tantos que demuestra el impacto positivo que presenta el establecimiento de obras de conservación, asociado a plantaciones de *Pinus radiata* D. Don, con el fin de combatir la erosión en zonas áridas y semiáridas de Chile.

## SUMMARY

This study carried out a comparison between two methods of water and soil conservation, i.e. infiltration ditches and subpaved. Thus 8 essays including repetition, were set up down in VI, VII and VIII regions of Chile. *Pinus radiata* D. Don plants were added to them. Essays were put in march 2002 and they were evaluated in august 2003.

Also the experiment tried to get information about soil sedimentation into ditches, by mean of erosion nails.

Subpaved considered 2 lengths, i.e. 4 meters and 5 meters, whereas the ditches considered 2 different widths of 20 cm and 30 cm.

Diameter of the neck, height and surviving of plants, were considered as variables to evaluate.

Best response after one year of growth was obtained by subpaved with an horizontal length of 4 meters, whose increases in diameter of neck and height, are almost twice better than witness. With respect to ditches, they obtained in general values very near of witness, but always better than this one.

Surviving obtained mean values of 85% in all the treatments. In erosive nails, main sedimentation was generated in ditches of larger base.

Finally, this study proved again that establishment of water and soil conservation associated to plantations of *Pinus radiata* D. Don, define a good alternative to soil restoration.



## 1. INTRODUCCIÓN

El recurso suelo presenta una importancia crucial para el desarrollo de un país y, en la actualidad, entre las formas de degradación de los suelos de Chile, la erosión es considerada uno de los principales agentes de degradación ambiental en el sector silvoagropecuario. Lo anterior se debe al hecho, que no se ha respetado la capacidad de uso de los suelos, a lo que se adiciona un manejo inadecuado de los mismos, afectando en forma generalizada a todo el país, lo que alcanza ribetes alarmantes en determinadas zonas geográficas (CONAMA, 1994).

La degradación de los suelos se origina principalmente por la escasa vegetación existente, lo que genera que el horizonte edáfico sea fuertemente erosionado por la escorrentía superficial, especialmente en aquellos terrenos con pendientes pronunciadas, generando con ello una disminución de la infiltración, de la capacidad de retención del agua y una aceleración de los procesos erosivos por exceso de escurrimiento.

La degradación de los recursos naturales y en particular el suelo, es un proceso que preocupa desde siempre, situación que ha ido adquiriendo cada vez mayor importancia por sus implicancias sociales y económicas. Así, el ser humano necesita de este recurso para su sobrevivencia, ya que está asociado a importantes actividades productivas, como la agricultura, la ganadería y la actividad forestal, que dependen directamente de este sustrato. Por lo anterior, el suelo debe ser conservado, mejorado y recuperado. Asimismo, en el país existe una gran cantidad de suelos susceptibles de ser recuperados mediante la combinación de plantaciones forestales, con diversas prácticas de conservación de aguas y suelos, para el control de la erosión.

Sin duda y debido a lo anterior, es necesario realizar estudios para evaluar técnicas de conservación de aguas y suelos, con el objetivo de disminuir la erosión y mejorar la productividad de los suelos.

En función de lo anterior, este estudio se enfoca al análisis de dos técnicas de conservación de aguas y suelos, como son las zanjas de infiltración y el subsolado, aplicado a la plantación de *Pinus radiata* (D. Don), en el secano costero de las regiones VI, VII y VIII y su influencia en el proceso de arrastre de sedimentos.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1- OBJETIVO GENERAL**

- Aportar al conocimiento de la influencia que ejercen las obras de conservación de aguas y suelos en la producción forestal y en la retención del suelo de escorrentía

### **2.2- OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Determinar el grado de efectividad de las zanjas de infiltración y el subsolado, sobre la sobrevivencia y desarrollo de plántulas de Pino radiata D.Don, en el secano costero de las regiones VI, VII y VIII.
- Estimar el nivel de arrastre de sedimentos en suelos de la VI, VII y VIII Región, en las zonas de ubicación de zanjas de infiltración.

### **3. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA**

#### **3.1 Marco General**

La degradación de los recursos naturales tiene múltiples causas y orígenes; en la actualidad se considera a la erosión como uno de los principales agentes de degradación ambiental en las áreas agrícolas de la mayoría de los países del mundo (Mertenn *et al* 2000, citado por INIA, 2001).

En relación a lo anterior, en Chile, debido a la conformación geográfica y el tipo de régimen pluviométrico, la erosión hídrica es una de las formas más importantes de degradación del suelo. El hecho de que un gran porcentaje de las lluvias precipiten en invierno, cuando el suelo está descubierto, unido a malas prácticas de cultivo, provoca importantes daños erosivos (INIA, 2001).

Es por esto, que en Chile, se reconoce que el proceso erosivo constituye desde un punto de vista ambiental y en términos socioeconómicos, el problema de mayor relevancia ambiental del sector silvoagropecuario (Francke, 1999).

De acuerdo a Álvarez (1986), citado por Farfán (2002), es necesario estimar una dinámica erosiva tanto, para prevenir un deterioro en usos futuros que se realicen, como para definir el tipo y la intensidad de los tratamientos necesarios a utilizar para su control.

#### **3.2 Concepto de erosión y Métodos de evaluación**

La erosión es considerada, según Suárez (1980), como el proceso de desprendimiento y arrastre de partículas del suelo, generado por el agua y el viento.

Mintegui y López (1990) señalan que la erosión es en sentido estricto, el desgaste de la superficie terrestre por la acción de agentes externos como el agua y el viento.

Por su parte, García (1999) define la erosión, como una de las formas de degradación de los suelos, comprendiendo el deterioro físico, químico y las propiedades biológicas del mismo.

Por otro lado, la medición del grado de erosión puede ser hecha a través de los modelos teóricos o empíricos y los modelos experimentales, en donde, los modelos teóricos están en función de los modelos experimentales.

Dentro de los primeros, el método más utilizado ha sido la Ecuación Universal de Pérdida de Suelos, además de los métodos de F. Fournier, de Djorovic y Fleming, entre otros. Sin embargo, estos métodos plantean el problema de que poseen valores paramétricos difíciles de medir en Chile. Además, estos métodos no han sido validados para el país, lo cual puede llevar a estimaciones erróneas en el cálculo de la erosión (Cuitiño, 1999).

En relación a los modelos experimentales, los más conocidos son las parcelas de escurrimiento y las parcelas con clavos de erosión. Las parcelas de escurrimiento involucran la captación del caudal líquido y sólido, pero son difíciles de implementar por costos y tecnología. La ventaja de las parcelas con clavos de erosión es que son muy sencillas de aplicar y presentan un alto grado de precisión (Cuitiño, 1999).

Los clavos de erosión, son utilizados para medir la cantidad de material sedimentado o erosionado, en una zona. Para ello, se entierran a una determinada profundidad, se mide la altura sobre el suelo, siendo ésta la altura inicial y luego, en cada medición, se compara la diferencia de altura entre la inicial y la que se tiene al momento de medir. Si esta diferencia es positiva, significa que hubo depósito de material, es decir, hubo sedimentación; en cambio, si es negativa, significa que hubo remoción y transporte de las partículas de suelo, es decir, erosión.

### **3.3 Principales factores ambientales y de suelos que influyen sobre los procesos erosivos**

Según FAO (2000), cuando se evalúa la aptitud agrícola de un área y la necesidad de introducir prácticas específicas de manejo y recuperación de suelos, se debe observar una serie de características importantes de la tierra. Además de las características ambientales tales como la lluvia y otros aspectos relacionados con las condiciones de la tierra, como la topografía y las condiciones reales del suelo, se debe examinar la presencia de factores limitantes a fin de poder considerar las implicaciones que puede acarrear la adopción de ciertas prácticas agrícolas.

#### **3.3.1 Precipitación.**

La lluvia es uno de los factores climáticos más importantes que influyen sobre la erosión. El volumen y la velocidad de la escorrentía dependen de la intensidad, la duración y la frecuencia de la lluvia. De estos factores, la intensidad es el más importante y las pérdidas por la erosión aumentan con intensidades más altas de lluvias (FAO, 2000).

Según García (1999), la gota de lluvia desciende por la acción de la gravedad y, en ausencia de obstáculos, golpea el suelo con considerable fuerza, disgregando las partículas en el suelo y proyectándolas al aire.

FAO (1994), citado por Farfán (2002), señala que el impacto provocado por las gotas de lluvia sobre la superficie del suelo y por el humedecimiento de éste, se manifiesta en la disgregación de las partículas superficiales, ocasionando además el transporte de las mismas.

### 3.3.2 Suelo

Es interesante conocer las propiedades o componentes del suelo, que juegan un papel más relevante en el proceso de erosión, como son la textura, la estructura, la porosidad y el espesor del suelo.

a) Textura: Según FAO (2000), la textura del suelo tiene influencia sobre el movimiento y la disponibilidad de la humedad del suelo, la aireación, la disponibilidad de nutrientes y la resistencia a la penetración por las raíces. También tiene influencia sobre las propiedades físicas relacionadas con la susceptibilidad del suelo a la degradación, tal como la agregación.

González del Tánago (1991) señala que los suelos más erosionables corresponden a texturas intermedias, en la que la fracción de limos es más abundante, considerando que los suelos con un porcentaje de arcilla superior al 30% son poco erosionables. La disminución de la fracción de limo aumenta la resistencia a la erosión, ya sea por el aumento del porcentaje de elementos más finos (arcillas), que aumentan la cohesión del suelo, o por el aumento del porcentaje de los elementos más gruesos (arenas), con lo que se mejoran las condiciones de infiltración y se retrasa la aparición de escorrentía superficial.

b) Estructura y Porosidad: Es de gran importancia, ya que incide por una parte, en la infiltración y, por otra, en la resistencia de las partículas a ser acarreadas (Ramos *et al*, 1981).

Entre las distintas estructuras del suelo, la más favorable es la granular, por la facilidad de infiltración de agua en el suelo, elemento que disminuye la escorrentía y por lo tanto la fuerza de arrastre. Asimismo, la escorrentía se ve disminuida por la resistencia de los agregados del suelo a ser arrastrados, gracias a su mayor tamaño, y a la resistencia a ser dispersados por el golpeteo de lluvia (Ramos *et al*, 1981).

c) Espesor del suelo: Se ha comprobado la existencia de una relación entre el espesor y la erosión del suelo. A menor espesor, mayor erosión, y consecuentemente también es cierta la relación inversa. A menor espesor de suelo, corresponde también una menor capacidad de almacenamiento de agua y menor desarrollo de la vegetación, por lo tanto existirá una menor defensa al impacto de las gotas de lluvia y una mayor escorrentía que arrastre lo disgregado (Ramos *et al*, 1981).

### **3.3.3 Relieve**

La topografía se caracteriza por los ángulos de las pendientes y por la longitud y forma de las mismas. Por esto, es un importante factor, para determinar la erosión del suelo, las prácticas de control de la erosión y las posibilidades de labranza mecanizada del suelo (FAO, 2000).

Cuanto mayor es el ángulo y la longitud de la pendiente de la tierra, mayor será la erosión del suelo. Un aumento del ángulo de la pendiente causa un aumento de la velocidad de escorrentía y, con ello, la energía cinética del agua causa una mayor erosión. Las pendientes largas llevan a una intensificación de la escorrentía, aumentando su volumen y causando así una erosión más seria.

Tanto la longitud como la pendiente de la ladera, influyen considerablemente en las tasas de erosión de un suelo (González del Tánago, 1991).

El tamaño y la cantidad de material que el agua puede arrastrar o llevar en suspensión, depende de la velocidad con que esta fluye, la cual a su vez es la resultante de la longitud y el grado de pendiente del terreno (Suárez, 1980).



### **3.3.4 Vegetación.**

Según Mintegui y López (1990), la influencia de la vegetación en el fenómeno erosivo posee diferentes causas:

- a) Protege el suelo del impacto directo de las gotas de lluvia, pues gracias al efecto de frenado a que se les somete, contribuye a disminuir su energía y en consecuencia su poder erosivo.
  
- b) Contribuye a disminuir la escorrentía superficial debido a dos efectos; por un lado aumenta la capacidad de infiltración del suelo, y por otro disminuye la velocidad de la escorrentía superficial. En este último aspecto, se considera que la velocidad del agua en una ladera cubierta de vegetación con buena espesura, es del orden de la cuarta parte de la velocidad del agua que existiría en esa misma ladera, pero con el suelo desnudo.
  
- c) Las raíces de la cubierta vegetal ayudan al suelo a no disgregarse.

Por otro lado García (1999), señala que la presencia de una buena capa de vegetación sirve para proteger la superficie del suelo del impacto del agua, sea de la lluvia o de la escorrentía, debido a que intercepta y absorbe el agua por la hojas y los residuos (hojarasca), aumenta la infiltración y el almacenamiento del agua, mejorando la estructura y porosidad del suelo y además reduce la velocidad del agua de escorrentía por el colchón de residuos, generado por las plantas.

### **3.4 Obras de Conservación de Aguas y Suelos.**

La evidencia obtenida de estudios experimentales, demuestra que el suelo está más expuesto a los agentes erosivos, si se encuentra desprovisto de vegetación, lo que revela, además, que la erosión afecta con mayor facilidad a los suelos deficientes en materia orgánica y humus. (Servicio de Conservación de Suelos, 1966).

Con relación a lo anterior, el proceso erosivo, el cual se genera a partir del arrastre de las capas superficiales del suelo, ya sea por acción del agua o el viento, genera que los suelos se degraden y por ende pierdan su productividad. Por esto, para combatir la erosión, existen prácticas de conservación de aguas y suelos, las cuales se asocian con plantaciones, con el fin de recuperar y mejorar la productividad de esos suelos.

Las obras de conservación de aguas y suelos, en combinación con plantaciones, permiten la recuperación de terrenos degradados por procesos de erosión y desertificación. Numerosos estudios han demostrado la alta eficiencia que presentan tales obras en la captura de humedad, lo que genera un desarrollo más rápido y sostenido de las plantaciones asociadas a tales obras. Así, una de las especies más utilizadas es el *Pinus radiata* (D Don.), pero también pueden mencionarse especies tales como el *Eucalyptus globulus*, *Eucalyptus camaldulensis*, *Shinus molle* (Pimiento Boliviano), *Shinus latifolius* (molle), *Quillaja saponaria* (Quillay), *Robinia pseudoacacia* (Acacio), *Acacia melanoxylon* (Aromo australiano) , *Juglans regia* (Nogal) y *Castanea sativa* (Castaño), entre otras. (Proyecto EIAS, 2002).

Por otro lado, López (1998) señala, que el tratamiento conservacionista de los recursos naturales del suelo y del agua, consiste en un conjunto de principios y técnicas que por separado difícilmente llegan a obtener todo el efecto deseado.

Entre las medidas más sencillas y en general más económicas, se encuentra el uso de una cobertura vegetal, la fertilización orgánica y mineral, el subsolado y el pastoreo, entre otras, que permiten proteger al suelo contra los agentes erosivos o refuerzan su resistencia al arrastre. Su aplicación conlleva a una mejora de las propiedades y condiciones hídricas de los suelos, lo que produce una menor génesis de escorrentía. Por otro lado, las medidas más costosas, son obras cuyo fin es detener la acción del agua o del viento y evitar la degradación y la pérdida del suelo. Es decir, refuerzan los objetivos de las medidas más sencillas y controlan la escorrentía que se produce (López, 1998).

Esto ha contribuido al desarrollo de prácticas para controlar la erosión con el fin de conservar el suelo, es decir, para evitar que el suelo se mueva de un lugar a otro. Entre algunas prácticas de conservación de aguas y suelos más utilizadas, se pueden mencionar las zanjas de infiltración, los canales de desviación, el subsolado, los diques en quebradas, las terrazas, etc.

En este proyecto, las prácticas a ser utilizadas serán las zanjas de infiltración y el subsolado.

*a) ZANJAS DE INFILTRACIÓN:* Son canales contruidos sin desnivel en la ladera, los que facilitan la infiltración del agua en el suelo y retienen el caudal sólido. Las zanjas de infiltración, no modifican la inclinación del terreno, pero sí la longitud de la pendiente, al seccionar el espacio de escurrimiento total. Con ello, disminuye la erosión hídrica al infiltrarse la escorrentía superficial (Pérez, 2001).

*b) SUBSOLADO:* El subsolado es una técnica de uso común de tratamiento de suelos, que consiste en realizar un surco en la curva de nivel a una profundidad variable, entre los 0.5 y 1.0 metros, para lo cual se emplea una retroexcavadora o un tractor. Luego, la plantación se realiza en los surcos, favoreciendo el desarrollo radicular de las plantas. (Proyecto EIAS, 2002).

### **3.5 Investigaciones asociadas a obras de Conservación de Aguas y Suelos.**

Existen diferentes estudios ligados a la erosión y al efecto positivo que presentan las obras de conservación de aguas y suelos.

Saavedra (1998), realizó un estudio comparativo entre las prácticas de conservación zanjales de infiltración y subsolado, determinando que la más recomendable corresponde a las zanjales de infiltración, ya que mejoran el establecimiento y permiten aumentar los volúmenes de *Pinus radiata* (D.Don) hasta cuatro veces (con respecto a un sector sin zanjales) a la edad de 7 años en zonas semiáridas del secano costero de la VII Región. Dentro del mismo proyecto, Pérez 2001, estudió el impacto de las zanjales de infiltración en la productividad de bosques establecidos en 2 modalidades con y sin zanjales de infiltración. El estudio concluye que, el impacto de las zanjales de infiltración se traduce en el aumento de los volúmenes totales en un 61% promedio, en edades de corta entre 18 y 21 años.

Por otro lado, Mourgues (1998), se propuso hacer en 50 ha de pequeños propietarios forestales, una captura de lluvias e incorporación de agua al suelo, con el objetivo de alimentar las napas subterráneas y apoyar una plantación de Pino radiata. Para esto, se diseñó una zanja de infiltración de dimensiones reducidas y de fácil construcción en terreno. Como resultado, las zanjales demostraron ser un método muy barato de control de erosión y de captación de agua de lluvia, y un extraordinario complemento de las plantaciones forestales, constituyéndose en una opción perfectamente válida para la forestación de terrenos de alta pendiente o de microrelieve, que no permiten el trabajo de maquinaria.

Entre 1993-1998, en el marco de cooperación entre los gobiernos de Japón y Chile, se realizó un importante proyecto técnico, a través de la Corporación Nacional forestal (CONAF) y la Agencia de Cooperación Internacional del Japón (JICA), en donde se

desarrolló el Proyecto de Manejo de Cuencas CONAF/JICA “Control de erosión y forestación de cuencas hidrográficas de la zona semiárida de Chile”. El citado proyecto ha tenido como propósito el desarrollo y aplicación de técnicas de viverización, forestación y conservación de suelos y aguas, para la recuperación de terrenos degradados por procesos de erosión y desertificación. Los resultados del proyecto indican que la combinación de técnicas de control de erosión y de forestación, permiten recuperar en forma sostenible zonas rurales degradadas y pauperizadas.

Por otro lado, Rossi *et al* (1994), desarrollaron una interesante experiencia en Italia, a partir de la relación precipitación – escorrentía y su influencia en un suelo desnudo y los suelos cubiertos por cultivos de maíz. Los resultados demuestran que la presencia de vegetación, produce una disminución de la escorrentía y la erosión del suelo, generándose marcadas diferencias, ya que en suelos desnudos se alcanzó una escorrentía de 11 mm, mientras que en un suelo cubierto por vegetación, ésta fue de 1,7 mm. Además, determinaron que a una mayor intensidad de lluvia, se incrementa la tasa de escorrentía.

Zaimes, Schultz y Isenhardt, (1999), llevaron a cabo un estudio denominado "Stream bank erosion adjacent to riparian forest buffers, row-crop fields, and continuously-grazed pastures along Bear Creek in central Iowa" . Este estudio pretende confirmar la protección que representa el uso de la vegetación sobre todo de bosques adultos, con el objetivo de disminuir la erosión en las zonas ribereñas. Para esto se analizaron 3 modalidades; cultivos en hilera, pastos en forma continua en una longitud de 11km. y por último bosques adultos. Para medir el nivel de pérdida de suelos, se utilizaron clavos de erosión, medidos en cada mes a partir de junio de 1998 a junio de 1999. Los índices de pérdida de suelo medidos, dieron como resultado que los cultivos en hilera, presentaron la tasa mayor de erosión y por ende las mayores pérdidas de suelos, seguidas por los pastos en forma continua, mientras que el bosque adulto obtuvo el valor más bajo. Si el bosque adulto se hubiera establecido a lo largo de toda el área en estudio, las pérdidas totales de suelo se hubiesen reducido aproximadamente un 72%.

