



Monografías

ZANJAS DE INFILTRACIÓN

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

Monografías

ZANJAS DE INFILTRACIÓN

PROYECTO EDI - CORFO
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

Registro de Propiedad Intelectual N° 145214

ISBN 956-299-555-0

Talca, Chile, Diciembre 2004

Diseño de Portada
Marcela Alborno Dachelet

Diagramación
Mabel Urrutia Olave

Corrección de textos
Cristián Jordán Díaz

Impresora Contacto Ltda.
Impreso en Chile

Índice

	Pág.
Conceptos previos de la conservación de aguas y suelos	5
Las zanjas de infiltración	7
Prácticas tradicionales en otros países	9
Proyecto EIAS - Chile	15
Consideraciones finales	25
Referencias bibliográficas	27
Anexo	29

Conceptos previos de la conservación de aguas y suelos

La degradación de los recursos en las zonas áridas y semiáridas de Chile, es un proceso continuo y sostenido, que ha conducido a estados de deterioro cada vez más agudos, la cual tiene múltiples causas y orígenes. En la actualidad, se considera a la erosión como uno de los principales agentes de degradación ambiental en las áreas agrícolas de la mayoría de los países del mundo (Mertenn *et al* 2000, citado por INIA, 2001). Dicha problemática no sólo considera en un contexto global, a la ganadería y los cultivos agroforestales, sino a otras dimensiones del problema, entre las cuales deben destacarse aspectos económicos, laborales, migratorios, actitud frente a la incertidumbre y el riesgo, culturales, educacionales y políticos. Todo lo anterior, hace que se presente un panorama complejo y de difícil solución.

En relación a lo anterior, en Chile, debido a la conformación geográfica y el régimen pluviométrico dominante, la erosión hídrica es una de las formas más importantes de degradación del suelo. El hecho de que un gran porcentaje de las lluvias precipiten en invierno, cuando el suelo está descubierto, unido a malas prácticas de cultivo, provoca importantes daños erosivos (INIA, 2001). Es por esto que en el país, se reconoce que el proceso erosivo constituye desde un punto de vista ambiental y en términos socioeconómicos, el problema de mayor relevancia ambiental del sector silvoagropecuario (Francke, 1999).

La erosión es considerada, según Suárez (1980), como el proceso de desprendimiento y arrastre de partículas del suelo, generado por el agua y el viento. Mintegui y López (1990), señalan que la erosión es en sentido estricto, el desgaste de la superficie terrestre por la acción de agentes externos (agua y viento). Por su parte, García (1999) define la erosión, como una de las formas de degradación de los suelos, comprendiendo el deterioro físico, químico y las propiedades biológicas del mismo. El escurrimiento superficial, por otra parte, es un concepto que se refiere al movimiento del agua sobre la superficie del suelo, agua que no penetra a éste, sino que se desplaza a través de la cuenca que le sirve de drenaje al área. Asimismo, Mintegui y López (1990) señalan que la formación del escurrido superficial dependerá del régimen de precipitaciones y de las características hidrológicas del suelo.

La conservación del suelo se asocia y frecuentemente se identifica con el control de la erosión. Pero es mucho más, es la integración de todo lo relacionado con el uso racional del suelo y su tratamiento (Carlson, 1990). Por otra parte, las obras de conservación de aguas y suelos, permiten la recuperación de terrenos degradados por procesos de erosión y desertificación. Numerosos estudios han demostrado la alta eficiencia que presentan tales obras, en combinación con plantaciones, para la captura de humedad, lo que genera un desarrollo más rápido y sostenido de las plantaciones forestales asociadas a tales obras. Así, una de las especies más utilizadas en Chile, es el *Pinus radiata* (D. Don), pero también pueden mencionarse especies tales como el *Eucalyptus globulus*, *Eucalyptus camaldulensis*, *Shinus molle* (pimiento boliviano), *Quillaja saponaria* (quillay), entre otras (Proyecto EIAS, 2002).

Lo anterior ha contribuido al desarrollo de prácticas para controlar la erosión con el fin de conservar el suelo, es decir, para evitar que el suelo se mueva de un lugar a otro. Entre las prácticas de conservación de aguas y suelos más utilizadas en Chile, se puede establecer la siguiente clasificación, a saber:

Prácticas Mecánico-estructurales

- Diques (mampostería, transversales de madera, roca pesada, estructuras gavionadas, concreto ciclópeo)
- Muros de contención y/o sostenimiento
- Canales de desviación
- Terrazas de captación
- Drenos subterráneos
- Colectores de aguas lluvias

Prácticas Agronómicas-culturales

- Surcos en contorno
- Subsolado
- Fajas de contención
- Terrazas

Prácticas Hidrológico-forestales

- Zanjas de infiltración
- Diques de polines impregnados
- Canales de evacuación de aguas lluvias (en tierra sin revestimiento)
- Empalizadas y/o ordenamiento de desechos en fajas

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 presente documento que pretende describir y analizar el diseño de zanjas de infiltración, desde una perspectiva del diseño hidrológico.

Las zanjas de infiltración

Las zanjas de infiltración, son canales sin desnivel construidos en laderas, los cuales tienen por objetivo captar el agua que escurre, disminuyendo los procesos erosivos, al aumentar la infiltración del agua en el suelo. Estas obras de recuperación de suelos, pueden ser construidas de forma manual o mecanizada, y se sitúan en la parte superior o media de una ladera, para capturar y almacenar la escorrentía proveniente de las cotas superiores.

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 almacenamiento temporal de escorrentías superficiales. Debe señalarse eso sí, que un sistema de zanjas de infiltración por sí solo, no controla totalmente el fenómeno erosivo. Además, es necesario revegetar con pastos, o forestar los espacios intermedios entre zanjas, o adoptar otras prácticas conservacionistas como la aradura, el subsolado y la siembra en contorno (Carlson, 1990).

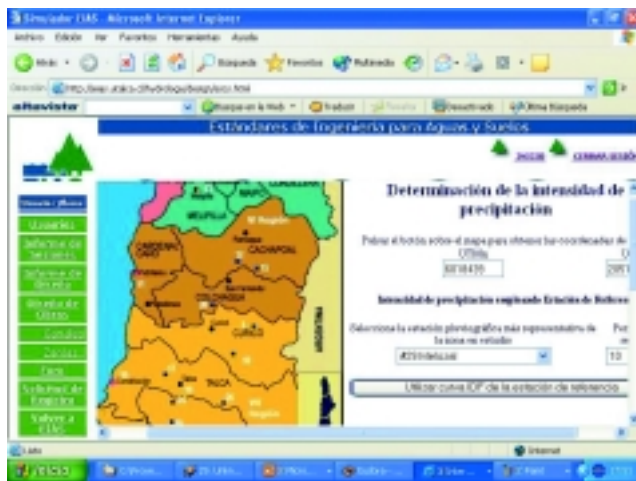


Figura 1. Presentación Simulador EIAS

Por su parte, Pizarro *et al* (2004), proponen un diseño de este tipo de obras, basado en el análisis y determinación de algunos parámetros edafoclimáticos particulares, entre ellos, la intensidad de la lluvia, el periodo de retorno de un evento extremo, el coeficiente de escorrentía y la velocidad de infiltración del agua en el suelo. Así, la Sociedad EIAS Ltda. elaboró un simulador de diseño de obras de conservación de aguas y suelos, EIAS, el que procesa una serie de variables biogeofísicas, que permiten elaborar el diseño de construcción óptimo para zanjas de infiltración (figura 1).

