

## **Diseño Hidrológico de Zanjas de Infiltración, en el Secano Costero e Interior de las Regiones Semiáridas de Chile**

### **Hydrologic design of infiltration ditches in coastal and dry lands of Chilean semi-arid regions.**

Roberto Pizarro Tapia <sup>\*1</sup>, Juan Pablo Flores Villanelo <sup>1</sup>, Claudia Sangüesa Pool <sup>1</sup>,  
Enzo Martínez Araya <sup>1</sup>, Lastenia León Gutiérrez <sup>1</sup>.

<sup>1\*</sup> Autor de correspondencia: Universidad de Talca, Facultad de Ciencias Forestales, Departamento de Gestión Forestal y Ambiental, Avenida Lircay s/n, Talca, Tel.: 71 – 200375, rpizarro@utalca.cl

Universidad de Talca  
Av. Lircay s/n, Casilla 721 - Talca, Chile.

#### **ABSTRACT**

This research proposes a new hydrologic design for ditches infiltration, in forest tasks of dry zones in central Chile. Thus, 4 plots were evaluated, (Hidango, in O'Higgins Region; Name, in Maule Region; and Llohué and Manzanares, in Bío Bío Region), including 2 types of infiltration ditches, established in May of the 2002, and associated to a plantation of *Pinus radiata*. Each plot has a unit witness, who does not present any type of soil treatment. Two types of ditch infiltration, were differenced in wide; so, one of them showed 20 cm and the other 30 cm, but both with height of 30 cm. The first one was named ditch type 1 and the other ditch type 2.

The reached results validated the application of the new hydrologic design for ditches infiltration, ratified by ditches behavior facing extreme events. Also, ditches showed a greater surviving rate, for *Pinus radiata*, and it is clear in ditch type 1, that defines less distance between ditches. However, into two plots there is evidence that witness showed more biomass than ditches, although it is not always significant from a statistical point of view. Finally, it is necessary to analyze another type of variables in future research, such as nutrition plant or genetic conditions.

**Key words:** infiltration ditch, works hydrologic design.

#### **RESUMEN**

Esta investigación propuso un diseño hidrológico para la construcción de zanjas de infiltración, en faenas forestales del secano costero e interior de Chile central. Así, se evaluaron 4 ensayos, (Hidango, Región de O'Higgins; Name, Región del Maule; y Llohué y Manzanares, Región del Bío Bío), con 2

tipos de zanjas de infiltración, establecidos en mayo del 2002, y asociados a una plantación de *Pinus radiata*, con una unidad testigo, la cual no presentaba ningún tipo de tratamiento de suelos. Los 2 tipos de zanjas de infiltración se diferenciaron en el ancho, es decir, 20 y 30 cm., y ambas con altura de 30 cm, denominándose zanjas tipo 1 y zanjas tipo 2, respectivamente.

Los resultados alcanzados validaron la aplicación de la propuesta de diseño hidrológico de zanjas de infiltración, ratificado por su comportamiento frente a eventos extremos. Asimismo, las zanjas en general favorecieron la sobrevivencia de las plantaciones de *Pinus radiata*, especialmente la tipo 1, que define menores distancias de separación entre zanjas. De igual forma, no siempre pareció manifestarse lo mismo en lo referido a la producción de biomasa en los primeros años, dado que existirían otros factores que sería necesario analizarlos en futuras investigaciones, tales como nutrición de las plantas y selección genética, lo que se manifiesta en que en dos ensayos, la situación testigo fue más favorable en biomasa que la situación con zanjas de infiltración, aunque ello no siempre fue significativo del punto de vista estadístico.

**Palabras clave:** Zanjas de infiltración; diseño hidrológico.

## **INTRODUCCIÓN**

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

En este marco, la construcción de obras para la captura de aguas lluvias (water harvesting en la literatura anglosajona), en particular las zanjas de infiltración, ha permitido proporcionar una técnica adecuada para reducir los actuales índices de desertificación, y también, propiciar el proceso de infiltración de las aguas lluvias bajo condiciones edafoclimáticas desfavorables, tal que permitan el cultivo y/o forestación de zonas de secano (FAO 1994, Boers y Ben-Asher 1982), y la recarga artificial de las napas freáticas.

Existen diferentes estudios ligados al efecto positivo que presentan las zanjas de infiltración, en el objetivo de aumentar la productividad agroforestal en sitios erosionados y/o degradados (Critchley y Siegert 1991). Uno de ellos, es un estudio comparativo entre dos prácticas de conservación, las zanjas de infiltración y el subsolado, el cual determina que la técnica más recomendable son las zanjas de infiltración, ya que mejoran el establecimiento y permiten aumentar los volúmenes de pino insigne

(*Pinus radiata* D.Don.) hasta cuatro veces (con respecto a un sector sin zanjas), a la edad de 7 años en zonas semiáridas del secano costero de la Región del Maule, Chile (Saavedra 1998). Asimismo, Pérez (2001) estudia el impacto de las zanjas de infiltración en zonas de la Región del Maule, Chile, sobre la productividad de bosques establecidos en 2 modalidades, con y sin zanjas de infiltración. El estudio concluye que, el impacto de las zanjas de infiltración se traduce en un aumento promedio de un 61 % de los volúmenes totales de madera, en edades de corta entre 18 y 21 años.

Las zanjas de infiltración, en combinación con plantaciones, no sólo permiten la recuperación de terrenos degradados por procesos de erosión y desertificación, sino que han demostrado la alta eficiencia que presentan tales obras en la captura de humedad, lo que genera un desarrollo más rápido de las plantaciones asociadas a tales obras. Una de las especies más utilizadas en Chile, en conjunto con las zanjas de infiltración, es el *Pinus radiata*, pero también pueden mencionarse especies tales como eucalipto (*Eucalyptus globulus* Labill.), eucalipto rojo (*Eucalyptus camaldulensis* Dehnh.), pimentero (*Schinus areira* L.), molle (*Schinus latifolius* [Gill. ex Lindl] Engler), quillay (*Quillaja saponaria* Mol.), acacio (*Robinia pseudoacacia* L.), aramo australiano (*Acacia melanoxylon* R. Brown), nogal (*Juglans regia* L.) y castaño (*Castanea sativa* Mill.), como parte de proyectos piloto de biodiversidad (Pizarro *et al.* 2004a). Así por ejemplo, Faúndez (2004), citando a Mourgues (1998), plantea una experiencia desarrollada en Chile central con pequeños propietarios forestales, y donde se diseñó una zanja de infiltración de dimensiones reducidas y de fácil construcción, en un terreno de 50 hectáreas. El objetivo de esta experiencia fue mejorar la captura del agua de lluvia en el suelo, con fines de alimentación de las napas subterráneas y de favorecer una plantación de *P. radiata*. Como resultado, las zanjas demuestran ser un método muy barato de control de la erosión y de captación de agua de lluvia, constituyéndose en una opción viable para la forestación de terrenos de alta pendiente.

