



# CONCEPTOS DE HIDROLOGIA APLICADA A LA CONSERVACIÓN DE SUELO Y AGUA

Mauricio Francisco Lemus Vera

Septiembre, 2017



“..Volví a mi tierra verde  
Y ya no estaba  
Ya no  
estaba la tierra  
Se había ido.  
Hacia el mar  
Se había marchado...”

**Oda a la Erosión de Malleco,  
Pablo Neruda**

“..El bosque precede al hombre  
pero lo sigue el desierto.”

René Chateaubriand

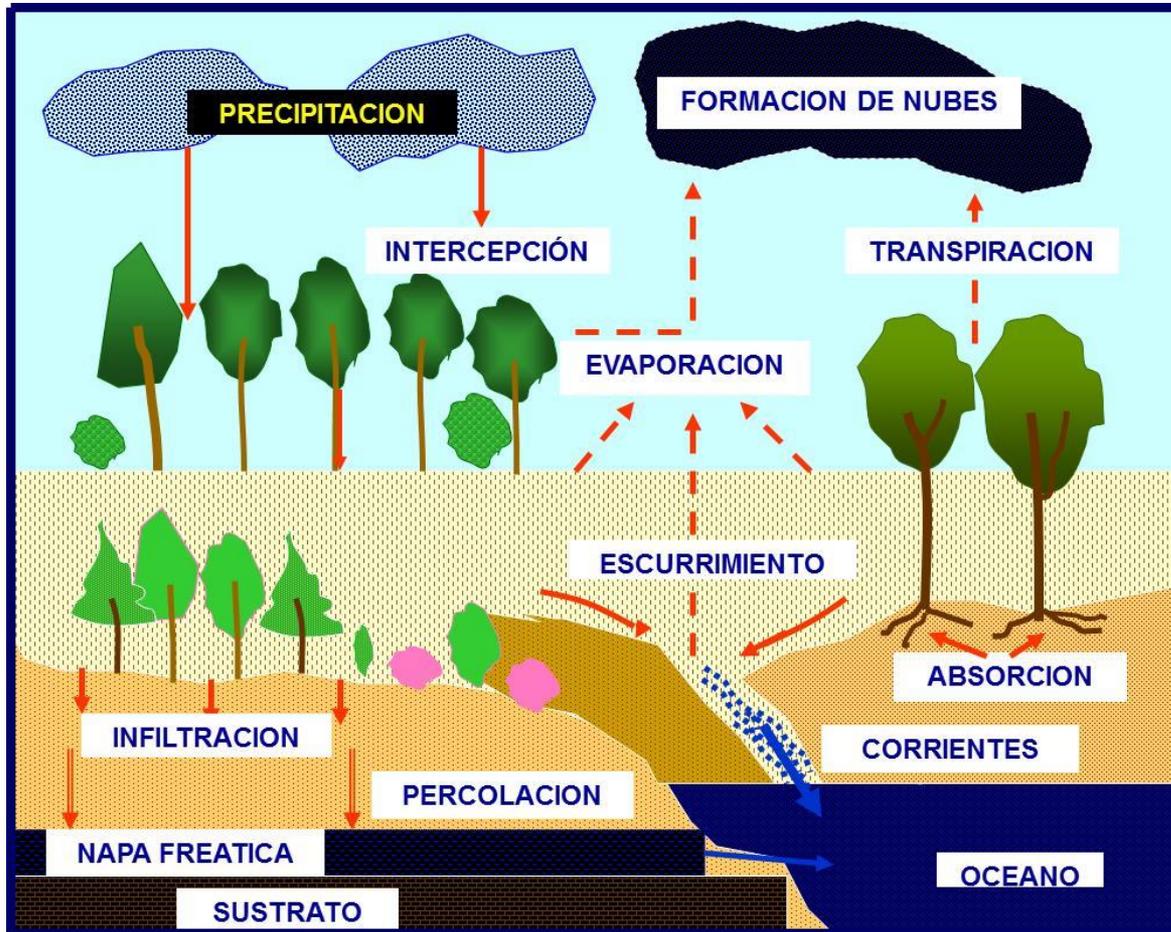


# DEGRADACIÓN DE ECOSISTEMAS



Illustration by John M. Evans, Howard Perlman, USGS

# DEGRADACIÓN DE ECOSISTEMAS



ESQUEMA SIMPLIFICADO DEL CICLO HIDROLÓGICO

# DEGRADACIÓN DE ECOSISTEMAS

SOBREPASTOREO



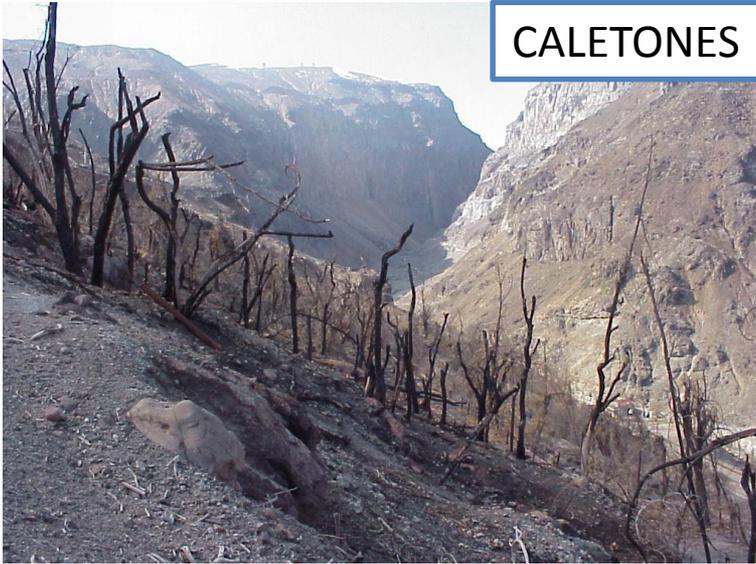
Desierto Lavalle

LABORES AGRICOLAS INADECUADAS



Secano Región de OHiggins

# DEGRADACIÓN DE ECOSISTEMAS



ACTIVIDAD INDUSTRIAL

# DEGRADACIÓN DE ECOSISTEMAS

## CONSECUENCIAS

Pérdida del recurso suelo



Fenómenos Torrenciales



Pérdida del recurso agua



# DEGRADACIÓN DE ECOSISTEMAS

## DESERTIFICACIÓN - EROSIÓN (Conservación de Suelos y Agua)



## FENOMENOS TORRENCIALES (MANEJO DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS)



# PROYECTOS DE REHABILITACIÓN

---

## DESERTIFICACIÓN

**LA DESERTIFICACIÓN** es la degradación de la tierra en regiones áridas , semiáridas y subhúmedas secas, resultante de diversos factores, incluso variaciones climáticas y actividades humanas

UNCCD-1994



