



SOCIEDAD ESTÁNDARES DE INGENIERÍA PARA AGUAS Y SUELOS LTDA.

---

# **MÓDULO 4**

# **DISEÑO**

# **HIDROLÓGICO**

# **EN ZANJAS DE**

# **INFILTRACIÓN**

**Autores:**

**Dr. Ing. Roberto Pizarro T.**

**Ing. Juan Pablo Flores V.**

**Ing. Claudia Sangüesa P.**

**Ing. Enzo Martínez A.**



## 1. INTRODUCCIÓN

Para realizar el diseño de las obras de conservación de suelos, previamente se deben considerar dos variables, un análisis de las intensidades de precipitación y la velocidad de infiltración de los suelos, para así, diseñar las obras que favorecen la infiltración de aguas lluvias en condiciones desfavorables. Esta situación permitirá trabajar con un margen de seguridad, dentro del cual se minimiza el riesgo de que las obras sean sobrepasadas.

En este marco, se debe considerar que las intensidades de precipitación son las máximas en 1 hora para cada zona en estudio, a partir de las estaciones más cercanas al ensayo. Sin embargo, considerando que no se puede contar con estaciones que permitan este tipo de criterio, entonces, se basa el diseño en el método de Curvas Intensidad – Duración – Frecuencia, citados por Pizarro *et al* (2001)

A continuación se describirá la metodología empleada en el diseño de la obra de conservación de suelos denominada zanjas de infiltración, la cual fue seguida en cada uno de los ensayos de esta investigación.

## 2. ANÁLISIS DE PRECIPITACIÓN.

*Determinación de las intensidades máximas en 1 hora.*

Uno de los primeros requerimientos a considerar es la determinación del periodo de retorno T. Este puede ser definido como el tiempo que transcurre entre dos fenómenos de las mismas características, el cual se define por la siguiente expresión (1):

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

Con esto, es posible tener un horizonte de planificación, dentro del cual no debería presentarse un evento con precipitaciones 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, corresponde a un “T” de 20 años, el cual se justifica por considerar a este tiempo, el promedio de rotación en plantaciones de Pino Radiata D. Don.

### CASO 1: ESTACIÓN ALEDAÑA (Paredones, VI Región)

Esta etapa se trabajó con los datos emitidos por las estaciones meteorológicas más cercanas a cada ensayo, las cuales cuentan con precipitaciones máximas en 24 horas, De acuerdo a esto, fue empleado el estudio desarrollado por Pizarro *et al* (2001), donde cuatro de las seis estaciones meteorológicas estudiadas, se encuentran relativamente cercanas a los lugares de ensayos y contando además, con las ya mencionadas Curvas Intensidad – Duración – Frecuencia, de las cuales se desprenden el parámetro **k**, el cual da cuenta de la relación entre la intensidad horaria y la intensidad de precipitación en 24 horas para cada período de retorno.

Esta relación permitió la extrapolación a las zonas o estaciones aledañas al ensayo, ya que carecen de registros pluviográficos, con lo cual, sólo se debió multiplicar la precipitación máxima en 24 hr de su estación, extraída de la Tabla de Frecuencia (1), por el factor **k** ligado a la nueva duración horaria, llevando así, la intensidad de precipitación a 1 hora., de acuerdo a la siguiente expresión (2):

$$k = \frac{I_d}{I_{24}} \quad (2)$$

Donde:

$I_d$  = Intensidad de precipitación horaria.

$I_{24}$  = Intensidad de precipitación para una duración de 24 horas.

A partir del ajuste de la función de Gumbel a cada estación estudiada, se procede a construir la Tabla de Frecuencia (tabla N° 1), la cual permite asociar una probabilidad de ocurrencia (95%) con un período de retorno de 20 años a una intensidad de precipitación en 24 horas.



SOCIEDAD ESTÁNDARES DE INGENIERÍA PARA AGUAS Y SUELOS LTDA.

Tabla N° 1. Tabla de Frecuencia.