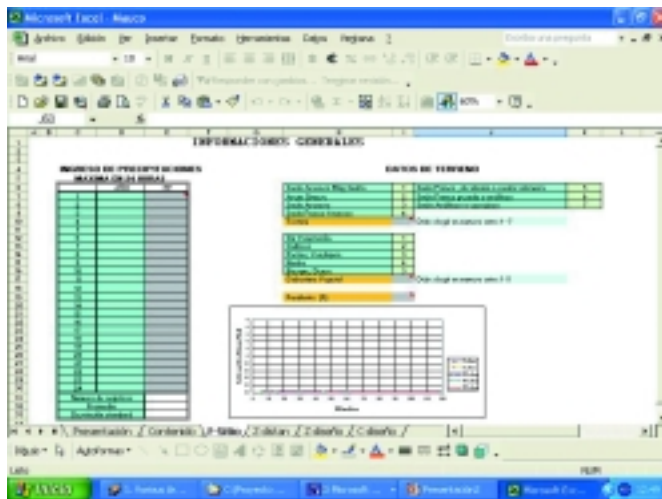


Figura 2. Presentación del Programa Mauco

Asimismo, existen otros planteamientos de diseño, que consideran a la intensidad de precipitación, como un elemento fundamental en el diseño de una zanja de infiltración. Así, el ingeniero forestal Mauricio Lemus Vera, elaboró en el año 2003 un programa computacional, a partir de las aplicaciones de Microsoft Excel, denominado «MAUCO» (figura 2), el cual se fundamenta en la incorporación de un diagnóstico del área degradada; la toma de datos de terreno; la pluviometría; las características de suelos, relieve-área de mitigación y la cobertura vegetal; y el diseño de las zanjas de infiltración con el análisis de la precipitación (Lemus, 2003)

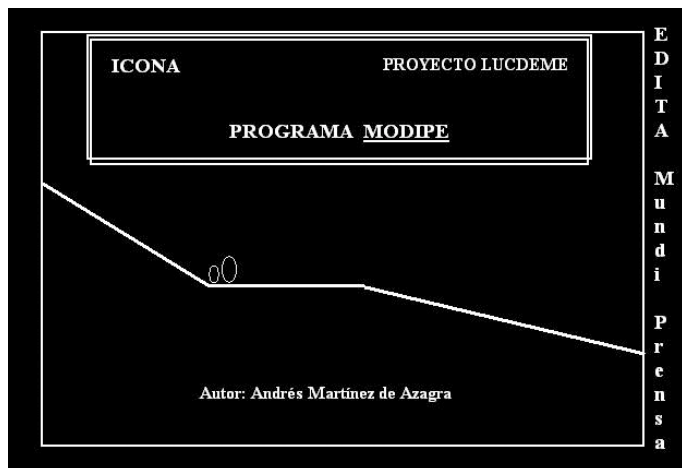


Figura 3. Presentación del programa MODIPE

Por otra parte, el Dr. Andrés Martínez de Azagra (Universidad de Valladolid, España), desarrolló un modelo computacional «MODIPE» que permite determinar la disponibilidad hídrica o infiltración en un punto de una ladera, la cual se determina por un aguacero aislado o por una serie de aguaceros, como también a nivel anual (figura 3). 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. Como resultado final se obtiene la cantidad de agua, en litros por metro cuadrado de superficie, disponible en un punto de la ladera, tanto si es un punto favorecido como desfavorecido a acumular e infiltrar agua, por razones intrínsecas y/o de contorno (Martínez de Azagra, 1996).

Diseño hidrológico de zanjas de infiltración

El diseño de las obras de conservación y aprovechamiento de suelos y aguas, debe considerar previamente cuatro conceptos hidrológicos; el periodo de retorno, las curvas intensidad-duración-frecuencia, la velocidad de infiltración de los suelos, y el coeficiente de escorrentía, para así diseñar las obras que favorecen la infiltración de aguas lluvias en condiciones desfavorables. Esta situación permite trabajar con un margen de seguridad, el cual minimiza el riesgo de que las obras sean sobrepasadas, de tal manera que permitan diseños confiables y efectivos para la ingeniería hidrológica.

Asimismo, este diseño de zanjas de infiltración debe atender fundamentalmente a los dos criterios (Pizarro *et al*, 2004):

- a) El espaciamiento entre zanjas debe ser tal que permita un control adecuado de la erosión.
- b) La capacidad de captura de agua de las zanjas debe permitir el almacenaje de un determinado volumen de escorrentía producido por la lluvia.

Prácticas tradicionales en otros países

Son muchas las prácticas que ha inventado el ser humano para manejar, cultivar y/o forestar las laderas. En países como Canadá, Reino Unido, Australia y Estados Unidos (USA), la incorporación de técnicas de conservación están basados en la introducción de tecnologías mecanizadas y automatizadas para la preparación del suelo. Así, las condiciones del tipo de suelo, de la pendiente del terreno y del drenaje dictarán el método más conveniente de forestación. Algunos de los sistemas usados son los siguientes:

(a) Mounding (Hoyadura con camellón)



Preparación del suelo que consiste en la retroexcavación u hoyadura con la formación de camellones. La forma del cubo del excavador influencia sobre la medida del foso; generalmente, cuanto más estrecho es el diámetro del cubo del excavador, más estrecho es el foso y más cercano están los camellones.

(b) Scalping (Raspaje)



Trabajo mecánico de la preparación del suelo hecho con una lámina de acero que quita la vegetación no deseada cortando y pelando detrás la capa superior del piso mineral del suelo y del bosque.

(c) Ripper (Rotura de suelo)



Preparación del suelo mediante un skidder o una niveladora equipada de uno o más dientes pesados, para romper el suelo compactado o con presencia de costras impermeables (hardpan) y de tocones.

(d) Subsoiling (Subsolado)



Rotura el suelo sin invertirlo y con un mínimo de mezcla con el horizonte superficial, para romper las capas densas por debajo de la profundidad normal de arado, que impiden el movimiento del agua o el desarrollo radical.

Fotografía 1. (a) Maquinaria de preparación de sitios (Bracke); (b) Maquinaria de preparación de suelo (Scalping); (c) Ripper para la preparación de suelo para zonas de reforestación; (d) Faenas de Subsolado para reforestación (Canadá).