Entre 1993 y 1998, la Corporación Nacional Forestal (CONAF), Chile, y la Agencia de Cooperación Internacional del Japón (JICA), ejecutan el Proyecto de Manejo de Cuencas CONAF/JICA “Control de erosión y forestación de cuencas hidrográficas de la zona semiárida de Chile”. Este proyecto tiene como propósito el desarrollo y aplicación de técnicas de viverización, forestación y conservación de suelos y aguas, para la recuperación de terrenos degradados por procesos de erosión y desertificación, y entre éstas, se contempla la construcción de zanjas de infiltración. Los resultados del proyecto indican que la combinación de dichas técnicas de control de erosión y de forestación, permiten recuperar en forma sostenible, zonas rurales degradadas y pauperizadas, lo que permite obtener estándares de construcción y costos para el establecimiento de estas técnicas en laderas erosionadas (Pizarro *et al.* 2004a).

En otras experiencias realizadas en América Latina con zanjas de infiltración, se destaca el tratamiento de laderas en Cajamarca, Perú, en zonas de bosque seco montano bajo y de bosque

espinoso subtropical, donde los resultados más importantes, destacan que la cobertura vegetal en las zonas tratadas con zanjas de infiltración se incrementó de un 10 a 40% en tres años; así, en el Parque Demostrativo Aylambo, en años lluviosos con 750 mm/ha/año, la cobertura vegetal herbácea que inicialmente abarcaba menos del 10% del área tratada, se incrementa después al 70%. Por otra parte, las zanjas de infiltración se aplican tanto en zonas de cultivo como en zonas de pastos y especies forestales; así se verifica erosión y desbordamiento de agua en el 19% (zonas de cultivo) y 13% (zonas de pastos y especies forestales) de los casos, lo cual no significa que la práctica en sí no sea efectiva. Probablemente estos problemas ocurren en zanjas que se encuentran muy alejadas entre ellas o son insuficientes en tamaño. En el 16% de los casos el distanciamiento entre zanjas varía de 15 a más de 20 m y en el 84% es de 10 a 15 m. Los resultados muestran que el rendimiento obtenido en pastos y alfalfa, con el empleo de zanjas de infiltración, es mucho mayor que las áreas testigo (Carhuapoma y Portugués 1996). En Bolivia, el proyecto JALDA en la ciudad de Sucre, valida durante dos años la construcción de zanjas de infiltración (con dimensiones de largo: 2 metros; profundidad: 0,40 metros; ancho en la base: 0,40 metros y ancho en la superficie: 0,50 metros), dentro de unas parcelas agrícolas. Así, se puede 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 obtienen 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 evidencia por la gran acumulación de sedimento dentro de las zanjas durante el primer año, el mismo que disminuye notablemente en el segundo año de investigación (Proyecto JALDA 2001).

## **MÉTODO**

En la actualidad, existen diversos planteamientos de diseño y construcción de obras para la captura e infiltración de aguas lluvias (Villanueva *et al.* 1987, Giráldez *et al.* 1988, Hari-Krisma 1989, Cadot 1989, Boers 1994, Martínez de Azagra 1995), las cuales van desde los modelos más simplistas, que determinan una cierta cantidad de metros lineales de zanjas de infiltración por hectárea (CONAF 2005), hasta los modelos más complejos, que incorporan al componente hidrológico en un ambiente de micro relieve y, a la vegetación existente, al diseño de la obra (Martínez de Azagra 2000). Así, los modelos más simples, en general establecen una categorización del proceso de erosión (leve, moderada, grave), y en función de la erodabilidad del suelo, se determina la cantidad de metros lineales de zanjas de infiltración que deben ser distribuidas homogéneamente en la ladera, lo cual no siempre puede optimizar la funcionalidad de la zanja de infiltración, en términos de la captura, infiltración y disponibilidad del agua lluvia, así como, del control del proceso erosivo. Sin embargo, existen

planteamientos que consideran a la intensidad de precipitación; así, Lemus (2003) elaboró un programa computacional, a partir de las aplicaciones de Microsoft Excel, denominado “MAUCO”, el cual se fundamenta en la incorporación de un diagnóstico del área degradada; la toma de datos de terreno, la pluviometría; las características de los suelos, la relación relieve-área de mitigación; y la cobertura vegetal. Con estos elementos se realiza el diseño de las zanjas de infiltración con el análisis de la precipitación (Lemus *et al.* 2003). Por otra parte, Martínez de Azagra (1996) 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. 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. Como resultado final se obtiene la cantidad de agua (en  $l/m^2$ ) disponible en un punto de la ladera. Después de varios años de existencia de dicho programa, se ha constatado la necesidad de incorporar MODIPE a un programa más amplio de diseño de repoblaciones forestales, que no se quede en el dimensionado de algunas técnicas de captura de agua –y no sólo utilizando para este fin el criterio de economía del agua-, sino que trate también otras cuestiones importantes, como por ejemplo, la densidad de plantación (Mongil 2004).

En este marco, surge la pregunta acerca de cómo debería abordarse el diseño de ingeniería de estas obras, el cual debería 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, por una parte; y a la proporción de escorrentía superficial que se genera en un suelo como producto del proceso precipitación-escorrentía. En virtud de lo anterior, esta investigación abordó la aplicación de una metodología alternativa a las existentes en el diseño de zanjas de infiltración en distintos sectores de Chile central.

#### *Definición del área de estudio.*

El área de estudio comprendió al territorio ubicado en el secano costero e interior de Chile central, entre las regiones del Libertador Bernardo O`Higgins, del Maule y del Bío-Bío (figura 1). Allí, se instalaron 4 ensayos experimentales asociados al nuevo diseño y construcción de zanjas de infiltración (cuadro 1), en los cuales se establecieron plantas de *P. radiata*.

#### *Diseño hidrológico de una zanja de infiltración*

El diseño de zanjas de infiltración propuesto, atendió fundamentalmente al espaciamiento entre zanjas, de tal forma que permita un control adecuado de la erosión; asimismo, la capacidad de captura

de agua de las zanjas debe permitir el almacenaje de un determinado volumen de escorrentía producido por la lluvia. En el diseño hidrológico propuesto de zanjas de infiltración, se deben 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 (Pizarro *et al.* 2004b)

Uno de los primeros requerimientos a considerar fue la determinación del periodo de retorno T, el cual está definido como el tiempo que transcurre entre dos fenómenos de las mismas características, el cual se define por la siguiente expresión [1]

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

Donde T: periodo de retorno y F(X): es la probabilidad de que la variable aleatoria, intensidad de precipitación, posea un valor menor o igual a un determinado valor X. Con esto, es posible tener un horizonte de planificación, dentro del cual no debería presentarse un evento con intensidades superiores a la calculada (Pizarro *et al.* 1986). Asociado a lo que se expone, el periodo de retorno para el total de ensayos de este estudio, correspondió a un T = 20 años, el cual se justifica por considerarse este tiempo, como el promedio de rotación en plantaciones de *P. radiata*.