En Malawi, un estudio realizado por Mohamound (2002), indica que en este sector la erosión ha aumentado de manera considerable, por lo que una solución a ella es el uso de la vegetación. Analizó 6 sectores, con distintos niveles de vegetación y llegó a la conclusión que en los sectores con mayor cobertura, la escorrentía disminuye, minimizando con ello el transporte de sedimentos y, de esta manera, se genera una menor erosión.

Zhou, Morris Yan Yu y Peng (2002), realizaron un estudio en el sur de China, denominado “Hydrological impacts off reafforestation with eucalyptus and indigenous species: a case study in southern China”, en el cual se establecieron 3 zonas; con vegetación de Eucalipto, bosque mezclado (exótico y nativo) y tierras desnudas, con el fin de cuantificar la eficacia de este tipo de vegetación en la disminución de la escorrentía superficial y la erosión, además de mejorar el microclima de esas zonas. El resultado fue que en ambos tipos de bosques aumentaron la humedad del suelo y disminuyeron su temperatura, en comparación con las tierras desnudas. El Bosque mixto interceptó más precipitación que el bosque de Eucalipto y la escorrentía superficial fue mayor en los suelos desnudos. Los resultados de este estudio apoyan el uso de Eucaliptos como especie pionera en la rehabilitación de tierras degradadas en China meridional.

#### 4. ANTECEDENTES GENERALES

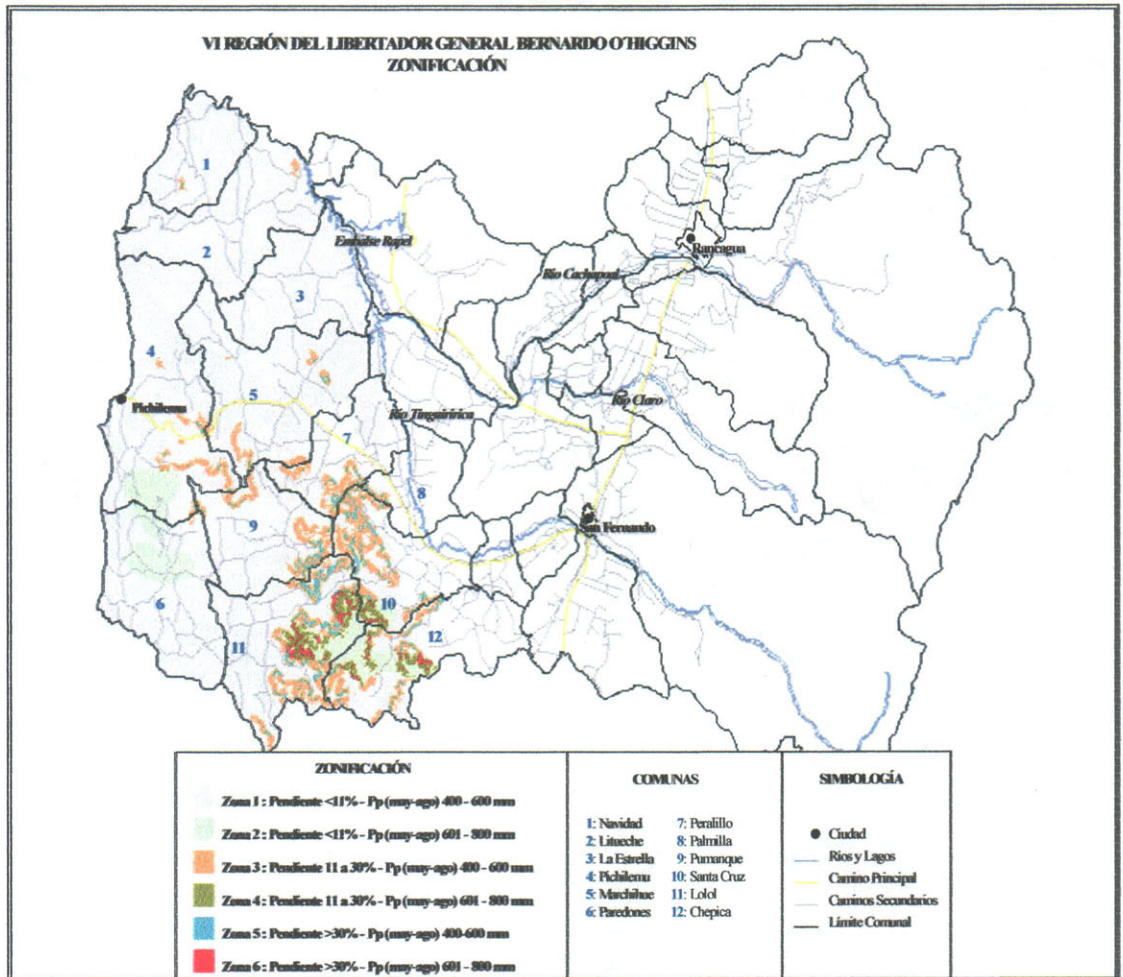
Este proyecto de memoria, se enmarca en el proyecto del Fondo de Desarrollo e Innovación de Corfo, (FDI) N° 00C7FT-08, denominado “Determinación de Estándares de Ingeniería en Obras de Conservación y Aprovechamiento de Aguas y Suelos para la Mantención e Incremento de la Productividad Silvícola”, que desarrolla la Universidad de Talca y cuyo objetivo es aumentar la productividad forestal de los suelos de aptitud forestal del territorio árido y semiárido de las regiones VI, VII y norte de la VIII, mediante la construcción de obras de conservación y aprovechamiento de aguas y suelos. A continuación se detallan los lugares de ensayos según sector y técnica utilizada:

**TABLA N°1. LUGARES DE ENSAYO SEGÚN REGIÓN Y OBRA DE CONSERVACIÓN ESTUDIADA**

<b>SECTOR / PREDIO</b>	<b>OBRA DE CONSERVACIÓN</b>
<i>VI Región</i>	
Hidango - Predio Paso Ancho	Zanja de infiltración
La Rosa - Predio San Carlos	Subsolado
Pumanque - Hijueta 2 al Llope	Zanja de infiltración y Subsolado
<i>VII Región</i>	
Name - Hijueta N°2 Las Mercedes	Zanja de infiltración
Parrón - Predio Parrón	Zanja de infiltración y Subsolado
Botacura - Predio Botacura	Zanja de infiltración y Subsolado
<i>VIII Región</i>	
Llohué - Predio Llohué	Zanja de infiltración
Manzanares - Fundo Manzanares	Zanja de infiltración y Subsolado

Fuente: Proyecto EIAS.

A continuación se muestran los mapas de los sitios de ensayo y posteriormente una breve descripción de cada uno de los ensayos.



**FIGURA 1. MAPA VI REGIÓN**

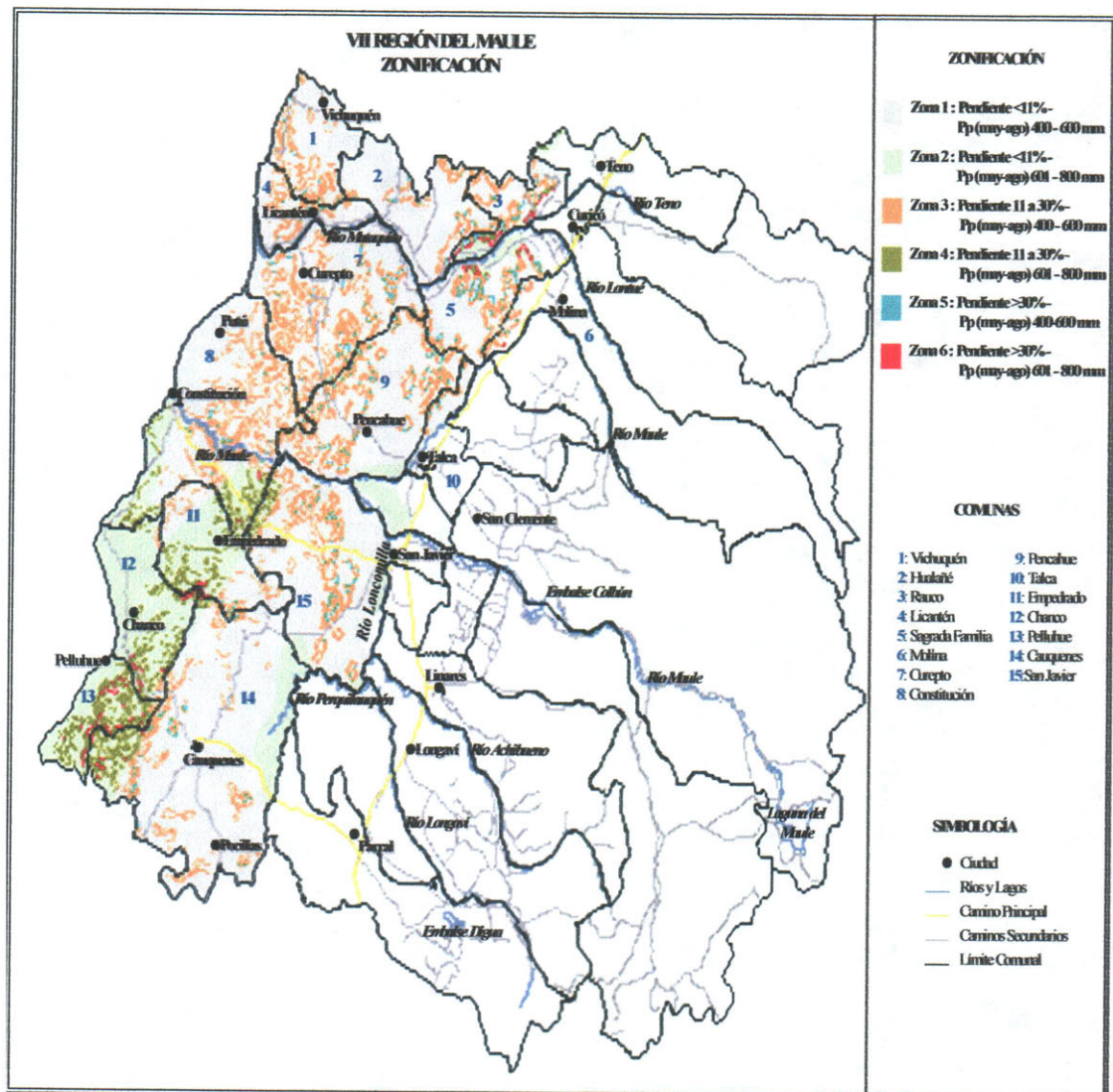


## *VI Región.*

**Predio Paso Ancho (Hidango):** El predio pertenece al Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIA) y su uso anterior era el pastoreo. Su cubierta es de especies herbáceas y algunos ejemplares de zarzamora. Se llega desde Litueche, donde se toma el camino a Topocalma, hasta llegar a Hidango; luego, se sigue un camino interior durante 2 Km, hasta llegar al ensayo. La vía de acceso es bastante accesible incluso en invierno. El relieve corresponde a un lomaje suave y bastante regular; su pendiente media corresponde al 16% con una exposición Noroeste. En cuanto a los suelos, éstos presentan una textura Franco arcillo arenosa. En este lugar se estudiará el diseño de zanjas de infiltración y de subsolado.

**Hijuela 2 al Llope (Pumanque):** Su uso anterior era pastoreo extensivo. Su cubierta es de especies herbáceas, sin presencia de arbustos. La vía de acceso es por el camino que une Pumanque-Lolol; luego, se sigue en dirección hasta el cruce Llope y después de este punto, se toma el camino hacia el cerro, subiendo aproximadamente 2 Km. para llegar al ensayo. Se ubica al lado de un camino interior y su accesibilidad es buena en verano y regular en invierno. Corresponde a un lomaje suave con un relieve más o menos regular; su pendiente media es de 15%, con una exposición Oeste. Los suelos tienen una textura franco arcillo arenoso. En este lugar se estudiará el diseño de zanjas de infiltración.

**Predio San Carlos (La Rosa):** Este predio pertenece a la sucesión Leiva León. Se llega por el camino que va de Marchigue a Pichilemu, hasta llegar al cruce La Rosa. Luego, se sigue en dirección norte, y aproximadamente a 2 Km. se toma un camino interior hacia la costa; el ensayo se ubica en la parte alta de un cerro. El camino de acceso es bueno en todas las estaciones del año. El ensayo se dividió en 2 módulos, ubicados en laderas distintas, pero iguales, la cual correspondientes a exposición Este. Los suelos presentan una textura franco arcilloso. En este ensayo se estudiará el subsolado, bajo dos distanciamientos.



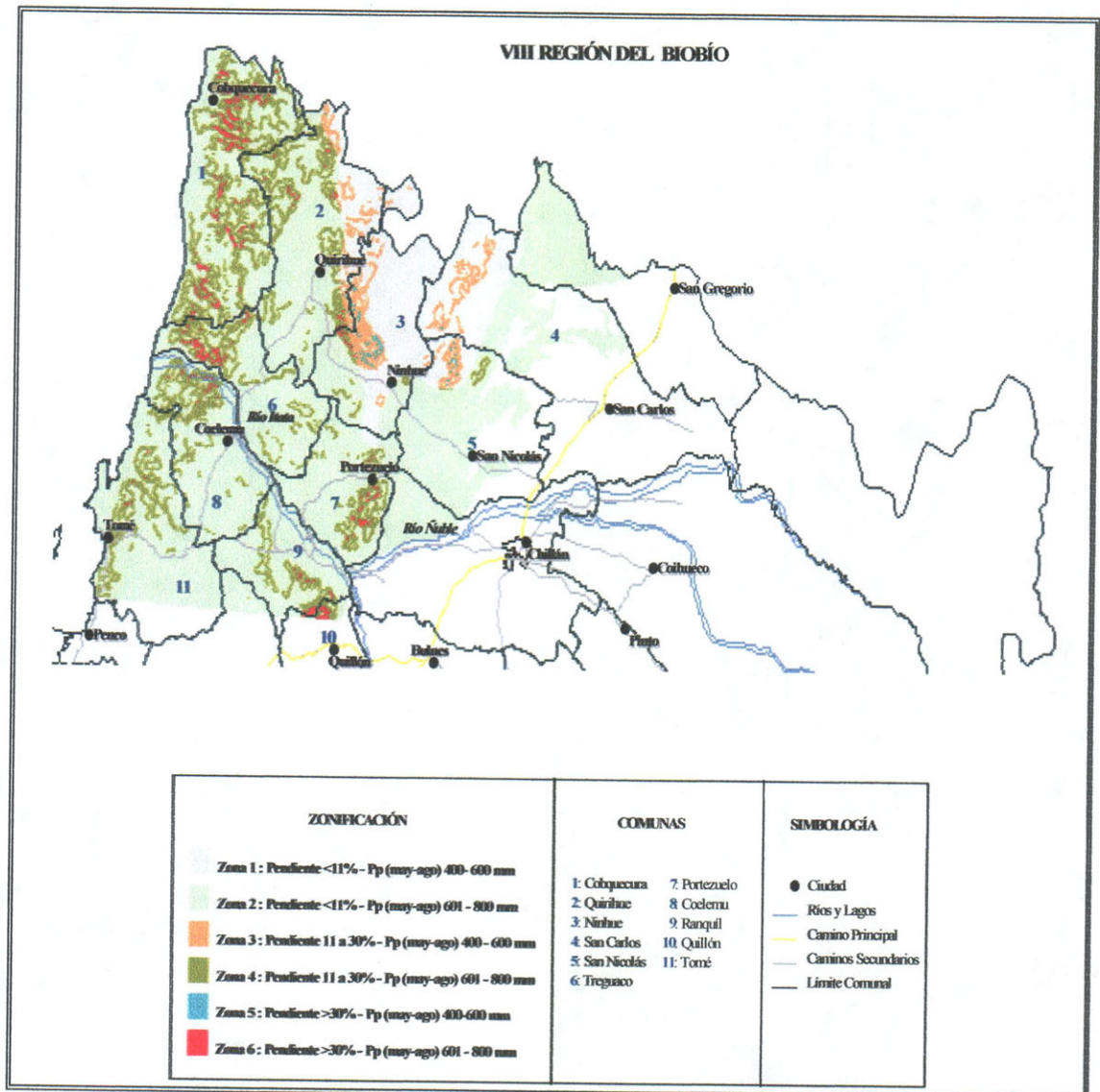
**FIGURA 2. MAPA VII REGIÓN**

## *VII Región.*

**Predio Botacura:** Este predio pertenece a Bosques de Chile y el lugar de ensayo presentaba una plantación de Pino radiata adulto, que fue cosechado durante el año 2001. Se llega desde el camino Talca – Constitución y llegando al cruce Fundo Villavicencio, se sigue al sur durante 14 Km. Su accesibilidad es buena durante todo el año. El ensayo se encuentra dividido en dos módulos cercanos entre sí, y ambos con exposición Oeste (subsulado y zanjas) y el otro más pequeño con exposición Norte (zanjas). Los suelos presentan una textura Franco arenoso. Aquí se estudiará el diseño de zanjas de infiltración y el subsulado.

**Predio Parrón:** Este predio pertenece a la empresa Bosques de Chile y al igual que el anterior, fue explotado durante el año 2001. Se llega por la carretera que une Constitución-Chanco; luego, se sigue al sur del cruce Viñales, hasta el puente Parrón. El ensayo se encuentra al lado del camino en la parte media alta de un cerro con exposición Noroeste y una pendiente media de 20%. Los suelos tienen una textura arcillosa. Aquí se estudiará el diseño de zanjas de infiltración y subsulado.

**Hijuela N° 2 Las Mercedes (Name):** Este predio pertenece a un pequeño propietario, el Sr. Orlando González y el lugar de ensayo corresponde a una pradera con cubierta herbácea y algunos arbustos, principalmente de espino. El uso anterior fue de pastoreo. Para llegar se toma la Ruta Los Conquistadores desde San Javier y, en el Km. 35 se desvía hacia Sauzal. Posteriormente, se toma el desvío hacia Ciénagas de Name, tomando la mano derecha hacia San Juan de Name. Su accesibilidad es buena durante todo el año. Su pendiente media es de 13% con exposición Norte. Los suelos presentan una textura franco arcilloso arenoso. En este ensayo se estudiará el diseño de zanjas de infiltración.



**FIGURA 3. MAPA VIII REGIÓN**

### *VIII Región.*

**Predio Manzanares:** Este predio pertenece a la empresa Bosques Villanueva y el lugar de ensayo, históricamente ha sido usado para siembra de trigo. Se ubica al lado de la carretera que une Quirihue y Ninhue, a 33 Km. aproximadamente de Quirihue. Su accesibilidad es buena durante todo el año. Presenta un lomaje suave con exposición Noroeste y pendiente media de 20%. La textura de los suelos es franco arcillosa. Está dividido en tres módulos y se estudiará el diseño de zanjas de infiltración y subsolado.

**Predio Llohué:** Este predio pertenece a la empresa Forestal Millalemu y el lugar de ensayo fue explotado durante el año 2001, de una plantación de Pino radiata adulto. Se llega por el camino de Quirihue hacia la cordillera andina, hasta el sector de Llohué. Su accesibilidad es regular en invierno. El ensayo se encuentra al lado del camino en la parte alta de un cerro, con una pendiente media del 22% y exposición Noroeste. Los suelos presentan una textura franco arcillosa. Aquí se estudiará el diseño de zanjas de infiltración.

## 5. METODOLOGÍA

### 5.1 PASOS METODOLÓGICOS

#### 5.1.1 Revisión Bibliográfica

En esta etapa, se recopilaron los antecedentes de diversas publicaciones (complementada con información en Internet), relacionados con el tema tratado en esta memoria, es decir, técnicas de conservación de aguas y suelos, además de información referente a las zonas de estudio.