Fuente: www.for.gov.bc.ca/hfp/pubs/silvman/siteprep/2-Mech-06.htm

En países de Latinoamérica como Perú, para el caso de las laderas del espacio cajamarquino, que corresponde al bosque seco montano bajo y al bosque espinoso subtropical, se aplicaron las siguientes prácti-

cas conservacionistas: acequias de infiltración; andenes o terrazas agrícolas; muros de contención y diques para el control de cárcavas; y sistemas de uso del agua de escorrentía de carreteras.

Entre los resultados más importantes de esta investigación, destaca la recomendación de construir zanjias de infiltración, al pie de cada terraza, como una técnica para la captación del agua de escorrentía. Asimismo, esta investigación recopiló informaciones de costos y rendimientos de trabajo, para cada tipo de suelo seleccionado. Según el cuadro 1, los costos de construcción pueden disminuir si las obras se efectúan en época lluviosa, pudiéndose reducir los jornales hasta en un 30 ó 40%. Por otro lado, la mayor eficiencia del trabajo dependerá de la calidad de las herramientas que se utilicen.

Cuadro 1. Costo de zanjias de infiltración en jornales

Costo por Km	Tipo de suelo	Sección
350 a 380 jornales	Cascajo arcilloso	40 x 35 cm
330 a 350 jornales	Traquita dura y roca sedimentaria en proceso de desintegración	40 x 35 cm
125 a 140 jornales	Traquita semi-dura y suelos pedregosos producto de la desintegración de estratos sedimentarios suelos arcillosos	40 x 35 cm
85 a 100 jornales	Traquita suelta y suelos franco arcillosos	40 a 35 cm

Fuente: <http://www.ciedperu.org/cendoc/terrazza/terrazza1.htm>

Cabe destacar que la cobertura vegetal en las zonas tratadas con zanjias de infiltración se incrementó de 10 a 40% en tres años. Así, en el Parque Demostrativo Aylambo, en años lluviosos con 750 mm/año, la cobertura vegetal herbácea que inicialmente abarcaba menos del 10% del área tratada, se incrementó después al 70%.



Fotografía 2. Construcción de zanjias de infiltración (Perú)

Fuente: www.ciedperu.org/cendoc/terrazza/terrazza1.htm

Si bien estas construcciones requieren mucha mano de obra, existen otras más baratas, que se caracterizan por ser discontinuas y ser empleadas para la forestación.

En Argentina, con más de 800.000 hectáreas forestadas, la agroforestería se efectúa con los conocimientos básicos y las técnicas utilizadas en otros países. Su asentamiento y adaptación por parte de los productores, además del reconocimiento y valorización de los beneficios de estos modelos de producción, adquieren un grado de importancia y tratamiento institucional recién a partir de fines de la década del 70. Actualmente, las empresas forestales han incorporado a las prácticas silviculturales la maquinaria forestal y tractores D-6 y D-8, a los trabajos de preparación del suelo.

En Uruguay, con una superficie aproximada de 200.000 hectáreas con plantaciones forestales, las tecnologías innovadoras se han dado gracias al auge de las actividades de forestación y reforestación, y al desarrollo de prácticas de manejo combinado, tales como praderas naturales, mejoradas o artificiales y cultivos anuales, con plantaciones forestales de especies de rápido crecimiento. Asimismo, la técnica con mayor impacto en la agricultura es el subsolado.



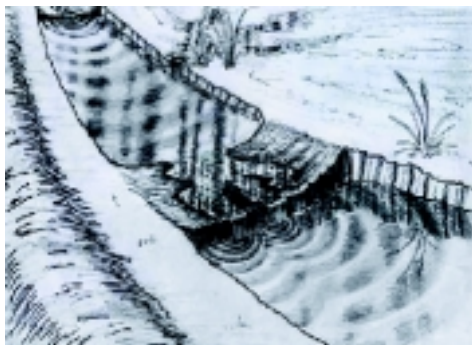
Fotografía 3. Zanjas de Infiltración con agua almacenada (Bolivia)

Fuente: www.jalda-bolivia.org/documen.html

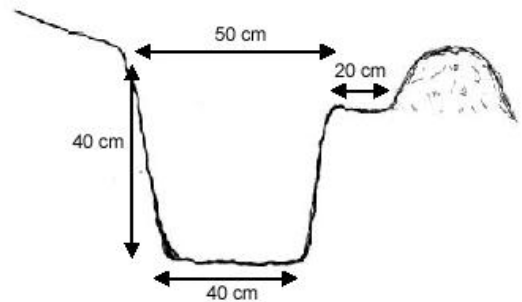
En Bolivia, el proyecto JALDA en la ciudad de Sucre, ha permitido masificar las zanjas de infiltración como una de las técnicas de conservación de aguas y suelos más utilizada por los agricultores, en laderas descubiertas de vegetación. Las zanjas son excavadas sobre el terreno, siguiendo las curvas de nivel. Su propósito principal es interceptar y acumular el agua de escurrimiento (Proyecto Jalda, 2002).

La serie de zanjas que conforman la zanja de infiltración están conectadas entre sí por una especie de tabique bajo, el cual facilita el paso del agua entre una y otra zanja, cuando una de ellas se ha llenado. Por tal característica, el conjunto de zanjas de infiltración dispuestas a lo largo de una línea o curva de nivel, se considera más bien como una sola unidad, antes que como unidades individuales.

Normalmente cada zanja de infiltración (figura 4), tiene las siguientes dimensiones: largo = 2 m; profundidad = 0,4 m; ancho en la base = 0,4 m y ancho en la superficie = 0,5 m.



(a)



(b)

Figura 4. (a) Cuando las zanjas se llenan el agua pasa por encima del tabique; (b) Dimensiones de las zanjas y lugar de depósito de la tierra excavada

Fuente: www.jalda-bolivia.org/documen.html

Después de validar las zanjas de infiltración durante dos años dentro de las parcelas agrícolas, se pudo constatar que esta práctica es más importante en el control del escurrimiento y en la reducción de la erosión hídrica, que en brindar humedad a los cultivos. Los resultados que se obtuvieron en las parcelas de investigación respecto al rendimiento de los cultivos, no muestran ninguna diferencia en favor de los tratamientos con zanjas, en cambio, fue muy notoria la disminución de los síntomas de erosión hídrica por efecto de las zanjas. Esto se evidenció por la gran acumulación de sedimentos dentro de las zanjas durante el primer año, el mismo que disminuyó notablemente en el segundo año de investigación.

Finalmente, en Chile, la práctica de construir zanjias de infiltración está culturalmente internalizada en la empresa forestal y progresivamente en los medianos y pequeños propietarios agrícolas y forestales. Así, existe un aumento anual de la superficie con obras de conservación de suelos acogidas a bonificación por el programa de recuperación de suelos de CONAF y SAG. Por ejemplo, según cifras de CONAF, el año 2000 alcanzó un valor de 51,7 hectáreas bonificadas; en el año 2001 la superficie aumentó a 623 hectáreas bonificadas; y al año 2002 esta cifra fue de 2.194 hectáreas bonificadas, cifra que en los años venideros seguirá incrementándose e instaurándose como una práctica tradicional de preparación de suelo para las forestaciones y reforestaciones, principalmente con pino insigne y eucalipto.

