



Roberto Pizarro T., Claudia Sangüesa P.,
Juan Pablo Flores V., Enzo Martínez A.



ELEMENTOS DE INGENIERÍA HIDROLÓGICA PARA EL MEJORAMIENTO DE LA PRODUCTIVIDAD SILVÍCOLA

Proyecto marco: 00C7ET-08
“Determinación de estándares de ingeniería en obras de conservación y aprovechamiento de aguas y suelos para la mantención e incremento de la productividad silvícola”

Financiamiento:
Fondo de Desarrollo e Innovación de la Corporación de Fomento de la Producción, CORFO, Chile

Sociedad de Estándares de Ingeniería para Aguas y Suelos Ltda., sociedad está conformada por:

Universidad de Talca
Bosques de Chile S.A.
Bosques Villanueva Ltda.
Terranova S.A.

Instituciones asociadas:

Instituto Forestal
Banestado Microempresas S.A.
Corporación Nacional Forestal
Dirección General de Aguas
Forestal Celco S.A.
Prodecop - Secano
Universidad Politécnica de Madrid

ELEMENTOS DE INGENIERÍA HIDROLÓGICA PARA EL MEJORAMIENTO DE LA PRODUCTIVIDAD SILVÍCOLA



Roberto Pizarro Tapia
Claudia Sangüesa Pool
Juan Pablo Flores Villanelo
Enzo Martínez Araya

ELEMENTOS DE INGENIERÍA HIDROLÓGICA PARA EL MEJORAMIENTO DE LA PRODUCTIVIDAD SILVÍCOLA

PROYECTO EDI - CORRO

**Determinación de Estándares de Ingeniería en Obras de
Conservación y Aprovechamiento de Aguas y Suelos,
para la Mantención e Incremento de la Productividad Silvícola.**

**Sociedad Estándares de Ingeniería para Aguas y Suelos Ltda.,
está conformada por:**

**Universidad de Talca
Bosques de Chile S.A.
Terranova S.A.
Bosques Villanueva Ltda.**

Instituciones asociadas:

**Instituto Forestal (INFOR)
Banestado Microempresas S.A.
Corporación Nacional Forestal (CONAF)
Dirección General de Aguas (DGA)
Forestal Celco S.A.
Prodecop - Secano
Universidad Politécnica de Madrid**

Equipo Colaborador:

**Dayanna Aravena G.
Andrea Pavez R.
Cristián Jordán D.
Mauricio Ponce D.**

Registro de Propiedad Intelectual N° 145215

ISBN 956-299-558-5

Talca, Chile, enero de 2005

Diseño de Portada
Marcela Alborno Dachelet

Diagramación
Mabel Urrutia Olave

Corrección de textos
Cecilia Fernández Viveros

Impresora Contacto Ltda.
Impreso en Chile



ELEMENTOS DE INGENIERÍA HIDROLÓGICA PARA EL MEJORAMIENTO DE LA PRODUCTIVIDAD SILVÍCOLA

**Roberto Pizarro Tapia
Claudia Sangüesa Pool
Juan Pablo Flores Villanelo
Enzo Martínez Araya**

*LA CULTURA ES LA CREACIÓN QUE EL SER HUMANO
HA HECHO PARA MEJORAR LA VIDA Y PARA MEJORAR EL MUNDO»*

Volodia Teitelboim

Dedicado a:

Los Ingenieros Forestales que a lo largo y ancho de Chile, trabajan por reducir la desertificación, extender el espacio verde, mantener la biodiversidad y depurar las aguas y suelos.

Índice

	Pág.
PRÓLOGO	15
1. INTRODUCCIÓN	17
2. EL PROBLEMA DE LA CONSERVACIÓN DE AGUAS Y SUELOS EN CHILE	21
2.1. Mecanismos que intervienen en la erosión hídrica	24
2.1.1. Acción de la precipitación	24
2.1.2. Acción de la escorrentía	24
2.2. Factores que intervienen en la erosión hídrica	24
2.2.1. Precipitación	24
2.2.2. Relieve	24
2.2.3. Suelo	25
2.2.4. Vegetación	25
2.3. Formas de erosión hídrica	25
2.3.1. Erosión laminar	25
2.3.2. Erosión por surcos o en regueros	26
2.3.3. Erosión en barrancos o cárcavas	26
2.4. Fotografías de los diferentes tipos de erosión	26
2.5. Situación actual de la capacidad de uso del suelo en Chile	27
3. LAS ESTRATEGIAS DE CONSERVACIÓN DE LOS SUELOS EN CHILE EN EL SECTOR FORESTAL	29
3.1. Estudios y proyectos de establecimiento de obras de conservación de aguas y suelos realizados en Chile	32
3.1.1. Región de Coquimbo	
3.1.1.1. El Sauce, provincia del Limarí	34
3.1.1.2. La Muñozana, provincia del Limarí	34
3.1.1.3. Cuenca de Monte Patria, provincia del Limarí	35
3.1.1.4. Control de erosión y forestación en cuencas hidrográficas de las zonas semiáridas de Chile. Convenio CONAF - JICA, provincia del Choapa	35
3.1.1.5. Cerro Pajaritos, provincia del Choapa	36
3.1.1.6. Cuz Cuz, provincia del Choapa	37
3.1.1.7. Proyecto de sabanización en Chile, provincia del Choapa	37
3.1.2. Región de Valparaíso	38
3.1.2.1. Cerros municipales La Ligua, provincia de Petorca	38
3.1.2.2. Centro demostrativo Altos de Carén, provincia de Petorca	39
3.1.2.3. Quebradas La Parra y Nazareto, provincia de Petorca	40
3.1.2.4. Proyecto captura de agua en Cuesta Las Chilcas, provincia de San Felipe	41
3.1.2.5. Proyecto corrección de torrentes y recuperación de laderas en microcuenca Las Salinas, provincia de Valparaíso	41
3.1.2.6. Protección de la microcuenca Los Lúcumos, Playa Ancha, provincia de Valparaíso	42
3.1.3. Región Metropolitana	43
3.1.3.1. Control de erosión y forestación en cuencas hidrográficas de la zona semiárida de Chile, sector San Pedro, Alto Loica, provincia de Melipilla	43
3.1.4. Región del Libertador General Bernardo O'Higgins	44

3.1.4.1.	Manual para la aplicación de técnicas de captación de aguas lluvias en predios de secano para la forestación	44
3.1.4.2.	Módulos hidrológicos La Gloria y Ranguilí, provincia de Colchagua	45
3.1.4.3.	Captación de agua y fertilización en plantaciones de <i>Eucalyptus globulus</i> , secano interior, provincia de Colchagua	46
3.1.4.4.	Manual para el desarrollo de conservación de suelos. Canal de desviación - Sistema de zanjas de infiltración	47
3.1.4.5.	Restauración hidrológica y forestal de la cuenca poniente del poblado Sierras de Bellavista, provincia de Colchagua	48
3.1.4.6.	Obras mecánicas y biológicas en los predios demostrativos Manquehua, Proyecto Facility 1B, provincia Cardenal Caro	49
3.1.4.7.	Proyecto de conservación de suelos degradados, predio Lagunillas, provincia Cardenal Caro	49
3.1.4.8.	Transferencia tecnológica y capacitación forestal de pequeños propietarios, provincia Cardenal Caro	50
3.1.5.	Región del Maule	50
3.1.5.1.	Módulos demostrativos de recuperación y conservación de suelos, Región del Maule	50
3.1.5.2.	Recuperación de suelos en la comuna de Curepto, provincia de Talca	51
3.1.6.	Región del Bío Bío	52
3.1.6.1.	Área demostrativa en predio Santa Isabel, provincia de Ñuble	52
3.1.6.2.	Coelemu, provincia de Ñuble	52
3.1.6.3.	Módulo de control de erosión predio Santa Sofía, provincia de Ñuble	53
3.1.6.4.	El proyecto CADEPA; Conservación del medio ambiente y desarrollo rural participativo en el secano mediterráneo de Chile, provincia de Ñuble	53
3.1.6.5.	Área demostrativa para la conservación del suelo y agua, Tomeco, Lircay, provincia del Bío-Bío	54
3.2.	Fotografías de las obras realizadas en la IV, V, VI, VII y VIII Regiones	55
4.	LA HIDROLOGÍA COMO HERRAMIENTA DE DISEÑO DE OBRAS DE CONSERVACIÓN DE AGUAS Y SUELOS	59
4.1.	Período de retorno (T)	61
4.2.	Curvas Intensidad-Duración-Frecuencia (curvas IDF)	62
4.2.1.	Construcción de las curvas IDF	62
4.2.2.	Metodología para la construcción gráfica de las curvas IDF	63
4.2.2.1.	Selección de las estaciones pluviográficas y de la información requerida	63
4.2.2.2.	Determinación de las intensidades máximas de precipitación	63
4.2.2.3.	Ajuste de los datos a una función de distribución de probabilidad	63
4.2.2.4.	Determinación de las pruebas de bondad de ajuste	64
4.2.2.5.	Determinación gráfica de las curvas IDF, para distintos períodos de retorno	65
4.2.2.6.	Construcción de tablas de uso práctico	65
4.2.3.	Ajuste de las curvas IDF a una función matemática general	65
4.3.	Coefficiente de escorrentía	66
4.4.	Velocidad de infiltración	68
4.4.1.	Determinación de la velocidad de infiltración	69

5.	PROPUESTA DE UN DISEÑO HIDROLÓGICO EFICIENTE EN ZANJAS DE INFILTRACIÓN Y CANALES DE DESVIACIÓN	71
5.1.	Diseño hidrológico para zanjás de infiltración	73
5.2.	Diseño hidrológico para canales de desviación	77
5.2.1.	Cálculo del caudal a conducir (Q)	79
5.2.2.	Cálculo de la sección del canal (A)	79
5.2.3.	Cálculo del tirante (h)	80
5.2.4.	Cálculo de la base de fondo (b)	80
5.2.5.	Cálculo de la longitud del talud (l)	80
5.2.6.	Cálculo de la pendiente del canal (s)	81
5.2.7.	Cálculo de la revancha (r)	81
6.	RESULTADOS COMPARATIVOS DE LA APLICACIÓN DE ZANJAS DE INFILTRACIÓN Y SUBSOLADO SOBRE PLANTACIONES FORESTALES	83
6.1.	Marco general del proyecto	85
6.2.	Establecimiento de los ensayos	86
6.2.1.	Antecedentes generales	86
6.2.1.1.	Región del Libertador General Bernardo O'Higgins	86
6.2.1.2.	Región del Maule	87
6.2.1.3.	Región del Bío - Bío	88
6.3.	Establecimiento de las obras de conservación	89
6.3.1.	Ubicación y especificaciones de las obras de conservación	89
6.3.2.	Diseño para la construcción de las obras	90
6.4.	Establecimiento de las plantaciones en los ensayos	90
6.4.1.	Técnica de plantación	90
6.4.2.	Tipo de planta	91
6.5.	Cuantificación de las plantaciones forestales sometidas a zanjás de infiltración y subsolado	91
6.5.1.	Medición del diámetro de cuello	91
6.5.2.	Medición de la altura de la planta	91
6.6.	Resultados de los ensayos en diámetro de cuello y altura de las plantas (Faúndez, 2004)	92
6.6.1.	Resultados de las pruebas no paramétricas	93
6.6.2.	Análisis de los resultados para el diámetro de cuello	95
6.6.3.	Análisis de los resultados para la altura de las plantas	96
6.6.4.	Conclusiones	96
6.7.	Medición de la sobrevivencia	97
6.7.1.	Análisis de los resultados de la sobrevivencia	98
6.7.2.	Conclusión	99
6.8.	Cuantificación de la erosión en módulos con zanjás de infiltración (Faúndez, 2004)	99
6.8.1.	Metodología	99
6.8.2.	Metodología para determinar el volumen de sedimento con clavos de erosión	99
6.8.3.	Resultados de los clavos de erosión	100
6.8.4.	Análisis de los clavos de erosión	100
6.8.5.	Conclusiones	101
6.9.	Cuantificación de la erosión en cárcavas (EIAS, 2003)	102
6.9.1.	Metodología	103
6.9.1.1.	Medición de los clavos de erosión	104
6.9.1.2.	Cuantificación de la erosión hídrica	104
6.9.1.3.	Metodología para determinar la erosión en cárcavas	104
6.9.2.	Resultados	104

6.9.2.1.	Resultados del ensayo Paredones, VI Región	104
6.9.2.2.	Resultados del ensayo Llanillos, VII Región	106
6.10.	Cuantificación del contenido de humedad en zanjas de infiltración y subsolado (Pavez, 2004)	109
6.10.1.	Metodología	109
6.10.1.1.	Cálculo del contenido de humedad	109
6.10.1.2.	Cálculo del contenido de humedad gravimétrico	109
6.10.1.3.	Cálculo del contenido de humedad volumétrico	110
6.10.1.4.	Obtención de muestras y cálculo de densidad aparente	110
6.10.1.5.	Análisis estadístico para el contenido de humedad	110
6.10.2.	Resultados	11
6.10.2.1.	Resultados de densidad aparente	111
6.10.2.2.	Resultados del análisis multifactorial con interacción	111
6.10.3.	Análisis comparativo entre el contenido de humedad y la altura de las plantas	113
6.11.	Conclusiones	115
6.12.	Fotografías de los módulos experimentales	116
7.	ANÁLISIS COMPARATIVO DEL EFECTO DE LAS ZANJAS DE INFILTRACIÓN SOBRE EL CRECIMIENTO VOLUMÉTRICO DE PLANTACIONES DE <i>Pinus radiata</i> (D. Don)	119
7.1.	Análisis comparativo de técnicas de recuperación de suelos en áreas degradadas; efectos en la humedad del suelo la sobrevivencia y crecimiento de <i>Pinus radiata</i> (D. Don.) microcuenca del estero Barroso, VII región (Saavedra, 1998)	121
7.1.1.	Metodología	122
7.1.2.	Variables estudiadas	122
7.1.3.	Resultados	123
7.1.4.	Conclusión	124
7.2.	Evaluación de la productividad de <i>Pinus radiata</i> (D. Don) asociada a zanjas de infiltración Llongocura, VII Región del Maule (Pérez, 2001)	124
7.2.1.	Metodología	124
7.2.2.	Resultados	124
7.2.3.	Conclusiones	124
7.3.	Análisis del crecimiento y volumen en una plantación de <i>Pinus radiata</i> (D. Don) asociado a zanjas de infiltración (EIAS, 2002)	124
7.4.	Fotografías del módulo experimental, sector Llongocura	126
8.	PROCESOS DE TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA PARA LA CONSERVACIÓN DE AGUAS Y SUELOS	127
8.1.	Seminarios	129
8.1.1.	Seminario de lanzamiento del proyecto	129
8.1.2.	Primer seminario internacional «Restauración hidrológico - forestal para la conservación y aprovechamiento de aguas y suelos»	129
8.1.3.	Segundo seminario internacional «Restauración hidrológico - forestal para la conservación y aprovechamiento de aguas y suelos»	131
8.2.	Realización de talleres	133
8.2.1.	Primer taller: «Hidrología e hidráulica aplicada a la conservación de aguas y suelos»	133
8.2.2.	Segundo taller: «Hidrología e hidráulica aplicada a la conservación de aguas y suelos»	133
8.2.3.	Tercer taller «Ingeniería en conservación de aguas y suelos»	133
8.2.4.	Cuarto taller «Análisis técnico del reglamento de bonificaciones por suelos degradados, D.L. 701»	134
8.2.5.	Quinto Taller «Aplicaciones del simulador EIAS y la productividad silvícola»	134

8.3. Elaboración de libros y documentos	135
8.3.1. Libros	135
8.3.1.1. Libro « <i>Revisión y análisis de prácticas tradicionales en la conservación de aguas y suelos, para zonas áridas y semiáridas de Chile</i> »	135
8.3.1.2. Libro «Diseño de obras para la conservación de aguas y suelos»	135
8.3.2. Documentos	136
8.3.2.1. Módulos	136
8.3.2.2. Manuales	136
8.3.2.3. Monografías	136
8.4. Implementación y mantención de la página web del proyecto	137
8.5. Simulador para el diseño hidrológico de obras de conservación y aprovechamiento de aguas y suelos	138
8.6. Material audiovisual	138
8.6.1. Video documental	138
8.6.2. Elaboración de discos compactos con fotografías	138
8.7. Realización de días de campo	139
8.7.1. Primer día de campo «Técnicas de aprovechamiento de aguas lluvias»	139
8.7.2. Segundo día de campo «C.E. INIA - Hidango»	139
8.7.3. Tercer día de campo «Pequeños propietarios agrícolas y forestales de la VIII Región	140
8.7.4. Cuarto día de Campo: «Obras de conservación de aguas y suelos y la productividad forestal»	140
9. COSTOS DE OBRAS, ANÁLISIS DE LAS BONIFICACIONES ESTATALES Y RENDIMIENTOS PRODUCTIVOS.	143
9.1. Análisis de costos y rendimientos de las obras	145
9.2. Análisis de construcción de zanjás de infiltración	146
9.2.1. Costos de construcción de zanjás de infiltración	146
9.2.2. Rendimientos de construcción de zanjás de infiltración	148
9.3. Análisis de construcción de canales de desviación	149
9.3.1. Costos de construcción de canales de desviación	149
9.3.2. Rendimientos de construcción de canales de desviación	150
9.4. Análisis de construcción de mampostería gavionada	151
9.4.1. Costos de construcción de diques de mampostería gavionada	151
9.4.2. Rendimientos de construcción de diques de mampostería gavionada	151
9.5. Análisis de construcción de diques de polines	152
9.5.1. Costos de construcción de diques de polines	152
9.5.2. Rendimientos de construcción de diques de polines	153
9.6. Análisis de construcción de empalizadas	154
9.6.1. Costos de construcción de empalizadas	154
9.6.2. Rendimientos de construcción de empalizadas	155
9.7. Análisis de construcción de limanes	155
9.7.1. Costos de construcción de limanes	155
9.7.2. Rendimientos de construcción de limanes	156
9.8. Costos y rendimientos de otras obras de conservación	156
9.9. Análisis de las bonificaciones a las obras de recuperación de suelos degradados	160
10. SIMULACIÓN PARA EL DISEÑO DE OBRAS	167
10.1. Funciones del simulador EIAS	170
10.1.1. Módulos del simulador	171
10.1.2. Diseño de zanjás de infiltración	171
10.1.3. Diseño de canales de desviación	172
10.1.4. Administración	173
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	175

Prólogo

Según UNESCO - Naciones Unidas, el suelo, el agua y la vegetación forman un sistema complejo, sintetizado matemáticamente en el ciclo hidrológico y definido territorialmente por la cuenca hidrográfica. Es por ello que, cuando se establecen líneas de trabajo que ligan el suelo el agua y la vegetación, indefectiblemente deberán considerarse aspectos hidrológicos para el diagnóstico de la situación y esencialmente para encontrar las soluciones más atingentes desde un punto de vista económico y ambiental.

Por otra parte, el agua en Chile es un bien escaso, especialmente en las zonas áridas, semiáridas y subhúmedas secas, con disponibilidades que no superan en promedio los 1000 m³/hab/año, en circunstancias que otras zonas del país manifiestan disponibilidades 30 veces superiores a ese valor. A lo anterior se suma la estacionalidad de las precipitaciones en las zonas con restricciones hídricas, ya que éstas se concentran en los meses de invierno, verificándose largos periodos sin lluvias.

Con respecto al suelo, se puede señalar que Chile presenta importantes procesos de desertificación, hecho que se ve agravado en zonas con ecosistemas frágiles. Así por ejemplo, la desertificación afectaría al 62.6% del territorio nacional (Universidad de Chile, 1997), proceso que se manifiesta con mayor intensidad entre la I y VIII, y la XI y XII regiones. De igual forma, el suelo es el recurso natural que mayormente manifiesta procesos de degradación y que se relaciona directamente con los procesos de desertificación.

En el mismo contexto la vegetación ha sufrido importantes procesos de degradación, bajo los cuales se ha producido sobrepastoreo, habilitación agrícola de suelos potencialmente forestales, extracción de carbón vegetal, madereo y quema, con importantes pérdidas de biodiversidad y biomasa.

En este escenario, la Ingeniería Forestal ha aportado, desde su creación, importantes elementos técnicos de trabajo, que han posibilitado recuperar más de 2,3 millones de hectáreas a través de la forestación, reduciendo consecuentemente los procesos de erosión de los suelos, el embancamiento de ríos y la mantención en el tiempo de obras civiles de infraestructura. Este proceso que ha sido eminentemente biológico, no ha atendido las demandas hidrológicas del sistema, salvo situaciones aisladas. De esta manera, surge con nítida claridad la necesidad de abordar la problemática de conservar las aguas y suelos, integrando a estos dos recursos naturales, aspectos ligados al manejo y uso de la vegetación.

El libro que se presenta, aborda esta problemática desde una perspectiva integral, con resultados altamente favorables para la conservación de los suelos, las aguas y la biodiversidad. El trabajo desarrollado por el equipo de la Sociedad Estándares de Ingeniería para Aguas y Suelos Ltda. (EIAS), de la Universidad de Talca, realiza un aporte innovador en estas líneas de acción a nivel nacional. La gran cantidad de visitas que registra la página web del proyecto, especialmente hechas desde el extranjero, ratifican la relevancia de estas temáticas, por una parte, y por otra, la calidad del trabajo llevado a cabo.

Para nuestra Universidad es muy grato presentar este libro, que resume toda la experiencia del 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», el que ha sido realizado gracias al financiamiento aportado por el Fondo de Desarrollo e Innovación (FDI - CORFO). En sus distintos capítulos se entrega la experiencia de nuestra Universidad y de un conjunto de empresas privadas, que se sumaron a nuestra iniciativa, alcanzando los resultados que aquí se presentan, pero por sobre todo ha permitido aportar a nuestro país, soluciones y propuestas tecnológicas ambientalmente sustentables, en tiempo y espacio.

Dr. Álvaro Rojas Marín
Presidente Directorio
Sociedad Estándares de Ingeniería para Aguas y Suelos Ltda.

1 *Introducción*



En las tareas de conservación de aguas y suelos, un elemento medular que surge para una actuación eficiente, es la consideración de aspectos hidrológicos e hidrológico-forestales.

Así, y en general, se puede decir que la hidrología es la ciencia que trata las aguas de la tierra, su ocurrencia, su circulación y distribución, sus propiedades químicas y físicas y su reacción con el ambiente, incluyendo su relación con los seres vivos (López *et al*, 1995); o bien, es el estudio del ciclo hidrológico, es decir, la circulación ininterrumpida del agua, entre la tierra y la atmósfera (Chow *et al*, 1994). Por consiguiente la hidrología es una ciencia aplicada y como tal, se puede considerar como una ciencia interpretativa, que admite especialidades, sin que ello signifique el establecimiento de nuevos cuerpos de doctrina.

Una especialidad de la hidrología es la hidrología forestal, que estudia la relación entre el agua y el suelo, dentro del marco de trabajo que constituyen los bosques o montes. Asimismo, la hidrología forestal actúa con una serie de herramientas clásicas de la hidrología, aunque los objetivos son otros, ya que habitualmente el marco de actuación lleva asociado una cuenca con características torrenciales, a saber, pendientes fuertes e irregulares, vertientes deforestadas, avenidas súbitas y violentas, erosión de suelos y aguas cargadas de sedimentos. En este marco, y en una definición más amplia, se puede entender la hidrología forestal como la ciencia que estudia las influencias de la vegetación sobre el clima, sobre el agua y el suelo; la cuenca torrencial; la restauración hidrológico-forestal de cuencas; y la prevención y defensa contra aludes.

Por otra parte, el fenómeno de la desertificación corresponde a un uso no racional del sistema natural por parte del sistema social. Así, la desertificación resultante de la acción antropogénica, es un fenómeno que afecta a grandes extensiones y regiones del mundo, lo que pone en peligro la capacidad de recuperación del ecosistema (Universidad de Chile, 1997). Chile y particularmente sus zonas áridas, semiáridas y subhúmedas secas, sufre procesos importantes de desertificación y de deterioro de los recursos naturales, particularmente el agua y el suelo. Por ende, surge como un elemento de alta relevancia el hacer un adecuado proceso de conservación de los recursos naturales y de restauración del paisaje, para revertir los procesos de desertificación, por una parte, y por otra, establecer mecanismos de actuación sustentables en tiempo y espacio. Sin embargo, no ha habido en el país una política amplia que ligue los recursos hídricos con los recursos forestales en forma nítida, que permita establecer marcos de actuación eficientes y efectivos, y que a la vez integre los esfuerzos de distintas disciplinas y sectores productivos, en un objetivo amplio de protección y aprovechamiento eficiente de los recursos.

En Chile, ha habido una experiencia importante en obras de corrección de torrentes y de recuperación de suelos degradados, pero este empirismo ha sido puntual y además no ha establecido patrones técnicos de actuación. Aún más, normalmente estas actividades se han llevado a cabo para absorber mano de obra desocupada y de bajo costo. Esta situación cambia con la ley 19.561, que bonifica las obras de conservación de aguas y suelos en el sector forestal, administrado por la Corporación Nacional Forestal, CONAF, hecho que también se produce en el sector agrícola, a través del programa de recuperación de suelos degradados del Servicio Agrícola y Ganadero, SAG, lo cual ubica al país en una posición de relevancia en América Latina, al poseer mecanismos de incentivos para la conservación del agua y el suelo. No obstante, las obras planteadas como bonificables, en general no incorporan elementos de ingeniería hidrológica para su diseño, por lo que esa debería ser una segunda fase cualitativa en un proceso que es altamente beneficioso para el futuro ambiental del país.

En el marco descrito, el proyecto «Determinación de estándares de ingeniería en obras de conservación de aguas y suelos para la mantención e incremento de la productividad silvícola», intenta ligar los componentes de la hidrología y la hidrología forestal, con las obras de conservación de aguas y suelos y su emplazamiento en zonas de desertificación y/o degradación de recursos naturales. De esta forma, este proyecto aborda métodos, tecnologías y estándares para obras de conservación de aguas y suelos, además de recomendaciones que faciliten el accionar técnico. Así, establece los principales problemas relacionados a la erosión de suelos; sintetiza un conjunto de experiencias desarrolladas en Chile a partir de la década del 70; propone elementos de diseño hidrológico como una herramienta clave para la construcción de obras, especialmente las referidas a zanjas de infiltración y canales de evacuación de aguas lluvias; instala ensayos en términos experimentales y logra comprobar las hipótesis planteadas a partir de métodos numéricos y estadísticos; define los métodos de transferencia tecnológica utilizados y los productos de ese proceso; desarrolla un análisis comparativo de los costos involucrados en este tipo de obras; y muestra un modelo de simulación, que permite calcular los principales parámetros para canales de desviación y zanjas de infiltración.

Finalmente, este libro representa la culminación de un proyecto iniciado en el año 2002, bajo los auspicios de la CORFO, y el Fondo de Desarrollo e Innovación, FDI, pero también representa la propuesta de abordar la problemática de la conservación de aguas y suelos, desde una perspectiva más integral, incorporando elementos de ingeniería hidrológica, que son altamente necesarios, para que los esfuerzos financieros y humanos realizados, tengan la mejor rentabilidad económica y ambiental.

2

El problema de la conservación de aguas y suelos en Chile



Uno de los principales problemas ambientales de Chile corresponde a la degradación de suelos, la cual se define como el proceso degenerativo que reduce la capacidad actual o futura de los suelos para seguir desempeñando sus funciones características, lo que puede deberse tanto a causas naturales como a causas antrópicas.

En relación a esto, se pueden distinguir dos tipos de degradación de suelo: la erosión, provocada por el desplazamiento de las partículas del suelo; y la degradación *in situ* del suelo, representada por procesos de degradación física, como la compactación, o la degradación química, entre las que destacan la acidificación, la salinización o la pérdida de materia orgánica, entre otras.

Según la Comisión Nacional del Medio Ambiente, la erosión corresponde al problema más frecuente de la degradación de suelos a nivel nacional, el cual afecta a una superficie de 34,5 millones de hectáreas. De esta superficie, cerca de un 80,5% presenta categorías de erosión moderada a muy grave, lo que significa que los suelos han perdido entre el 40 y el 100% de su profundidad total (CONAMA, 1994).

Así, se entiende como erosión moderada, aquella en que los suelos presentan signos claros de movimiento y arrastre de partículas del manto superior y presencia de surcos, mientras que la erosión severa se define como aquella en que los suelos presentan un proceso activo de movimiento y arrastre de partículas del manto y presencia de cárcavas.

De esta forma, en el transcurso del tiempo la erosión transforma lentamente, pero en forma continua, la corteza terrestre, provocando alteraciones físicas, químicas y biológicas de las propiedades del suelo, entre las que destacan la disminución en volumen y profundidad, la reducción de la capacidad de retención de agua, la pérdida de materia orgánica, la declinación y agotamiento de la fertilidad, la baja en el número de la diversidad y actividad de la flora y fauna del suelo, y el cambio en la textura del suelo superficial (CONAMA, 1994).

Como se señaló anteriormente, se reconocen dos tipos de erosión, según el agente que la provoca, la erosión natural y la erosión antrópica, causada por el hombre. Dentro de la erosión natural, ésta se subdivide en erosión eólica, que es la provocada por el viento, y la erosión hídrica, provocada por el agua, siendo esta última la que origina mayores pérdidas de suelos en el país. Para Mintegui *et al* (1993), la erosión causada por la acción del agua como agente externo o erosión hídrica, es el proceso de disgregación y transporte de partículas del suelo por acción del agua. El ciclo culmina con los depósitos de los materiales transportados por la corriente en áreas de sedimentación, cuando la capacidad de arrastre de las aguas, se reduce hasta el punto de no permitir la continuación en el flujo de las partículas terrosas previamente incorporadas al mismo.

2.1. Mecanismos que intervienen en la erosión hídrica

Según Suárez (1980), si se omite la erosión eólica, toda remoción de suelo exige la presencia de agua, ya sea superficialmente (partículas de suelo arrastradas aisladamente), o en la profundidad de su perfil (suelo arrastrado en masa). Con respecto al ataque superficial, su mecanismo conlleva dos acciones: acción de la precipitación y acción de la escorrentía (García, 1999).

2.1.1. Acción de la precipitación

Según García (1999), la gota de lluvia, cuando cae a través de la atmósfera, sufre cambios en su tamaño, aumentando o disminuyendo por condensación o evaporación. Desciende por la acción de la gravedad, frenando su caída la resistencia que ofrece el aire. En ausencia de obstáculos golpea el suelo con considerable fuerza, disgregando las partículas de suelo y proyectándolas en el aire.

Ellison (1947), citado por FAO (1994), señala que el impacto provocado por las gotas de lluvia, sobre la superficie del suelo, disgrega las partículas superficiales, ocasionando también transporte de partículas por aspersión.

2.1.2. Acción de la escorrentía

Como consecuencia de la disgregación, se produce un sello superficial que disminuye sustancialmente la capacidad de infiltración del suelo. En el momento en que la precipitación pasa a ser mayor que la tasa de infiltración de agua en el suelo, se produce la retención y detención superficial del agua y, posteriormente, el escurrimiento superficial del agua que no infiltra (FAO, 1994).

Mintegui y López (1990), señalan que la formación del escurrimiento superficial dependerá del régimen de las precipitaciones y de las características hidrológicas del suelo. Si estas características permiten en todo momento la infiltración de una cantidad de agua igual o superior a la que aporta la precipitación, no se producirá ninguna corriente superficial; en caso contrario, se formará una lámina superficial de agua que escurrirá ladera abajo, en función de la pendiente del terreno.

2.2. Factores que intervienen en la erosión hídrica

2.2.1. Precipitación

El factor climático que más influye en la erosión es la precipitación. De su cantidad, intensidad y distribución depende el volumen de flujo que se desliza en capa uniforme sobre la tierra, llevando en suspensión las sustancias minerales (Suárez, 1980).

La frecuencia de los aguaceros ejerce influencia en el fenómeno erosivo, debido a sus repercusiones en el estado de humedad del suelo en el tiempo (García, 1999). Por esta razón, si los intervalos entre periodos de lluvia son cortos, el contenido de humedad de los suelos es elevado al iniciarse un nuevo aguacero y éste puede ocasionar escorrentías, aunque la intensidad sea baja. Por el contrario, si los intervalos son largos, el suelo prácticamente se llegará a secar, retardándose la formación de escorrentías superficiales, e incluso, puede que no lleguen a existir si la intensidad no es muy alta.

2.2.2. Relieve

Tanto la longitud como la pendiente de la ladera influyen considerablemente en las tasas de erosión de un suelo (Horton, 1945, citado por González del Tánago, 1991).

De acuerdo a Peralta (1976), el agua que cae sobre el suelo y escurre por su superficie, no condiciona por sí sola el grado de erosión, sino que se encuentra fuertemente influenciada por la pendiente, la cual actúa por medio del largo de ella, lo que condiciona la velocidad de escurrimiento de las aguas.

Respecto a la longitud del declive, los fenómenos erosivos se manifiestan en distinto grado en la ubicación de la ladera. En la zona alta, prácticamente no hay erosión; la erosión de mayor intensidad es en la parte media, mientras que en la parte más baja de la ladera, donde por lo general disminuye la pendiente, ocurre el proceso de sedimentación (Meyer *et al*, 1975 citado por González del Tánago, 1991).

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

2.2.3. Suelo

Los factores que contribuyen a la erosión, no producen los mismos efectos en todos los suelos. Las condiciones físicas y químicas de los terrenos, al impartirles mayor o menor resistencia a la acción de las aguas, tipifican y singularizan el comportamiento de cada suelo expuesto a condiciones similares de pendiente, lluvia y cubierta vegetal.

Las propiedades físicas, químicas y la composición granulométrica influyen en la capacidad de infiltración y la resistencia del mismo al desprendimiento y transporte por la escorrentía. La cantidad de tierra desplazada por la percusión de las gotas de lluvia, es tanto más grande cuanto más susceptibles sean las partículas a disgregarse (García, 1999).

2.2.4. Vegetación

La cubierta vegetal del suelo, que lo protege contra la energía cinética de la lluvia o la escorrentía superficial, influye considerablemente en la erosión. Muchos estudios han demostrado que la relación no es lineal, produciéndose incluso una reducción sustancial de la erosión, cuando el suelo está protegido por una cubierta vegetal de densidad relativamente baja (FAO, 1997).

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 la energía de las gotas de la lluvia por las hojas y los residuos (hojarasca) de las plantas.
- Incrementa la capacidad de infiltración y almacenamiento del agua de lluvia, debido al mejoramiento de la estructura y porosidad del suelo por las raíces y los residuos de las plantas.
- Reduce la velocidad del agua de la escorrentía por el colchón de los residuos de las plantas. En zonas arboladas, los obstáculos que se oponen al escurrimiento, debido a los fustes de los árboles y tallos de los arbustos, reducen las velocidades del escurrido.

2.3. Formas de erosión hídrica

2.3.1. Erosión laminar

Consiste en la remoción de capas delgadas y más o menos uniformes de suelo sobre toda un área. Es la forma menos notable del flagelo y, por lo mismo la más peligrosa (Suárez, 1980). La existencia de esta forma de erosión crea una situación propicia para la formación de surcos y erosiones más profundas (García, 1999).

Según García (1999), la erosión laminar resulta de la disgregación de los elementos terrosos por el impacto de las gotas de lluvia y por la acción del escurrido. La formación de un flujo superficial homogéneo en el espacio, transporta las partículas de tierra previamente disgregadas. La erosión laminar causa grandes aportaciones de sedimentos a los cursos de agua e importantes pérdidas de fertilidad de los terrenos, al afectar las partículas de tierras más finas. Esto se puede identificar mediante algunos de los siguientes síntomas:

- Existencia de plantas con el sistema radicular al descubierto.
- Presencia de montículos de suelo.
- Invasión de especies vegetales específicas de suelos degradados.
- Abundancia de piedras en la superficie del suelo de naturaleza litológica, análoga a la que se encuentra a mayor profundidad.

2.3.2. Erosión por surcos o en regueros

Ocurre cuando por pequeñas irregularidades en la pendiente del terreno, la escorrentía se concentra en algunos sitios hasta adquirir volumen y velocidad suficientes para hacer cortes y formar canaliculos que se manifiestan en el terreno (Suárez, 1980).

2.3.3. Erosión en barrancos o cárcavas

Según Mintegui y López (1990), los barrancos son profundas incisiones en el terreno, originadas generalmente cuando hay una gran concentración de la escorrentía en determinadas zonas del terreno y se permite que año tras año vayan ampliándose los surcos formados por la acción de esas corrientes de gran volumen y velocidad (Suárez, 1980).

La forma del barranco evoluciona según la consistencia relativa que ofrezcan los diferentes estratos del suelo y subsuelo (García, 1999).

2.4. Fotografías de los diferentes tipos de erosión



Fotografía 1. Erosión laminar con presencia de rocas en la superficie, Monte Patria, IV Región



Fotografía 2. Vista panorámica con presencia de erosión laminar, Monte Patria, IV Región



Fotografía 3. Erosión en surcos, Paredones, VI Región



Fotografía 4. Erosión en surcos, con presencia de cárcavas, Paredones, VI Región



Fotografía 5. Erosión en cárcavas, Manzanares, VIII Región



Fotografía 6. Vista al interior de una cárcava, Paredones, VII Región

2.5. Situación actual de la capacidad de uso del suelo en Chile

La superficie continental del país alcanza las 75.707.366 ha, de las cuales sólo 5.271.580 ha son cultivables, lo que corresponde al 6,9 %, mientras que 26.393.219 ha poseen potencial silvoagropecuario, representando el 34,9 %. Estas cifras se detallan en el gráfico 1, la cual muestra la capacidad de uso por tipo de suelo (Universidad de Chile, 1999).

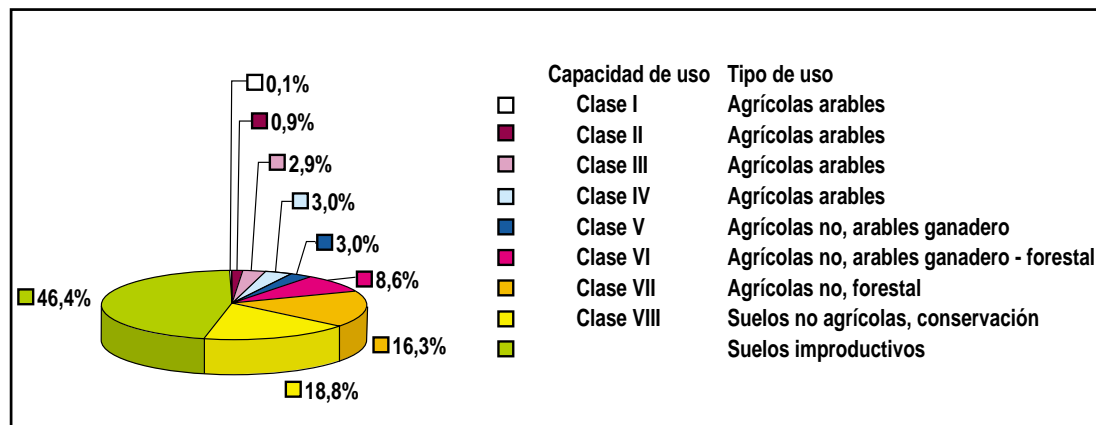


Gráfico 1. Potencialidades silvoagropecuaria de Chile

Fuente: Universidad de Chile, 1999

CONAMA (1994), señala que los problemas más importantes de degradación por erosión del recurso suelo en el sector silvoagropecuario, se encuentran en la zona altiplánica, cordones y sierras andinas en el Norte chico, en la Cordillera de la Costa, entre Valparaíso y Concepción, en la zona centro sur de la precordillera andina, lomajes del llano central al sur del río Ñuble y en la estepa patagónica.

3

*Las estrategias de conservación
de los suelos en Chile
en el sector forestal*



En el año 1999, el Estado, a través de la ley 19.561, modifica el D.L. 701 favoreciendo la recuperación de suelos degradados, mediante un subsidio que fomenta la construcción de obras de recuperación en estos tipos de suelos, asignando recursos a todos los propietarios que realicen estas obras, en comunas que presentan un alto grado de erosión, generando así oportunidades de trabajo y un mejor uso de los recursos agua y suelo.

El gráfico 2 muestra el progresivo aumento que han tenido las actividades de recuperación de suelos degradados y la forestación en el marco de la Ley de Fomento Forestal.

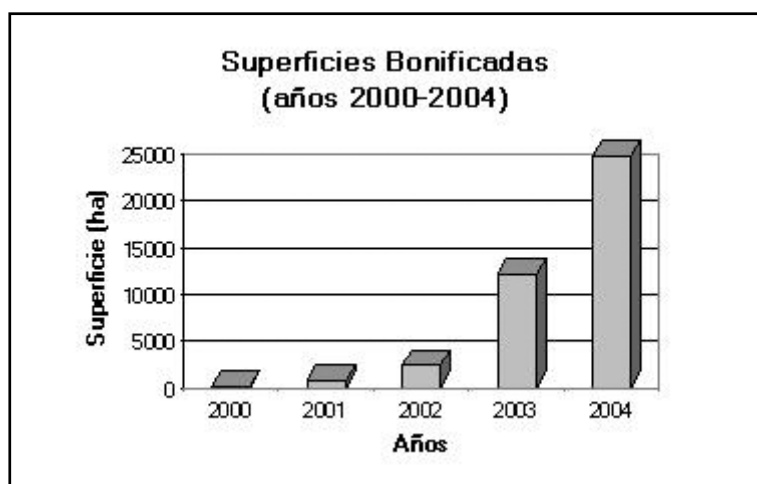


Gráfico 2. Superficie bonificada por recuperación de obras de recuperación de suelos degradados y forestación a nivel nacional (Año 2000-2004)

Este aumento es consecuencia directa de las sostenidas estrategias de fomento y promoción de la forestación. Así, en los últimos cuatro años se ha logrado más que triplicar la superficie de forestación, integrando nuevos territorios y nuevos actores, como pequeños propietarios agrícolas, a la actividad forestal (INFOR, 2004).

3.1. Estudios y proyectos de establecimiento de obras de conservación de aguas y suelos realizados en Chile

Previo a la descripción de los estudios y proyectos realizados en torno a la recuperación de suelos y corrección de torrentes, se describirán los principales tipos de obras implementadas en el país.

En general, las obras de conservación de aguas y suelos pueden ser clasificadas en dos grupos: aquellas donde su principal función es la protección de ríos o cárcavas, las que están compuestas por obras transversales que disminuyen la velocidad de escurrimiento, pues cortan la energía del agua favoreciendo la retención de material sólido arrastrado por la escorrentía superficial. Entre ellas, destacan diques y muretes, que son utilizados generalmente en zonas de régimen pluvial torrencial, protegiendo de inundaciones la red vial, así como también sectores urbanos y agrícolas.

El segundo grupo está compuesto por obras cuyo principal objetivo es la protección de suelo en laderas, ya sea favoreciendo la infiltración o cortando la energía de la escorrentía superficial; entre ellas destacan las zanjas de infiltración, canales de desviación, terrazas, etc. Este tipo de obras se utiliza principalmente en zonas áridas y semiáridas, permitiendo el establecimiento de especies arbóreas y arbustivas, aumentando así la producción de dichos suelos.

En el cuadro 1, se describen brevemente las principales obras que se realizan a nivel nacional, ya sea para protección de cauces o de laderas.

Cuadro 1. Descripción de las principales obras de conservación de aguas y suelos ejecutadas en el país

Tipo de obra	Características	Usos
Bancales	Terraza semicircular con diámetro de 1,2 m, con la presencia de un muro de 50 cm de ancho, dispuesto en tresbolillo, con una separación de 5 m entre ellos.	Para plantaciones forestales o agrícolas, en sectores con presencia de poco suelo.
Bordos semicirculares o barreiros	Diques pequeños de tierra en forma de semicírculo, cuyos extremos terminan sobre una curva de nivel dispuestos en tresbolillo. Su radio varía entre 6 y 20 m y la separación de ellos dependerá del tamaño y del área de captación.	Se utiliza principalmente en la rehabilitación de pastizales o producción de forraje, así como también en el cultivo de árboles y arbustos en zonas semiáridas.
Canales de desviación	Son canales, contruidos generalmente en tierra, que se diseñan en base a elementos hidráulicos básicos, con sección trapezoidal, optimización del radio hidráulico, pendiente baja y con reforzamiento de construcción en zonas de aporte de aguas.	Se utilizan para desviar y conducir el agua de escorrentía proveniente de las laderas altas, sin medidas adecuadas de protección y conservación, hacia sectores bien protegidos o estructuras de almacenamiento de agua.
Colectores de piedra	Fosos cilíndricos, rellenos de bolones de piedra, que presentan una vía de ingreso del agua y otra de evacuación ubicada aguas abajo.	Se utilizan para regular la velocidad de escurrimiento en sectores de concentración del flujo superficial de agua.
Diques transversales	Estructuras ancladas ubicadas en forma perpendicular al eje del cauce, que poseen un vertedero que permite evacuar el exceso de agua, así como un colchón amortiguador o dissipador de energía. Sus dimensiones dependen del tamaño de la quebrada y de los cálculos hidrológicos e hidráulicos que se realicen.	Permiten controlar los procesos de transporte de sólido y la erosión en la quebrada, tanto en su lecho como en sus bordes.
Empalizadas	Son estructuras de polines (generalmente impregnados), los que pueden ser de dos tipos; empalizadas longitudinales, ubicadas en laderas; y las empalizadas transversales, ubicadas en quebradas y cursos de agua. Estas últimas se diferencian de los diques de polines en que no presentan vertedero.	Las empalizadas longitudinales tienen como finalidad la protección de taludes en laderas, mientras que las empalizadas transversales disminuyen el transporte de material sólido en el cauce.

Estanques de captación de aguas	Estructuras que permiten la captación de agua superficial y subsuperficial, conducida a través de drenes subterráneos.	Permiten la acumulación de agua en épocas de lluvia, producto de la mayor escorrentía superficial y subterránea, para su uso posterior en épocas de mayor demanda.
Fajinas	Estructuras vegetales de 10 a 40 cm de diámetro que contienen ramillas con presencia de raíces, no muy ramificadas en lo posible, atadas con alambre. Se localizan a orilla de cauce con las raíces en contacto con el suelo y cubiertas por tierra.	Por su ubicación permiten la regeneración de vegetación ripícola ¹ . También son utilizadas como manto sobre los taludes, protegiéndolos del impacto directo de la lluvia.
Limanes	Terraza semicircular plana, con diámetros que varían entre 10 y 20 m; presentan un murete de piedra que tiene entre 50 y 70 cm de base y un desagüe a partir de la cota máxima de colección de agua.	Se utilizan para el establecimiento de grupos de árboles, que pueden ser hasta 30 individuos y más (Infor, 2000). Los limanes superiores a 80 m ² , solo se pueden usar en sectores que presenten hasta 8% de pendiente.
Muretes	Corresponde a diques que no presentan vertedero, y que al igual que éstos, también van dispuestos en perpendicular a la pendiente de la quebrada. Sus dimensiones son menores a la de los diques, con altura máxima de 1 m y de largo variable.	Se utilizan para disminuir el transporte de materiales sólidos, pues actúan como obstáculos para la escorrentía superficial.
Surcos en contorno	Consiste en el trazado de surcos, sobre la curva de nivel o con un leve declive (generalmente de 0,5%), dispuestos en forma transversal a la pendiente.	Se utiliza como una forma de retener el agua proveniente de la escorrentía superficial, facilitando la infiltración y favoreciendo la conservación del suelo.
Subsolado	Técnica que consiste en realizar un surco en la curva de nivel a una profundidad variable, entre los 0,5 m y 1,0 m, para lo cual se emplea una retroexcavadora o un tractor, con el fin de romper las capas del suelo de alta densidad y fracturando capas de sedimentos y piedras (Durán, 1995).	Se utiliza en suelos muy compactados, favoreciendo la infiltración y el desarrollo del sistema radicular de las plantas.
Terrazas	Plataforma artificial que interrumpe la pendiente del terreno, donde el ancho está determinado tanto por el tipo de suelo y su profundidad, como por la pendiente del terreno. Se pueden clasificar en terrazas de talud y terrazas con muro. En las primeras, el escalón está definido por el talud natural y sólo debe aplicarse a pendientes relativamente bajas; mientras que en las segundas, el talud queda protegido por un muro de contención.	Permite el cultivo de plantaciones forestales o agrícolas, permitiendo además, el control de la erosión, provocada por el escurrimiento superficial.
Tratamientos lineales	Corresponden a obras de control de taludes y laderas. Éstos pueden ser de diversos materiales tales como postes de pino impregnados, sacos de tierra, fajinas de ramas o sarmientos, ramas trenzadas, etc.	Estos tipos de obras resultan muy adecuados en laderas de pendientes moderadas, medianas y escarpadas, no resultando recomendables en taludes de derrubios o de suelos de alta pedregosidad.
Zanjas de infiltración	Corresponden a obras de recuperación de suelos, que comprenden a un conjunto de zanjas de sección trapezoidal o rectangular construidas de forma manual o mecanizada. No presentan desnivel y van dispuestas en forma perpendicular a la pendiente.	Su principal función es capturar e infiltrar la escorrentía superficial procedente de las cotas superiores, evitando así la erosión hídrica al disminuir la velocidad de las aguas lluvias, favoreciendo la infiltración del agua en el suelo, y reteniendo los sedimentos sólidos arrastrados por el flujo hídrico.