El segundo elemento del diseño, fue la determinación y construcción de las curvas Intensidad-Duración-Frecuencia, IDF, curvas que resultan de unir los puntos representativos de la intensidad media en intervalos de diferente duración, y correspondientes todos ellos a una misma frecuencia o período de retorno (Témez 1978). Para ello, se estudió el comportamiento de series de precipitación (superiores a 20 años de datos), a través de una curva que entrega la intensidad media en función de la duración y la frecuencia (figura 2), y cuya única finalidad fue la de aportar patrones de conducta de las lluvias.

La construcción matemática de las curvas Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF), se realiza, entre otros métodos, según el planteamiento analítico propuesto por Aparicio (1997). Dicho autor plantea la alternativa de obtener una ecuación que genere las curvas IDF a través de un modelo de regresión lineal. Para ello, es necesario relacionar simultáneamente las tres variables en una familia de curvas, para lo cual se utilizó la ecuación [2] propuesta por Aparicio (1997).

$$I = \frac{kT^m}{D^n} \quad [2]$$

Donde k, m y n son constantes de regresión lineal múltiple, T es el período de retorno en años, D la duración en minutos u horas e I la intensidad de precipitación en mm/h.

Así, es posible obtener un modelo de regresión lineal múltiple para cada zona en que existe una estación pluviográfica. La calidad de la regresión, se verificó al analizar ciertas medidas de bondad de ajuste, las cuales corresponden a algunas de regresión no paramétrica, como el coeficiente de determinación  $R^2$  y la prueba U de Mann-Whitney (Gujarati 1992). Si en la zona no se cuenta con estaciones pluviográficas cercanas, es posible aplicar el método K, propuesto por Pizarro y Abarza (2002), el cual permitió extrapolar las intensidades de precipitación para diversas duraciones horarias, desde estaciones pluviográficas, hacia estaciones pluviométricas cercanas. Para ello, el método considera intensidades máximas de precipitación en mm/h, para distintos períodos de retorno, entregándose la relación entre la intensidad de precipitación en 1,2,4,..., 12 h, y la intensidad de 24 h, definida como  $K = I_i / I_{24}$ , donde  $I_i$  corresponde a la intensidad para la duración  $i$  e  $I_{24}$  la intensidad de lluvia para 24 horas. Ello, porque la precipitación de 24 horas es la que se puede encontrar en las estaciones pluviométricas, que cuentan sólo con pluviómetro; así, estas relaciones se traspasan desde la estación pluviográfica a la pluviométrica y permiten construir las curvas IDF en zonas sin datos horarios menores a 24 horas. En este contexto, el presente estudio utilizó las curvas IDF elaboradas por Pizarro *et al.* (2001).

Por otra parte, un tercer elemento de diseño fue determinar la velocidad de infiltración del agua en el suelo, para cada una de las estaciones experimentales. Para ello se utilizó el método del cilindro. Éste permitió obtener registros de las mediciones, en base a una tabla con distintas alturas de agua en el cilindro, a intervalos periódicos, de modo de contar con intervalos a los 5, 10, 20, 30, 45, 60 y 90 minutos (Gurovich 1985). Para la determinación de la velocidad de infiltración [3] se empleó el coeficiente  $V_i$ , a saber:

$$V_i = \frac{D_h \times 600}{t} \quad [3]$$

Donde,  $V_i$  : Velocidad de infiltración en mm/h;  $D_h$  : Diferencial de altura de agua en cm;  $t$  : Diferencial de tiempo en minutos.

Finalmente, el último concepto aplicado al diseño hidrológico fue el coeficiente de escorrentía (e), el cual se define como la parte de la precipitación que se presenta en forma de flujo de agua superficial en el suelo. Su dimensión varía entre 0 y 1, y está inversamente correlacionado con la capacidad de infiltración, es decir, son superficies impermeables las que tienen el más alto coeficiente de escorrentía. En esta propuesta metodológica, se consideró como recomendable el utilizar valores

altos de coeficientes de escorrentía, con el fin de generar mayores condiciones de seguridad, para así garantizar que la obra no será sobrepasada por las aguas lluvias.

En este marco y considerando los valores estándares de coeficiente de escorrentía que se muestran en la literatura hidrológica (Chow *et al.* 1994, Monsalve 1999), esta investigación propuso que en condiciones de una ladera sobre 15% de pendiente, descubierta de vegetación y con una erosión moderada (Soto 1997), se utilizara un coeficiente igual a 0,9, es decir, se considera que casi la totalidad del agua lluvia precipitada en el suelo escurrió, y con ello, se plantea un margen de seguridad importante frente a eventos de envergadura.

En el contexto de los conceptos hidrológicos, el diseño y la construcción de las zanjas de infiltración debe responder a que la cantidad de agua de lluvia que cae desde la zona de impluvio, debe ser menor o igual a la que capta y a la que absorbe la zanja, en un diferencial de tiempo, es decir, la capacidad de éstas no debe ser sobrepasada por el total de aportaciones [4] que a ella converjan, a saber:

$$V_{azi} = V_{azz} + V_{azin} \quad [4]$$

Donde,  $V_{azi}$ : Volumen de aportación de la zona de impluvio;  $V_{azz}$ : Volumen de captación de la zona de zanjas;  $V_{azin}$ : Volumen de infiltración.

Las zanjas de infiltración construidas (figura 3), poseen un perfil con  $h$  cm de altura y  $b$  cm de base, mientras que éstas tienen un largo  $l$  variable. El diseño considera además, un rebaje en el borde aguas arriba para facilitar la entrada de agua y evitar la erosión de las paredes.

Por otra parte, las expresiones que definen cada una de las variables de la ecuación [4], son desglosadas a partir de la ecuación [5]

$$V_{azi} = I \times S \times e \quad [5]$$

Donde,  $V_{azi}$ : Volumen de aportación de la zona de impluvio ( $m^3/h$ );  $I$ : Precipitación máxima en una hora;  $S$ : Superficie de impluvio ( $m^2$ );  $e$ : Coeficiente de escorrentía

Se consideró una hora, porque se asumió que ese periodo es suficiente para incorporar eventos de alta intensidad al diseño de las obras; el considerar un valor menor a una hora, como es el caso de 30



minutos, involucra costos que a este tipo de obras le es difícil de asumir desde un punto de vista económico.

Por otra parte,

$$V_{azz} = b \times h \times l \quad [6]$$

Donde,  $V_{azz}$  : Volumen de captación de las zanjas ( $m^3/h$ ; la captación en  $m^3$  se extiende a una hora, para hacer coincidir las unidades);  $b$  : Base de la zanja (m);  $h$  : Altura de la zanja (m);  $l$  : Largo de la zanja (m).

$$V_{azin} = b \times v \times l \quad [7]$$

Donde,  $V_{azin}$  : Volumen de infiltración ( $m^3/h$ );  $b$  : Base de la zanja en metros;  $v$  : Velocidad de infiltración de la zanja (m/h);  $l$  : Largo de la zanja (m).