#### 5.1.2 Descripción de los ensayos

##### 5.1.2.1 Zanjas de infiltración y Subsulado

Los ensayos establecidos son 8, distribuidos en tres regiones, como se muestra en la siguiente tabla:

TABLA N°1. LUGARES DE ENSAYO SEGÚN REGIÓN Y OBRA DE CONSERVACIÓN ESTUDIADA

SECTOR	TÉCNICA UTILIZADA
<i>VI Región</i>	
Hidango	Zanja de infiltración
La Rosa	Subsolado
Pumanque	Zanja de infiltración y Subsulado
<i>VII Región</i>	
Name	Zanja de infiltración
Parrón	Zanja de infiltración y Subsulado
Botacura	Zanja de infiltración y Subsulado
<i>VIII Región</i>	
Llohúe	Zanja de infiltración
Manzanares	Zanja de infiltración y Subsulado

Fuente: Proyecto EIAS.

Los ensayos fueron establecidos en marzo del 2002, con una plantación de *Pinus radiata* (D. Don), asociada a las respectivas obras de conservación, es decir, zanjas de infiltración y subsolado, además de una unidad testigo, la cual no presenta ningún tipo de tratamiento de suelos.

Las dos obras de conservación estudiadas, se establecieron en cada situación en 2 modalidades; en el caso de las zanjas de infiltración, cuyas alturas son constantes y los largos variables, su diferenciación se basó únicamente en el ancho de éstas, es decir 20 cm y 30 cm, denominándose zanjas tipo 1 y zanjas tipo 2 respectivamente.

Por otro lado, en el subsolado también se establecieron 2 situaciones cuya diferenciación se presentó por el distanciamiento entre líneas de subsolado, las cuales son de 5 m y 4 m, es decir, subsolado 1 y 2 respectivamente.

Cabe mencionar, que en 2 ensayos los valores sólo constituyen un valor referencial; el primero es el caso de Pumanque, debido al hecho que las plántulas de *Pinus radiata* sólo presentaban alrededor de un mes de crecimiento, ya que en el sector, se efectuó un replante, como consecuencia que la plantación inicial fue afectada por los animales del sector. El segundo caso, es el ensayo de Botacura, ya que al igual que en el ensayo de Pumanque, las plantas sólo presentaban un mes de crecimiento, debido a que el sector fue afectado por un incendio, el cual quemó toda la plantación inicial.

#### **5.1.2.2 Erosión**

La erosión en las zanjas de infiltración, fue estudiada mediante el método de los clavos de erosión. Éstos se instalaron en el interior de las zanjas de infiltración, dispuestos en pares cercanos a cada borde. Si las zanjas eran mayores a 6 m, además del par en los bordes, se ubicó un par más en la mitad.

En la figura N°1, se observa en forma esquemática la instalación de los clavos de erosión en las zanjas de infiltración.

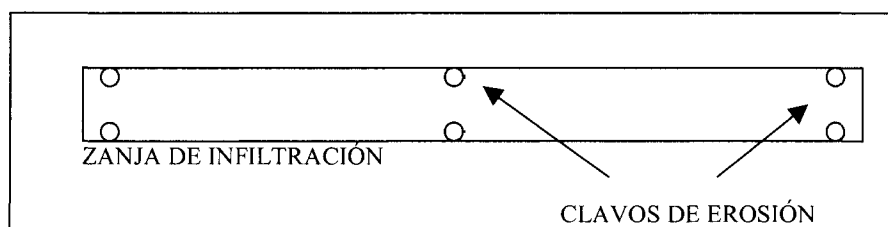


FIGURA N°1. ESQUEMA DE UBICACIÓN DE LOS CLAVOS DE EROSIÓN

### 5.1.3 Toma de datos de las plantas

La plantación evaluada, está compuesta por plantas de *Pinus radiata* (D. Don), cuya edad es de alrededor de un año en terreno. Para esto se realizó un censo de las plantaciones en cada uno de los ensayos, en agosto del 2003. Es decir, se midió cada una de las plantas presentes en los ensayos. El número total de plantas por ensayo fue variable, fluctuando entre las 450 y 900 plantas, alcanzando el total de ensayos una cifra de 4.500 plantas aproximadamente.

Las variables de crecimiento que fueron evaluadas para el caso de la plantación, son el diámetro de cuello, la altura de la planta y la sobrevivencia. En cuanto a los clavos de erosión, se midió la variable altura en centímetros, para cada uno de los clavos presentes, dentro de las zanjas de infiltración.

#### 5.1.3.1 Medición del diámetro de cuello

Es la medida a nivel del suelo, del tallo de la planta, utilizando un pie de metro con precisión al milímetro. Se midieron todas las plantas presentes en cada ensayo.

#### 5.1.3.2 Medición de la altura de la planta

Es la altura medida desde el suelo hasta el ápice, utilizando una huincha, con precisión al milímetro. Al igual que en el diámetro de cuello, todas las plantas fueron evaluadas.



### 5.1.3.3 Medición de la sobrevivencia.

Se contabilizaron todas las plantas tanto vivas como muertas, al momento de la evaluación.

### 5.1.4 Toma de datos de erosión.

En cada sector en que se establecieron zanjas de infiltración, se midieron todos los clavos presentes dentro de las zanjas de infiltración. La variable que se midió fue la altura en centímetros, sobre el suelo, de todos los clavos presentes dentro de las zanjas de infiltración, al momento de la instalación, siendo ésta la altura inicial, que sirvió como punto de comparación. Posteriormente se realizó una segunda medición en marzo del 2003, con el fin de determinar si se había generado sedimentación de los clavos y por ende, acumulación por erosión desde la zona alta de la zanja de infiltración.

Por otra parte, se midió el largo de las zanjas y el espaciamiento entre líneas de zanja, con el fin de calcular el área de impluvio ( $S_i$ ) y a partir de estos cálculos conocer la altura del suelo erosionado.

Así, se obtuvo una altura promedio de sedimentos, que se ponderó por la superficie de la zanja, obteniéndose así un volumen de sedimentos.

A partir de las alturas de sedimento que denotaron los clavos, se definió el volumen de suelo sedimentado, el cual se acumuló en la zanja. Así:

$$V_s = \frac{\sum h_c}{n} * (l_z * a_z)$$

Donde:

$\sum h_c$  : Sumatoria de las alturas de los clavos (m)

n : Número total de clavos en las zanjas

$l_z$  : Largo de la zanja (m)

$a_z$  : Ancho de la zanja (m)

Este volumen  $V_s$ , se relacionó con la superficie de impluvio o aporte  $S_i$ , con la cual se estimó la altura del suelo erosionado, desde la zona de impluvio o aporte (apéndice 1).

$$\text{Así ; } h_{se} = \frac{V_s}{S_i}$$

Donde :

$V_s$  : Volumen de sedimentos generado por la zona de impluvio

$S_i$  : Superficie de la zona de impluvio o aporte

$h_{se}$  : Altura del suelo erosionado

### **5.1.5 Análisis estadístico de las variables diámetro de cuello y altura.**

En principio se pretendió realizar un análisis paramétrico con los datos obtenidos; para esto se probaron los supuestos básicos para la aplicación del análisis de varianza (ANDEVA), es decir, el supuesto de normalidad y supuesto de homocedasticidad. Para probar la normalidad de los datos, se utilizó la prueba de bondad de ajuste de Kolmogorof - Smirnov. Esta prueba se aplicó a cada uno de los tratamientos, el cual en general dio como resultado que los datos presentaban una distribución normal.

En el caso del supuesto de homocedasticidad, hipótesis que indica la homogeneidad de las varianzas entre los tratamientos, éste fue en gran parte rechazado, ya que los test aplicados en este caso fueron el test de Bartlett's y el test de Cochran's, cuyos valores p son inferiores al valor alfa establecido de 0.05, rechazando de esta manera el supuesto de varianzas iguales. Por ello se intentaron diferentes transformaciones con el fin de solucionar el problema de heterogeneidad de las varianzas, señalado anteriormente. Estas transformaciones fueron:  $1/X^2$ ,  $1/X$ ,  $\log(X)$ ,  $X^{1/2}$  y  $X^2$ , con las cuales se logró aceptar el supuesto de homocedasticidad, pero se rechazó la normalidad de los datos, por lo que se optó por recurrir a pruebas no paramétricas, para el análisis de varianza.

En primer lugar, se aplicó el test de Kruskal Wallis, para conocer si existían diferencias significativas entre los tratamientos; si esto es afirmativo, se debe realizar la prueba U de Mann Whitney, para comparar entre pares de tratamientos y conocer cuales de ellos difieren significativamente, y así de esta manera establecer cuál es el tratamiento más adecuado para cada situación.

### **Test de Kruskal Wallis.**

La prueba de Kruskal Wallis se usa para probar la hipótesis nula de que todos los tratamientos son iguales, contra la hipótesis alternativa de que uno de ellos produce diferencias, mediante la comparación de varianzas. Este test corresponde a una alternativa no paramétrica para el análisis de varianza (Montgomery, 1991).

Mediante el test no paramétrico de Kruskal Wallis, se probó la igualdad de los tratamientos, estableciendo la siguiente hipótesis, con un nivel de significación de 0.05.

**$H_0$  : Todos los tratamientos son iguales**

**$H_1$  : Algunos de los tratamientos difieren**

Si el test de Kruskal Wallis, da como resultado que la hipótesis nula es aceptada, no habría diferencias significativas entre los tratamientos. Si por el contrario, la hipótesis nula es rechazada, sí existen diferencias significativas entre los tratamientos y, por lo tanto, se debe establecer cuáles de ellos difieren. Así y mediante el mejor promedio, se pudo establecer el tratamiento más eficiente en relación con el crecimiento de las variables medidas, es decir, diámetro de cuello y altura.

### **Test U de Mann Whitney**

Esta prueba es utilizada para comparar dos muestras de poblaciones independientes. Se trata de la contraparte no paramétrica de la prueba t para dos muestras. Esta prueba evalúa la hipótesis nula de que las medianas de dos poblaciones son idénticas (Pagano, 2001).

La prueba U de Mann Whitney se usa para muestras grandes y pequeñas, estableciéndose la siguiente hipótesis:

**$H_0$  : Las medianas de las variables T1 y T2 son las mismas.**

**$H_1$  : Las medianas de las variables T1 y T2 son distintas.**

En donde T1 y T2 son los tratamientos a ser comparados. A partir de esta prueba en la que deben combinarse de a dos todos los tratamientos presentes en cada ensayo, fue posible establecer qué tratamiento tenía un mejor efecto en las variables de crecimiento, a saber, diámetro de cuello y altura.

### **5.1.6 Análisis de la sobrevivencia de la plantación.**

Para poder hacer una comparación entre los tratamientos, en relación a la sobrevivencia de las plantaciones, se aplicó una prueba para varias proporciones, conocido como el estadístico Chi cuadrado.

Este estadístico Chi cuadrado, se utilizó para determinar las diferencias entre K proporciones. Para esto se debe probar la siguiente hipótesis:

**$H_0 : p_1 = p_2 = \dots = p_k$**

**$H_1 : p_1 \neq p_2 \neq \dots \neq p_k$**

Donde:

p = proporción de plantas vivas del tratamiento K; K = 1,2,3...5 y  $\alpha = 0.05$

De este modo, si la hipótesis nula es aceptada, se infiere que los tratamientos no difieren significativamente, en cuanto al nivel de sobrevivencia de las plantaciones. Por el contrario, si la hipótesis nula es rechazada, se deduce que sí existe una diferencia significativa sobre el porcentaje de sobrevivencia (apéndice 2).

Si  $H_0$  es rechazada, se procede a la comparación de los tratamientos de pares, para conocer cual es mejor que otro, formulando el siguiente supuesto:

$$H_0 : p_1 - p_2 = 0$$

$$H_1 : p_1 - p_2 > 0,$$

cuyo estadístico es el siguiente:

$$Z = \frac{p_1 - p_2}{\sqrt{(p(1-p)) * \left( \frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right)}}$$

Donde :

$p_1$  : Proporción de la sobrevivencia para el tratamiento 1

$p_2$  : Proporción de la sobrevivencia para el tratamiento 2

$p$  : Promedio ponderado de las proporciones  $p_1$  y  $p_2$

$n_1$  : Número de datos del tratamiento 1

$n_2$  : Número de datos del tratamiento 2

En este caso es necesario realizar la corrección de Bonferroni, ya que el nivel de significancia de cada comparación individual, depende del número de pruebas que se efectúan. Mientras más grande sea la cantidad de pruebas, menor debe ser este valor, ya que a mayor número de comparaciones, se pueden encontrar errores donde no los hay (Pagano, 2001). Para esto se debe utilizar la siguiente fórmula, que corrige el valor de significación.

$$\alpha^* = \frac{0.05}{\binom{k!}{2!}}$$

Donde:

$k$  : Número de tratamientos a comparar

$\alpha^*$ : Valor alfa modificado

### **5.1.7 Discusión de los resultados**

En esta etapa se analizaron todos los resultados obtenidos, del efecto que presentaron los diferentes tratamientos aplicados, a saber, zanjas de infiltración, subsolado y testigo. Estos resultados fueron función del análisis estadístico no paramétrico aplicado a las variables diámetro de cuello, altura y sobrevivencia de la plantación y para cada uno de los ensayos estudiados, además del análisis de la variación de las alturas de sedimentación de los clavos de erosión, instalados dentro de las zanjas de infiltración.

### **5.1.8 Conclusiones y Recomendaciones**

En esta etapa, se presentaron las conclusiones y recomendaciones en función de los objetivos planteados en esta memoria, en donde se pudo concluir respecto de : (i) el grado de mejoría de las variables de crecimiento diámetro, altura y sobrevivencia de la plantación de *Pinus radiata* D.Don, en relación a las obras de conservación evaluadas y cual sería la más efectiva y recomendable, y (ii) El nivel de arrastre de sedimentos hacia las zanjas, de los suelos en las zonas de estudio..

## **5.2 MATERIALES**

Los materiales necesarios, para efectuar las mediciones y el procesamiento de los datos fueron:

- ✓ Pie de metro
- ✓ Huincha de medir
- ✓ Formularios
- ✓ Equipos computacionales (PC, impresoras)
- ✓ Programas computaciones (Microsoft Word, Microsoft project y Microsoft Excel)
- ✓ Programa estadístico Statgraphics Plus versión 1.4
- ✓ Disponibilidad de vehículo para salidas a terreno y toma de datos

## 6. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

En los puntos siguientes se presentan los resultados del efecto que presentan los distintos tratamientos aplicados, a saber, zanjas, subsolado y testigo, sobre las variables diámetro de cuello, altura y sobrevivencia de la plantación después de 1 año de crecimiento. Asimismo, se presenta el análisis de variación en altura de los clavos de erosión, ubicados en las zanjas de infiltración.

### 6.1 Caracterización numérica de las zonas en estudio, para las variables diámetro de cuello, altura y sobrevivencia de la plantación

#### 6.1.1 Resultados de los ensayos en diámetro de cuello y altura de las plantas

En la tabla N° 1, se presentan en forma estadística los datos tomados en cada uno de los ensayos para las variables diámetro de cuello y altura de plantas de *Pinus radiata* (D. Don), con un año de crecimiento.

TABLA N°1. RESUMEN ESTADÍSTICO DE LOS DATOS PARA LOS DISTINTOS ENSAYOS

Ensayos	Diámetro de cuello (mm)			Altura de las plantas (cm)			n
	$\bar{X}$	S	C.V	$\bar{X}$	S	C.V	
<b>Hidango</b>	15,62	5,95	38,1	64,86	20,89	32,2	612
<b>La Rosa</b>	17,29	3,87	22,4	66,36	15,81	23,8	439
<b>Pumanque</b>	4,96	1,08	21,8	21,94	3,96	18,0	463
<b>Botacura</b>	4,94	0,91	18,4	16,43	4,64	28,2	787
<b>Name</b>	15,59	4,70	30,1	71,38	17,82	25,0	425
<b>Parron</b>	16,15	4,35	26,9	63,04	13,85	22,0	720
<b>Llohué</b>	16,22	4,67	28,8	67,24	16,67	24,8	450
<b>Manzanares</b>	16,15	4,98	30,8	67,11	18,66	27,8	845

$\bar{X}$  : Promedio ; S: Desviación estándar; C.V: Coeficiente de variación; n : Número de datos

A continuación, se detallan los promedios obtenidos para cada uno de los ensayos y para cada tratamiento analizado, indicando el mejor promedio para las variables diámetro de cuello y altura de la planta.

### **Hidango**

TABLA N°2. PROMEDIOS PARA EL DIÁMETRO DE CUELLO Y LA ALTURA

<b>Diámetro de cuello</b>		<b>Altura de la planta</b>	
<b>Tratamiento</b>	<b>Promedio(mm)</b>	<b>Tratamiento</b>	<b>Promedio(cm)</b>
<b>Subsolado 2</b>	<b>21.64</b>	<b>Subsolado 2</b>	<b>85.33</b>
Subsolado 1	16.92	Subsolado 1	66.31
Zanjas 2	14.82	Zanjas 2	65.73
Zanjas 1	11.95	Zanjas 1	53.88
Testigo	11.77	Testigo	49.25

En este ensayo el valor más alto lo obtuvo el tratamiento del subsolado 2, para diámetro de cuello y altura, en tanto que el testigo fue el que presentó el valor más bajo, para ambas variables.

### **La Rosa**

TABLA N°3. PROMEDIOS PARA EL DIÁMETRO DE CUELLO Y LA ALTURA

<b>Diámetro de cuello</b>		<b>Altura de la planta</b>	
<b>Tratamiento</b>	<b>Promedio(mm)</b>	<b>Tratamiento</b>	<b>Promedio(cm)</b>
<b>Subsolado 2</b>	<b>19.0</b>	<b>Subsolado 2</b>	<b>75.25</b>
Subsolado 1	17.36	Subsolado 1	65.81
Testigo	15.68	Testigo	58.84

En este ensayo, nuevamente el mejor tratamiento fue subsolado 2, para ambas variables. El tratamiento con el promedio menor fue para la unidad testigo. Se debe señalar que en este ensayo no se incorporaron zanjas de infiltración.



## Pumanque

TABLA N°4. PROMEDIOS PARA EL DIÁMETRO DE CUELLO Y LA ALTURA

Diámetro de cuello		Altura de la planta	
Tratamiento	Promedio(mm)	Tratamiento	Promedio(cm)
Zanjas 1	5.00	Zanjas 2	22.22
Zanjas 2	4.96	Zanjas 1	22.00
Testigo	4.92	Testigo	21.66

En este ensayo los promedios sólo constituyen un valor de referencia, ya que al momento de la evaluación las plantas sólo presentaban un mes de crecimiento en terreno, por efectos de un siniestro. Asimismo, este ensayo no contempló subsolado.

## Botacura

TABLA N°5. PROMEDIOS PARA EL DIÁMETRO DE CUELLO Y LA ALTURA

Diámetro de cuello		Altura de la planta	
Tratamiento	Promedio(mm)	Tratamiento	Promedio(cm)
Subsolado 2	5.22	Subsolado 1	17.17
Subsolado 1	5.09	Subsolado 2	16.79
Zanjas 2	4.85	Zanjas 2	16.65
Testigo	4.78	Zanjas 1	16.1
Zanjas 1	4.77	testigo	15.48

En este ensayo, al igual que en el caso de Pumanque, los promedios sólo constituyen un valor de referencia, por haber sufrido un siniestro.

## Name

TABLA N°6. PROMEDIOS PARA EL DIÁMETRO DE CUELLO Y LA ALTURA

Diámetro de cuello		Altura de la planta	
Tratamiento	Promedio(mm)	Tratamiento	Promedio(cm)
Zanjas 2	18.43	Zanjas 2	81.09
Zanjas 1	15.38	Zanjas 1	70.77
Testigo	12.74	Testigo	61.55

En este caso, para ambas variables el valor más alto fue obtenido por las zanjas tipo 2. Los valores más bajos, fueron para la unidad testigo.