En este marco, el libro «Revisión y Análisis de Prácticas Tradicionales para la Conservación de Aguas y Suelos en zonas áridas y semiáridas de Chile central», que es uno de los primeros frutos concretos 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», bajo el auspicio del Fondo de Desarrollo e Innovación de CORFO, contiene una completa revisión de los distintos tipos de obras utilizadas en el país, entre las regiones de Coquimbo y norte de la Región del Bío-Bío. En él se pasa revista a los esfuerzos desarrollados en las diversas zonas estudiadas del país, los contextos históricos y económicos que le dieron vida, sus costos y los requerimientos que han demandado, junto a una serie de conclusiones que se desprenden del análisis efectuado (figura 5).



Sector	Año	Costo (\$/m ³)	Rendimiento (m ³ /j)
Cerro Pajaritos (IV)	1997	3.350	2,7
Cerro Pajaritos (IV)	2001	2.819	2,7
Cuesta Cavilolén (IV)	1996	5.144	3,2
Cuesta Cavilolén (IV)	1997	3.219	3,2
Cuesta Cavilolén (IV)	1998	2.800	3,2
La Muñozana (IV)	1997	2.422	1,8
El Sauce (IV)	1998	5.178	1,1
Alto Loica (RM)	1993	s/i	1,4
Cabeceras (VI)	2000	2.404	2,2
Sierras de Bellavista (VI)	2000	5.732	0,9
Lagunillas (VI)	2002	2.833	3,6
El Hoyo (VII)	2000	5.840	3,3
La Puntilla (VII)	2000	6.586	s/i
Los Rábanos (VII)	2000	2.250	3,3
Matancilla (VII)	2000	3.980	3,1
Santa Sofía (VIII)	2002	2.129	5,9
Tomeco-Lircay (VIII)	2000	7.010	2,2
Santa Isabel (VIII)	2000	3.386	4,3

m³/j: metros cúbicos por jornal

Figura 5. Algunas experiencias con zanjias de infiltración en Chile central

Al analizar gran parte de las obras llevadas a cabo en el país (periodo 1998 - 2004), dirigidas a la conservación de aguas y suelos, surge la pregunta acerca del diseño a que son sometidas estas obras. Éste debe incluir aspectos ligados a la ingeniería hidrológica y a la ingeniería de suelos, derivado de que la erosión y sus procesos de cárcavas, movimientos en masa, erosión de manto, torrentes sin control, etc., están determinados por el comportamiento de las precipitaciones y específicamente de la intensidad de éstas, por una parte; y a la proporción de escorrentía superficial que se genera en un suelo como producto del proceso precipitación-escorrentía. No obstante, estas prácticas no han sido masivamente incorporadas, a excepción de ciertas áreas de actuación de la Corporación Nacional Forestal (CONAF), como la Región del Libertador Bernardo O'Higgins.

Por su parte, de la figura 5, que muestra una serie de experiencias revisadas con zanjas de infiltración, se puede deducir que el costo promedio de construcción de zanjas, analizado en base al volumen de tierra removido en metros cúbicos (m^3), alcanzó un valor de 3.883 $\$/m^3$. Este monto dista bastante del costo establecido por la tabla de costos de CONAF, del año 2003 con un costo mínimo estandarizado de 29.125 $\$/m^3$, respondiendo a una configuración geométrica de la zanja con base, altura y ancho igual a 0,2 m. Asimismo, se verificó que los costos de construcción más bajos corresponden a trabajos realizados con programas de absorción de mano de obra y que, valores de costos y rendimientos altos, se encontraron en sectores productivos de propiedad privada (Santa Sofía - Forestal Celco S.A.- VIII Región). En cuanto al rendimiento en metros cúbicos por jornada, los valores registran un promedio de 3,3 m^3/j , con un mínimo, que se encuentra en Sierras de Bellavista (VI Región) con un rendimiento bajísimo de 0,9 m^3/j , y un máximo, que se registró en Santa Sofía (VIII Región) igual a 5,1 m^3/j . De esta forma, las diversas experiencias indicaron que los rendimientos son disímiles entre cada sector, resultando ser más sensibles, al parecer, a la capacitación de los trabajadores en este tipo de obra, las condiciones del terreno y las condiciones contractuales.

Asimismo, cabe mencionar que para el año 2005, CONAF aumentó las dimensiones mínimas exigidas legalmente, en función de un mayor aprovechamiento hídrico, la conservación de suelos y una optimización de los recursos financieros definidos en el otorgamiento de bonificaciones, estipulados en la ley 19.561. Por ello, sería muy ventajoso en el futuro, incorporar los elementos matemático-hidrológicos que permitan acercarse a una mayor optimización económica y ambiental de los recursos disponibles.

Finalmente, Chile se ha destacado por los enormes esfuerzos por disminuir los efectos de los procesos erosivos en terrenos potencialmente productivos, y pretende además, alcanzar mayores niveles de productividad agrícola y silvícola, que le permitan cumplir con las exigencias comerciales, ambientales y legales del mercado exterior. Tales esfuerzos se han podido llevar a cabo por la ejecución de políticas y programas de incentivos gubernamentales y del interés investigativo en la temática del aprovechamiento de aguas y suelos que realizan tanto las Universidades, centros tecnológicos y las instituciones de gobierno (CONAF, CIREN, SAG, INFOR, INIA y CONAMA), que han permitido lograr e incorporar avances y productos tecnológicos a las diferentes actividades agroforestales.

Proyecto EIAS - Chile

A partir del año 2002, la Sociedad EIAS Ltda., ejecuta el proyecto FDI - CORFO «Determinación de estándares de ingeniería en obras de conservación y aprovechamiento de aguas y suelos para la mantención e incremento de la productividad silvícola», que pretende contribuir a un mayor y mejor conocimiento de las obras de conservación y aprovechamiento de aguas y suelos, con ingeniería de diseño, para incrementar la productividad de los suelos de aptitud forestal del territorio árido y semiárido de Chile (figura 6), utilizando estándares específicos para tres tipos de obras que se estudiarán, a saber, zanjas de infiltración, subsolado y canales de desviación.



Figura 6. Impacto del proyecto EIAS

A través de este proyecto, se pretende también generar un marco de actuación más participativo, técnico y geográfico, que permita una implementación amigable de estas técnicas, en términos económicamente factibles y que favorezca formas de trabajo ecológicamente sustentables.