Asociado a lo expuesto en la ecuación [4] y operando, se obtiene la siguiente expresión para la distancia horizontal entre zanjas [8]:

$$\begin{aligned} V_{azi} &= V_{azz} + V_{azin} \\ I \times S \times e &= (b \times h \times l) + (b \times v \times l) \\ I \times [l \times d] \times e &= (b \times h \times l) + (b \times v \times l) \\ d &= \frac{b \times (h + v)}{I \times e} \quad [8] \end{aligned}$$

El distanciamiento horizontal alcanzado, permite cumplir la condición inicial de que el volumen de aportes de la zona de impluvio, se iguale con la capacidad de captación de la zanja y con la capacidad de infiltración de la misma. Como este distanciamiento es horizontal, debe ser corregido en función de la pendiente. Asimismo, si el distanciamiento horizontal es conocido y fijo, se pueden hacer variar las otras dimensiones, definiendo nuevas alturas y bases, pero manteniendo el principio de igualdad de volúmenes de agua.

A partir de las ecuaciones propuestas, se definieron en los ensayos experimentales, distintos espaciamientos horizontales entre zanjas, en función de las características particulares de precipitación y suelo que cada sitio experimental presentó. Esto se asoció a los dos tipos de zanjas utilizados, zanjas tipo 1 (base de 20 cm y altura de 30 cm), y tipo 2 (base de 30 cm y altura de 30 cm), como se muestra en la figura 3. Asimismo, en los ensayos de experimentación se estableció una zona testigo (sin zanjas

de infiltración), la cual fue plantada para su posterior evaluación, cuyo esquema general se presenta en la figura 4.

*Evaluación matemático-estadística del diseño hidrológico de zanjas*

La evaluación experimental de los resultados obtenidos, se hizo en base a dos variables.

- a) La respuesta hidrológica de las zanjas: el nuevo diseño plantea que frente a eventos extremos, debe cumplirse la condición de que estas obras no deben ser sobrepasadas por el agua de escorrentía que generan los eventos extremos; por tanto, frente a eventos extremos, esa condición debía cumplirse.
- b) El crecimiento y desarrollo de las plantas: el nuevo diseño debiese asegurar un mejor desarrollo de las plantas de *P. radiata*, en sobrevivencia, altura y diámetro de cuello, donde las últimas dos variables quedan enfundadas en la biomasa promedio producida en cada tratamiento y que se expresa mediante el cálculo del índice de biomasa, el cual se obtuvo a partir del indicador de biomasa [9] (Higuera 2004):

$$Biomasa \quad (cm^3) = D^2 \cdot H \quad [9]$$

Donde, D: Diámetro a la altura del cuello (cm); H: Altura total de la planta (cm)

Así, se debió establecer la significancia estadística, a partir de la siguiente prueba de hipótesis a demostrar;

Hipótesis nula                      Ho: No existen diferencias significativas en el crecimiento en altura y diámetro de cuello de plantas de *P. radiata* en sectores plantados con zanjas de infiltración y un sector testigo, sin obras (valor  $p > 0,05$ ).

Hipótesis alternativa              Ha: Sí existen diferencias significativas en el crecimiento en altura y diámetro de cuello de plantas de *P. radiata* en sectores plantados con zanjas de infiltración y un sector testigo, sin obras (valor  $p < 0,05$ ).

## **RESULTADOS**

### *Evaluación hidrológica*

Los distanciamientos óptimos, obtenidos bajo los dos tipos de zanjas propuestos en esta investigación, se pueden apreciar en el cuadro 2, y junto con ello, la intensidad máxima horaria registrada y la velocidad de infiltración para cada uno de los cuatro ensayos.

En términos hidrológicos, el nuevo método de diseño propuesto para las zanjas de infiltración, permitió que las obras interceptasen y no fuesen sobrepasadas por el agua, lo cual se verificó en terreno de forma clara. Además, se destaca que el año 2002, fue una excelente prueba de validación, dado que se registraron numerosos eventos con altas intensidades de precipitación en la zona de estudio, aunque los equipos instalados para tal fin, sólo pudieron entregar información a partir de agosto de 2002. Asimismo, se obtuvieron importantes intensidades de lluvia en los años 2003 y 2004, como se aprecia en el cuadro 3, en donde paralelamente se percibe que las intensidades de diseño en general no fueron sobrepasadas por los valores registrados en terreno, lo que valida el uso de las curvas Intensidad Duración Frecuencia.

Por otra parte, la validación hidrológica de las obras se realizó con la información entregada por pluviógrafos instalados en las zonas de los ensayos, y que están acompañados de un extractor de datos (Hobo shuttle). Dicha validación se efectuó durante los meses de agosto del año 2002 a diciembre del año 2004 (cuadro 3), periodo en el cual se registraron valores de intensidades horarias de precipitación, en general 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 intensidad de precipitación de 16,2 mm/h, registrado en el ensayo de Hidango en el mes de mayo del 2003, que es muy cercano a la información 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. Así, se verificó que las zanjas no fueron sobrepasadas en ningún evento y por tanto se validó la metodología desde un punto de vista empírico.

### *Evaluación del desarrollo y crecimiento de las plantas de *P. radiata*.*

En términos de desarrollo y crecimiento de las plantas de *P. radiata* establecidas en los ensayos de experimentación, los resultados del muestreo, al segundo año de establecimiento, evidenciaron aspectos que en general son favorables al uso de las zanjas de infiltración como obras de conservación de aguas y suelos, las que presentan resultados positivos en el objetivo de un establecimiento eficiente de plantaciones forestales (cuadro 4).

Por otra parte, en la mayoría de los ensayos se pudo observar la diferencia existente entre los testigos y sus respectivos tratamientos (cuadro 4), en que claramente al menos uno de los tratamientos, presentó mayor desarrollo en biomasa que los testigos, lo que da cuenta de la efectividad de las obras. En cuanto a la sobrevivencia, los resultados indicaron que la zona con zanjas de infiltración presentó mayores porcentajes de sobrevivencia que la situación testigo, en cada uno de los ensayos, asegurando que la plantación de *P. radiata* asociada a una zanja de infiltración, es más eficiente que el establecimiento tradicional.

### *Análisis estadístico*

Los resultados obtenidos de las mediciones realizadas a distintos tratamientos con plantas de *P. radiata*, se contrastaron con el test estadístico no-paramétrico de Kruskal-Wallis, para discriminar la presencia de diferencias significativas en dichos tratamientos. De esta forma, fue posible detectar que en todos los casos analizados (valor p es menor a 0,05; cuadro 5), hay evidencias de que existen diferencias significativas entre los tratamientos estudiados (zanjas y la unidad testigo).

En este marco, el rechazo de la hipótesis acerca de la igualdad de las distribuciones poblacionales de las cuales habían sido extraídas las muestras, generó la necesidad de realizar contrastes que determinaran o precisaran entre qué muestras existían las diferencias significativas que rechazaban la hipótesis nula del contraste de Kruskal-Wallis (Cid *et al.* 1990, Montgomery 2004). Así, se podría contar con los elementos básicos para decidir qué técnica de conservación fue la más eficiente para la planta. Por ende y de forma adicional, se utilizó el test U de Mann-Whitney, que es una prueba estadística no paramétrica de comparación de medianas, para cada una de las combinaciones posibles de los tratamientos presentes en cada ensayo, la cual dio como resultado el tratamiento que tiene un mejor efecto en las variables de crecimiento (biomasa).