## Parrón

TABLA N°7. PROMEDIOS PARA EL DIÁMETRO DE CUELLO Y LA ALTURA

Diámetro de cuello		Altura de la planta	
Tratamiento	Promedio(mm)	Tratamiento	Promedio(cm)
<b>Testigo</b>	<b>18.31</b>	<b>Subsolado 1</b>	<b>68.22</b>
Subsolado 1	16.86	Testigo	67.43
Subsolado 2	15.98	Subsolado 2	64.47
Zanjas 1	15.44	Zanjas 1	59.95
Zanjas 2	13.97	Zanjas 2	54.99

En este ensayo, el mejor tratamiento, resultó ser el testigo, en el caso del diámetro de cuello, y en el caso de la altura el subsolado 1, fue el que obtuvo el promedio más alto, valor que es muy cercano al obtenido por el valor del testigo. Los valores promedio más bajos, tanto para diámetro de cuello y altura, son para las zanjas tipo 2.

## Llohué

TABLA N°8. PROMEDIOS PARA EL DIÁMETRO DE CUELLO Y LA ALTURA

Diámetro de cuello		Altura de la planta	
Tratamiento	Promedio(mm)	Tratamiento	Promedio(cm)
<b>Zanjas 2</b>	<b>19.0</b>	<b>Zanjas 2</b>	<b>75.25</b>
Zanjas 1	17.36	Zanjas 1	65.81
Testigo	15.68	Testigo	58.84

En este sector, las zanjas tipo 2 fueron las que obtuvieron los mejores promedios, tanto para diámetro de cuello, como para altura. El promedio más bajo fue para el testigo.

## Manzanares

TABLA N°9. PROMEDIOS PARA EL DIÁMETRO DE CUELLO Y LA ALTURA

Diámetro de cuello		Altura de la planta	
Tratamiento	Promedio(mm)	Tratamiento	Promedio(cm)
<b>Subsolado 2</b>	<b>19.94</b>	<b>Subsolado 2</b>	<b>81.42</b>
Subsolado 1	17.57	Subsolado 1	76.52
Zanjas 2	15.25	Zanjas 2	62.78
Testigo	13.09	Testigo	55.91
Zanjas 1	13.09	Zanjas 1	52.44

En este ensayo, el mejor tratamiento fue el subsolado 2 para ambas variables; el valor más bajo en diámetro de cuello fue para las zanjas tipo 1 y el testigo, y para las zanjas tipo 1 en altura.

### 6.1.2 Resultados de la variable sobrevivencia

A continuación se exponen los promedios de sobrevivencia, para cada uno de los tratamientos, además de los promedios por ensayo en cuanto a esta variable.

TABLA N°10.SOBREVIVENCIA GENERAL PROMEDIO DE LOS TRATAMIENTOS

<b>Tratamiento</b>	<b>Ensayo</b>	<b>Sobrevivencia (%)</b>	<b>Promedio(%)</b>
<b>Subsolado 2</b>	Parrón	98	<b>93</b>
	Hidango	97	
	Manzanares	88	
	La Rosa	87	
<b>Subsolado 1</b>	Parrón	99	<b>87</b>
	Manzanares	93	
	Hidango	81	
	La Rosa	76	
<b>Zanjas tipo 1</b>	Name	98	<b>91</b>
	Parrón	97	
	Llohué	89	
	Hidango	86	
	Manzanares	86	
<b>Zanjas tipo 2</b>	Parrón	100	<b>85</b>
	Manzanares	98	
	Name	85	
	Hidango	80	
	Llohué	75	
<b>Testigo</b>	Parrón	97	<b>85</b>
	Hidango	90	
	La Rosa	85	
	Name	81	
	Llohué	79	
	Manzanares	76	

Puede observarse en el cuadro anterior, que el mejor porcentaje de sobrevivencia en cuanto a los tratamientos, fue para el subsolado 2, mientras que el valor más bajo fue para el testigo.

En la tabla N° 11, se muestran los resultados de sobrevivencia, para cada uno de los ensayos establecidos.

TABLA 11. PROMEDIO DE SOBREVIVENCIA POR ENSAYO

<b>Ensayo</b>	<b>Tratamiento</b>	<b>Sobrevivencia(%)</b>	<b>Promedio(%)</b>
<b>Hidango</b>	Subsolado 2	97	<b>85</b>
	Zanjas 1	86	
	Subsolado 1	81	
	Zanjas 2	80	
	Testigo	79	
<b>La Rosa</b>	Subsolado 2	87	<b>83</b>
	Testigo	85	
	Subsolado 1	76	
<b>Name</b>	Zanjas 1	98	<b>88</b>
	Zanjas 2	85	
	Testigo	81	
<b>Parrón</b>	Zanjas 2	100	<b>98</b>
	Subsolado 1	99	
	Subsolado 2	98	
	Zanjas 1	97	
	Testigo	97	
<b>Llohué</b>	Zanjas 1	89	<b>80</b>
	Testigo	76	
	Zanjas 2	75	
<b>Manzanares</b>	Zanjas 2	98	<b>91</b>
	Subsolado 1	93	
	Testigo	90	
	Subsolado 2	88	
	Zanjas 1	86	

En cuanto a los promedios de sobrevivencia por ensayo, se puede apreciar en la tabla N° 11, que el valor más alto lo obtuvo el ensayo de Parrón (VII región), mientras que el valor mas bajo fue para el ensayo de Llohué (VIII región).

## **6.2 Análisis estadístico de la información obtenida**

### **6.2.1 Análisis paramétrico**

El primer análisis corresponde a la aplicación de pruebas de normalidad y homocedasticidad, dado que si ellas son aprobadas, se podrá utilizar estadística paramétrica. A continuación, en las tablas N°12 y N°13, se exponen los resultados de las

pruebas de normalidad (Test Kolmogorov-Smirnov) y de homocedasticidad (Test de Cochran`s y Bartlett`s), aplicadas a cada uno de los tratamientos para las variables diámetro de cuello y altura de las plantas.

TABLA N°12. RESULTADOS DE PRUEBAS DE NORMALIDAD PARA DIÁMETRO DE CUELLO Y ALTURA DE LA PLANTAS

Ensayo	Tratamiento	Diámetro de cuello		Altura plantas	
		Valor p	Resultado	Valor p	Resultado
<b>Hidango</b>	Subsolado 1	0.77	Sí	0.84	Sí
	Subsolado 2	0.32	Sí	0.81	Sí
	Zanjas 1	0.03	No	0.0083	No
	Zanjas 2	0.62	Sí	0.13	Sí
	Testigo	0.63	Sí	0.38	Sí
<b>La Rosa</b>	Subsolado 1	0.44	Sí	0.21	Sí
	Subsolado 2	0.86	Sí	0.27	Sí
	Testigo	0.33	Sí	0.30	Sí
<b>Pumanque</b>	Zanjas 1	0.000417	No	0.16	Sí
	Zanjas 2	0.001640	No	0.02	No
	Testigo	0.000292	No	0.0021	No
<b>Botacura</b>	Subsolado 1	0.09	Sí	0.03	No
	Subsolado 2	0.04	No	0.82	Sí
	Zanjas 1	0.000433	No	0.00043	No
	Zanjas 2	0.0162	No	0.35	Sí
	Testigo	0.0145	No	0.55	Sí
<b>Name</b>	Zanjas 1	0.11	Sí	0.02	No
	Zanjas 2	0.67	Sí	0.07	Sí
	Testigo	0.19	Sí	0.80	Sí
<b>Parrón</b>	Subsolado 1	0.59	Sí	0.63	Sí
	Subsolado 2	0.44	Sí	0.17	Sí
	Zanjas 1	0.06	Sí	0.72	Sí
	Zanjas 2	0.02	No	0.63	Sí
	Testigo	0.26	Sí	0.83	Sí
<b>Llohué</b>	Zanjas 1	0.91	Sí	0.90	Sí
	Zanjas 2	0.82	Sí	0.06	Sí
	Testigo	0.42	Sí	0.56	Sí
<b>Manzanares</b>	Subsolado 1	0.30	Sí	0.81	Sí
	Subsolado 2	0.52	Sí	0.19	Sí
	Zanjas 1	0.09	Sí	0.78	Sí
	Zanjas 2	0.31	Sí	0.0084	No
	Testigo	0.61	Sí	0.66	Sí

Sí : Se acepta el supuesto de normalidad de los datos

No : Se rechaza el supuesto de normalidad de los datos

TABLA N°13. RESULTADOS DE PRUEBAS DE HOMOCEASTICIDAD PARA DIÁMETRO DE CUELLO Y ALTURA DE LAS PLANTAS

		Diámetro de cuello			Altura		
		Valor p		Decisión	Valor p		Decisión
		Cochran's	Bartlett's		Cochran's	Bartlett's	
Ensayo	Tratamientos						
Hidango	S1,S2,Z1,Z2,T	0.000647	0.000213	No	0.000825	1.198E-8	No
La Rosa	S1,S2,T	0.0158	0.00113	No	0.103	0.131	Sí
Pumanque	Z1,Z2,T	0.624	0.515	Sí	0.26	0.35	Sí
Botacura	S1,S2,Z1,Z2,T	0.0031	0.012	No	0.372	0.597	Sí
Name	Z1,Z2,T	0.0156	0.0065	No	0.185	0.067	Sí
Parrón	S1,S2,Z1,Z2,T	0.000151	0.00000159	No	0.0000622	1,21E-9	No
Llohué	Z1,Z2,T	0.011	0.0017	No	0.103	0.131	Sí
Manzanares	S1,S2,Z1,Z2,T	0.000097	3.94E-9	No	0.0000392	1.30E-9	No

S1 : Subsulado 1; S2 Subsulado 2; Z1 Zanjas tipo1; Zanjas tipo2; Testigo

Sí : Se acepta el supuesto de homocedasticidad; No: Se rechaza el supuesto de homocedasticidad

Puede observarse que el test de normalidad de Kolmogorv-Smirnov, aplicado para probar este supuesto, no se cumple para todos los tratamientos. Posteriormente, la prueba de homocedasticidad, que es de vital importancia para poder aplicar pruebas paramétricas, en los 2 test aplicados, Cochran's y Bartlett's, no se cumple en todos lo ensayos. Por ende, se concluye que es necesario recurrir a pruebas no paramétricas para la comparación de los tratamientos.

## 6.2.2 Análisis no paramétrico

### 6.2.2.1 Diámetro de cuello y altura

Las pruebas no paramétricas utilizadas, como se señaló anteriormente en la metodología, son el test de Kruskal Wallis y la prueba U de Mann Whitney. En las tablas siguientes, se muestran los resultados del test de Kruskall-Wallis, para cada uno de los ensayos establecidos, con el fin de determinar si se evidencian diferencias significativas entre los tratamientos. La hipótesis formulada para el test de Kruskal Wallis es la siguiente:

### Hipótesis: Test de Kruskal Wallis

$H_0$  : Todos los tratamientos son iguales

$H_1$  : Todos los tratamientos son distintos

En la tabla N°14, se muestran los resultados de los valores p obtenidos para ambas variables, diámetro de cuello y altura de las plantas, a partir del test de Kruskal Wallis.

TABLA N°14. RESULTADOS DEL TEST DE KRUSKAL WALLIS PARA DIÁMETRO DE CUELLO Y ALTURA

Ensayo	Tratamientos comparados	Diámetro de cuello		Altura	
		Valor p	Decisión	Valor p	Decisión
Hidalgo	Subsolado 1, Subsolado 2 Zanjas 1, Zanjas 2, Testigo	0.0	Rechaza $H_0$	0.0	Rechaza $H_0$
La Rosa	Subsolado 1, Subsolado 2, Testigo	0.0	Rechaza $H_0$	0.0	Rechaza $H_0$
Pumanque	Zanjas 1, Zanjas 2, Testigo	0.54	Acepta $H_0$	0.59	Acepta $H_0$
Botacura	Subsolado 1, Subsolado 2 Zanjas 1, Zanjas 2, Testigo	$6.1 \cdot 10^{-6}$	Rechaza $H_0$	0.0	Rechaza $H_0$
Name	Zanjas 1, Zanjas 2, Testigo	0.0	Rechaza $H_0$	0.0	Rechaza $H_0$
Parrón	Subsolado 1, Subsolado 2 Zanjas 1, Zanjas 2, Testigo	0.0	Rechaza $H_0$	0.0	Rechaza $H_0$
Llohué	Zanjas 1, Zanjas 2, Testigo	0.0084	Rechaza $H_0$	0.0023	Rechaza $H_0$
Manzanares	Subsolado 1, Subsolado 2 Zanjas 1, Zanjas 2, Testigo	0.0	Rechaza $H_0$	0.0	Rechaza $H_0$

Como se puede apreciar en la tabla N°14, en la mayoría de los ensayos el valor p del test de Kruskal Wallis resultó ser menor que el valor alfa establecido de 0.05, con lo que se rechaza la hipótesis nula, es decir, se acepta que al menos existe una diferencia entre los tratamientos. La única excepción lo constituye el caso de Pumanque, ya que el valor p obtenido resulta ser mayor a 0.05, no evidenciándose diferencias significativas entre los tratamientos. Cabe recordar que en el capítulo de la metodología, se señaló que los valores de Pumanque y de Botacura, sólo son referenciales, ya que las plantas presentaban sólo un mes de plantación en terreno en esos ensayos, producto de los siniestros mencionados anteriormente.

Con posterioridad al test de Kruskal Wallis, se aplicó la Prueba U de Mann Whitney, con el fin de establecer cuáles de los tratamientos presentaban diferencias entre ellos, mediante una comparación de pares de tratamientos; la hipótesis formulada en este caso, es la que se muestra a continuación:

### Hipótesis, Prueba U de Mann Whitney

$H_0$  : El tratamiento T1 no difiere con el tratamiento T2

$H_1$  : El tratamiento T1 difiere con el tratamiento T2

En las tablas siguientes se muestran los resultados, en todos los ensayos analizados para la prueba U de Mann Whitney, y para las variables diámetro de cuello y altura de las plantas en cada uno de los tratamientos comparados, con su respectivo valor p.

### Hidango

TABLA N°15. RESULTADOS DE LA PRUEBA U DE MANN WHITNEY PARA DIÁMETRO DE CUELLO Y ALTURA

Tratamientos	Diámetro de cuello		Altura	
	Valor p	Decisión	Valor p	Decisión
Testigo-Subsolado 1	$3.9 * 10^{-12}$	Rechaza Ho	$3.4 * 10^{-12}$	Rechaza Ho
Testigo-Subsolado 2	0	Rechaza Ho	0	Rechaza Ho
Testigo-Zanjas 1	$7.4 * 10^{-1}$	Acepta Ho	$3.0 * 10^{-2}$	Rechaza Ho
Testigo-Zanjas 2	$4.4 * 10^{-6}$	Rechaza Ho	$2.3 * 10^{-10}$	Rechaza Ho
Subsolado1-Subsolado2	$1.7 * 10^{-11}$	Rechaza Ho	0	Rechaza Ho
Subsolado1-Zanjas 1	$4.0 * 10^{-12}$	Rechaza Ho	$7.7 * 10^{-8}$	Rechaza Ho
Subsolado1-Zanjas 2	$2.6 * 10^{-3}$	Rechaza Ho	$8.2 * 10^{-1}$	Acepta Ho
Subsolado2-Zanjas 1	0	Rechaza Ho	0	Rechaza Ho
Subsolado2-Zanjas 2	0	Rechaza Ho	0	Rechaza Ho
Zanjas 1- Zanjas 2	$9.5 * 10^{-7}$	Rechaza Ho	$5.3 * 10^{-6}$	Rechaza Ho

En este ensayo, en general se presentan marcadas diferencias entre la mayoría de los tratamientos, tanto para el diámetro de cuello como para la altura. Las únicas excepciones son la comparación de Testigo-Zanjas 1, en el diámetro de cuello y en altura, para subsolado 1 y zanjas 2, en los cuales no se evidencian diferencias significativas.



## La Rosa

TABLA N°16. RESULTADOS PRUEBA U DE MANN WHITNEY PARA DIÁMETRO DE CUELLO Y ALTURA

Tratamientos	Diámetro de cuello		Altura	
	Valor p	Decisión	Valor p	Decisión
Testigo-Subsolado 1	$5.3 * 10^{-4}$	Rechaza Ho	$8.3 * 10^{-5}$	Rechaza Ho
Testigo-Subsolado 2	0	Rechaza Ho	0	Rechaza Ho
Subsolado1-Subsolado2	$1.7 * 10^{-4}$	Rechaza Ho	$5.9 * 10^{-8}$	Rechaza Ho

En este caso, todos los tratamientos comparados entre sí, tanto para el diámetro de cuello como para la altura, presentaron diferencias significativas entre ellos.

## Botacura

TABLA N°17. RESULTADOS PRUEBA U DE MANN WHITNEY PARA DIÁMETRO DE CUELLO Y ALTURA

Tratamientos	Diámetro de cuello		Altura	
	Valor p	Decisión	Valor p	Decisión
Testigo-Subsolado 1	$9.7 * 10^{-3}$	Acepta Ho	$7.9 * 10^{-4}$	Rechaza Ho
Testigo-Subsolado 2	$1.1 * 10^{-4}$	Rechaza Ho	$2.8 * 10^{-3}$	Rechaza Ho
Testigo-Zanjas 1	$8.1 * 10^{-1}$	Acepta Ho	$2.9 * 10^{-1}$	Acepta Ho
Testigo-Zanjas 2	$4.9 * 10^{-1}$	Acepta Ho	$1.2 * 10^{-2}$	Acepta Ho
Subsolado 1-Subsolado 2	$1.5 * 10^{-1}$	Acepta Ho	$4.3 * 10^{-1}$	Acepta Ho
Subsolado 1-Zanjas 1	$3.1 * 10^{-3}$	Rechaza Ho	$2.4 * 10^{-2}$	Acepta Ho
Subsolado 1-Zanjas 2	$3.1 * 10^{-2}$	Acepta Ho	$3.2 * 10^{-1}$	Acepta Ho
Subsolado 2-Zanjas 1	$5.9 * 10^{-5}$	Rechaza Ho	$8.0 * 10^{-2}$	Acepta Ho
Subsolado 2-Zanjas 2	$1.9 * 10^{-4}$	Rechaza Ho	$7.7 * 10^{-1}$	Acepta Ho
Zanjas 1- Zanjas 2	$3.4 * 10^{-1}$	Acepta Ho	$1.7 * 10^{-1}$	Acepta Ho

En este ensayo, en general no se presentaron grandes diferencias entre los tratamientos, pero estos resultados sólo constituyen un valor de referencia, como fue mencionado anteriormente.

## Name

TABLA N°18. RESULTADOS PRUEBA U DE MANN WHITNEY PARA DIÁMETRO DE CUELLO Y ALTURA

Tratamientos	Diámetro de cuello		Altura	
	Valor p	Decisión	Valor p	Decisión
Testigo-Zanjas 1	0	Rechaza Ho	0	Rechaza Ho
Testigo-Zanjas 2	$5.8 * 10^{-7}$	Rechaza Ho	$2.4 * 10^{-7}$	Rechaza Ho
Zanjas 1-Zanjas 2	$5.8 * 10^{-9}$	Rechaza Ho	$5.8 * 10^{-9}$	Rechaza Ho

Para ambas variables, diámetro de cuello y altura, se evidenciaron diferencias significativas entre todos los tratamientos aplicados.