¹ Formaciones arbóreas y arbustivas que protegen eficazmente las orillas de cauces con el entramado de raíces.

A continuación, se entrega una breve descripción de los proyectos y estudios desarrollados entre la Región de Coquimbo y norte de la Región del Bío Bío, relacionados con la implementación y difusión de obras de conservación de aguas y suelos.

3.1.1. Región de Coquimbo

3.1.1.1. El Sauce, provincia del Limarí

a) Marco general

Durante los años 1998 y 1999 se realizó un proyecto (con financiamiento de PRODECOP²) en la Comunidad Agrícola Jiménez y Tapia, al Sureste de Ovalle, el cual consideró intervenciones en una superficie de 100 ha, de las cuales 75 ha se ubican en sectores de microcuencas tributarias a la localidad de El Sauce. Las otras 25 ha se trabajaron en lomajes de cerros (secano arable), ubicados en zonas aledañas al poblado. Según esto, puede considerarse como área de influencia a todo el poblado, puesto que los trabajos ejecutados tuvieron un impacto positivo sobre la disponibilidad de agua en la localidad, y por otro lado, el desarrollo de una conciencia ambiental en todas las familias del sector.

Así, de las 100 ha trabajadas, se reconocieron 2 sectores bien diferenciados con respecto a la intensidad del trabajo. El primero corresponde a 25 ha de microcuenca que no fueron cercadas y por lo tanto tampoco forestadas, y que se recuperaron parcialmente con la construcción de un sistema de diques de control. El segundo sector corresponde a 50 ha de microcuenca y 25 ha de secano arable, ambas superficies excluidas, intensamente recuperadas y forestadas a una densidad de 400 plantas/ha. En el cuadro 2 se muestran las obras realizadas en ambas microcuencas.

Cuadro 2. Descripción de las obras proyecto El Sauce

Tipo de obras	Especie asociada
Canales de desviación	<i>Atriplex nummularia</i> y <i>Gleditsia triacantho</i>
Bancales	<i>Opuntia sp</i>
Taza colector	<i>Quillaja saponaria</i>
Tratamiento lineal con sacos de arena	<i>Atriplex nummularia</i> y <i>Atriplex semibaccata</i>
Diques de postes o polines	No hay
Diques de mampostería en seco	No hay
Bordos	<i>Olea europaea</i>
Zanjas de infiltración	<i>Quillaja saponaria</i> y <i>Atriplex nummularia</i>
Muros de infiltración	<i>Acacia saligna</i>

b) Resultados

Los resultados demostraron que los trabajos realizados han permitido el desarrollo de la vegetación introducida; además se han visto aminorados los efectos negativos de la escorrentía superficial. De acuerdo a lo manifestado por los pobladores del sector, se ha advertido que las napas de sus pozos han perdurado más tiempo en comparación a otros años. Un efecto directo y no menos importante, es que el camino que pasa por la parte baja de la microcuenca, ha permanecido transitable en los días de lluvia.

En relación con las posibilidades de éxito del proyecto, se debe considerar que éste se implementó en un sector, que si bien es cierto presenta mejores condiciones pluviométricas que otras zonas de la provincia, el fuerte carácter continental produce la existencia de una alta evapotranspiración potencial, por lo que resulta trascendente el establecimiento de las plantaciones bajo un sistema eficiente de captación del agua lluvia, que optimice la capacidad de infiltración del suelo. El desarrollo de técnicas de recuperación de suelos como las que aquí se han descrito, no sólo persigue disminuir los efectos negativos de la escorrentía superficial, sino que favorecer el desarrollo de la vegetación introducida; prueba de ello es la alta sobrevivencia de las plantas lograda durante el primer año (más del 80%).

² Programa de Desarrollo de Comunas Pobres

3.1.1.2. La Muñozana, provincia del Limarí

a) Marco general

Durante los años 1974 y 1975 se realizó un proyecto que consistió en ensayar una serie de trabajos tendientes a la restauración hidrológico-forestal de una quebrada ubicada en la cuenca de Monte Patria, la cual desemboca directamente en el embalse Paloma, por lo que aporta sedimentos a éste. Éste proyecto se realizó con el objetivo de disminuir la producción de sedimentos en laderas tributarias al embalse Paloma. Además, al año siguiente se efectuaron mantenciones y replante en los lugares donde fue necesario y se construyeron otras obras de conservación de suelo las cuales se describen en el cuadro 3. Este proyecto fue dirigido por profesionales de la CONAF, con aportes efectuados por el Gobierno de Chile mediante los programas PEM³ y POJH⁴.

Cuadro 3. Especificaciones del tipo de obras implementadas en La Muñozana

Tipo de obra	Especie asociada
Diques de mampostería en seco	<i>Atriplex nummularia</i>
Diques de mampostería gavionada	No hay
Zanjas de infiltración	<i>Schinus molle</i> , <i>Prosopis chilensis</i> , <i>Atriplex nummularia</i>
Bancales	<i>Echinopsis coquimbana</i> , <i>Eulychnia acida</i> , <i>Opuntia ovata</i>

b) Resultados

Esta fue la primera experiencia que se hizo en estas zonas, donde además se excluyó la zona de animales para proteger a la vegetación. Más tarde se hicieron mediciones de la escorrentía sólida en instalaciones destinadas para estos fines. Así, en mediciones de sedimentos efectuadas en cuencas cercanas, se determinó la cantidad de erosión, la cual resultó ser de alrededor de 24 - 30 m³/ha/año, mientras que en la cuenca La Muñozana, la erosión sólo alcanzó a 2 - 4 m³/ha/año. Esta cuenca se mantuvo sin ingreso de animales por alrededor de 13 años, y el desarrollo de la vegetación fue bueno.

3.1.1.3. Cuenca de Monte Patria, provincia del Limarí

a) Marco general

Este proyecto se realizó posteriormente al de La Muñozana, entre los años 1983 y 1985, con los mismos aportes del Gobierno de Chile, a través de sus programas PEM y POJH. La idea era aprovechar la experiencia que se había obtenido en las laderas tributarias al embalse La Paloma. Así se buscó masificar los trabajos hechos con anterioridad, propendiendo a la regulación de los cauces principales tributarios a la Quebrada Grande mediante diques y la regulación del escurrimiento superficial mediante zanjas de infiltración (cuadro 4).

Cuadro 4. Descripción de las obras cuenca de Monte Patria

Tipo de obra	Especie asociada
Dique de mampostería en seco	<i>Schinus molle</i> en zonas alledañas
Zanjas de infiltración	No hay

b) Resultados

En la actualidad, prácticamente no se aprecian las zanjas de infiltración, ya que están colmatadas de sedimentos; por otra parte, las plantaciones no tuvieron buen resultado, ya que en su gran mayoría

³ Programa de Empleo Mínimo.

⁴ Programa de Ocupación de Jefes de Hogar.

fueron consumidas por los animales. No obstante, los diques que aún funcionan, han generado una gran terraza de depósito de materiales, que requiere mantención para un funcionamiento adecuado en el tiempo.

3.1.1.4. Control de erosión y forestación en cuencas hidrográficas de las zonas semiáridas de Chile. Convenio CONAF - JICA⁵, provincia del Choapa

a) Marco general

Desde el año 1995 hasta la fecha la CONAF se encuentra desarrollando este proyecto, en el sector denominado cuesta Cavilolén de propiedad de la comunidad campesina Las Cañas de Choapa. Este sector se encuentra ubicado a 25 km al oeste de Illapel.

Es una superficie de 53 ha, que se encontraba severamente degradada, y se han desarrollado trabajos que han permitido su recuperación. Dentro de las acciones ejecutadas, se encuentra la forestación con obras de recuperación de suelos. Las principales acciones realizadas son: exclusión del área, forestación con más de 33 especies con distintos fines (cortaviento, forraje, energía, recuperación de especies nativas, protección de riberas, etc.), obras de conservación de suelo y agua y difusión y transferencia técnica.

Los tipos de obras implementadas fueron:

- Zanja de infiltración
- Dique de polines
- Limán de piedra
- Canal de desviación
- Dique de mampostería en seco
- Dique con gaviones
- Muro de infiltración
- Murete de sacos

b) Resultados

Dentro de los logros de este proyecto, está la validación de las técnicas de preparación de suelo, recuperación de praderas y disminución de los efectos erosivos por medio del uso de prácticas de conservación de suelos y aguas. Además, es una área demostrativa que ha permitido difundir las diferentes técnicas de recuperación de suelos degradados con un enfoque de microcuencas, basado en un sistema productivo silvopastoral.

3.1.1.5. Cerro Pajaritos, provincia del Choapa

a) Marco general

Desde el año 1975, se está desarrollando un proyecto de control de erosión, el cual es administrado por la CONAF. Mediante este proyecto se ha disminuido el arrastre de material en los eventos de lluvia desde la parte alta del cerro hacia las calles y casas de la ciudad.

La superficie intervenida es de 154 ha, entre los 300 y 760 m.s.n.m., y los trabajos realizados se describen en el cuadro 5.

Cuadro 5. Especificaciones de los tipos de obras implementadas en Cerro Pajaritos

Tipo de obra	Especie asociada
Dique de mampostería en seco	No hay
Zanjas de infiltración	<i>Quillaja saponaria</i> , <i>Schinus molle</i> , <i>Eucalyptus sp.</i>
Surco de infiltración o en contorno	<i>Quillaja saponaria</i> , <i>Schinus molle</i> , <i>Eucalyptus sp.</i>
Canal de desviación	<i>Quillaja saponaria</i> , <i>Acacia clossiana</i>
Muretes de piedra	No hay

⁵ Agencia Japonesa de Cooperación Internacional.

b) Resultados

Los efectos han sido muy benéficos, pues por un lado está la detención del arrastre de sedimentos, dando mayor seguridad a la población en época de lluvia, principalmente a la que habita sobre las vías naturales de evacuación de las quebradas. En este sentido, la construcción de diques ha dado una mayor seguridad a los habitantes y a la vez se aprecia una menor cantidad de sedimentos en las calles.

3.1.1.6. Cuz Cuz, provincia del Choapa

a) Marco general

Este trabajo estuvo inserto en el programa “Desarrollo de la Cuenca Piloto de Cuz Cuz”, el cual fue ejecutado por la CONAF entre 1984 y 1989, que tuvo por objetivo mejorar la calidad de vida de la comunidad de Cuz Cuz.

Las obras se encuentran ubicadas en la cuenca El Peral (cuadro 6), insertas dentro de esta comunidad, mediante el programa de absorción de mano de obra, específicamente el Programa POJH.

Cuadro 6. Descripción de obras en la localidad de Cuz-Cuz

Tipo de obra	Especie asociada
Barreiro o bordo Terraza	<i>Eucalyptus camaldulensis</i> Cultivo agrícola

b) Resultados

Los resultados en términos técnicos fueron óptimos, ya que permitieron habilitar 0,5 ha de terrazas para cultivo agrícola, con un aporte continuo de riego, e inclusive, se probaron con éxito tecnologías de riego a bajo costo.

Desde un punto de vista social y económico, el proyecto fue un fracaso, debido a la escasa organización para el uso de las obras que se produjo al interior de la comunidad agrícola de Cuz-Cuz; no obstante, actualmente existe algún nivel de utilización mínimo.

3.1.1.7. Proyecto de sabanización en Chile, provincia del Choapa

a) Marco general

El proyecto de sabanización, fue desarrollado por el Instituto Forestal (INFOR), específicamente en la comunidad agrícola de Tunga Norte, con aportes del Fondo Nacional Judío. Esta iniciativa consistió en establecer una unidad demostrativa de las bases científicas que sustentan la teoría de la sabanización y su utilidad en la recuperación de la vegetación en ambientes áridos y semiáridos, con el propósito de dar a conocer y difundir a científicos, estudiantes y propietarios, las técnicas de manejo del suelo, para reducir las pérdidas de agua y nutrientes, a fin de restaurar la vegetación original o crear nuevos recursos forestales.

El objetivo de este proyecto es mostrar cómo el conocimiento de la ecología, de las estructuras y el funcionamiento de los ambientes desertificados, son aplicables para la restauración de áreas degradadas y el aumento de la productividad y la diversidad biológica del ambiente. Éste se desarrolló a través de cuatro módulos; los tres primeros muestran las distintas fases que estructuran la teoría de la sabanización, mientras que el cuarto, muestra los tratamientos del suelo u obras más adecuadas para la zona en estudio, según los resultados de los tres primeros (cuadro 7).

El módulo IV (que está más relacionado con el tema de esta publicación), tiene una superficie de 5 ha, de las cuales 3,8 fueron intervenidas con 46 obras.

Cuadro 7. Descripción de obras proyecto de sabanización

Tipo de obra	Especie asociada
Colector individual Miniterraza de piedra	<i>Acacia saligna</i> , <i>Cassia clossiana</i> , <i>Eucalyptus sideroxylon</i> <i>Eucalyptus cladocalyx</i> , <i>Prosopis chilensis</i> , <i>Acacia saligna</i> , <i>Schinus molle</i>
Limán	<i>Eucalyptus cladocalyx</i> , <i>Acacia saligna</i> , <i>Prosopis chilensis</i>
Miniterraza en tierra	<i>Eucalyptus cladocalyx</i> , <i>Prosopis chilensis</i> , <i>Acacia saligna</i> , <i>Schinus molle</i>

b) Resultados

Lo esencial de esta técnica, es que determina el uso de cada tratamiento del suelo para cada microtopografía existente. En este sentido, los tratamientos elegidos han mostrado su eficiencia al favorecer el establecimiento de vegetación en esta zona, ya que el prendimiento de los árboles fue de 92% para las especies *Acacia saligna*, *Prosopis chilensis* y *Eucalyptus cladocalyx*, mientras que para las otras especies fue de 62%. No obstante, se debe destacar que la muerte de las plantas se debió en su mayoría, al ataque de roedores, más que a las condiciones de humedad.

En cuanto al desarrollo de las plantas, los principales resultados se refieren al desarrollo alcanzado por las especies *Acacia saligna* y *Eucalyptus cladocalyx*:

3.1.2. Región de Valparaíso

3.1.2.1. Cerros municipales de La Ligua, provincia de Petorca

a) Marco general

La CONAF y la I. Municipalidad de La Ligua, en el mes de diciembre de 1997 firmaron un convenio de comodato por terrenos municipales ubicados al sur de La Ligua, en cerros adyacentes a la ciudad. Este comodato tiene una vigencia de 10 años y abarca una superficie de 150 ha.

El objetivo central de este convenio es realizar trabajos de conservación y recuperación de suelos, para así, restablecer el equilibrio ecológico alterado en el tiempo por el fuego, la corta de árboles para leña, el sobrepastoreo, etc. Lo anterior se ve agravado en los eventos torrenciales, produciéndose erosión de manto y de canal, lo que repercute negativamente en el casco urbano de la ciudad, provocando el embancamiento de calles y alcantarillas, lo que dificulta el tránsito vehicular.

Otro beneficio buscado es la generación de un lugar de esparcimiento para los pobladores, para lo cual se han habilitado senderos y sectores para entretenimiento y recreación.

Los tratamientos están concentrados en cauces y laderas, y consisten en:

- Control de torrentes al construir diques de gaviones para disminuir la velocidad del agua y detener el sedimento arrastrado por ésta.
- Manejo de laderas basado en terrazas y zanjas de infiltración en curvas de nivel.
- Repoblación vegetal del área, mediante plantaciones y regeneración natural de las especies presentes.

En este contexto, se ha llevado a cabo una serie de tratamientos mecánicos, complementarios a los tratamientos biológicos, los cuales son los siguientes:

- Zanjas de infiltración
- Zanjas de evacuación
- Terrazas
- Hoyadura con colector

Adicionalmente, se realizó un mejoramiento de las aguas en los sectores denominados El Chivato y El Peumo. Estas vertientes entregan un caudal que puede ser almacenado y utilizado en el riego y otros usos que demande el recinto. Así, se realizaron trabajos de protección en ambas aguadas, como también labores de limpieza e impermeabilización del lugar donde se acumulará el agua. Asimismo, se construyeron estanques de almacenamiento con una capacidad de 600 m³, revestidos con geomembranas, para asegurar el riego de la forestación (cuadro 8).

Cuadro 8. Descripción de obras en cerros municipales, La Ligua

Tipo de obra	Especie asociada
Empalizada Microterrazza	Se ha sembrado <i>Acacia caven</i> <i>Prosopis chilensis</i> , <i>Schinus molle</i> , <i>Capparis spinosa</i> y <i>Quillaja saponaria</i>
Fajinas Alcantarillas	Sin información No hay

b) Resultados

Si bien se ha observado la disminución de sedimentos en las calles de la ciudad, en la comunidad no hay percepción de los beneficios. En los últimos 2 años, estos trabajos han sido difundidos más profundamente a la comunidad, a través de la creación de senderos internos y habilitación de zonas de picnic. No obstante, el principal problema existente en cuanto a la mantención de las obras, está dado por el ingreso de caballos a la zona protegida, quienes atraviesan los cercos (rotos por terceros) y dañan las plantaciones realizadas y las fajinas. Esto, sumado a la escasa vigilancia, no ha permitido el desarrollo de las plantaciones, y en estos momentos, es un problema sin solución. No obstante, se está recuperando un terreno actualmente degradado, incorporándolo como área verde en beneficio de toda la comunidad de la zona.

3.1.2.2. Centro demostrativo Altos de Carén, provincia de Petorca

a) Marco general

El año 1994 se firmó un convenio de comodato entre la CONAF y la I. Municipalidad de Petorca, por una extensión de terreno de 15 ha, de propiedad de esta última. La ubicación del proyecto fue el sector Los Comunes, localidad de Chincolco. El objetivo de este proyecto es realizar ensayos con plantaciones de uso forestal forrajero, huertos frutales y actividades de captura y manejo de agua, todos los cuales tendrán como fin servir de guía y ejemplo a pequeños propietarios de la zona (cuadro 9). Lo anterior, con el objetivo de lograr, a futuro, la incorporación al desarrollo productivo familiar de grandes extensiones de tierra subutilizadas y contribuir así a mejorar la calidad de vida de la población rural.

Cuadro 9. Descripción de obras en cerro Altos de Carén

Tipo de obra	Especie asociada
Limanes de piedras	Frutales
Muretes de piedra	Varias
Subsolado y taza cubierta con piedras	<i>Eucalyptus camaldulensis</i> , <i>Eucalyptus globulus</i> , <i>Eucalyptus cladocalyx</i>

b) Sistemas de captación de aguas de escorrentía

El área de captación de aguas es una cuenca de 196 ha. En la garganta de la cuenca se construyó un dique para detener las aguas y de ahí derivarlas con manguera plástica al terreno de ensayos, distante 500 m aguas abajo. Esta cuenca no siempre aporta el agua esperada, la cual depende además de la distribución de la lluvia, intensidad y duración.

Dada la situación anterior, se recurrió a un segundo sistema, que consistió en impermeabilizar un terreno con un cobertor asfáltico (este tratamiento incluye sacar las piedras superficiales y cubrir el terreno con una cubierta de asfalto mediante una motobomba). Este sistema tiene la ventaja que con precipitaciones pequeñas, como son la mayoría de las que ocurren en la zona, se puede captar agua. Luego, éstas se canalizan y se llevan a estanques acumuladores que están revestidos. Es fundamental contar con estos depósitos, para poder regar los árboles en el período seco. Las quebradas aportantes se eligen mediante el uso de un sistema de información geográfica (SIG - IDRISI).

c) Resultados

Luego de tres años de ensayos, los resultados son esperanzadores, ya que la mortalidad ha sido menor al 10% de los ejemplares plantados. Asimismo, el agua almacenada en estanques permite entregar riegos suplementarios a las especies, en cantidades de 5 litros mensuales a los árboles forestales y 25 - 30 litros cada 15 días a los frutales. Los eucaliptos plantados en algunos paños, superan los 4 m de altura.

3.1.2.3. Quebradas La Parra y Nazareto, provincia de Petorca

a) Marco general

Las quebradas La Parra y Nazareto escurren directamente a la ciudad de Petorca. En situación de lluvias torrenciales, las quebradas tributarias del río Petorca se activan y en poco tiempo aumentan su caudal, produciéndose obstrucción de acueductos e inundaciones en las poblaciones cercanas.

Frente a este escenario, la Oficina Provincial Petorca de la CONAF, formuló un proyecto, conducente a llevar a cabo obras que regulen los flujos hídricos de estas quebradas en los períodos invernales, el cual se ejecutó durante el año 2001, a través del programa de apoyo al sector forestal Plan de Apoyo al Desarrollo del Sector Forestal (PADEF). Estas labores estuvieron divididas en dos obras específicas; la construcción de diques de piedra en la línea de drenaje de las quebradas La Parra y Nazareto, y en una de menores dimensiones que fue denominada *Intermedia*, situada entre las dos primeras. La segunda obra es un canal que desvía las aguas desde la quebrada Nazareto a la quebrada La Parra.

Este programa tuvo como objetivo general, ejecutar obras de regulación de flujos hídricos en las quebradas La Parra, Nazareto e Intermedia.

Los tipos de obras utilizadas fueron:

- Diques
- Canal de desviación
- Muros de contención

b) Resultados

Las obras construidas resistieron bien la alta precipitación ocurrida en el año 2002 y no ha sido necesario reparar diques, aunque algunos de ellos se aterraron. Respecto a los diques colmatados, es importante hacer un seguimiento de ellos y planificar la construcción de otros complementarios, para lo cual se requiere recursos.

En cuanto al canal de desviación, éste tampoco presentó problemas durante el año 2002, pero sólo como medida preventiva, se realizó una limpieza de la sedimentación que tenía.

En definitiva, las obras construidas sirvieron a su propósito, ya que no hubo inundaciones ni obstrucción de acueductos.

3.1.2.4. Proyecto captura de agua en cuesta Las Chilcas, provincia de San Felipe

a) Marco general

El proyecto de captación de agua en la cuesta Las Chilcas (V Región), fue planteado por CONAF como un desafío para mitigar los procesos de desertificación en el interior de la V Región. Este desafío fue abordado por la Gerencia de Desarrollo y Fomento Forestal, a cuyo efecto se diseñó un sistema de captura de aguas lluvias, en base al conocimiento existente sobre el tema a nivel mundial y en Chile, según la experiencia de CONAF.

De esta manera, se seleccionó un área de trabajo de 11,5 ha correspondiente a la cuesta Las Chilcas, comuna de Llay-Llay, V Región. Su objetivo es ser un centro demostrativo de técnicas de recuperación de esta área desertificada, restituyendo la cobertura vegetal y aprovechando eficientemente las aguas lluvias, mediante la habilitación de diversas obras captadoras en el suelo. El área seleccionada presenta un grado extremo de desertificación, debido al sobrepastoreo caprino sobre un matorral muy pobre que se desarrolla sobre suelos muy delgados. Al inicio del proyecto se observaban muestras de erosión de manto y zanjas.

En el año 1998, se construyeron las obras de conservación de suelos, que se mencionan más adelante. Adicionalmente, se implementaron tres tipos de ensayos de plantación, correspondiente uno de ellos, a la adaptación de especies, otro a la plantación de *Schinus molle* y un tercer ensayo al establecimiento de especies de interés.

Las obras establecidas fueron las siguientes:

- Subsolado bajo camellón individual
- Subsolado bajo camellón continuo
- Subsolado sin camellón
- Canal de desviación con retroexcavador
- Canal de desviación manual
- Estanque
- Cisterna de acumulación
- Limanes

b) Resultados

En esta área antiguamente se sembraba trigo, y las obras y las plantaciones realizadas han provocado un impacto visual en la gente.

Además, se diseñó un sistema de captación de aguas lluvias, para la restauración hidrológico-forestal, lográndose excelentes resultados en materia de sabanización de esta área desertificada. Las especies forestales que lograron mejor desarrollo en las estructuras de captación de aguas lluvias corresponden a *Eucalyptus camaldulensis*, con un desarrollo máximo en altura de 6 m en 2 años, algo excepcional para la especie en Chile y en el mundo. Asimismo, *Schinus latifolius*, especie nativa, alcanzó un desarrollo máximo en altura de 2,5 m en 2 años, lo cual también es excepcional para la especie.

3.1.2.5. Proyecto corrección de torrentes y recuperación de laderas en microcuenca Las Salinas, provincia de Valparaíso

a) Marco general

La microcuenca Las Salinas, se ubica dentro de la zona urbana de la ciudad de Viña del Mar, en la subida Avenida Jorge Alessandri, desembocando sus aguas en el mar, en el sector playa Las Salinas. Esta microcuenca, presenta desequilibrios hidrológicos profundos, producto de diversos trabajos de movimiento de tierra y eliminación de la vegetación, para el desarrollo de un proyecto inmobiliario, que finalmente no prosperó. Dados estos desequilibrios, y la acumulación de tierra removida en el mismo cauce de las diferentes quebradas, se analizó la posibilidad de que estas condiciones pudieran dar origen

a diversos procesos de arrastre de sedimentos de gran magnitud, producto de eventuales fenómenos torrenciales, que amenazaran con destrucción, o daños severos, las diversas instalaciones presentes en el sector bajo del sector Las Salinas. Los posibles fenómenos torrenciales, que pueden afectar a esta microcuenca, se ven afectados por diversas situaciones presentes, que se indican a continuación:

- Por la remoción de la vegetación natural protectora del suelo, tanto en los sectores planos, como en laderas y en el cauce de las quebradas.
- Dado que su condición natural ha sido afectada, la cuenca de recepción actual de las aguas, al presentar suelos desnudos altamente erosionables y lluvias muy intensas de periodos muy cortos, puede dar origen a altos caudales de crecidas, en corto tiempo de duración.
- La presencia de diversos movimientos de suelo en laderas, como por ejemplo, los caminos de maquinarias, los depósitos de tierra, las hoyaduras y la acumulación de tierra suelta en diversos sectores del cauce, hacen de este sector un lugar potencial para la presencia de avalanchas, que podrían afectar instalaciones diversas.
- Los procesos erosivos, tanto a nivel de laderas como de cauce, se activan y profundizan al presentarse caudales de crecidas, lo que posibilita el transporte de estos materiales en grandes volúmenes, el que en las condiciones actuales y sin tratamiento, se deposita en lugares bajos de alto valor económico.

Dado lo anterior, el desarrollo de este programa tuvo por objetivo:

- Retener en el cauce la casi totalidad de los aportes sólidos, de manera que se eviten problemas de depósitos masivos de materiales, los que pueden dañar la infraestructura presente aguas abajo.
- Suprimir todo tipo de aporte de materiales de los taludes y vertientes, que pudieran dañar la infraestructura en la zona de influencia de la cuenca.

Para controlar los eventuales arrastres de sedimentos, se planteó la construcción de 14 diques de piedra (mampostería en seco), para la contención del material de arrastre.

Para el tratamiento de laderas se construyeron surcos en contorno, en un área aproximada de 5 ha, en los interfluvios de las quebradas a tratar con diques. Adicionalmente, en el suelo entre surcos se sembró con gramíneas estacionales y permanentes.

b) Resultados

El sistema de surcos ejerció todo el control sobre la escorrentía del lugar, impidiendo eventos de avalanchas de barro y piedras sobre las partes bajas. A la fecha, el sistema ha operado durante 3 inviernos sin problemas y los diques, aunque no han trabajado eficientemente, han sido apoyados eficazmente por el sistema de surcos.

3.1.2.6. Protección de la microcuenca Los Lúcumos, Playa Ancha, provincia de Valparaíso

a) Marco general

La microcuenca o quebrada Los Lúcumos, se ubica dentro de la zona urbana de Valparaíso, en el sector de Playa Ancha. Su nacimiento está en la Avenida Quebrada Verde, a la altura de la población Marina Mercante. El cauce principal de la quebrada tiene 1.100 m de largo y desemboca en el mar. Presenta el tercio superior de la ladera norte plantada con eucalipto. El tercio medio de la misma ladera presenta un vertedero de basura y, el tercio inferior, cercano al mar, está desprovisto de plantaciones o vegetación arbustiva o arbórea. La ladera sur presenta una vegetación de pradera altamente degradada y áreas con residuos domésticos de las casas aledañas.

No se evidencian fenómenos de tipo torrencial en el cauce de la cuenca por la escasa longitud de éste,

pero sí arrastre de sedimentos que llegan al mar, el cual es posible contener con obras transversales en el cauce.

Los objetivos del proyecto fueron los siguientes:

- Propender a la protección y conservación de esta microcuenca urbana, que en el pasado tenía importantes poblaciones de *Lucuma valparadisea*, además de otras especies nativas amenazadas.
- Disminuir el efecto del escurrimiento superficial, captar agua de lluvia y preparar suelos para la plantación forestal.
- Reforestar las laderas con la finalidad de revegetar artificialmente la cuenca y formar un pequeño bosque urbano en Playa Ancha, que permita a futuro su uso en recreación.
- Controlar los escurrimientos del cauce de la quebrada y retener el arrastre de sedimentos, mediante la construcción de dos diques de mampostería hidráulica para la retención de sedimentos.

Para la ejecución de los trabajos se realizó un proyecto Pro-empleo, para lo cual se firmó un convenio con la Intendencia Regional (V Región). Por otra parte, para el control del cauce de la quebrada, se construyeron diques transversales de mampostería hidráulica. Éstos fueron diseñados por profesionales de la CONAF, a partir del cálculo de caudales máximos y la posterior determinación de la precipitación máxima en 24 h para distintos periodos de retorno, obtenidas por ajuste de la función de Gumbel.

b) Resultados

El diseño de los diques fue el adecuado, pero la construcción presentó problemas tanto por la falta de recursos para materiales, como por la falta de personal capacitado.

En cuanto a la plantación realizada (cuadro 10), ésta sufrió daño por un incendio y además varias plantas fueron sustraídas por personas, por lo que en la actualidad sobrevive cerca del 10% de la población inicial.

Cuadro 10. Descripción de obras microcuenca Los Lúcumos

Tipo de obra	Especie asociada
Diques en mampostería hidráulica Surcos en contorno	No hay <i>Pinus radiata</i> , <i>Cryptocarya alba</i> , <i>Beilschmiedia miersii</i> , <i>Crinodendron patagua</i> , <i>Schinus molle</i> y <i>Lucuma valparadisea</i>

3.1.3. Región Metropolitana

3.1.3.1. Control de erosión y forestación en cuencas hidrográficas de la zona semiárida de Chile, sector San Pedro, Alto Loica, provincia de Melipilla

a) Marco general

Este proyecto se enmarca en el convenio de cooperación internacional suscrito entre los gobiernos de Chile y Japón, a través de la CONAF y la JICA. Este convenio surge en consideración a los procesos de erosión y desertificación existentes en la zona semiárida del país, para lo cual se lleva a cabo el proyecto Manejo de Cuencas CONAF/JICA «Control de erosión y forestación en cuencas hidrográficas de la zona semiárida de Chile», el que se inicia a partir de marzo de 1993, con una duración de 6 años. La institución ejecutora del proyecto es la CONAF.

El objetivo del proyecto es contribuir al mejoramiento de la calidad de vida y el ambiente de los habitantes de la zona semiárida de Chile, a través del desarrollo y demostración tecnológica en temas de control

de erosión, forestación y viverización, e incorporar al desarrollo las actividades agrícolas de los habitantes rurales (CONAF, 1998).

Asimismo, para llevar a cabo el proyecto se implementaron 3 áreas demostrativas; una de ellas está ubicada en el sector Alto Loica en San Pedro, a 120 km al sur poniente de Santiago. En este sector se estudiaron 3 microcuencas, a saber, Cuenca N° 1 (28 ha), Cuenca N° 2 (17 ha) y Cuenca N° 3 (38 ha), a la vez que se desarrollaron tres temáticas, a saber, Conservación de Suelos, Forestación y Viverización, estando el primero relacionado con los objetivos de esta publicación (CONAF, 1998).

En el marco de la especialidad de conservación de suelos, se realizó un diagnóstico del suelo degradado y en base a éste, se desarrollaron diversos métodos de conservación y forestación.

Mientras duró el proyecto se midió el efecto de las obras de conservación de suelos y de la forestación sobre el flujo superficial de las aguas, a través de 2 aforadores instalados en la parte superior de 2 microcuencas; uno de ellos se ubicó en la microcuenca N° 2, donde se construyeron obras de conservación de suelos, y el otro en una microcuenca colindante utilizada como testigo, ya que no presenta obras de conservación de suelos ni forestación. Adicionalmente, para determinar la magnitud de la degradación del suelo, se instalaron seis parcelas de escorrentía (tres parcelas ubicadas en la microcuenca N°2 y tres en la microcuenca N°3), utilizando la metodología de medición de pérdida de suelos del Departamento de Conservación de Suelos de E.E.U.U., y según los estándares de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelos (USLE); así, en estas parcelas se realizaron mediciones del volumen de sedimentos acarreados por cada evento de precipitación (CONAF, 1998).

Tipos de obras implementadas:

- Canales de desviación
- Zanjas de infiltración
- Muros de neumáticos
- Empalizada o líneas de postes de madera
- Canales transversales de madera

b) Resultados

Los resultados obtenidos con los aforadores, indican que las obras de conservación de suelos y la forestación en la microcuenca N°2, han disminuido el escurrimiento directo, aumentando el volumen de agua infiltrada. Por otro lado, en las parcelas de escorrentía superficial instaladas en las microcuencas experimentales, se comprobó el beneficio del tratamiento integral de cuencas en la disminución de la erosión. Respecto a la difusión y transferencia, se puede mencionar que entre los años 1996 y 1997, este módulo demostrativo ha sido visitado por 440 personas de diferentes instituciones gubernamentales, como la Corporación Nacional Forestal, el Instituto Forestal, el Instituto de Desarrollo Agropecuario, INDAP, y Universidades, además de las municipalidades cercanas, de organizaciones no gubernamentales, consultoras privadas y propietarios de la zona (CONAF, 1998).

3.1.4. Región del Libertador General Bernardo O'Higgins

3.1.4.1. Manual para la aplicación de técnicas de captación de aguas lluvias en predios de secano para la forestación

a) Marco general

Este manual entrega antecedentes de diversas experiencias desarrolladas, entre las regiones VI y VIII, por el INFOR en el marco del Proyecto de Desarrollo de las Comunas Pobres de la Zona de Secano, PRODECOP-Secano. Dicho manual se publicó en agosto de 2000 y contó con el financiamiento de la Fundación para la Innovación Agraria, FIA, del Ministerio de Agricultura.

Las experiencias de forestación pretenden analizar las posibilidades y limitaciones del uso de la técnica de captación de aguas lluvias, en comparación con las plantaciones con riego ocasional, aprovechando aguas de vertiente.

Este manual describe cinco técnicas de captación de aguas lluvias aplicadas dentro del país.

- Surcos en media luna
- Trincheras o surcos
- Terrazas con muro de piedra, de forma rectangular o de semicírculo
- Canaletas de desviación
- Limanes

La característica que describe a cada una de las técnicas, se basa principalmente en la captación de la escorrentía en ladera, considerando las siguientes variables:

- Agua requerida: es el agua necesaria a captar por el colector, estando relacionada con la especie que se va a plantar y la precipitación anual.
- Precipitación estimada: es la precipitación media anual, aconsejándose el uso de una media anual con una probabilidad del 67% de ocurrencia.
- Coeficiente de escorrentía: es la proporción de la lluvia que escurre en el área de captación.

b) Resultados

Este manual entrega interesantes aportes referentes al tipo de obras que pueden ser utilizadas en zonas áridas y semiáridas.

Para seleccionar la ubicación de los colectores se deben considerar las restricciones de pendiente para cada tipo de colector y el tipo de captura de escorrentía que se desea hacer, desde laderas o quebradas.

3.1.4.2. Módulos hidrológicos La Gloria y Ranguilí, provincia de Colchagua

a) Marco general

La Oficina Provincial de Colchagua de la CONAF, implementó los módulos La Gloria y Ranguilí para estudiar el comportamiento de la humedad edáfica en plantaciones forestales y la influencia de la humedad en el crecimiento de estas plantaciones. En este marco, el objetivo de este módulo fue definir las curvas de tensión de la humedad edáfica y relacionarlas con la sobrevivencia y desarrollo de plantas de *Pinus radiata* (D. Don) y *Eucalyptus globulus*. Para tal efecto, en el año 2001, se implementaron ensayos en dos sectores de la provincia de Colchagua, uno en el sector de Ranguilí, comuna de Lolol y otro en el sector La Gloria, comuna de Pumanque.

En los dos sectores mencionados se implementó un módulo de 0,5 ha cada uno, definiéndose tres ámbitos de estudio:

- i) Determinación de los efectos de diferentes tratamientos de preparación de suelo y captación de aguas lluvias, en la sobrevivencia y crecimiento de dos especies forestales: *Pinus radiata* (D. Don) y *Eucalyptus globulus*. En este marco, se implementaron parcelas con los siguientes tratamientos:
 - Testigo
 - Zanjas de infiltración
 - Microterrazas
 - Microterrazas y zanjas de infiltración
 - Barbecho
 - Barbecho y zanjas de infiltración
- ii) Determinación de las curvas de humedad edáfica a través de la instalación de tensiómetros en los distintos tratamientos ya mencionados y a dos profundidades: a 30 y 60 cm. Por otra parte, en el tratamiento con zanjas de infiltración se instalaron tensiómetros a tres diferentes distancias de las zanjas, a saber; 0,6 m, 3 m y 5 m aguas abajo de ellas.

iii) Determinación del efecto de fertilización en las plantas para los distintos tratamientos de preparación de suelo y captura de aguas lluvias.

En la cota superior de la parcela se construyó un canal de desviación, el que permite homogeneizar las condiciones de humedad en el suelo.

b) Resultados

A través de ambos módulos, se espera por una parte, tener una inferencia acerca del comportamiento de la humedad en el suelo para los tratamientos implementados, y por otra parte, se espera definir qué tratamiento favorece más a cada una de las especies. El informe de estos resultados está en etapa de elaboración.

Por otra parte, ambos sectores se han utilizado para la difusión de las técnicas de conservación de aguas y suelos, y de fertilización de plantaciones, dirigida a propietarios y a operadores.

3.1.4.3. Captación de agua y fertilización en plantaciones de *Eucalyptus globulus*, secano interior, provincia de Colchagua

a) Marco general

Este proyecto surge como respuesta a la creciente demanda de actividades silviculturales en las plantaciones forestales de pequeños propietarios acogidos a los beneficios del D.L.701 de 1974. Así, con los PADEF de la temporada 2001, se crearon varias opciones de trabajo en el sector, como el programa de mejoramiento en la productividad de plantaciones establecido por la CONAF, provincia Colchagua. Este programa se desarrolló en las comunas de Santa Cruz, Lolol y Pumanque, con una duración de 10 meses, dirigido a la transferencia y ejecución de actividades silviculturales, como técnicas de captación de agua a través de zanjas de infiltración, el uso de fertilizantes, la aplicación de podas y raleos, etc. Con el objetivo de evaluar más adelante los resultados de estas actividades, se instalaron módulos en parcelas experimentales.

El trabajo se realizó en una superficie total de 900 ha de plantaciones de pequeños propietarios, establecidas por CONAF desde 1991 a 2000. En cada predio se trabajó en uno o más bosquetes de eucalipto, seleccionando rodales de distintas edades, condiciones de desarrollo y tipos de suelo.

Los sectores de trabajo comprendieron las comunas de Santa Cruz, Pumanque y Lolol. Las actividades desarrolladas contemplaron los siguientes trabajos:

- Capacitación y transferencia
- Captación de agua
- Fertilización
- Poda, raleo sanitario, desbroce y ordenamiento
- Módulo experimental zanja - fertilización

Para la captación de agua se construyeron zanjas de infiltración, canales de desviación y empalizadas. Para la construcción de zanjas de infiltración se utilizó el manual de diseño elaborado en la oficina provincial de Colchagua, en el cual se consideraron las siguientes variables:

- Precipitación máxima en 24 h, con un periodo de retorno de 10 años.
- Pendiente del terreno y largo de la pendiente.
- Tipo de vegetación existente.
- Especificaciones técnicas del D.L. 701 de 1974.

Las obras ejecutadas fueron de tres tipos:

- Zanjas de infiltración
- Canales de desviación
- Empalizadas de distintas dimensiones

b) Resultados

Este proyecto presenta la virtud de utilizar un diseño con bases hidrológicas, para la construcción de zanjas de infiltración, que aunque es susceptible de ser mejorado, representa una muy buena aproximación a un diseño óptimo.

Asimismo, resulta interesante y novedosa la aplicación de técnicas de conservación de aguas y suelos en plantaciones ya establecidas (entre 3 y 9 años de edad), ya que han mostrado buenos resultados que se expresan en el importante crecimiento de las plantas. El informe de estos resultados está en elaboración.

Por otra parte, mediante este programa, se ha transferido el uso de técnicas silviculturales y de captación de aguas lluvias a 50 propietarios, quienes además fueron capacitados para la aplicación de las mismas.

3.1.4.4. Manual para el desarrollo de conservación de suelos; canal de desviación - sistema de zanjas de infiltración

a) Marco general

Este manual surge de la necesidad de entregar una metodología para la elaboración de proyectos de conservación de suelos, en aspectos tales como la recolección de datos, el procesamiento de la información, los métodos de diseño de obras de conservación y los aspectos legales, poniendo especial énfasis en el diseño de obras de conservación de suelos que controlen la escorrentía superficial.

El objetivo de este trabajo, es desarrollar una metodología de aplicación de técnicas de conservación de suelos, para profesionales del sector forestal y en terrenos susceptibles de acogerse a los subsidios que otorga el D.L. 701.

La metodología utilizada se basa en un análisis de precipitaciones, para la obtención de las intensidades y magnitudes en tiempos pequeños (menores a 24 h, generalmente menor o igual a 1 h); posteriormente, se diseñan y dimensionan canales de evacuación y zanjas de infiltración para la desviación y captación de la escorrentía superficial.

Luego, en base a la metodología propuesta, se incorporaron tres predios al sistema del D.L. 701, ubicados en la comuna de Pumanque, provincia de Colchagua.

Este manual tiene la particularidad de estimar las dimensiones de las obras a través de un análisis hidrológico, basándose en las características del suelo y las condiciones climáticas.

Las obras analizadas en este manual corresponden a:

- Canal de desviación
- Zanjas de infiltración

b) Resultados

Esta metodología plantea el análisis de la precipitación máxima en 24 h, lo que desde un punto de vista hidrológico es discutible, ya que los eventos de mayor intensidad de precipitación, difícilmente duran tanto tiempo.

En términos generales, la aplicación de la metodología propuesta no ha presentado mayores inconvenientes, lográndose los objetivos de los trabajos, que es establecer una plantación y aumentar la disponibilidad de humedad para las plantas. Por otra parte, esta metodología presenta la ventaja de ser dúctil, ya que el caso de las zanjas de infiltración, por ejemplo, se puede definir, en forma previa, el distanciamiento entre líneas de zanjas y acomodarlas a las líneas de plantación, o definir con anterioridad la sección de las zanjas, de acuerdo a las herramientas (ancho de la pala) que se utilizarán.

3.1.4.5. Restauración hidrológica y forestal de la cuenca poniente del poblado Sierras de Bellavista, provincia de Colchagua

a) Marco general

En enero de 1999 se quemaron 25.000 ha de bosque nativo y plantaciones de *Pinus radiata* (D. Don) en Sierras de Bellavista, devastando las cuencas de los ríos Claro, Clarillo y Tinguiririca. La pérdida de la cobertura vegetal y las alteraciones del suelo producto de la alta intensidad del fuego, ha provocado una alta susceptibilidad del suelo a la erosión. Con las lluvias del período invernal del mismo año, este fenómeno se hizo patente modificando profundamente el régimen hídrico de la cuenca, con lo que se afectó de modo particular el abastecimiento de agua potable del poblado de Sierras de Bellavista.

Para tratar esta problemática, surgió este proyecto, el que a su vez aprovechó las instancias de generación de empleo, a través del plan de absorción de mano de obra regional, figura que se concretó por un convenio entre la Intendencia Regional (VI Región), la I. Municipalidad de San Fernando y la CONAF. En este acuerdo, también se incorporó a la Sociedad Inmobiliaria de Sierras de Bellavista y la empresa Celulosa Constitución (CELCO).

Este proyecto representa un aporte como modelo de recuperación de ambientes degradados, ya que utiliza técnicas enmarcadas en la nueva Ley de Fomento Forestal, y tiene como objetivo general, proteger la calidad del abastecimiento de agua potable en la cuenca poniente del poblado de Sierras de Bellavista.

En este marco, el plan de contingencia diseñado tuvo por finalidad controlar la agresividad de las precipitaciones, el desorden en el escurrimiento superficial, el acarreo de sedimentos, los deslizamientos y los derrumbes de tierra, todos procesos susceptibles de producirse en los siguientes años de ocurrido el incendio, debido a las características del lugar.

Para llevar a cabo la restauración hidrológico-forestal se requirió la construcción de un conjunto de obras, para el tratamiento del cauce y de las laderas, las que se muestran en el siguiente cuadro.

Cuadro 11. Descripción de obras en Sierras de Bellavista

Tipo de obra	Especie asociada
Canal de desviación	No hay
Zanjas de infiltración	<i>Quillaja saponaria, Lithraea caustica, Cryptocarya alba</i>
Terrazas	<i>Quillaja saponaria, Lithraea caustica, Cryptocarya alba</i>
Dique de polines de pino impregnado	No hay
Dique de polines de ciprés	No hay
Empalizada de pino impregnado	<i>Quillaja saponaria, Lithraea caustica, Cryptocarya alba</i>
Empalizada de polines de ciprés	<i>Quillaja saponaria, Lithraea caustica, Cryptocarya alba</i>
Empalizada de pino quemado	<i>Quillaja saponaria, Lithraea caustica, Cryptocarya alba</i>
Dique de gaviones	No hay
Limán de estructura gavionada	<i>Quillaja saponaria, Lithraea caustica, Cryptocarya alba</i>
Limán	<i>Quillaja saponaria, Lithraea caustica, Cryptocarya alba</i>

b) Resultados

La restauración hidrológico-forestal planteada inicialmente se ha alcanzado, lográndose el objetivo relacionado con el abastecimiento de agua potable al poblado de Sierras de Bellavista. En este sentido, se pone en evidencia la eficiencia de las obras de conservación implementadas en el proyecto, ya que resultaron eficaces en el control de la escorrentía superficial, la regulación del flujo hídrico y la retención de sedimentos en las obras construidas.

Por otra parte, la vegetación ha logrado restaurarse, contando en este momento con una cobertura vegetal entre 80 y 90%. Esta cobertura está conformada por especies del tipo forestal esclerófilo, como quillay, litre, peumo y además, por la especie *Pinus radiata* (D. Don), la cual se ha regenerado naturalmente, constituyéndose en un importante aporte para la cobertura vegetal.

3.1.4.6. Obras mecánicas y biológicas en los predios demostrativos Manquehua, Proyecto Facility 1B, provincia Cardenal Caro

a) Marco general

La I. Municipalidad de Litueche se encuentra desarrollando este proyecto, con financiamiento de la FAO. Para llevarlo a cabo, el sector elegido correspondió a Manquehua, de la comuna Litueche, específicamente el predio Hijueta Santa Julia Lote 1.

El predio cuenta con una superficie de 7,29 ha, la que se dividió en 2 parcelas. En ambas se realizaron trabajos de conservación de suelos, específicamente zanjas de infiltración, y adicionalmente, se construyeron muretes de piedra, empalizadas y fajinas.

La forestación se realizó con las siguientes especies *Quillaja saponaria*, *Acacia saligna*, *Prosopis chilensis*, *Atriplex nummularia*, *Robinia pseudoacacia*. Esto se realizó en forma independiente de las obras.

Las obras realizadas corresponden a:

- Empalizada
- Zanja de infiltración
- Muretes de piedra
- Fajinas
- Muretes de piedra
- Empalizada

b) Resultados

Con la ejecución de este proyecto se está transfiriendo a los propietarios de la zona, técnicas de forestación con especies arbóreas forrajeras, junto a las técnicas de conservación de aguas y suelos, prácticas que no son comunes en esos lugares. Asimismo, se está recuperando un terreno actualmente degradado, incorporándolo como posible área verde en beneficio de toda la comunidad de la zona.