De acuerdo a los resultados alcanzados, los sectores con plantas de *P. radiata*, habilitados con zanjas, denotaron en la totalidad de los ensayos, una mayor sobrevivencia, predominando la zanja tipo 1, en 3 de los 4 ensayos analizados (cuadro 4). Asimismo, no siempre las zanjas tipo 1 presentaron los mejores resultados que las tipo 2, en lo que respecta a las variables biomasa por hectárea y por árbol. Por último, se apreció que en la zona de Llohué no existía coincidencia en los resultados en biomasa por árbol y por hectárea, como ocurrió en las situaciones restantes y en lo referido a los resultados que alcanzó cada tratamiento.

## **DISCUSIÓN DE RESULTADOS.**

En relación al nuevo diseño hidrológico propuesto para las zanjas de infiltración, la experiencia empírica avala el uso de este método, derivado principalmente que las zanjas no son sobrepasadas por

la escorrentía superficial generada en eventos de alta intensidad en toda la zona de estudio, lo que corrobora la utilidad de un método como el propuesto. Ello es esperable, dado que el método se basa en esquemas lógicos de ingeniería hidrológica y define los distanciamientos entre zanjas en base a variables físicas del lugar, más que a recomendaciones sobre territorios muy amplios. Ello es aún más valorable, si se consideran los resultados obtenidos en otras experiencias de terreno en Chile, en donde los fenómenos de desbordamiento de las obras son muy frecuentes. (Pizarro *et al.* 2004a). Ello fue también notorio en las experiencias de Cajamarca en Perú, (Carhuapoma y Portugués 1996) y los resultados que denotó en Bolivia y en la zona de Sucre, la aplicación de zanjas de infiltración (Proyecto Jalda 2002). No obstante, sería interesante utilizar diseños con intensidades de lluvia para periodos menores a una hora, lo cual es posible de alcanzar con las curvas IDF, aunque indudablemente los costos de construcción se verán incrementados en estas obras, derivado que es necesario evacuar mayores volúmenes de agua de escorrentía y ello incidirá en las dimensiones de las obras. (Pizarro *et al.* 2004b).

Con respecto a los resultados que originaron las plantaciones de *P. radiata*, y los efectos observados en los dos tratamientos, surgen diversos aspectos que deben ser discutidos. Así por ejemplo, si se analiza el porcentaje de sobrevivencia de las plantas, en todos los ensayos, las plantas muestran un mayor porcentaje si se trata de plantas ligadas a zanjas de infiltración y en donde mayoritariamente, a excepción de una situación, es la zanja tipo 1 la que presenta mejores valores que la tipo 2. La única zona en donde las zanjas tipo 2 superan a las tipo 1, es en la zona de Manzanares.

Desde un punto de vista específico para cada ensayo y considerando los valores de biomasa por planta (cuadro 4), se puede plantear lo que sigue. En el ensayo de Hidango, Región de O'Higgins y en el ensayo de Name, Región del Maule, se aprecia que ambos tipos de zanjas superan al testigo, con diferencias significativas y en base los resultados que muestra la prueba U de Mann-Whitney (cuadro 6). En el caso de Llohué y Manzanares, Región del Bío Bío, se da la situación que el testigo es superado por un tipo de zanja. Así, en Llohué la zanja tipo 1 supera al testigo sin diferencias significativas, en tanto que el testigo y las zanjas tipo 1, superan a las zanjas tipo 2 con diferencias significativas. De igual forma, en el caso de Manzanares, las zanjas tipo 2 superan con diferencias significativas al testigo y a las zanjas tipo 1; sin embargo, el testigo y las zanjas tipo 1 no presentan entre ellos diferencias significativas.

Por tanto, se aprecia que en dos de los cuatro ensayos, los dos tipos de zanjas superan al testigo, y en los otros dos ensayos, al menos un tipo de zanja supera al testigo; asimismo, sólo en uno de los dos ensayos el testigo presenta diferencias significativas con un tipo de zanjas, lo que da cuenta de que existen condiciones locales que demandan un mayor esfuerzo de investigación en estas materias con el fin de obtener mayores niveles de certeza en los resultados. Ello, porque no siempre las zanjas de

infiltración parecen superar la situación testigo con respecto a la producción de biomasa, hecho que es similar a lo ocurrido en Bolivia, (Proyecto Jalda 2002), aunque sí denotan ser más efectivas en el control de la erosión y en la sobrevivencia de las plantas.

Por último, las distancias definidas entre zanjas, que son mayores en las zanjas tipo 2 que en las tipo 1, no parecen afectar diferencialmente el desarrollo de las plantas, aunque la sobrevivencia parece verse favorecida por un menor distanciamiento entre zanjas y la generación de un menor movimiento erosivo, al reducir la longitud de la ladera.

## **CONCLUSIONES**

Los resultados alcanzados permiten validar la aplicación de la nueva propuesta de diseño hidrológico de zanjas de infiltración, especialmente por su comportamiento frente a eventos extremos, lo que la diferencia de experiencias previas como las señaladas por otros autores (Giráldez *et al.* 1988, Boers 1994 y Martínez de Azagra 1995). Asimismo, las zanjas en general favorecen la sobrevivencia de las plantaciones de *P. radiata*, aunque no siempre parece manifestarse lo mismo en lo referido a la producción de biomasa en los primeros años, dado que existirían otros factores condicionantes del desarrollo vegetal, que sería necesario analizarlos en futuras investigaciones.

## **AGRADECIMIENTOS**

Investigación financiada por el Proyecto FDI-CORFO No. 00C7FT-08.

Alejandro Troncoso Aguilar. Instituto de Biología Vegetal y Biotecnología (IBVB) de la Universidad de Talca

## **REFERENCIAS**

- Aparicio F. 1997. Fundamentos de Hidrología de Superficie. Balderas, México: Limusa. 303 p.
- Aros V. 1997. Apuntes de Hidrología. Ingeniería Civil. Universidad de Concepción. Concepción. Chile. 25 - 31 p.
- Boers M, J Ben-Asher. 1982. A review of rainwater harvesting. *Agric. Water Manage* 5:145-158.
- Boers M. 1994. Rainwater harvesting in arid and semi-arid zones. ILRI Publications. Wageningen. Holanda.
- Cadot D. 1989. Development of a model for design of water harvesting systems in small scale rainfed agriculture. University of Arizona. U.M.I. Ann Arbor. Estados Unidos.
- Carhuapoma L, H Portugués. 1996. La agroforestería en Perú. Dirección de Manejo Forestal y Reforestación. Instituto Nacional de Recursos Naturales, Perú. Disponible en <http://www.fao.org>.