Estación	Constitución	Paredones	Pichilemu	Rapel
Duración	mm/ 24hr	mm/ 24hr	mm/ 24hr	mm/ 24hr
24 hr.	3,85	4,07	4,92	3,55

Cabe destacar, que las estaciones de Constitución, VII Región; Pichilemu, Paredones y Rapel, VI Región, fueron determinadas las Curvas Intensidad – Duración – Frecuencia, para la intensidad de precipitación en 24 horas para el período de retorno de 20 años, con lo cual, empleando los parámetros **K** de la Estación Pencahue (VII Región), fue llevada a la intensidad de precipitación a 1 hora. Ver tabla N°2.

Tabla N° 2. Determinación del parámetro k para distintos períodos de retorno y duraciones horarias. Estación Pencahue.

Duración	Parámetro k para los distintos períodos de retorno (T)								
	T5	T10	T20	T30	T40	T50	T60	T75	T100
1	5,11	4,83	4,64	4,56	4,50	4,46	4,44	4,40	4,37
2	3,54	3,33	3,19	3,13	3,08	3,05	3,03	3,01	2,98
4	2,70	2,54	2,43	2,38	2,35	2,32	2,31	2,29	2,27
6	2,20	2,07	1,98	1,94	1,91	1,89	1,88	1,86	1,85
8	1,88	1,78	1,72	1,69	1,67	1,66	1,65	1,64	1,63
12	1,50	1,46	1,43	1,42	1,41	1,40	1,40	1,39	1,39
24	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

Luego, la intensidad de precipitación en 1 hora, en la zona de Paredones es igual a:

$$I = k \times I_{24} = 4,07 \times 4,64 = 18,88 \text{ mm/hr}$$

**CASO 2. ESTACIÓN DE REFERENCIA (Manzanares, VIII Región)**

En el caso particular del ensayo denominado Manzanares, la estación base corresponde a la Estación de Parral, ubicada en la VII Región, cuyas coordenadas son Lat: 36°11'; Log: 71°50'. La estación Parral es Pluviográfica, la cual posee las Curvas Intensidad – Duración – Frecuencia, Gráfico N°1.

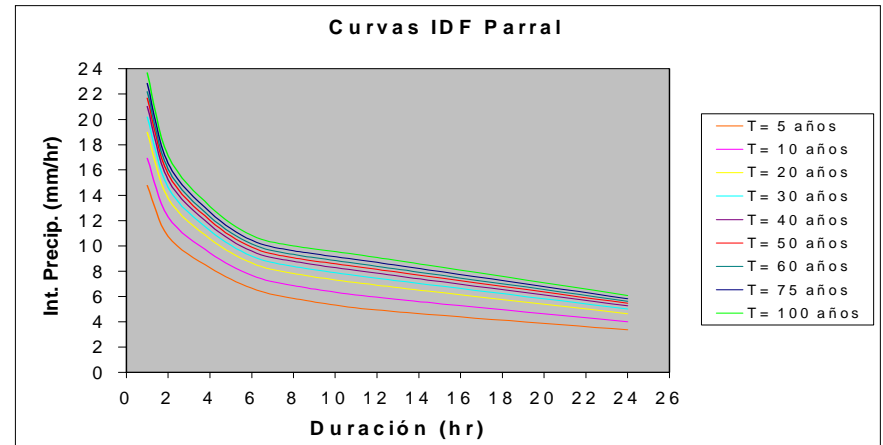


Gráfico N° 1 Diseño de la curva intensidad – duración – frecuencia para la estación Parral.

Pizarro *et al*, 2001, recomienda el uso del siguiente modelo ajustado, para la estación estudiada que es Parral. Asimismo, este modelo puede ser extrapolado a zonas cercanas con características climáticas similares. El modelo es:

$$I = \frac{62,461 * T^{0,176557}}{D^{0,426971}} \quad \text{Estación Parral.}$$

Donde:

I : Intensidad de precipitación en mm/hr.