**Tierra:** Sistema bioproductivo terrestre que comprende el suelo, la vegetación, otros componentes de la biota y los procesos ecológicos e hidrológicos dentro del sistema” (UNCDD, 1994).

# PROYECTOS DE REHABILITACIÓN

## DESERTIFICACIÓN

La desertificación es un problema complejo, sistémico por naturaleza, que afecta la estructura y funcionamiento de los ecosistemas de las tierras secas. Comprende las relaciones múltiples entre los procesos que abarcan factores biofísicos, socioeconómicos, políticos e institucionales, teniendo constantemente en cuenta las escalas espaciales y temporales de este fenómeno



# PROYECTOS DE REHABILITACIÓN

## DESERTIFICACIÓN

### CAUSAS

- Sobrepastoreo
- Deforestación
- Desmonte
- Practicas agrícolas
- Procesos de Urbanización
- Expansión de la frontera agropecuaria
- Mal manejo de recurso hídrico
- Procesos de empobrecimiento de la población



# PROYECTOS DE REHABILITACIÓN

## DESERTIFICACIÓN

### CONSECUENCIAS

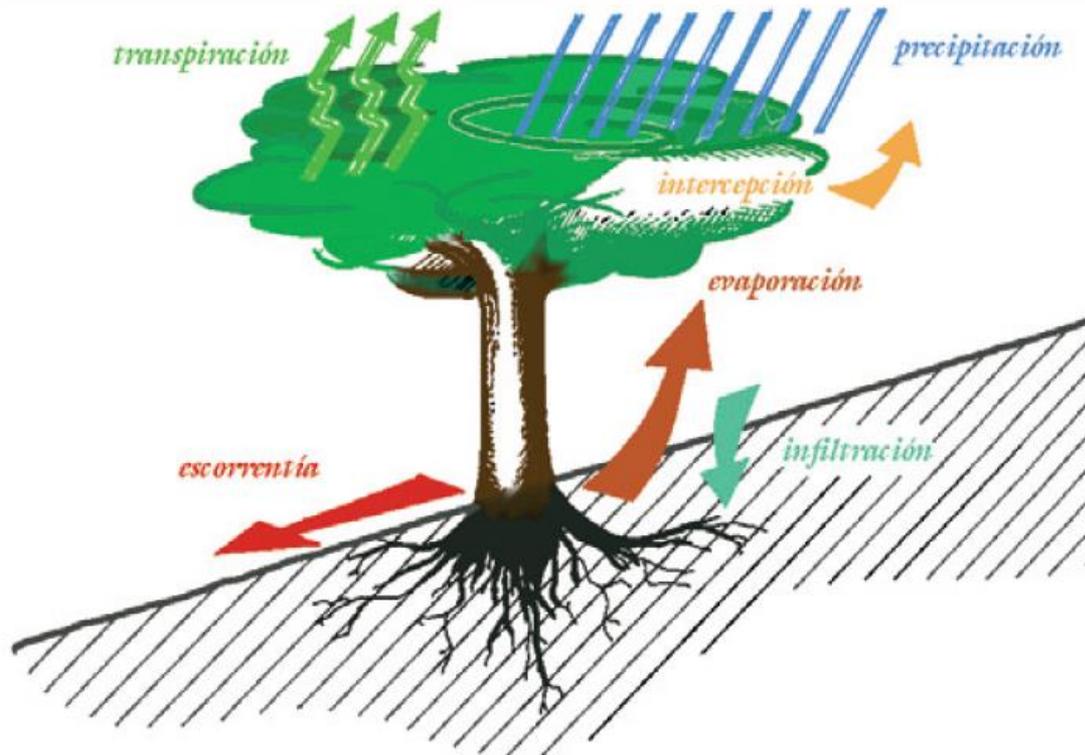
- Aceleración de los procesos de erosión hídrica/eólica – Sedimentación
- Reducción diversidad /cantidad biológica
- Salinización o sodificación de los suelos
- Alteración del ciclo hidrológico por reducción del agua disponible, tanto en flujos superficiales como subterráneos
- Alteración de la estructura social de las comunicaciones
- Pérdida de la calidad de vida por reducción de la productividad biológica y económica