- Chow V, D Maidment, L Mays. 1994. Manual de Hidrología Aplicada. Santafé de Bogotá, Colombia: Mc Graw-Hill. 584 p.
- Cid L, C Mora, M Valenzuela. 1990. Estadística matemática. Probabilidades e Inferencia Estadística. Universidad de Concepción. Facultad de Ciencias. Departamento de Matemáticas. Chile. 319 p.
- Critchley W, K Siegert. 1991. Water harvesting. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Roma. Italia
- FAO. 1994. Water harvesting for improved agricultural production. Water Reports 3. Food Agriculture Organization of United Nations. Roma. Italia
- Farmer D, M Sivapalan, C Jothityangkoon. 2003. Climate, soil, and vegetation controls upon the variability of water balance in temperate and semiarid landscapes: Downward approach to water balance analysis. *Water Resources research* 39 (2): 1-20
- Francke S. 1999. Manejo del Suelo posible para el desarrollo forestal, del semiárido chileno. *Revista Chile Forestal, Documento Técnico* 127: 7.
- Giráldez J, J Ayuso, A García, J López, J Roldán. 1988. Water harvesting strategies in the semiarid climate of southeastern Spain. *Agricultural Water Management* 14: 253-263
- 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. 433 p.
- Hari-Krishna J. 1989. Modelling the effects of tied-ridging on water conservation and crop yield. *Agric. Water Manage* 16: 87-95.
- Higueras P. 2004. Evaluación del crecimiento en una plantación de *Eucaliptus globulus* Labill con aplicación de fertilizantes solubles por medio del riego por goteo, en dos sitios del valle central de la VIII y IX Regiones. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias Agropecuarias y Forestales. Universidad Católica de Temuco. Temuco. Chile. 58 p.
- INIA (Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias). 2001. Diagnóstico sobre el estado de degradación del recurso suelo en el país. Chillán, Chile. *Boletín INIA* 15:190 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. Disponible en [http://eias.utralca.cl/seminario\\_internacional.htm](http://eias.utralca.cl/seminario_internacional.htm).
- Martínez de Azagra A. 1995. Modelo para la estimación de las disponibilidades en ladera. Tesis Doctoral. E.T.S.I. Montes. Universidad Politécnica de Madrid. Madrid. España.

- Martínez de Azagra A. 1996. Diseño de sistemas de recolección de agua para la repoblación forestal. Editorial Mundi-Prensa, Madrid, España. 87 p.
- Martínez de Azagra A. 2000. Principles for designing endorheic microcatchments. Third International Congress Man and Soil at the Third Millennium, Volume I: 507-520.
- Mongil J. 2004. Desarrollo y aplicación de una metodología destinada al dimensionado de sistemas de recolección de agua para la restauración forestal en zonas áridas. Tesis doctoral de Ingeniero de Montes. Escuela Técnica Superior de Ingenierías Agrarias de Palencia. Universidad de Valladolid. Palencia. España. 381 p.
- Monsalve G. 1999. Hidrología en la ingeniería. 2ª Edición. Editorial Escuela colombiana de Ingeniería. Santafé de Bogotá. Colombia. 377 p.
- Montgomery D. 2004. Diseño y Análisis de Experimentos. Grupo Editorial Iberoamérica. México. 589 p.
- Pérez, H. 2001. Evaluación de productividad de *Pinus radiata* (D. Don) asociado a zanjas de infiltración. Llongocura, VII Región del Maule. Tesis de Licenciatura, Facultad de Ciencias Forestales, Universidad de Talca, Talca, Chile. 72 p.
- Pizarro R, P Novoa. 1986. Determinación de valores probabilísticos para variables hidrológicas En: Elementos técnicos de Hidrología. Corporación Nacional Forestal, Coquimbo, Chile. 78 p.
- Pizarro R., A Abarza, J Flores. 2001. Análisis comparativo de las curvas Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF), en 6 estaciones pluviográficas (VII Región del Maule, Chile). Biblioteca virtual UNESCO. Disponible en <http://www.unesco.org/uy/phi/libros/analisisMaule.pdf>
- Pizarro R, C Sangüesa, J Flores, A Martínez, M Ponce. (2004a). Revisión y análisis de prácticas tradicionales de conservación de aguas y suelos en zonas áridas y semiáridas de Chile Central. Talca. Chile. 111 p.
- Pizarro R, J Flores, C Sangüesa, A Martínez, J García. 2004b. Diseño de obras para la conservación de aguas y suelos. Talca. Chile. 146 p.
- Proyecto JALDA. 2002. Zanjas de Infiltración en: Guía Técnica sobre el estudio de validación de desarrollo, rural participativo basado en la conservación de suelos y aguas. Disponible en [http://www.green.go.jp/gyoumu/kaigai\\_s/manual/bolivia/index.html](http://www.green.go.jp/gyoumu/kaigai_s/manual/bolivia/index.html). Corporación de Recursos Verdes del Japón (J-GREEN). Sucre. Bolivia.
- 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 de Licenciatura. Facultad de Ciencias Forestales, Universidad de Talca, Talca, Chile. 35 p.



- Soto G. 1997. Mapa preliminar de la desertificación en Chile – por comunas. Corporación Nacional Forestal CONAF. Ministerio de Agricultura. Chile. 88 p.
- Témez J. 1978. Cálculo Hidrometeorológico de caudales máximos en pequeñas cuencas naturales. Dirección General de Carreteras. Madrid. España. 111 p.
- Universidad de Chile. 2002. Recursos hídricos. *In* Informe País; Estado del medio ambiente en Chile 2002 Instituto de Asuntos Públicos, Universidad de Chile, Chile. p 63-125.
- Villanueva J, I Sánchez, H Velasco-Molina. 1987. A method to determinate the relation of water harvesting area to planting area on seasonal crops. Symposium on strategies for classification and management of native vegetation for food production in arid zones, Tucson, Arizona. Estados Unidos.

FIGURAS



**Figura 1.** Mapa de ubicación de los ensayos experimentales.

(Proyecto FDI-CORFO: EIAS, Determinación de estándares de ingeniería en obras de conservación y aprovechamiento de aguas y suelos para la mantención e incremento de la productividad silvícola).

**Figure 1.** Location map of the experimental sites in central Chile.

(Project FDI-CORFO: EIAS, Determination of engineering standards in water and soil conservation works for the maintaining and increase of forest productivity).