3.1.4.7. Proyecto de conservación de suelos degradados, predio Lagunillas, provincia Cardenal Caro

a) Marco general

La comuna de Paredones presenta cerca del 95% de su superficie con algún grado de erosión, la que ha sido causada, principalmente, por las prácticas de la agricultura tradicional, que durante años han empobrecido la calidad de los suelos. Para revertir este proceso, la CONAF, en el año 2002, a través de su oficina de Paredones, desarrolló este módulo demostrativo de técnicas de conservación de suelos degradados, en el marco de la Ley de Fomento Forestal, con el objetivo de transferirlas a propietarios y consultores.

El módulo demostrativo comprendió una superficie de 4,0 ha y se implementó en el predio Lagunillas, de la Comuna de Paredones, Provincia Cardenal Caro, donde se construyeron las siguientes obras de recuperación de suelos degradados: canales de desviación, zanjas de infiltración, diques de postes impregnados, empalizadas, microterrazas manuales, fajinas, muretes de sacos y forestación con diversas especies nativas y exóticas. Asimismo, se forestó con varias especies: *Eucalyptus globulus*, *Quillaja saponaria*, *Cryptocarya alba*, *Peumus boldus*, *Jubaea chilensis*, *Acacia melanoxylon*, *Robinia pseudoacacia*, *Pinus radiata*, *Maitenus boaria*, *Cupressus macrocarpa*, *Shinus molle* y *Grevillea robusta*.

Las obras establecidas corresponden a:

- Zanja de infiltración
- Canales de desviación
- Diques de polines
- Microterrazza manual
- Empalizadas

- Muretes de sacos
- Obras lineales (Fajinas)

b) Resultados

A través de este módulo se han transferido diferentes técnicas de conservación de suelos degradados a propietarios y consultores, todas ellas enmarcadas en la Ley de Fomento Forestal.

3.1.4.8. Transferencia tecnológica y capacitación forestal de pequeños propietarios, provincia Cardenal Caro

a) Marco general

Debido al deterioro de los suelos en la zona, se elaboró el proyecto, el que consideró el establecimiento de un módulo demostrativo de actividades de conservación y forestación de suelos degradados. Este proyecto fue ejecutado por profesionales de CONAF Paredones, a la vez que se espera sea de utilidad para propietarios y profesionales, para difundir el subsidio que otorga la Ley de Fomento Forestal (cuadro 12).

Cuadro 12. Descripción de obras de transferencia tecnológica y capacitación forestal a pequeños propietarios, provincia Cardenal Caro

Tipo de obra	Especie asociada
Zanja de infiltración	<i>Pinus radiata</i> , <i>Eucalyptus globulus</i> y <i>Quillaja saponaria</i>
Canal de desviación	<i>Pinus radiata</i> , <i>Eucalyptus globulus</i> y <i>Quillaja saponaria</i>
Diques de polines	<i>Pinus radiata</i> , <i>Eucalyptus globulus</i> y <i>Quillaja saponaria</i>
Empalizada	<i>Pinus radiata</i> , <i>Eucalyptus globulus</i> y <i>Quillaja saponaria</i>

b) Resultados

La construcción de zanjas de infiltración se desarrolló de acuerdo a un diseño con bases hidrológicas, siendo una buena aproximación al diseño óptimo. En general, las obras construidas han respondido bien a las solicitudes hídricas, demostrando que el método aplicado es efectivo, en cuanto a la retención de la escorrentía superficial. En este mismo sentido, la plantación presentó un buen prendimiento.

3.1.5. Región del Maule

3.1.5.1. Módulos demostrativos de recuperación y conservación de suelos, Región del Maule

a) Marco general

La CONAF, Región del Maule, en el marco del Programa Combate Contra la Desertificación, está desarrollando una línea de trabajo que comenzó en 1997 con un estudio de la susceptibilidad a la desertificación y su estado actual en la Región; luego, en 1998 se focalizó el diagnóstico en las áreas que se presentaban como críticas, obteniéndose mapas a escala 1:50.000; después, en 1999, se propusieron tratamientos para la conservación del suelo en las áreas estudiadas, y en el año 2000 se establecieron 6 módulos demostrativos de obras de conservación y recuperación de suelos degradados, los cuales incluyeron las obras consideradas en los incentivos dispuestos por el D.L 701, modificado en 1998 por la Ley 19.561.

De los 6 módulos, en 5 se construyeron obras simples, en una superficie que varía entre 1 y 2 ha, mientras que en el sexto, se incluyó una mayor diversidad y complejidad de obras, distribuidas en una superficie de 11 ha. El tipo de obra y las especies forestales asociadas a éstas se presentan en el cuadro 13.

Cuadro 13. Descripción de las Obras realizadas en módulos demostrativos en la Región del Maule

Tipo de obra	Especie asociada
Zanjas de infiltración	<i>Pinus radiata</i>
Diques de mampostería gavionada	<i>Pinus radiata</i> , <i>Cryptocarya alba</i> , <i>Eucalyptus globulus</i> , <i>Quillaja saponaria</i> y <i>Peumus boldus</i>
Empalizadas	<i>Pinus radiata</i> , <i>Cryptocarya alba</i> , <i>Eucalyptus globulus</i> , <i>Quillaja saponaria</i> y <i>Peumus boldus</i>
Diques de postes de madera	<i>Pinus radiata</i> , <i>Cryptocarya alba</i> , <i>Eucalyptus globulus</i> , <i>Quillaja saponaria</i> y <i>Peumus boldus</i>
Tratamiento lineal con sacos rellenos de tierra	<i>Pinus radiata</i> , <i>Cryptocarya alba</i> , <i>Eucalyptus globulus</i> , <i>Quillaja saponaria</i> y <i>Peumus boldus</i>
Terraza Forestal	<i>Pinus radiata</i> , <i>Cryptocarya alba</i> , <i>Eucalyptus globulus</i> , <i>Quillaja saponaria</i> y <i>Peumus boldus</i>
Canal de Desviación	No hay
Zanjas de Infiltración	<i>Pinus radiata</i>
Subsolado con camellón	Varias especies

b) Resultados

Las obras construidas han mantenido su funcionamiento, soportando bien altas precipitaciones, como las ocurridas en 2002, por lo que no ha sido necesario hacer reparaciones. Asimismo, en todos los módulos se observó un alto prendimiento, llegando las especies exóticas como el *Pinus radiata* (D. Don) y *Eucalyptus sp.*, al 90% en promedio. Las especies nativas, presentaron menor prendimiento.

3.1.5.2. Recuperación de suelos en la comuna de Curepto, provincia de Talca

a) Marco general

En 1990, la CONAF Región del Maule inició un proyecto de recuperación de suelos en el sector de Llongocura. El objetivo es asociar prácticas de conservación de suelos, con el establecimiento de plantaciones de *Pinus radiata* (D. Don).

Esta experiencia se desarrolló en la microcuenca del Estero Barroso, en predios pertenecientes a pequeños propietarios, ubicados en la localidad Llongocura, distante a 55 km al poniente de Talca, por el camino que va a Curepto. Esta zona está caracterizada por manifestar una fuerte erosión, tanto de manto como de cárcavas, presentando suelos de clase VII de capacidad de uso. Entre las técnicas usadas se puede señalar las zanjas de infiltración y subsolado.

Una investigación asociada a esta experiencia es la desarrollada por Saavedra (1998), donde se compara el crecimiento de pino en una situación con zanja de infiltración v/s el crecimiento en una zona aledaña de características similares, sin zanjas de infiltración, y señala que existe una diferencia a favor de la primera situación de 4 veces más en el volumen, a los 7 años de edad.

Por otra parte, Pérez (2001) realizó un estudio que tuvo como objetivo la evaluación del impacto de las zanjas de infiltración en la productividad de *Pinus radiata* (D. Don), comparando las situaciones con zanjas y sin zanjas. Dicha evaluación se hizo mediante la proyección de los volúmenes de ambos rodales (simulando esquemas de manejo) a edades de aprovechamiento, considerando los siguientes valores: volumen total, volumen aserrable sin nudos, volumen aserrable país y volumen pulpable. Así, proyectan para el final de la rotación, un crecimiento mayor en un 61% en la situación con zanjas de infiltración respecto a la zona testigo.

Posteriormente, en el año 2002, se realizaron nuevas mediciones comparativas del bosque de *Pinus radiata* (D. Don), entre las situaciones con zanjas y sin zanjas de infiltración, en el marco del 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», FDI-CORFO. Este análisis indica que el sector con zanjas de infiltración posee 2,2 veces más volumen que el sector sin zanjas.

b) Resultados

En la primera medición que se hizo, cuando la plantación tenía 7 años de edad, la diferencia volumétrica entre ambas situaciones fue de 400% a favor de la situación con zanjas de infiltración. Luego, según las mediciones realizadas durante 2002, esta diferencia disminuyó a 220%. Si bien la diferencia es menor, esto se puede explicar por el hecho de que cualquier tratamiento realizado en la plantación tendrá mayor impacto en los primeros años, cuando la tasa de crecimiento es mayor. Aún así, y según la proyección del crecimiento hecha por Pérez (2001), se demuestra que al final de la rotación, es decir entre los 18 y 21 años de edad, la situación con zanjas mostrará un crecimiento mayor, de un 61%, respecto a la situación sin zanjas.

Estos resultados corroboran la efectividad y los beneficios de las zanjas de infiltración en el mejoramiento de la calidad de los suelos, ya que aumenta su productividad, y por ende, se incrementa su valor comercial.

3.1.6. Región del Bío-Bío

3.1.6.1. Área demostrativa en predio Santa Isabel, provincia de Ñuble

a) Marco general

El establecimiento de esta área demostrativa se enmarca dentro del programa de mejoramiento de gestión del año 2000 de la CONAF (VIII Región), y en ella se ejecutaron en forma práctica y a escala operacional obras de conservación de suelos, teniendo como marco restrictivo los costos establecidos en la tabla de costos para la temporada 2000.

Este proyecto tuvo como objetivo general, lograr la ejecución de las actividades de recuperación de suelos y de forestación con *Pinus radiata* (D. Don), utilizando las herramientas de fomento e incentivo consideradas en la ley 19.561 que modifica el D.L. 701 en el predio de un pequeño propietario forestal, siendo el primer predio de la provincia en obtener la bonificación por obras de conservación de aguas y suelos.

La superficie intervenida se rodalizó en 2 sectores, según el grado de erosión: uno de 5,6 ha, donde sólo se implementaron zanjas de infiltración; y otro más pequeño de 2,9 ha, en el cual se forestó y se implementaron obras de conservación, las que fueron zanjas de infiltración y surcos en contorno.

b) Resultados

Producto de las lluvias tan concentradas (la precipitación del invierno del año 2000 resultó ser bastante superior a la de un año normal), las zanjas de infiltración no fueron capaces de retener la totalidad de la lluvia escurrida; no obstante, las zanjas mostraron su eficiencia como captadoras de agua.

3.1.6.2. Coelemu, provincia de Ñuble

a) Marco general

La ciudad de Coelemu, se encuentra emplazada en la línea costera de la Región del Bío Bío, zona que se caracteriza por una alta pluviometría y condiciones edáficas muy particulares, que hacen de ésta un área muy peligrosa para los emplazamientos urbanos. Es el caso de la población 11 de Septiembre en la misma ciudad de Coelemu, donde históricamente se han producido aludes y daños por constituir un punto de evacuación natural de aguas en periodos de invierno. Es por esto, que la I. Municipalidad de Coelemu y la CONAF, desarrollaron este proyecto enmarcado en el programa PADEF en el año 2001, con el propósito de resguardar la seguridad de la población contra aludes e inundaciones en períodos invernales.

Los trabajos realizados corresponden a las siguientes obras:

- Zanjas de infiltración
- Diques de concreto

- Diques de polines
- Diques de madera
- Muros de neumáticos

Las especies utilizadas en este proyecto fueron, entre otras, *Quillaja saponaria*, *Nothofagus alpina* y *Castanea sativa*, las cuales se plantaron en forma aislada, no existiendo una ordenación de las mismas.

b) Resultados

Los trabajos realizados en el cerro aledaño a la población 11 de Septiembre, han permitido disminuir los procesos erosivos y con ello, la inundación de las calles y el arrastre de sedimentos, lo que ya es un mejoramiento para sus habitantes. No obstante, en algunas de las obras construidas, principalmente los diques, se aprecia claramente que éstos no son adecuados en cuanto a sus dimensiones, ya que algunos han sufrido daños, por lo que se hace necesaria una continua supervisión y mantención. En cuanto a la forestación realizada, ésta tuvo un prendimiento no mayor al 50% en el primer año, destacando *Quillaja saponaria* con 50% y *Nothofagus alpina* con 40%. Los principales problemas que ha tenido la forestación, tienen que ver con el tránsito continuo de personas, produciendo pisoteo de las plantas y daños mecánicos.

3.1.6.3. Módulo de control de erosión predio Santa Sofía, provincia de Ñuble

a) Marco general

Santa Sofía es un predio perteneciente a Forestal CELCO, ubicado en la comuna de Portezuelo. La superficie total del predio es de 193,2 ha y la empresa implementó un módulo demostrativo de control de erosión en una superficie de 36 ha, las que fueron plantadas en el año 2001, mientras que las obras se construyeron en el año 2002 (cuadro 14). Se instalaron estacas en el perímetro de las cárcavas, para medir el avance de ellas.

Cuadro 14. Descripción de obras módulo de erosión, predio Santa Sofía (Forestal CELCO)

Tipo de obra	Especie asociada
Zanjas de infiltración	<i>Pinus radiata</i>
Canales de desviación	No hay
Diques de sacos	<i>Pinus radiata</i>
Líneas de sacos	<i>Pinus radiata</i>

b) Resultados

Para ver los efectos de las obras en el control de los procesos erosivos, se realizaron las mediciones en el año 2004 del avance de las cárcavas y de sedimentación a través de la medición de la calidad de agua.

3.1.6.4. El proyecto CADEPA; Conservación del medio ambiente y desarrollo rural participativo en el secano mediterráneo de Chile, provincia de Ñuble

a) Marco general

Es un programa de desarrollo rural integral que se desarrolla en la comuna de Ninhue, con una duración de 6 años (1999-2005). El proyecto es administrado por el Instituto de Investigación Agropecuaria (INIA) (Quilamapu) y cuenta con la colaboración de la JICA, Comisión Nacional de Riego (CNR) y el Fondo Nacional de Desarrollo Regional (FNDR VIII Región).

El objetivo general es mejorar la calidad de vida de los productores del secano interior, desarrollando programas de promoción de agricultura conservacionista. De esta forma incorpora el concepto de manejo de microcuencas como unidad de trabajo, lo que significa que deben integrarse todos los productores y usuarios de esa unidad geográfica, con el fin de trabajar coordinadamente por la mejora integral de la

microcuenca y de la calidad de vida de los habitantes.

En este marco, el proyecto CADEPA, unido al programa de empleo PADEF, desarrolló esta experiencia en el sector San José de Ninhue, administrado por la CONAF. Los trabajos realizados en el predio se instalaron en el año 2001. Además, se realizaron trabajos de estabilización de camellones por medio de la plantación de rosa mosqueta, y en las cabeceras de las cárcavas se sembraron arvejas. Como especies forestales se utilizó *Pinus radiata*, *Eucalyptus camaldulensis*, *Eucalyptus nigrori* y *Quillaja saponaria*.

Las obras realizadas corresponden a las siguientes:

- Zanjas de infiltración
- Fajinas recubiertas con malla
- Canal de desviación

b) Resultados

El suelo del lugar es muy arcilloso, lo que implica una muy baja infiltración; esto provoca que las zanjas, si bien capturan la escorrentía superficial, no cumplen con la función de infiltración. En cuanto al prendimiento de las plantas, las especies de eucaliptos presentaron un prendimiento de 95%; el quillay, 40%; y el pino sólo un 25%. El principal problema fue el alto contenido de arcilla del suelo, y en menor medida, la existencia de animales dentro del ensayo.

No obstante, se cumplió con el objetivo de detención de procesos erosivos, por la efectiva acción mecánica de las obras construidas.

3.1.6.5. Área demostrativa para la conservación del suelo y agua, Tomeco, Lircay, provincia del Bío - Bío

a) Marco general

La zona de Tomeco presenta un acelerado proceso de erosión, debido principalmente al intenso uso agropecuario. El suelo es de poco espesor, perteneciente a la serie Cauquenes, clase VIII de capacidad de uso, con un alto nivel de erosión.

El área demostrativa para la conservación de suelos y aguas, fue implementada por la CONAF, en el año 2000, en el predio Lircay Hijuela 1. Para efectos de materializar la habilitación del área demostrativa, se suscribió un Contrato de Comodato con el propietario, por 5 años, sobre una superficie de 2 ha.

Paralelamente, se firmó un convenio de investigación con la Universidad de Concepción, para efectos de conocer el comportamiento del agua en terrenos con zanjas de infiltración.

Las actividades de conservación de suelos fueron desarrolladas por personal contratado y con experiencia en la construcción de obras de recuperación de suelo. Las especies utilizadas en este módulo fueron especies multipropósito, como *Robinia pseudoacacia*, *Quillaja saponaria*, *Acacia melanoxylon*, *Juglans sp* y *Castanea sativa*.

Las obras implementadas fueron:

- Zanjas de infiltración
- Diques de polines
- Colectores de piedra
- Fajinas
- Empalizadas

b) Resultados

El trabajo desarrollado permitió aplicar la Ley de Fomento Forestal, en algunas obras de recuperación de suelos, en los inicios de la entrada en vigencia de la ley; en este sentido ha servido como guía para los

profesionales de CONAF y para los operadores forestales. De esta forma, en este módulo se abordó desde el reconocimiento de los indicadores de erosión, hasta la construcción de las obras conforme a la magnitud de los procesos erosivos presentes.

De acuerdo a los estudios y proyectos descritos, se observa que los esfuerzos realizados por las distintas instituciones son de gran importancia para el país, sin embargo no se observa una estrategia de continuidad de dichos estudios para tratar la problemática de recuperación de los suelos, lo que provoca que estos queden inconclusos, respondiendo a resultados aislados. Por otra parte, otro elemento medular, de gran importancia respecto a las obras implementadas en los proyectos mencionados, es el diseño de éstas, puesto que un buen diseño permite optimizar los recursos económicos y que estas no sean sobredimensionadas y sobrepasadas. Así, es en este marco, donde se desarrolla el proyecto FDI-CORFO 00C7FT-08, «*Determinación de estándares de ingeniería en obras de conservación y aprovechamiento de aguas y suelos para la mantención e incremento de la productividad silvícola*», el que recomienda métodos y estándares eficientes y efectivos en zanjas de infiltración, subsolado y canales de desviación, en lo que respecta al diseño de ingeniería, además de los recursos económicos que debiesen ser aportados para subsidiar en términos óptimos, la construcción de dichas obras.

3.2. Fotografías de las obras realizadas en la IV, V, VI, VII y VIII Región



Fotografía 7. Zanja de infiltración, Cerro Pajaritos, IV Región



Fotografía 8. Barreiro utilizado para plantaciones forestales y cultivo agrícola, Cuz Cuz, IV Región



Fotografía 9. Limán de piedra, Cuesta Cavilolén, IV Región



Fotografía 10. Surco con sacos, Cuesta Cavilolén, IV Región



Fotografía 11. Fajinas utilizadas para protección de talud, La Ligua, V Región



Fotografía 12. Limán de Piedra, Cuesta las Chilcas, V Región



Fotografía 13. Surcos en contorno trabajando, Cuenca Las Salinas, V Región

Fuente: Patricio Novoa



Fotografía 14. Dique de mampostería hidráulica, microcuenca Los Lúcumos, V Región

Fuente: Patricio Novoa



Fotografía 15. Microterrazas, con plantación de Eucalipto, Paredones, VI Región



Fotografía 16. Vista panorámica de microterrazas con zanjas de infiltración, Paredones, VI Región



Fotografía 17. Diques de polines, Paredones, VI Región



Fotografía 18. Zanjas de infiltración con plantación de *Pinus radiata* (D. Don), Paredones, VI Región



Fotografía 19. Dique de polines trabajando, módulo el Hoyo, VII Región



Fotografía 20. Empalizada de polines, módulo el Hoyo, VII Región



Fotografía 21. Diques de polines y tratamiento con sacos, módulo el Hoyo, VII Región



Fotografía 22. Zanjas colmatadas, Llongocura, VII Región



Fotografía 23. Tratamiento lineal con ramas y malla, San José de Ninhue, VIII Región



Fotografía 24. Diques de sacos, predio Santa Sofía, VIII Región



Fotografía 25. Vista general una cárcava con diques y obras lineales de sacos, predio Santa Sofía, VIII Región



Fotografía 26. Muros de neumáticos, Coelemu, VIII Región

4

La hidrología como herramienta de diseño de obras de conservación de aguas y suelos



Uno de los principales obstáculos a la hora de realizar obras de conservación de aguas y suelos de pequeña a mediana envergadura, es la escasa incorporación de elementos hidrológicos al diseño de ellas. Esto, sumado a la ocurrencia de eventos extremos, como intensidades de precipitaciones altas en tiempos cortos, puede provocar el colapso o el desmoronamiento de ellas.

En este sentido, el diseño de obras debe considerar como mínimo cuatro elementos hidrológicos básicos: el periodo de retorno, las curvas Intensidad-Duración-Frecuencia (curvas IDF), el coeficiente de escurrentía y la velocidad de infiltración de los suelos.

4.1. Periodo de retorno (T)

Este concepto está en directa relación con la frecuencia, que corresponde a la repetición de eventos de características similares en intensidad y duración. Así, se entiende como periodo de retorno, al número de años promedio que transcurre para que un evento sea igualado o excedido (Linsley et al, 1988). Esta definición se expresa de la siguiente manera:

$$T = \frac{1}{1 - F(X)} \quad (1)$$

Donde, T corresponde al periodo de retorno, expresado en años, y F(X) corresponde a la función de distribución de probabilidad.

De esta expresión surge otro concepto, la *Probabilidad de Excedencia* (P_{ex}), que es la probabilidad asociada al periodo de retorno.

Así,

$$P_{ex}(X) = \frac{1}{T} \quad (2)$$

El periodo de retorno es un concepto muy utilizado en hidrología, pues es la manera más común para indicar la probabilidad de un evento (Bedient y Huber, 1992), y porque se expresa en la misma unidad de tiempo (años) que la vida útil de las obras (Aparicio, 2003).

En este contexto, el periodo de retorno es mayor a medida que aumenta la importancia y la repercusión social, ecológica y económica de la obra. Así, para obras de gran envergadura, como embalses y represas, el periodo de retorno utilizado en el diseño es de 500 años, mientras que para obras medias y peque-

ñas, como diques o zanjas de infiltración entre otras, los periodos de retorno pueden ser de entre 5 y 20 años.

Es importante señalar que, a mayor periodo de retorno, los costos de las obras también aumentan. Por ello es necesario asumir un periodo de retorno que dé real cuenta de los objetivos a alcanzar y de los medios disponibles.

4.2. Curvas Intensidad-Duración-Frecuencia (curvas IDF)

Las curvas IDF corresponden al segundo elemento a considerar en el diseño de obras de conservación de aguas y suelos. Una definición básica de ellas es la entregada por Nanía (2003), el que las describe como aquellas curvas que relacionan la intensidad de la lluvia con su duración, donde para cada periodo de retorno, se tiene una curva diferente.

Una definición más detallada, es la que señala que éstas representan a las duraciones en las abscisas y a la altura o intensidad de precipitación en las ordenadas, donde cada curva corresponde a una frecuencia (o periodo de retorno), de tal forma que las gráficas de estas curvas representan la intensidad media en intervalos de diferente duración, correspondiendo todos los puntos de una misma curva a un idéntico periodo de retorno (Mintegui *et al*, 1990).

Como se observa, junto con la definición de las curvas IDF, surgen otras variables a considerar, como son la intensidad de las precipitaciones, que representan la cantidad de lluvia caída en función del tiempo y que se expresa normalmente en mm/h; la duración de los eventos de lluvia y la frecuencia con que éstos ocurren. Es así como estas tres variables se relacionan a través de técnicas estadísticas, obteniéndose de este modo las curvas Intensidad-Duración-Frecuencia. Éstas tienen como función, establecer intensidades de diseño asociadas a un periodo de retorno y a una determinada duración de lluvia.

La construcción de estas curvas se realiza en base a los datos provenientes de pluviogramas de una determinada estación. Asimismo, las intensidades que se obtienen para cada duración, derivados del análisis realizado a los pluviogramas, son características para cada zona (López, 1998). Por ello, cuando sólo se dispone de un pluviómetro en una estación, es evidente que sólo se podrá conocer la intensidad media en 24 horas, lo que puede inducir a grandes errores, pues las lluvias de corta duración son, en general, las más intensas.

4.2.1. Construcción de las curvas IDF

Las curvas IDF pueden ser determinadas a través de diversos métodos, pero en este libro se abordarán dos. El primero consiste en utilizar un análisis de frecuencia de las precipitaciones, para lo cual se considera la metodología propuesta por Témez (1978), que plantea que la información debe extraerse directamente de las bandas de los pluviógrafos, seleccionando para cada año los valores extremos de precipitación para distintas duraciones. Luego, se obtiene la intensidad, dividiendo cada uno de esos valores extremos por su duración, como se observa en la expresión siguiente:

$$I = \frac{P}{D} \quad (3)$$

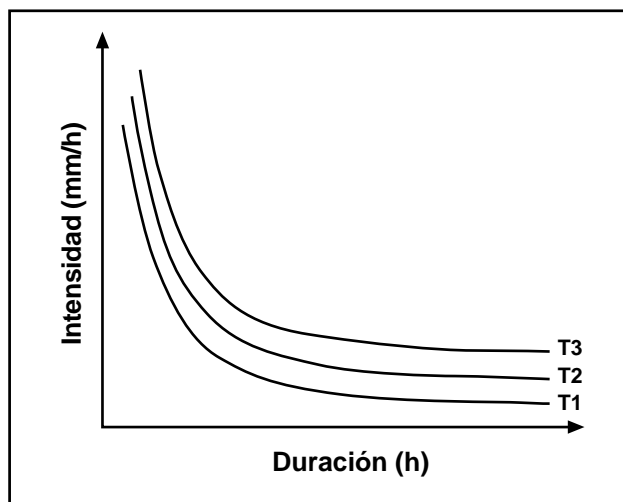
Donde:

I = Intensidad de precipitación máxima (mm/h)

P = Profundidad de lluvia (mm)

D = Duración del evento en horas (h)

Estos valores, posteriormente se ajustan a una ley de distribución de probabilidad extrema, como puede ser la Ley de Gumbel, y se grafican las intensidades de las precipitaciones y su duración para distintos periodos de retorno, obteniéndose así, las curvas IDF (figura 1).



T1, T2, T3: Periodo de retorno 1, 2, 3, respectivamente

Figura 1. Gráfico teórico de las curvas IDF

El segundo método, propuesto por Aparicio (1997), se basa en la construcción de expresiones matemáticas. Éste, relaciona de manera conjunta las variables de intensidad, duración y periodo de retorno en una familia de curvas, a través de una ecuación lineal, de modo de extrapolar la ecuación generada a zonas que carezcan de registros pluviográficos, y que se encuentren relativamente cerca.

4.2.2. Metodología para la construcción gráfica de las curvas IDF

4.2.2.1. Selección de las estaciones pluviográficas y de la información requerida

Para la selección de las estaciones, se deben considerar ciertos criterios, como que los años que componen la serie de datos sean suficientes (mayor a 15 años); que la calidad de estos datos sea confiable y que los años de registro de las precipitaciones mantengan cierta periodicidad.

La información se obtiene a partir de las bandas pluviográficas, las cuales cuentan con registros de precipitaciones diarias y horarias.

4.2.2.2. Determinación de las intensidades máximas de precipitación

Las bandas pluviográficas son analizadas con el objetivo de encontrar para cada año, las cantidades máximas de precipitación para las duraciones de 1, 2, 4, 6, 8, 12 y 24 h. Las mediciones se realizan tomando como referencia las 08:00 horas de cada día; luego, para cada duración se utilizan cuñas que se desplazan en intervalos de tiempo de forma discreta y constante (Abarza, 2001).

Una vez obtenidos los valores máximos de precipitación, el siguiente paso es determinar las intensidades máximas horarias, para lo cual se toman los valores de cada una de las series de datos y se dividen por su duración D en horas, obteniéndose así las intensidades en mm/h.

4.2.2.3. Ajuste de los datos a una función de distribución de probabilidad

Luego del cálculo de las intensidades máximas horarias para cada duración, las series de datos se deben ajustar a la función de distribución de probabilidad de valores extremos de Gumbel, la que ha entregado buena calidad de ajustes a valores máximos de precipitación para serie con una longitud adecuada, siendo ampliamente utilizada en el área de la hidrología.

La función de distribución de probabilidad de Gumbel se define como:

$$F(X) = P[\epsilon \leq X] = e^{-e^{-d(X-\mu)}}, \text{ con, } -\infty \leq X \leq \infty \quad (4)$$

Donde:

- X = Valor a asumir por la variable aleatoria
 d, μ = Parámetros a estimar en función de la muestra
 e = Base de los logaritmos neperianos

Si se despeja la variable X de la expresión anterior, queda:

$$X = \mu \frac{\ln[\ln F(X)]}{d} \quad (5)$$

Los parámetros μ y d, son determinados con las siguientes expresiones:

$$\mu = \bar{X} - 0,450047 * S \quad (6)$$

$$d = \frac{1}{0,779696 * S} \quad (7)$$

Donde:

- S = Desviación estándar de la muestra
 \bar{X} = Media de la muestra

Asimismo, se sabe $F(X) = 1 - (1/T)$

Donde T es el periodo de retorno, porque una vez definido tal periodo, se obtiene el valor asociado a la función de distribución de probabilidad.

4.2.2.4. Determinación de las pruebas de bondad de ajuste

El siguiente paso, es aplicar las pruebas de bondad de ajuste a cada una de las funciones obtenidas para las distintas duraciones. Estas pruebas corresponden al test de Kolmogorov-Smirnov (K-S) y el coeficiente de determinación (R^2), con el propósito de conocer si los datos de intensidad de precipitación, son modelados en forma apropiada por la función de distribución de probabilidad de Gumbel.

El test de Kolmogorov-Smirnov es una prueba de normalidad que se basa en el valor absoluto de la máxima diferencia entre la distribución acumulada observada y la esperada, y se utiliza para verificar la hipótesis de que una muestra procede de una distribución particular.

De esta definición se desprende que es necesario determinar tanto la frecuencia observada acumulada, como la frecuencia teórica acumulada. En el primer caso, para obtener la frecuencia observada acumulada, se ordenan los datos de menor a mayor y se aplica la siguiente expresión:

$$F_n(X) = \frac{n}{N + 1} \quad (8)$$

Donde:

- $F_n(X)$ = Frecuencia observada acumulada
 n = Número total de orden
 N = Número total de datos

Por otro lado, la frecuencia teórica acumulada se determina a través de la función de Gumbel.

$$F(X) = e^{-e^{-\sigma(X-\mu)}} \quad (9)$$

Determinadas ambas frecuencias, el siguiente paso es obtener el supremo de las diferencias entre ellas, en la i -ésima posición de orden, que se denomina D .

$$D = \text{Sup} |Fn(X)_i - F(X)_i| \quad (10)$$

Posteriormente, utilizando un valor de confianza preestablecido, se procede a comparar los valores obtenidos para D , con los valores mostrados en la tabla de valores críticos D_i del test de bondad de ajuste de Kolmogorov-Smirnov, en base al tamaño de la muestra. De esta forma, se establece la siguiente dócima de hipótesis:

$$\begin{aligned} H_0: & D < D_i \text{ (el ajuste es adecuado)} \\ H_1: & D > D_i \text{ (el ajuste no es adecuado)} \end{aligned}$$

Según Gujarati (1992), el coeficiente de determinación R^2 , mide la proporción o porcentaje de variación total de la variable dependiente, explicada por el modelo de regresión, siendo la medida de bondad de ajuste más utilizada. Pizarro y Novoa (1986), señalan que este coeficiente muestra la proporción de la variación total de las frecuencias observadas que es explicada por las frecuencias teóricas acumuladas.

Este coeficiente se encuentra definido por la siguiente expresión:

$$R^2 = 1 - \frac{\sum (Fn(X)_i - F(X)_i)^2}{\sum (Fn(X)_i - \bar{Fn}(X))^2} \quad (11)$$

Donde:

$$\begin{aligned} R^2 &= \text{Coeficiente de determinación } 0 \leq R^2 \leq 1 \\ Fn(X)_i &= \text{Frecuencia observada acumulada} \\ F(X)_i &= \text{Frecuencia teórica acumulada} \\ \bar{Fn}(X) &= \text{Media de las frecuencias observadas acumuladas} \end{aligned}$$

4.2.2.5. Determinación gráfica de las curvas IDF, para distintos períodos de retorno

A partir de las funciones de distribución de probabilidad ajustadas, se procede a graficar las intensidades de precipitación v/s la duración de cada lluvia, correspondiente a cada periodo de retorno seleccionado, de donde se obtienen las distintas familias de curvas IDF. En otras palabras, para obtener una curva, es necesario reemplazar un periodo de retorno X en cada una de las funciones de distribución de probabilidad ajustadas.

4.2.2.6. Construcción de tablas de uso práctico

Las tablas de uso práctico, permiten la extrapolación de intensidades a zonas con estaciones que no poseen pluviógrafo, siendo útiles para las estaciones pluviométricas en donde se registran las precipitaciones cada 24 horas. Dichas tablas, contienen los valores del parámetro K , que relaciona las intensidades horarias con respecto a las intensidades en 24 horas (Abarza, 2001).

El parámetro K se determina para cada duración y período de retorno, y para cada estación, definiéndose por la siguiente expresión:

$$K = \frac{I_d}{I_{24}} \quad (12)$$

Donde:

$$\begin{aligned} I_d &= \text{Intensidad de precipitación horaria} \\ I_{24} &= \text{Intensidad de precipitación para una duración de 24 horas} \end{aligned}$$

4.2.3. Ajuste de las curvas IDF a una función matemática general

La segunda metodología propuesta para representar a las curvas IDF, tiene relación con la construcción de un modelo matemático que representa el comportamiento de las variables involucradas en las fami-

lias de curvas para cada estación pluviográfica, con el objetivo de representar en forma analítica la relación entre la intensidad, la duración y la frecuencia, empleando para ello, la ecuación propuesta por Aparicio en 1997. La función es del tipo:

$$I = \frac{kT^n}{D^n} \quad (13)$$

Donde:

- I = Intensidad de precipitación (mm/h)
- D = Duración de la precipitación en (min)
- T = Periodo de retorno en años
- k, m y n = Constantes que se deben calcular mediante análisis de regresión

Posteriormente, aplicando logaritmos a la ecuación propuesta se obtiene un modelo de regresión lineal múltiple. La expresión transformada es la siguiente:

$$\log I = \log k + m * \log T + n * \log D \quad (14)$$

O bien:

$$y = a_0 + a_1 X_1 + a_2 X_2 \quad (15)$$

Donde:

- y = log I
- X₁ = log T
- X₂ = log D
- a₀ = log k
- a₁ y a₂ = Parámetros m y n, respectivamente

Para determinar la calidad del ajuste a la expresión matemática se deben analizar los supuestos básicos de regresión que son la Normalidad, la Homocedasticidad y la No - Autocorrelación. Además, como medidas de bondad de ajuste se pueden utilizar el Coeficiente de Determinación y la prueba U de Mann Whitney.

Es importante señalar que en Chile, este modelo ya ha sido utilizado en estaciones pluviográficas de la IV, V, VI, VII, VIII, IX y Región Metropolitana, obteniéndose excelentes resultados de calidad de ajuste.

4.3. Coeficiente de escorrentía

El ciclo de escorrentía, es el término descriptivo que se aplica a aquella parte del ciclo hidrológico que ocurre entre la precipitación que cae sobre un área y el escurrimiento subsiguiente de esta agua, a través de cauces superficiales (Linsley *et al*, 1988).

López (1998), señala que la escorrentía es la parte de la precipitación que llega a la red hidrográfica de la cuenca y discurre por ella, dando lugar a los caudales líquidos. Esta agua, que compone la corriente de un río, puede llegar al cauce por varios caminos posibles. Una porción del agua fluye por la superficie del suelo formando la escorrentía superficial y llega al cauce poco después de su aparición en forma de lluvia. Otra porción del agua se infiltra a través de la superficie del suelo y fluye por debajo de ésta hacia el cauce. Esta porción del agua se desplaza más lentamente que la escorrentía superficial y contribuye a mantener el caudal en el río durante los periodos de sequía (Linsley *et al*, 1988).

En la generación de las escorrentías interviene una serie de factores (López, 1998), como:

- Factores agroclimáticos: cantidad, intensidad y duración de la lluvia; distribución de la precipitación respecto al tiempo y el área de la cuenca; condiciones precedentes de humedad del suelo; intercepción causada por la cubierta vegetal, valor de la evapotranspiración, etc.
- Factores fisiográficos: entre éstos cabe destacar la extensión, forma y pendiente media de la

cuenca de recepción; condiciones de la superficie del terreno, como por ejemplo, geología, tipo de suelo, permeabilidad, labores de cultivo, densidad de la red hidrográfica y capacidad de evacuación de la misma, entre otras.

Existe una variedad de métodos para representar la cantidad de escorrentía producida por las precipitaciones. Uno de ellos, es a través del coeficiente de escorrentía, el cual, según Mintegui y López (1990), es la razón entre la precipitación efectiva¹ y la precipitación total.

Chow *et al* (1994) describen al coeficiente de escorrentía como la relación entre la tasa máxima de escorrentía directa y la intensidad promedio de la precipitación en una tormenta. Para Ferrer (1993), es la precipitación de la intensidad de lluvia i , que genera escorrentía superficial.

De esta manera, si P es la precipitación y P_e la precipitación efectiva, se puede plantear un coeficiente de escorrentía instantáneo en términos diferenciales, de la forma siguiente:

$$C = \frac{\frac{\partial P_e}{\partial t}}{\frac{\partial P}{\partial t}} = \frac{\partial P_e}{\partial P} \quad (16)$$

Donde:

- C = Coeficiente de escorrentía
- ∂P_e = Diferencial de precipitación efectiva
- ∂P = Diferencial de precipitación total
- ∂t = Diferencial de tiempo

Según esta definición, la magnitud del coeficiente de escorrentía, varía entre 0 y 1, y depende de factores tales como la tormenta, las características del suelo y de la cubierta vegetal, la pendiente y el área de la cuenca, entre otros (Chow *et al*, 1994).

Mintegui y López (1990), agregan que para un conjunto de vegetación, edafología y geomorfología, el coeficiente de escorrentía aumenta con la intensidad de la precipitación caída, con el total de precipitación recibida en la cuenca y con la humedad antecedente.

Es importante señalar que el coeficiente de escorrentía se utiliza para determinar el caudal de diseño de las obras de conservación de aguas y suelos, a través de la ecuación racional, el que se expresa como:

$$Q = C * I * A \quad (17)$$

Donde:

- Q = Caudal (m^3/s)
- C = Coeficiente de escorrentía
- I = Intensidad de precipitación máxima (mm)
- A = Área de impluvio en (m^2)

El cuadro siguiente (15) muestra los coeficientes para distintos tipos de superficies.

¹ Se representa como el cociente entre el volumen escurrido y el volumen total precipitado (Linsley et al ,1988).

Cuadro 15. Coeficiente de Escorrentía para ser usado en el cálculo del caudal de diseño

Zonas desarrolladas							
Asfáltico	0,73	0,77	0,81	0,86	0,90	0,95	1,00
Concreto/techo	0,75	0,80	0,83	0,88	0,92	0,97	1,00
Zonas verdes (jardines, parques, etc.)							
Condición pobre (cubierta de pasto menor del 50% del área)							
Plano 0 - 2%	0,32	0,34	0,37	0,40	0,44	0,47	0,58
Promedio 2 - 7%	0,37	0,40	0,43	0,46	0,49	0,53	0,61
Pendiente superior a 7%	0,40	0,43	0,45	0,49	0,52	0,55	0,62
Condición promedio (cubierta de pasto menor del 50% del área)							
Plano 0 - 2%	0,25	0,28	0,30	0,34	0,37	0,41	0,53
Promedio 2 - 7%	0,33	0,36	0,38	0,42	0,45	0,49	0,58
Pendiente superior a 7%	0,37	0,40	0,42	0,46	0,49	0,53	0,60
Condición buena (cubierta de pasto menor del 50% del área)							
Plano 0 - 2%	0,21	0,23	0,25	0,29	0,32	0,36	0,49
Promedio 2 - 7%	0,29	0,32	0,35	0,39	0,42	0,46	0,56
Pendiente superior a 7%	0,34	0,37	0,40	0,44	0,47	0,51	0,58
Zonas desarrolladas							
Áreas de cultivos							
Plano 0 - 2%	0,31	0,34	0,36	0,40	0,43	0,47	0,57
Promedio 2 - 7%	0,35	0,38	0,41	0,44	0,48	0,51	0,60
Pendiente superior a 7%	0,39	0,42	0,44	0,48	0,51	0,54	0,61
Pastizales							
Plano 0 - 2%	0,25	0,28	0,30	0,34	0,37	0,41	0,53
Promedio 2 - 7%	0,33	0,36	0,38	0,42	0,45	0,49	0,58
Pendiente superior a 7%	0,37	0,40	0,42	0,46	0,49	0,53	0,60
Bosques							
Plano 0 - 2%	0,22	0,25	0,28	0,31	0,35	0,39	0,48
Promedio 2 - 7%	0,31	0,34	0,36	0,40	0,43	0,47	0,56
Pendiente superior a 7%	0,35	0,39	0,41	0,45	0,48	0,52	0,58

Nota: Los valores de este cuadro son los estándares utilizados en la ciudad de Austin, Texas (Chow *et al*, 1994).

Para el diseño de obras, se recomienda utilizar valores altos de coeficientes de escorrentía, con el fin de generar mayores condiciones de seguridad, y así se pueda garantizar que la obra no será sobrepasada por las aguas lluvias.

4.4. Velocidad de infiltración

La infiltración se define como el proceso por el cual el agua penetra por la superficie del suelo y llega hasta sus capas inferiores (figura 2). Son muchos los factores del suelo que afectan este proceso, así como también lo son los que gobiernan el movimiento del agua dentro del mismo y su distribución durante y después de la infiltración (Vélez *et al*, 2002).

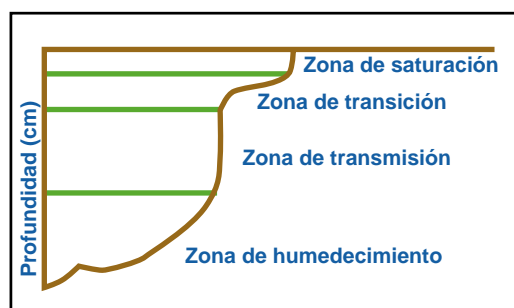


Figura 2. Perfil de humedad en el proceso de infiltración

En este contexto, la velocidad de infiltración se define como la velocidad con que el agua penetra al suelo, la que se expresa normalmente en mm/h o cm/h. Esta velocidad dependerá de ciertas propiedades físicas del suelo, entre las que destacan la textura, la estructura, la compactación y además el contenido de humedad de éste, entre otros (EIAS, 2004).

Por otra parte, la relación matemática que existe entre la velocidad de infiltración y el tiempo está representada por una función exponencial inversa. Así también, cada cambio en las características del suelo provocará instantáneamente un comportamiento singular del proceso de infiltración, que obviamente se verá reflejado en la gráfica de estas variables (EIAS, 2004).

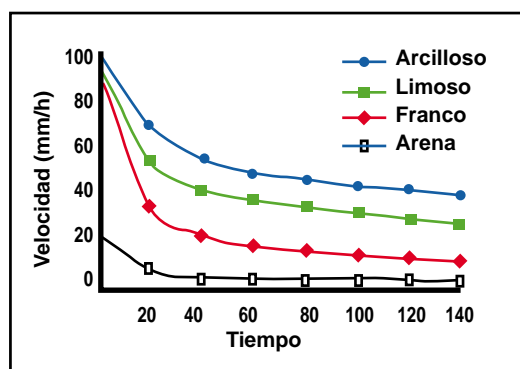


Figura 3. Curvas de infiltración, según textura del suelo

En la figura 3, se observa que para los diferentes tipos de texturas del suelo, la velocidad inicial de infiltración es alta, la cual va disminuyendo paulatinamente en el tiempo. Esto, porque si se aplica agua a determinada superficie de suelo, a una velocidad que se incrementa en forma uniforme, tarde o temprano se llega a un punto en que la velocidad de aporte comienza a exceder la capacidad del suelo para absorber el agua y, el exceso se acumula sobre la superficie, o escurre si las condiciones de pendiente lo permiten.

4.4.1. Determinación de la velocidad de infiltración

Para medir la velocidad de infiltración existen varios métodos, entre ellos:

- Cilindros infiltrómetros
- Surcos infiltrómetros
- Método de represa o poceta

En la práctica, uno de los métodos más empleados es el del infiltrómetro, ya que requiere de menos equipos y materiales, y además es más fácil de instalar y operar. Este método es muy utilizado, tanto en suelos agrícolas como forestales. Según Gurovich (1985), los materiales necesarios para la ejecución adecuada de éste son:

- Cilindro metálico de acero, con un diámetro no inferior a 30 cm y de 0,5 cm de grosor
- Martillo, para las labores de penetración en el suelo
- Estanque de agua de 10 a 15 litros
- Agua de igual calidad
- Regla milimétrica
- Cronómetro o reloj

El registro de las mediciones, se realiza en base a una tabla con distintas alturas de agua en el cilindro, a intervalos periódicos, de modo de registrar intervalos a los 5, 10, 20, 30, 45, 60, 90 y más minutos (cuadro 16).

Cuadro 16. Ejemplo de determinación de la velocidad de infiltración de los suelos

Tiempo (min)	Altura (cm)	Altura (cm)	Diferencial (cm)	Velocidad de infiltración (mm/h)
0	18		0	
5	16		2,0	240
10	15,2		0,8	96
20	13,4		1,8	108
30	12,5		0,9	54
45	10,8	18*	1,7	68
60		16,1	1,9	76
90		12,5	3,6	72
Promedio de velocidad de infiltración				65 mm/h

* Llenado del cilindro (18 cm)

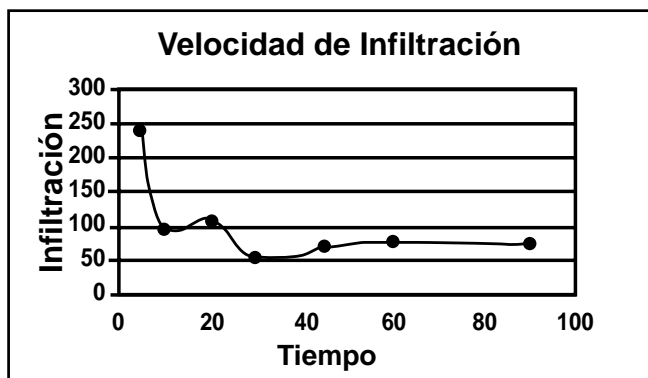
Para la determinación de la velocidad de infiltración se emplea el coeficiente V_i , a saber:

$$V_i = \frac{\partial h \times 600}{\partial t} \quad (18)$$

Donde:

- V_i = Velocidad de infiltración (mm/h)
- ∂h = Diferencial de altura de agua (cm)
- ∂t = Diferencial de tiempo (min)

La representación gráfica de de la velocidad de infiltración v/s tiempo, se muestra en la siguiente figura:

**Figura 4.** Curva de infiltración

Para el diseño de obras se recomienda utilizar el promedio de los tres valores de menor velocidad de infiltración, con el fin de asumir un criterio conservador en el diseño que asegura un no colapso de las obras. El cuadro 17 muestra valores típicos de infiltración, según la textura del suelo.

Cuadro 17. Tasas de infiltración para diferentes texturas de suelos

Textura del suelo	Tasa de infiltración (mm/h)
Arenosa	50
Franco - Arenosa	25
Franca	12
Franco - Arcillosa	7

Fuente: Critchley, W. y Siegert, K. 1996

5

Propuesta de un diseño hidrológico eficiente en zanjias de infiltración y canales de desviación



Las zanjas de infiltración, como ya se mencionó en el Capítulo 2, son canales construidos sin desnivel en la ladera, que como su nombre lo indica, 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, minimizando la erosión hídrica y evacuando la escorrentía superficial (Nuñez, 1986).

La justificación principal de las zanjas de infiltración, descansa en el efecto que producen sobre la estabilización del suelo; es decir, son agentes propiciadores de almacenamiento de humedad para los vegetales, a través del acopio temporal de escorrentías superficiales. Debe señalarse que un sistema de zanjas de infiltración por sí solo, no controla totalmente el fenómeno erosivo; por ello es necesario revegetar con pastos, o reforestar los espacios intermedios entre zanjas, o bien adoptar otras prácticas de conservación de suelos como el subsolado y la siembra en contorno, entre otras (Carlson, 1990).