Ensayos experimentales

El proyecto EIAS contempló la evaluación de 7 módulos experimentales implementados con plantaciones de *Pinus radiata* (D.Don), los cuales están asociados al diseño y construcción de zanjas de infiltración, con el fin de conocer el impacto productivo de éstas, en términos de prendimiento, crecimiento y desarrollo de las plantaciones. Para ello, se establecieron distintos diseños experimentales con el propósito de inferir la veracidad de un conjunto de hipótesis y el alcance de los resultados, de acuerdo al comportamiento de cada uno de los tratamientos implementados. El cuadro 2, muestra los ensayos con zanjas de infiltración del Proyecto EIAS, ubicados en el secano costero e interior de Chile central.

Cuadro 2. Técnicas de conservación de aguas y suelos, por ensayo (Diseño hidrológico de zanjas de infiltración)

Ensayo	Región	Técnica a estudiar
Pumanque	VI	Zanja de infiltración
Hidango	VI	Zanja de infiltración y Subsulado
Name	VII	Zanja de infiltración
Parrón	VII	Zanja de infiltración y Subsulado
Botacura	VII	Zanja de infiltración y Subsulado
Llohué	VIII	Zanjas de infiltración.
Manzanares	VIII	Zanja de infiltración y Subsulado

i. Pumanque, Propietario Particular, VI Región

Corresponde a un lomaje suave con un relieve más o menos regular; su pendiente media es 15%, con una exposición Oeste. Su uso anterior era pastoreo extensivo. Su cubierta es de especies herbáceas, sin presencia de arbustos. El ensayo consta de dos tratamientos, con una repetición cada uno, más dos parcelas testigo, es decir, sin tratamiento (figura 7). La exposición de los ensayos es: zanjas tipo 1 y zanjas tipo 2 exposición Oeste, con una pendiente del 15%. El diseño del ensayo es el siguiente:

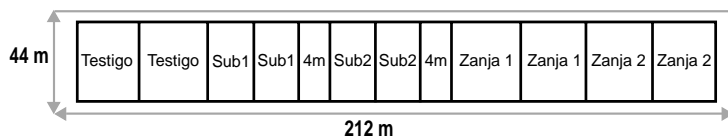
- Diseño hidrológico zanjas tipo 1:** 20 cm de base y 30 cm de altura y con 4,5 m de distancia entre líneas de zanjas.
- Diseño hidrológico zanjas tipo 2:** 30 cm de base y 30 cm de altura y con 6,5 m de distancia entre líneas de zanjas.



Figura 7. Diseño ensayo Pumanque

ii. Hidango, INIA-Hidango, VI Región

El predio es de uso agropecuario. Su cubierta es de especies herbáceas y algunos ejemplares de zarzamora. El relieve corresponde a un lomaje suave y bastante regular; su pendiente media corresponde al 16% con una exposición Noroeste. El ensayo consta de cuatro tratamientos, con una repetición cada uno, más dos parcelas testigo, es decir, sin tratamiento (figura 8). La exposición de todos los tratamientos es Noroeste, y una pendiente promedio de 16%. El diseño del ensayo es el siguiente:



Sub 1: Subsulado 1; Sub 2: Subsulado 2

Figura 8. Diseño ensayo Hidango

- Diseño hidrológico zanjas tipo 1:** 20 cm de base y 30 cm de altura y con 4 m de distancia entre líneas de zanjas.
- Diseño hidrológico zanjas tipo 2:** 30 cm de base y 30 cm de altura y con 6 m de distancia entre líneas de zanjas.

iii. Name, Propietario Particular, VII Región

Este predio corresponde a una pradera con cubierta herbácea y algunos arbustos, principalmente espino. El uso anterior del predio fue pastoreo. Su pendiente media es de 13% con exposición Norte. El ensayo consta de dos tratamientos, con una repetición cada uno, más dos parcelas testigo, es decir, sin tratamiento (figura 9). La exposición de los tratamientos es: zanjas tipo 1 y zanjas tipo 2 exposición Norte y una pendiente media de 13%.

- Diseño hidrológico zanjas tipo 1:** 20 cm de base y 30 cm de altura y con 4 m de distancia entre líneas de zanjas.
- Diseño hidrológico zanjas tipo 2:** 30 cm de base y 30 cm de altura y con 6 m de distancia entre líneas de zanjas.

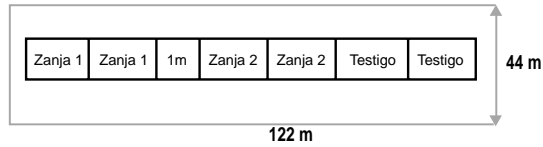
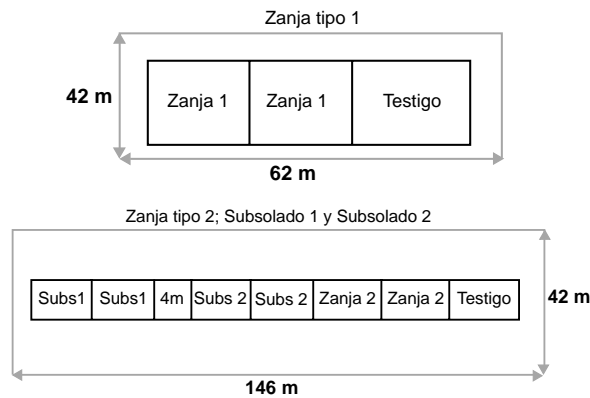


Figura 9. Diseño ensayo Name

iv. Botacura, Bosques de Chile S.A., VII Región

Este predio pertenece a Bosques de Chile S.A. y el lugar de ensayo presentaba una plantación de pino insigne adulto que fue aprovechado durante el año 2001. El ensayo se encuentra dividido en dos módulos cercanos entre sí, y ambos al lado del camino interior del predio, en la parte media baja de un cerro; uno con exposición Oeste (subsulado y zanjas) y el otro más pequeño con exposición Norte (zanjas). El ensayo consta de cuatro tratamientos, con una repetición cada una, más dos parcelas testigo, es decir, sin tratamiento (figura 10). La exposición de los tratamientos es: zanjas tipo 1 exposición Oeste; zanjas tipo 2, subsulado 1 y subsulado 2 exposición Norte-oeste. El diseño del ensayo es el siguiente:

- Diseño hidrológico zanjas tipo 1:** 20 cm de base y 30 cm de altura y con 9 m de distancia entre líneas de zanjas.
- Diseño hidrológico zanjas tipo 2:** 30 cm de base y 30 cm de altura y con 13 m de distancia entre líneas de zanjas.