T: Período de retorno en años.

D: Duración en minutos.

De acuerdo a esto, la intensidad empleada para el diseño de obras es el siguiente:



$$I = \frac{62,461 * 20^{0,176557}}{60^{0,426971}}$$

Estación Parral.

$$I = 18,48 \text{ mm/hr.}$$

Se escogió un periodo de retorno de 20 años, para una intensidad de precipitación de 1 hora.

A pesar de lo anteriormente propuesto, serán empleadas las tablas de uso práctico para la Estación Parral, cuya intensidad de precipitación a 1 hora, y con un periodo de retorno de 20 años, corresponde a 19,0 mm/hr. Ver tabla N° 3.

Tabla N° 3. Intensidades de precipitación asociadas a distintos períodos de retorno. Estación Parral.

Duración	Intensidades de Pp asociadas a los T en mm/hr.								
	Períodos de retorno (T)								
	T5	T10	T20	T30	T40	T50	T60	T75	T100
1	14,77	16,93	19,00	20,19	21,03	21,67	22,20	22,85	23,68
2	10,76	12,30	13,77	14,62	15,22	15,69	16,06	16,52	17,12
4	8,27	9,44	10,56	11,21	11,67	12,02	12,31	12,66	13,11
6	6,65	7,67	8,64	9,20	9,59	9,90	10,14	10,45	10,84
8	5,85	6,85	7,82	8,38	8,77	9,07	9,32	9,62	10,01
12	4,93	5,93	6,89	7,45	7,84	8,14	8,39	8,69	9,07
24	3,35	4,01	4,64	5,01	5,26	5,46	5,62	5,82	6,07

### 3. DISEÑO DE OBRAS.

El principio fundamental a la hora de diseñar las zanjas de infiltración corresponde a que la cantidad de agua de lluvia que cae en la zona de captación, debe ser menor o igual a la que capta y absorbe la zanja. Es decir, la capacidad de éstas no debe ser sobrepasada por el total de aportaciones que a ella converjan.

Así:

$$V_e = V_o + V_i$$

Donde

$V_e$ : volumen de escorrentía aportada por la zona de impluvio.

$V_o$ : volumen de captación de la obra.

$V_i$ : volumen de infiltración.

Por otra parte, la expresión que define la aportación es la siguiente:

$$A = P \times S \times e \quad (3)$$

Donde:

A: aportación o escorrentía que genera el impluvio.

P: precipitación mm (intensidad máxima en 1 hora).

S: superficie de captación.

e: coeficiente de escorrentía (caso de estudio = 0,9).

#### **Determinación de la velocidad de infiltración.**

De acuerdo a los datos recopilados en terreno mediante el método del cilindro (Gurovich, 1985), su velocidad de infiltración puede ser vista en la Tabla N° 4. Asimismo, su representación gráfica puede apreciarse en el gráfico N°2.

Tabla N° 4. Determinación de la velocidad de infiltración de los suelos

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



Es preciso señalar, que el llenado del cilindro con agua se efectuó a los 18 centímetros de altura.

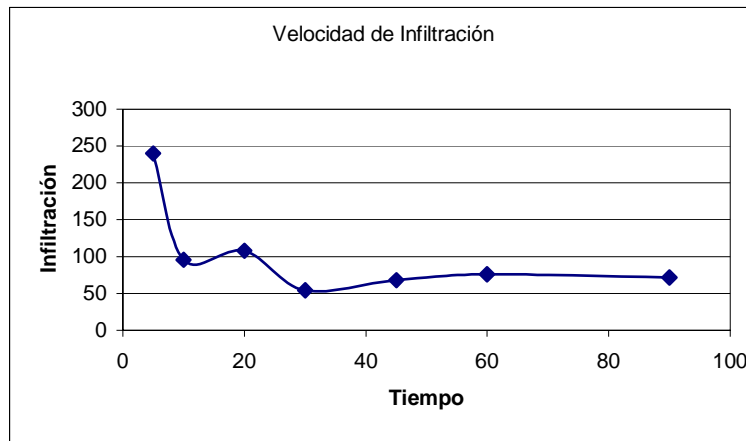


Gráfico N° 2. Curva de Infiltración

En relación con los datos encontrados en cada uno de los ensayos, se optó por el criterio de utilizar el promedio de los tres valores de menor velocidad de infiltración, con el fin de asumir un criterio conservador en el diseño que asegura un no colapso de las obras. Luego el valor de infiltración promedio es 65 mm/hr.