5.1. Diseño hidrológico para zanjas de infiltración

El diseño de zanjas de infiltración atiende fundamentalmente a los siguientes dos criterios: a) El espaciamiento entre zanjas debe ser tal que permita un control adecuado de la erosión. b) La capacidad adecuada de las zanjas debe almacenar un determinado volumen de escorrentía producido por la lluvia (Pizarro *et al*, 2004).

Los estándares de construcción de zanjas de infiltración propuestos por Pizarro *et al* (2004), contemplan una serie de consideraciones técnicas al momento de llevar el diseño de gabinete a la implementación *in situ*, por lo que estos estándares posiblemente estén expuestos a algunos cambios, y donde, la toma de decisiones estará basada en el criterio del técnico o ingeniero a cargo de las faenas de construcción. De esta forma, y en términos generales debe considerarse lo siguiente en el diseño de zanjas de infiltración.

- Las zanjas de infiltración deben ser diseñadas conforme a un diseño hidrológico y forestal, en términos de que dicha obra de conservación y aprovechamiento de aguas y suelos esté asociada a la plantación de una especie arbórea que permita incrementar la productividad y la calidad del sitio.
- En términos hidrológicos, las zanjas de infiltración no deben ser sobrepasadas ni colapsadas por las aguas lluvias.
- El periodo de retorno utilizado en el diseño se recomienda que esté acorde al horizonte de planificación de la plantación forestal, por ejemplo, plantación de pino, 20 años.

- Es recomendable utilizar la intensidad máxima de precipitación en una hora, ya que tiempos menores son difíciles de estimar. Asimismo, este valor puede ser determinado con el uso de curvas IDF, con series de datos pluviográficos completos. De lo contrario, puede usarse tablas de uso práctico y los parámetros K definidos en el capítulo 4, para extrapolar la intensidad de diseño a otras zonas aledañas.
- La velocidad de infiltración determinada en terreno (Capítulo 4), debe ser lo más representativa del sector; asimismo, se debe trabajar con los valores mínimos de velocidad de infiltración, de manera que permita establecer un rango de seguridad para que la obra no sea sobrepasada por intensidades de lluvias altas y continuas en el tiempo.
- Se debe ocupar un coeficiente de escorrentía acorde a las condiciones edafoclimáticas del lugar. La estimación puede apoyarse de tablas estandarizadas para diversas situaciones de relieve, pendiente, cobertura y tipo de vegetación (por ejemplo; coeficientes de escorrentía para ser usados en el método racional (Chow *et al*, 1994)). En caso contrario, se recomienda trabajar con un valor alto (0,9).
- En términos técnicos de la construcción, se deben considerar variaciones del diseño original de las zanjas en terreno, a causa de la irregularidad de éste y la necesidad de mantener el diseño en curvas de nivel.
- Las líneas de zanjas deben quedar instaladas en una línea sin pendiente, para lo cual se puede utilizar un nivel en A o la técnica de nivel de las mangueras con agua. Asimismo, los operadores forestales con experiencia en estas faenas, recomiendan que la construcción debe comenzar de lo más alto de la ladera hacia abajo; así se mejoran los rendimientos de construcción.
- Estas obras requieren de un corte biselado en la parte superior de la zanja de infiltración, con el fin de minimizar los efectos naturales de la erosión hídrica sobre el borde de la zanja, particularmente, en terrenos con pendientes.
- El camellón debe estabilizarse y no ser una fuente mayor de erosión, ni de sedimentación de las zanjas, más abajo en la ladera.
- Las obras requieren de operaciones anuales de mantención y limpieza, entendido esto como la remoción de tierra y la extracción de ramas u otros elementos ajenos a la zanja de infiltración.

Las siguientes fotografías muestran distintas etapas y consideraciones para la construcción zanjas de infiltración.



Fotografía 27. Nivelación con caballete para el trazado de zanjas de infiltración, Paredones, VI Región



Fotografía 28. Nivel en A para el trazado de zanjas de infiltración, Quirihue, VIII Región



Fotografía 29. Construcción de zanja de infiltración en curva de nivel, Paredones, VI Región



Fotografía 30. Construcción de zanja de infiltración, Llohué, VIII Región



Fotografía 31. Zanja de infiltración con corte biselado y camellón, Hidango, VI Región



Fotografía 32. Plantación de *Pinus radiata* (D. Don), en sector con zanjas de infiltración, Pumanque, VI Región

Según Pizarro *et al* (2004), el principio fundamental a la hora de diseñar las zanjas de infiltración corresponde a que la cantidad de agua de lluvia que cae en la zona de impluvio, debe ser menor o igual a la que capta y absorbe la zanja. Es decir, la capacidad de ésta no debe ser sobrepasada por el total de aportaciones que a ella converjan.

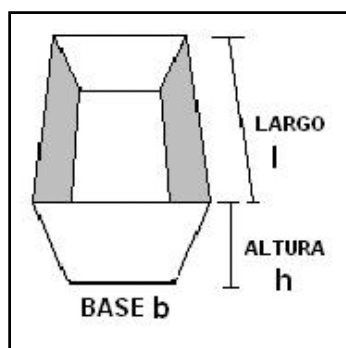


Figura 5. Diagrama espacial de zanja de infiltración

Se recomienda que las características geométricas de las zanjas de infiltración a construir, posean un perfil de 30 cm de altura x 20 cm de base, mientras que éstas tienen un largo variable (figura 5). El diseño considera un rebaje en el borde aguas arriba para facilitar la entrada de agua y evitar la erosión de las paredes. Para determinar el distanciamiento de las zanjas, el diseño queda:

$$V_{azi} = V_{azz} + V_{azin} \quad (19)$$

Donde:

- V_{azi} = Volumen de aportación zona de impluvio
 V_{azz} = Volumen de captación zona de zanjas
 V_{azin} = Volumen de infiltración

La expresión que define al volumen de aportación de la zona de impluvio para 1 hora, es la siguiente:

$$V_{azi} = I * A * C \quad (20)$$

Donde:

- V_{azi} = Volumen de aportación zona de impluvio (m³) en 1 hora
 I = Precipitación máxima en una hora (mm)
 A = Área de impluvio (m²)
 C = Coeficiente de escorrentía

A su vez, el volumen de captación de la zanja se define como:

$$V_{azz} = b * h * l \quad (21)$$

Donde:

- V_{azz} = Volumen de captación de las zanjas (m³/h)
 b = Base de la zanja (m)
 h = Altura de la zanja (m)
 l = Largo de la zanja (m)

Finalmente el volumen de infiltración se expresa como:

$$V_{azin} = b * v_i * l \quad (22)$$

Donde:

- V_{azin} = Volumen de infiltración (m³/h)
 b = Base de la zanja (m)
 v_i = Velocidad de infiltración de la zanja en una hora (m)
 l = Largo de la zanja en (m)

Una vez definido cada componente se plantea lo siguiente:

$$\begin{aligned}
 V_{azi} &= V_{azz} + V_{azin} \\
 I * A * C &= (b * h * l) + (b * v_i * l) \\
 I * (l * d) * C &= (b * h * l) + (b * v_i * l)
 \end{aligned} \quad (23)$$

Despejando d (distanciamiento entre líneas de zanjas en la ladera) y operando, queda lo siguiente:

$$d = \frac{b * (h + v_i)}{I * C} \quad (24)$$

Cabe señalar, que este distanciamiento es horizontal, por lo que debe ser corregido en función de la pendiente.

5.2. Diseño hidrológico para canales de desviación

Los canales de desviación corresponden a obras de recuperación de suelo, que se sitúan en la parte superior de laderas para capturar la escorrentía procedente de las cotas superiores y evacuarlas hacia zonas de menos riesgo. Esto con el fin de controlar el proceso erosivo en cárcavas.

Así, el principio fundamental del canal de desviación es «*evacuar sin daño*», es decir, que el tramo final del canal deberá cumplir ciertas exigencias, tales como:

- Disminuir de forma progresiva, pero suavemente, la pendiente del canal.
- Reforzar las paredes con sacos de arena u otro revestimiento de protección.
- Verificar que la zona de evacuación esté en condiciones de recibir adecuadamente la carga de agua, sin provocar erosión del suelo.
- Nunca evacuar en una cárcava, o en sitios con problemas de erosión.

Para la construcción de canales, Pizarro *et al* (2004) propone los siguientes pasos a considerar:

- Previo a la construcción se debe comenzar analizando la situación que se presenta en el terreno, para identificar si se hace necesario su realización (presencia de cárcavas en el terreno).
- Para el diseño del canal se recomienda una base de 30 cm, pero debe ser el análisis hidráulico y edáfico el que determine las dimensiones del canal.
- Para evitar la entrada de agua a una cárcava que presente peligro de erosión, el canal se debe localizar a una distancia prudencial de la cabeza o extremo superior de ella, de manera que quede construido sobre terreno firme. Para eso, se recomienda una distancia mínima de 3 metros sobre el inicio de la cárcava (figura 6).

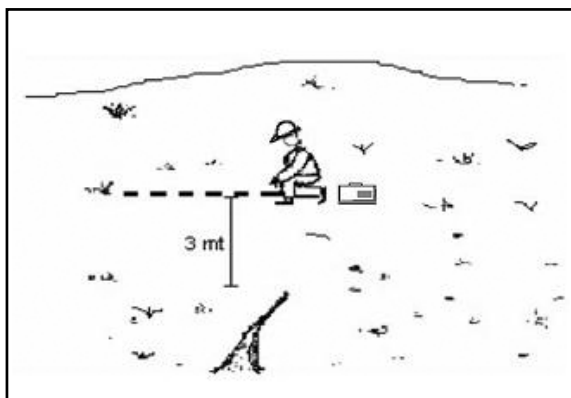


Figura 6. Distanciamiento entre el canal y el inicio de una cárcava

- Se recomienda complementar esta obra con un camellón, con la tierra extraída del canal.
- Así también, se hace necesario saber la extensión o largo del canal, que dependerá del lugar de emplazamiento, cumpliendo y verificando que la zona de evacuación no sea dañada por el caudal proveniente del canal.
- La vida útil de la obra debe estar acorde al horizonte de planificación establecido por el usuario, periodo durante el cual se deben realizar tareas como la limpieza de desechos acumulados dentro del canal y el arranque de malezas desde dentro del canal.

Es importante señalar que además se pueden efectuar algunas tareas para mejorar la duración y la calidad

del canal. Para esto se pueden establecer algunas plantas herbáceas en el camellón de tierra, lo que sirve para darle mayor estabilidad y soporte al canal.

Las siguientes fotografías muestran algunas etapas del trazado y construcción de canales de desviación.



Fotografía 33. Nivel de ingeniero y construcción del canal de evacuación, Llanillos, VII Región



Fotografía 34. Construcción del canal de evacuación, Paredones, VI Región



Fotografía 35. Vista general del canal, Paredones, VI Región



Fotografía 36. Verificación del diseño del canal, Paredones, VI Región

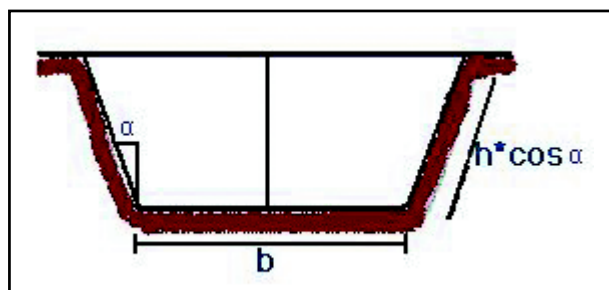


Figura 7. Sección transversal de un canal trapezoidal

El diseño de un canal trapezoidal (figura 7) se puede desarrollar a través de dos metodologías, una que utiliza la ecuación de Manning como elemento base de diseño para estimar el caudal y la otra que se basa en caudal y velocidad de diseño conocidas. Esta última es la que se describirá en el presente capítulo.

Para el diseño del canal, primero es necesario contemplar el radio hidráulico, el cual se define como el cociente entre el área de la sección (A) y el perímetro mojado (P_m).

$$R = \frac{A}{P_m} \quad (25)$$

Así, un efectivo diseño deberá contemplar el radio ideal determinado por el perímetro mojado mínimo, situación que llega a definir para el caso de canales trapezoidales, que la maximización del valor del radio hidráulico está dado por:

$$R = \frac{h}{2} \quad (26)$$

Donde:

- R = Radio hidráulico
h = Tirante o altura efectiva del canal

Para el diseño del canal de desviación es necesario realizar los siguientes cálculos:

5.2.1. Cálculo del caudal a conducir (Q)

El caudal a ser encauzado por una obra hidráulica de este tipo, es una información fundamental en el diseño. Este cálculo se puede obtener a través de la ecuación racional (ecuación 17).

5.2.2. Cálculo de la sección del canal (A)

Para determinar la sección del canal es necesario conocer en primer lugar la velocidad del agua, ya que el caudal se define como el producto entre la sección del canal y la velocidad del agua.

Así,

$$A = \frac{Q}{V} \quad (27)$$

Donde:

- A = Sección del canal (m²)
Q = Caudal (m³/s)
V = Velocidad (m/s)

La velocidad del agua será aquella que sea máxima en función del tipo de superficie que posea el canal, de tal manera que no sea erosiva. Ésta puede ser determinada en la tabla siguiente.

Cuadro 18. Velocidades máximas permitidas en canales

Material	Velocidad (m/s)
Suelo arenoso muy suelto	0,30 - 0,45
Arena gruesa o suelo arenoso suelto	0,46 - 0,60
Suelo arenoso promedio	0,61 - 0,75
Suelo franco arenoso	0,76 - 0,83
Suelo franco de aluvión o ceniza volcánica	0,84 - 0,90
Césped de crecimiento ralo o débil	0,90
Suelo franco pesado o franco arcilloso	0,90 - 1,20
Suelo con vegetación regular	1,22
Suelo arcilloso o cascajoso	1,20 - 1,50
Césped vigoroso, denso y permanente	1,52 - 1,83
Conglomerados, cascajo cementado, pizarra blanda	1,80 - 2,40
Roca dura	3,00 - 4,50
Hormigón	4,51 - 6,00

Fuente: Foster citado por Ciancaglini, 1986

5.2.3. Cálculo del tirante (h)

El tirante o altura efectiva del canal, para ser definido, necesita previamente especificar el ángulo de inclinación del talud del canal, con respecto a la vertical, debido a que la formulación matemática obtenida a través de la maximización del radio hidráulico, así lo determina.

En este contexto, h se define como sigue:

$$h = \sqrt{\frac{A \cos\alpha}{2 - \sin\alpha}} \quad (28)$$

Donde:

A = sección transversal del canal (m²)

α = ángulo del talud con respecto a la vertical

En relación a la elección del ángulo, ésta debe ser cuidadosa y en función de lo que la experiencia señale, principalmente en canales de tierra, aunque se puede recomendar que no sea menor a 20°, en términos muy generales. De igual forma, si el canal se encuentra adecuadamente revestido, este valor puede disminuir.

5.2.4. Cálculo de la base de fondo (b)

La base del canal, está determinada por la expresión siguiente:

$$b = \frac{A}{h} - h * \operatorname{tg}\alpha \quad (29)$$

Donde todos los términos ya son conocidos.

5.2.5. Cálculo de la longitud del talud (ℓ)

La longitud de talud, se define como sigue:

$$\ell = \frac{h}{\cos\alpha} \quad (30)$$

Por lo tanto el perímetro mojado es:

$$P = b * 2\ell \quad (31)$$

A partir de esta función se puede maximizar el radio hidráulico, obteniendo relaciones entre α , b y ℓ .

Como una forma de orientación para la elección del ángulo, Pizarro (1988) determinó algunas relaciones entre éste y las variables b y ℓ . Éstas son:

$$\text{Si } \alpha = 36,37^\circ \Rightarrow b = \ell/2$$

$$\text{Si } \alpha = 30,00^\circ \Rightarrow b = \ell$$

$$\text{Si } \alpha = 21,47^\circ \Rightarrow b = 2\ell$$

$$\text{Si } \alpha = 16,31^\circ \Rightarrow b = 3\ell$$

$$\text{Si } \alpha = 13,00^\circ \Rightarrow b = 4\ell$$

5.2.6. Cálculo de la pendiente del canal (s)

La pendiente del canal se puede obtener a partir de la ecuación de Manning

$$Q = \frac{I}{n} * S^{1/2} * R^{2/3} * A \quad (32)$$

Donde:

- Q = Caudal a conducir (m³/s)
- n = Coeficiente de rozamiento de Manning
- R = Radio hidráulico (m)
- A = Sección transversal (m²)

Despejando S de la ecuación anterior se obtiene:

$$S = \frac{Q^2 * n^2}{R^{4/3} * A^2} \quad (33)$$

5.2.7. Cálculo de la revancha (r)

La revancha del canal es un factor que se adiciona a la longitud del talud para evitar derrames por turbulencia y oleaje del agua, la que se define empíricamente como sigue;

$$r = \frac{I}{3} * h \quad (34)$$

O bien a través del empirismo que el constructor posea para este tipo de obras.

6

Resultados comparativos de la aplicación de zanjas de infiltración y subsolado sobre plantaciones forestales



Como una forma de evaluar la efectividad de las técnicas de captación y aprovechamiento de aguas lluvias, para la protección y mejorar la productividad del suelo, en zonas altamente degradadas, se llevó a cabo una investigación relacionada con la aplicación de zanjas de infiltración y subsolado sobre plantaciones de *Pinus radiata* (D. Don). Esto permitió establecer una serie de estándares de construcción, con la incorporación de un diseño hidrológico de zanjas de infiltración y dos tipos de espaciamientos con subsolado mecanizado, así también, medir y evaluar el proceso de erosión y sedimentación en laderas ubicadas en el secano costero e interior de Chile central.

Asimismo, este capítulo incorpora una evaluación del diseño y construcción de dos canales de desviación para el control de cárcavas y su énfasis en la cuantificación de la erosión hídrica, en función del análisis de las variables edafoclimáticas del sector, la captura de información pluviográfica y los elementos técnicos de construcción revisadas en el capítulo anterior.

6.1. Marco general del proyecto

El 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», cuenta con financiamiento FDI - CORFO, y es administrado por la Sociedad Estándares de Ingeniería para Aguas y Suelos (EIAS), tiene como objetivo principal, obtener de estándares de ingeniería hidrológica para la construcción de obras de conservación de aguas y suelos. Este diseño está basado en el análisis de variables hidrológicas y edáficas, con lo cual se espera incrementar la productividad de los suelos de aptitud preferentemente forestal de las Regiones VI, VII y norte de la VIII, mediante un diseño óptimo y al menor costo posible. Así, para cumplir con los objetivos del proyecto, se definieron 3 tipos de ensayos a instalar; estos son:

- a) Módulo integrado, el cual está conformado por zanjas de infiltración y subsolado,
- b) Módulo simple, en donde se estudió zanjas de infiltración o subsolado y
- c) Módulo de canales de desviación y su efecto en las cárcavas.

La distribución de dichos ensayos se realizó de tal forma que en cada región existiese un módulo integrado, y en las Regiones VI y VII existen además, dos módulos simples y un módulo de canal de desviación en cada una, quedando 4 ensayos en la VI Región, 4 en la VII y 2 en la VIII (figura 8).

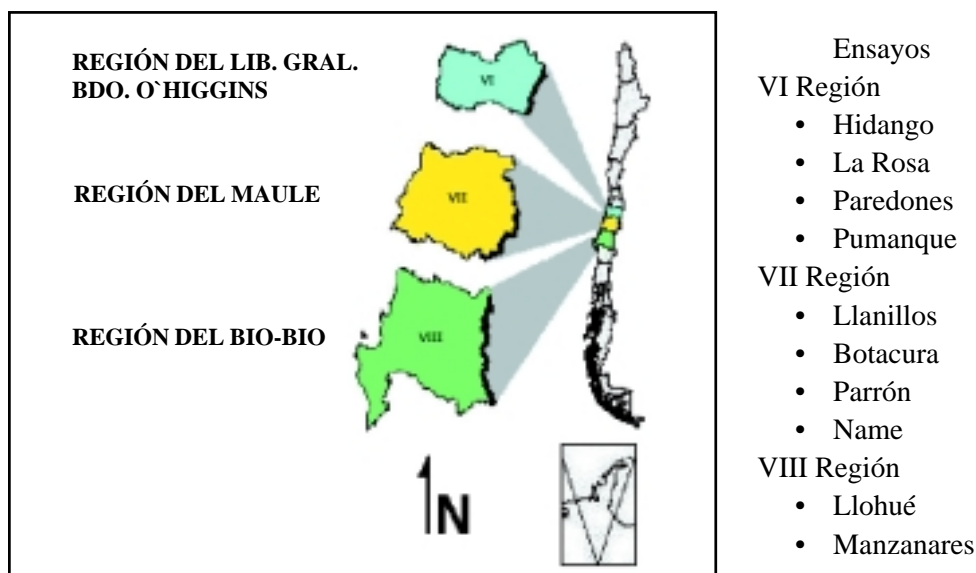


Figura 8. Distribución geográfica de los ensayos

A continuación se describirán los sitios experimentales, el establecimiento de las obras y las distintas metodologías desarrolladas para abordar los estudios realizados por el proyecto.

6.2. Establecimiento de los ensayos

La implementación de los ensayos se realizó en marzo del año 2002, donde, en 8 de éstos se estableció una plantación de *Pinus radiata* (D. Don), asociada a la construcción de obras de conservación, las cuales son zanjas de infiltración y subsolado, además de una unidad testigo, la que no presenta ningún tipo de tratamiento de suelos. En los otros 2 ensayos (Llanillos y Paredones), se establecieron canales de desviación, con el objetivo de estudiar cuál es su efecto en las cárcavas.

6.2.1. Antecedentes generales

A continuación se describe cada uno de los sectores en donde fueron ubicados los ensayos.

6.2.1.1. Región del Libertador General Bernardo O'Higgins

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. El relieve corresponde a un lomaje suave y bastante regular. En cuanto a los suelos, éstos presentan una textura franco arcillo arenosa.

Pumanque: Su uso anterior era pastoreo extensivo, con una cubierta de especies herbáceas, sin presencia de arbustos. Corresponde a un lomaje suave con un relieve más o menos regular. Los suelos tienen una textura franco arcillo arenosa.

La Rosa: El ensayo se dividió en 2 módulos, ubicados en laderas distintas. Los suelos presentan una textura franco arcillosa.

Paredones: Corresponde a un lomaje ubicado en la vertiente poniente de un cerro y que termina en un estero. El suelo está cubierto de herbáceas con un uso de pastoreo extensivo. En este sector se estudió el efecto que provoca el canal de desviación sobre una cárcava de aproximadamente 40 m de largo. Los suelos presentan una textura arcillo arenosa.

En la figura 9, se presenta la ubicación de cada uno de los ensayos establecidos en esta región.

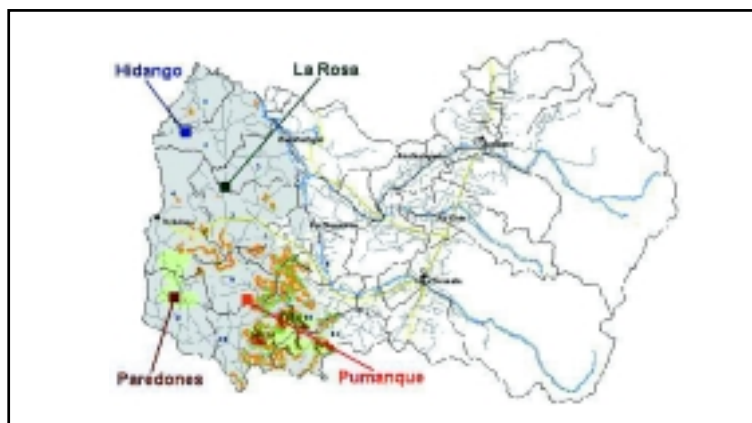


Figura 9. Mapa VI Región del Lib. Gral. Bernardo O'Higgins

6.2.1.2. Región del Maule

Botacura: Este predio pertenece a la empresa Bosques de Chile S. A. y el lugar del ensayo presentaba una plantación de pino insigne adulto, que fue talado durante el año 2001. El ensayo se encuentra dividido en 2 módulos cercanos entre sí (subsulado y zanjas) y el otro más pequeño con exposición norte (zanjas). Los suelos presentan una textura franco arenosa.

Parrón: Este predio pertenece a la empresa Bosques de Chile S. A. y al igual que el anterior, fue explotado durante el año 2001. Los suelos tienen una textura arcillosa.

Name: El lugar de ensayo corresponde a una pradera con cubierta herbácea y algunos arbustos, principalmente de espino. El uso anterior fue de pastoreo. Los suelos presentan una textura franco arcillo arenosa.

Llanillos: Este predio pertenece a Forestal CELCO S.A. y el lugar de ensayo fue plantado en 1998 con pino insigne. Dicha plantación fue afectada por un incendio en diciembre de 2001, encontrándose un paisaje devastado. En este lugar se estudió el diseño de canales de desviación y su efecto se midió en 2 cárcavas aledañas. Los suelos poseen una textura franco arcillosa.

En la figura 10, se muestra la ubicación de cada uno de los ensayos en la VII Región.

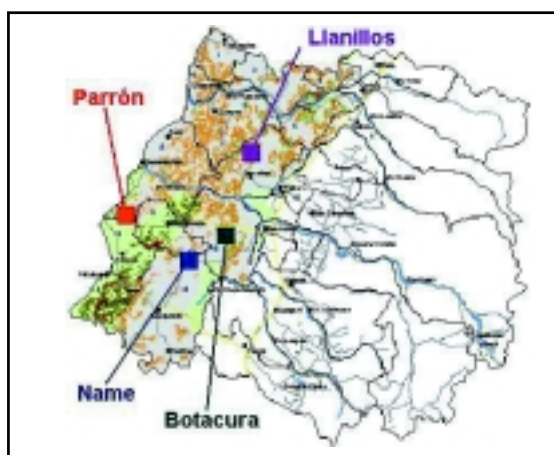


Figura 10. Mapa VII Región del Maule

6.1.2.3. Región del Bío - Bío

Manzanares: Este predio pertenece a la empresa Bosques Villanueva Ltda. y el lugar del ensayo históricamente ha sido usado para siembra de trigo. Presenta un lomaje suave. La textura de los suelos es franco arcillosa.

Llohué: Este predio pertenece a la empresa Terranova S.A. y el lugar de ensayo fue explotado durante el año 2001, poseía una plantación de pino insigne adulto. Los suelos presentan una textura franco arcillosa.

En la figura 11, se muestra la ubicación geográfica de ambos ensayos.

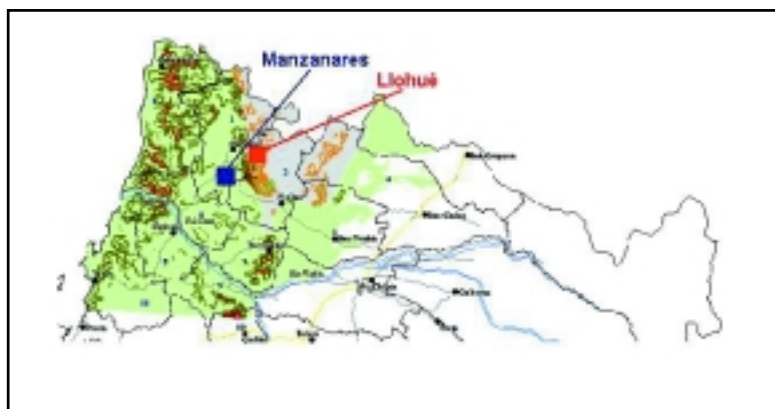


Figura 11. Mapa VIII Región del Bío-Bío

En los cuadros 19 y 20, se presentan características y antecedentes administrativos de los sitios experimentales.

Cuadro 19. Antecedentes de exposición y pendiente media de los ensayos

Ensayo	Exposición	Pendiente (%)
VI Región		
Hidango	Noroeste	16
La Rosa	Este	15
Pumanque	Oeste	15
Paredones	Suroeste	32
VII Región		
Name	Norte	13
Parrón	Norte y Oeste	20
Botacura	Oeste y Noroeste	20
Llanillos	Noroeste	27
VIII Región		
Llohué	Noroeste	22
Manzanares	Noroeste	20

Cuadro 20. Resumen de los antecedentes administrativos de los ensayos

Nombre del ensayo	Nombre del predio	Propietario	Rol del Avalúo	Comuna	Sector
VIII Región					
Manzanares Llohué	Fundo Manzanares Predio Llohué	Bosques Villanueva Ltda. Terranova S.A.	141-14	Ninhue Quirihue	Manzanares Llohué
VII Región					
Llanillos Botacura Parrón Name	Predio Llanillos Predio Botacura Parrón Hijueta N° 2 Las Mercedes	Forestal Celco S.A. Bosques de Chile S.A. Bosques de Chile S.A. Orlando González	119-30 y 119-36 230-26 y 230-23 471-14 481-90	Pencahue San Javier Constitución Cauquenes	Llanillos Botacura Pellines San Juan de Name
VI Región					
Hidango	Paso Ancho	Instituto de Investigaciones Agropecuarias	47-1, 47-2, 47-3 y 47-7	Litueche	Hidango
La Rosa Pumanque	Predio San Carlos Hijueta 2 al Llope	Suc. Leiva León María Adriana Acevedo Ortiz	4793 5714	La Estrella Pumanque	Marchihue Pumanque
Paredones	Fundo Lagunillas	Rómulo Carol Catalán Urzua	29-9	Paredones	Paredones

6.3. Establecimiento de las obras de conservación

6.3.1. Ubicación y especificaciones de las obras de conservación

Se implementaron dos tipos de zanjas, según sus dimensiones, las cuales son:

- Zanjas tipo 1: presenta 20 cm de base y 30 cm de altura
- Zanjas tipo 2: presenta 30 cm de base y 30 cm de altura

Además, se realizaron dos tipos de subsolado, los que se diferenciaron exclusivamente por el distanciamiento entre líneas de subsolado, los cuales se dividen en:

- Subsolado tipo 1: 5 m de distanciamiento
- Subsolado tipo 2: 4 m de distanciamiento

Las zanjas y el subsolado fueron construidas en curvas de nivel. En el Cuadro 21 se observa la ubicación por región de cada ensayo y el tipo de obra asociada.

Cuadro 21. Tipos de obras implementadas para cada ensayo

Sector	Obra implementada
VI Región	
Pumanque	Zanjas tipo 1 y 2
Hidango	Zanjas tipo 1 y 2; y Subsolado tipo 1 y 2
La Rosa	Subsolado tipo 1 y 2
Paredones	Canales de desviación
VII Región	
Name	Zanjas tipo 1 y 2
Parrón	Zanjas tipo 1 y 2; Subsolado tipo 1 y 2
Botacura	Zanjas tipo 1 y 2; Subsolado tipo 1 y 2
Llanillos	Canales de desviación
VIII Región	
Llohué	Zanjas tipo 1 y 2
Manzanares	Zanjas tipo 1 y 2; Subsolado tipo 1 y 2

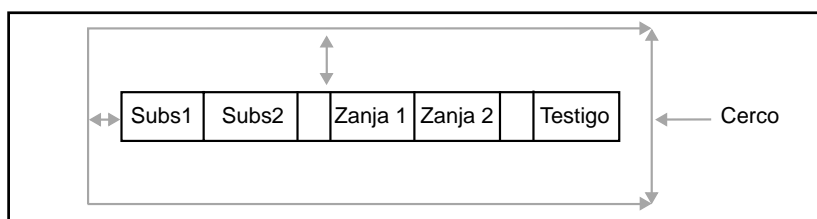
6.3.2. Diseño para la construcción de las obras

El distanciamiento de las zanjas de infiltración, construidas en los ensayos, se determinó según la metodología descrita en el Capítulo 4. En el cuadro 22 se exponen dichas dimensiones.

Cuadro 22. Distanciamiento de zanjas según diseño hidrológico

Sector	Tipo de zanjas	Distanciamiento (m)
Pumanque	Zanjas tipo 1	4,5
	Zanjas tipo 2	6,5
Hidango	Zanjas tipo 1	4
	Zanjas tipo 2	6
Name	Zanjas tipo 1	4
	Zanjas tipo 2	6
Parrón	Zanjas tipo 1	9
	Zanjas tipo 2	13
Botacura	Zanjas tipo 1	9
	Zanjas tipo 2	13
Llohué	Zanjas tipo 1	9
	Zanjas tipo 2	13
Manzanares	Zanjas tipo 1	4,5
	Zanjas tipo 2	6,5

En la figura 12, se muestra un diagrama de la disposición teórica de las obras de conservación; esto es sólo a modo de ejemplo, ya que cada ensayo presenta una disposición distinta. Sin embargo, es importante destacar que la disposición de las zanjas de infiltración se hizo en tresbolillos. Además, en todos los ensayos se dejó un módulo sin intervenir, donde sólo se realizó la plantación; esto con el propósito de dejar una unidad testigo, para posteriormente realizar comparaciones.



Subs 1: Subsulado 1; Subs 2: Subsulado 2

Figura 12. Esquema espacial de la disposición de las obras

6.4. Establecimiento de las plantaciones en los ensayos

Esta actividad se realizó en todos los ensayos, a excepción de Llanillos y Paredones, los que se plantaron al segundo año, con el fin de estudiar durante el 2002, la dinámica de las cárcavas. En el resto de los ensayos se plantó *Pinus radiata* (D. Don), a una densidad de 1.000 plantas/ha. Inicialmente se consideraba una densidad de 1.250 plantas/ha, pero fue reducida con el objetivo de lograr una densidad común en todos 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.

En detalle, en las parcelas con subsulado, se buscó una densidad que fuese fácil de trabajar operativamente para ambas situaciones de espaciamiento. Así se plantó a 4 x 2,5 m en el subsulado separado a 4 m y de 5 x 2 m en el subsulado separado a 5 m.

6.4.1. Técnica de plantación

La plantación se realizó en función de la técnica con la que fue asociada, donde se distinguen las siguientes situaciones:

Zanjas de infiltración: Se confeccionó una casilla de 40 x 40 x 40 cm mediante una pala plantadora. Es importante destacar que la línea de plantación es independiente a las líneas de zanjas. El distanciamiento de la plantación es de 4 x 2,5 m.

Subsolado: La plantación se realiza sin casilla, ya que se considera el trabajo hecho por el subsolador. Como ya se mencionó, en este caso la línea de plantación va sobre la del subsolado, plantándose a un distanciamiento de 4 x 2,5 m en el subsolado de 4 m, y de 5 x 2 m en el subsolado de 5 m.

Testigo: Al igual que en las zanjas de infiltración, se confeccionó una casilla de similares características para cada planta, y el distanciamiento fue de 4 x 2,5 m.

6.4.2. Tipo de planta

En el cuadro 23, se muestra el tipo de planta utilizada, el proveedor y el número de plantas por ensayos.

Cuadro 23. Tipo y número de plantas utilizadas en el establecimientos de los ensayos

Ensayo	Tipo de planta	Proveedor	Número de plantas
VIII Región			
Manzanares	Toppin NA 828	Bosques Villanueva Ltda.	900
Llohué	Raíz desnuda NA 8011	Terranova S.A.	1.000
VII Región			
Parrón	Cutting BQ39-NA15	Bosques de Chile S.A.	1.100
Botacura	Cutting BQ39-NA15	Bosques de Chile S.A.	900
Name	Toppin NA 828	Bosques Villanueva S.A.	600
VI Región			
Hidango	Semilla Raíz desnuda LC30.	Forestal Celco S.A.	1.000
La Rosa	Semilla Raíz desnuda LC30.	Forestal Celco S.A.	600
Pumanque	Semilla Raíz desnuda LC30.	Forestal Celco S.A.	600

6.5. Cuantificación de las plantaciones forestales sometidas a zanjas de infiltración y subsolado

Las variables evaluadas para cuantificar el desarrollo de las plantas fueron el diámetro de cuello, la altura de la planta y la sobrevivencia, asociadas a las distintas obras de conservación construidas en cada uno de los ensayos, además de un módulo testigo. Para esto se realizó un censo de las plantaciones en cada uno de los ensayos, en agosto de 2003.

6.5.1. 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.

6.5.2. 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.

Para conocer si existían diferencias significativas entre los tratamientos respecto de las variables diámetro de cuello y la altura se aplicó el test de Kruskal Wallis. Si se encuentran diferencias estadísticas, 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.

Cabe mencionar que en 2 ensayos, los valores sólo constituyen un cifra de referencia. El primero de ellos es el caso de Pumanque, debido al hecho que las plántulas de pino 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, 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.

6.6. Resultados de los ensayos en diámetro de cuello y altura de las plantas (Faúndez, 2004)

En los puntos siguientes se presentan los resultados del efecto de los distintos tratamientos aplicados, a saber; zanjas, subsolado y testigo, sobre las variables diámetro de cuello y altura de las plantas.

En la cuadro 24, se presentan estadísticos descriptivos de 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.

Cuadro 24. 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.	
Hidango	15,62	5,95	38,1	64,86	20,89	32,2	612
La Rosa	17,29	3,87	22,4	66,36	15,81	23,8	439
Pumanque	4,96	1,08	21,8	21,94	3,96	18,0	463
Botacura	4,94	0,91	18,4	16,43	4,64	28,2	787
Name	15,59	4,70	30,1	71,38	17,82	25,0	425
Parrón	16,15	4,35	26,9	63,04	13,85	22,0	720
Llohué	16,22	4,67	28,8	67,24	16,67	24,8	450
Manzanares	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, en el cuadro 25, se detallan los promedios obtenidos para cada uno de los ensayos y para cada tratamiento analizado, indicando (con negrita) el mejor promedio para las variables diámetro de cuello y altura de la planta.

Cuadro 25. Promedios para el diámetro de cuello y la altura

Ensayo	Diámetro de cuello		Altura de la planta	
	Tratamiento	Promedio (mm)	Tratamiento	Promedio (cm)
Hidango	Subsolado 2	21,64	Subsolado 2	85,33
	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
La Rosa	Subsolado 2	19,0	Subsolado 2	75,25
	Subsolado 1	17,36	Subsolado 1	65,81
	Testigo	15,68	Testigo	58,84
Pumanque	Zanjas 1	5,00	Zanjas 2	22,22
	Zanjas 2	4,96	Zanjas 1	22,00
	Testigo	4,92	Testigo	21,66
Botacura	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
Name	Zanjas 2	18,43	Zanjas 2	81,09
	Zanjas 1	15,38	Zanjas 1	70,77
	Testigo	12,74	Testigo	61,55
Parrón	Testigo	18,31	Subsolado 1	68,22
	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
Llohué	Zanjas 2	19,0	Zanjas 2	75,25
	Zanjas 1	17,36	Zanjas 1	65,81
	Testigo	15,68	Testigo	58,84
Manzanares	Subsolado 2	19,94	Subsolado 2	81,42
	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

6.6.1. Resultados de las pruebas no paramétricas

En el cuadro 26 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.

Cuadro 26. 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
Hidango	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	$6,1 \times 10^{-6}$	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 el cuadro 26, en la mayoría de los ensayos el valor p del test de Kruskal Wallis resultó ser menor que el valor α 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. Como se señaló anteriormente, 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. En el cuadro 27, 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.

Cuadro 27. 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
Hidango	Testigo - Subsolado 1	$3,9 * 10^{-12}$	Rechaza H_0	$3,4 * 10^{-12}$	Rechaza H_0
	Testigo - Subsolado 2	0	Rechaza H_0	0	Rechaza H_0
	Testigo - Zanjas 1	$7,4 * 10^{-1}$	Acepta H_0	$3,0 * 10^{-2}$	Rechaza H_0
	Testigo - Zanjas 2	$4,4 * 10^{-6}$	Rechaza H_0	$2,3 * 10^{-10}$	Rechaza H_0
	Subsolado 1 - Subsolado 2	$1,7 * 10^{-11}$	Rechaza H_0	0	Rechaza H_0
	Subsolado 1 - Zanjas 1	$4,0 * 10^{-12}$	Rechaza H_0	$7,7 * 10^{-8}$	Rechaza H_0
	Subsolado 1 - Zanjas 2	$2,6 * 10^{-3}$	Rechaza H_0	$8,2 * 10^{-1}$	Acepta H_0
	Subsolado 2 - Zanjas 1	0	Rechaza H_0	0	Rechaza H_0
	Subsolado 2 - Zanjas 2	0	Rechaza H_0	0	Rechaza H_0
	Zanjas 1 - Zanjas 2	$9,5 * 10^{-7}$	Rechaza H_0	$5,3 * 10^{-6}$	Rechaza H_0
La Rosa	Testigo - Subsolado 1	$5,3 * 10^{-4}$	Rechaza H_0	$8,3 * 10^{-5}$	Rechaza H_0
	Testigo - Subsolado 2	0	Rechaza H_0	0	Rechaza H_0
	Subsolado 1 - Subsolado 2	$1,7 * 10^{-4}$	Rechaza H_0	$5,9 * 10^{-8}$	Rechaza H_0
Botacura	Testigo - Subsolado 1	$9,7 * 10^{-3}$	Acepta H_0	$7,9 * 10^{-4}$	Rechaza H_0
	Testigo - Subsolado 2	$1,1 * 10^{-4}$	Rechaza H_0	$2,8 * 10^{-3}$	Rechaza H_0
	Testigo - Zanjas 1	$8,1 * 10^{-1}$	Acepta H_0	$2,9 * 10^{-1}$	Acepta H_0
	Testigo - Zanjas 2	$4,9 * 10^{-1}$	Acepta H_0	$1,2 * 10^{-2}$	Acepta H_0
	Subsolado 1 - Subsolado 2	$1,5 * 10^{-1}$	Acepta H_0	$4,3 * 10^{-1}$	Acepta H_0
	Subsolado 1 - Zanjas 1	$3,1 * 10^{-3}$	Rechaza H_0	$2,4 * 10^{-2}$	Acepta H_0
	Subsolado 1 - Zanjas 2	$3,1 * 10^{-2}$	Acepta H_0	$3,2 * 10^{-1}$	Acepta H_0
	Subsolado 2 - Zanjas 1	$5,9 * 10^{-5}$	Rechaza H_0	$8,0 * 10^{-2}$	Acepta H_0
	Subsolado 2 - Zanjas 2	$1,9 * 10^{-4}$	Rechaza H_0	$7,7 * 10^{-1}$	Acepta H_0
	Zanjas 1 - Zanjas 2	$3,4 * 10^{-1}$	Acepta H_0	$1,7 * 10^{-1}$	Acepta H_0
Name	Testigo - Zanjas 1	0	Rechaza H_0	0	Rechaza H_0
	Testigo - Zanjas 2	$5,8 * 10^{-7}$	Rechaza H_0	$2,4 * 10^{-7}$	Rechaza H_0
	Zanjas 1 - Zanjas 2	$5,8 * 10^{-9}$	Rechaza H_0	$5,8 * 10^{-9}$	Rechaza H_0
Parrón	Testigo - Subsolado 1	$1,4 * 10^{-3}$	Rechaza H_0	$6,3 * 10^{-1}$	Acepta H_0
	Testigo - Subsolado 2	$1,0 * 10^{-7}$	Rechaza H_0	$3,5 * 10^{-2}$	Acepta H_0
	Testigo - Zanjas 1	$2,8 * 10^{-8}$	Rechaza H_0	$8,1 * 10^{-6}$	Rechaza H_0
	Testigo - Zanjas 2	0	Rechaza H_0	$1,9 * 10^{-12}$	Rechaza H_0
	Subsolado 1 - Subsolado 2	$4,9 * 10^{-3}$	Rechaza H_0	$6,0 * 10^{-4}$	Rechaza H_0
	Subsolado 1 - Zanjas 1	$1,5 * 10^{-4}$	Rechaza H_0	$3,6 * 10^{-8}$	Rechaza H_0
	Subsolado 1 - Zanjas 2	$8,0 * 10^{-12}$	Rechaza H_0	0	Rechaza H_0
	Subsolado 2 - Zanjas 1	$2,3 * 10^{-2}$	Acepta H_0	$4,7 * 10^{-4}$	Rechaza H_0
	Subsolado 2 - Zanjas 2	$8,7 * 10^{-7}$	Rechaza H_0	$7,5 * 10^{-11}$	Rechaza H_0
	Zanjas 1 - Zanjas 2	$5,3 * 10^{-2}$	Acepta H_0	$5,6 * 10^{-3}$	Acepta H_0
Llohué	Testigo - Zanjas 1	$1,4 * 10^{-2}$	Acepta H_v	$3,0 * 10^{-2}$	Acepta H_0
	Testigo - Zanjas 2	$7,3 * 10^{-1}$	Acepta H_0	$4,3 * 10^{-1}$	Acepta H_0
	Zanjas 1 - Zanjas 2	$4,4 * 10^{-23}$	Rechaza H_0	$8,2 * 10^{-4}$	Rechaza H_0
Manzanares	Testigo - Subsolado 1	0	Rechaza H_0	0	Rechaza H_0
	Testigo - Subsolado 2	0	Rechaza H_0	0	Rechaza H_0

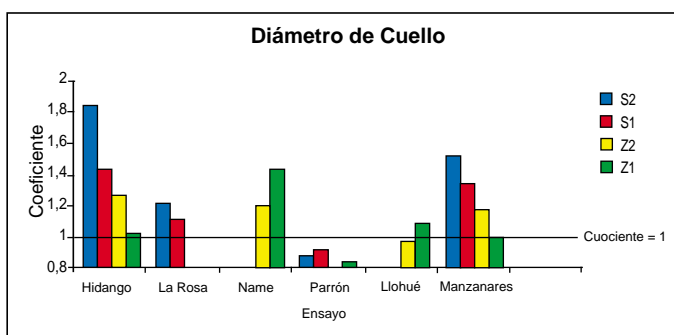
Testigo - Zanjas 1	$7,6 * 10^{-1}$	Acepta H_0	$6,0 * 10^{-4}$	Rechaza H_0
Testigo - Zanjas 2	$1,9 * 10^{-7}$	Rechaza H_0	$9,6 * 10^{-6}$	Rechaza H_0
Subsolado 1 - Subsolado 2	$1,1 * 10^{-6}$	Rechaza H_0	$1,8 * 10^{-2}$	Acepta H_0
Subsolado 1 - Zanjas 1	0	Rechaza H_0	0	Rechaza H_0
Subsolado 1 - Zanjas 2	$1,6 * 10^{-6}$	Rechaza H_0	0	Rechaza H_0
Subsolado 2 - Zanjas 1	0	Rechaza H_0	0	Rechaza H_0
Subsolado 2 - Zanjas 2	0	Rechaza H_0	0	Rechaza H_0
Zanjas 1 - Zanjas 2	$2,7 * 10^{-7}$	Rechaza H_0	$5,0 * 10^{-11}$	Rechaza H_0

6.6.2. Análisis de los resultados para el diámetro de cuello

En primer lugar, es importante mencionar el hecho de que la mayoría de los ensayos evidenciaron diferencias significativas entre los tratamientos establecidos (zanjas y subsolado), en relación a la unidad testigo. De lo anterior es posible inferir que las obras de conservación aplicadas, constituyen un efecto positivo en el crecimiento de la variable en estudio.

De los 6 ensayos analizados, sólo en Parrón, la unidad testigo superó a los demás tratamientos (subsolado y zanjas). Esto puede deberse al hecho de que este sector 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, donde la presencia de maleza fue mínima. Esto se basa en la efectividad del herbicida aplicado, que tuvo 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 gráfico 3 presenta los cuocientes entre el valor promedio de cada tratamiento aplicado (subsolado 1, subsolado 2, zanjas 1 y zanjas 2) en relación al valor promedio de la unidad testigo. Si el tratamiento supera al testigo, el valor será superior a 1; sino inferior a 1.



S2: Subsolado 2; S1: Subsolado 1; Z2: Zanja 2; Z1: Zanja 1

Gráfico 3. Coeficientes para el diámetro de cuello

El valor más alto para el subsolado 2, es el caso de Hidango, el cual es casi dos veces mejor en su comparación con el testigo. En este tratamiento, también se destaca el valor de Manzanares, con un coeficiente de 1,52; en tanto, con un valor menor, pero superior a 1, indicando con ello que supera al testigo, está el de La Rosa, con 1,21. Así, se puede apreciar que en general e independiente de la zona, el mejor tratamiento aplicado es subsolado 2, es decir, el subsolado con un distanciamiento de 4 m entre líneas.