# PROYECTOS DE REHABILITACIÓN

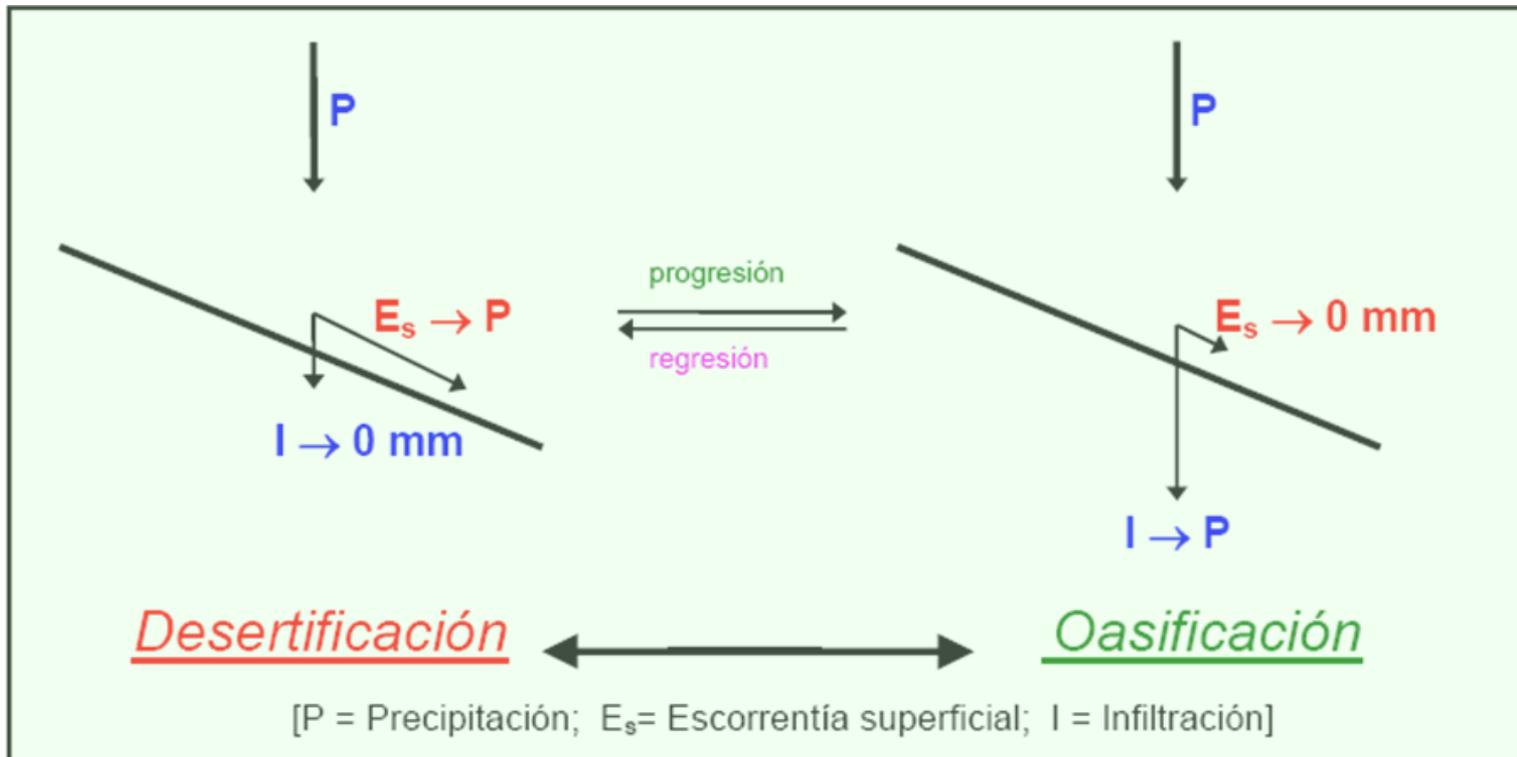
## DESERTIFICACIÓN/OASIFICACIÓN

OASIFICACIÓN: Proceso natural Inverso al de desertización por aridez edáfica



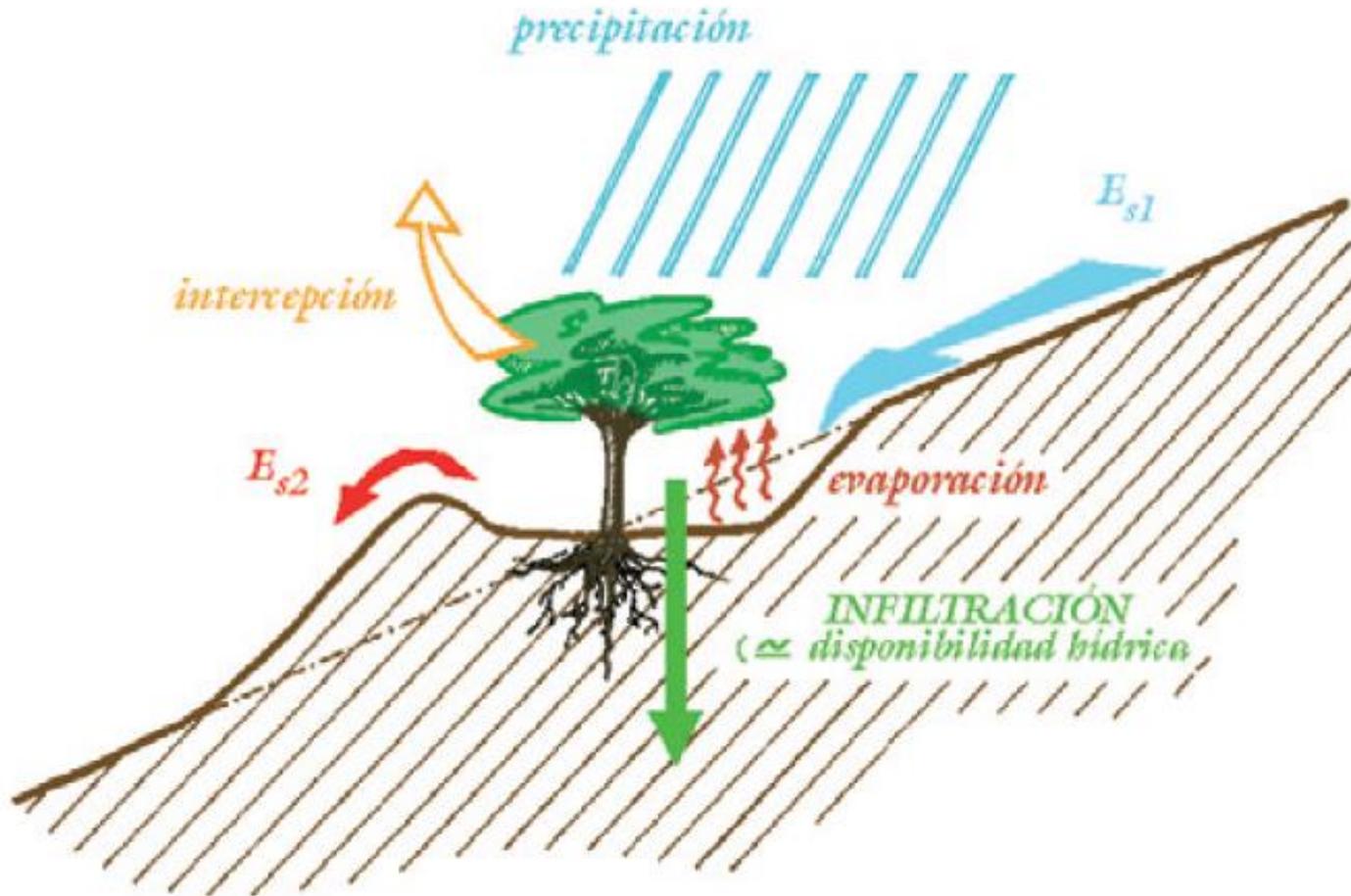
# PROYECTOS DE REHABILITACIÓN

## DESERTIFICACIÓN/OASIFICACIÓN



# PROYECTOS DE REHABILITACIÓN

## DESERTIFICACIÓN/OASIFICACIÓN



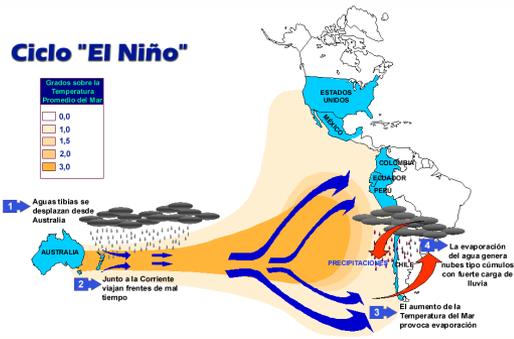
---

**CONCEPTOS DE HIDROLOGIA APLICADA A  
LA CONSERVACIÓN DE SUELO Y AGUA**



# PRECIPITACIÓN

## Precipitación



## Fenómenos Torrenciales



## Sequía



# DEFINICIÓN Y CLASIFICACIÓN

## Precipitación

Se denomina precipitación a cualquiera de las formas en que el agua cae sobre la superficie terrestre: Nieve, granizo, escarcha, lluvia, rocío, etc



# DEFINICIÓN Y CLASIFICACIÓN

## Precipitaciones Verticales

**Lluvia:** esta constituida por gotas liquidas de 0,5 a 3 mm de diámetro, cuya velocidad de llegada al suelo oscila entre 3 y 7 mm/s.

**Llovizna:** Se produce cuando precipitan gotas liquidas cuyos diámetros son inferiores a 0,5 mm con velocidades comprendidas entre 1 y 3 m/s por lo que parecen flotar en el aire.

**Chubasco o aguacero:** son gotas liquidas de gran tamaño (>3mm) cuya velocidad de caída es de más de 7m/s. Si va acompañado de fenómenos eléctricos recibe el nombre de tormenta.

**Nevada:** Está formada por copos microscópicos de cristales de hielo hexagonales que forman sobre el suelo capas de estructuras esponjosa

**Nieve granulada:** está constituida por granos esféricos de nieve cristalina entre 3 y 5 mm de diámetro, frágiles pocos densos y que rebotan cuando tocan el suelo

**Granizo:** se encuentra formado por gránulos de hielos Concrecionados con un diámetro mayor de 1 mm en los que alternan capas amorfas y cristalinas.



# DEFINICIÓN Y CLASIFICACIÓN

---

## Precipitaciones Horizontales

**Rocío:** Se producen cuando el vapor de agua de las capas bajas atmosféricas se condensa o solidifica, respectivamente sobre la superficie más fría que el aire ambiente, de los vegetales y la tierra, pueden suponer aportaciones de hasta 80 mm de agua al año.