#### **Distanciamiento entre zanjas de infiltración.**

Las características geométricas de las siguientes zanjas de infiltración a construir, poseen un perfil 30 cm de altura x 30 cm de base, mientras que, éstas tienen un largo "l" variable. El diseño considera un rebaje en el borde aguas arriba para facilitar la entrada de agua y evitar la erosión de las paredes, el diseño queda como sigue:

Así,

$$V_{azi} = V_{azz} + V_{azin} \quad (4)$$

Donde:

$V_{azi}$  : Volumen de aportación zona de impluvio.  
 $V_{azz}$  : Volumen de aportación zona de zanjas.  
 $V_{azin}$  : Volumen de infiltración.

Por otra parte, la expresión que define cada una de las variables es la siguiente:

$$V_{azi} = P \times S \times e \quad (5)$$

Donde:

$V_{azi}$  : Volumen de aportación zona de impluvio. (m<sup>3</sup>)  
P : precipitación mm (Intensidad máxima en 1 hora)  
S : superficie de captación  
e : coeficiente de escorrentía

$$V_{azz} = b \times h \times l \quad (6)$$

Donde:

$V_{azz}$  : Volumen de captación de las zanjas. (m<sup>3</sup>/hr).  
b : Base de la zanja en metros.  
h : Altura de la zanja en metros.  
l : Largo de la zanja en metros.

$$V_{azin} = b \times v \times l \quad (7)$$

Donde:

$V_{azin}$  : Volumen de infiltración. (m<sup>3</sup>/hr).  
b : Base de la zanja en metros.  
v : Velocidad de infiltración de la zanja en metros.  
l : Largo de la zanja en metros.

Asociado a lo expuesto en la ecuación (4), se plantea lo siguiente:

$$V_{azi} = V_{azz} + V_{azin}$$

$$P \times S \times e = (b \times h \times l) + (b \times v \times l)$$

$$P \times [l \times d] \times e = (b \times h \times l) + (b \times v \times l)$$



$$d = \frac{b \times (h + v)}{P \times e} \quad (8)$$

De acuerdo a esto, si ingresamos los valores obtenidos en la ecuación (8) se determina el distanciamiento óptimo entre zanjas

Así,

$$d = \frac{0,3 \times (0,3 + 0,065)}{0,019 \times 0,9}$$

$$d = 6,4 \text{ metros}$$

Cabe señalar, que este distanciamiento es horizontal, por lo que debe ser corregido en función de la pendiente. Además, este valor puede ser ajustado a 6,5 metros, para darle una aplicabilidad técnica en terreno.

## 5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- GUROVICH, L. 1985. Fundamentos y diseño de sistema de riego. Instituto Interamericano de cooperación para la agricultura (CIIA). Primera Edición, San José, Costa Rica. Capítulo 6. P. 143-168.
- PIZARRO, R.; NOVOA, P. 1986. Instructivo n° 5. Determinación de valores probabilísticos para variables hidrológicas. Elementos técnicos de Hidrología. Corporación Nacional Forestal (CONAF). Chile. 78 p.
- PIZARRO, R., ABARZA, A., FARIAS, C. 2001. Análisis comparativo de las curvas intensidad-duración-frecuencia IDF, en 6 estaciones pluviográficas distribuidas en la VII región del Maule. En Acta el XV Congreso Chileno e Ingeniería Hidráulica. Sociedad Chilena de Ingeniería Hidráulica. p, 15-25.