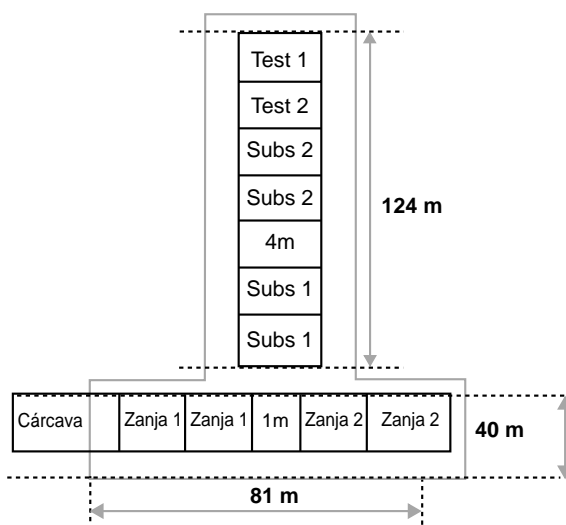
Subs: Subsulado 1; Subs2: Subsulado 2

Figura 10. Diseño ensayo Botacura

v. Parrón, Bosques de Chile S.A., VII Región

Este predio pertenece a Bosques de Chile S.A., y al igual que el anterior fue explotado durante el año 2001. El ensayo se encuentra al lado del camino interior del predio, en la parte media alta de un cerro, con una exposición Noreste y una pendiente media de 20%. El ensayo consta de cuatro tratamientos, con una repetición cada una, más dos parcelas testigo (figura 11). La exposición de los tratamientos es: zanjas tipo 1 y zanjas tipo 2 exposición norte y subsulado 1 y subsulado 2 exposición oeste. El diseño del ensayo es el siguiente:

- Diseño hidrológico zanjas tipo 1:** 20 cm de base y 30 cm de altura y con 9 m de distancia entre líneas de zanjas.
- Diseño hidrológico zanjas tipo 2:** 30 cm de base y 30 cm de altura y con 13 m de distancia entre líneas de zanjas



Subs 1: Subsulado 1; Subs 2: Subsulado 2

Figura 11. Diseño ensayo Parrón

vi. Llohué, Terranova S.A., VIII Región

Este predio fue explotado durante el año 2001, de una plantación de pino insigne adulto. El ensayo se encuentra al lado del camino interior del predio, en la parte alta de un cerro, con una pendiente media del 22% y exposición Noroeste. El ensayo consta de dos tratamientos, con una repetición cada una, más dos parcelas testigo (figura 12). La exposición de todos los tratamientos es Noroeste con una pendiente media de 22%.

Diseño hidrológico zanjas tipo 1: 20 cm de base y 30 cm de altura y con 9 m de distancia entre líneas de zanjas.

Diseño hidrológico zanjas tipo 2: 30 cm de base y 30 cm de altura y con 13 m de distancia entre líneas de zanjas.

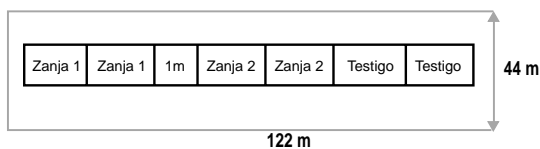


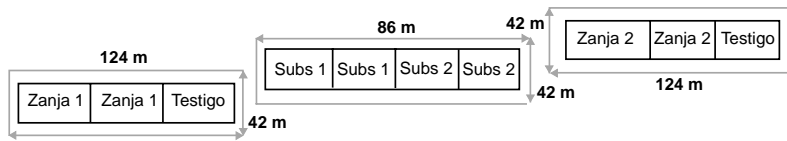
Figura 12. Diseño ensayo Llohué

vii. Manzanares, Bosques Villanueva Ltda., VIII Región.

Este predio históricamente ha sido usado para la siembra de trigo, correspondiendo a un lomaje suave con exposición noroeste y pendiente media de 20%. Está dividido en tres módulos y se estudió el diseño de zanjas de infiltración y subsulado. El ensayo consta de cuatro tratamientos, con una repetición cada una, más dos parcelas testigo (figura 13). Todos los ensayos poseen exposición Noroeste y pendiente media de 20%. De igual forma, se realizaron dos tipos de subsulado, los cuales se diferenciaron exclusivamente por el distanciamiento entre líneas de subsulado.

Diseño hidrológico zanjas tipo 1: 20 cm de base y 30 cm de altura y con 4.5 m de distancia entre líneas de zanjas

Diseño hidrológico zanjas tipo 2: 30 cm de base y 30 cm de altura y con 6,5 m de distancia entre líneas de zanjas.



Subs 1: Subsulado 1; Subs 2: Subsulado 2

Figura 13. Diseño ensayo Manzanares

A continuación, las fotografías 4, 5, 6, 7, 8, 9 y 10, muestran los distanciamiento óptimos generados a partir del diseño hidrológico, para el establecimiento de las líneas las zanjas de infiltración, asociadas a la plantación de *Pinus radiata* (D.Don).



Fotografía 4. Distanciamiento de zanjas de infiltración en la ladera (Comuna de Pumanque, VI Región)



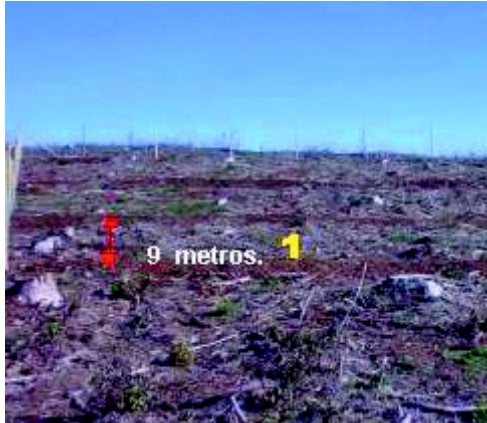
Fotografía 5. Distanciamiento de zanjas de infiltración en la ladera (Comuna de Litueche, VI Región)



Fotografía 6. Distanciamiento de zanjas de infiltración en la ladera (Comuna de San Javier, VII Región)



Fotografía 7. Distanciamiento de zanjas de infiltración en la ladera (San Javier, VII Región)



Fotografía 8. Distanciamiento de zanjas de infiltración en la ladera (Constitución, VII Región)



Fotografía 9. Distanciamiento de zanjas de infiltración en la ladera (Quirihue, VIII Región)



Fotografía 10. Distanciamiento de zanjas de infiltración en la ladera (Ninhue, VIII Región)

Costos y rendimientos de las zanjas de infiltración

A diferencia de los costos señalados en la figura 5, extraídos de las experiencias nacionales revisadas y a los costos de construcción obtenidos en el proyecto EIAS (cuadro 3) en la implementación de los 7 módulos experimentales en el año 2002, éstos valores son más bajos que los establecidos por la tabla de costos de recuperación de suelos degradados de CONAF (www.conaf.cl), para dicho año de construcción, lo que genera una cierta diferencia marginal de costos que incentiva a los forestadores, agricultores, y en especial, a operadores forestales, a incorporar grandes superficies de terreno con la construcción de obras de recuperación de suelos. A continuación, el cuadro 4 muestra los costos y rendimientos de construcción obtenidos en el proyecto EIAS.