## Parrón

TABLA N°19. RESULTADOS PRUEBA U DE MANN WHITNEY PARA DIÁMETRO DE CUELLO Y ALTURA

Tratamientos	Diámetro de cuello		Altura	
	Valor p	Decisión	Valor p	Decisión
Testigo-Subsolado 1	$1.4 * 10^{-3}$	Rechaza Ho	$6.3 * 10^{-1}$	Acepta Ho
Testigo-Subsolado 2	$1.0 * 10^{-7}$	Rechaza Ho	$3.5 * 10^{-2}$	Acepta Ho
Testigo-Zanjas 1	$2.8 * 10^{-8}$	Rechaza Ho	$8.1 * 10^{-6}$	Rechaza Ho
Testigo-Zanjas 2	0	Rechaza Ho	$1.9 * 10^{-12}$	Rechaza Ho
Subsolado1-Subsolado2	$4.9 * 10^{-3}$	Rechaza Ho	$6.0 * 10^{-4}$	Rechaza Ho
Subsolado1-Zanjas 1	$1.5 * 10^{-4}$	Rechaza Ho	$3.6 * 10^{-8}$	Rechaza Ho
Subsolado1-Zanjas 2	$8.0 * 10^{-12}$	Rechaza Ho	0	Rechaza Ho
Subsolado2-Zanjas 1	$2.3 * 10^{-2}$	Acepta Ho	$4.7 * 10^{-4}$	Rechaza Ho
Subsolado2-Zanjas 2	$8.7 * 10^{-7}$	Rechaza Ho	$7.5 * 10^{-11}$	Rechaza Ho
Zanjas 1- Zanjas 2	$5.3 * 10^{-2}$	Acepta Ho	$5.6 * 10^{-3}$	Acepta Ho

En este ensayo, se evidenciaron diferencias significativas en la mayor parte de los tratamientos, tanto en diámetro de cuello como en altura. Los tratamientos que no denotaron diferencias significativas en cuanto al diámetro de cuello son; Subsolado2-Zanjas 1 y Zanjas 1-Zanjas 2, mientras que en altura fueron Testigo-Subsolado 1, Testigo-Subsolado 2 y Zanjas 1- Zanjas 2.

## Llohué

TABLA N°20. RESULTADOS PRUEBA U DE MANN WHITNEY PARA DIÁMETRO DE CUELLO Y ALTURA

Tratamientos	Diámetro de cuello		Altura	
	Valor p	Decisión	Valor p	Decisión
Testigo-Zanjas 1	$1.4 * 10^{-2}$	Acepta Ho	$3.0 * 10^{-2}$	Acepta Ho
Testigo-Zanjas 2	$7.3 * 10^{-1}$	Acepta Ho	$4.3 * 10^{-1}$	Acepta Ho
Zanjas 1-Zanjas 2	$4.4 * 10^{-23}$	Rechaza Ho	$8.2 * 10^{-4}$	Rechaza Ho

En este ensayo, en general en ambas variables no se evidencian diferencias significativas entre los tratamientos; el único caso que presenta diferencias significativas, es la comparación entre los tratamientos Zanjas 1-Zanjas 2, para las dos variables analizadas.

## Manzanares

TABLA N°21. RESULTADOS PRUEBA U DE MANN WHITNEY PARA DIÁMETRO DE CUELLO Y ALTURA

Tratamientos	Diámetro de cuello		Altura	
	Valor p	Decisión	Valor p	Decisión
Testigo-Subsolado 1	0	Rechaza Ho	0	Rechaza Ho
Testigo-Subsolado 2	0	Rechaza Ho	0	Rechaza Ho
Testigo-Zanjas 1	$7.6 * 10^{-1}$	Acepta Ho	$6.0 * 10^{-4}$	Rechaza Ho
Testigo-Zanjas 2	$1.9 * 10^{-7}$	Rechaza Ho	$9.6 * 10^{-6}$	Rechaza Ho
Subsolado1-Subsolado2	$1.1 * 10^{-6}$	Rechaza Ho	$1.8 * 10^{-2}$	Acepta Ho
Subsolado1-Zanjas 1	0	Rechaza Ho	0	Rechaza Ho
Subsolado1-Zanjas 2	$1.6 * 10^{-6}$	Rechaza Ho	0	Rechaza Ho
Subsolado2-Zanjas 1	0	Rechaza Ho	0	Rechaza Ho
Subsolado2-Zanjas 2	0	Rechaza Ho	0	Rechaza Ho
Zanjas 1- Zanjas 2	$2.7 * 10^{-7}$	Rechaza Ho	$5.0 * 10^{-11}$	Rechaza Ho

Finalmente, en este ensayo se presentan diferencias significativas entre la mayoría de los tratamientos y para ambas variables; las únicas excepciones las constituyen Testigo-Zanjas 1 en el diámetro de cuello y Subsolado1-Subsolado 2, en altura.

### 6.2.2.2 Análisis estadístico para la variable sobrevivencia

Para el análisis de la sobrevivencia, se aplicó la prueba estadística Chi cuadrado, utilizada para probar la siguiente hipótesis:

$$H_0 : p_1 = p_2 = \dots = p_k$$

$$H_1 : p_1 \neq p_2 \neq \dots \neq p_k$$

Así, la hipótesis nula indica que todas las proporciones de sobrevivencia son iguales, mientras que la hipótesis alternativa indica si alguna o más de las sobrevivencias, difiere significativamente.

Es necesario mencionar, que en este análisis no se incluyeron los ensayos de Pumanque y Botacura, por las razones ya explicitadas anteriormente.

A continuación, la tabla N°22 entrega los valores calculados para el estadístico Chi cuadrado y para cada uno de los ensayos en donde fue evaluada la variable sobrevivencia.

TABLA N°22. RESULTADOS DEL ESTADÍSTICO CHI-CUADRADO

Ensayo	$X^2$	Valor p	Decisión (& =0.05)
<b>Hidango</b>	13.91	0.0077	Rechaza $H_0$
<b>La Rosa</b>	7.76	0.0206	Rechaza $H_0$
<b>Name</b>	24.00	0.000	Rechaza $H_0$
<b>Parrón</b>	5.89	0.2075	Acepta $H_0$
<b>Llohué</b>	14.27	0.0008	Rechaza $H_0$
<b>Manzanares</b>	20.62	0.0004	Rechaza $H_0$

En general se puede observar que se rechaza la hipótesis nula, de que las proporciones de sobrevivencia son iguales, evidenciando con esto que sí hay diferencias significativas en

cuanto a los porcentajes de sobrevivencia; el único caso que dio una situación diferente, fue Parrón, en donde no se presentaron diferencias significativas entre los tratamientos en cuanto a la sobrevivencia.

Posteriormente, en aquellos casos que evidenciaron diferencias significativas, se procedió a aplicar el test Z, para comparar entre pares de tratamientos, para ver cuáles presentaban diferencias significativas entre ellos. La hipótesis formulada es la siguiente:

$$P1 - P2 = 0$$

$$P1 - P2 > 0$$

Donde P es la proporción de sobrevivencia de la plantación en cada tratamiento. Es decir, compara si la sobrevivencia entre dos tratamientos, son iguales o una es mejor que otra. En este test fue necesario hacer la corrección de Bonferroni, mencionada anteriormente en la metodología, cuyo valor alfa se modifica según el número de tratamientos a comparar. Así, en el caso de 5 tratamientos, el valor alfa es de 0.005, mientras que en el caso de 3 tratamientos, el valor es de 0.002. En los cuadros siguientes, se muestran los valores del test Z, para cada uno de los tratamientos aplicados en cada ensayo.

## Hidango

TABLA N° 23. RESULTADOS DEL TEST Z PARA EL ENSAYO DE HIDANGO

Tratamientos	Z	Valor p	Decisión
Testigo-Subsolado 1	-0.32	0.375	Acepta P1=P2
Testigo-Subsolado 2	-4.03	<0.0001	Rechaza P1=P2
Testigo-Zanjas 1	-1.42	0.078	Acepta P1=P2
Testigo-Zanjas 2	-0.21	0.417	Acepta P1=P2
Subsolado1-Subsolado2	-3.82	<0.0001	Rechaza P1=P2
Subsolado1-Zanjas 1	-1.13	0.129	Acepta P1=P2
Subsolado1-Zanjas 2	0.12	0.548	Acepta P1=P2
Subsolado2-Zanjas 1	2.79	0.997	Acepta P1=P2
Subsolado2-Zanjas 2	3.94	>0.999	Acepta P1=P2
Zanjas 1- Zanjas 2	1.26	0.896	Acepta P1=P2

P1: Proporción de sobrevivencia del tratamiento 1  $\alpha$ : 0.005

P2: Proporción de sobrevivencia del tratamiento 2

En este ensayo, en general los resultados del test Z denotan que no existen diferencias significativas en la mayoría de los tratamientos. Las excepciones son que, subsolado 2 es mejor estadísticamente, que testigo y, Subsolado 2, es mejor estadísticamente, que subsolado 1.

## La Rosa

TABLA N° 24. RESULTADOS DEL TEST Z PARA EL ENSAYO DE LA ROSA

Tratamientos	Z	Valor p	Decisión
Testigo-Subsolado 1	1.91	0.972	Acepta P1=P2
Testigo-Subsolado 2	-0.40	0.345	Acepta P1=P2
Subsolado 1-Subsolado 2	-2.23	0.013	Rechaza P1=P2

P1: Proporción de sobrevivencia del tratamiento 1       $\alpha : 0.002$

P2: Proporción de sobrevivencia del tratamiento 2

En este caso, no se evidenciaron grandes diferencias entre los tratamientos. Los únicos tratamientos que denotaron diferencias significativas entre ellos, son Subsolado 2 > Subsolado 1, es decir, Subsolado 2 es mejor desde un punto de vista estadístico, que el subsolado 1.

## Name

TABLA N° 25. RESULTADOS DEL TEST Z PARA EL ENSAYO DE NAME

Tratamientos	Z	Valor p	Decisión
Testigo-Zanjas 1	-4.65	<0.0001	Rechaza P1=P2
Testigo-Zanjas 2	-3.70	<0.0001	Rechaza P1=P2
Zanjas 1-Zanjas 2	3.88	>0.999	Acepta P1=P2

P1: Proporción de sobrevivencia del tratamiento 1       $\alpha : 0.002$

P2: Proporción de sobrevivencia del tratamiento 2

En este ensayo, el test Z denota que hay diferencias significativas. Así, zanjas 1 y zanjas 2 son mejores estadísticamente que el testigo. Sólo en el caso Zanjas 1-Zanjas 2, no se denotaron diferencias significativas.

## Parrón

Este ensayo no presentó diferencias significativas entre los tratamientos, por lo que no se aplicó el test Z.

## Llohué

TABLA N° 26. RESULTADOS DEL TEST Z PARA EL ENSAYO DE LLOHUÉ

Tratamientos	Z	Valor p	Decisión
Testigo-Zanjas 1	-3.04	0.0012	Rechaza P1=P2
Testigo-Zanjas 2	0.24	0.5948	Acepta P1=P2
Zanjas 1-Zanjas 2	3.29	0.9995	Acepta P1=P2

P1: Proporción de sobrevivencia del tratamiento 1  $\alpha$ : 0.002

P2: Proporción de sobrevivencia del tratamiento 2

En este ensayo, el resultado del test Z sólo denotó diferencias significativas para un solo caso, entre Zanjas 1 y testigo. Así, zanjas 1 es mejor estadísticamente que testigo, mientras que los demás tratamientos comparados, no evidenciaron diferencias significativas.

## Manzanares

TABLA N° 27. RESULTADOS DEL TEST Z PARA EL ENSAYO DE MANZANARES

Tratamientos	Z	Valor p	Decisión
Testigo-Subsolado 1	-0.98	0.164	Acepta P1=P2
Testigo-Subsolado 2	0.72	0.764	Acepta P1=P2
Testigo-Zanjas 1	1.01	0.844	Acepta P1=P2
Testigo-Zanjas 2	-3.27	0.0005	Rechaza P1=P2
Subsolado1-Subsolado2	1.57	0.942	Acepta P1=P2
Subsolado1-Zanjas 1	1.94	0.974	Acepta P1=P2
Subsolado1-Zanjas 2	-2.38	0.0087	Acepta P1=P2
Subsolado2-Zanjas 1	0.39	0.652	Acepta P1=P2
Subsolado2-Zanjas 2	-3.97	<0.0001	Rechaza P1=P2
Zanjas 1- Zanjas 2	-4.12	<0.0001	Rechaza P1=P2

P1: Proporción de sobrevivencia del tratamiento 1  $\alpha$ : 0.005

P2: Proporción de sobrevivencia del tratamiento 2

Finalmente, en el último ensayo en la gran mayoría de las comparaciones entre los tratamientos no se evidenciaron diferencias significativas entre ellos. Los únicos casos que presentaron diferencias significativas fueron las zanjas tipo 2 que, resultaron ser estadísticamente mejores que el testigo, el subsolado 2 y las zanjas tipo 1.

### 6.3 Resultados de los clavos de erosión

Otra variable estudiada en los tratamientos correspondientes a zanjas de infiltración, es el análisis de la altura de los clavos de erosión instalados dentro de las zanjas; ello tuvo como objetivo determinar si se había generado sedimentación de los clavos y por ende, erosión desde la zona alta de la zanja de infiltración. Además, se calculó el área de impluvio y el volumen de sedimentación y, a partir de estos cálculos, se conoció la altura del suelo erosionado. Así, se obtuvo una altura promedio de suelo erosionado.

TABLA N° 28. PROMEDIOS DE ALTURA DE SUELO EROSIONADO (mm)

Ensayo	Promedio	
	Zanjas 1	Zanjas 2
Hidango	0.45	1.41
Pumanque	0.77	1.46
Botacura	1.10	0.89
Parrón	0.9	0.82
Name	1.22	1.61
Llohué	0.92	0.81
Manzanares	2.74	5.07

Se puede apreciar claramente en la tabla anterior, que el ensayo con mayor sedimentación en el caso de las zanjas 1, es el de Manzanares, con una altura de sedimentación de 2.74 mm. Asimismo, el promedio de todos los ensayos fue de 1.16mm. En cuanto al caso de las zanjas tipo 2, los mayores valores lo obtuvo Manzanares con 5.1mm, superando en gran trecho el promedio en general de todos los ensayos, que fue de 1.72 mm. La comparación de los promedios de la sedimentación de todos los ensayos, fue notoriamente mayor para el caso de las zanjas 2, es decir, hacia este tipo de zanjas se generó la mayor sedimentación.



## 7. ANÁLISIS DE RESULTADOS

### *7.1 Representación de los sitios elegidos*

Los ensayos estudiados, presentaban distintos usos anteriores a la aplicación de los tratamientos; es así como en los ensayos de Llohué (VIII región) y Parrón (VII región), presentaban una plantación de Pino radiata adulto, que fue cosechado en el año 2001. Por otra parte, en el ensayo de Hidango (VI región), su uso era de pastoreo, y se encontraba cubierto de especies herbáceas y algunos ejemplares de zarzamora. Igual es el caso de Name (VII región), cuyo uso también fue de pastoreo, con presencia de especies herbáceas y algunos arbustos. En el ensayo de Manzanares (VIII región), éste había sido utilizado históricamente para siembra de trigo. Finalmente los ensayos de Pumanque (VI región) y Botacura (VII región) fueron afectados por un siniestro, con lo que su análisis sólo constituye un valor referencial.

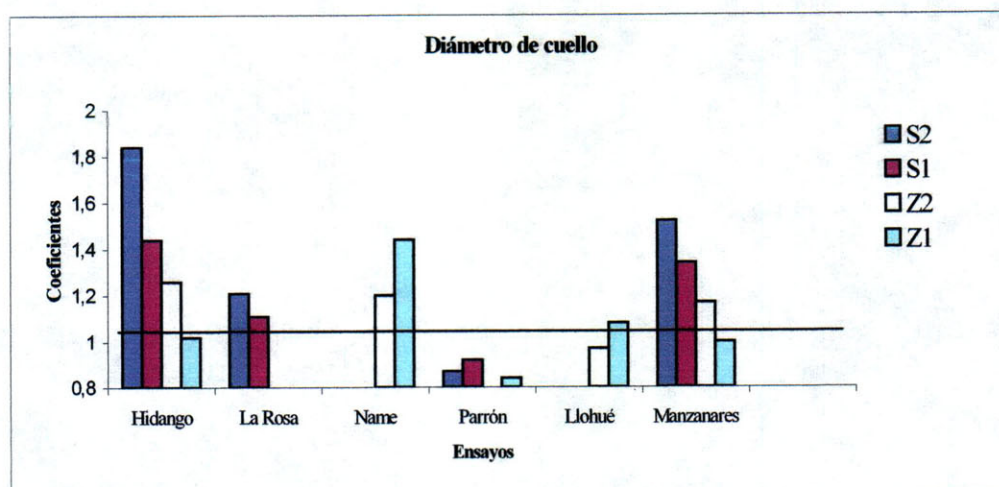
### *7.2 Análisis de los resultados para el diámetro de cuello*

Es de importancia mencionar el hecho de que la mayoría de los ensayos evidenciaron diferencias significativas entre los tratamientos establecidos (zanjas y subsolado), en relación con la unidad testigo, infiriendo con ello que las obras de conservación aplicadas, constituyen un efecto positivo en el crecimiento de la variable en estudio.

De los 6 ensayos analizados, descontando Pumanque y Botacura, sólo en Parrón la unidad testigo superó a los demás tratamientos (subsulado y zanjas). Esto puede deberse al hecho, que el sector en donde fueron aplicados los tratamientos mencionados anteriormente, presenta gran cantidad de maleza, lo que podría contribuir a una competencia por agua, luz y nutrientes, para las plantas que se encuentran en pleno crecimiento, no siendo así en el lugar de ubicación de la unidad testigo, en donde la

presencia de maleza fue mínima. Esto se basa en la efectividad del herbicida aplicado, rindió más efecto en este lugar, que en donde fueron establecidos los tratamientos. Es necesario mencionar, que para conocer con más certeza las causas de este resultado, se debería realizar un análisis exhaustivo de suelo.

Por otra parte, para un mejor análisis, el siguiente gráfico presenta los coeficientes que muestran el cociente, entre el valor promedio de los tratamientos aplicados (subsolado 1, subsolado 2, zanjas 1 y zanjas 2) en relación con la unidad testigo, para el diámetro de cuello.



**GRÁFICO N°1. COEFICIENTES PARA EL DIÁMETRO DE CUELLO**

Así, se puede apreciar claramente que independiente de la zona, el mejor tratamiento aplicado es subsolado 2, es decir, el subsolado con un distanciamiento de 4 m entre líneas.

El valor más alto, para el subsolado 2, es el caso de Hidango, el cual es casi 2 veces mejor en su comparación con el testigo. En este tratamiento, también se destaca el valor de Manzanares, con un coeficiente de 1.52, mientras que con un valor menor, pero superior a 1, indicando con ello que supera al testigo, está el de la Rosa, con 1.21.

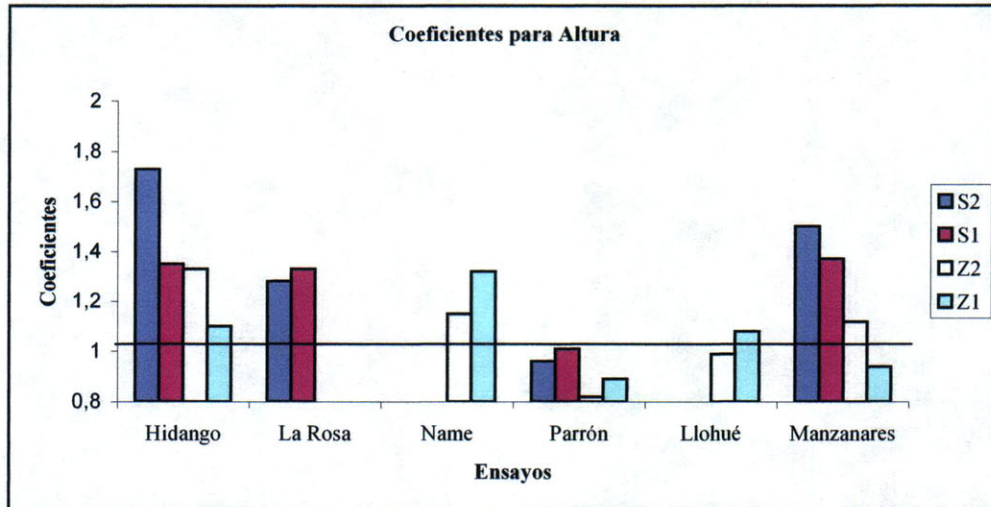
En cuanto al caso de las zanjas, se presentan 2 situaciones: en los ensayos de Hidango y Manzanares, resultaron ser mejores las zanjas tipo 2, es decir, aquellas que presentan un ancho de 30 cm, pero para el caso de Name y Llohué se da la situación contraria es decir resultan mejores las zanjas tipo 1, cuyo ancho es de 20 cm. Esto puede deberse al hecho, que en esos sectores la acumulación de agua al interior de las zanjas resultó ser mayor en las zanjas con mayor base, por lo tanto, es mayor la cantidad de agua disponible para el desarrollo de la plantas.