**Nieblas:** se componen de minúsculas gotitas que flotan en el aire. Tiene gran importancia cuando circulan a través de superficies boscosas por el agua que depositan.



# DEFINICIÓN Y CLASIFICACIÓN

El Parque Nacional Bosque Fray Jorge (30°38' S - 71°40' O) se ubica en la zona mediterránea árida con influencias oceánicas.



El poblado de Falda Verde, en el desierto de Atacama, utiliza un sistema para captar el agua de la camanchaca. El “Atrapa Nieblas” es un sistema de mallas que atrapan y recogen las gotas de agua de la neblina

# MEDIDAS DE LAS PRECIPITACIONES

---

## - Medidas de la lluvia

La información pluviométrica puede ser expresada de dos formas, según Espíldora (1979) magnitud de lluvia, lámina de agua (mm) que se produce en un cierto intervalo de tiempo o duración, o en términos de intensidad, es decir, lamina de agua por hora (mm/hr); por ejemplo es posible expresar la magnitud de lluvia de 10.36mm en 10 min., en términos de intensidad, que es igual a 62.16 mm/hr.:

$$i = \frac{P}{Td}$$

# MEDIDAS DE LAS PRECIPITACIONES

- Medidores de Cantidad

## Pluviómetros

El pluviómetro solo proporciona la altura de precipitación total en milímetros en intervalos de tiempo fijados de antemano, generalmente de 24 horas. Cada milímetro medido de precipitación representa la altura (en lamina precipitada) que tendría un cubo de área igual a un metro cuadrado.

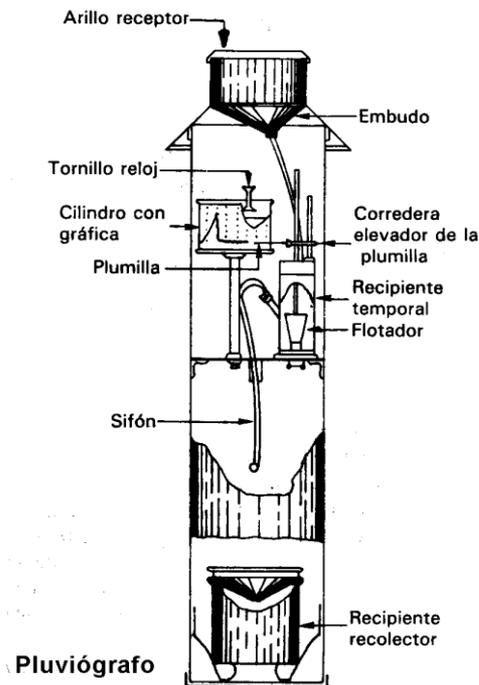


# MEDIDAS DE LAS PRECIPITACIONES

## - Medidores de Distribución

### Pluviógrafo

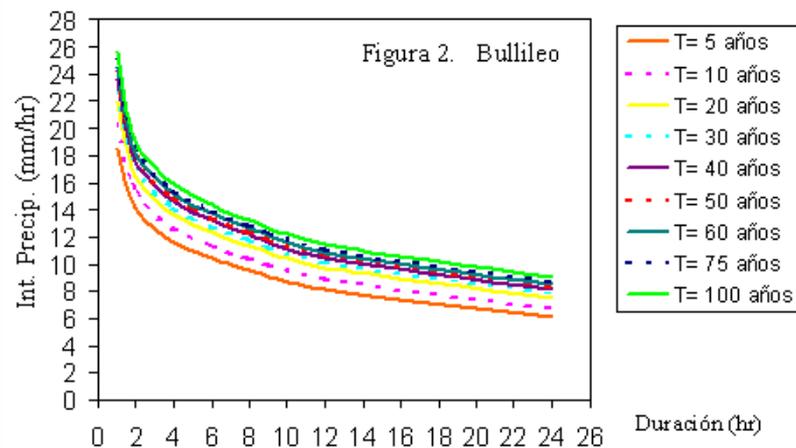
Para medir continuamente la precipitación en el tiempo es necesario un pluviógrafo, que es el mismo pluviómetro provisto de un mecanismo de relojería que le permite que le permite marcar en un tipo especial de papel la variación de la precipitación en el tiempo.



# MEDIDAS DE LAS PRECIPITACIONES

## - Información

Año	Precipitación Máxima 24 Horas mm
1994	17.00
1995	47.00
1996	38.00
1997	40.00
1998	51.00
1999	63.00
2000	25.00
2001	18.00
2002	100.50
2003	31.10
2004	46.30
2005	53.00



# ANÁLISIS DE PRECIPITACIONES

---



Los datos necesarios para poder estimar los niveles escorrentía, caudales de avenida y proceder al diseño de obras hidráulicas son en principio.

- Precipitación más desfavorable en la zona
- Probabilidad que esta suceda
- Intensidad más desfavorable
- Probabilidad que esta suceda.

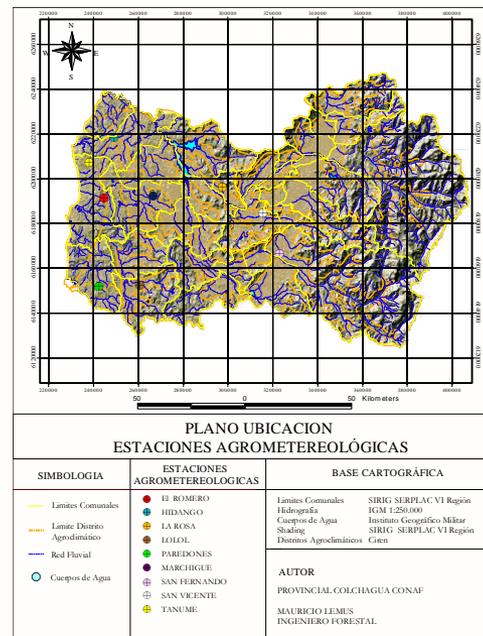
La gran escasez de datos pluviométricos disponibles para cada localidad de nuestro país, hace necesario métodos analíticos de estimación. En especial sobre intensidades o magnitudes de lluvia, para duraciones pequeñas.