Cuadro 3. Costos y rendimientos de construcción de zanjas de infiltración Ensayo

Ensayo	Metros totales construidos de zanjas	Costo (\$/m ³)	Rendimiento (ml/jornal) en zanjas	
			base: 20 cm, altura: 30 cm	base: 30 cm, altura: 30 cm
Pumanque	547	1.428	70	47
Hidango	620	1.104	91	60
Name	620	2.140	47	31
Parrón	328	2.993	33	22
Botacura	328	4.489	22	15
Llohué	328	10.594	14,9	9,9
Manzanares	553	5.710	19	12,6

ml/jornal: metros lineales por jornal

Asociado a lo anteriormente expuesto, se pueden apreciar los distanciamientos óptimos obtenidos bajo los dos tipos de zanjas propuestos en este proyecto de investigación. Junto con ello, la intensidad máxima horaria y la velocidad de infiltración, para cada uno de los siete ensayos, se muestran en el cuadro 4.

Cuadro 4. Resultados del diseño hidrológico de zanjas de infiltración por ensayo

Ensayo	Distanciamiento entre líneas zanjas en metros		Intensidad máxima horaria (mm/h)	Velocidad de infiltración (mm/h)
	zanja tipo 1 (0,2 m)	zanjas tipo 2 (0,3 m)		
Manzanares	4,5	6,5	19,00	72,0
Llohué	9	13	19,00	451,3
Parrón	9	13	15,78	356,0
Botacura	8	11	15,10	300,0
Name	4	6	17,61	20,3
Hidango	4	6	15,78	89,3
Pumanque	4,5	6,5	18,90	38,0

En términos **hidrológicos**, el diseño de las zanjas utilizado en el Proyecto EIAS, el cual incorpora los conceptos de período de retorno, máximas intensidades de precipitación en una hora para series de datos pluviográficos de 20 años, y valores mínimos de velocidad de infiltración de agua en el suelo, ha permitido que las obras intercepten y no sean sobrepasadas de agua. Además, se destaca que el año 2002 fue una excelente prueba de validación, dado que se registraron numerosos eventos con altas intensidades de precipitación, lo que resultó muy beneficioso para corroborar en terreno el óptimo funcionamiento de las zanjas de infiltración.

Asimismo, la validación hidrológica de las obras se realizó con la información entregada por los 6 pluviógrafos instalados en cada uno de los ensayos, y que están acompañados de un extractor de datos (Hobo shuttle). Dicha validación se efectuó durante los meses de octubre del año 2002 a octubre del año 2004, y donde se registraron valores de intensidades horarias de precipitación menores a las utilizadas en

el diseño y construcción de las obras, respondiendo favorablemente las zanjas en el proceso de captura e infiltración de agua. Sin embargo, se detectó un valor de precipitación (16,2 mm/h) registrado en el ensayo de Hidango en el mes de mayo del 2003, pero que está muy cercano a la proporcionada por las curvas IDF de la zona de Litueche VI Región (15,78 mm/h), utilizada como la intensidad de diseño para la construcción de zanjas de infiltración de ese ensayo, lo que no causó daños mayores a la configuración de las zanjas dispuestas en la ladera (Pizarro *et al*, 2004).

En **términos de desarrollo y crecimiento** de las plantas de *Pinus radiata* (D.Don) establecidas en los ensayos de experimentación, los resultados del muestreo al segundo año de establecimiento (cuadro 5), evidencian claramente que los sectores plantados con zanjas de infiltración son mucho mayores a las zonas testigo, excepto en el ensayo Parrón, donde la zona testigo al parecer posee un micrositio (suelo, nutriente) de mejor calidad que pudiese explicar en estos primeros dos años de establecimiento, una leve superioridad en la altura promedio de plantas de la zona testigo por sobre el sector con zanjas de infiltración, ya que las investigaciones llevadas a cabo por Faúndez (2004) sobre crecimiento y desarrollo de plantaciones de *Pinus radiata* (D.Don) en el ensayo Parrón, y de Pavez (2004), sobre una evaluación de los contenidos de humedad y la densidad aparente en suelos con zanjas de infiltración en el mismo ensayo Parrón, no permitieron concluir acerca de las razones edafoclimáticas, ni fisiológicas que provocaron las diferencias entre los crecimientos de las plantas en los sectores con obras de conservación de aguas y suelos y los sectores testigo.

Cuadro 5. Evaluación del crecimiento de las plantaciones de *Pinus radiata* (D.Don), al segundo año de establecimiento

Ensayo	Variable	Testigo	Zanjas tipo 1 base: 20 cm, altura:30 cm	Zanjas tipo 2 base: 30 cm, altura:30 cm
Hidango	Altura	145,7	170,3	196,8
	DAC	3,9	4,5	5,0
Name	Altura	85	110,3	98,7
	DAC	2,4	3,3	2,8
Parrón	Altura	198,5	164,6	160
	DAC	6,6	5,5	5,3
Llohué	Altura	173,3	181	167,2
	DAC	5,2	5,7	5,0
Manzanares	Altura	125	119,9	165,4
	DAC	3,4	3,3	4,5
Pumanque *	Altura	45,3	43,6	42,1
	DAC	1,1	1,1	1,0
Botacura **	Altura	89,2	90,3	74,8
	DAC	2,0	2,0	1,8

DAC: Diámetro a la altura del cuello de la planta

(*) El ensayo Pumanque sufrió un ataque de caprinos, por lo cual fue replantado en el año 2003

(**) El Ensayo Botacura tuvo pérdida total por incendio (marzo/2003), por lo cual se implementó nuevamente el ensayo el 2003

En el cuadro anterior se puede observar la diferencia existente entre los testigos y sus respectivos tratamientos, en que mayoritariamente los últimos presentan mayor desarrollo que los testigos, lo que da cuenta de la efectividad de las obras. En términos absolutos, la zanja de infiltración con base de 20 cm, tiende a tener mayores crecimientos y desarrollos en diámetro de cuello y en altura, que las plantas asociadas a zanjas con base de 30 cm. Esto, porque al tener menor base, el distanciamiento entre zanjas es menor, y así, el proceso de escurrimiento e infiltración en ladera, parece ser más eficiente dado que corta en forma más continua, la línea de energía del agua que escurre por la pendiente.

Consideraciones finales

Se puede afirmar que las técnicas de conservación de aguas y suelos, favorecen el establecimiento y crecimiento de las plantaciones forestales en el secano costero e interior de la zona árida y semiárida de Chile, 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.

Es importante señalar que sobre la metodología empleada puede surgir algún cuestionamiento, hecho totalmente válido, si se considera que no existen vías de solución de problemas totalmente definidos; por ello, lo expresado anteriormente constituye una proposición de diseño hidrológico de una zanja de infiltración, aplicable a las zonas de secano y semiáridas de Chile, la cual en la práctica ha demostrado ser confiable en sus resultados y viable en su aplicación.