En general las zanjas obtuvieron mayores resultados que el testigo, pero con valores de cociente (diámetro de cuello zanjas/diámetro de cuello testigo) que fluctúan alrededor de 1.1. Se aleja de estos valores el ensayo de Name que alcanzó un valor de 1.44 en zanjas tipo 1.

Por último, cabe mencionar el hecho que muchos estudios, han demostrado que el crecimiento de las plantas, asociado a zanjas de infiltración, en un principio resulta ser lento, pero con el tiempo su desarrollo mejora considerablemente, pudiendo superar al subsolado que en principio se muestra como el mejor tratamiento.

### ***7.3 Análisis de los resultados para la altura de las plantas***

Al igual que para el diámetro de cuello, el análisis se basó, en el cociente entre el promedio de cada tratamiento en relación con el testigo, para la variable altura de las plantas. El gráfico N°2 presenta los resultados, para esta variable.



**GRÁFICO N°2. COEFICIENTES PARA ALTURA DE LAS PLANTAS**

En el gráfico anterior, se puede ver que en general, el mejor tratamiento es subsolado 2, al igual que para el caso del diámetro de cuello e independientemente del sector. El valor más alto, es nuevamente en el ensayo de Hidango, ubicado en la VI región, con un coeficiente de 1.73, siendo casi 2 veces mejor que la unidad testigo; para este tratamiento, en Manzanares se obtiene un valor de 1.55, siendo ambos, Manzanares e Hidango, los 2 valores más altos de todos los ensayos.

En cuanto a las zanjas, se puede apreciar que, al igual que en el caso anterior, en Hidango y Manzanares resultaron mejores las zanjas tipo 2, mientras que en Name y Llohué las zanjas tipo 1 fueron las que obtuvieron los valores más altos, para esta variable, destacándose Name con un valor de 1.32. En general, los valores para ambos tipos de zanjas siempre superaron al testigo, pero sus valores fueron cercanos a 1, con lo que no se evidenciaron muchas diferencias en relación con el testigo.

Por último, en el ensayo de Parrón, a diferencia de la variable diámetro de cuello, sólo el subsolado 1 superó al testigo, en una mínima diferencia, mientras que los demás tratamientos se mantuvieron con coeficientes menores a 1, siendo superados por el

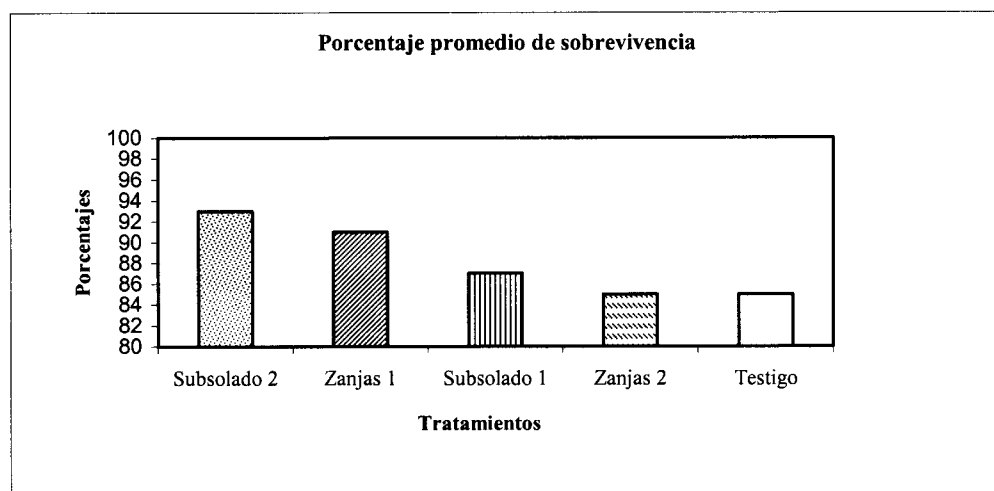
testigo. La causa, como se mencionó anteriormente, puede deberse a la acción del herbicida que fue más efectivo en la zona del testigo, que en los lugares de ubicación de los otros tratamientos.

Sintetizando, el análisis de ambas variables (diámetro de cuello y altura), muestra que en general el subsolado 2, fue el mejor, seguido de subsolado 1. Asimismo y en general, las zanjas superaron a la situación testigo, aunque sus resultados son menores que los de subsolado.

#### **7.4 Análisis de los resultados de la sobrevivencia**

Para un mejor análisis, se analizaron los porcentajes de sobrevivencia en los lugares de estudio, en cuanto a los tratamientos y a los ensayos.

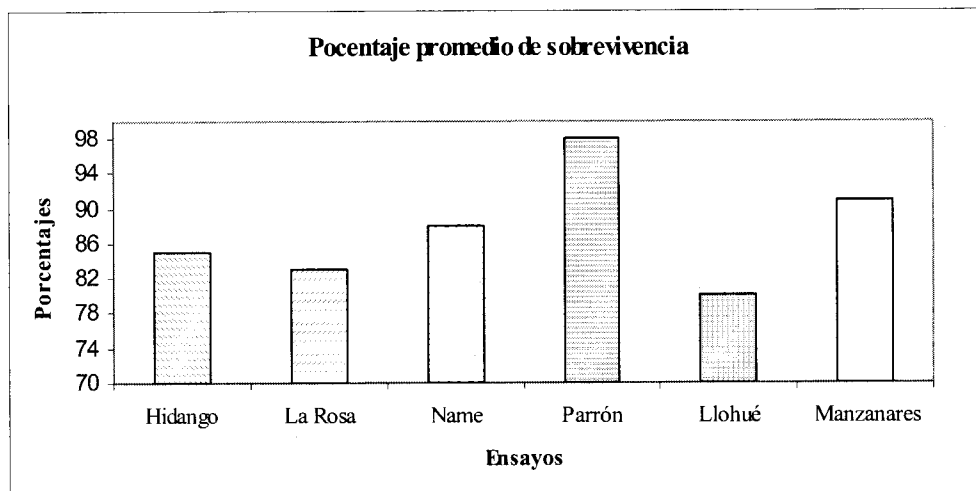
En el siguiente gráfico, se observa que la sobrevivencia promedio de cada uno de los tratamientos, supera el 85%. Los tratamientos testigo y zanjas tipo 2, son los que obtuvieron los menores porcentajes de sobrevivencia. Por otro lado, los tratamientos subsolado 2 y zanjas tipo 1, son los que obtuvieron los más altos porcentajes de sobrevivencia.



**GRÁFICO N°3. PORCENTAJE PROMEDIO DE SOBREVIVENCIA**

La sobrevivencia de las plantas en los distintos tratamientos, tuvo un promedio general de 88%. Estos resultados probablemente se relacionan con la calidad de la plantación y la capacitación del personal que realizó la plantación.

Asimismo, como se analizó la sobrevivencia para cada uno de los tratamientos, se graficaron los porcentajes promedio de sobrevivencia para cada uno de los ensayos. A continuación, en el gráfico N°4 se presentan estos resultados.

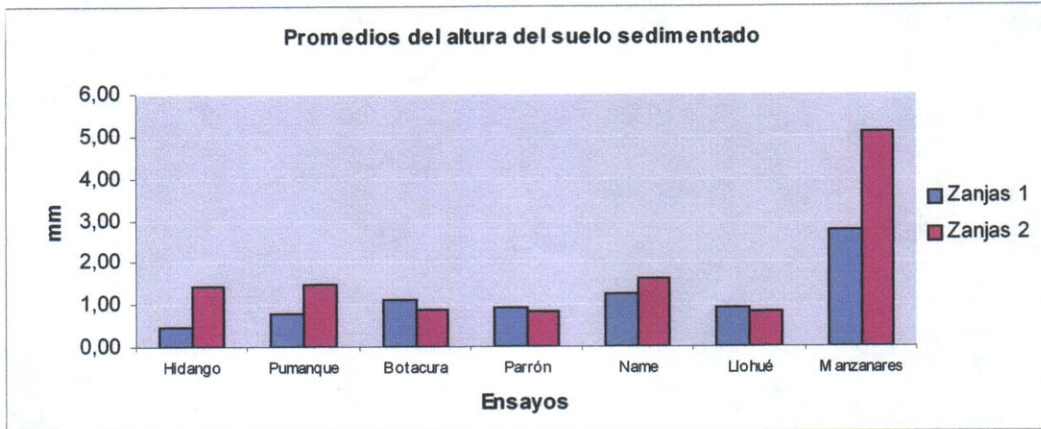


**GRÁFICO N°4. PORCENTAJE PROMEDIO DE SOBREVIVENCIA**

En este caso, la sobrevivencia de las plantas en los distintos ensayos, tuvo un promedio general de 88%. Asimismo, se puede observar que el mayor porcentaje de sobrevivencia en promedio es para el ensayo de Parrón, cuyo porcentaje fue de 98 %, muy cercano al 100%. También se destaca Manzanares con un 91%. Los valores más bajos son para el caso de La Rosa y Llohué, con valores de 83 y 80% respectivamente.

### **7.5 Análisis de los clavos de erosión.**

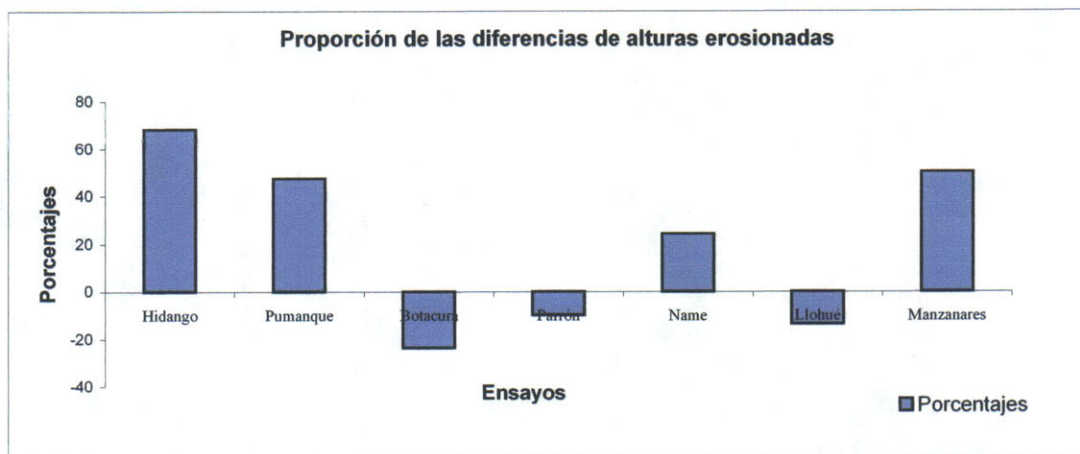
A continuación en el gráfico N°5 se muestran las alturas en promedio del suelo erosionado en mm, para cada uno de los ensayos.



**GRÁFICO N°5. PROMEDIOS DE ALTURA DEL SUELO EROSIONADO**

Se puede apreciar claramente, que para ambos tipos de zanjas, el ensayo que resultó con mayor altura de sedimentación promedio fue Manzanares (VIII región). Esto se debe, al uso del suelo que presentaba esta zona; así y como se mencionó anteriormente, su uso era la agricultura, con lo que el suelo se removía con más intensidad y periodos de tiempo más cortos, que en suelos de uso forestal.

A continuación se presenta en el gráfico N°6, la proporción de la diferencia de los promedios de alturas del suelo erosionado, entre zanjas 1 y zanjas 2, con respecto a las zanjas 2, que matemáticamente se denota  $(hz_1-hz_2)/hz_2$ .



**GRÁFICO N°6. PROPORCIÓN DE LAS DIFERENCIAS DE ALTURAS DEL SUELO EROSIONADO**

Analizando el gráfico anterior, las proporciones positivas indican que hubo mayor sedimentación hacia las zanjas 2. En cambio si este valor es negativo, las mayores sedimentaciones fueron hacia las zanjas tipo 1. Los resultados muestran, que las zanjas tipo 2 obtuvieron los mayores promedios de altura del suelo erosionada, destacándose Hidango (68%), Pumanque (47%), Name (24%) y Manzanares (50%), además de presentar marcadas diferencias con respecto a las zanjas 1.

Por otro lado, en los ensayos de Botacura (-24%), Parrón (-10%) y Llohué (-11%), las zanjas 1 superaron los promedios de alturas erosionadas de las zanjas 2, pero esta diferencia, claramente es menor con respecto al caso anterior.



## 8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 8.1 CONCLUSIONES

A continuación se presentan las conclusiones del estudio, formuladas para las variables de crecimiento, diámetro de cuello y altura, y la sobrevivencia al cabo de un año de crecimiento, producto del efecto de los tratamientos aplicados, a saber, zanjas de infiltración, subsolado y testigo, además de la sedimentación de los clavos de erosión.

- El subsolado 2, que presentaba un distanciamiento de 4 m entre líneas de subsolado, fue el tratamiento con mayor incidencia en el crecimiento de las plantas, lo cual se verificó en que produjo los mayores resultados, tanto para la variable diámetro de cuello como, para la altura.
- El subsolado 2, en el caso de Hidango (VI Región) y Manzanares (VIII Región), superó casi en dos veces al testigo.
- En general, en todos los ensayos a excepción de Pumanque y Botacura, se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos. Es decir, se hace notar la influencia positiva que presenta el establecimiento de las obras de conservación asociadas con plantaciones.
- El efecto de las zanjas de infiltración genera sólo un leve incremento en las variables de crecimiento estudiadas, con respecto a la unidad testigo, según los resultados de esta investigación. Sin embargo, muchos estudios han demostrado que el desarrollo de las plantas en este tipo de obras, en un principio tiende a ser lento, pero con el transcurso de tiempo van mejorando y pueden superar al subsolado que, en principio se muestra como el mejor tratamiento.

- En relación a la sobrevivencia de las plantas al año de crecimiento y con respecto a los tratamientos aplicados, esta variable presentó más de un 88% de sobrevivencia, obteniendo los valores más altos, los tratamientos de subsolado 2 con un 93%, y las zanjias tipo 1 (20 cm de base), con un 91%.
- En cuanto a la sobrevivencia en los distintos ensayos, ésta superó el 85%, siendo claramente mejor en el ensayo de Parrón (VII Región), con un 98%, valor que es muy cercano al 100%.
- Para los clavos de erosión, en general y como era de esperarse se produjo sedimentación hacia las zanjias de infiltración, el ensayo con mayor sedimentación, fue en el caso de Manzanares (VIII región) con 2.74 mm, en las zanjias tipo 1 (con 20 cm de base), mientras que en las zanjias con 30 cm de base, su sedimentación fue de 5.07 mm.
- Con respecto al punto anterior, y comparando ambos tipos de zanjias, cabe señalar que las zanjias tipo 2 con 30 cm de base, fueron las que resultaron con los mayores promedios de altura del suelo erosionado y con marcadas diferencias en relación con las zanjias tipo 1. Esto ocurre en los ensayos de Hidango (VI región), Pumanque (VI región), Name (VII región) y Manzanares (VIII región). En los ensayos restantes, Botacura (VII región), Parrón (VII región) y Llohué (VIII región), las zanjias tipo 1 con 20 cm de base, obtuvieron las mayores alturas de suelo erosionado en promedio, pero sus diferencias con respecto a las zanjias tipo 2, son mínimas.
- Por último, los resultados de la memoria demuestran que las obras de conservación de aguas y suelos son de gran efectividad, para mejorar el crecimiento de las plantas, además de recuperar los suelos y por ende disminuir la erosión en suelos degradados.

## 8.2 RECOMENDACIONES

- Es necesario indicar que este estudio sólo constituye una referencia de lo que pueda suceder a futuro con el crecimiento de las plantas, pero es vital continuar en esta misma línea de investigación y posteriormente seguir realizando estudios en años posteriores, con el fin de demostrar si hay un mismo patrón, es decir si se sigue probando que subsolado, es el mejor tratamiento, o con el tiempo se verifique una relación distinta
- También cabe destacar, la realización de estudios posteriores que relacionen las variables de crecimiento estudiadas, es decir, diámetro de cuello y altura de las plantas, con características de los suelos, como la humedad, la textura, la estructura, entre otras, con el fin de determinar con mayor exactitud la influencia de este tipo de obras en el desarrollo de las plantas.
- Se recomienda, estudiar el posicionamiento espacial de las plantas, con respecto a las líneas de subsolado y de zanjas de infiltración, para ver si la influencia de las obras sobre el crecimiento de las plantas es uniforme o se concentra en algún sector específico.
- Finalmente se recomienda generar mayores líneas de investigación en estas materias con el objeto de desarrollar una mayor tecnología en el diseño e implementación de obras de conservación de aguas y suelos, con el fin de propender a un mejor uso económico y ambiental de los recursos naturales.

## 9. BIBLIOGRAFÍA

- CONAMA. 1994. Plan Nacional de Conservación de suelos. Corporación Nacional del Medio Ambiente y Ministerio de Agricultura. Santiago. Chile. 137 p.
- CUITIÑO, H. 1999. Evaluación Cuantitativa de la Erosión Hídrica Superficial en Suelos Desnudos de la Precordillera Andina y Valle Central de la VII Región. Tesis para optar al grado de Licenciado en Ciencias Forestales. Talca. Chile.
- FAO. 2000. Manual de Prácticas Integradas de Manejo y Conservación de Suelos. 220p. Disponible en [www.fao.org/ag/ags/AGSE/agse\\_s/1mo/iita/iita](http://www.fao.org/ag/ags/AGSE/agse_s/1mo/iita/iita). Consultado en marzo 2004.
- FARFÁN, J. 2002. Determinación del índice de erosividad pluvial (R) de la ecuación universal de pérdida de suelos, para dos estaciones pluviográficas de la VIII región del Maule. Tesis para optar al título de Ingeniero Forestal. Talca. Chile.
- FRANCKE, S. 1999. Manejo del Suelo posible para el desarrollo forestal, del semiárido chileno. Chile Forestal. Documento Técnico N° 127. Julio 1999. 7p.
- GARCÍA, J. 1999. La erosión Hídrica. Mecanismos modelos. Curso Evaluación y Control de la erosión. 49p.
- GONZÁLEZ DEL TÁNAGO, M. 1991 La ecuación Universal de pérdida de Suelos Pasado, Presente y Futuro. ICONA. Madrid, España. 38p.
- INIA, 2001. Diagnóstico sobre el estado de degradación del recurso suelo en el país. Boletín INIA N°15. Editores : Claudio Pérez C.; Jorge Gonzáles U. INIA Chillán, Chile. 190p.

- MINTEGUI, J. Y LÓPEZ, F. 1990. La ordenación agrohidrológica en la planificación. Departamento de Agricultura y Pesca del Gobierno Vasco. 306p.
  
- MOHAMOUND, Y. 2002. Development of a Rapid Assessment and Monitoring Technique for Soil Erosion in Malawi Based on Analysis of the Occurrence of Broken Ridges. Malawi Environmental Monitoring Programme. Disponible en [http://ag.arizona.edu/OALS/malawi/Reports/Full\\_Report2.html](http://ag.arizona.edu/OALS/malawi/Reports/Full_Report2.html). Consultado en mayo 2003.
  
- MOURGUES, V. 1998. Zanjas de Infiltración. Unidad de Estudios y Medio Ambiente. Revista Chile Forestal. Conaf VII Región. Talca. Chile. N°259 pág. 28-29.
  
- MONTGOMERY, D. 1991. Diseño y Análisis de Experimentos. Grupo Editorial Iberoamérica. México. 589p.
  
- PAGANO, M. 2001. Fundamentos de Bioestadística. Thomson Learning. Australia. 525p.
  
- PÉREZ, H. 2001. Evaluación de Productividad de *Pinus radiata* (D.Don) asociada a Zanjas de Infiltración. Lloncocura, VII Región del Maule. Tesis para optar al grado de Licenciado en Ciencias Forestales. Universidad de Talca. Chile.
  
- PIZARRO *et al.* 2002. Proyecto Determinación de Estándares de Ingeniería en Obras de Conservación y Aprovechamiento de Aguas y Suelos para la Mantención e Incremento de la Productividad Silvícola. Universidad de Talca.
  
- RAMOS *et al.* 1981. Tratado del Medio Natural. Tomo III. Universidad Politécnica de Madrid. España. 491p.