# ELECCIÓN DE ESTACIONES Y TOMA DE DATOS

## - Elección de Estaciones y Toma de Datos

Una vez definida la unidad hidrológica de estudio, se procederá a la selección de las estaciones meteorológicas cuyos datos pluviométricos y termométricos nos permitan caracterizar el clima y estimar el balance hídrico de la zona .

La elección de estaciones se realiza aplicando el criterio de Proximidad Geográfica con la cuenca de estudio, aunque es necesario considerar el régimen de vientos dominantes



# ESTADISTICA HIDROLÓGICA

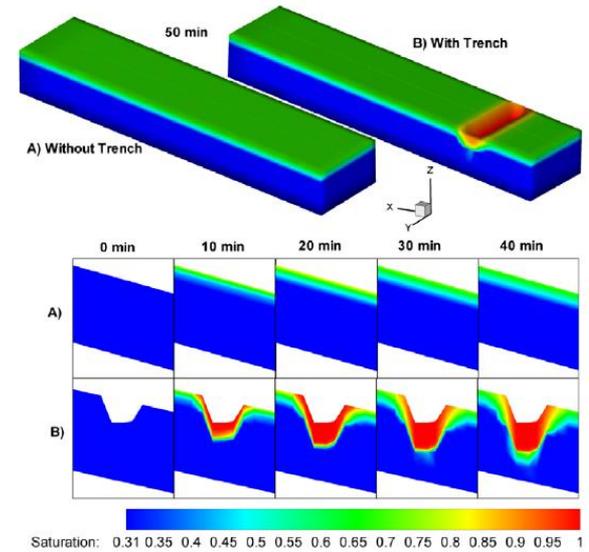
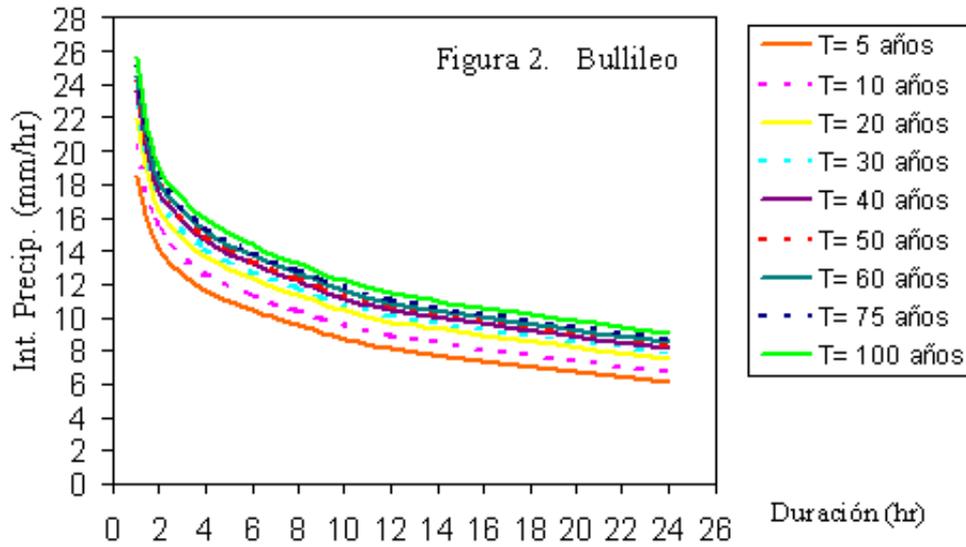


FENOMENOS  
TORRENCIALES

CONSERVACIÓN DE  
AGUA



# ESTADISTICA HIDROLÓGICA





## Chile País de Contrastes

- Clima (  $T^{\circ}$ - Pp)
- Suelos
- Relieve
- Vegetación

¿ Que criterio debe aplicarse en el Diseño de las Obras de Conservación?



# ESTADÍSTICA HIDROLÓGICA

---

Los datos necesarios para poder estimar los niveles escorrentía, caudales de avenida y proceder al diseño de obras hidráulicas son en principio.

- Precipitación más desfavorable en la zona
- Probabilidad que esta suceda
- Intensidad más desfavorable
- Probabilidad que esta suceda.

La escasez de datos pluviométricos disponibles para cada localidad de nuestro país, hace necesario métodos analíticos de estimación. En especial sobre intensidades o magnitudes de lluvia, para duraciones pequeñas.