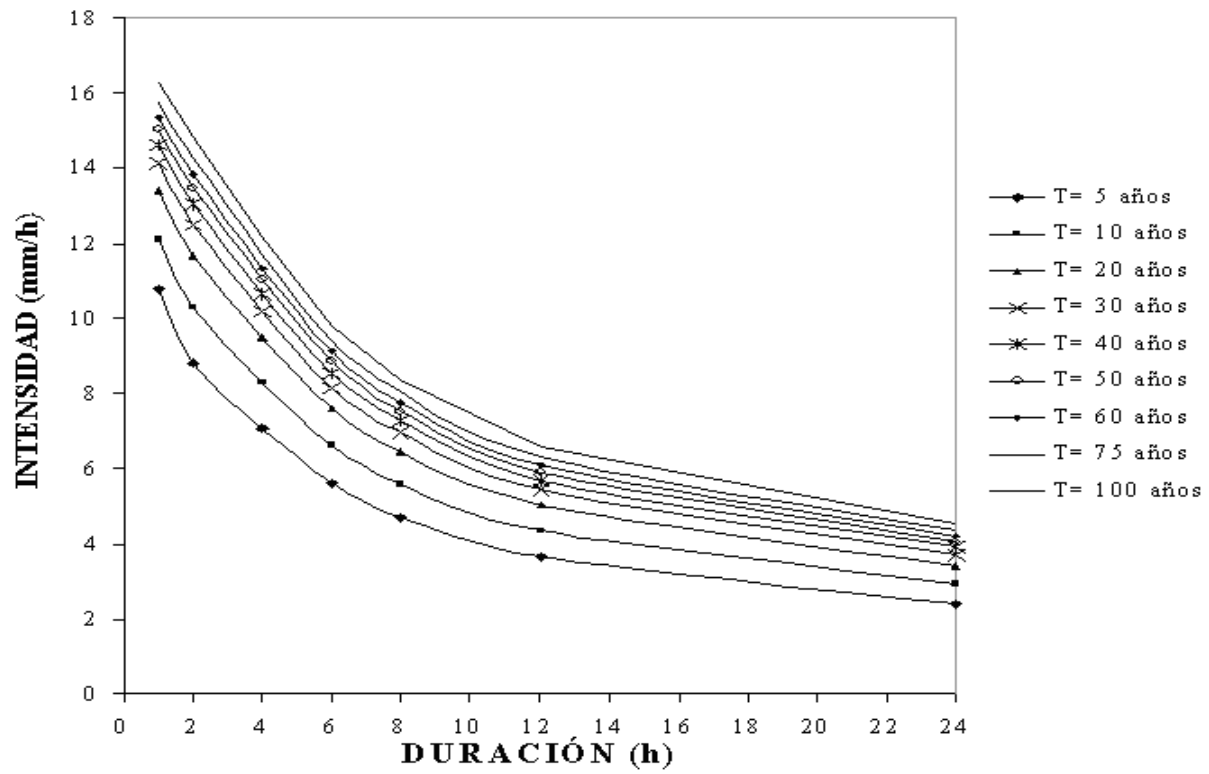


Figura 2. Curva Intensidad-Duración-Frecuencia

Figure 2. Intensity-Duration-Frequency Curve

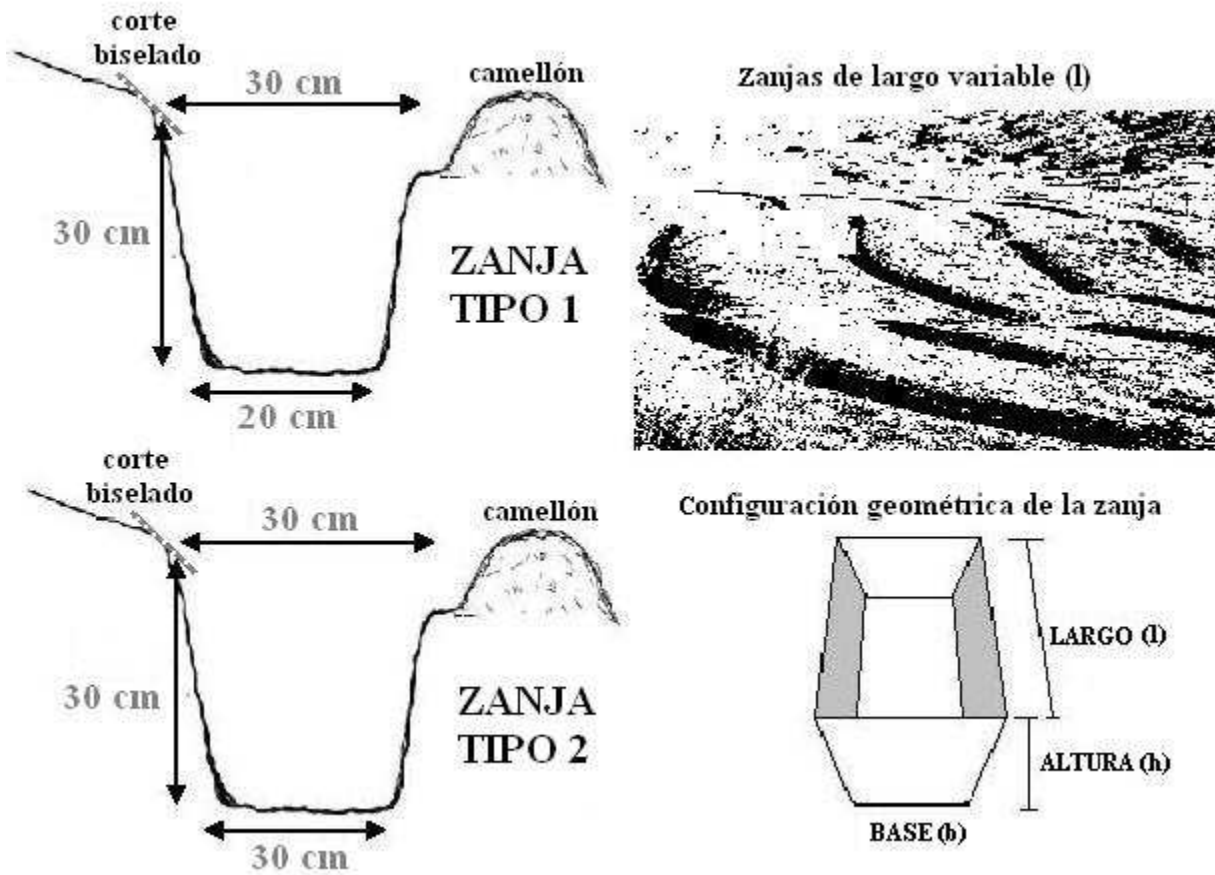


Figura 3. Vista vertical de zanja de infiltración, tipo 1 y 2.

Figure 3. Vertical section view of infiltration ditch, type 1 and 2



**Figura 4.** Esquema del diseño experimental de los ensayos del proyecto EIAS

**Figure 4.** Design of experimental areas in the EIAS project

## CUADROS

**Cuadro 1.** Ubicación espacial de los ensayos con el nuevo diseño hidrológico de zanjas de infiltración

**Table 1.** Location of experimental sites with the new hydrologic design of infiltration ditches

<b>Ensayo</b>	<b>Región</b>	<b>Norte</b>	<b>Este</b>	<b>Altitud m.s.n.m.</b>
Hidango	VI	6222770.638 m	238911.234 m	314.046 m
Name	VII	6041715.657 m	755284.995 m	212.151 m
Llohué	VIII	5979414.180 m	727528.663 m	633.183 m
Manzanares	VIII	5973684.900 m	723466.481 m	97.296 m