- ROSSI, P *et al.* 1994. Concentration times influenced by rainfall intensity and canopy in sloping fields. *Rivista di Agronomia*, Vol. 28 N°4. Italia.
- SUÁREZ, F. 1980. *Conservación de Suelos*. Editorial Instituto Interamericano de Ciencias Agrarias. 3ra Edición. San José, Costa Rica. 315p.
- ZAIMES, G. N., SHULTZ R. C., ISENHART, T.M. Iowa. 2004. Stream bank erosion adjacent to riparian forest buffers, row-crop fields, and continuously-grazed pastures along Bear Creek in central Iowa. *Journal of soil and water conservation*. Vol 59, N°1. Disponible en [http:// www.swcs.org/t\\_pubs\\_journal\\_JanFeb04\\_Stream.htm](http://www.swcs.org/t_pubs_journal_JanFeb04_Stream.htm). Consultado en marzo 2004.
- ZHOU, G. MORRIS, J. YAN, J. YU, Z. PENG, S. China. 2002. Hydrological impacts off reforestation with eucalyptus and indigenous species: a case study in southern China. *Forest ecology and Management*. N°167. Disponible en [www.scib.ac.cn/hsz/reseachteam/\\_private/zhgy.doc](http://www.scib.ac.cn/hsz/reseachteam/_private/zhgy.doc). Consultado en marzo del 2004.

# APÉNDICES

## APÉNDICE 1

### 1. Resultados de los clavos de erosión

#### HIDANGO

#### Zanjas tipo 1(20cm de base)

<b>Línea 1</b>	<b>Largo (m)</b>	<b>Volumen sedimentado(m<sup>3</sup>)</b>	<b>Área de impluvio (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Altura suelo erosionado(m)</b>
Zanja 1	4.2	0.0515	8.82	0.00583
Zanja 2	7.6	0.0776	31.66	0.00245
Zanja 3	4.4	0.0837	23.49	0.00356
<b>Línea 2</b>				
Zanja 1	7.1	0.0613	37.52	0.00163
Zanja 2	7.5	0.0847	46.67	0.00181
Zanja 3	7.5	0.1120	50.66	0.00221
<b>Línea 3</b>				
Zanja 1	7.1	0.0666	34.34	0.00194
Zanja 2	9.8	0.1087	55.22	0.00197
Zanja 3	10.6	0.0823	60.79	0.00135
<b>Línea 4</b>				
Zanja 1	4.2	0.0618	17.87	0.00346
Zanja 2	4.7	0.0346	23.84	0.00145
Zanja 3	7.6	0.1123	44.62	0.00252
Zanja 4	10.6	0.1212	63.46	0.00191
Zanja 5	4.3	0.0540	25.37	0.00213
<b>Línea 5</b>				
Zanja 1	9.4	0.0620	45.59	0.00136
Zanja 2	7.5	0.0550	36.30	0.00152
Zanja 3	4.7	0.0681	23.33	0.00292
Zanja 4	7.4	0.1216	37.74	0.00322
Zanja 5	4.8	0.0648	23.28	0.00278
Zanja 6	5.0	0.0495	23.75	0.00208
<b>Línea 6</b>				
Zanja 1	4.2	0.0298	20.45	0.00146
Zanja 2	10.8	0.1102	61.02	0.00181
Zanja 3	9.6	0.1418	53.86	0.00263
Zanja 4	7.6	0.1065	40.58	0.00262
Zanja 5	5.9	0.0938	30.53	0.00307
Zanja 6	10.0	0.2047	49.67	0.00412
<b>Línea 7</b>				
Zanja 1	7.4	0.0449	33.67	0.00133
Zanja 2	10.7	0.0524	48.15	0.00109
Zanja 3	7.6	0.1745	29.64	0.00589
Zanja 4	7.7	0.1131	26.43	0.00428
Zanja 5	7.1	0.0904	20.95	0.00432



<b>Línea 8</b>				
Zanja 1	9.1	0.0965	41.25	0.00234
Zanja 2	10.9	0.1780	45.60	0.00390
Zanja 3	7.5	0.1309	33.00	0.00397
Zanja 4	7.3	0.0588	28.84	0.00204
<b>Línea 9</b>				
Zanja 1	10.1	0.1114	38.11	0.00292
Zanja 2	4.3	0.0648	15.1938	0.0043
<b>Línea 10</b>				
Zanja 1	6.8	0.1244	31.28	0.00398
			<b>Promedio</b>	<b>0.00274</b>

### Zanjas tipo 2 (30cm de base)

<b>Línea 1</b>	<b>Largo (m)</b>	<b>Volumen sedimentado(m<sup>3</sup>)</b>	<b>Área de impluvio (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Altura suelo erosionado(m)</b>
Zanja 1	4.4	0.1406	4.82	0.02918
Zanja 2	4.6	0.1404	5.10	0.02750
Zanja 3	10.8	0.3197	11.88	0.02691
Zanja 4	4.7	0.0775	5.20	0.01490
Zanja 5	9.4	0.1722	10.30	0.01673
<b>Línea 2</b>				
Zanja 1	9.3	0.0312	58.77	0.00053
Zanja 2	7.7	0.0226	48.45	0.00047
Zanja 3	7.7	0.0192	48.70	0.00039
Zanja 4	7.7	0.0159	48.45	0.00033
Zanja 5	4.4	0.0105	27.43	0.00038
<b>Línea 3</b>				
Zanja 1	4.3	0.1246	30.13	0.00414
Zanja 2	7.7	0.2228	54.66	0.00408
Zanja 3	4.6	0.1083	32.61	0.00332
Zanja 4	9.8	0.1627	69.48	0.00234
Zanja 5	7.6	0.2153	54.03	0.00398
Zanja 6				
<b>Línea 4</b>				
Zanja 1	7.3	0.0147	46.22	0.00032
Zanja 2	4.7	0.0133	29.63	0.00045
Zanja 3	7.6	0.0177	47.67	0.00037
Zanja 4	9.7	0.0166	61.35	0.00027
Zanja 5	9.2	0.0118	58.26	0.00020
<b>Línea 5</b>				
Zanja 1	7.3	0.1447	55.52	0.00261
Zanja 2	7.8	0.1507	58.94	0.00256
Zanja 3	9.6	0.2362	72.91	0.00324
Zanja 4	9.8	0.2372	74.13	0.00320
Zanja 5	4.4	0.0864	33.27	0.00260

<b>Línea 6</b>				
Zanja 1	9.3	0.0136	59.02	0.00023
Zanja 2	7.6	0.0190	48.48	0.00039
Zanja 3	10.5	0.0245	66.90	0.00037
Zanja 4	10.6	0.0159	67.22	0.00024
			<b>Promedio</b>	<b>0.00507</b>

## PUMANQUE

### Zanjas tipo 1

<b>Línea 1</b>	<b>Largo (m)</b>	<b>Volumen sedimentado(m<sup>3</sup>)</b>	<b>Área de impluvio (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Altura suelo erosionado(m)</b>
Zanja 1	4.1	0.020	3.90	0.00505
Zanja 2	10.8	0.022	12.42	0.00174
<b>Línea 2</b>				
Zanja 1	10.7	0.026	61.53	0.00042
Zanja 2	4.4	0.009	21.80	0.00042
Zanja 3	9.1	0.013	64.16	0.00020
<b>Línea 3</b>				
Zanja 1	10.7	0.028	35.04	0.00079
Zanja 2	4.4	0.009	13.16	0.00067
Zanja 3	9.1	0.024	33.67	0.00072
Zanja 4	4.5	0.012	16.79	0.00071
<b>Línea 4</b>				
Zanja 1	1.0	0.002	4.36	0.00041
Zanja 2	10.1	0.017	32.32	0.00051
Zanja 3	9.3	0.016	64.64	0.00024
Zanja 4	4.5	0.005	6.62	0.00082
<b>Línea 5</b>				
Zanja 1	4.4	0.006	19.38	0.00032
Zanja 2	10.3	0.021	35.95	0.00057
Zanja 3	9.5	0.036	51.54	0.00070
Zanja 4	10.2	0.014	46.10	0.00031
Zanja 5	4.1	0.009	13.71	0.00066
<b>Línea 6</b>				
Zanja 1	10.4	0.031	35.62	0.00086
Zanja 2	10.3	0.030	37.49	0.00081
Zanja 3	10.6	0.039	61.75	0.00062
Zanja 4	9.9	0.018	44.06	0.00040
<b>Línea 7</b>				
Zanja 1	4.4	0.011	16.35	0.00070
Zanja 2	10.3	0.041	40.48	0.00102
Zanja 3	9.5	0.044	31.54	0.00139
Zanja 4	10.2	0.055	36.38	0.00151
Zanja 5	4.1	0.004	13.71	0.00030

<b>Línea 8</b>				
Zanja 1	10.6	0.058	36.82	0.00157
Zanja 2	9.5	0.029	48.36	0.00059
Zanja 3	9.6	0.024	26.93	0.00088
Zanja 4	4.7	0.016	16.10	0.00096
<b>Línea 9</b>				
Zanja 1	4.1	0.026	18.57	0.00141
Zanja 2	10.3	0.029	48.56	0.00059
Zanja 3	10.4	0.031	38.84	0.00080
Zanja 4	10.5	-0.015	49.61	-0.00030
Zanja 5	7.2	0.012	29.20	0.00039
<b>Línea 10</b>				
Zanja 1	9.2	0.013	53.13	0.00024
Zanja 2	9.4	0.009	30.27	0.00029
Zanja 3	7.3	0.018	27.85	0.00064
<b>Línea 11</b>				
Zanja 1	5.5	0.014	23.93	0.00060
Zanja 2	7.4	0.001	28.23	0.00005
			<b>Promedio</b>	<b>0.00077</b>

## Zanjas tipo 2

<b>Línea 1</b>	<b>Largo (m)</b>	<b>Volumen sedimentado(m<sup>3</sup>)</b>	<b>Área de impluvio (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Altura suelo erosionado(m)</b>
Zanja 1	3.8	0.0288	4.50	0.00639
Zanja 2	10.5	0.0452	17.01	0.00265
Zanja 3	9.3	0.0312	11.63	0.00268
Zanja 4	9.4	0.0512	6.58	0.00779
Zanja 5	2.9	0.0078	2.18	0.00360
<b>Línea 2</b>				
Zanja 1	10.1	0.0475	62.89	0.00075
Zanja 2	9.9	0.0141	53.56	0.00026
Zanja 3	6.3	0.0198	29.99	0.00066
Zanja 4	3.5	0.0328	20.30	0.00162
<b>Línea 3</b>				
Zanja 1	4.2	0.0214	23.21	0.00092
Zanja 2	10.5	-0.0063	70.19	-0.00009
Zanja 3	9.4	0.0301	58.61	0.00051
Zanja 4	4.5	0.0333	31.16	0.00107
Zanja 5	7.0	0.0725	59.71	0.00121
<b>Línea 4</b>				
Zanja 1	10.4	0.0733	55.54	0.00132
Zanja 2	10.5	0.0294	75.36	0.00039
Zanja 3	9.6	0.0432	64.42	0.00067
Zanja 4	7.5	0.0203	49.80	0.00041

<b>Línea 5</b>				
Zanja 1	4.2	0.0542	23.04	0.00235
Zanja 2	10.3	0.0855	47.48	0.00180
Zanja 3	9.3	-0.0191	61.60	-0.00031
Zanja 4	9.3	0.0200	51.94	0.00038
Zanja 5	4.5	-0.0057	25.76	-0.00022
<b>Línea 6</b>				
Zanja 1	10.3	0.0443	48.03	0.00092
Zanja 2	10.3	0.0520	61.59	0.00084
Zanja 3	10.0	0.0575	55.40	0.00104
Zanja 4	6.7	0.0245	35.74	0.00068
<b>Línea 7</b>				
Zanja 1	6.2	0.0192	32.05	0.00060
			<b>Promedio</b>	<b>0.00146</b>

## BOTACURA

### Zanjas tipo 1

<b>Línea 1</b>	<b>Largo (m)</b>	<b>Volumen sedimentado(m<sup>3</sup>)</b>	<b>Área de impluvio (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Altura suelo erosionado(m)</b>
Zanja 1	3.1	0.020	3.10	0.00655
<b>Línea 2</b>				
Zanja 1	10.1	0.037	80.13	0.00046
Zanja 2	10.2	0.056	42.84	0.00130
<b>Línea 3</b>				
Zanja 1	4.3	0.020	34.40	0.00059
Zanja 2	10.1	0.041	87.87	0.00047
Zanja 3	7.9	0.038	72.68	0.00053
Zanja 4	9.1	0.046	56.72	0.00080
Zanja 5	4.5	0.051	9.45	0.00543
<b>Línea 4</b>				
Zanja 1	4.0	0.009	34.40	0.00027
Zanja 2	4.8	0.022	38.64	0.00058
Zanja 3	8.3	0.040	78.85	0.00051
Zanja 4	9.7	0.057	108.32	0.00053
Zanja 5	7.9	0.040	100.33	0.00040
<b>Línea 5</b>				
Zanja 1	4.0	0.052	35.20	0.00148
Zanja 2	3.3	0.016	30.36	0.00053
Zanja 3	6.0	0.038	57.00	0.00066
Zanja 4	8.8	0.064	66.59	0.00096
Zanja 5	8.9	0.048	70.90	0.00068
Zanja 6	3.5	0.017	34.48	0.00049

<b>Línea 6</b>				
Zanja 1	7.5	0.022	63.50	0.00034
Zanja 2	1.8	0.004	15.75	0.00025
Zanja 3	6.0	0.020	59.80	0.00033
			<b>Promedio</b>	<b>0.00110</b>

### Zanjas tipo 2

<b>Línea 1</b>	<b>Largo (m)</b>	<b>Volumen sedimentado(m<sup>3</sup>)</b>	<b>Área de impluvio (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Altura suelo erosionado(m)</b>
Zanja 1	2.6	0.0226	5.98	0.00378
<b>Línea 2</b>				
Zanja 1	9.7	0.0451	129.98	0.00035
Zanja 2	10.3	0.0536	132.53	0.00040
Zanja 3	3.8	0.0234	44.65	0.00052
Zanja 4	6.0	0.0675	52.20	0.00129
<b>Línea 3</b>				
Zanja 1	4.0	0.0240	45.60	0.00053
Zanja 2	9.6	0.0974	107.20	0.00091
Zanja 3	9.3	0.0498	93.00	0.00054
Zanja 4	8.8	0.0392	88.00	0.00045
Zanja 5	4.2	0.0572	42.63	0.00134
<b>Línea 4</b>				
Zanja 1	10.4	0.0728	133.81	0.00054
Zanja 2	10.2	0.0780	148.92	0.00052
Zanja 3	9.7	0.0986	139.03	0.00071
Zanja 4	5.5	0.0425	83.78	0.00051
			<b>Promedio</b>	<b>0.00089</b>

### PARRÓN

#### Zanjas tipo 1

<b>Línea 1</b>	<b>Largo (m)</b>	<b>Volumen sedimentado(m<sup>3</sup>)</b>	<b>Área de impluvio (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Altura suelo erosionado(m)</b>
<b>Sin Clavos</b>				
<b>Línea 2</b>				
Zanja 1	10.1	0.0774	105.71	0.00073
Zanja 2	7.0	0.0803	75.25	0.00107
Zanja 3	9.0	0.0750	83.70	0.00090
Zanja 4	3.4	0.0435	31.96	0.00136
<b>Línea 3</b>				
Zanja 1	3.9	0.0450	34.13	0.00132
Zanja 2	10.0	0.0700	83.00	0.00084
Zanja 3	3.3	0.0325	29.87	0.00109
Zanja 4	6.1	0.0735	56.73	0.00130

<b>Línea 4</b>				
Zanja 1	4.1	0.0244	36.29	0.00067
Zanja 2	10.0	0.0733	98.00	0.00075
Zanja 3	6.7	0.0288	68.68	0.00042
Zanja 4	8.8	0.0871	78.32	0.00111
<b>Línea 5</b>				
Zanja 1	4.1	0.0256	36.29	0.00071
Zanja 2	10.0	0.0170	98.00	0.00017
Zanja 3	6.7	0.0518	68.68	0.00075
Zanja 4	8.8	0.0956	78.32	0.00122
			<b>Promedio</b>	<b>0.00090</b>

### Zanjas tipo 2

<b>Línea 1</b>	<b>Largo (m)</b>	<b>Volumen sedimentado(m<sup>3</sup>)</b>	<b>Área de impluvio (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Altura suelo erosionado(m)</b>
Zanja 1	4.3	0.018	24.51	0.00073
Zanja 2	7.0	0.094	62.65	0.00150
Zanja 3	10.9	0.163	119.90	0.00136
<b>Línea 2</b>				
Zanja 1	10.2	0.064	119.00	0.00054
Zanja 2	9.8	0.104	130.67	0.00080
Zanja 3	9.9	0.048	166.32	0.00029
Zanja 4	10.8	0.102	199.08	0.00051
<b>Línea 3</b>				
Zanja 1	4.2	0.058	47.88	0.00120
Zanja 2	6.7	0.049	64.32	0.00076
Zanja 3	2.4	0.015	18.96	0.00081
<b>Línea 4</b>				
Zanja 1	9.5	0.099	113.37	0.00087
Zanja 2	10.1	0.051	118.84	0.00042
			<b>Promedio</b>	<b>0.00082</b>

NAME

### Zanjas tipo 1

<b>Línea 1</b>	<b>Largo (m)</b>	<b>Volumen sedimentado(m<sup>3</sup>)</b>	<b>Área de impluvio (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Altura suelo erosionado(m)</b>
Zanja 1	3.9	0.02301	4.10	0.00562
Zanja 2	10.0	0.0347	15.50	0.00224
Zanja 3	8.9	0.0326	51.18	0.00064
Zanja 4	9.0	0.0447	21.15	0.00211

<b>Línea 2</b>				
Zanja 1	8.6	0.0255	42.43	0.00060
Zanja 2	4.1	0.0244	13.12	0.00186
Zanja 3	7.0	0.0292	36.75	0.00079
Zanja 4	10.0	0.0487	58.00	0.00084
Zanja 5	4.3	0.0299	26.23	0.00114
<b>Línea 3</b>				
Zanja 1	4.2	0.0086	19.74	0.00044
Zanja 2	7.1	0.0267	34.61	0.00077
Zanja 3	4.1	0.0148	20.71	0.00071
Zanja 4	7.6	0.0322	27.11	0.00119
Zanja 5	4.0	0.0176	14.60	0.00121
Zanja 6	7.1	0.0391	22.48	0.00174
<b>Línea 4</b>				
Zanja 1	9.5	0.0234	45.60	0.00051
Zanja 2	4.2	0.0171	16.38	0.00104
Zanja 3	7.1	0.0209	19.88	0.00105
Zanja 4	4.0	0.0188	14.40	0.00131
Zanja 5	10.1	0.0485	38.89	0.00125
<b>Línea 5</b>				
Zanja 1	4.1	0.0166	14.97	0.00111
Zanja 2	4.0	0.0120	12.87	0.00093
Zanja 3	8.3	0.0423	32.37	0.00131
Zanja 4	4.2	0.0357	19.32	0.00185
Zanja 5	4.7	0.0193	16.69	0.00115
Zanja 6	4.1	0.0162	17.02	0.00095
<b>Línea 6</b>				
Zanja 1	8.1	0.0500	33.21	0.00150
Zanja 2	4.1	0.0172	17.73	0.00097
Zanja 3	7.0	0.0254	30.00	0.00085
Zanja 4	9.7	0.0446	41.06	0.00109
Zanja 5	4.2	0.0242	24.22	0.00100
<b>Línea 7</b>				
Zanja 1	7.3	0.0285	31.76	0.00090
Zanja 2	10.2	0.0680	51.00	0.00133
Zanja 3	9.2	0.0552	42.93	0.00129
Zanja 4	7.2	0.0533	30.60	0.00174
<b>Línea 8</b>				
Zanja 1	4.1	0.0107	16.61	0.00064
Zanja 2	10.2	0.0188	45.56	0.00041
Zanja 3	9.9	0.0469	46.86	0.00100
Zanja 4	10.3	0.0374	44.81	0.00084