# ESTADISTICA HIDROLÓGICA

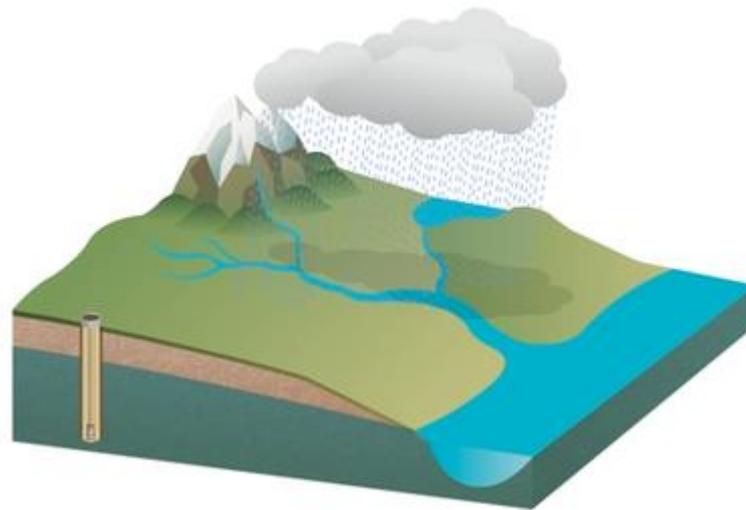
La planeación y el diseño de proyectos relacionados con el agua necesitan información de diferentes eventos hidrológicos que no son gobernados por las leyes físicas y químicas conocidas, sino por las leyes del azar. Por ejemplo, el caudal de un río varia día a día y año tras año, y no puede predecirse exactamente cual será su valor en un periodo de tiempo cualquiera. Esto solo puede determinarse a través del análisis probabilístico y por sobretodo estadístico. Este ultimo basado en los registros pasado



# ESTADÍSTICA HIDROLÓGICA

Se puede afirmar que la hidrología, trata con variables aleatorias cuyo comportamiento no puede predecirse con certidumbre. El Comportamiento de una variable aleatoria está descrito por una ley de probabilidades, la cual asigna medidas de probabilidad a posibles rangos de ocurrencia de la variable aleatoria. Las variables aleatorias pueden ser discretas o continuas.

Se dice que una variable es **discreta** si ella sólo puede tomar valores específicos. Por ejemplo si  $N$  denota el número de días lluviosos en un mes determinado. En este caso, la ley de probabilidades asocia medidas de probabilidad a cada posible ocurrencia de la variable aleatoria .



# ESTADISTICA HIDROLÓGICA

Una variable aleatoria es continua si puede tomar todos los valores en un rango de ocurrencia. Por ejemplo, si  $Q$  es una variable aleatoria que denota el valor de los caudales de un río, entonces  $Q$  puede asumir cualquier valor y es entonces una variable aleatoria continua. En este caso la ley de probabilidades asigna medias de probabilidad a rangos de ocurrencia de la variable aleatoria.



# ESTADISTICA HIDROLÓGICA

Al analizar la información hidrológica son factibles dos tipos de análisis: **descriptivos y de inferencia**. El primero consiste básicamente, en calcular propiedades estadísticas, como media, varianza coeficiente de variación y otras. En el segundo, la muestra se analiza para inferir las propiedades de su población, en este caso es muy común el uso de estimadores de valores, y por lo cual involucra riesgos y requiere una total comprensión de los métodos empleados y del peligro involucrado en la predicción y estimación de las variables.



# ESTADÍSTICA HIDROLÓGICA

---

Los datos necesarios para poder estimar los niveles escorrentía, caudales de avenida y proceder al diseño de obras hidráulicas son en principio.

- Precipitación más desfavorable en la zona
- Probabilidad que esta suceda
- Intensidad más desfavorable
- Probabilidad que esta suceda.

La escasez de datos pluviométricos disponibles para cada localidad de nuestro país, hace necesario métodos analíticos de estimación. En especial sobre intensidades o magnitudes de lluvia, para duraciones pequeñas.



# PERIODO DE RETORNO PARA DISEÑO

---

## Conceptos :

Periodo de Retorno – Probabilidad de excedencia

**Periodo de retorno**, como el intervalo promedio de tiempo, dentro del cual cierta magnitud o intensidad de lluvia, se iguala o excede una vez.

**Probabilidad de excedencia**, es decir, la probabilidad anual de igualar o sobrepasar cierta magnitud del fenómeno

**Ejemplo:** Una zona con una precipitación máxima en 24 horas de 100mm, con periodo de retorno de 10 años, quiere decir, que cada 10 años es esperable la ocurrencia de una lluvia igual o superior, por otra parte existe la probabilidad de excedencia de un 10% anual, que se pueda igualar o exceder en 24 horas los 100 mm.



# PERIODO DE RETORNO PARA DISEÑO

---

La probabilidad de que en un año se produzca un evento extraordinario que supere el valor es el siguiente

$$\bar{p}(x > \varepsilon) = \frac{1}{T}$$

En este caso la probabilidad de que se produzca un evento inferior al extraordinario tiene la siguiente probabilidad

$$\bar{p}(x \leq \varepsilon) = 1 - \frac{1}{T}$$

# PERIODO DE RETORNO PARA DISEÑO

---

La probabilidad que el suceso no ocurra en n años sucesivos : Garantía

$$\bar{p} \cdot \bar{p} \cdot \bar{p} \dots \bar{p} = \left(1 - \frac{1}{T}\right)^n = G$$

Al suceso complementario es decir: que el evento ocurra al menos una vez en n años, se le llama riesgo

$$R = 1 - \left(1 - \frac{1}{T}\right)^n$$

# PERIODO DE RETORNO PARA DISEÑO

En la elección del periodo de retorno, frecuencia o probabilidad a utilizar en el diseño de una obra es necesario considerar la relación existente entre la probabilidad de excedencia de un evento, la vida de útil de la estructura y el riesgo de falla aceptable, dependiendo, este último, de factores económicos sociales, ambientales, técnicos y otros. (Manual de Carretera, 2012).