**Cuadro 2.** Distanciamiento óptimo entre líneas de zanjas y número de líneas de zanjas dentro de cada ensayo.

**Table 2.** Optimal spacing between the rows of ditches and the number of lines of ditches for each test

<b>Ensayo</b>	<b>Distanciamiento entre líneas de zanjas (metros)</b>		<b>Intensidad máxima horaria de diseño (mm/h)</b>	<b>Intensidad máxima registrada en terreno (mm/h)</b>	<b>Velocidad de infiltración (mm/h)</b>
	Zanja tipo 1 (base 0,2 m)	Zanjas tipo 2 (base 0,3 m)			
Hidango	4,0	6,0	15,78	16,2	89,3
Name	4,0	6,0	17,61	16,2	20,3
Manzanares	4,5	6,5	19,00	9,4	72,0
Llohué	9,0	13,0	19,00	9,4	451,3

**Cuadro 3.** Intensidades máximas de precipitación (mm/h), en cada zona de estudio (2002-2004).

**Table 3.** Maximum rainfall intensity (mm/h), in each zone of study (2002-2004).

<b>Año 2002</b>												
<b>Ensayo</b>	<b>Ene</b>	<b>Feb</b>	<b>Mar</b>	<b>Abr</b>	<b>May</b>	<b>Jun</b>	<b>Jul</b>	<b>Ago</b>	<b>Sep</b>	<b>Oct</b>	<b>Nov</b>	<b>Dic</b>
Hidango	Programación de equipo pluviográfico							9,0	5,2	9,4	1,6	1,4
Name	Programación de equipo pluviográfico							7,4	7,6	13,6	3,0	3,6
Manzanares	Programación de equipo pluviográfico							5,4	6,0	5,4	4,0	1,2
Llohué	Programación de equipo pluviográfico							5,4	6,0	5,4	4,0	1,2
<b>Año 2003</b>												
<b>Ensayo</b>	<b>Ene</b>	<b>Feb</b>	<b>Mar</b>	<b>Abr</b>	<b>May</b>	<b>Jun</b>	<b>Jul</b>	<b>Ago</b>	<b>Sep</b>	<b>Oct</b>	<b>Nov</b>	<b>Dic</b>
Hidango	0,4	0,2	0,2	0,2	16,2	15,0	14,4	0,0	7,2	3,6	10,2	0,8
Name	3,4	0,6	0,2	1,2	8,8	10,0	10,6	3,6	4,2	4,4	10,0	0,0
Manzanares	3,4	0,0	0,2	1,2	8,8	7,0	6,4	0,0	5,0	3,8	5,8	2,6
Llohué	3,4	0,0	0,2	1,2	8,8	7,0	6,4	0,0	5,0	3,8	5,8	2,6
<b>Año 2004</b>												
<b>Ensayo</b>	<b>Ene</b>	<b>Feb</b>	<b>Mar</b>	<b>Abr</b>	<b>May</b>	<b>Jun</b>	<b>Jul</b>	<b>Ago</b>	<b>Sep</b>	<b>Oct</b>	<b>Nov</b>	<b>Dic</b>
Hidango	0,0	0,0	0,6	5,5	7,0	11,8	17	8,6	11,2	6,2	2,2	0,8
Name	0,6	2,8	9,4	4,0	5,0	12,2	7,0	7,0	5,4	3,4	4,4	1,2
Manzanares	0,0	1,6	9,4	6,4	3,6	7,8	5,9	3,8	6,8	5,2	5,8	2,2
Llohué	0,0	1,6	9,4	6,4	3,6	7,8	5,9	3,8	6,8	5,2	5,8	2,2

**Cuadro 4.** Evaluación del crecimiento de las plantaciones de *P. radiata*, al segundo año de establecimiento

**Table 4.** Evaluation of the *P. radiata* growth at the second year of establishment

Ensayo	Tratamiento	Plantas vivas	Porcentaje de sobrevivencia	Biomasa promedio por árbol (cm <sup>3</sup> )	Desviación estándar (cm <sup>3</sup> )	Productividad en biomasa por hectárea (cm <sup>3</sup> )
<b>Hidango</b>	Testigo	101	63,1	2.621,7	± 1780,5	1.654.974,1
	Zanja 1	117	73,1	3.887,3	± 2818,0	2.254.924,7
	Zanja 2	107	66,9	5.568,7	± 3170,8	3.409.834,6
<b>Name</b>	Testigo	120	75,0	673,8	± 726,9	446.478,3
	Zanja 1	141	88,1	1.375,7	± 852,5	830.235,6
	Zanja 2	113	70,6	951,4	± 807,5	610.985,4
<b>Llohué</b>	Testigo	134	83,8	5.866,9	± 4089,1	4.191.118,9
	Zanja 1	146	91,3	6.641,3	± 3684,9	4.033.812,0
	Zanja 2	142	88,8	5.008,1	± 3202,9	3.143.918,4
<b>Manzanares</b>	Testigo	152	95,0	1.720,6	± 1272,7	1.071.727,9
	Zanja 1	134	83,8	1.589,6	± 1359,4	885.067,90
	Zanja 2	178	100,0	3.911,6	± 2581,6	1.735.166,4

**Cuadro 5.** Análisis de las diferencias estadísticamente significativas de biomasa entre los tratamientos ( $p < 0,05$ : Test de Kruskal –Wallis).

**Table 5.** Significant differences analysis for biomass plants between treatments ( $p < 0,05$ : Kruskal –Wallis Test).

Ensayo	N	Valor p	Tratamiento	Diferencia estadísticamente significativa
<b>Hidango</b>	325	3,099E-12	Si valor p > 0,05	Sí
<b>Name</b>	374	0,00000	no existen diferencias significativas en el	Sí
<b>Llohué</b>	422	0,001669	crecimiento y desarrollo de	Sí
<b>Manzanares</b>	464	0,00000	biomasa entre los tratamientos. Luego, se acepta hipótesis nula (Ho)	Sí

N: número total de elementos en todas las muestras,  $N = n_1 + n_2 + \dots n_k$ , donde, k: número de muestras.



**Cuadro 6.** Análisis de diferencias estadísticamente significativa de Biomasa entre tratamientos (P < 0,05: Test U de Mann - Whitney).

**Table 6.** Significant differences analysis for biomass plants between treatments (P < 0,05: U Mann - Whitney test)

<b>Ensayos</b>	<b>Tratamientos</b>	<b>Valor p</b>	<b>Decisión</b>
<b>Hidango</b>	Testigo-Zanja 1	0,0002640	Rechaza Ho
	Testigo-Zanja 2	1,850E-12	Rechaza Ho
	Zanjas 1- Zanjas 2	0,0000250	Rechaza Ho
<b>Name</b>	Testigo-Zanja 1	0,0000000	Rechaza Ho
	Testigo-Zanja 2	0,0000850	Rechaza Ho
	Zanjas 1- Zanjas 2	0,0000040	Rechaza Ho
<b>Llohué</b>	Testigo-Zanja 1	0,0594010	Rechaza Ho
	Testigo-Zanja 2	0,1625730	Acepta Ho
	Zanjas 1- Zanjas 2	0,0002490	Rechaza Ho
<b>Manzanares</b>	Testigo-Zanja 1	0,1462710	Acepta Ho
	Testigo-Zanja 2	0,0000000	Rechaza Ho
	Zanjas 1- Zanjas 2	0,0000000	Rechaza Ho