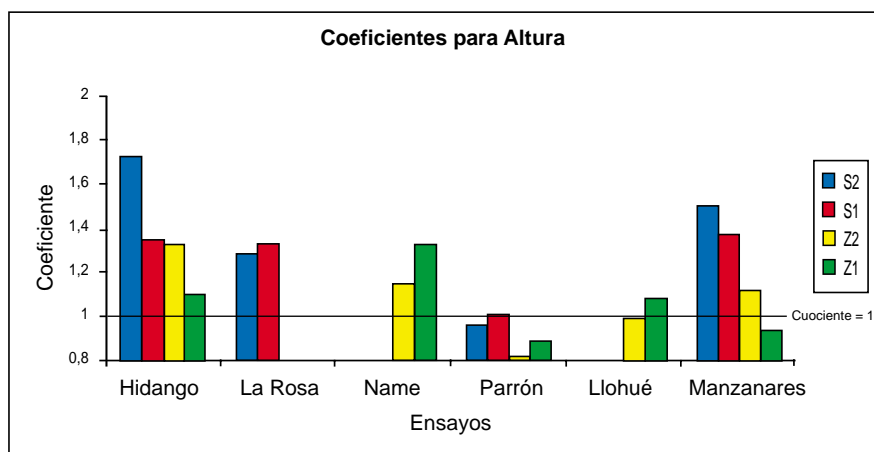
En cuanto al caso de las zanjas, se presentan dos situaciones: en los ensayos de Hidango y Manzanares, resultaron ser mejores las zanjas tipo 2, es decir, aquellas que presentan un ancho de 30 cm, pero para el caso de Name y Llohué se da la situación contraria, es decir resultan mejores las zanjas tipo 1, cuyo ancho es de 20 cm. Esto puede deberse a que algunas variables físicas del suelo, como la densidad aparente, varía muy notoriamente, lo que determina cambios en la velocidad de infiltración y en el volumen de agua disponible, y por tanto, el ancho de la zanja sería una variable secundaria, aunque esto no está comprobado.

En general las zanjas obtuvieron mejores resultados que el testigo, pero con valores de cuociente (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.

6.6.3. Análisis de los resultados para la altura de las plantas

Al igual que para el diámetro de cuello, este análisis se basó en el cuociente entre el promedio de cada tratamiento en relación con el testigo, para la variable altura de las plantas. El gráfico 4 presenta los resultados para esta variable.



S2: Subsolado 2; S1: Subsolado 1; Z2: Zanja 2; Z1: Zanja 1

Gráfico 4. 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, (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 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 aplicado, el cual fue más efectivo en la zona del testigo, que en los lugares de ubicación de los otros tratamientos.

6.6.4. Conclusiones

- 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 subsolado 2, 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. Éste, en el caso de Hidango (VI Región) y Manzanares (VIII Región), superó casi en dos veces al testigo.

- Según los resultados de esta investigación, el efecto de las zanjas de infiltración genera sólo un leve incremento en las variables de crecimiento estudiadas, con respecto a la unidad testigo. 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 del tiempo van mejorando y pueden superar al subsolado que, en principio se muestra como el mejor tratamiento.

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.

6.7. Medición de la sobrevivencia

Para evaluar la sobrevivencia se contabilizaron todas las plantas, tanto vivas como muertas. Por otra parte, para determinar sobrevivencia se aplicó una prueba para proporciones, conocido como el estadístico Chi cuadrado.

A continuación, en el cuadro 28 se exponen los promedios de sobrevivencia, para cada uno de los tratamientos además de los promedios por ensayo.

Cuadro 28. Sobrevivencia general promedio de los tratamientos evaluados

Tratamiento	Ensayo	Sobrevivencia (%)	Promedio (%)
Subsolado 2	Parrón	98	93
	Hidango	97	
	Manzanares	88	
	La Rosa	87	
Subsolado 1	Parrón	99	87
	Manzanares	93	
	Hidango	81	
	La Rosa	76	
Zanjas tipo 1	Name	98	91
	Parrón	97	
	Llohué	89	
	Hidango	86	
	Manzanares	86	
Zanjas tipo 2	Parrón	100	85
	Manzanares	98	
	Name	85	
	Hidango	80	
	Llohué	75	
Testigo	Parrón	97	85
	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 el cuadro 29, se muestran los resultados de sobrevivencia, para cada uno de los ensayos establecidos.

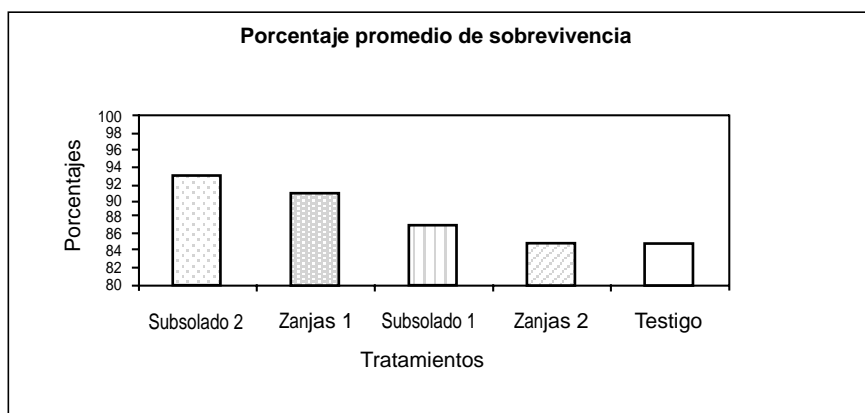
Cuadro 29. Promedio de sobrevivencia por ensayo

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

En cuanto a los promedios de sobrevivencia por ensayo, se puede apreciar en el cuadro 29, que el valor más alto lo obtuvo el ensayo de Parrón (VII Región), mientras que el valor más bajo fue para el ensayo de Llohué (VIII Región).

6.7.1. Análisis de los resultados de la sobrevivencia

En el siguiente gráfico se muestra el porcentaje de sobrevivencia para cada tratamiento. Así, se aprecia 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 5.** Porcentaje promedio de sobrevivencia según obra realizada

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.

6.7.2. Conclusiones

- En relación a la sobrevivencia de las plantas al año de crecimiento y con respecto a los tratamientos aplicados, hubo un promedio de 88%, obteniendo los valores más altos, los tratamientos de subsolado 2 con un 93%, y zanjas tipo 1, 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%).

6.8. Cuantificación de la erosión en módulos con zanjas de infiltración (Faúndez, 2004)

6.8.1. Metodología

La erosión en las zanjas de infiltración fue estudiada mediante el método de los clavos de erosión. Así, los clavos 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 13, se observa en forma esquemática la instalación de los clavos de erosión en las zanjas de infiltración mayores a 6 m.

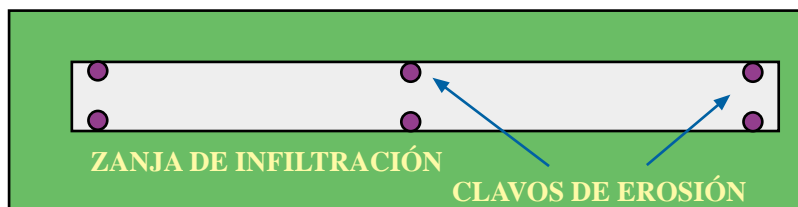


Figura 13. Esquema de ubicación de los clavos de erosión

En cada sector en que se establecieron zanjas de infiltración, se midieron todos los clavos dentro de las zanjas. La variable que se midió fue la altura en centímetros sobre el suelo de cada clavo, al momento de la instalación, siendo ésta la altura inicial, que sirvió como punto de comparación. Posteriormente se realizó una segunda medición en marzo de 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 un volumen de sedimentos.

6.8.2. Metodología para determinar el volumen de sedimento con clavos de erosión

A partir de las alturas de sedimento que denotaron los clavos, se definió el volumen de suelo sedimentado, en cada zanja, según la siguiente expresión:

$$V_s = \frac{\sum h_c}{n} * (I_z * a_z) \quad (35)$$

Donde:

$$\begin{aligned}\sum h_c &= \text{Sumatoria de las alturas de los clavos (m)} \\ n &= \text{Número total de clavos en cada zanja} \\ l_z &= \text{Largo de la zanja (m)} \\ a_z &= \text{Ancho de la zanja (m)}\end{aligned}$$

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.

Así;

$$h_{se} = \frac{V_s}{S_i} \quad (36)$$

Donde:

$$\begin{aligned}V_s &= \text{Volumen de sedimentos generado por la zona de impluvio (m}^3\text{)} \\ S_i &= \text{Superficie de la zona de impluvio o aporte (m}^2\text{)} \\ h_{se} &= \text{Altura del suelo erosionado (m)}\end{aligned}$$

6.8.3. Resultados de los clavos de erosión

Otra variable estudiada en los tratamientos correspondientes a zanjas de infiltración, fue la altura de los clavos de erosión instalados dentro de las zanjas. Esto 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. A continuación, se muestra la altura promedio de suelo erosionado para cada ensayo y por tipo se zanja (cuadro 30).

Cuadro 30. 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, fue el de Manzanares, con una altura de sedimentación de 2,74 mm. Asimismo, el promedio de todos los ensayos fue de 1,16 mm. En cuanto al caso de las zanjas tipo 2, los mayores valores lo obtuvo Manzanares con 5,1 mm, 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.

6.8.4. Análisis de los clavos de erosión

A continuación, en el gráfico 6 se muestran las alturas en promedio del suelo erosionado en mm, para cada uno de los ensayos.

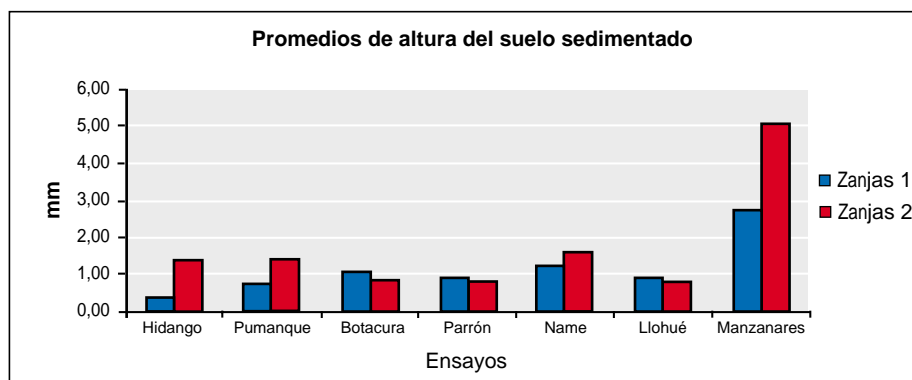


Gráfico 6. Promedio de altura del suelo erosionado

Se puede apreciar claramente que para ambos tipos de zanjas, el ensayo que resultó con mayor altura de erosión promedio fue Manzanares (VIII Región). Esto se debe a características de mayor erodabilidad del suelo, agravado por el uso agrícola anterior, sin las adecuadas obras de conservación de suelos.

A continuación se presenta en el gráfico 7, 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 $(hz_2 - hz_1)/hz_2$.

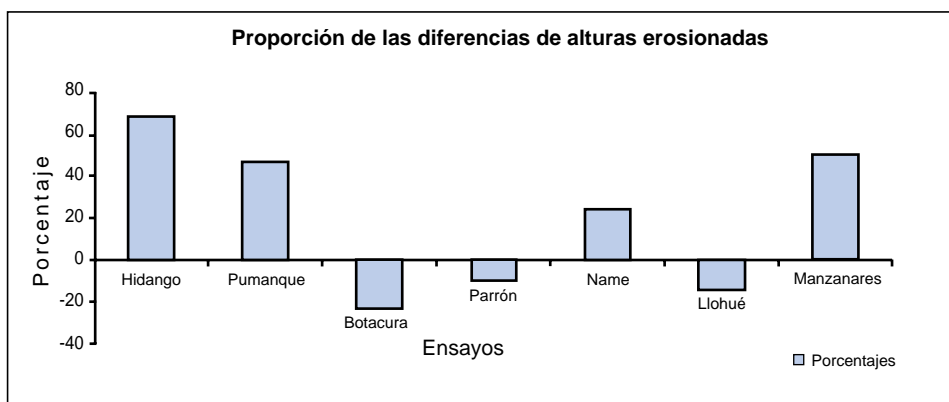


Gráfico 7. Proporción de las diferencias de alturas del suelo erosionado

Analizando el gráfico anterior, las proporciones positivas indican que hubo mayor erosión hacia las zanjas 2. En cambio si este valor es negativo, la mayor altura de erosión ocurrió en las zanjas tipo 1. Los resultados muestran que las zanjas tipo 2 obtuvieron los mayores promedios de altura del suelo erosionado, 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.

6.8.5. Conclusiones

- Para los clavos de erosión, en general, y como era de esperar, se produjo sedimentación en las zanjas de infiltración. El ensayo con mayor altura de erosión, fue el caso de Manzanares (VIII Región) con 2,74 mm, en las zanjas tipo 1 (con 20 cm de base), mientras que en las zanjas (con 30 cm de base), su sedimentación fue de 5,07 mm.

- Con respecto al punto anterior, y comparando ambos tipos de zanjas, cabe señalar que las zanjas tipo 2 fueron las que resultaron con los mayores promedios de altura del suelo erosionado y con marcadas diferencias en relación con las zanjas 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 zanjas tipo 1 con 20 cm de base, obtuvieron las mayores alturas de suelo erosionado en promedio, pero sus diferencias con respecto a las zanjas tipo 2, son mínimas.

6.9. Cuantificación de la erosión en cárcavas

En los ensayos de Paredones y Llanillos, en donde se establecieron estudios de cárcavas, los clavos de erosión fueron ubicados en suelo desnudo.

Hay que recordar que el ensayo Llanillos, contempla el control de 2 cárcavas en su interior, las cuales han sido denominadas cárcava 1 y cárcava 2, de acuerdo a la proximidad que poseen a la entrada del ensayo, mientras que en Paredones, sólo se estudió una carga.

A continuación, se presentan las figuras 14 y 15 y las fotografías 37, 38 y 39, con la ubicación geográfica de las cárcavas, la forma de las mismas y la ubicación de los clavos de erosión dentro de los ensayos de Paredones y Llanillos.

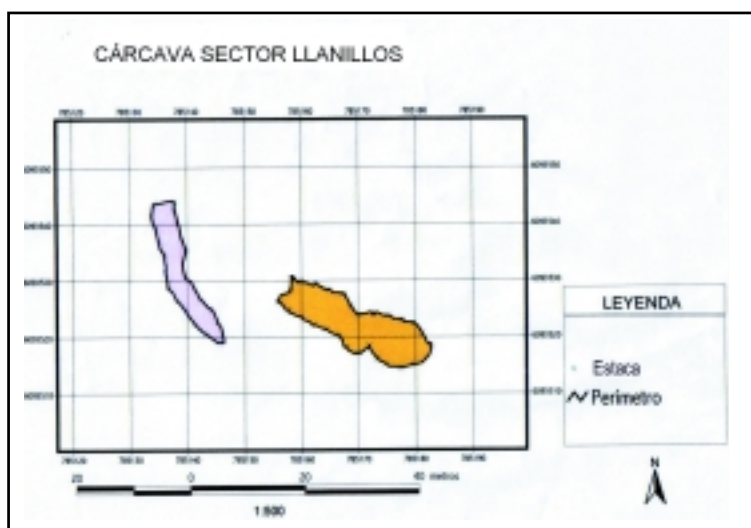


Figura 14. Plano de referencia del ensayo Llanillos



Fotografía 37 y 38. Vista parcial del ensayo de Llanillos, cárcavas 1 y 2, respectivamente



Fotografía 39. Vista general del ensayo Paredones



Figura 15. Plano referencial del ensayo Paredones

6.9.1. Metodología

La medición de la erosión hídrica se realizó a través de clavos de erosión, el que corresponde a un método experimental sencillo, directo y de bajo costo, en los cuales la estimación de pérdida de suelo se realiza directamente en terreno.

El propósito de este método es realizar el seguimiento de la dinámica de las cárcavas bajo condiciones de escorrentía superficial, y con ello, determinar la influencia de un canal de desviación construido en la parte superior de la ladera.

Los clavos de erosión son enterrados en el interior de la cárcava con 15 cm de altura sobre el nivel inicial del suelo, y en forma perimetral a la cárcava, por lo que los clavos que presentaron erosión fueron aquellos que al momento de ser medidos evidenciaron una altura mayor a los 15 cm iniciales. En caso contrario, si la medición es menor a 15 cm, se está en presencia de suelo sedimentado. Las mediciones consistieron en registrar la altura en milímetros del suelo perdido o sedimentado, según sea el caso.

La siguiente figura esquematiza el concepto señalado anteriormente.

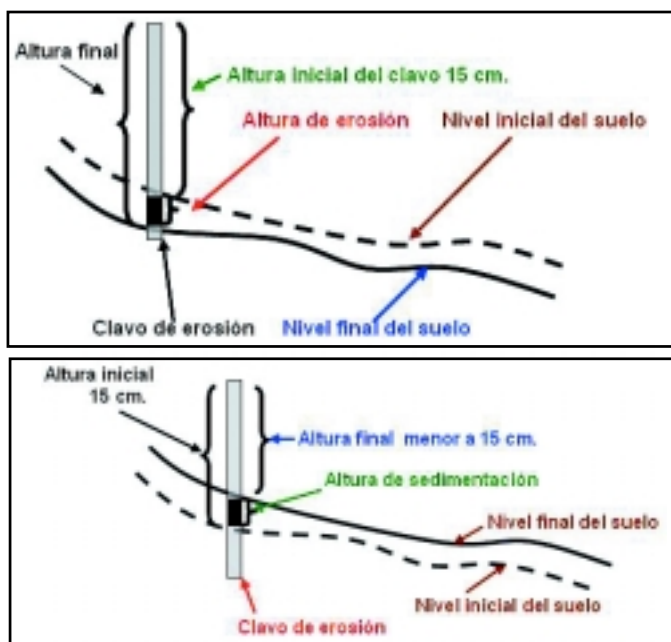


Figura 16. Esquema de la medición con clavos de erosión

6.9.1.1. Medición en clavos de erosión

El trabajo de medición efectuado en los clavos de erosión fue realizado desde agosto de 2002 a diciembre de 2004, en periodos que estuvieron determinados establecidos por el fin de las precipitaciones suscitadas en la zona. Este periodo consta de dos fases o situaciones, dadas por la construcción de los canales de desviación:

- Situación 1: Antes de la construcción del canal de desviación, agosto-2002 a mayo-2003.
- Situación 2: Después de la construcción del canal, desde mayo-2003 hasta diciembre-2004.

Asimismo, cada clavo fue identificado individualmente, lo que permitió observar su comportamiento a través del tiempo. Las mediciones fueron realizadas con una regla graduada en mm, adaptada para tal efecto, haciendo coincidir el cero con el borde de la regla. Así, los datos fueron medidos en milímetros y registrados en formularios diseñados para tales efectos.

Es menester comentar que, el número de mediciones por año en cada uno de los ensayos no es uniforme, lo que es producto de las malas condiciones de acceso que presentaba cada uno de los ensayos una vez concluidas las tormentas, como así también la periodicidad de las precipitaciones en cada zona.

6.9.1.2. Cuantificación de la erosión hídrica

Para cuantificar la erosión hídrica se realizó el siguiente procedimiento:

- Los clavos son enterrados a 15 cm, sobre la superficie, se fija el nivel cero en cada clavo. Posteriormente, en cada evaluación, los clavos son medidos desde su cabeza hasta el nuevo nivel del suelo. Si el nuevo nivel es menor que el nivel cero, entonces hubo erosión; al contrario, si es mayor que el nivel cero, hubo sedimentación.
- Cada medida consistió en medir un total de 83 clavos para el ensayo Paredones y 153 en el ensayo Llanillos.
- Para la medida promedio de variación del nivel del suelo, se sumó el total de alturas acumuladas por los clavos, como diferencias positivas o negativas con respecto al nivel cero, y se dividió por el total de clavos.

6.9.1.3. Metodología para determinar la erosión en cárcavas

La expresión de forma matemática se expresa a continuación:

$$\Delta h = \frac{\sum C_i}{N} \quad (37)$$

$$\begin{aligned} \Delta h &= \text{Variación del nivel de suelo (cm)} \\ \sum C_i &= \text{Variación vertical del clavo con respecto al nivel de suelo cero (cm)} \\ N &= \text{Número total de clavos} \end{aligned}$$

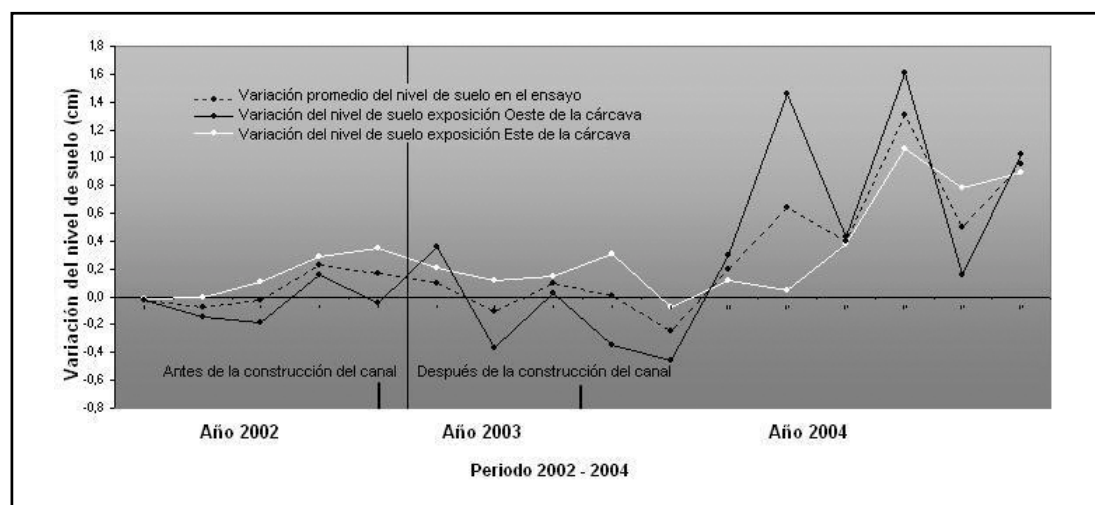
6.9.2. Resultados

6.9.2.1. Resultados del ensayo Paredones, VI Región

En los cuadros siguientes, se presenta la variación del nivel de suelo para el total del ensayo y en cada fecha de control, además de los valores obtenidos por ambas exposiciones de laderas de la cárcava, así como la representación gráfica de dichos valores (gráfico 8).

Cuadro 31. Ensayo Paredones, variación del nivel de suelo (cm)

Año de medición	Fecha de medición	Variación del nivel del suelo	Variación exposición Este	Variación exposición Oeste
2002	13/08/2002	-0,02	-0,016	-0,026
	21/08/2002	-0,07	-0,007	-0,143
	09/09/2002	-0,02	0,111	-0,183
	24/09/2002	0,23	0,291	0,159
	06/12/2002	0,17	0,348	-0,043
2003	09/05/2003	-0,10	0,11	-0,37
	15/10/2003	0,10	0,21	0,36
	10/12/2003	0,09	0,14	0,03
2004	24/03/2004	0,01	0,03	-0,34
	01/04/2004	-0,24	-0,07	-0,45
	29/04/2004	0,20	0,12	0,30
	18/06/2004	0,64	0,05	1,45
	06/08/2004	0,40	0,38	0,43
	14/09/2004	1,30	1,07	1,61
	21/09/2004	0,50	0,78	0,16
	19/12/2004	0,95	0,89	1,02

**Gráfico 8.** Ensayo Paredones, representación gráfica de la variación del nivel de suelo (cm)

De los cuadros anteriores se desprende que después de 28 meses de medición y en condiciones de suelo desnudo con una pendiente media de 32%, la variación del nivel de suelo es 0,95 cm, para una intensidad máxima de precipitación en 1 hora de 22,0 mm y con una precipitación acumulada en los 28 meses de 1025,5 mm.

Según la información obtenida, en el interior de la cárcava la variación del nivel de suelo con exposición de ladera Este, alcanzó a 0,89 cm y con exposición de ladera Oeste, un valor de 1,02 cm. Esto lleva a suponer que el proceso dominante es la sedimentación en ambas laderas, tras la construcción del canal de desviación.

Se debe recordar que no es exclusividad de la escorrentía superficial los cambios sufridos al interior de la cárcava, sino que también se combinan dos factores, los cuales son el viento predominante al momento de desatarse la tormenta y la intensidad de la precipitación. En el caso particular del ensayo de Pare-

donde, el viento predominante presenta dirección Oeste y la intensidad máxima de precipitación en 1 hora registrada en todo el período de control correspondió a 22 mm.

Cabe señalar que el día 15/05/03, corresponde a la fecha de construcción del canal, con lo cual se observa, en términos absolutos, un aumento en la sedimentación, pasando de una variación del nivel de suelo de - 0,1 cm el día 09/05/03, a una variación del nivel de suelo de 0,95 cm el día 19/12/04. De acuerdo con esto, se podría decir que los objetivos propuestos para la ejecución del canal de desviación se han cumplido, y se verifica que es una obra que permite controlar y reducir los procesos erosivos. Sin embargo, el tratamiento de la cárcava debe ser complementado con la forestación de especies arbóreas y herbáceas, con el propósito de estabilizar los taludes de las laderas.

En las fotografías siguientes se observan los daños producidos en el perímetro de la cárcava, ocasionados por las precipitaciones durante los años 2002, 2003 y 2004.



Fotografía 40. Inicio de la cárcava exposición Oeste, año 2002



Fotografía 41. Inicio de la cárcava exposición Oeste, año 2003



Fotografía 42. Cárcava exposición Oeste, Año 2004

6.9.2.2. Resultados del ensayo Llanillos, VII Región

Al igual que los resultados obtenidos por el ensayo Paredones, los resultados del ensayo Llanillos son presentados como la variación del nivel de suelo (cm) para cada una de las fechas de control de la cárcava. Cabe recordar que al comienzo de las mediciones del año 2003, existía una incipiente cubierta vegetal que fue desarrollándose en el interior de la cárcava, la cual no fue removida con el propósito de observar el comportamiento de las cárcavas bajo condiciones de regeneración natural.

En los cuadros 32 y 33, se observan los resultados de la variación del nivel de suelo en cada cárcava y en cada ladera de las mismas, como también las representaciones gráficas de ellas haciendo la distinción del comportamiento de la variación del nivel de suelo una vez construido el canal de desviación (gráficos 9 y 10).

Cuadro 32. Ensayo Llanillos, Cárcava 1, variación del nivel de suelo (cm)

Año de medición	Fecha de medición	Variación del nivel del suelo	Variación exposición Este	Variación exposición Oeste
2002	12/08/2002	-0,14	-0,08	-0,02
	09/09/2002	-0,09	-0,12	-0,05
	24/09/2002	-0,17	-0,26	-0,07
	13/12/2002	-0,53	-0,90	-0,13
2003	24/04/2003	-0,35	-0,63	-0,16
	13/06/2003	-0,26	-0,51	-0,02
	16/10/2003	0,06	0,08	0,03
	12/12/2003	0,04	0,10	-0,01
2004	04/04/2004	0,11	0,08	0,14
	28/04/2004	0,13	0,10	0,16
	17/06/2004	0,09	0,15	0,02
	23/06/2004	0,01	0,05	-0,04
	09/08/2004	-0,05	0,01	-0,11
	20/09/2004	0,26	0,51	-0,02
	19/10/2004	-0,09	-0,07	-0,11

Cuadro 33. Ensayo Llanillos, Cárcava 2, variación del nivel de suelo (cm)

Año de medición	Fecha de medición	Variación del nivel del suelo	Variación exposición Este	Variación exposición Oeste
2002	12/08/2002	-0,02	0,16	-0,24
	09/09/2002	-0,17	-0,20	-0,13
	24/09/2002	-0,20	-0,25	-0,15
	13/12/2002	-0,16	-0,01	-0,34
2003	24/04/2003	-0,47	-0,62	-0,29
	13/06/2003	-0,29	-0,42	-0,19
	16/10/2003	-0,08	0,01	-0,18
	12/12/2003	-0,22	0,00	-0,45
2004	04/04/2004	0,25	0,72	-0,09
	28/04/2004	0,09	0,45	-0,27
	17/06/2004	-0,06	0,07	-0,25
	23/06/2004	-0,17	-0,03	-0,42
	09/08/2004	-0,04	0,29	-0,45
	20/09/2004	-0,08	0,20	-0,49
	19/10/2004	-0,10	0,10	-0,44

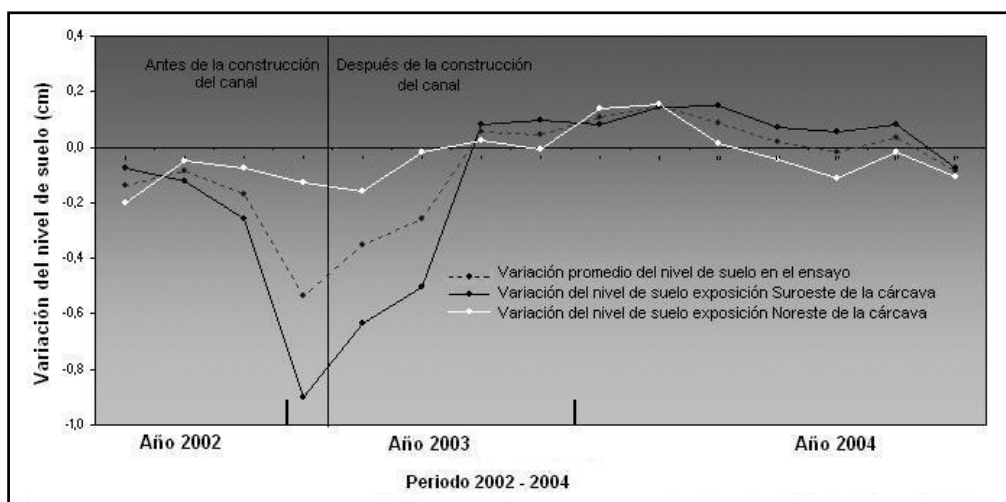


Gráfico 9. Ensayo Llanillos, Cárcava 1, variación del nivel de suelo antes y después de construido el canal de desviación

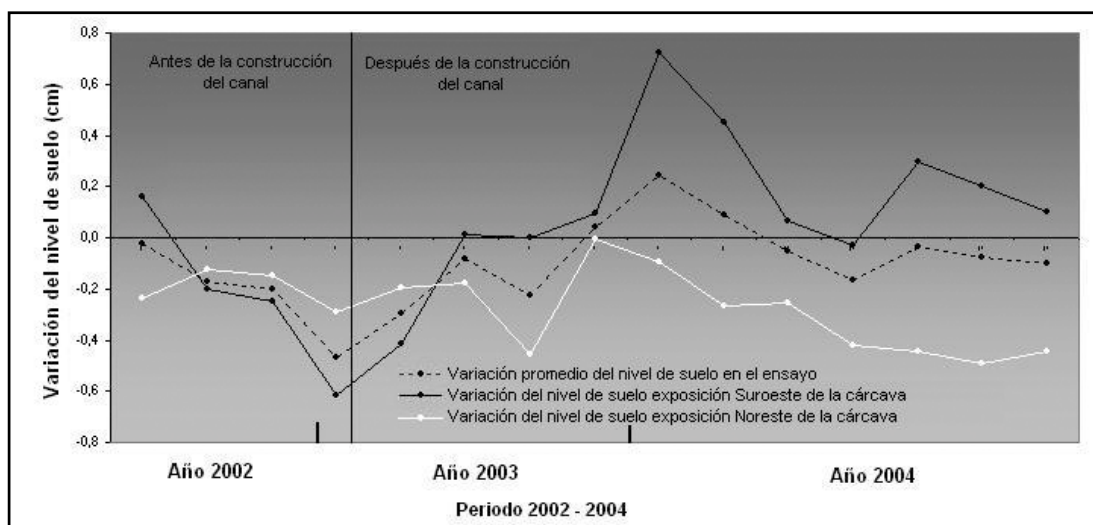


Gráfico 10. Ensayo Llanillos, Cárcava 2, variación del nivel de suelo antes y después de construido el canal de desviación

De los cuadros anteriores se desprende que, después de 28 meses de medición y en condiciones de suelo semidesnudo con una pendiente media de 27%, los resultados obtenidos por la cárcava 1 permiten suponer que ésta está perdiendo una lámina de espesor o altura media de suelo erosionado del orden de 0,09 cm. Asimismo, la cárcava 2 presenta una altura de suelo erosionado de 0,1 cm, lo cual es equivalente a suponer que en la cárcava se pierde en promedio una lámina de suelo del orden de 0,1 cm.

Por otra parte, a la luz de los resultados observados, es la exposición Noreste de la ladera de la cárcava 1, donde se produce la mayor pérdida de suelo con una variación del nivel de suelo erosionado del orden de los 0,11 cm. De igual forma, es la exposición Noreste de la ladera de la cárcava 2, donde se produce la mayor pérdida de suelo con 0,44 mm.

Esto lleva a suponer que el proceso dominante en ambas cárcavas es la erosión, tras la construcción del canal de desviación.

6.10. Cuantificación del contenido de humedad en zanjas de infiltración y subsolado (Pavez, 2004)

Para determinar el contenido de humedad, se recolectaron muestras de suelo, las que fueron tomadas mensualmente desde enero del año 2002, hasta noviembre del año 2003, las cuales se obtuvieron de los ocho ensayos implementados con zanjas de infiltración y subsolado.

Para obtener las muestras se realizaron calicatas, de las cuales se extrajeron porciones de agregados de suelo. Los puntos de toma de muestras, en donde se hicieron las calicatas, se ubicaron en la zona alta y baja de cada ensayo, donde se establecieron las obras de conservación (zanja de infiltración y subsolado), y de la unidad testigo, para efectos de comparación. De esta forma, en cada calicata, las muestras se obtuvieron a dos profundidades, a saber, a 30 cm y 60 cm del perfil. Una vez obtenidas las muestras, se taparon las calicatas con tierra, para luego al siguiente mes volver a cavar en el mismo lugar haciendo un pequeño ensanche horizontal, con el propósito de que las nuevas muestras no fueran de suelo removido, y así tener la certeza de que éstas eran representativas del lugar. De esta manera, en la figura 19, se presenta un dibujo esquemático de la ubicación espacial en donde se efectuó la toma de las muestras de suelo.

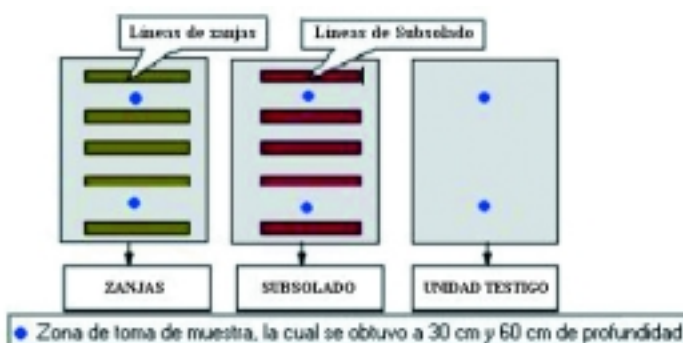


Figura 17. Esquema espacial representativo de la toma de las muestras

6.10.1. Metodología

6.10.1.1. Cálculo del contenido de humedad

A partir de las muestras de suelos obtenidas de los distintos sitios experimentales se determinó el contenido de humedad volumétrico, por lo que previo a esto se debió calcular el contenido de humedad gravimétrico y la densidad aparente.

De esta forma, en los siguientes puntos se describirá cómo se obtienen estos resultados.

6.10.1.2. Cálculo del contenido de humedad gravimétrico

Para determinar el contenido de humedad gravimétrico, se utilizó el método tradicional, consistente en el secado de las muestras en un horno con circulación de aire, debiendo mantenerse a 105° C, durante 24 h., las que debieron ser pesadas en una balanza antes y después del secado. De esta forma, el contenido de humedad es la relación expresada en porcentaje entre el peso del agua existente en una determinada masa de suelo y el peso de las partículas sólidas (Forsythe, 1975). Esto es:

$$CH_g = \frac{(P_h - P_s)}{(P_s - P_r)} \times 100 \quad (38)$$

Donde:

- CH_g = Contenido de humedad gravimétrico de la muestra (%)
- P_h = Peso de la cápsula más la muestra de suelo húmedo (gr)
- P_s = Peso de la cápsula más la muestra de suelo seco (gr)
- P_r = Peso de la cápsula vacía (gr)

6.10.1.3. Cálculo del contenido de humedad volumétrico

Según Forsythe (1975), la humedad volumétrica se obtiene con la siguiente ecuación:

$$CH_V = CH_G * Da \quad (39)$$

Donde:

CH_V = contenido de humedad volumétrico (%)
 CH_G = contenido de humedad gravimétrico (%)
 Da = densidad aparente, (g/cm³)

Para obtener el contenido de humedad volumétrico, como se puede observar en la ecuación anterior, se debió determinar la densidad aparente. En el punto siguiente se describe cómo se llegó a este resultado.

6.10.1.4. Obtención de muestras y cálculo de densidad aparente

Para la obtención de la densidad aparente, se recolectaron muestras de suelo, obtenidas de calicatas construidas en la zona alta y baja de cada tratamiento a una profundidad de 60 cm. Esto se repitió en cada uno de los ensayos. Así, para la extracción de las muestras de suelo, se empleó un barreno de metal con doble cilindro de acero, el cual debió ser introducido cuidadosamente en el perfil para conservar el volumen de la muestra *in situ*. Luego, las muestras de suelo fueron transportadas al laboratorio para ser secadas a 105° C y posteriormente pesadas (Blake y Andhartage, 1985).

6.10.1.5. Análisis estadístico para el contenido de humedad

Para evaluar el contenido de humedad volumétrico se aplicó un análisis multifactorial, donde se definieron 4 factores los cuales son: tratamientos, ubicación, profundidad y tiempo, los que a su vez poseen distintos niveles. De esta manera, el factor tiempo posee 11 niveles (meses); para el factor tratamiento los niveles son los distintos tipos de obras establecidas, según el ensayo, los que son zanjas, subsolados y la unidad testigo; el factor profundidad presenta 2 niveles, los cuales son 60 cm y 30 cm y, finalmente, en el factor de la posición espacial, se definieron 2 niveles, los que son arriba y abajo de cada ensayo (cuadro 34). Además, se realizaron interacciones de 2 factores para evaluar el comportamiento del contenido de humedad bajo distintas situaciones, donde se evaluaron las interacciones tratamiento - tiempo, profundidad - tiempo, tratamiento - ubicación, profundidad - tratamiento y profundidad - ubicación.

Cuadro 34. Factores y niveles utilizados para el contenido de humedad

Factores	NIVELES									
	Zanja tipo 1		Zanja tipo 2		Subsolado tipo 1		Subsolado tipo 2		Unidad Testigo	
Tratamientos ^o										
Profundidad	60 cm	30 cm	60 cm	30 cm	60 cm	30 cm	60 cm	30 cm	60 cm	30 cm
Posición espacial	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo
Tiempo	enero 2003- noviembre 2003		enero 2003- noviembre 2003		enero 2003- noviembre 2003		enero 2003- noviembre 2003		enero 2003- noviembre 2003	

Por otra parte, al realizar el análisis estadístico preliminar, se detectó que el factor exposición, influía en el comportamiento del contenido de humedad, por lo que los ensayos que estaban seccionados en módulos, y ubicados en distinta exposición, se debieron tomar como ensayos independientes; de esta forma, los ensayos que se muestran en el cuadro 35, son los que fueron analizados. Así, se observa que Parrón y Botacura debieron ser seccionados en dos ensayos distintos.

^o Estos niveles varían según el ensayo que se analiza

Cuadro 35. Exposición de los ensayos con sus respectivos tratamientos

Ensayos	Exposición	Tratamientos
Pumanque	Oeste	Testigo; Zanjas tipo 1 y 2
Hidango	Noroeste	Testigo; Zanjas tipo 1 y 2; Subsulado 1 y 2
La Rosa	Este	Testigo; Subsulado 1 y 2
Parrón*	Oeste	Testigo; Subsulado 1 y 2
Parrón*	Norte	Zanjas tipo 1 y 2
Botacura*	Oeste	Testigo; Zanjas tipo 1
Botacura*	Noroeste	Testigo; Zanjas tipo 2; Subsulado 1 y 2
Name	Norte	Testigo; Zanjas tipo 1 y 2
Llohué	Noroeste	Testigo; Zanjas tipo 1 y 2
Manzanares	Noroeste	Testigo; Zanjas tipo 1 y 2; Subsulado 1 y 2

* Ensayos que debieron ser seccionados

6.10.2. Resultados

6.10.2.1. Resultados de densidad aparente

A continuación, se presentan los resultados de densidad aparente obtenidos de cada ensayo (cuadro 36), ya que como se señaló en la metodología, estos datos fueron necesarios para obtener el cálculo de contenido de humedad volumétrico.

Cuadro 36. Densidad aparente obtenidos de cada zona asociada a los distintos tratamientos en cada ensayo (gr/cm³)

Sector	Tratamiento	Da		Sector	Tratamiento	Da		
		A	B			A	B	
Parrón	Testigo	1,37	1,48	Hidango	Testigo	1,59	1,72	
	Subsolado 1	1,60	1,52		Subsolado 1	1,52	1,43	
	Subsolado 2	1,37	1,85		Subsolado 2	1,55	1,76	
	Zanja Tipo 1	1,34	1,91		Zanja Tipo 1	1,64	1,39	
	Zanja Tipo 2	1,35	1,16		Zanja Tipo 2	1,89	1,54	
La Rosa	Testigo 1	1,87	1,55	Pumanque	Testigo 1	1,64	1,80	
	Testigo 2	1,72	1,49		Testigo 2	1,67	1,91	
	Subsolado 1	1,45	1,87		Zanja Tipo 1	1,49	1,83	
	Subsolado 2	1,78	1,81		Zanja Tipo 2	1,40	1,57	
	Name	Testigo 2	1,90		2,00	Llohué	Testigo	1,27
Zanja Tipo 1	1,75	1,39	Zanja Tipo 1	1,88	1,45			
Zanja Tipo 2	1,81	1,64	Zanja Tipo 2	2,03	1,56			
Botacura	Testigo 1	1,38	1,62	Manzanares	Testigo 1		1,79	1,63
	Testigo 2	1,53	1,74		Testigo 2		1,78	2,08
	Subsolado 1	1,32	2,01		Subsolado 1	1,85	1,77	
	Subsolado 2	1,97	1,74		Subsolado 2	1,79	1,65	
	Zanja Tipo 1	1,64	1,59		Zanja Tipo 1	1,74	1,69	
Zanja Tipo 2	1,43	1,89	Zanja Tipo 2	1,88	1,75			

Da: densidad aparente; A: zona de arriba de cada ensayo; B: zona de debajo de cada ensayo.

6.10.2.2. Resultados del análisis multifactorial con interacción

A continuación, en el cuadro 37 se presenta una tabla resumen que muestra los resultados de las interacciones que arrojó el modelo multifactorial aplicado para cada uno de los ensayos.

Cuadro 37. Resumen de resultados de interacción para las variables evaluadas

Ensayos	Interacción entre factores					
	A - C	B - C	D - C	A - D	B - A	B - D
Pumanque	Sí	No	Sí	Sí	Sí	No
Hidango	No	No	No	Sí	Sí	No
La Rosa	No	No	No	Sí	Sí	No
Parrón oeste	Sí	No	No	Sí	No	No
Parrón norte	No	No	No	Sí	No	Sí
Botacura oeste	No	No	No	No	No	No
Botacura noeste	Sí	No	No	Sí	No	Sí
Name	Sí	No	Sí	Sí	No	Sí
Llohué	No	No	No	Sí	Sí	No
Manzanares	No	Sí	No	Sí	No	Sí
Porcentaje con interacción	40%	10%	20%	90%	40%	30%

A - C : Tratamiento - Tiempo

B - C : Profundidad - Tiempo

D - C : Ubicación - Tiempo

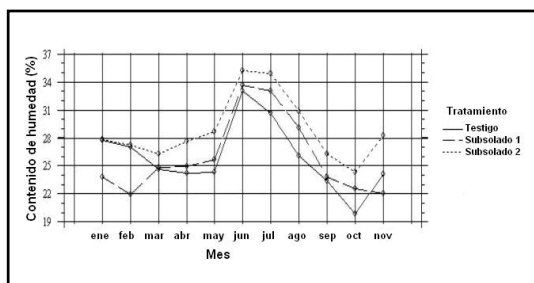
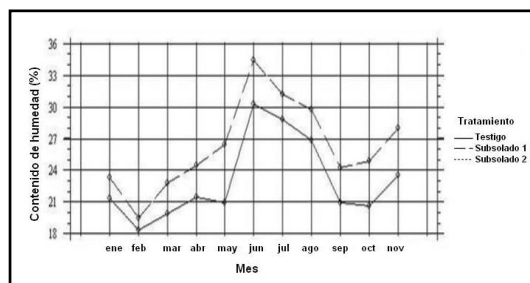
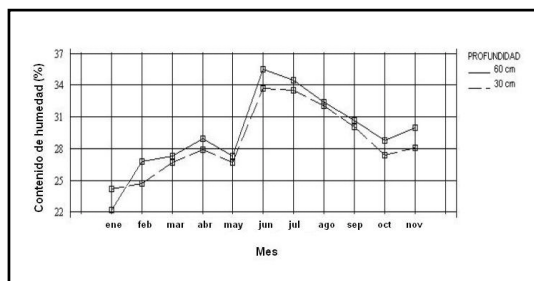
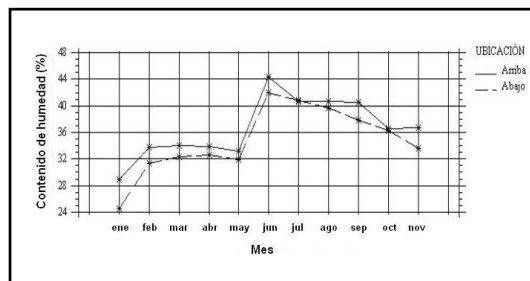
A - D : Tratamiento - Ubicación

Sí : Hubo interacción entre factores.

No : No hubo interacción entre factores

De esta forma se puede ver que los factores tratamiento y ubicación, arrojaron la presencia de la mayor interacción, lo que según Montgomery (2004), explicaría que la variabilidad del comportamiento del contenido de humedad se debería principalmente a estos factores. De esta forma, se podría decir que los distintos tratamientos respecto de su ubicación en la ladera, generan cambios importantes en el comportamiento del contenido de humedad de los suelos.

Para observar cómo se comporta el contenido de humedad respecto de las interacciones entre los distintos factores, a continuación se muestran los gráficos de algunos de los ensayos (gráficos 11, 12, 13 y 14).

**Gráfico 11.** Interacción entre los factores tratamiento y el tiempo, ensayo La Rosa**Gráfico 12.** Interacción entre los factores tratamiento y tiempo, ensayo Botacura**Gráfico 13.** Interacción entre los factores profundidad y el tiempo, ensayo Manzanares**Gráfico 14.** Interacción entre los factores ubicación y el tiempo, ensayo Llohué

6.10.3. Análisis comparativo entre el contenido de humedad y la altura de las plantas

Dentro del mismo estudio, y a modo de realizar un análisis más acabado de los resultados del contenido de humedad, estos datos fueron comparados con la altura promedio de las plantas (los que se mostraron anteriormente), para los ensayos en los que se establecieron zanjas de infiltración y subsolado. Esto a excepción de los sectores Parrón y Botacura, debido a que en estos lugares, como ya se especificó, debieron ser seccionados según la exposición, por lo que no es posible comparar tales resultados. Por esto, no es conveniente relacionarlos, ya que no se estarían comparando zonas con similares condiciones.

*Hidango***Cuadro 38.** Resultados test de Tukey, Hidango

Contenido de humedad en %		
Tratamiento	Promedio	Grupos homogéneos
Zanjas 1	32,36	X
Zanjas 2	33,48	XX
Subsolado 1	33,87	X
Subsolado 2	36,43	X
Testigo	36,99	X

La altura promedio de las plantas, para el sector de Hidango fueron los siguientes: 53,88 cm para zanjas tipo 1; 65,73 cm para zanjas tipo 2; 66,31 cm para subsolado tipo 1; 85,33 cm para subsolado tipo 2 y 49,25 para testigo (cuadro 25). Si se comparan estos resultados con el contenido de humedad promedio, obtenidos de cada tratamiento (ver cuadro 38), se observa que la unidad testigo presentó el mayor valor en contenido de humedad del suelo y el menor valor en altura promedio de las plantas; esto se debería a que el agua presente en el suelo no estaría disponible para las plantas. Sin embargo, para subsolado tipo 1 y 2 y zanjas tipo 1 y 2, no se produce la misma relación entre altura de las plantas y contenido de humedad del suelo, lo que podría deberse a la variabilidad del comportamiento del contenido de humedad en los suelos sometidos a obras de conservación.