Referencias bibliográficas

- CARHUAPOMA, L; PORTUGUÉS, H. 1996. La agroforestería en Perú. Dirección de Manejo Forestal y Reforestación. Instituto Nacional de Recursos Naturales, Perú. Disponible en <http://www.fao.org>.
- CARLSON, P. 1990. Establecimiento y manejo de prácticas agroforestales en la sierra ecuatoriana. Editorial Cormen, Quito - Ecuador. pp. 24-111.
- DONOSO, C. 1981. Ecología forestal. El bosque y su medio Ambiente. Editorial Universitaria S.A., Santiago - Chile, 1990. pp. 153-232.
- 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 para optar al título de Ingeniero Forestal. Universidad de Talca. Chile. 62 p.
- FRANCKE, S. 1999. Manejo del Suelo posible para el desarrollo forestal, del semiárido chileno. Chile Forestal. Documento Técnico N° 127. Julio 1999. 7 p.
- GARCÍA, J. 1999. La erosión Hídrica. Mecanismos modelos. Curso Evaluación y Control de la erosión. 49 p.
- INFORME PAÍS. 2002. Estado del medio ambiente en Chile 2002. Capítulo II: Recursos hídricos. Universidad de Chile. Instituto de asuntos públicos. Chile. 63 - 125 p.
- INIA, 2001. Diagnóstico sobre el estado de degradación del recurso suelo en el país. Boletín INIA N°15. Editores: Claudio Pérez C.; Jorge González U. INIA Chillán, Chile. 190 p.
- LEMUS, M. 2003. MAUCO, Programa para el diseño de obras de conservación de suelos. En Seminario Internacional: Restauración Hidrológico-Forestal para conservación y aprovechamiento de aguas y suelos. 20 y 21 de noviembre. Santiago, Chile. (http://eias.utralca.cl/seminario_internacional.htm).
- MARTINEZ DE AZAGRA, A. 1996. Diseño de sistemas de recolección de agua para la repoblación forestal. Editorial Mundi-Prensa, Madrid, España. 87 p.
- MINTEGUI, J. Y LÓPEZ, F. 1990. La ordenación agrohidrológica en la planificación. Departamento de Agricultura y Pesca del Gobierno Vasco. 306 p.
- 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, VIII y VIII. Tesis para optar al título de Ingeniero Forestal. Universidad de Talca. Chile. 86 p.
- PÉREZ, H. 2001. Evaluación de Productividad de *Pinus radiata* (D.Don) asociada a Zanjás de Infiltración. Llongocura, VII Región del Maule. Tesis para optar al grado de Licenciado en Ciencias Forestales. Universidad de Talca. Chile.
- PIZARRO, R.; SANGÜESA, C.; FLORES, J.; MARTÍNEZ, A.; PONCE, M. 2004. Revisión y análisis de prácticas tradicionales de conservación de aguas y suelos en zonas áridas y semiáridas de Chile Central. Chile. 111 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.
- PROYECTO EIAS. 2002. Proyecto: Determinación de Estándares de Ingeniería en Obras de Conservación y Aprovechamiento de Aguas y Suelos para la Mantención e Incremento de la Productividad Silvícola. FDI-CORFO. Sociedad Estándares de Ingeniería para aguas y suelos. Universidad de Talca. Chile.
- PROYECTO JALDA. 2002. Cartillas de Capacitación en obras de conservación de suelos; Cartilla N° 6 Zanjás de Infiltración. En www.green.go.jp/gyoumu/kaigai/manual/bolivia/03text/spanish/06.pdf. Corporación de Recursos Verdes del Japón (J-GREEN). Sucre. Bolivia.
- SAAVEDRAJ. 1998. Análisis comparativo de técnica de recuperación de suelo 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 para optar al título de Ingeniero Forestal. Universidad de Talca. Chile. 35 p.
- SUÁREZ, F. 1980. Conservación de Suelos. Editorial Instituto Interamericano de Ciencias Agrarias. 3ra Edición. Costa Rica. 315 p.

Internet

Corporación Nacional Forestal

<http://www.conaf.cl>. 2004. Recuperación de suelos degradados; Técnicas de conservación de suelos; Tabla de costos por obra de recuperación de suelos. CONAF. Gobierno de Chile. Chile

Oficina Regional de la FAO para América Latina y El Caribe - CHILE.

Red Latinoamericana de Cooperación Técnica en Sistemas Agroforestales. <http://www.fao.org>

Servicio Agrícola Ganadero

<http://www.sag.gob.cl/framearea.asp?cod=8>. 2004. Sistema de Incentivos para la Recuperación de Suelos Degradados (SIRSD)

Sociedad Estándares de Ingeniería para Aguas y Suelos Ltda.

<http://eias.otalca.cl>. 2002. Experiencias nacionales en obras de conservación de aguas y suelos. Universidad de Talca. Chile.

UNESCO - Programa Hidrológico Internacional

<http://www.unesco.org.uy/phi/bibli.htm>. 2003. Análisis comparativo de las curvas Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF) en 6 estaciones pluviográficas de la VII Región del Maule. Chile

ANEXO

Fotografías ensayos del Proyecto EIAS



Fotografía a. Vista panorámica del Centro Experimental INIA - Hidango



Fotografía b. Disposición de las zanjas de infiltración en el terreno



Fotografía c. Líneas de plantación con zanjas de infiltración

Fotografía 11. Ensayo Hidango, Litueche, Región del Libertador Gral. Bernardo O'Higgins, Chile



Fotografía a. Vista Panorámica de Pumanque



Fotografía b. Señalética del ensayo Pumanque



Fotografía c. Funcionamiento de las zanjas de infiltración

Fotografía 12. Ensayo Pumanque, Pumanque, Región del Libertador Gral. Bernardo O'Higgins, Chile



Fotografía a. Vista Panorámica del predio Name



Fotografía b. Toma de muestra de suelo



Fotografía c. Disposición de las zanjas de infiltración en el terreno

Fotografía 13. Name, San Javier, Región del Maule, Chile



Fotografía a. Vista panorámica del predio Parrón



Fotografía b. Construcción de zanjas de infiltración



Fotografía c. Líneas de zanjas de infiltración

Fotografía 14. Ensayo Parrón, Constitución, Región del Maule, Chile



Fotografía a. Vista panorámica del predio Botacura



Fotografía b. Configuración de una zanja de infiltración



Fotografía c. Funcionamiento de la zanja de infiltración después de una lluvia

Fotografía 15. Ensayo Botacura, San Javier, Región del Maule, Chile



Fotografía a. Panorámica del predio Llohué



Fotografía b. Molde construcción para zanja de infiltración



Fotografía c. Faenas de plantación de *Pinus radiata* (D.Don)

Fotografía 16. Ensayo Llohué, Quirihue, Región del Bío-Bío, Chile



Fotografía a. Panorámica del predio Manzanares



Fotografía b. Medición de la infiltración de agua en el suelo



Fotografía c. Funcionamiento ante eventos extremos (alta intensidad de lluvia)

Fotografía 17. Ensayo Manzanares, Ninhue, Región del Bío-Bío, Chile