<b>Línea 9</b>				
Zanja 1	11.1	0.0514	38.48	0.00134
Zanja 2	10.2	0.0309	37.06	0.00083
Zanja 3	9.1	0.0458	34.28	0.00134
Zanja 4	4.2	0.0181	14.91	0.00121
			<b>Promedio</b>	<b>0.00122</b>

### Zanjas tipo 2

<b>Línea 1</b>	<b>Largo (m)</b>	<b>Volumen sedimentado(m<sup>3</sup>)</b>	<b>Área de impluvio (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Altura suelo erosionado(m)</b>
Zanja 1	7.7	0.0400	43.51	0.00092
Zanja 2	4.0	0.0222	13.40	0.00166
<b>Línea 2</b>				
Zanja 1	4.0	0.0231	32.93	0.00070
Zanja 2	7.2	0.0432	34.56	0.00125
Zanja 3	9.1	0.0619	33.67	0.00184
Zanja 4	7.0	0.0511	16.80	0.00304
Zanja 5	4.1	0.0249	2.46	0.01013
<b>Línea 3</b>				
Zanja 1	9.5	0.0926	59.53	0.00156
Zanja 2	4.0	0.0663	23.20	0.00286
Zanja 3	9.0	0.0239	49.50	0.00048
<b>Línea 4</b>				
Zanja 1	4.0	0.0243	23.40	0.00104
Zanja 2	7.3	0.0624	48.55	0.00129
Zanja 3	10.4	0.0998	65.87	0.00152
Zanja 4	7.5	0.0551	43.75	0.00126
Zanja 5	4.1	0.0323	29.32	0.00110
<b>Línea 5</b>				
Zanja 1	10.3	0.0299	57.68	0.00052
Zanja 2	9.7	0.0606	57.88	0.00105
Zanja 3	8.0	0.0640	55.73	0.00115
Zanja 4	7.1	0.0536	41.89	0.00128
<b>Línea 6</b>				
Zanja 1	4.1	0.0335	24.40	0.00137
Zanja 2	10.2	0.1081	61.20	0.00177
Zanja 3	4.1	0.0212	32.39	0.00066
Zanja 4	4.1	0.0068	33.83	0.00020
Zanja 5	9.0	0.0691	63.60	0.00109
<b>Línea 7</b>				
Zanja 1	4.1	0.0243	19.68	0.00123
Zanja 2	4.1	0.0160	18.86	0.00085
			<b>Promedio</b>	<b>0.00161</b>



## LLOHUE

### Zanjas tipo 1

<b>Línea 1</b>	<b>Largo (m)</b>	<b>Volumen sedimentado(m<sup>3</sup>)</b>	<b>Área de impluvio (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Altura suelo erosionado(m)</b>
Zanja 1	2.1	0.0227	5.83	0.00389
Zanja 2	5.2	0.0229	23.40	0.00098
Zanja 3	4.6	0.0092	32.66	0.00028
<b>Línea 2</b>				
Zanja 1	9.8	0.0947	50.47	0.00188
Zanja 2	8.9	0.1199	78.41	0.00153
Zanja 3	8.9	0.0307	77.21	0.00040
<b>Línea 3</b>				
Zanja 1	9.9	0.0792	83.90	0.00094
Zanja 2	10.0	0.0398	87.00	0.00046
Zanja 3	8.6	0.0654	75.68	0.00086
Zanja 4	6.8	0.0367	57.39	0.00064
<b>Línea 4</b>				
Zanja 1	3.9	0.0218	35.69	0.00061
Zanja 2	10.0	0.0645	99.50	0.00065
Zanja 3	9.1	0.0259	95.55	0.00027
Zanja 4	9.0	0.0108	90.00	0.00012
Zanja 5	4.0	0.0840	36.60	0.00230
<b>Línea 5</b>				
Zanja 1	9.8	0.0428	78.73	0.00054
Zanja 2	4.8	0.0245	36.24	0.00068
Zanja 3	3.1	0.0056	22.32	0.00025
Zanja 4	10.0	0.0300	71.50	0.00042
<b>Línea 6</b>				
Zanja 1	4.1	0.0242	34.85	0.00069
			<b>Promedio</b>	<b>0.00092</b>

### Zanjas tipo 2

<b>Línea 1</b>	<b>Largo (m)</b>	<b>Volumen sedimentado(m<sup>3</sup>)</b>	<b>Área de impluvio (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Altura suelo erosionado(m)</b>
Zanja 1	3.8	0.0331	12.16	0.00272
Zanja 2	9.6	0.0840	63.84	0.00132
Zanja 3	8.6	0.0606	86.86	0.00070
Zanja 4	1.6	0.0096	19.12	0.00050
Zanja 5	6.6	0.1173	80.85	0.00145
<b>Línea 2</b>				
Zanja 1	10.1	0.0737	117.67	0.00063
Zanja 2	9.8	0.0456	109.76	0.00042
Zanja 3	9.9	0.1965	115.83	0.00170
Zanja 4	7.0	0.0315	88.55	0.00036

<b>Línea 3</b>				
Zanja 1	4.1	0.0258	51.66	0.00050
Zanja 2	10.0	-0.0280	266.00	-0.00011
Zanja 3	8.7	0.0515	122.24	0.00042
Zanja 4	9.0	0.0277	122.40	0.00023
Zanja 5	4.2	0.0309	57.54	0.00054
			<b>Promedio</b>	<b>0.00081</b>

## MANZANARES

### Zanjas tipo 1

<b>Línea 1</b>	<b>Largo (m)</b>	<b>Volumen sedimentado(m<sup>3</sup>)</b>	<b>Área de impluvio (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Altura suelo erosionado(m)</b>
Zanja 1	4.2	0.0515	8.82	0.00583
Zanja 2	7.6	0.0776	31.66	0.00245
Zanja 3	4.4	0.0837	23.49	0.00356
<b>Línea 2</b>				
Zanja 1	7.1	0.0613	37.52	0.00163
Zanja 2	7.5	0.0847	46.67	0.00181
Zanja 3	7.5	0.1120	50.66	0.00221
<b>Línea 3</b>				
Zanja 1	7.1	0.0666	34.34	0.00194
Zanja 2	9.8	0.1087	55.22	0.00197
Zanja 3	10.6	0.0823	60.79	0.00135
<b>Línea 4</b>				
Zanja 1	4.2	0.0618	17.87	0.00346
Zanja 2	4.7	0.0346	23.84	0.00145
Zanja 3	7.6	0.1123	44.62	0.00252
Zanja 4	10.6	0.1212	63.46	0.00191
Zanja 5	4.3	0.0540	25.37	0.00213
<b>Línea 5</b>				
Zanja 1	9.4	0.0620	45.59	0.00136
Zanja 2	7.5	0.0550	36.30	0.00152
Zanja 3	4.7	0.0681	23.33	0.00292
Zanja 4	7.4	0.1216	37.74	0.00322
Zanja 5	4.8	0.0648	23.28	0.00278
Zanja 6	5.0	0.0495	23.75	0.00208
<b>Línea 6</b>				
Zanja 1	4.2	0.0298	20.45	0.00146
Zanja 2	10.8	0.1102	61.02	0.00181
Zanja 3	9.6	0.1418	53.86	0.00263
Zanja 4	7.6	0.1065	40.58	0.00262
Zanja 5	5.9	0.0938	30.53	0.00307
Zanja 6	10.0	0.2047	49.67	0.00412

<b>Línea 7</b>				
Zanja 1	7.4	0.0449	33.67	0.00133
Zanja 2	10.7	0.0524	48.15	0.00109
Zanja 3	7.6	0.1745	29.64	0.00589
Zanja 4	7.7	0.1131	26.43	0.00428
Zanja 5	7.1	0.0904	20.95	0.00432
<b>Línea 8</b>				
Zanja 1	9.1	0.0965	41.25	0.00234
Zanja 2	10.9	0.1780	45.60	0.00390
Zanja 3	7.5	0.1309	33.00	0.00397
Zanja 4	7.3	0.0588	28.84	0.00204
<b>Línea 9</b>				
Zanja 1	10.1	0.1114	38.11	0.00292
Zanja 2	4.3	0.0648	15.1938	0.0043
<b>Línea 10</b>				
Zanja 1	6.8	0.1244	31.28	0.00398
			<b>Promedio</b>	<b>0.00274</b>

#### Zanjas tipo 2

<b>Línea 1</b>	<b>Largo (m)</b>	<b>Volumen sedimentado(m<sup>3</sup>)</b>	<b>Área de impluvio (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Altura suelo erosionado(m)</b>
Zanja 1	4.4	0.1406	4.82	0.02918
Zanja 2	4.6	0.1404	5.10	0.02750
Zanja 3	10.8	0.3197	11.88	0.02691
Zanja 4	4.7	0.0775	5.20	0.01490
Zanja 5	9.4	0.1722	10.30	0.01673
<b>Línea 2</b>				
Zanja 1	9.3	0.0312	58.77	0.00053
Zanja 2	7.7	0.0226	48.45	0.00047
Zanja 3	7.7	0.0192	48.70	0.00039
Zanja 4	7.7	0.0159	48.45	0.00033
Zanja 5	4.4	0.0105	27.43	0.00038
<b>Línea 3</b>				
Zanja 1	4.3	0.1246	30.13	0.00414
Zanja 2	7.7	0.2228	54.66	0.00408
Zanja 3	4.6	0.1083	32.61	0.00332
Zanja 4	9.8	0.1627	69.48	0.00234
Zanja 5	7.6	0.2153	54.03	0.00398
Zanja 6				
<b>Línea 4</b>				
Zanja 1	7.3	0.0147	46.22	0.00032
Zanja 2	4.7	0.0133	29.63	0.00045
Zanja 3	7.6	0.0177	47.67	0.00037
Zanja 4	9.7	0.0166	61.35	0.00027
Zanja 5	9.2	0.0118	58.26	0.00020

<b>Línea 5</b>				
Zanja 1	7.3	0.1447	55.52	0.00261
Zanja 2	7.8	0.1507	58.94	0.00256
Zanja 3	9.6	0.2362	72.91	0.00324
Zanja 4	9.8	0.2372	74.13	0.00320
Zanja 5	4.4	0.0864	33.27	0.00260
<b>Línea 6</b>				
Zanja 1	9.3	0.0136	59.02	0.00023
Zanja 2	7.6	0.0190	48.48	0.00039
Zanja 3	10.5	0.0245	66.90	0.00037
Zanja 4	10.6	0.0159	67.22	0.00024
			<b>Promedio</b>	<b>0.00507</b>

## APÉNDICE 2

### 1. Análisis estadístico de la sobrevivencia. Test Chi Cuadrado

Tablas de frecuencias observadas y esperadas

#### HIDANGO

		Tratamientos					
		1	2	3	4	5	
Nº plantas	Testigo	Subsolado 1	Subsolado 2	Zanjas 1	Zanjas 2	Total	
Vivas	107(113.2)	119(123.2)	136(122.4)	127(124.9)	123(128.3)	612	
Muertas	28(21.8)	28(23.8)	10(23.6)	22(24.1)	30(24.7)	118	
<b>Total</b>	135	147	146	149	153	730	

4 grados de libertad y alfa de 0.0005

$$X^2 = (107 - 113.2)^2 / 113.2 + (119 - 123.2)^2 / 123.2 + (136 - 122.4)^2 / 122.4 + (123.8 - 128.3)^2 / 128.3 + (28 - 21.8)^2 / 21.8 + (28 - 23.8)^2 / 23.8 + (10 - 23.6)^2 / 23.6 + (22 - 24.1)^2 / 24.1 + (30 - 24.7)^2 / 24.7 = 13.91$$

Chi cuadrado con 4g.l (0.0005) = 9.49 ; valor p = 0.0077

#### LA ROSA

		Tratamientos			
		1	2	3	
	Subsolado 1	Testigo	Subsolado 2	Total	
Vivas	135(146.3)	160(155.4)	144(137.2)	439	
Muertas	42(30.7)	28(32.6)	22(28.8)	92	
<b>Total</b>	177	188	166	531	

$$X^2 = (135 - 146.3)^2 / 146.3 + (160 - 155.4)^2 / 155.4 + (144 - 137.2)^2 / 137.2 + (42 - 30.7)^2 / 30.7 + (28 - 32.6)^2 / 32.6 + (22 - 28.8)^2 / 28.8 = 7.76$$

Chi cuadrado con 2g.l (0.0002) = 5.99 ; valor p = 0.0206

#### PARRÓN

		Tratamientos					
		1	2	3	4	5	
	Zanjas 1	Zanjas 2	Subsolado 1	Testigo	Subsolado 2	Total	
Vivas	132(133.6)	144(141.4)	137(135.5)	167(168.9)	137(137.5)	717	
Muertas	4(2.4)	0(2.6)	1(2.5)	5(2.5)	3(2.5)	13	
<b>Total</b>	136	144	138	172	140	730	

$$X^2 = (132 - 133.6)^2 / 133.6 + (144 - 141.4)^2 / 141.4 + (137 - 135.5)^2 / 135.5 + (167 - 168.9)^2 / 168.9 + (137 - 137.5)^2 / 137.5 + (4 - 2.4)^2 / 2.4 + (0 - 2.6)^2 / 2.6 + (1 - 2.5)^2 / 2.5 + (5 - 2.5)^2 / 2.5 + (3 - 2.5)^2 / 2.5 = 5.8$$

Chi cuadrado con 4g.l (0.0005) = 9.49 ; valor p = 0.2075

NAME

	1	2	3	
	Zanjas 1	Zanjas 2	Testigo	Total
Vivas	153(137.3)	129(132.9)	143(154.9)	425
Muertas	3(18.7)	22(18.1)	33(21.1)	58
Total	156	151	176	483

$$X^2 = (153-137.3)^2 / 137.3 + (129-132.9)^2 / 132.9 + (143-154.9)^2 / 154.9 + (3-18.9)^2 / 18.9 + (22-18.1)^2 / 18.1 + (33-21.1)^2 / 21.1 = 24$$

Chi cuadrado con 2g.l (0.0002) = 5.99 ; valor p = 0.0

### LLOHUÉ

	1	2	3	Total
	Zanjas 1	Zanjas 2	Testigo	
Vivas	149(132.7)	155(164.7)	146(152.7)	450
Muertas	17(33.3)	51(41.3)	45(38.3)	113
Total	166	206	191	563

$$X^2 = (149-132.7)^2 / 132.7 + (155-164.7)^2 / 164.7 + (146-152.7)^2 / 152.7 + (17-33.3)^2 / 33.3 + (51-41.3)^2 / 41.3 + (45-38.3)^2 / 38.3 = 14.27$$

Chi cuadrado con 2g.l (0.0002) = 5.99 ; valor p = 0.0

### MANZANARES

	1	2	3	4	5	
	Subsolado 1	Subsolado 2	Zanjas 1	Zanjas 2	Testigo	Total
Vivas	151(147.4)	222(230.1)	139(146.4)	179(165.5)	154(155.5)	845
Muertas	11(14.6)	31(22.9)	22(14.6)	3(16.5)	17(15.5)	84
Total	162	253	161	182	171	929

$$X^2 = (151-147.4)^2 / 147.4 + (222-230.1)^2 / 230.1 + (139-146.4)^2 / 146.4 + (179-165.5)^2 / 165.5 + (154-155.5)^2 / 155.5 + (11-14.6)^2 / 14.6 + (31-22.9)^2 / 22.9 + (22-14.6)^2 / 14.6 + (3-16.5)^2 / 16.5 + (17-15.5)^2 / 15.5 = 5.89$$

Chi cuadrado con 4g.l (0.0005) = 9.49 ; valor p = 0.2075

## 2. Análisis estadístico del Test Z.

$$Z = \frac{p_1 - p_2}{\sqrt{(p(1-p)) * \left( \frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right)}}$$

Donde :

- $p_1$  : Proporción de la sobrevivencia para el tratamiento 1
- $p_2$  : Proporción de la sobrevivencia para el tratamiento 2
- $p$  : Promedio ponderado de las proporciones  $p_1$  y  $p_2$
- $n_1$  : Número de datos del tratamiento 1
- $n_2$  : Número de datos del tratamiento 2

## HIDANGO

	N	% Prendimiento
<b>Testigo</b>	107	0,793
<b>Subsolado 1</b>	119	0,81
<b>Subsolado 2</b>	136	0,971
<b>Zanjas 1</b>	127	0,864
<b>Zanjas 2</b>	123	0,804

## TEST Z

### Tratamientos

	1/2	1/3	1/4	1/5	2/3	2/4	2/5	3/4	3/5	4/5
<b>Z</b>	-0,32	-4,03	-1,42	-0,21	-3,82	-1,13	0,12	2,79	3,94	1,26
<b>p</b>	0,80	0,86	0,82	0,80	0,87	0,83	0,81	0,89	0,87	0,83
<b>Valor p</b>	<b>0,375</b>	<b>&lt;0.0001</b>	<b>0,078</b>	<b>0,417</b>	<b>&lt;0.0001</b>	<b>0,129</b>	<b>0,548</b>	<b>0,997</b>	<b>&gt;0.999</b>	<b>0,896</b>

- 1: Testigo
- 2: Subsolado 1
- 3: Subsolado 2
- 4: Zanjas tipo 1
- 5: Zanjas tipo 2

## LA ROSA

### TEST Z

#### Tratamientos

	N	%Prendimiento
<b>Testigo</b>	160	0,851
<b>Subsolado 1</b>	135	0,763
<b>Subsolado 2</b>	144	0,867

	1/2	1/3	2/3
<b>Z</b>	1,91	-0,40	-2,23
<b>p</b>	0,81	0,86	0,81
<b>Valor p</b>	<b>0,972</b>	<b>0,345</b>	<b>0,013</b>

- 1: Testigo
- 2: Subsolado 1
- 3: Subsolado 2

## NAME

### TEST Z

#### Tratamientos

	N	%Prendimiento
<b>Testigo</b>	143	0,813
<b>Zanjas 1</b>	153	0,981
<b>Zanjas 2</b>	129	0,854

	1/2	1/3	2/3
<b>Z</b>	-4,65	-3,70	3,88
<b>p</b>	0,89	0,83	0,92
<b>Valor p</b>	<b>&lt;0.0001*</b>	<b>&lt;0.0001*</b>	<b>&gt;0.999</b>

- 1: Testigo
- 2: Zanjas tipo 1
- 3: Zanjas tipo 2

## LLOHUÉ

### TEST Z

#### Tratamientos

	N	%Prendimiento
<b>Testigo</b>	146	0,764
<b>Zanjas 1</b>	149	0,898
<b>Zanjas 2</b>	155	0,752

	1/2	1/3	2/3
<b>Z</b>	-3,04	0,24	3,29
<b>p</b>	0,83	0,76	0,82
<b>Valor p</b>	<b>0,0012</b>	<b>0,5948</b>	<b>0,9995</b>

- 1: Testigo
- 2: Zanjas tipo 1
- 3: Zanjas tipo 2

**MANZANARES**

	<b>N</b>	<b>% Prendimiento</b>
<b>Testigo</b>	154	0.901
<b>Subsolado 1</b>	151	0.932
<b>Subsolado 2</b>	222	0.877
<b>Zanjas 1</b>	139	0.863
<b>Zanjas 2</b>	179	0.984

**TEST Z**

**Tratamientos**

	<b>1/2</b>	<b>1/3</b>	<b>1/4</b>	<b>1/5</b>	<b>2/3</b>	<b>2/4</b>	<b>2/5</b>	<b>3/4</b>	<b>3/5</b>	<b>4/5</b>
<b>Z</b>	-0.98	0.72	1.01	-3.27	1.57	1.94	-2.38	0.39	-3.97	-4.12
<b>p</b>	0.92	0.89	0.88	0.94	0.87	0.90	0.96	0.87	0.92	0.93
<b>Valor p</b>	<b>0.164</b>	<b>0.764</b>	<b>0.844</b>	<b>0.0005</b>	<b>0.942</b>	<b>0.974</b>	<b>0.0087</b>	<b>0.652</b>	<b>&lt;0.0001</b>	<b>&lt;0.0001</b>

- 1: Testigo
- 2: Subsolado 1
- 3: Subsolado 2
- 4: Zanjas tipo 1
- 5: Zanjas tipo 2