*La Rosa***Cuadro 39.** Resultados test de Tukey, La Rosa

Contenido de humedad en %		
Tratamiento	Promedio	Grupos homogéneos
Testigo	25,90	X
Subsolado 1	25,95	X
Subsolado 2	28,85	X

Si estos valores se comparan con la altura promedio de las plantas, se tiene que subsolado tipo 2 presentó el mayor valor para el contenido de humedad de 28,85 y para la altura de las plantas de 75,25 cm; le sigue subsolado tipo 1 con un contenido de humedad promedio de 25,95 y una altura de 65,81 cm. Finalmente, el valor más bajo, en comparación de los demás tratamientos, es testigo con 25,90 de contenido de humedad y 58,84 cm de altura promedio de las plantas (cuadro 39). En función de estos resultados, la lógica parece invertirse, ya que los tratamientos con obras de conservación son los que mostraron tener mayor contenido de humedad y mayor crecimiento de las plantas. Estos resultados coinciden con los obtenidos por Saavedra (1999), donde se compararon los contenidos de humedad, en plantaciones de 7 años de pino insigne, sometidos a zanjas de infiltración.

Pumanque

Cuadro 40. Resultados Test de Tukey, Pumanque

Contenido de humedad en %		
Tratamiento	Promedio	Grupos homogéneos
Zanjas 2	23,94	X
Zanjas 1	26,07	X
Testigo	26,71	X

Para el sector de Pumanque, los valores promedio de la altura de las plantas fueron de 22,22 cm para zanjas tipo 2; 22,00 cm para zanjas tipo 1 y 21,66 cm para la unidad testigo (cuadro 40). Si estos datos se relacionan con los resultados del contenido de humedad promedio, se puede observar que la obra que arrojó menor contenido de humedad fue zanjas tipo 2, lo que se contrasta con la altura de las plantas, ya que este tratamiento presentó el valor más alto en comparación con los demás. En el mismo contexto, la unidad testigo presentó el mayor contenido de humedad, respecto de los otros tratamientos, lo que también se contrasta con la altura promedio de las plantas, porque la unidad testigo presentó la altura promedio más baja. Lo anterior, podría ser explicado por la influencia de las obras en el proceso de infiltración; de esta manera las zanjas están favoreciendo la infiltración y por ende retienen mayor cantidad de agua. Sin embargo al cuantificar la cantidad de agua existente en los suelos donde se construyeron estas obras, se presentaron menores contenidos de humedad, lo que significaría que las plantas están absorbiendo el agua disponible y la están utilizando para su desarrollo. Es por esto que al haber menos cantidad de agua en el suelo, mayor es la altura de las plantas, aunque las diferencias no sean tan notorias.

Name

Cuadro 41. Resultados test de Tukey, Name

Contenido de humedad en %		
Tratamiento	Promedio	Grupos homogéneos
Zanjas 2	21,07	X
Zanjas 1	27,50	X
Testigo	31,65	X

Tomando en cuenta los datos de altura promedio de las plantas, se determinó que zanjas tipo 2 presentó el menor contenido de humedad y la mayor altura promedio (81,09 cm). Además, testigo arrojó el valor más alto en cuanto al contenido de humedad y la menor altura promedio de plantas (61,55 cm). En efecto, zanjas tipo 1 arrojó una altura promedio de las plantas de 61,55 cm (cuadro 41). Respecto de lo anterior, en general se observa que en los tratamientos que se presentaron los valores mayores de contenido de humedad, las plantas mostraron menor altura, lo que se explicaría principalmente porque al existir mayor cantidad de agua disponible en el suelo, las plantas la utilizan para su desarrollo, lo que se reflejaría en un mayor crecimiento en altura, y una menor cantidad de agua cuantificable en el suelo.

Llohué

Cuadro 42. Resultados test de Tukey Llohué

Contenido de humedad en %		
Tratamiento	Promedio	Grupos homogéneos
Zanjas 2	34.58	X
Zanjas 1	35.32	X
Testigo	37.28	X

Al comparar estos datos de contenido de humedad con los datos de altura promedio de las plantas, se determinó que zanjas tipo 2 presentaron el menor contenido de humedad y la mayor altura promedio (75,25 cm). Además, el sector testigo presentó el valor más alto en cuanto al contenido de humedad y la menor altura promedio de plantas (58,84 cm). Además, zanjas tipo 1 arrojó una altura promedio de las plantas de 61.55 cm (cuadro 42). Los valores antes descritos, muestran que al haber menor humedad, mayor es la altura promedio de las plantas, lo que nuevamente se explicaría principalmente porque al existir mayor agua disponible en el suelo, las plantas la utilizan para su desarrollo, lo cual se ve reflejado en un mayor crecimiento en altura, y una menor cantidad de agua cuantificable en el suelo.

Manzanares

Cuadro 43. Resultados test de Tukey, Manzanares

Contenido de humedad en %		
Tratamiento	Promedio	Grupos homogéneos
Zanjas 2	27,77	X
Subsolado 2	28,39	XX
Subsolado 1	28,91	X
Testigo	29,86	X
Zanjas 1	30,35	X

Los valores de la altura promedio de las plantas, obtenidos para cada tratamiento, en orden de menor a mayor, fueron: zanjas tipo 1 de 52,44 cm, testigo de 55,91 cm, zanjas tipo 2 de 62,78 cm, subsolado tipo 1 de 76,52 cm y subsolado tipo 2 de 81,42 cm (cuadro 43). Al comparar estos resultados con los del contenido de humedad se puede apreciar que los mayores valores de contenido de humedad son para testigo y zanjas tipo 1, mientras que las menores alturas promedio son coincidentemente para los mismos tratamientos; no obstante, esto no se da en el mismo orden, pero hay que tomar en cuenta que estos tratamientos no presentan diferencias estadísticamente significativas.

Por otra parte y respecto de los resultados de los ensayos de Parrón y Botacura, es importante tomar en cuenta que estos sectores debieron ser seccionados en dos ensayos, ya que presentaban diferente exposición, lo cual no se realizó en el estudio de Faúndez (2004). Así, para el ensayo Botacura, habiendo en el sector dos zonas testigo, para la obtención del promedio de las plantas se tomaron los dos testigos como un solo grupo muestral, mientras que para este estudio el promedio del contenido de humedad se realizó separando las unidades testigo según la exposición. Por otra parte, para el ensayo de Parrón, ocurrió algo similar, ya que en el estudio realizado por Faúndez el promedio de las plantas se obtuvo de todo el sector, mientras que para obtener el promedio del contenido de humedad se seccionó el ensayo en dos sectores lo que implicó que la exposición norte quedara sin unidad testigo. Por esto, es que los valores de contenido de humedad y altura no es conveniente relacionarlos, ya que no se estarían comparando zonas con similares condiciones.

6.10. Conclusiones

- Conforme a los análisis obtenidos, se puede decir que el contenido de humedad en el suelo, mostró gran variabilidad en su comportamiento, lo que podría responder a que los suelos evaluados presentan una densidad aparente muy variable en el espacio. En este contexto, esta alta variabilidad en las propiedades físicas de los suelos, determina la no existencia de una correlación directa entre el contenido de humedad, los tratamientos y el crecimiento de las plantas.
- Por otra parte, respecto de las interacciones evaluadas se determinó que en general, en todos los ensayos a 60 cm de profundidad, se presentó mayor contenido de humedad que a los 30 cm, lo que determinaría que los procesos de infiltración se han verificado claramente.
- Al realizar comparaciones entre el contenido de humedad promedio y la altura promedio de las plantas, se pudo apreciar que cuando la unidad testigo presentó mayor contenido de humedad que los demás tratamientos, ello no se refleja en el crecimiento de las plantas; esto significaría que el agua que se cuantificó en el suelo, no estaría disponible para las plantas.
- Las interacciones entre los factores tratamiento y ubicación, arrojaron la presencia de la mayor interacción; esto explicaría que la variabilidad del comportamiento del contenido de humedad se debería principalmente a la ubicación en la ladera.

6.12. Fotografías de los módulos experimentales



Fotografía 43. Clavos de erosión dentro de una zanja



Fotografía 44. Zanjas trabajando, sector Pumanque, VI Región



Fotografía 45. Distanciamiento de zanja según diseño



Fotografía 46. Módulo experimental, sector La Rosa, VI Región



Fotografía 47. Módulo experimental, sector Hidango, VI Región



Fotografía 48. Canal de desviación, sector Paredones, VI Región



Fotografía 49. Plantación en subsolado, sector La Rosa, VI Región



Fotografía 50. Módulo experimental, sector Botalcura, VII Región



Fotografía 51. Plantación en subsolado, sector Parrón, VII Región



Fotografía 52. Zanjas trabajando, sector Name, VII Región



Fotografía 53. Módulo experimental, sector Llohué, VIII Región



Fotografía 54. Módulo experimental, sector Manzanares, VIII Región

7

*Análisis comparativo del efecto de las zanjias de infiltración sobre el crecimiento volumétrico de plantaciones de *Pinus radiata* (D. Don)*



En el año 1999, Saavedra y Pizarro realizaron un estudio, en la microcuenca del estero Barroso, localidad de Llongocura, comuna de Curepto VII Región, con el propósito de analizar comparativamente los niveles de eficiencia de dos técnicas de conservación de suelo en plantaciones de *Pinus radiata* (D. Don.) de un año de edad; el estudio se llevó a cabo a través del análisis y medición del prendimiento y el crecimiento de las plantaciones, y de la determinación del contenido de humedad del suelo. Además, y dentro del mismo marco, se evaluó una plantación de 7 años de edad de la misma especie, en un sector aledaño a éste, donde realizó una estimación de volumen, midiendo la altura y diámetro de los árboles, en sectores con y sin zanjas. Por otra parte, en el año 2001, Pérez y Mourgues continúan esta línea de investigación, y evalúan nuevamente la plantación de 7 años estudiada por Saavedra y Pizarro; ahora de 9 años de edad, dónde realizan una estimación de volúmenes producidos con diferentes grados de intervención silvícola. Finalmente, en el año 2002, la Sociedad EIAS Ltda., realizó otros monitoreos en la misma plantación, con el propósito de volver a hacer una comparación entre la zona con zanjas de infiltración y la zona testigo.

A continuación, se detallan los tres estudios señalados anteriormente.

7.1. Análisis comparativo de técnicas de recuperación de suelos en áreas degradadas; efectos en la humedad del suelo la sobrevivencia y crecimiento de *Pinus radiata* (D. Don.) microcuenca del estero Barroso, VII Región (Saavedra, 1998).

7.1.1. Metodología

Se implementaron 3 módulos asociados a una plantación de *Pinus radiata* (D. Don) de un año, los cuales fueron zanjas de infiltración, subsolado y una unidad testigo, que corresponde a una zona sin ningún tratamiento al suelo.

En el predio existían zonas forestadas con la misma especie, pero de una data de 7 años; de esta manera, se encontraron zonas sin tratamiento en el suelo y otras en las cuales se construyeron zanjas de infiltración. Fueron comparadas entre ellas considerando el crecimiento en altura, diámetro y una expresión simple del volumen del bosque con el cual se obtuvo un marco referencial del comportamiento futuro que podría presentar la plantación.

Dimensiones de las zanjas de infiltración: 25 m de distanciamiento; 30 cm de ancho; y una profundidad de 40 cm. El largo es variable dependiendo de las condiciones de la ladera.

7.1.2. Variables estudiadas

- Contenido de humedad del suelo

Para evaluar el contenido de humedad del suelo se realizó un diseño de bloques completamente al azar, para lo que se obtuvieron dos muestras de suelo del mismo lugar mensualmente, a dos profundidades, esto es a 15 y 30 cm respectivamente, las cuales fueron analizadas en forma separada. Una vez obtenidas las muestras, se determinó el contenido de humedad por medio del método tradicional, el que consiste en obtener los pesos húmedos y secos de las muestras de suelos colectados.

Así, para obtener el peso seco, las muestras fueron secadas en una estufa durante 24 h y a 105° C. Una vez adquiridos los pesos, el contenido de humedad se obtuvo por medio de la siguiente expresión:

$$CH = \frac{P_h - P_s}{P_s - P_r} * 100 \quad (40)$$

Donde:

- CH = Contenido de humedad (%)
- P_h = Peso húmedo del suelo (gr)
- P_s = Peso seco del suelo (gr)
- P_r = Peso de la cápsula vacía (gr)

- Supervivencia de la plantación

Para medir la supervivencia, se consideró el promedio de 2 parcelas de 300 m² adyacentes a las calicatas por cada situación. Los datos son expresados como porcentajes de la densidad inicial de la plantación.

Se considera una planta viva a la que posea más de un tercio de acículas verdes.

La expresión que muestra esta variable es la siguiente.

$$\text{Supervivencia (\%)} = \frac{\text{Nº de plantas sobrevivientes de la parcela}}{\text{Nº de plantas iniciales de la parcela}} * 100 \quad (41)$$

- Crecimiento de las plantas

Para el crecimiento de la plantación se consideraron dos situaciones:

- En la plantación de un año, se mide la altura total de las 15 plantas mejor establecidas en la parcela. Ello, con el motivo de no considerar a las plantas que pudieran morir en el transcurso del ensayo.
- En la comparación de la plantación de 7 años de edad, las variables consideradas fueron la altura, el diámetro y una expresión simple de volumen. Estos datos son determinados por medio de un muestreo aleatorio.

7.1.3. Resultados

El análisis de los resultados fue realizado por medio de un análisis de varianza y el test de rangos múltiples de Duncan.

La investigación arrojó como resultados relevantes, el hecho de que el contenido de humedad es superior en las situaciones donde se realizaron obras de conservación de aguas y suelo; es más, para una profundidad de 15 cm, el contenido de humedad del suelo en la zona con zanjas de infiltración es 41% mayor que en la zona testigo. Por su parte, en la zona con subsolado, el contenido de humedad del suelo es 37% mayor que en la zona testigo.

Según los cálculos obtenidos, se evidenció un mayor contenido de humedad del suelo a 30 cm y 15 cm de profundidad en zonas donde se construyeron zanjas que en la unidad testigo. Por otro lado, la aplicación del test de Duncan mostró que existen diferencias significativas entre todas las situaciones, siendo la zona con zanjas de infiltración la que presentaba un mayor contenido de humedad del suelo, seguida ésta por la zona donde se aplicó el subsolado.

En cuanto a la sobrevivencia, los resultados indican que la zona con subsolado presenta un mayor porcentaje de sobrevivencia (79%), la situación con zanjas de infiltración la sigue con un 76,5% de sobrevivencia y, por último, el sector testigo tiene una media de sobrevivencia de 70% (gráfico 15).

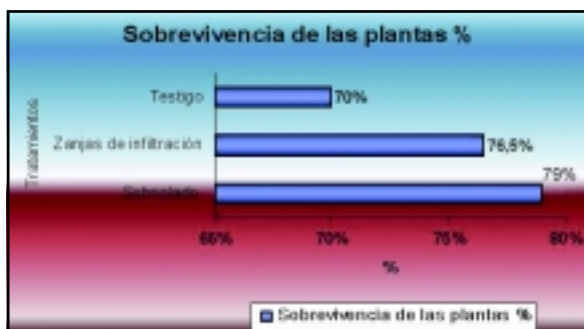


Gráfico 15. Gráfico de sobrevivencia de las plantas

La diferencia que se presenta entre la situación con zanjas de infiltración y la zona con subsolado, puede ser explicada por el hecho de que el subsolado es un tratamiento más directo a la planta, puesto que es realizado en cada hilera de plantación; esto conlleva a un mejor establecimiento, ya que debido a la descompactación del suelo se mejora el enraizamiento.

Para el crecimiento en altura, la prueba de Duncan arrojó como resultados que existen diferencias entre el testigo y el sector con zanjas de infiltración mayor a 34% en comparación con el testigo, también entre el subsolado y el testigo, se observó que hay un 28% más de crecimiento. Sin embargo, no hubo diferencias significativas entre zanjas y subsolado.

Para el caso de la plantación de 7 años de edad, se registraron notorios incrementos en el crecimiento diametral y en altura, comparados con una plantación del mismo sector y de la misma edad, en la cual no se realizó ningún tratamiento. El volumen alcanzó un valor casi 4 veces mayor en el sector con zanjas de infiltración.

El cuadro 44 presenta los resultados de la variable altura de plantas para cada una de las técnicas aplicadas en la plantación de un año.

Cuadro 44. Resultado Test de Duncan en la medición de la altura

Tratamientos	Media (cm)	Comparación	Diferencias entre sí (cm)	Resultado
Zanjas	57,0	Zanjas - Subsulado	2,4	No existen diferencias
Subsulado	54,6	Zanjas - Testigo	14,4	Existen diferencias
Testigo	42,5	Subsulado - Testigo	12,1	Existen diferencias

7.1.4. Conclusión

Con este estudio, se puede afirmar que las técnicas de conservación de aguas y suelos favorecen el establecimiento y crecimiento de las plantaciones forestales en las zonas semiáridas del secano costero de la VII Región, debido a la alta eficiencia en la captura de humedad, lo que conlleva a obtener crecimientos más rápidos y sostenidos en lugares en los cuales, por la degradación que ha sufrido el suelo por condiciones de sequía, lo más probable es que jamás se esperarían estos resultados. Luego, este estudio refleja la importancia de la aplicación de técnicas de conservación y aprovechamiento de aguas y suelos en el establecimiento de plantaciones forestales y en su respectivo crecimiento, que se traduce en el aumento de la productividad de la plantación.

7.2. Evaluación de la productividad de *Pinus radiata* (D. Don) asociada a zanjas de infiltración. Llongocura, VII Región del Maule (Pérez, 2001)

7.2.1. Metodología

Se compararon la plantación de *Pinus radiata* (D. Don) en Llongocura, ahora de 9 años de edad, en dos situaciones diferentes: una con zanjas de infiltración y la otra situación testigo, esto es plantación tradicional sin prácticas de conservación de suelos.

Se simularon tres esquemas de manejo para la plantación efectuada con zanjas de infiltración y testigo, de manera de comparar los volúmenes producidos con diferentes grados de intervención silvícola. Las simulaciones se hicieron con el Simulador Radiata Plus V5.0, perteneciente a Bosques de Chile S.A.

Además, se realizó un análisis económico de las zanjas utilizando como indicador el Valor Económico del Suelo (VES), que es una generalización del VAN (Valor Actual Neto) para un número infinito de rotaciones.

7.2.2. Resultados

Los resultados indican que al construir zanjas de infiltración se modificaron positivamente las condiciones ambientales, principalmente en el agua disponible para la plantación, lo que se reflejó en el aumento del Índice de Sitio, el que de un valor de 24,5 en la zona testigo aumentó a 30,1 en la zona con tratamiento. Esta diferencia de 19,1% es de suma importancia, ya que dentro de los factores de Índice de Sitio, el agua disponible es factible de modificar, no así los demás factores.

Por otro lado, con respecto a la plantación tradicional se comprobó un aumento del volumen promedio de la plantación del 62% para todos los esquemas de manejo sin presentar diferencias significativas entre ellos. Aunque este valor es inferior al 400% obtenido por Pizarro y Saavedra, esto era de esperar, ya que la tasa de crecimiento de los árboles disminuye con la edad y asimismo, se espera que al término de la rotación la diferencia sea menor.

Por otro lado, del análisis económico se desprende que la construcción de zanjas de infiltración reduce el periodo óptimo de rotación del bosque en dos años promedio respecto al testigo, y que el beneficio entregado por ellas en términos del indicador económico VES, indica que su implementación genera entre 2 y hasta 5 veces más ingresos que el testigo.

7.2.3. Conclusiones

Este estudio reafirma los beneficios que resultan de la implementación de las zanjas de infiltración, en cuanto al incremento de la productividad del suelo, que determina un aumento en el desarrollo de la plantación.

No obstante, el diseño de las zanjas fue establecido sin considerar variables hidrológicas, quedando como próxima tarea dilucidar qué tamaño de zanjas y distanciamiento entre ellas aportaría los mayores beneficios económicos.

7.3. Análisis del crecimiento y volumen en una plantación de *Pinus radiata* (D. Don) asociado a zanjas de infiltración

La evaluación consistió en medir y comparar las variables de crecimiento; diámetro y altura de la plantación de *Pinus radiata* (D. Don), ahora de 11 años de edad, en un sector con zanjas de infiltración y otro sin ningún tipo de obras (unidad testigo).

Del análisis de los resultados se tiene que para el sector con zanjas de infiltración se presenta una menor variabilidad en cuanto al diámetro a la altura del pecho (DAP) promedio y al volumen promedio individual por árbol que el sector sin zanjas de infiltración. Se desprende de esto que al considerar un número fijo de parcelas, en este caso 7 por situación, el error asociado al muestreo resulta un tanto mayor en el caso del sector con zanjas de infiltración.

Para el caso del DAP, el número de parcelas muestreadas en el sector con zanjas, es suficiente para determinar con un error admisible de muestreo del 7%, que el intervalo de confianza para el DAP promedio con un nivel de significancia del 0,05% se encuentra en el siguiente rango:

$$15,05 \leq 16,34 \leq 17,30$$

Para el caso del sector sin zanjas el error de muestreo es un poco mayor, 12%, para determinar con el mismo nivel de significancia el intervalo del DAP promedio.

$$11,18 \leq 12,7 \leq 14,18$$

Para el caso del volumen la situación es similar pero el error muestral aumenta en mayor proporción, 15% sector con zanjas y 28% sector sin zanjas. Esto tiene su origen debido a que la variable explicativa, en este caso el diámetro, es elevada al cuadrado, esto tiende a aumentar un poco la variabilidad de los datos. Si a ello sumamos también el hecho de que la variable volumen, no es medida en forma directa sino que a través de una función (DAP y altura) tiende a aumentar el error. Respecto a esto cabe señalar que para el sector con zanjas no fue posible obtener una buena correlación entre el DAP y la altura, por lo que se determinó utilizar la altura media de los árboles medidos. Una explicación a este hecho se puede sustentar en que el sector con zanjas, debido a su mayor crecimiento, ha tendido a equiparar la altura de los árboles debido a que se genera mayor competencia, por lo tanto la expresión del aumento del diámetro está un poco reprimida lo que indicaría la oportunidad de efectuar una intervención silvícola (raleo) para favorecer el crecimiento en este sentido.

El intervalo de confianza para cada situación es el siguiente:

Sector con zanjas

$$0,1161 \leq 0,1369 \leq 0,1560$$

Sector sin zanjas

$$0,0439 \leq 0,0613 \leq 0,0787$$

Por otra parte, si bien tenemos que existe una mayor variabilidad en el sector sin zanjas, se cumple el supuesto de homocedasticidad de varianzas lo cual nos permite comparar ambas situaciones a través de un análisis de varianzas, ANOVA (Statgraphics 1.4). El resultado de esta comparación indica que el sector con zanjas de infiltración posee un mayor crecimiento, 2,2 veces más volumen que el sector sin zanjas.

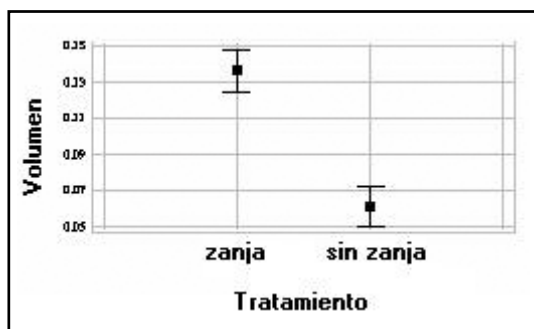


Gráfico 16. Comparación del volumen entre tratamientos

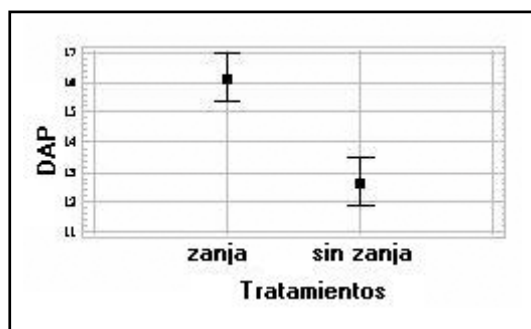


Gráfico 17. Comparación del DAP entre tratamientos

7.4. Fotografías del módulo experimental, sector Llongocura



Fotografía 55. Vista zanjas, sector Llongocura, VII Región



Fotografía 56. Vista zanjas y plantación sector Llongocura, VII Región



Fotografía 57. Zanjas trabajando sector Llongocura, VII Región



Fotografía 58. Módulo sin zanjas sector Llongocura, VII Región

8

Procesos de transferencia tecnológica para la conservación de aguas y suelos



En el presente capítulo se dan a conocer las actividades realizadas por el proyecto EIAS, con el propósito de difundir las líneas de investigación desarrolladas por el mismo.

8.1. Seminarios

8.1.1. Seminario de lanzamiento del proyecto

En marzo del año 2003, en la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad de Talca, se realizó el lanzamiento del proyecto. La actividad tuvo como objetivo dar a conocer esta iniciativa a nivel regional y se enmarcó dentro de las primeras actividades de difusión.

Al evento asistieron cerca de 40 personas del ámbito público y privado, entre ellas, la CONAF, la Dirección General de Aguas (DGA), las empresas Bosques de Chile S.A., y Forestal Millalemu S.A., consultores privados y ONG's.



Fotografía 59. Intervención del Sr. Julio Fierro, Director Regional de CORFO



Fotografía 60. Intervención del Sr. R. Pizarro T., Director de Proyecto

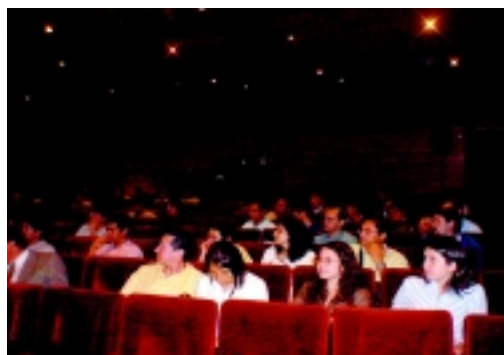
8.1.2. Primer Seminario Internacional «Restauración hidrológico - forestal para la conservación y aprovechamiento de aguas y suelos»

La Sociedad EIAS Ltda., en conjunto con la Universidad de Talca y el Instituto Forestal, organizó en el mes de noviembre del 2003, el primer seminario internacional denominado «*Restauración hidrológico - forestal para la conservación y aprovechamiento de aguas y suelos*», realizado en Santiago de Chile.

El seminario contó con la asistencia de 90 profesionales y estudiantes de diversas instituciones y empresas ligadas a la temática de la ingeniería de aguas y suelos.



Fotografía 61. Inauguración del seminario



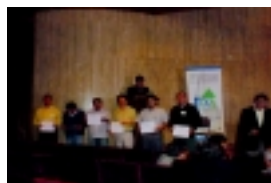
Fotografía 62. Vista general de los asistentes

Los temas abordados en las diversas conferencias se presentan en el cuadro 45.

Cuadro 45. Lista de expositores y ponencias, I Seminario Internacional.

Ponencia	Autor	Institución
El rol de la restauración hidrológico-forestal en la conservación de espacios naturales: La experiencia europea	Dr. Ing. José L. García R.	Universidad Politécnica de Madrid
Impacto de la reforestación con <i>Pinus radiata</i> (D.Don), sobre los recursos hídricos	Dr. Anton Huber J.	Universidad Austral de Chile
Bosque nativo y plantaciones forestales en la cordillera de la costa del Sur de Chile: Producción y calidad de agua	Dr. Carlos Oyarzún O.	Universidad Austral de Chile
Influencia del bosque de <i>Pinus radiata</i> (D.Don), en la producción de agua y régimen hídrico: Cuenca del río Purapel - Región del Maule	Dr. Ing. Roberto Pizarro T.	Universidad de Talca
Bases conceptuales para el establecimiento de distritos de conservación de recursos naturales	Dr. Fernando Santibáñez Q.	Universidad de Chile
Simulación del efecto de la erosión en la productividad vegetal	Dr. Rodrigo Cazanga S.	Universidad de Talca
Determinación de los coeficientes de escorrentía instantáneos, para distintas coberturas vegetales y en base el método del número de curva	Ing. Cristián Jordán D.	Universidad de Talca
Influencia de la vegetación en la generación de coeficientes de escorrentía anuales y mensuales	Ing. César Farías D.	Universidad de Talca
Diseño hidrológico de zanjas de infiltración	Ing. Juan Pablo Flores V.	Sociedad EIAS Ltda
Diseño de canales de evacuación de aguas lluvias	Ing. Enzo Martínez A.	Sociedad EIAS Ltda.
Modelos agroforestales para un desarrollo sustentable	M.Sc. Álvaro Sotomayor G.	Instituto Forestal
Prácticas tradicionales de conservación de aguas y suelos	Ing. Claudia Sangüesa P.	Sociedad EIAS Ltda.

Presentación de un Software para el diseño de obras de conservación (MAUCO)	Ing. Mauricio Lemus V.	Convenio CONAF - CODELCO
Calidad del agua en espacios naturales: Impacto y modelación	Dr. José Vargas B.	Universidad de Concepción
La degradación hidrológica forestal de la región centro costera: Un desafío aún pendiente	Ing. Mg. Luis González R.	Universidad de Chile
Experiencias del SAG en proyectos de recuperación de suelos degradados	Ing. Germán Ruiz C.	Servicio Agrícola Ganadero
Experiencias de manejo integral de cuencas hidrográficas con énfasis en conservación de aguas y suelos	Dr. Samuel Francke C.	Corporación Nacional Forestal
La gestión del paisaje y la ordenación del territorio: Elementos claves para la restauración del ambiente	Dr. Ing. Santiago González Alonso	Universidad Politécnica de Madrid
Hidrotecnias de conservación de aguas y suelos en base a la escuela española.	Dr. Ing. José L. García R.	Universidad Politécnica de Madrid



(a)



(b)



(c)

Fotografía 63. Fotografías de la ceremonia de certificación

Es menester destacar, que este evento se llevó a cabo con gran éxito, en términos de la calidad de los conferenciantes y de la organización, manifestando los asistentes, su conformidad y el interés de seguir en esta senda de trabajo e investigaciones.

8.1.3. Segundo Seminario Internacional «Restauración hidrológico - forestal para la conservación y aprovechamiento de aguas y suelos»

La Sociedad EIAS Ltda., en conjunto con la Universidad de Talca, organizó en el mes de diciembre del 2004, el segundo seminario internacional denominado «Restauración hidrológico - forestal para la conservación y aprovechamiento de aguas y suelos», realizado en Santiago de Chile.

**Fotografía 64.** Exposición del Ing. Marcos Cisternas (Pontificia Universidad Católica de Valparaíso)**Fotografía 65.** Exposición del Ing. Eurides de Oliveira (Agencia Nacional de Agua, Brasil)

Los temas abordados en las diversas conferencias, fueron los siguientes (cuadro 46):

Cuadro 46. Lista de expositores y ponencias, II Seminario Internacional.

Ponencia	Autor	Institución
Gestión de los recursos hídricos de la Agencia Nacional de Aguas de Brasil	Dr. Eurides de Oliveira	Agencia Nacional de Aguas, Brasil
Estudio de las curvas IDF en Chile Central	Dr. Ing. Roberto Pizarro	Universidad de Talca
Estudio de las precipitaciones en el pedemonte del Gran Mendoza	Ing. Jorge A. Maza	Instituto Nacional del Agua, Argentina
Avances del proyecto EIAS «Determinación de estándares de ingeniería en obras de conservación de aguas y suelos para la mantención de la productividad silvícola»	Ing. Juan Pablo Flores Villanelo	Sociedad EIAS Ltda.
Fundamentos de un protocolo para la selección de alternativas en la conservación de suelos en tierras inclinadas	Ing. Mario Lagos	Servicio Agrícola y Ganadero
Evaluación del impacto ambiental del cambio climático y el cambio de uso de la tierra en una microcuenca de la precordillera central de Chile, mediante la aplicación de un modelo hidrológico de base física SHETRAN	MSc. Wilfredo Alfaro	Corporación Nacional Forestal
Evaluación, control y mitigación de la contaminación silvoagropecuaria en los recursos hídricos	Dr. José Luis Arumí	Universidad de Concepción
Estudio de disponibilidad de aguas en zonas del secano interior de Chile (Ninhue, VIII Región)	MSc. Hamil Uribe	INIA, Quilamapu
Experiencias de restauración hidrológico-forestal a nivel nacional e internacional	Dr. Samuel Francke	Corporación Nacional Forestal
Una propuesta de modelación matemática: Ciclo hidrológico en la región de Coquimbo, Chile	MSc. Edmundo González	Universidad de La Serena - CEAZA
Valor del territorio en orden a su conservación, aplicaciones en la IX Región	Dr. Ing. José Luis Saavedra	Universidad Católica de Temuco
Nuevas tendencias en la modelación de calidad de aguas en Chile, en relación con la legislación vigente	Dr. José Vargas B.	Universidad de Concepción
Incidencia del cambio climático en los resultados de los modelos de simulación	Ing. Ximena Vargas	Universidad de Chile
Zonificación de áreas potenciales para la aplicación del programa de recuperación de suelos degradados; Caso de aplicación X Región de Chile	Ing. Patricio Lara	Centro de Información de RRNN, CIREN
Utilización de isótopos en la determinación de tasas de erosión producidas por cambios históricos de usos del suelo en una cuenca de Chile central	Dr. Marco Cisternas	Pontificia Universidad Católica de Valparaíso
Simulador de obras de conservación de aguas y suelos EIAS	Dr. Per Bro	Universidad de Talca
La restauración hidrológico forestal como herramienta de gestión del territorio	Dr. Ing. Roberto Pizarro	Sociedad EIAS Ltda

8.2. Realización de talleres

8.2.1. Primer taller: «Hidrología e hidráulica aplicada a la conservación de aguas y suelos»

Este primer taller se llevó a cabo en la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad de Talca, en noviembre de 2002, y estuvo orientado a profesionales y a futuros profesionales ligados a la problemática del uso de los recursos naturales, con el objetivo de ofrecer tecnologías y estrategias de gestión para la conservación de aguas y suelos, que permitan actuaciones más acordes con el medio ambiente físico y social y que hagan posible acercarse hacia un desarrollo sostenible.

8.2.2. Segundo taller: «Hidrología e hidráulica aplicada a la conservación de aguas y suelos»

Se realizó en la ciudad de Concepción, en mayo de 2003, en el Centro de Documentación del Instituto Forestal. Dicho taller fue organizado y dictado por la Sociedad EIAS Ltda, la Universidad de Talca y el Instituto Forestal. Este taller estuvo dirigido a profesionales y estudiantes de la VIII Región, de manera de difundir temáticas ligadas a la conservación de aguas y suelos.

8.2.3. Tercer taller «Ingeniería en conservación de aguas y suelos»

Este taller se realizó en julio del 2003, el cual se generó conforme a las gestiones del Director del proyecto con el Director Regional de CONAF - Región de Coquimbo, Sr. Waldo Canto V., con el fin de realizar un taller dirigido a los profesionales de la zona, ligados a la temática de la conservación de aguas y suelos.



Fotografía 66. Certificación - Taller de Concepción



Fotografía 67. Relatores talleres. (a) Roberto Pizarro T. - Concepción (b) JP. Flores V - Concepción (c) Inauguración - Palabras Ing. Waldo Canto V. - Director Regional CONAF - IV Región (d) Roberto Pizarro T - La Serena

8.2.4. Cuarto taller «Análisis técnico del reglamento de bonificaciones por suelos degradados, D.L. 701»

Este taller se realizó en julio del 2004 y estuvo organizado por la Sociedad EIAS Ltda. y la Universidad de Talca, el cual se llevó a cabo en la ciudad de Illapel. El objetivo de dicha actividad fue analizar el diseño, la construcción, y los costos de las obras de conservación de aguas y suelos. Para ello, se contó con la participación de 22 funcionarios y autoridades regionales de la CONAF, regiones de Coquimbo y Valparaíso.

8.2.5. Quinto Taller «Aplicaciones del Simulador EIAS y la productividad silvícola»

La Universidad de Talca y la Sociedad EIAS Ltda., realizó en el mes de Noviembre del 2004, un taller para la aplicación del Simulador EIAS, que tuvo lugar en la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad de Talca. El taller tuvo como finalidad invitar a profesionales ligados a la problemática del uso del agua y el suelo, a participar con profesionales de la Sociedad EIAS Ltda., para conocer los elementos de aplicación del simulador de obras de ingeniería para la conservación de aguas y suelos, que procesa una serie de variables ambientales, permitiendo elaborar el diseño de construcción óptimo para zanjas de infiltración y canales de desviación. A partir de este taller, fue posible conocer diversas tecnologías computacionales utilizadas para la conservación de aguas y suelos.



Fotografía 68. Clases prácticas del taller de Simulación, dictadas por el Dr. Per Bro

8.3. Elaboración de libros y documentos

8.3.1. Libros

8.3.1.1. Libro «*Revisión y análisis de prácticas tradicionales en la conservación de aguas y suelos, para zonas áridas y semiáridas de Chile*»

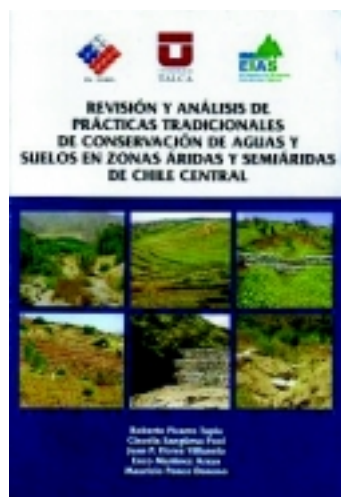


Figura 18. Portada del libro

Este ejemplar contiene una revisión exhaustiva de diversas y numerosas experiencias nacionales en temáticas ligadas a obras de recuperación, conservación y aprovechamiento de aguas y suelos, entre la IV y la VIII Región de Chile. De esta forma, la publicación pretende contribuir al conocimiento y aplicación de estas obras en un marco técnico, económico, legal y ambiental (figura 18).

Se describen tanto tecnologías desarrolladas por la vertiente europea de la ingeniería forestal, como tecnologías propias, generadas y desarrolladas por ingenieros chilenos, aplicadas en un amplio espectro de ecosistemas.

8.3.1.2. Libro «*Diseño de obras para la conservación de aguas y suelos*»

Este libro da a conocer una serie de técnicas destinadas a conseguir una disminución de los procesos erosivos de carácter hídrico en un territorio. Asimismo, tiene la pretensión de contribuir a que la aplicación de tales tecnologías favorezca la infiltración del agua en los suelos, incrementando así las posibilidades de conseguir una mejor restauración de la vegetación y del paisaje, dadas las condiciones ambientales instauradas (figura 19).

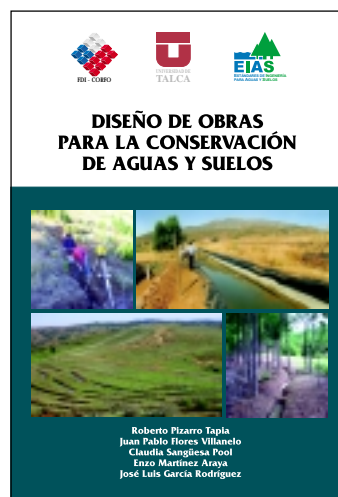


Figura 19. Portada del libro

8.3.2. Documentos

8.3.2.1. Módulos

El equipo técnico elaboró 6 módulos de hidrología aplicada, los cuales son:

Módulo 1: Leyes de distribución de procesos hidrológicos

Módulo 2: Curvas Intensidad-Duración-Frecuencia IDF

Módulo 3: Curvas de infiltración

Módulo 4: Diseño de zanjas de infiltración

Módulo 5: Diseño de canales de evacuación

Módulo 6: Diseño de obras de corrección de cauces

8.3.2.2. Manuales

Además, se han editado 4 instructivos de obras de conservación de aguas y suelos (en formato digital), los cuales son:

Manual 1: Zanjas de infiltración

Manual 2: Terrazas agrícolas y forestales

Manual 3: Canales de evacuación de aguas

Manual 4: Diques para retención de sedimentos

Tanto los módulos, como los instructivos técnicos, se encuentran disponibles en la página web y han sido profusamente consultados por diversas visitas nacionales e internacionales (figura 20).



Figura 20. Instructivos de conservación de aguas y suelos

8.3.2.3. Monografías

Se cuenta, además con tres monografías, las cuales son:

a) Monografía «Canales de desviación de aguas lluvias»

Dicho texto presenta una revisión de los principales elementos y parámetros técnicos para un canal de evacuación de aguas lluvias, como una opción tecnológica para sectores con grandes problemas de erosión. Igualmente, se realiza una revisión del Proyecto EIAS «Determinación de estándares en obras de ingeniería para aguas y suelos, para la mantención e incremento de la productividad silvícola», el que incorpora una evaluación del diseño y construcción de un canal de desviación para el control de cárcavas en el secano costero e interior de Chile central (figura 21).



Figura 21. Portada de la Monografía; Canales de desviación de aguas lluvias

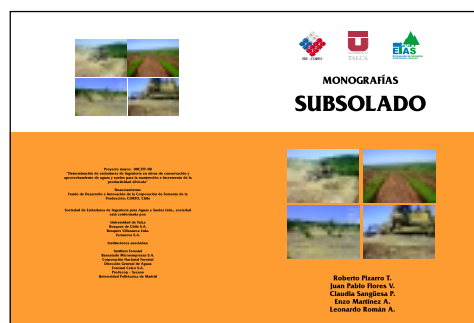


Figura 22. Portada de la Monografía; Subsolado

b) Monografía «Subsolado»

La finalidad de esta monografía es contribuir al mayor conocimiento de las prácticas tradicionales de conservación, en particular, el subsolado, como una técnica de establecimiento agroforestal que permite alcanzar grandes beneficios económicos y medioambientales. Asimismo, la monografía, está orientada a presentar algunos resultados obtenidos en plantaciones forestales de *Pinus radiata* (D.Don), del secano costero e interior de Chile central (figura 22).

c) Monografía «Zanjas de infiltración»

Finalmente, y basado en las innovaciones tecnológicas y las propuestas físicamente adaptadas a realidades locales, y apoyados por el acervo investigativo de la Universidad de Talca, se elabora el documento titulado «Zanjas de infiltración», que pretende describir y analizar el diseño de zanjas de infiltración, desde una perspectiva del diseño hidrológico, dando respuestas de ingeniería para las aguas y suelos productivos de Chile central (figura 23).



Figura 23. Portada de la Monografía; Zanjas de Infiltración

8.4. Implementación y mantención de la página web del proyecto



Figura 24. Página de inicio de la web

Con el apoyo del Instituto Forestal, se creó una página WEB con la idea de mostrar los aspectos más relevantes del proyecto. El sitio está disponible en el hosting de la Universidad de Talca, el cual tiene como dirección <http://eias.utralca.cl> (figura 24). Además, mensualmente se realiza una mantención y se actualiza con iconos informativos en la temática de la conservación de aguas y suelos.

En este sitio web existen más de 20 artículos técnicos de experiencias nacionales recopilados entre la IV Región de Coquimbo y la VIII Región del Bío-Bío, durante los años 2002 y 2003.

Adicionalmente, se han subido a la red 6 módulos de hidrología aplicada, más 4 instructivos técnicos de obras de conservación de aguas y suelos.

La incorporación de nuevos enlaces informativos tales como, «avances», «sitios relacionados», «glosario» y una «galería de imágenes», hacen de este sitio el portal gráfico, didáctico, instructor e informativo más importante del país en materia de la conservación y aprovechamiento de aguas y suelos (figura 25).

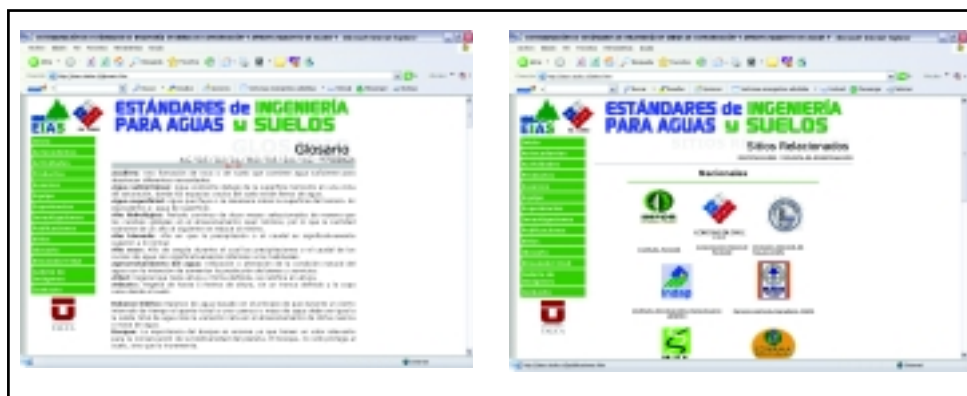


Figura 25. Actualización página (ícono glosario - sitios relacionados)

8.5. Simulador para el diseño hidrológico de obras de conservación y aprovechamiento de aguas y suelos

A partir de los estándares de construcción obtenidos en el segundo año del proyecto, la Sociedad EIAS Ltda., desarrolló un simulador, que procesa una serie de variables biogeofísicas, que permiten elaborar el diseño de construcción óptimo para zanjas de infiltración y canales de desviación (figura 26).

El *software*, a través de un entorno web presta servicios tales como diseño de obras de conservación de suelos (canales de desviación y zanjas de infiltración) en base al uso de las curvas IDF, gestión de la base de datos del sistema, foros de discusión, gestión de acceso a usuarios (manejo y seguimiento de sesiones).

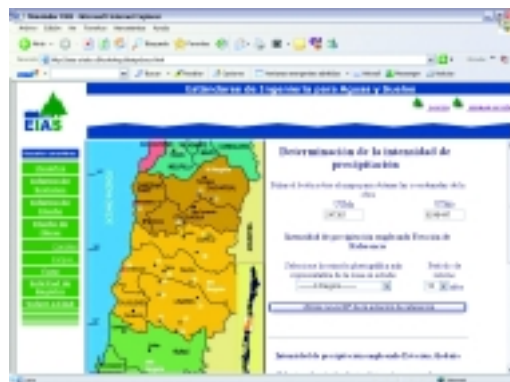


Figura 26. Simulador EIAS

8.6. Material audiovisual

8.6.1. Video documental

El video de transferencia tecnológica del proyecto, es un documental científico y educativo orientado a ingenieros, agricultores, técnicos, consultores, etc., y tiene como objetivo el ofrecer tecnologías y estrategias de gestión para la conservación de aguas y suelos, que permitan actuaciones más acordes con el medio ambiente físico y social y que hagan posible acercarse hacia un desarrollo sustentable.

La cinta en formato VHS contempla las siguientes actividades (cuadro 47):

Cuadro 47. Términos de referencia del video documental

Actividad
<ul style="list-style-type: none"> • Construcción y mantención de zanjas de infiltración • Construcción de subsolado • Construcción de canal de desviación • Caracterización y resultados de los ensayos establecidos

8.6.2. Elaboración de discos compactos con fotografías

Se elaboraron discos compactos con fotografías ilustradas de los 10 ensayos más la recopilación fotográfica de experiencias nacionales en obras de conservación de aguas y suelos.

8.7. Realización de días de campo

La Sociedad EIAS Ltda. y la Universidad de Talca, en colaboración con la CONAF - VII Región y el INIA - Rayentué, llevó a cabo 2 días de campo, como parte de la transferencia tecnológica del proyecto, los cuales contemplaron charlas expositivas y revisión en terreno de los ensayos demostrativos.

8.7.1. Primer día de campo «Técnicas de aprovechamiento de aguas lluvias».

Esta experiencia se realizó en el mes de junio del año 2003, con pequeños propietarios en la localidad de Name (comuna de Cauquenes - Región del Maule), en el cual se realizó una charla didáctica de conservación de suelos, dictada por la Ing. Claudia Sangüesa Pool. Luego, se visitó en terreno las zanjas de infiltración, construidas en el ensayo demostrativo.



Fotografía 69. Día de campo ensayo Name



Fotografía 70. Día de campo ensayo Name

La segunda parte del programa la realizaron dos ingenieros de la CONAF VII Región, para lo cual se trasladó a los asistentes al módulo demostrativo ubicado en el predio El Hoyo de la comuna de San Javier. Los profesionales de la CONAF presentaron y explicaron diversas obras de recuperación de suelos, junto con los beneficios estatales, para la forestación y la construcción de obras.



Fotografía 71. Módulo demostrativo Predio El Hoyo VII-Región



Fotografía 72. Charla Ing. Luis Carrasco B. (CONAF, VII Región)

8.7.2. Segundo día de campo «C.E. INIA - Hidango»

Esta actividad se realizó en el mes de junio del año 2004, en colaboración con el subdirector de investigaciones del INIA - Reyentué, Sr. Fernando Squella N. Así, se realizó una charla expositiva para un grupo conformado por profesionales, operadores forestales, agricultores y estudiantes de la comuna de Litueche. Asimismo, se revisó en terreno el ensayo del proyecto, que contempla una plantación con 2 técnicas de conservación y aprovechamiento de aguas y suelos (subsuelos y zanjas de infiltración).



Presentación
Fernando Squella N.
Subdirector de Investigaciones
INIA Rayentué



Introducción
Roberto Pizarro T.
Director Proyecto EIAS
Universidad de Talca



Exposición
Claudia Sangüesa P.
Secretaría Técnica
Sociedad EIAS Ltda.



Exposición
Juan P. Flores V.
Transferencia
Sociedad EIAS Ltda.

Fotografía 73. Exposiciones - Día de campo INIA, Rayentué

8.7.3. Tercer Día de Campo: «Pequeños propietarios agrícolas y forestales de la VIII Región»

Con gran asistencia y participación de agricultores de la comuna de Quirihue y profesionales interesados en la temática de la recuperación de suelos degradados, se realizó el 24 de junio del año 2004, el tercer día de campo, organizado por la Sociedad EIAS Ltda., y que contó el apoyo logístico de la Ilustre Municipalidad de Quirihue y la Corporación Nacional Forestal (Provincial Ñuble) de la VIII Región. Dicha actividad contó con la presencia y participación del Jefe Provincial de la CONAF (Ñuble), Ing. Francisco Castillo E.

El día de campo comenzó con una charla informativa y didáctica a más de 40 agricultores y profesionales, en el Teatro Municipal de Quirihue, sobre los beneficios de la forestación asociada con la construcción de obras de conservación de aguas y suelos (zanjas de infiltración, canales de desviación, diques, subsolado, etc.), desde un punto de vista hidrológico. Así también, se plantearon los beneficios estatales que otorga el Gobierno de Chile, para la realización de dichas obras, con la consiguiente bonificación que cubre gran parte de los costos tabulados por la CONAF, cada año.



Fotografía 74. Día de campo en Quirihue, con pequeños propietarios de la VIII Región.

Posteriormente, se visitó el predio Manzanares de propiedad de la empresa forestal Bosques Villanueva Ltda., y que contempla 3 módulos demostrativos y experimentales, que son parte de las investigaciones que realiza la Sociedad EIAS Ltda. Los agricultores pudieron constatar en terreno el beneficio de incorporar las obras de conservación de suelos en las plantaciones forestales, y a la vez, apreciar las diferencias entre los distintos tratamientos de zanjas y subsolados estudiados en este ensayo.

8.7.4. Cuarto Día de Campo: «Obras de conservación de aguas y suelos y la productividad forestal»

Esta actividad se llevó a cabo en el mes de octubre del año 2004, enfocado a estudiantes de ingeniería forestal de las Universidades de Talca y Católica del Maule. El programa del día de campo contempló la presentación del Director del proyecto EIAS y una charla denominada «Estado actual del Proyecto EIAS y su impacto en la productividad de las plantaciones de *Pinus radiata* (D.Don).

Posteriormente, se visitó el módulo experimental Botacura (Comuna de San Javier, Región del Maule), perteneciente a la empresa forestal Bosques de Chile S.A., donde se dictaron dos charlas técnicas sobre las prácticas de conservación de aguas y suelos. Así, en la primera, a cargo del ingeniero forestal Héctor

Espinoza, se mostró en terreno la construcción de las zanjas de infiltración y el subsolado asociado a las plantaciones, destacándose su ganancia en crecimiento y desarrollo. En la segunda charla se explicaron las diversas técnicas de construcción de obras y los apoyos subsidiarios del Estado de Chile, para llevar a cabo programas de forestación con obras de recuperación de suelos.



Fotografía 75. Charla técnica en obras de conservación de aguas y suelos
Ing. Juan Pablo Flores



Fotografía 76. Charla de terreno
Ing. Héctor Espinoza

9

Costos de obras, análisis de las bonificaciones estatales y rendimientos productivos



Según las experiencias nacionales revisadas en el capítulo 3, se puede decir que las obras construidas en las distintas zonas, han cumplido su función; no obstante, éstas carecen de diseño hidrológico, lo que permite pensar que son mejorables, tanto en su funcionalidad como en la optimización de los recursos disponibles.

Otro punto destacable se refiere a que las experiencias revisadas responden al trabajo y a la preocupación de profesionales en particular, y no responden a un objetivo global de cada institución, ni menos a nivel de país. Esto se ve reflejado en la discontinuidad de los trabajos, ya que se asignan recursos muchas veces insuficientes y con objetivos a veces distintos a los que demanda un buen diseño de construcción, lo que provoca que, por una parte, las tareas no se realicen según los requerimientos técnicos y por otra, las obras, una vez construidas, no sean mantenidas de buena forma.

Esta situación ha sido revertida a partir de 1999, fecha en que el Estado asume dentro de su política, la recuperación de suelos degradados a través de la ley 19.561 que modifica al D.L.701; la cual mediante un subsidio, fomenta la construcción de obras de recuperación de suelos degradados. En este marco, por primera vez el Estado ha asumido un rol proactivo frente a la problemática de la degradación de suelos, asignando recursos a todos los propietarios que realicen estas obras en las comunas con mayor grado de desertificación, situación altamente favorable ya que posibilita un mejor uso de los recursos agua y suelo.

De lo anterior, surge como un elemento medular, la optimización de los recursos económicos que el Estado está proveyendo para subsidiar estas obras, y para ello es preciso señalar que éstas deben ser bien dimensionadas (que no sean sobrepasadas por solicitudes hidráulicas, ni queden adimensionadas), y que se establezcan patrones económicos que efectivamente contribuyan, sin que sea un problema el bajo aporte de la ayuda entregada, o bien, que no se transformen en un diferencial positivo de ganancias, que promuevan la construcción de obras sólo por la rentabilidad económica. Así, es en este contexto donde se desarrolla este proyecto, el cual recomienda modelos eficientes y efectivos para la construcción de zanjas de infiltración y canales de desviación, en lo que respecta al diseño de ingeniería y los recursos económicos que debiesen ser aportados para subsidiar en términos óptimos, la construcción de dichas obras.

9.1. Análisis de costos y rendimientos de las obras

En el marco de la evaluación económica de las obras de conservación de aguas y suelos construidas en el país, para el periodo comprendido entre 1975 y 2004, es prioritario conocer los costos y beneficios. Así también, cabe mencionar que la mayoría de tales obras se concentran con posterioridad al año 1997, dada la vigencia de las bonificaciones establecidas en la ley 19.561, para la recuperación y conservación de suelos degradados.

A continuación, se muestran los costos y rendimientos de construcción de 23 tipos de obras recopiladas entre la Región de Coquimbo y la Región del Bío Bío, las que fueron ejecutadas en 22 sitios diferentes, en su gran mayoría por la CONAF. Además, para mejorar el análisis, se ha considerado incluir el subsidio que entrega el Estado a través de la CONAF, para la ejecución de obras de conservación de suelos.

Igualmente, se debió actualizar los datos de costos, y se inflataron los costos de ejecución, convirtiendo los datos monetarios a valores de Unidades Tributarias Mensuales (UTM). Para los casos en que se desconocían los meses en los que habían sido ejecutadas las obras, se consideró el mes de julio como el mes de ejecución. Luego, todos los valores fueron transformados a pesos, inflatando éstos hasta el mes de marzo del año 2003.

En todos los casos se intentó llevar el valor unitario a metro cúbico o metro cuadrado, dependiendo esto del tipo de obra, de la información que se dispusiera para cada obra y del lugar de la ejecución. Los casos en que no se pudo unificar criterios respecto de la unidad, se trataron como datos aparte, dentro del mismo tipo de obra, al igual que la comparación entre obras manuales y mecanizadas. Se graficaron datos de costos y rendimientos, para aquellas faenas en que se dispusiera de, por lo menos, 4 datos comparables.

Finalmente, en los resúmenes de costos y rendimientos, se utilizó la media aritmética como estadígrafo de tendencia central y el coeficiente de variación como medida de dispersión.

9.2. Análisis de construcción de zanjas de infiltración

9.2.1. Costos de construcción de zanjas de infiltración

En el cuadro 48 se muestran los costos de construcción de zanjas de infiltración en diferentes sitios ubicados entre la IV y VIII Región del país (incluida la Región Metropolitana), así como las dimensiones de éstas.

Cuadro 48. Características de las zanjas de infiltración

Sector	Año	Dimensiones	Costo* (\$/m ³)	Rendimiento (m ³ / j)
Tabla de costos CONAF	2003	b= 0,2, a= 0,2; h= 0,2 (mínimo)	29.125	-
Cerro Pajaritos (IV)	1997	b= 0,2; a= 0,6; h= 0,4; l= 3	3.350	2,7
Cerro Pajaritos (IV)	2001	b= 0,2; a= 0,6; h= 0,4; l= 3	2.819	2,7
Cuesta Cavilolén (IV)	1996	b= 0,2; a= 0,6; h= 0,4; l= 3	5.144	3,2
Cuesta Cavilolén (IV)	1997	b= 0,2; a= 0,6; h= 0,4; l= 3	3.219	3,2
Cuesta Cavilolén (IV)	1998	b= 0,2; a= 0,6; h= 0,4; l= 3	2.800	3,2
La Muñozana (IV)	1997	b= 0,3; a= 0,3; h= 0,3	2.422	1,8
El Sauce (IV)	1998	b= 0,3; a= 0,3; h= 0,3; l= 4	5.178	1,1
Alto Loica (RM)	1993	b= 0,3; a= 1; h= 0,3; l= 6,5	s/i	1,4
Cabeceras (VI)	2000	b= 0,2; a= 0,4; h= 0,3; l= 3	2.404	2,2
Sierras de Bellavista (VI)	2000	b= 0,25; a= 1,05; h= 0,5	5.732	0,9
Lagunillas (VI)	2002	b= 0,2; a= 0,76; h= 0,3	2.833	3,6
El Hoyo (VII)	2000	b= 0,23; a= 0,73; h= 0,3	5.840	3,3
La Puntilla (VII)	2000	b= 0,2; a= 0,5; h= 0,2; l= 3	6.586	s/i
Los Rábanos (VII)	2000	b= 0,3; a= 0,5; h= 0,4; l= 3	2.250	3,3
Matancilla (VII)	2000	b= 0,3 - 0,4; a= 0,3 - 0,5; h= 0,4; l= 3	3.980	3,1
Santa Sofía (VIII)	2002	b= 0,2, a= 0,5 - 0,7; h= 0,4	2.129	5,9
Tomeco-Lircay (VIII)	2000	b= 0,2; a= 0,5; h= 0,6	7.010	2,2
Santa Isabel (VIII)	2000	b= 0,22; a= 0,7; h= 0,4	3.386	4,3

b= base (m); a= ancho (m); h= altura (m); l= largo (m); s/i= sin información

* Valores inflatados a marzo del 2003

Al analizar las dimensiones de las zanjas se puede observar la variabilidad existente, por lo cual, los costos de construcción fueron hechos en base al volumen de tierra removido, en metros cúbicos (m³). Dado lo anterior, fue posible obtener un costo medio país de 3.946 \$/m³ (cuadro 49). Este valor dista

bastante del costo establecido por la tabla de costos de la CONAF del año 2003, con un costo mínimo estandarizado de 29.125 \$/m³ (b= 0,2 m; a= 0,2 m; h= 0,2 m).

Cuadro 49. Resumen estadístico para la zona de estudio (\$/m³)

Número de datos	17
Media	3.946,0
Desviación estándar	1.619,93
Error estándar	392,89
Valor mínimo	2.129,0
Valor máximo	7.010,0
Rango	4.881,0
Coefficiente de variación	41,1%

El coeficiente de variación bordea el 41%, valor que debería disminuir al incorporar un mayor número de experiencias en obras de conservación, dado que al crecer el tamaño de la muestra, la dispersión de los datos tiende a disminuir. Asimismo, se verificó que los valores más bajos corresponden a trabajos realizados con programas de absorción de mano de obra, mientras que el valor de rendimiento más alto se encontró en la experiencia desarrollada por una empresa forestal (Santa Sofía - Forestal Celco S.A.).

En el gráfico 18, se observa que la VIII Región presenta una mayor variabilidad, encontrándose aquí el menor y el mayor valor entre el total de los datos (en Santa Sofía y Tomeco-Lircay).

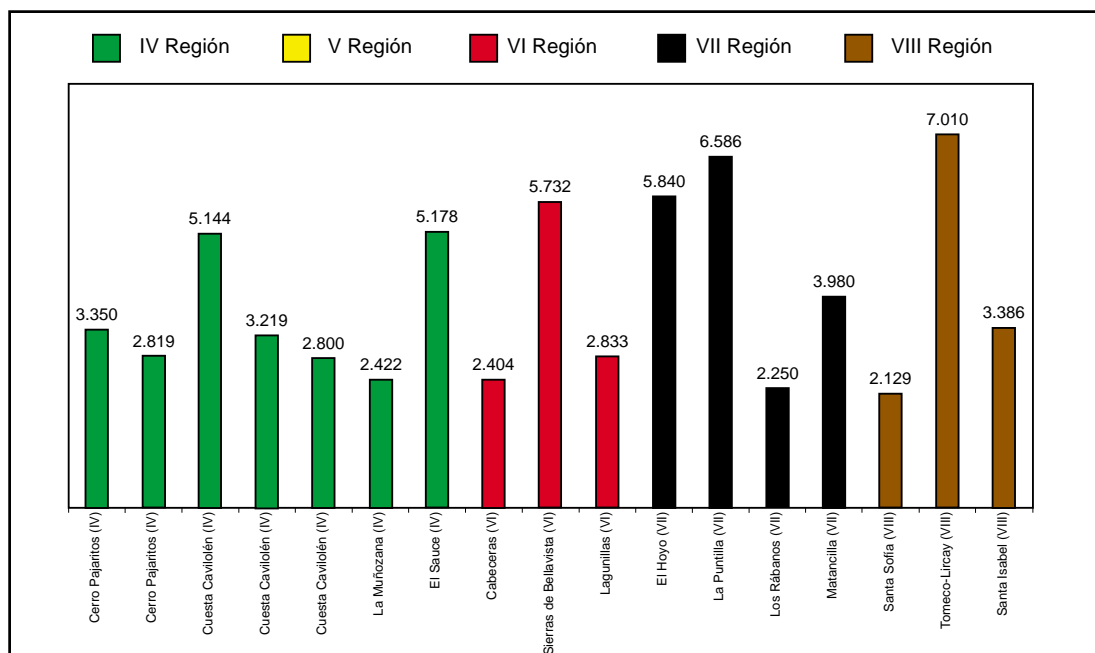


Gráfico 18. Costo promedio del metro cúbico de la zanja de infiltración (\$/m³)

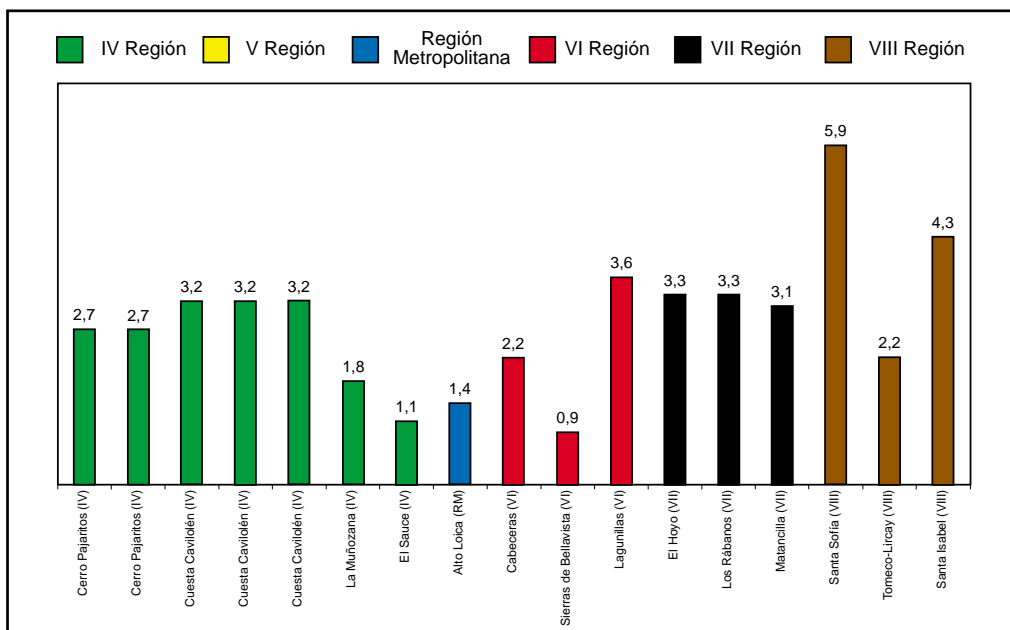
Si se analizan los costos promedio por región (cuadro 50) se puede ver que el promedio menor corresponde a la VI Región (3.656 \$/m³), coincidiendo que en esta zona han ingresado numerosos operadores forestales que optimizan sus recursos y rendimientos de construcción, en pos de obtener una mayor rentabilidad en el establecimiento de las obras, acompañado además, de programas de capacitación a agricultores y profesionales. Por el contrario, la VII Región, posee los costos por metro cúbico más altos del país, alcanzando valores de 4.892 \$/m³.

Cuadro 50. Promedios regionales de construcción de zanjas de infiltración

Región	Costo promedio de construcción de zanjas (\$/m3)	Rendimiento promedio de construcción de zanjas (m3/j)
IV	3.771	2,9
V	Sin información	Sin información
RM	Sin información	1,4
VI	3.656	2,2
VII	4.892	3,2
VIII	4.175	4,1

9.2.2. Rendimientos de construcción de zanjas de infiltración

Resulta interesante destacar situaciones de rendimiento (gráfico 19), donde con diferencias de dimensiones (base b, altura h, ancho a), se presentan valores similares de rendimiento, como es el caso de Cuesta Cavilolén y Matancilla, IV y VII Región respectivamente. En cuanto al rendimiento en metros cúbicos por jornada, los valores en general se mantienen cercanos al promedio (2,8 m³/j), salvo por el mínimo, que se encuentra en Sierras de Bellavista (VI Región), y el máximo, que se registró en Santa Sofía (VIII Región). Los valores similares de rendimiento en Cuesta Cavilolén (IV Región) para tres años diferentes, permiten suponer que el cálculo se hizo conjuntamente para los tres años y no separadamente, como sería lo correcto.

**Gráfico 19.** Rendimientos de construcción en zanja de infiltración (m³/j)**Cuadro 51.** Rendimiento estadístico de la zona de estudio (m³/j)

Número de datos	17
Media	2,8
Desviación estándar	1,22
Error estándar	0,29
Valor mínimo	0,9
Valor máximo	5,9
Rango	5,0
Coefficiente de variación	43,1%

Así, el rendimiento en sectores de la VII Región, parece ser más regular (3,2 m³/j promedio); en cambio, en otras regiones los rendimientos son disímiles entre cada sector, resultando ser más sensibles, al parecer, a la capacitación de los trabajadores en este tipo de obras, condiciones de terreno, condiciones contractuales, etc. En promedio, la VIII Región posee el mayor rendimiento de construcción con 4,1 m³/j.

Al comparar los gráficos 18 y 19, puede observarse que el mínimo costo y el mayor rendimiento coinciden para el caso de Santa Sofía; es lógico pensar que ante un buen rendimiento, el trabajo se hace en menor tiempo, incurriendo en menores gastos por concepto de mano de obra. De forma similar, el máximo valor de costos para zanjas, registrado en Tomeco - Lircay, corresponde a un valor de rendimiento bajo la media (cuadro 50). Dado lo anterior, se destaca la diferencia en costo y rendimiento de ambas experiencias, la que es atribuible a la naturaleza de los proyectos, ya que el primero, Tomeco - Lircay, se trata de un módulo demostrativo realizado por una institución pública, mientras que el segundo, Santa Sofía, fue hecho por una empresa privada. Sin embargo, debe ser consignado que en el análisis no han sido consideradas otras características, tales como la pendiente, las cuales influyen directamente en el costo y en el rendimiento.

9.3. Análisis de construcción de canales de desviación

9.3.1. Costos de construcción de canales de desviación

Los canales de desviación estudiados se presentan en el cuadro 52, incluyendo el costo de la construcción y sus características técnicas. El análisis se establece para obras realizadas entre 1998 y 2002, en las regiones IV, VI, VII y VIII.

Cuadro 52. Característica de los canales de desviación

Sector	Año	Dimensiones	Costo* (\$)/m ³	Rendimiento (m ³ /j)
Tabla de costos CONAF	2003	b= 0,2; a= 0,2; h= 0,2 (mínimo)	27.225	-
Cuesta Cavilolén (IV)	1998	b= 0,2; l= 0,6 - 0,7; h= 0,3	3.807	2,3
Cuesta Cavilolén (IV)	2001	b= 0,2; l= 0,6 - 0,7; h= 0,3	3.340	2,3
El Sauce (IV)	1998	b= 0,3; a= 0,8 - 1; h= 0,5	2.343	2,4
Sierras de Bellavista (VI)	2000	b= 0,25; a= 1,05; h= 0,5	4.858	1,1
Prodecop - Secano (VI)	2000	h= 0,3; a= 0,5	3.953	1,5
Cabeceras (VI)	2000	b= 0,2; a= 0,6; h= 0,2	2.705	2,0
Lagunillas (VI)	2002	b= 0,2; a= 0,6; h= 0,2	5.100	1,6
El Hoyo (VII)	2000	b= 0,23; a= 0,67; h= 0,3	6.230	3,1
Santa Sofía (VIII)	2002	b= 0,2; a= 0,5- 0,7; h= 0,4	2.129	5,9

b= base (m); a= ancho (m); h= altura (m); l= largo (m); s/i= sin información

* valores inflactados a marzo del 2003

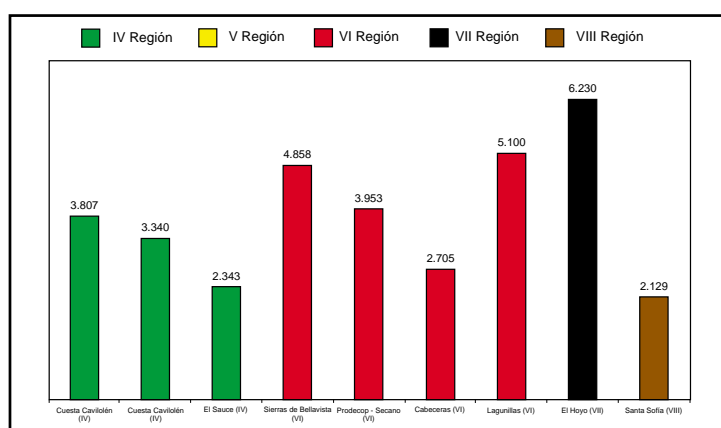
Del cuadro 53, se desprende que el costo promedio de construcción de canales de desviación, alcanza los 3.829 \$/m³, evidenciando un valor mucho más bajo que 27.225 \$/m³, el cual es estimado en la tabla de costos de la CONAF (2003).

Así también, la variabilidad de los costos es más bajo que en el caso de las zanjas, alcanzando un coeficiente de variación cercano al 36 %.

Cuadro 53. Resumen estadístico de la zona de estudio para canales de desviación

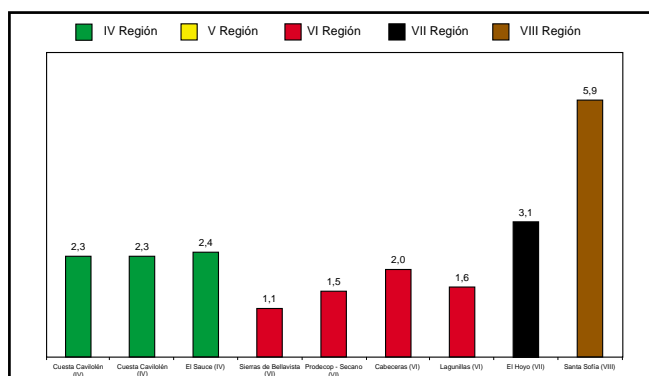
Parámetros Estadísticos	Costos (\$/m ³)	Rendimientos (m ³ /j)
Número de datos	9	9
Promedio	3.829,4	2,5
Desviación estándar	1.371,8	1,41
Error estándar	457,3	0,47
Valor mínimo	2.129,0	1,1
Valor máximo	6.230,0	5,9
Rango	4.101,0	4,8
Coefficiente de variación	35,8%	57,4%

En el gráfico 20 se observa que el costo de construcción más alto corresponde a la localidad de El Hoyo (VII Región), lo cual se explica porque pertenece a un módulo demostrativo, mientras que el más bajo se presenta en el predio Santa Sofía, en la VIII Región. En la IV Región, no hay una gran variabilidad, encontrándose valores de construcción cercanos a los 3.000 \$/m³.

**Gráfico 20.** Costo promedio del metro cúbico (\$/m³) de canales de desviación de aguas lluvias

9.3.2. Rendimientos de construcción de canales de desviación

El gráfico 21 muestra los rendimientos de construcción de canales de desviación, donde los más altos se registraron en El Hoyo (VII Región) y Santa Sofía (VIII Región). De la misma forma, los rendimientos de Cuesta Cavilón (IV Región), para años diferentes, son iguales a 2,3 m³/j, y están muy cercanos a los obtenidos en El Sauce (2,4 m³/j). Sin embargo, en el sector de Santa Sofía, los rendimientos de construcción alcanzan valores de 5,9 m³/j, por lo que esta alta variabilidad estaría correlacionada a la experiencia y eficiencia del operador forestal y a las condiciones de la pendiente, la vegetación, el terreno o las características geomorfológicas que presentaría cada una de las localidades.

**Gráfico 21.** Rendimientos de construcción en canales de desviación (m³/j)

9.4. Análisis de construcción de mampostería gavionada

9.4.1. Costos de construcción de diques de mampostería gavionada

A continuación se presenta información referida a la construcción de diques de gaviones (cuadro 54).

Cuadro 54. Características de los diques de gaviones

Sector	Año	Dimensiones	Costo* (\$)/m ³	Rendimiento (m ³ /j)
Tabla de costos CONAF	2003	h: 2 - 3; t= 0,4 - 0,6 d= 1,4 - 1,7	41.776	-
Cuesta Cavilolén (IV)	1995	a= 1; h= 1,3	31.678	0,4
Las Salinas (V)	1999	58 m ³	22.407	0,1
Sierras de Bellavista (VI)	2000	h= 1,1, a= 1,0; l= 4,8 (con dissipador)	49.365	0,3
El Hoyo (VII)	2000	a= 1,0; l= 5 - 6; h= 20 (bolones 4" a 6")	57.956	1,3

b= base (m); a= ancho del vertedero (m); h= altura (m); l= largo (m); t= taludes (m);
d= dissipador de energía (m); s/i= sin información

* Valores inflactados a marzo del 2003

La variabilidad en el costo de construcción de diques de gaviones es relativamente baja, aunque debe tenerse en consideración que sólo se tiene un dato por región. Así, el menor costo por metro cúbico se registró en Las Salinas (V Región) y el mayor, en el módulo demostrativo El Hoyo (VII Región) (gráfico 22). Estos costos se incrementan derivado de una mayor calidad de la arquitectura y construcción del dique y de las condiciones del terreno. También, es relevante mencionar que un factor destacado en los costos de estas estructuras es la cercanía de la principal materia prima, es decir, de las piedras o bolones, ya que su transporte es costoso, elevando considerablemente los costos de construcción, como lo ocurrido en Sierras de Bellavista y El Hoyo.

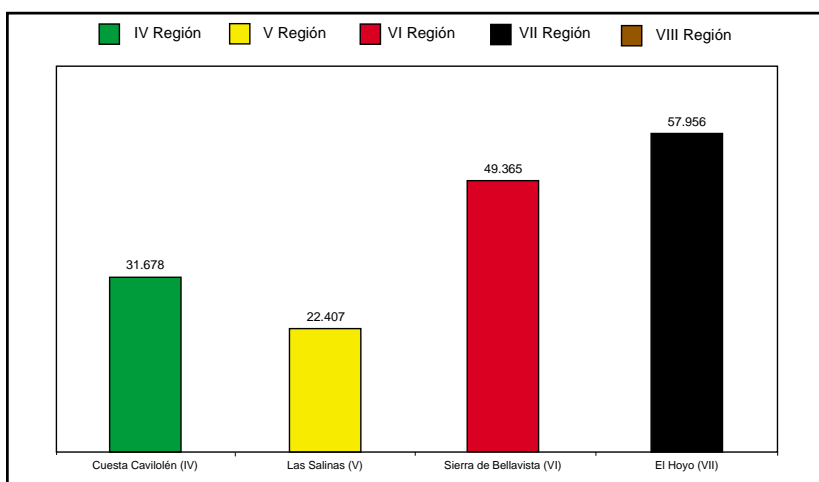


Gráfico 22. Costo de diques de gaviones (\$/m³)

9.4.2. Rendimientos de construcción de diques de mampostería gavionada

Los niveles de dificultad e ingeniería de los diques gavionados, pone de manifiesto que los rendimientos de construcción de estas obras son menores que los registrados en zanjas y canales de desviación. En este sentido, se destaca el rendimiento de 1,3 m³/j, obtenido en el ensayo demostrativo El Hoyo (VII Región), como el único beneficiado, por sobre el promedio (0,5 m³/j).

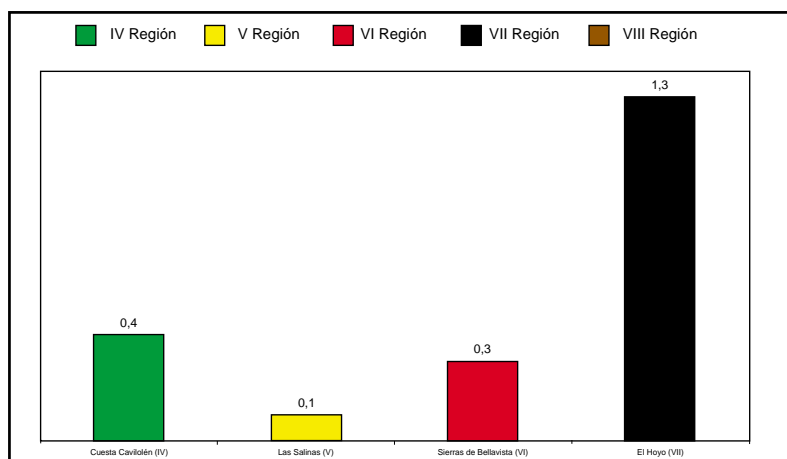


Gráfico 23. Rendimiento de construcción de diques de gaviones (m³/j)

La menor producción se dio en Las Salinas (V Región), alcanzando sólo 0,1 m³/j, y coincidiendo también, con el menor costo de construcción. En términos absolutos, la variabilidad de los rendimientos responde a las condiciones particulares de cada sector, la ejecución y la capacitación de los jornales (gráfico 23).

9.5. Análisis de construcción de diques de polines

9.5.1. Costos de construcción de diques de polines

Al igual que los diques de gaviones, la construcción de los diques de postes involucra una mayor dificultad e ingeniería de diseño, sujeta a las condiciones propias del lugar de establecimiento de la obra. A continuación se presenta el análisis correspondiente a diques de polines; los datos generales de las obras se muestran en el cuadro 55.

Cuadro 55. Características de los diques de polines

Sector	Año	Dimensiones	Costo* (\$)/m²	Rendimiento (m³/j)
Tabla de costos CONAF	2003	h= 0,5-1,5	33.426	-
Cuesta Cavilolén (IV)	1998	l= 3; h=1,5	21.333	2,0
Sierras de Bellavista (VI)	2000	l= 4,4; h= 0,9	18.942	0,5
Sierras de Bellavista (VI)	2000	l= 5,2; h= 0,8 m (ciprés)	32.021	0,5
Lagunillas (VI)	2002	l= 2,1 - 3,2; h= 0,7 - 1,2 (2,4 m²)	26.180	2,3
El Hoyo (VII)	2000	l= 3; h= 1 (con dissipador)	37.711	1,5
Tomeco-Lircay (VIII)	2000	l= 2,1; a*= 0,5; h= 0,8 (1,5 m²)	17.367	0,4

b= base (m); a*= ancho del vertedero (m); h= altura (m); l= largo (m); s/i= sin información

* Valores inflactados a marzo del 2003

Como es posible observar, los datos están referidos a 4 regiones. El costo declarado en las obras por m² es, en la mayoría de los casos, menor que el subsidio entregado por la CONAF, que es de 33.426 \$/m² (según tabla de costos del 2003). Así, el promedio país es de 25.592,3 \$/m² y su desviación típica es de 7.981,9 \$/m².

El coeficiente de variación (31,2%) de los costos, no puede considerarse alto para este tipo de obra, dada la incorporación de elementos de diseño (ejemplo, dissipador de energía) y de construcción (pino, pino quemado, ciprés), que no permiten la homogeneización total de las características de los diques.

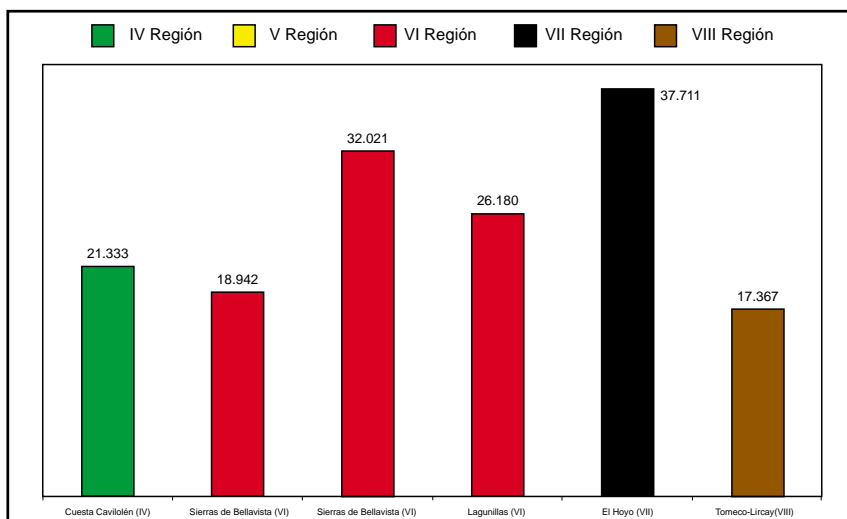


Gráfico 24. Costo de diques de polines (\$/m²)

Nuevamente, el módulo demostrativo El Hoyo registra el mayor valor de costo (37.711 \$/m²), el cual se mide en esta ocasión por m², mientras que, el menor costo de construcción se observa en Tomeco-Lircay (VIII Región), con 17.367 \$/m² (gráfico 24).

9.5.2. Rendimientos de construcción de diques de polines

De acuerdo al gráfico 25, el mayor rendimiento registrado en la construcción de los diques de polines corresponde al sector de Lagunillas (VI Región), con un avance de 2,3 m²/j. Este valor se considera excesivamente alto, dados los rendimientos de las restantes experiencias nacionales, que no superan los 2 m²/j, ya que normalmente este valor varía entre 0,5 - 1,0 m²/j.

Por otra parte, se pueden observar 3 rendimientos similares a 0,5 m²/j, y otros valores como Cuesta Cavilolén (IV Región) y El Hoyo (VII Región) que triplican y cuadruplican a los anteriores, respectivamente. Por ello, no habría una relación aparente entre los costos y los rendimientos de construcción.

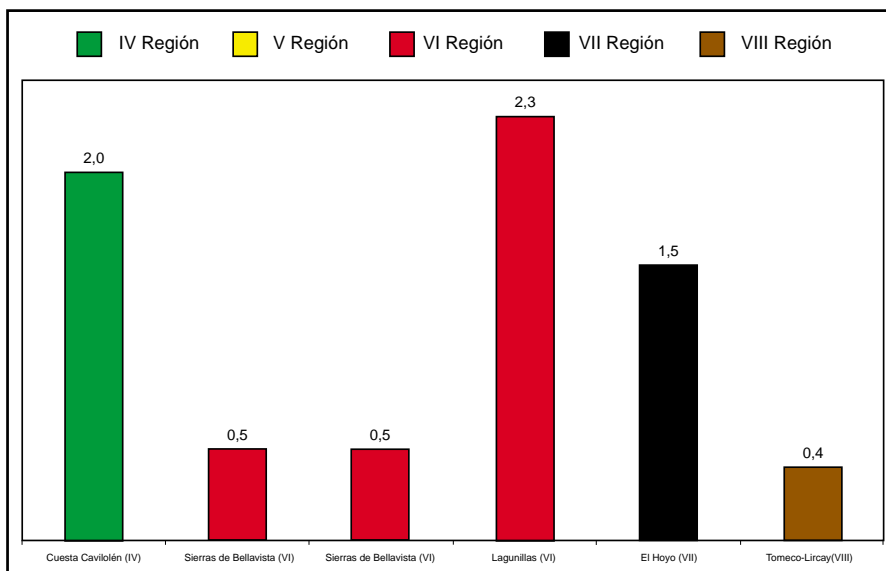


Gráfico 25. Rendimiento de construcción de dique de polines (m²/j)

Es preciso señalar que la capacitación de los obreros es fundamental para lograr una eficiente labor. Así también, los costos de transporte, especialmente de los postes, constituyen uno de los factores más restrictivos al momento de la toma de decisiones.

9.6. Análisis de construcción de empalizadas

9.6.1. Costos de construcción de empalizadas

La cantidad de materiales por unidad de construcción en las empalizadas es mucho menor que las utilizadas en los diques de polines. Sin embargo, el costo total de obra por m², estará diferenciado por el largo de las empalizadas.

En términos generales, el costo de construir una empalizada varía entre los 17.817 y 40.843 \$/m². Estos valores no incluyen el transporte de polines, al lugar de establecimiento de la obra. La variabilidad de los costos por m² en las obras de empalizada es baja, a pesar que se puede considerar mayor si se compara con las otras obras analizadas anteriormente (cuadro 56).

Uno de los mayores valores de costo coincide con el mayor valor de rendimiento y corresponde a Tomeco-Lircay (VIII Región), tal como se muestra en los gráficos 26 y 27.

Cuadro 56. Características de las empalizadas

Sector	Año	Dimensiones	Costo* (\$/m ²)	Rendimiento (m ² /j)
Tabla de costos CONAF	2003	h= 0,25 - 0,8	25.323	-
Sierras de Bellavista (VI)	2000	l= 13,2; h= 0,3	19.850	0,5
Sierras de Bellavista (VI)	2000	l= 12; h= 0,6 (ciprés)	26.088	0,4
Sierras de Bellavista (VI)	2000	l=10,4; h= 0,3 (pino quemado)	17.817	0,4
Cabeceras (VI)	2000	h= 0,35; l= 2,3 - 3	15.026	-
Lagunillas (VI)	2002	l= 3 - 10; h= 0,35	40.843	1,4
El Hoyo (VII)	2000	l= 2,44; h= 0,3	29.745	0,9
Tomeco-Lircay (VIII)	2000	h= 0,7 (incluye herramientas)	33.844	3,2

b= base (m); a= ancho (m); h= altura (m); l= largo (m); s/i= sin información

* Valores inflactados a marzo del 2003

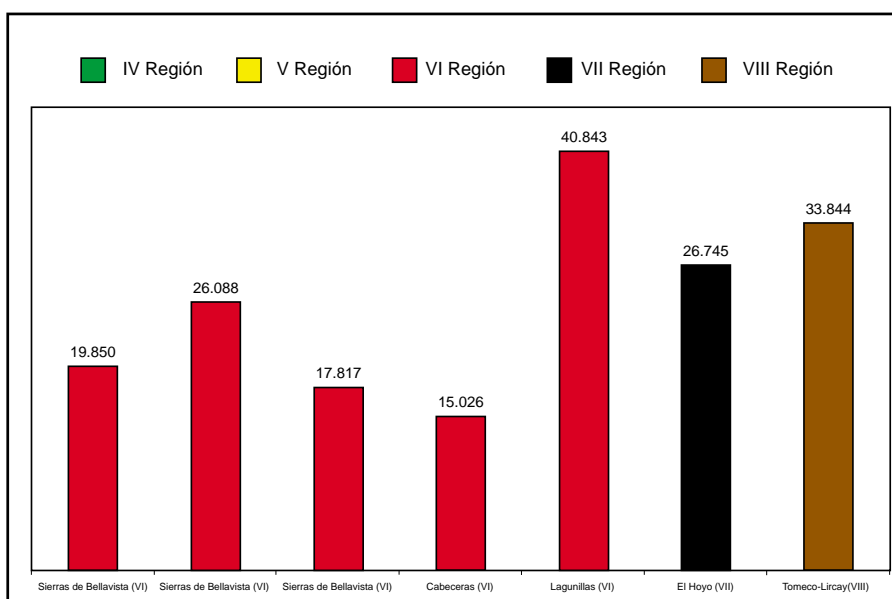


Gráfico 26. Costo del m² de empalizada (\$/m²)

El costo promedio y su desviación típica de construcción de empalizada en las distintas experiencias en el país, alcanza los 26.173,3 y 9.317,4 \$/m² respectivamente. Este valor está muy cercano a los 25.323 \$/m², calculados en la tabla de costos de la CONAF del año 2003.

9.6.2. Rendimientos de construcción de empalizadas

Por su parte, el rendimiento en el ensayo demostrativo en la localidad de Tomeco - Lircay, alcanza un excesivo valor de 3,2 m²/j, superando los montos de otras experiencias, lo que aumenta mucho la variabilidad de los rendimientos, manifestándose ello en un coeficiente de variación de 89,5% (gráfico 27).

En términos prácticos, los rendimientos de construcción de las empalizadas están en relación inversa con el grado de inclinación de la pendiente, y los obstáculos físicos y/o biológicos que presenta el terreno.

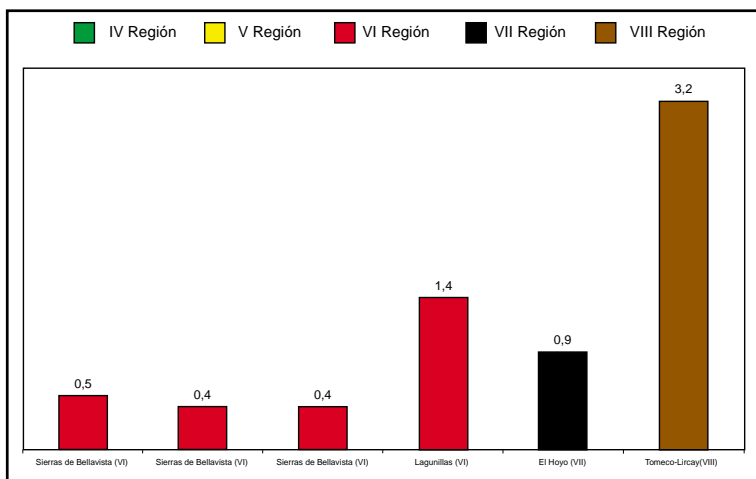


Gráfico 27. Rendimiento de construcción de empalizada (m²/j)

9.7. Análisis de construcción de limanes

9.7.1. Costos de construcción de limanes

El análisis correspondiente a los limanes, muestra una alta variabilidad en los costos declarados, incluso en el mismo sector; así, se pueden observar costos de construcción que duplican a otras acciones similares en el mismo lugar. El cuadro 57 muestra los lugares que fueron evaluados.

Cuadro 57. Características de los limanes

Sector	Año	Dimensiones	Costo* (\$/m ³)	Rendimiento (m ³ /j)
Cuesta Cavilolén (IV)	1998	Ø= 6; h= 0,7	59.511	0,1
Altos de Carén (V)	1996	a= 0,4; h= 0,6; l= 12	1.492	0,8
Sierras de Bellavista (VI)	2000	h= 0,6, a= 0,8; l= 2,6	77.444	0,1
Sierras de Bellavista (VI)	2000	h= 0,9; a= 1,0; l= 4,3 (gavionado)	44.757	0,3

b= base (m); a= ancho de la pared (m); h= altura (m); l= largo (m); Ø= diámetro (m); s/i= sin información

* Valores inflactados a marzo del 2003

El costo promedio de hacer limanes es de 60.570 \$/m³, y presentan un coeficiente de variación aceptable (27%) entre los distintos tipos de obra analizados. El bajísimo valor que se registra en Altos de Carén (V Región) parece poco real, ya que representa sólo un 3,3% del siguiente valor más bajo y, podría deberse a un error en los datos entregados. Por otra parte, el costo más alto se observa en Sierras de Bellavista (VI Región). En el gráfico 28, es posible identificar estas variaciones.

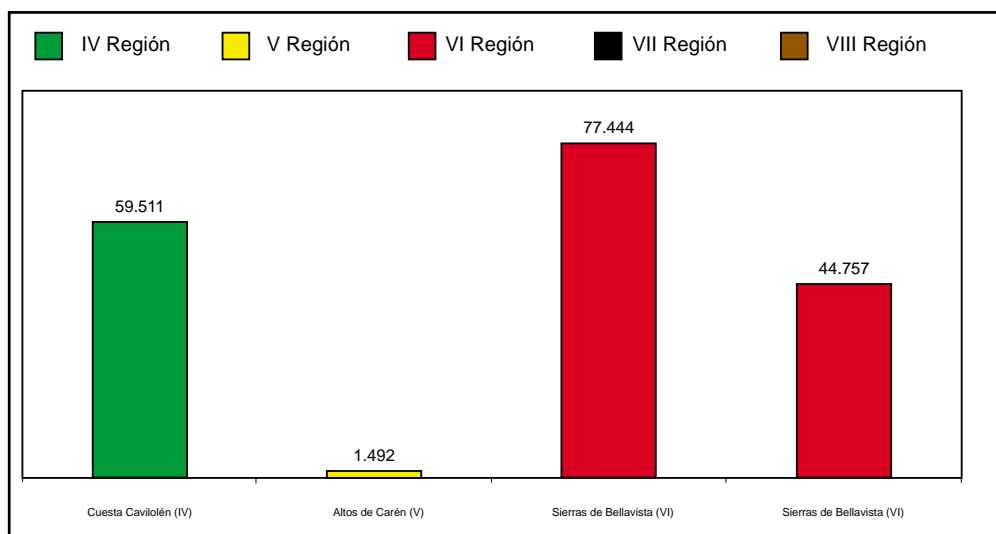


Gráfico 28. Costos de construcción de limanes (\$/m³)

9.7.2. Rendimientos de construcción de limanes

Con relación a los rendimientos en los limanes, éstos no superan los 0,3 m³/j, a excepción de la localidad de Altos de Carén, donde se registran 0,8 m³/j lo que determina un incremento del coeficiente de variación, pero responde a valores normales de rendimiento por jornales (gráfico 29).

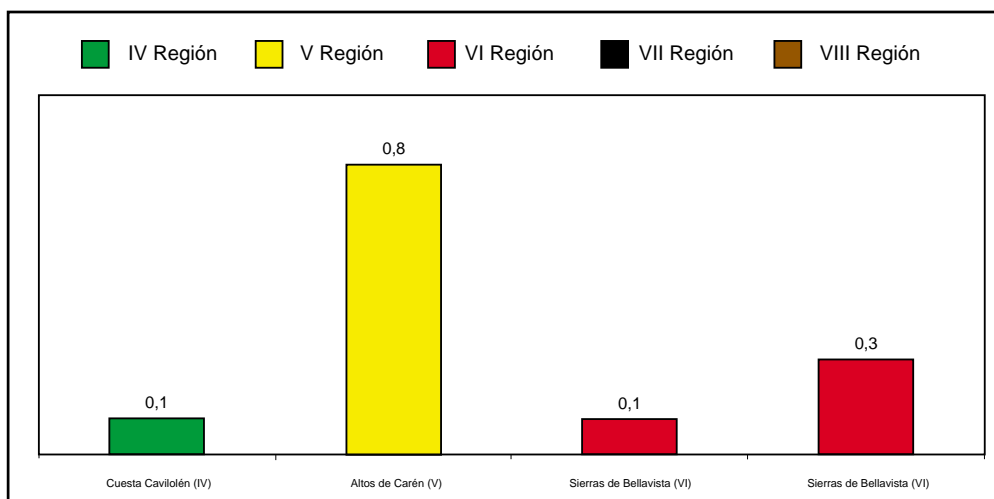


Gráfico 29. Rendimiento de construcción de limanes (m³/j)

9.8. Costos y rendimientos de otras obras de conservación

A continuación se presenta una serie de cuadros que tienen por finalidad mostrar otra variada gama de obras de conservación de suelos y aguas. Con ellos ha sido imposible realizar un análisis más detallado, por la carencia de información. Por ello, los datos generados deben ser considerados sólo como información de referencia, que permite mostrar los costos de diversas obras con sus características de construcción, así como el lugar de ubicación de las mismas.

En este contexto, y para una mayor y mejor comprensión de la información presentada en los siguientes cuadros (58 al 73), la simbología en las dimensiones de las obras son: b= base (cm); a= ancho (cm); h= altura (cm); l= largo (m); p= profundidad (m); Ø= diámetro (m); s/i= sin información. Asimismo, los valores de los costos están inflactados a marzo del 2003.

Fajinas**Cuadro 58.** Características de las Fajinas

Sector	Año	Dimensiones	Costo (\$/ml)	Rendimiento (m/j)
Tabla de costos CONAF	2003	h= 0,2 - 0,4	3.071	Sin información
Tomeco-Lircay (VIII)	2000	h= 0,3; a= 1 - 1,5; l= 0,5	1.073	17,5
Lagunillas (VI)	2002	h= 0,5 - 0,9; l= 0,5 - 1,1	460	6,0

Muretes de sacos**Cuadro 59.** Características de los muretes de sacos

Sector	Año	Dimensiones	Costo (\$)	Unidad	Rendimiento
Tabla de costos CONAF	2003	h= 1,2	5.899	m ²	Sin información
Cuesta Cavilolén (IV)	1997	h= 0,4; b= 0,4; a= 0,5	9.762	m ³	8,0 m/j
Lagunillas (VI)	2002	L= 0,5 - 1; h= 0,8 - 1,5	1.420	m ²	43,0 m ² /j

Muretes de Bolsas**Cuadro 60.** Características de los muretes de bolsas

Sector	Año	Dimensiones	Costo (\$)	Unidad	Rendimiento (m ³ /j)
El Sauce (IV)	1998	Sin información	283	ml	20,0

Diques de mampostería en seco**Cuadro 61.** Características de los diques de mampostería en seco

Sector	Año	Dimensiones	Costo (\$)	Unidad	Rendimiento (m ³ /j)
Cuesta Cavilolén (IV)	1995	a= 1; h= 1,3	19.589	m ³	0,4
Cuesta Cavilolén (IV)	2001	a= 1; h=1,3	15.799	m ³	0,3
El Sauce (IV)	1998	Sin información	7.000	m ³	0,8
Monte Patria	1983	h= 4; a= 3,5; l= 20 - 50	5.313	m ³	0,97

Diques de mampostería hidráulica**Cuadro 62.** Características de los diques en mampostería hidráulica

Sector	Año	Dimensiones	Costo (\$/m ³)	Rendimiento (m ³ /j)
Los Lúcumos (V)	2001	31,7 y 68,1 m ³	169.183	Sin información
Cerro Pajaritos (IV)	1975	Sin información	623.527	0,2

Obras lineales con sacos y bolsas**Cuadro 63.** Características de los tratamientos lineales con sacos y bolsas

Sector	Año	Dimensiones	Costo (\$)	Unidad	Rendimiento (m/j)
Santa Sofía (VIII)	2002	Sin información	5.017	m ²	Sin información
Santa Sofía (VIII)	2002	Sin información	419	ml	29,0
El Hoyo (VII)	2000	sacos de 0,35 x 0,65 m	496	ml	39,6
El Sauce (IV)	1998	Sin información	283	ml	20,0

Líneas de piedras**Cuadro 64.** Características de las líneas de piedras

Sector	Año	Dimensiones	Costo (\$/m)	Rendimiento (m ³ /j)
El Sauce (IV)	1998	Sin información	281	19,8

Terrazas**Cuadro 65.** Características de las terrazas

Sector	Año	Dimensiones	Costo (\$)	Unidad	Rendimiento
Cuz Cuz (IV)	1988	l= 30; b= 6	475	m ²	1,0 m ³ /j
Sierras de Bellavista(VI)	2000	b = 0,4 (con revestimiento)	972	m	5,5 m/j
El Hoyo (VII)	2000	B= 0,6; l= 2 - 14	841	m	28,0 m/j
Tunga Norte (IV)	1998	10 m ² (con muro de piedra)	518	m ²	Sin información
Lagunillas (VI)	2002	b= 0,5 - 1,0 ; l= 30 - 45	204	m	35,0 m/j

Muros de infiltración**Cuadro 66.** Características de los muros de infiltración

Sector	Año	Dimensiones	Costo (\$/m ³)	Rendimiento (m ³ /j)
Cuesta Cavilolén (IV)	1999	a= 0,5; b= 0,4; h= 0,4	7.788	1,4
El Sauce (IV)	1998	h= 0,3; a= 0,3; b= 0,3; l= 4	6.733	1,4

Colectores de piedra**Cuadro 67.** Características de los colectores de piedra

Sector	Año	Dimensiones	Costo (\$/m ³)	Rendimiento (m ³ /j)
Tomeco-Lircay (VIII)	2000	P = 1; Ø= 1,5 (1,8 m ³)	13.603	0,9

Bancales**Cuadro 68.** Características de los bancales

Sector	Año	Dimensiones	Costo (\$/unidad)	Rendimiento (unidades/j)
El Sauce (IV)	1998	semicircular, $\varnothing = 0,6$	1.413	4,0
La Muñozana (IV)	1997	semicircular, $\varnothing = 0,6$	1.413	4,0

Control de taludes**Cuadro 69.** Características del control de taludes

Sector	Año	Dimensiones	Costo (\$/ml)	Rendimiento (m ³ /j)
Alto Loica (RM)	1997	Sin información	10.167	1,1

Estabilización de cauces y riberas**Cuadro 70.** Características de la estabilización de cauces y riberas

Sector	Año	Dimensiones	Costo (\$/ml)	Rendimiento (m ³ /j)
Alto Loica (RM)	1997	Sin información	13.142	1,1

Surcos**Cuadro 71.** Características de los surcos

Sector	Año	Dimensiones	Costo (\$)	Unidad	Rendimiento (m ³ /j)
Las Salinas (V)	1999	mecanizados,	156	ml	1.250
Cerro Pajaritos (IV)	1975	a= 0,6 - 0,7; h= 0,3 - 0,4 b= 0,2; h= 0,3; a= 0,6; l= 0,7	1.900	m ³	retroexcavadora 2,4

Bordos semicirculares**Cuadro 72.** Características de los bordos semicirculares

Sector	Año	Dimensiones	Costo (\$/unidad)	Rendimiento (unidades/j)
El Sauce (IV)	1998	Sin información	3.804	1,5

Hoyaduras**Cuadro 73.** Características de las hoyaduras

Sector	Año	Dimensiones	Costo (\$/m ²)	Rendimiento (m ³ /j)
El Sauce (IV)	1998	Semicircular, $\varnothing = 0,5$	2.333	2,5

9.9. Análisis de las bonificaciones a las obras de recuperación de suelos degradados

La Ley 19.561 de 1998, que modifica el D.L. 701 de 1974 sobre fomento forestal, deja de manifiesto su interés en beneficiar y estimular a los pequeños propietarios rurales, quienes en conjunto representan una superficie de 2 millones de hectáreas y que en su mayoría tienen suelos de aptitud forestal. El objetivo que se persigue es forestar e incorporar obras físicas y biológicas de conservación y aprovechamiento de aguas y suelos, orientadas hacia la recuperación de terrenos degradados y a la lucha contra la desertificación.

Asimismo, dicha iniciativa legal permite bonificar hasta un valor que alcanza el 90% de los costos de forestación y de recuperación de suelos degradados, por las primeras 15 hectáreas de una propiedad rural pequeña (definida en la ley), mientras que para los otros propietarios bonifica el 75% de dichos costos. En el caso de los pequeños propietarios, el Estado establece a través del INDAP, líneas de crédito especiales para financiar la forestación y las actividades de recuperación de suelos degradados. Estas líneas de crédito tienen tasas preferenciales y son cubiertas por las bonificaciones entregadas por la Tesorería General de la República (Valencia, 2000), una vez realizada la forestación. En este mismo contexto, el Bancoestado es otra institución que apoya a los propietarios a través de créditos para la forestación y obras de recuperación de suelos degradados.

De esta manera, la CONAF, a través de las *Tablas de Costos*, cada año establece un valor máximo bonificable por hectárea, tanto para la forestación (la que depende de la especie y densidad, entre otros aspectos), como para la conservación de suelos degradados, la que será según el grado de erosión que presente el terreno, pudiendo ser considerada una erosión *moderada*, *severa* y *muy severa*.

Ahora bien, es interesante revisar la evolución de las tablas de costos para cada categoría de erosión, entre los años 2000 y 2005, y a su vez, contrastarlas con los costos de cada obra de recuperación de suelos definidas por la ley, ya que permite generar una visión globalizada del fomento a la recuperación de suelos degradados. En este marco, el gráfico 30, muestra una tendencia creciente y correlativa de los valores bonificables por hectárea según el grado de erosión. A su vez, se aprecia que estos valores aumentan cada año, debido principalmente al reajuste legal establecido en la Ley sobre Impuesto a la Renta, no obstante, a partir del año 2003, estos valores se estabilizan.

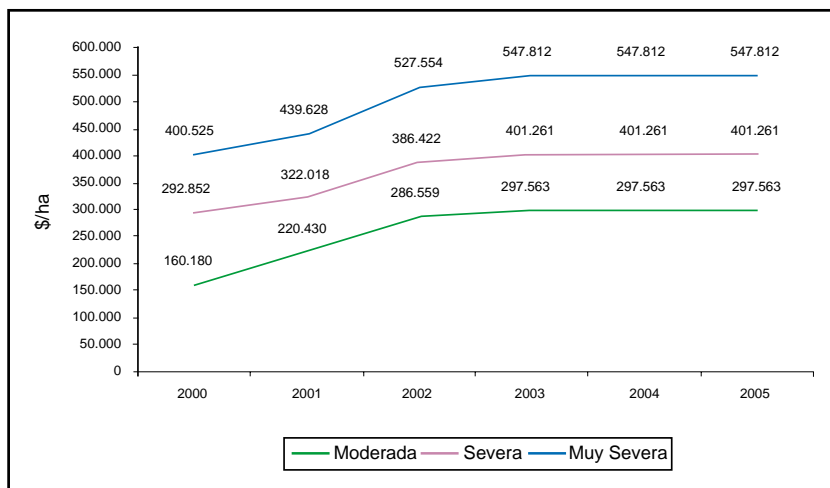


Gráfico 30. Evolución de las bonificaciones (en pesos / hectárea), según grado de erosión.

Fuente: Tablas de costos de bonificaciones (Temporadas 2000 al 2005), CONAF

De la misma forma, los costos por obra de recuperación de suelos degradados se incrementan todos los años según la Ley sobre Impuesto a la Renta (gráfico 31), aunque a partir del año 2003, los costos se mantienen uniformes.

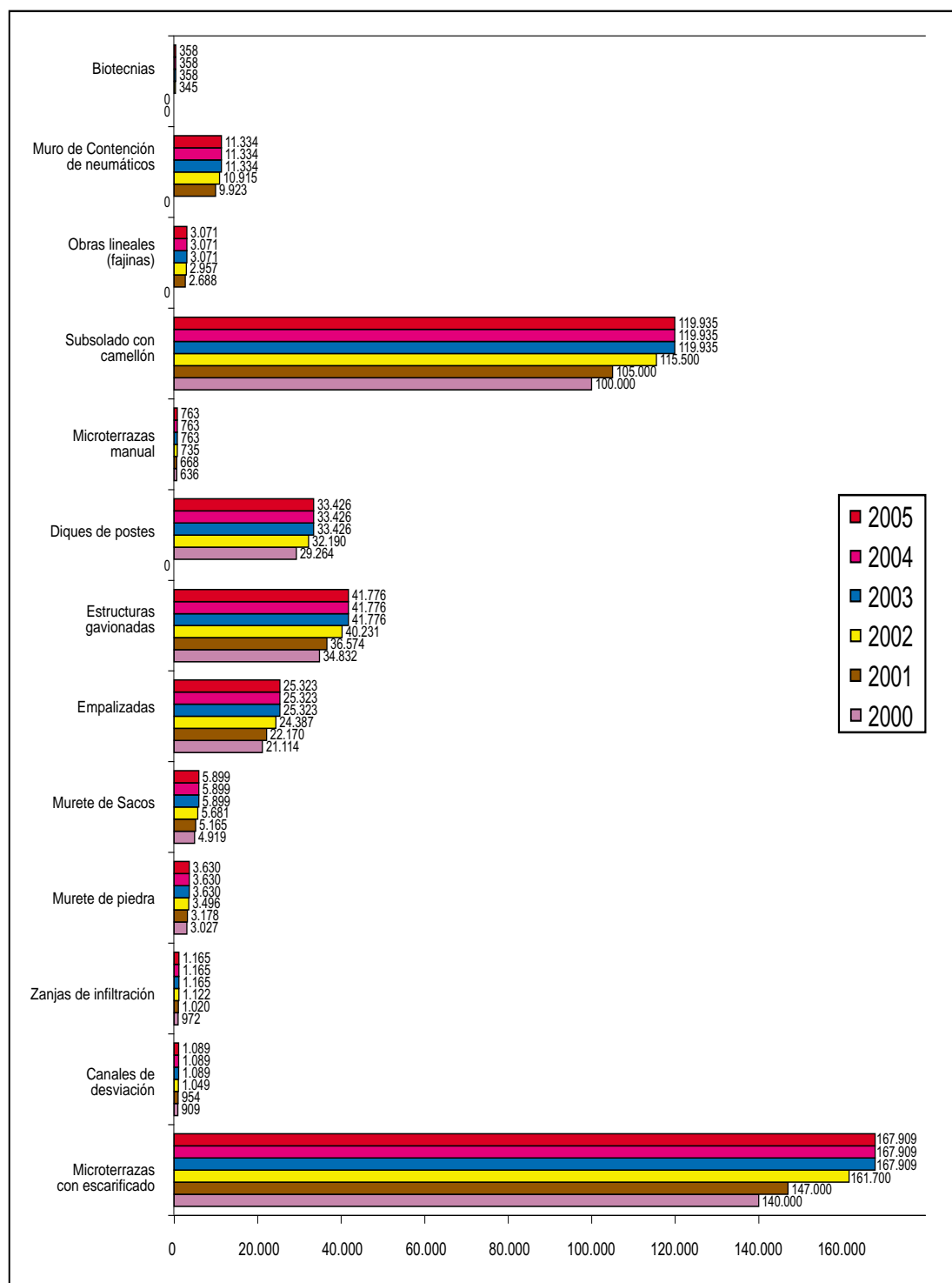


Gráfico 31. Evolución de la tabla de costos (años 2000 - 2005), según obra de recuperación de suelos, en \$/unidad

Fuente: tablas de costos de bonificación CONAF (años 2000-2005)

Cabe destacar, que las obras que presentan menor costo, son aquellas de construcción manual, como las zanjales de infiltración y los canales de desviación, las que no requieren materiales de construcción. A su

vez, estas obras, especialmente las zanjas de infiltración, han mostrado ser altamente eficientes en la conservación de suelos y aguas.

Si comparamos los costos de construcción de zanjas de infiltración y canales de desviación obtenidos en las diferentes experiencias nacionales analizadas, con los costos bonificables de la Tabla de Costos de CONAF temporada 2005, se aprecia que estos últimos son levemente superiores a los primeros, lo cual se puede entender como la forma de fomentar el uso de estas obras entre los propietarios y los operadores forestales (cuadro 74). No obstante, si se comparan los costos reales obtenidos con los bonificables de las tablas de costos de años anteriores (año 2004), esta diferencia era de hasta 8 veces por sobre los costos reales de construcción (cuadro 47 y 51); situación que indica que se está trabajando en este tema y por lo tanto se ha ido mejorando en la asignación de estos recursos.

Cuadro 74. Comparación de costos obtenidos de las experiencias nacionales y la tabla de costo por obra de recuperación de suelos, año 2005

Tipo de obra	Costo mínimo \$/m ³	Costo máximo \$/m ³	Tabla de Costos CONAF \$/m ³
Zanjas de infiltración	2.129	7.010	7.767
Canales de desviación	2.129	6.230	7.767

Esto pone en evidencia el objetivo de la ley de, por un lado, promover mediante un incentivo generoso el uso de obras de conservación de suelos degradados y, por otro, beneficiar a los pequeños propietarios.

En el cuadro 75, es posible revisar las bonificaciones cursadas, en cuanto al monto y la superficie entre los años 2000 y 2004.

Cuadro 75. Bonificación por actividades de recuperación de suelos degradados y forestación periodo 2001-2004

Año	Número Bonificaciones otorgadas	Superficie Beneficiada (ha)	Monto (\$)
2000	3	51,7	22.999.022
2001	50	623,96	269.183.399
2002	187	2.194,23	1.048.260.674
2003	619	12.047,55	6.661.068.718
2004	1.565	24.853,74	13.298.385.158

Fuente: Corporación Nacional Forestal, CONAF

Así, para las bonificaciones del año 2001, existe un cambio positivo en cuanto a los montos y superficies bonificadas, superando 10 veces lo conseguido en el año 2000. De esta forma, se puede evidenciar el mayor conocimiento de la ley de fomento, lo que se genera a partir de los programas de difusión por parte de las instituciones responsables, dirigidos a los propietarios y a consultores forestales.

Las bonificaciones del año 2002, evidenciaron un nuevo crecimiento respecto del año anterior, alcanzando una mayor superficie y monto bonificado, tendencia que con los años nuevamente se ve que ha incrementado debido a que estas prácticas se comenzaron a masificar y se transfirieron a los propietarios, a través de la actuación de ingenieros, agentes de desarrollo y operadores forestales ligados a estas temáticas. Lo anterior se verifica con los valores de las bonificaciones de los años 2003 y 2004, donde se observa un significativo aumento con respecto a los años anteriores, provocándose un crecimiento respecto del 2002 de 6 veces mayor al año 2003 y de 12 veces al año 2004.

En este marco, las bonificaciones han cumplido un rol significativo para las propiedades rurales, consolidándose en el tiempo como una sustantiva herramienta de financiamiento y a la vez, como un elemento efectivo de protección de suelos frágiles o en procesos de erosión.

En el siguiente gráfico se observa la superficie bonificada por región, durante los años 2000 y 2004.

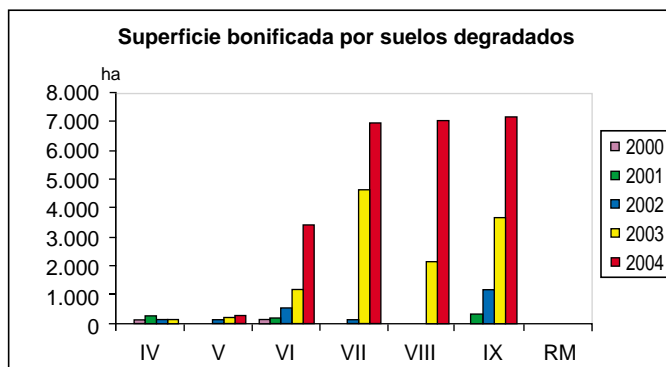


Gráfico 32. Superficie bonificada por D.L. 701, recuperación de suelos degradados y forestación

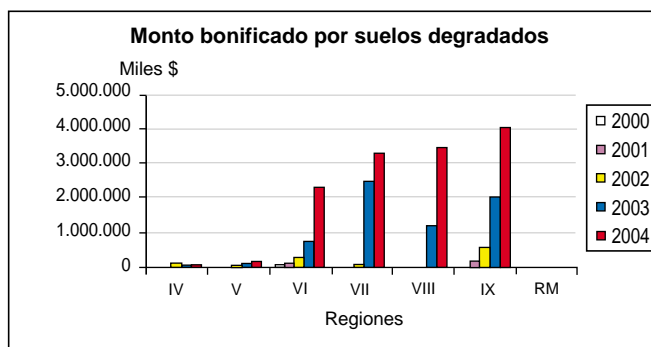


Gráfico 33. Montos bonificados por D.L. 701, recuperación de suelos degradados y forestación

El gráfico 33, muestra la evolución creciente de los montos durante el período 2000-2004, por concepto de la recuperación de suelos degradados y forestación.

Análogamente, un punto esencial es que los instrumentos del Estado se utilicen en zonas que presentan degradación de sus recursos naturales y la consiguiente precariedad en las condiciones de calidad de vida de los habitantes. Por ello, al revisar los indicadores de desarrollo humano, elaborado por el Programa para las Naciones Unidas para el Desarrollo, PNUD (2000), y la información del cuadro 76, se revela que las zonas de mayor monto de subsidio percibido, por concepto de la recuperación de suelos y forestación, son las comunas de Los Sauces de la IX Región y Paredones de la VI Región (figura 27), coincidiendo con los valores más bajos del Índice de Desarrollo Humano, es decir, éstas corresponden a las comunas más pobres de dichas regiones.

Cuadro 76. Comunas con mayor monto bonificado por concepto de recuperación de suelos degradados, entre los años 2000 y 2002

REGIÓN	COMUNA	MONTO (\$)	SUPERFICIE (ha)
IX	Los Sauces	234.352.703	563,2
VI	Paredones	198.299.148	368,3
VI	Lolol	105.508.950	206,6
IX	Cunco	104.539.982	241,4
IV	Ovalle	96.269.691	262,4
IX	Lumaco	67.720.997	153,5
IX	Galvarino	59.791.991	122,2
IX	Loncoche	52.941.768	100,6
V	Casablanca	50.212.363	104,5

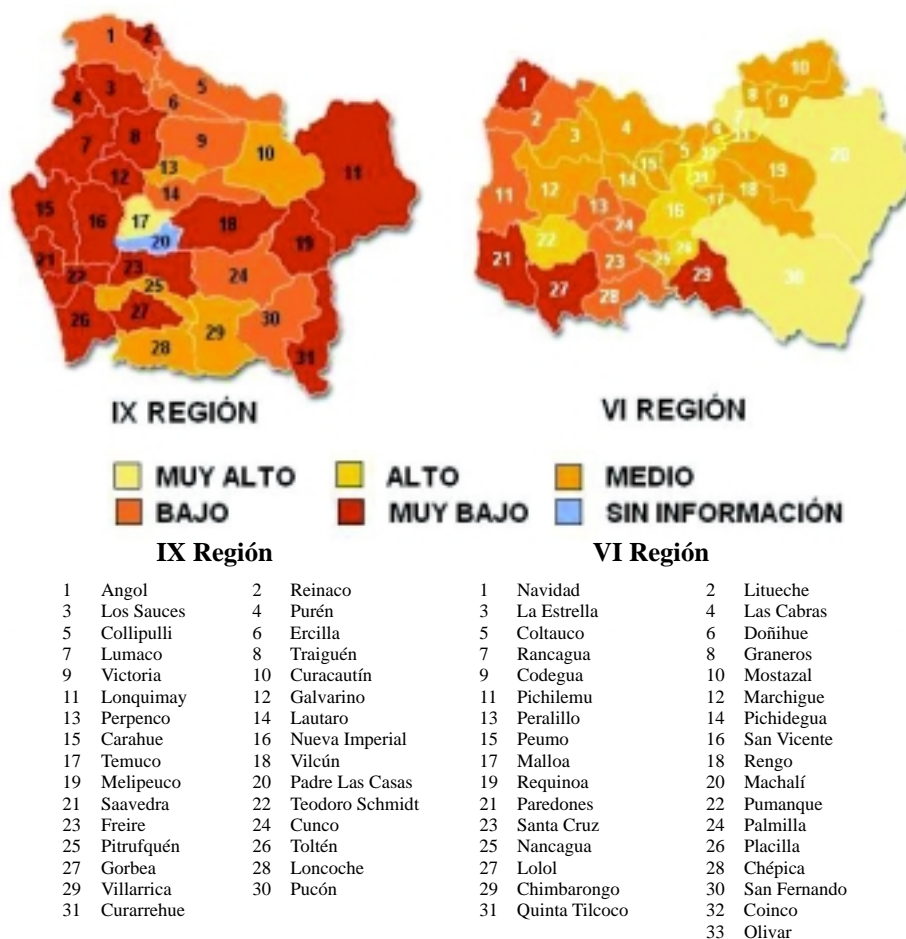


Figura 27. Mapa Índice de desarrollo humano de la IX y VI regiones

Fuente: PNUD 2000

En esta situación, es prioritario que este instrumento sea una herramienta eficaz en la superación económica, social y ambiental de estas comunas. Así, el «*Mapa preliminar de la desertificación en Chile - por comunas*», elaborado por la CONAF, el año 1997 (figura 28), muestra, según los antecedentes del Programa de Acción Nacional Contra la Desertificación (PANCD), que las comunas mencionadas presentan graves problemas de erosión. Y por ello, se destaca la asociación directa que se produce entre pobreza y ruralidad, como también con el grado de deterioro del recurso suelo, lo que induce a encontrar una salida agrícola y/o forestal, mediante el uso de los instrumentos estatales, tal que permita mejorar la calidad del recurso suelo y de esta forma aumentar su productividad.

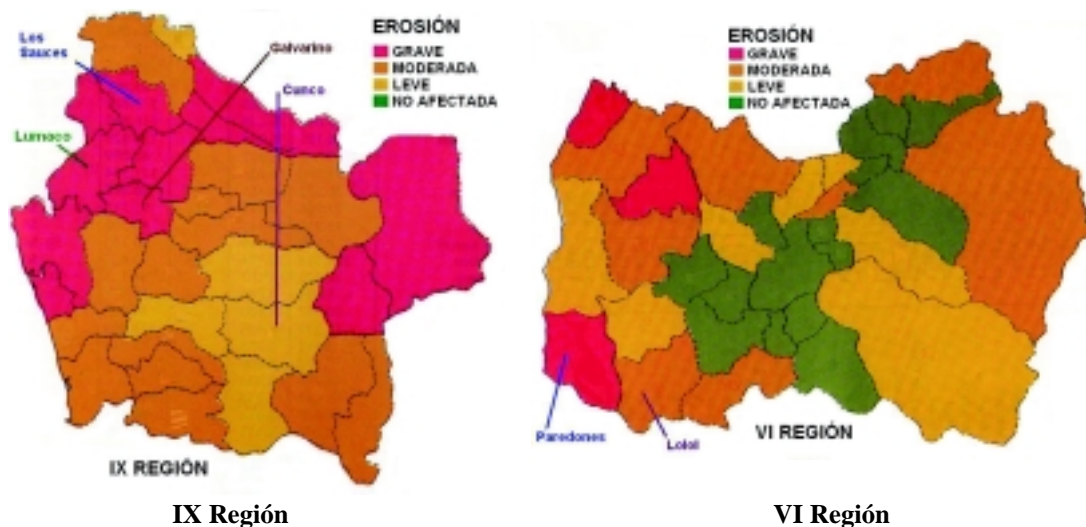


Figura 28. Mapa preliminar de la desertificación en Chile, regiones IX y VI

Finalmente, un elemento fundamental para lograr una aplicación exitosa de esta política de desarrollo y fomento de la forestación y la recuperación de suelos degradados, es el apoyo del Estado en materia de financiamiento y de la transferencia tecnológica de las prácticas de conservación y aprovechamiento de aguas y suelos, que permitan una adecuada rentabilidad económica y la vez, actuaciones más acordes con el medio ambiente físico y social, sobre el cual, estas prácticas tomen lugar.

10

*Simulación para
el diseño de obras*



La necesidad de realizar obras de conservación que cuenten con diseño en base a variables hidrológicas, ha llevado al planteamiento de algunos simuladores como una forma de simplificar el trabajo de ingenieros y técnicos.

Así, en el año 2003 el ingeniero forestal Mauricio Lemus, elaboró un programa computacional a partir de las aplicaciones de Microsoft Excel denominado «MAUCO» (figura 29). Este programa considera a la intensidad de precipitación como un elemento fundamental para el diseño de zanjas de infiltración. Además, se fundamenta en la incorporación de un diagnóstico del área degradada, la toma de datos de terreno, las características del suelo, la cobertura vegetal y el área y relieve de mitigación.

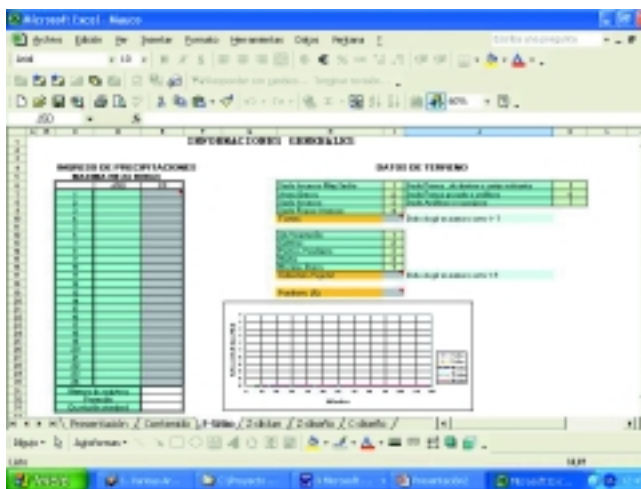


Figura 29. Presentación MAUCO

Por otra parte, el Dr. Andrés Martínez de Azagra (Universidad de Valladolid, España), desarrolló un modelo computacional «MODIPE» (Figura 30) que permite determinar la disponibilidad hídrica (infiltración), en un punto de una ladera originada por un aguacero aislado o por una serie de aguaceros. También se puede operar a nivel anual.

Para ello hay que definir las características hidrológicas y topográficas de la ladera así como las precipitaciones a estudiar. A partir de estos datos, el programa cuantifica la escorrentía superficial generada por los aguaceros y estima la altura de agua que queda residente en un punto de la ladera. Este valor refleja la disponibilidad hídrica en ese punto.

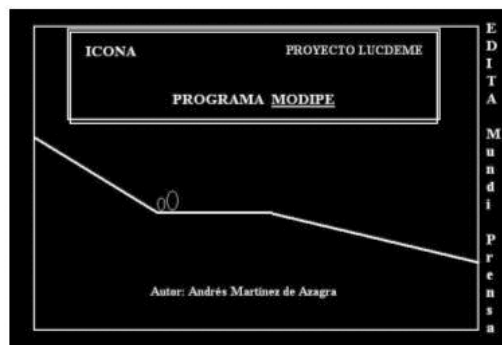


Figura 30. Presentación MODIPE

Por otra parte, este proyecto EIAS en base a los estándares de construcción obtenidos durante la ejecución del mismo, creó el «Simulador EIAS», el cual, como se mencionó en el capítulo 8, a partir de variables ambientales, elabora el diseño de construcción óptimo para zanjas de infiltración y canales de desviación.

El objetivo de este simulador es promover y fomentar el uso y construcción de obras de conservación de aguas y de suelos, basados en un diseño hidrológico óptimo, a partir de un software computacional de apoyo, accesible a través de Internet. La alternativa de la web, posibilita y facilita su distribución a una gama amplia de usuarios, y de esa manera permite fomentar al máximo la aplicación de criterios de ingeniería en la conservación de los recursos.

El sistema de diseño cuenta con identificación y autenticación de los usuarios y un módulo de comunicación con ellos a través de un foro, para rescatar sugerencias, comentarios y ayudar de forma interactiva. Los usuarios habilitados obtienen acceso a los módulos de simulación de obras de diseño de zanjas de infiltración y canales de evacuación de aguas lluvias, y el producto de su análisis es un diseño dimensionado con sugerencias para la construcción. Desde su puesta en marcha el sistema ha sido utilizado extensamente por diferentes usuarios y es accesible a través del sitio <http://eias.utralca.cl> (figura 31).

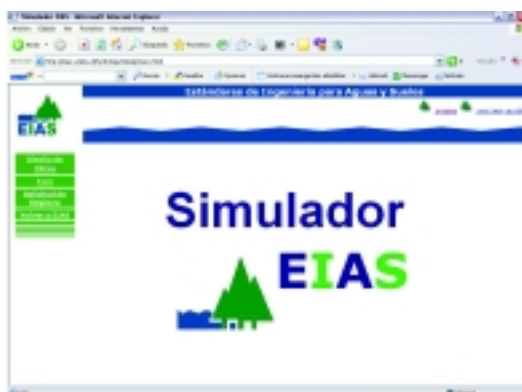


Figura 31. Página del Simulador EIAS

10.1. Funciones del Simulador EIAS

En el cálculo de dimensiones y espaciamiento de las obras, hay unos procesos en común para zanjas y canales, tales como la determinación del periodo de retorno y la intensidad de precipitación a considerar. El periodo de retorno, la zona de influencia, las características del suelo y la velocidad de infiltración de diseño, son parámetros que el usuario ingresa al formulario de trabajo. Además, estos parámetros cuentan con sugerencias de valores recomendados y las consideraciones acerca de su importancia en el cálculo.

La determinación de la intensidad de precipitación es común entre el diseño de zanjas y canales y su importancia es tal, que merece un análisis especial.

- *Intensidad de precipitación*



Figura 32. Estaciones pluviográficas que contiene el simulador

En la región estudiada existe una red de estaciones pluviográficas en que se registra la precipitación en forma continua durante el día (figura 32). El término «continua» significa con una periodicidad de una hora. Complementando esta red, hay un conjunto de estaciones pluviométricas, en que la precipitación caída es medida una vez al día cada 24 horas.

De acuerdo a esto, el simulador utiliza estaciones pluviográficas y pluviométricas y un tercer tipo de estación para el sistema, *estación precaria* (figura 33). Esta es la estación cuyos datos (la serie histórica) son ingresados directamente por el usuario, lo cual le permite probar un diseño en particular. El simulador le permite ingresar los datos, darle un nombre a la *estación precaria* y ajustar una función de distribución probabilística a la serie de datos para determinar una intensidad de precipitación de diseño a partir de ellos.

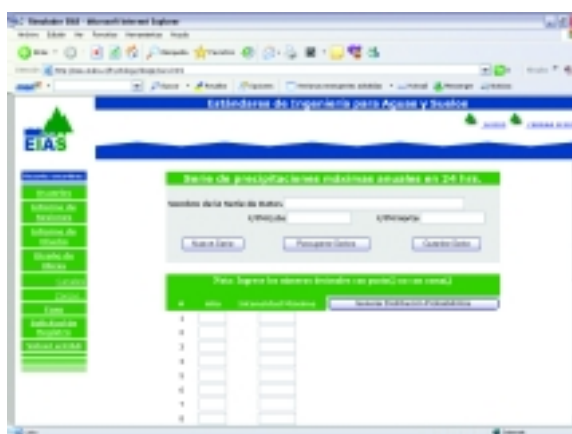


Figura 33. Estación precaria

Para la utilización y aprovechamiento del conjunto de estaciones pluviométricas, el diseñador puede elegir una estación pluviométrica representativa de su zona o crear una serie propia y modificar la intensidad de 24 h por la función que relaciona la intensidad a una duración menor de una estación pluviográfica representativa.

De esta forma el simulador utiliza la relación entre la intensidad para una hora dada y la intensidad para 24 h. a través del parámetro K, proveniente de las tablas de uso práctico (Capítulo 4), las que son asociadas al periodo de retorno seleccionado.

Es importante señalar que las curvas IDF asociadas a las estaciones pluviográficas, han sido ajustadas en base a la Función de Gumbel (Capítulo 4).

10.1.1. Módulos del simulador

El simulador cuenta con varios módulos funcionales, los que se describen a continuación:

10.1.2. Diseño de zanjas de infiltración

Este módulo cuenta con tres variables independientes, a saber intensidad de precipitación, asociada a un periodo de retorno, la velocidad de infiltración y el coeficiente de escorrentía. Estos valores son ingresados por el usuario según las características de la zona donde se desean construir las obras.



Figura 34. Diseño para zanjas de infiltración

Por otra parte, también cuenta con variables dependientes, las cuales son:

- Espaciamiento entre zanjas (metros)
- Ancho de zanja
- Profundidad de zanja

Así cada vez que el usuario modifica el valor de una variable, se actualizan las dimensiones y el espaciamiento de las zanjas para reflejar el nuevo valor ingresado (figura 34).

Pero, estas variables (espaciamiento entre zanjas, ancho y profundidad de la zanjas) no son independientes entre sí. El sistema supone que el espaciamiento es la variable independiente, dejando supuestos para el ancho y profundidad de la zanja. Sin embargo, el usuario puede dejar como incógnita el valor de cualquiera de las variables dependientes y el sistema calcula; así, el usuario puede dejar un parámetro, por ejemplo la base, y a continuación ir ajustando la altura y el espaciamiento de las zanjas hasta llegar a su diseño deseado.

10.1.3. Diseño de canales de desviación

El diseño de canales de desviación también cuenta con variables independientes y dependientes, pero la diferencia principal radica en que para el diseño de este tipo de obra, el usuario tiene que definir una velocidad de flujo máxima permitida en el canal. Es necesario considerar adecuadamente la velocidad máxima, por la posible erosión dentro del canal.

Dentro de las variables independientes, se encuentran la intensidad de precipitación, el coeficiente de escorrentía, el área de impluvio, la velocidad de diseño, el caudal y el ángulo de talud. El caudal es determinado a partir de las variables independientes área de impluvio, intensidad de precipitación y coeficiente de escorrentía.

Las variables dependientes que muestra el simulador son:

- Base
- Altura
- Sección del canal
- Perímetro mojado
- Revancha
- Longitud del talud



Figura 35. Diseño para canales de desviación

Otras consideraciones operativas son de protección de los bordes del canal; para ello el simulador permite incluir la revancha y la pendiente del ángulo de talud, cuyos valores pueden ser especificados por el usuario (figura 35).

El procedimiento para dimensionar un canal de evacuación es similar al procedimiento de diseño de zanjas. El usuario especifica el área de impluvio, el coeficiente de escorrentía y la intensidad de precipitación de diseño. La intensidad es determinada mediante el mismo conjunto de pasos que en el diseño de zanjas. El sistema calcula la dimensión del canal y el usuario puede modificar un parámetro dejando los otros fijos.

Así, una vez definido el diseño deseado, el simulador entrega, tanto para zanjas como para canales, un formato de su diseño para imprimir. Esta hoja contiene un croquis de la obra con dimensiones e indicaciones de detalles constructivos, con el objetivo de hacer replicable en terreno las dimensiones técnicas de diseño, y así entregar al jefe de terreno, las especificaciones de la ejecución (figuras 36 y 37).

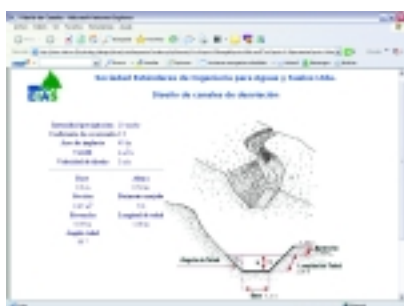


Figura 36. Formato de salida para canal de desviación



Figura 37. Formato de salida para zanja de infiltración

10.1.4. Administración

El sistema cuenta con módulos de administración de los usuarios. El acceso al sistema es posible a través de una contraseña, asignada por el administrador. El administrador tiene acceso a un seguimiento de las sesiones de los usuarios; el sistema rastrea el movimiento del usuario dentro del subsitio del simulador, de tal modo que éste puede determinar si un usuario está con dificultades con el sistema.

El administrador tiene la funcionalidad para agregar y modificar las estaciones de la red existente. Así por ejemplo, se puede modificar los parámetros de las distribuciones probabilísticas de intensidad de precipitación para dichas estaciones.

Referencias Bibliográficas

- ABARZA, A. 2001. Análisis comparativo de las curvas Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF), en seis estaciones pluviográficas distribuidas en la zona cordillerana andina y el valle central de la VII Región de Chile. Tesis Ing. Forestal. Talca. Universidad de Talca. Chile. 105 p.
- APARICIO, F. 1997. Fundamentos de hidrología de superficie. Balderas, México: Limusa. 303 p.
- APARICIO, F. 2003. Fundamentos de hidrología de superficie. Undécima edición. Editorial Limusa S.A. México D.F., México. 303 p.
- BEDIENT, P.; HUBER, W. 1992. Hydrology and foodplain analysis. Segunda edición. Editorial Addison-Wesley. Estados Unidos. 692 p.
- BLAKE, G.; HARTAGE, K. 1985. Bulk density in klute: Methods of soil analysis. Part I. Physical and Mineralogic Methods. Agronomy monograph 9. 375 p.
- CARLSON, P. 1990. Establecimiento y manejo de prácticas agroforestales en la sierra ecuatoriana. Editorial Cormen, Quito - Ecuador. pp. 24-111.
- CIANCAGLINI, N. 1986. Canales de conducción del agua, manual de uso y conservación del agua en zonas rurales de América Latina y El Caribe. Tomo II (Borrador). Proyecto Regional de UNESCO-ROSTLAC, Montevideo, Uruguay, p.i.
- CHOW, V.; MAIDMENT, D.; MAYS, L. 1994. Hidrología aplicada. Primera edición. Editorial Mc Graw-Hill. Santa Fe de Bogotá, Colombia. 584 p.
- CONAF, 1998. Control de erosión y forestación en cuencas hidrográficas de la zona semiárida de Chile. Proyecto Cuencas CONAF-JICA. Informe Final. Ministerio de Agricultura. Chile. 161 p.
- CONAMA, 1994. Propuesta; Plan nacional de conservación de suelos. Santiago, Chile. 137 p.
- CRITCHLEY, W.; SIEGERT, K. 1996. Manual de captación y aprovechamiento del agua de lluvia, Tomo I: Bases técnicas y experiencias en África y Asia. Oficina Regional de la FAO para América Latina y El Caribe. Chile. 122 p.
- FAO, 1994. Suelos y aguas 1. Erosión de Suelos en América Latina. Proyecto: Apoyo para una agricultura sostenible mediante conservación y rehabilitación de tierras en América latina. Santiago. Chile. 219 p.
- FAO, 1997. Medición sobre el terreno de la erosión del suelo y de la escorrentía. Boletín de suelos de la FAO N° 68. Roma, Italia. 147 p.
- FAÚNDEZ, M. 2004. 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. Tesis Ing. Forestal. Talca. Universidad de Talca, Facultad de Ciencias Forestales. Chile. 62 p.
- FAZZI, I.; MÍQUEL, W. 2001. Módulo demostrativo de conservación de suelos degradados. Proyecto de transferencia tecnológica y capacitación forestal para pequeños propietarios de la comuna de Paredones. Corporación Forestal Paredones. Chile. 31 p.
- FERRER, F. 1993. Recomendaciones para el cálculo hidrometeorológico de avenidas. Centro de Estudios y Experimentación de obras públicas. Madrid, España. 76 p.
- FORSYTHE, W. 1975. Física de suelos: Manual de laboratorio. Ed. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la OEA. Turrialba, Costa Rica. 142 p.

- FRANCKE, S. 1996. Documento Técnico: Elementos de ordenación de cuencas y conservación de suelos. Chile Forestal. Chile. N° 242.
- GARCÍA, J. 1999. La erosión hídrica: Mecanismos y modelos. Curso: Evaluación y Control de la Erosión. España. 49 p.
- GONZÁLEZ DEL TÁNAGO, M. 1991. La ecuación universal de pérdidas de suelo. Pasado, Presente y Futuro. Rev. Ecología, 5, ICONA, 13 -50 p.
- GUJARATI, D. 1992. Econometría. Segunda edición. Mc Graw-Hill Latinoamericana. D. F. México. 597 p.
- GUROVICH, L. 1985. Fundamentos y diseño de sistema de riego. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (CIIA). Primera Edición, San José, Costa Rica. Capítulo 6. p. 143-168.
- INFOR, 2000. Aplicación de técnicas de captación de aguas lluvias en predios de secano para forestación. Manual 25. Proyecto de desarrollo de las comunas pobres de la zona de secano (Prodecop-Secano). Santiago. Chile. 45 p.
- LINSLEY, R.; KOHLER, M.; PAULHUS, J. 1977. Hidrología para ingenieros. Mc Graw-Hill. Bogotá, Colombia. 584 p.
- LINSLEY, R.; KOHLER, M.; PAULHUS, J. 1988. Hidrología para ingenieros. Segunda edición. Editorial Mc Graw-Hill. México D.F. México. 386 p.
- LÓPEZ, F. 1994. Restauración hidrológico forestal de cuencas y control de la erosión. Editorial Mundi Prensa y Tragsa. Madrid. España. 902 p.
- LÓPEZ, F.; GARCÍA, J.; PIZARRO, T. 1995. El papel del bosque en la gestión de cuencas hidrográficas. Documento técnico N° 93. CONAF. Revista Chile Forestal. Santiago - Chile.
- LÓPEZ, F. 1998. Restauración hidrológico forestal y control de la erosión. Ingeniería Ambiental. Tragsa, Tragsatec, Ministerio del Medio Ambiente. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España.
- MINTEGUI, J.; LÓPEZ, F. 1990. La ordenación agrohidrológica en la planificación. Departamento de Agricultura y Pesca del Gobierno Vasco. España. 306 p.
- MINTEGUI, J.; DE SIMÓN, E.; GARCÍA, J.; ROBREDO, J. 1993. La Restauración hidrológico forestal, en las cuencas hidrográficas de la vertiente mediterránea. Informaciones técnicas. Junta de Andalucía. España. 325 p.
- MONTGOMERY, D. 2004. Diseño y análisis de experimentos. Grupo Editorial Iberoamérica. México. 589 p.
- NÚÑEZ, R. 1986. Tratamiento biológico-mecánico de las laderas. Diseño de surcos en contorno. Documento técnico N° 12. CONAF. Revista Chile Forestal. Santiago - Chile.
- PAVEZ, A. 2004. Análisis del comportamiento temporal del contenido de humedad, en suelos sometidos a obras de conservación (zanjas de infiltración y subsolado), en áreas de las Regiones VI, VII y VIII. Tesis Ing. Forestal. Talca Universidad de Talca, Facultad de Ciencias Forestales. Chile. 80 p.
- PERALTA, M. 1976. Uso, clasificación y conservación de suelos. Servicio Agrícola y Ganadero. Ministerio de Agricultura. Chile. 340 p.
- PÉREZ, H. 2001. Evaluación de productividad de *Pinus radiata* (D. Don) asociado a zanjas de infiltración. Llongocura, VII Región del Maule. Tesis Ing. Forestal. Talca. Universidad de Talca, Facultad de Ciencias Forestales. Chile. 72 p.

- PIZARRO, R; NOVOA, P. 1986. Elementos técnicos de hidrología. Instructivos Técnicos. Corporación Nacional Forestal, Ministerio de Agricultura. La Serena, Chile. 57 p.
- PIZARRO, R.; FLORES, J.; SANGÜESA, C.; MARTÍNEZ, A.; GARCÍA, J. 2004. Diseño de obras para la conservación de aguas y suelos. Chile. 146 p.
- PNUD, 2000. Desarrollo humano en Chile. Nosotros los Chilenos: un desafío cultural. PNUD. Santiago, Chile. 357 p.
- SAAVEDRA, J. 1998. Análisis comparativo de técnicas de recuperación de suelos en áreas degradadas: efecto en la humedad del suelo la supervivencia y crecimiento de *Pinus radiata* (D. Don.) Microcuenca del Estero Barroso, VII Región. Tesis Ingeniero Forestal. Universidad de Talca. Talca. Chile. 35 p.
- SUÁREZ, F. 1980. Conservación de suelos. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas. San José, Costa Rica. Editorial IICA. 3ra Edición.
- TÉMEZ, J. 1978. Cálculo hidrometeorológico de caudales máximos en pequeñas cuencas naturales. Dirección General de Carreteras. Madrid. España. 111p.
- UNIVERSIDAD DE CHILE, 1997. Diagnóstico de la desertificación en Chile. Editorial Rosales. La Serena. Chile. 399 p.
- UNIVERSIDAD DE CHILE, 1999. Informe País: Estado del medio ambiente en Chile-1999. Centro de Análisis de Políticas Públicas. Santiago. Chile. 409 p.

Internet

- CONAF, 2004. Recuperación de suelos degradados; Técnicas de conservación de suelos; Tabla de costos por obra de recuperación de suelos. CONAF. Gobierno de Chile. Chile. <http://www.conaf.cl>. Consultado el 2 de Enero del 2005.
- EIAS, 2004. Sociedad Estándares de Ingeniería para Aguas y Suelos Ltda. <http://eias.entalca.cl>. 20024. Experiencias nacionales en obras de conservación de aguas y suelos. Universidad de Talca. Chile. Consultado el 20 de Diciembre del 2004.
- EIAS, 2004. Sociedad Estándares de Ingeniería para Aguas y Suelos Ltda. <http://eias.entalca.cl>.20024.<http://eias.entalca.cl/Publicaciones/Modulo%204.pdf>. Universidad de Talca. Chile. Consultado el 20 de Diciembre Del2004.
- NANÍA, L. 2003. Hidrología superficial: La Cuenca y los Procesos Hidrológicos. Disponible en http://www.puertossycostas.com/pyc/html/docente/apuntes/Lacuencaylos_2003.pdf. Consultado el 16 Diciembre de 2004.
- VÉLEZ, M.; VÉLEZ., J. 2002. Capítulo 8: Infiltración. Universidad Nacional de Colombia, Unidad de Hidráulica. <http://poseidon.unalmed.edu.co/materias/hidrologia.html>. Consultado el 20 de Octubre del 2003.

Agradecimientos

Nuestros más sinceros agradecimientos van dirigidos a todas las personas e instituciones que prestaron su ayuda desinteresada para la concreción de los objetivos de este Proyecto.