-  $r = 1 - \left(1 - \frac{1}{T}\right)^n$  T: Periodo de retorno; n vida útil de la obra

## PERIODO DE RETORNO Y RIESGO DE FALLA SEGUN VIDA UTIL

Riesgo (r, %)	Vida útil (n, años)			
	10	20	25	50
50	15	29	37	73
25	35	70	87	174
10	95	190	238	475
5	195	390	488	975
1	995	1.990	2.488	4.977

# PERIODO DE RETORNO PARA DISEÑO

---

Determinar el riesgo de que se supere el caudal punta estimado en una cuenca en la que se va a emplazar un dique cuya vida útil se cifra en 20 años. La precipitación máxima de calculo de la obra tiene un periodo de retorno de 50 años.

En este caso n: 20 años y T:50 años

$$R = 1 - \left(1 - \frac{1}{50}\right)^{20} = 1 - 0.6676 = 0,3324$$

$$G = \left(1 - \frac{1}{50}\right)^{20} = 0.6676$$

# PERIODO DE RETORNO PARA DISEÑO

## PERIODOS DE RETORNO PARA DISEÑO

Tipo de Obra	Tipo de Ruta	Período de Retorno (T, años)		Vida Util Supuesta (n; años)	Riesgo de Falla (%)	
		Diseño <sup>(3)</sup>	Verificación <sup>(4)</sup>		Diseño	Verificación
Puentes y Viaductos <sup>(1)</sup>	Carreteras	200	300	50	22	15
	Caminos	100	150	50	40	28
Alcantarillas ( $S > 1,75 \text{ m}^2$ ) o H terrap. $\geq 10 \text{ m}$ y Estructuras Enterradas <sup>(2)</sup>	Carreteras	100	150	50	40	28
	Caminos	50	100	30	45	26
Alcantarillas ( $S < 1,75 \text{ m}^2$ )	Carreteras	50	100	50	64	40
	Caminos	25	50	30	71	45
Drenaje de la Plataforma	Carreteras	10	25	10	65	34
	Caminos	5	10	5	67	41
Defensas de Riberas	Carreteras	100	-	20	18	-
	Caminos	100	-	20	18	-

S = Sección útil de la alcantarilla

# ESTADISTICA HIDROLÓGICA

Metodología para la determinación de valores máximos

- Distribución de Frecuencias Observada
- Método Estadístico

Precipitaciones máximas en 24 horas para las estación pluviométrica de Almagro

<b>Año</b>	<b>Precipitación Máxima 24 Horas mm</b>
1994	17.00
1995	47.00
1996	38.00
1997	40.00
1998	51.00
1999	63.00
2000	25.00
2001	18.00
2002	100.50
2003	31.10
2004	46.30
2005	53.00

# ANÁLISIS DE PRECIPITACIONES

## Distribución de Frecuencias Observada

Obtenida la muestra, ésta se ordena en sentido creciente asignando a cada valor una probabilidad. De esta forma se pueden obtener histogramas de frecuencias (relativas o acumuladas) que se corresponden con sus respectivas funciones de probabilidad (Martínez de Azagra y Navarro, 1996)

$$P(x \leq \xi) = F_{Ri} = \frac{2n-1}{2N}, \text{ o bien}$$

$$P(x \leq \xi) = F_{Ri} = \frac{n}{N+1}, \text{ donde:}$$

$n$  es el n° de orden (de la serie de valores muestrales ordenadas de menor a mayor)

$N$  es el n° de total de elementos de la muestra (tamaño de la muestra):

# ANÁLISIS DE PRECIPITACIONES

Metodología para la determinación de valores máximos

Distribución de Frecuencias Observada

n	Año	Pmax 24 Horas	$F_{r_i} = \frac{n}{N+1}$	$F_{r_i} = \frac{2n-1}{2N}$
1	1994	17,00	0,077	0,042
2	2001	18,00	0,154	0,125
3	2000	25,00	0,231	0,208
4	2003	31,10	0,308	0,292
5	1996	38,00	0,385	0,375
6	1997	40,00	0,462	0,458
7	2004	46,30	0,538	0,542
8	1995	47,00	0,615	0,625
9	1998	51,00	0,692	0,708
10	2005	53,00	0,769	0,792
11	1999	63,00	0,846	0,875
12	2002	100,50	0,923	0,958

# ANÁLISIS DE PRECIPITACIONES

Metodología para la determinación de valores máximos

## Distribución de probabilidades

- Ajuste a una función de distribución:  $F(x)$

Gumbel 
$$F(x) = e^{-e^{-\alpha(x-\beta)}}$$

Distribución Normal 
$$F(x) = \int_{-\infty}^x \frac{1}{\sigma * \sqrt{2\pi}} * e^{-0,5\left(x-\frac{u}{\sigma}\right)^2}$$

Log Normal 
$$p(Y) = \frac{1}{\sqrt{2} * \sigma_Y} * e^{-\frac{(Y-u_Y)^2}{\sigma_Y^2}}$$

Log Pearson

$$\overline{\log(x)} = \frac{\sum \log(x)}{n} \quad S_{\log(x)} = \sqrt{\frac{\sum (\log(x) - \overline{\log(x)})^2}{n-1}}$$

$$g = \frac{n}{(n-1) * (n-2) * (S_{\log(x)})^3} * \sum (\log(x) - \overline{\log(x)})^3$$

# ANÁLISIS DE PRECIPITACIONES

## Distribución de Gumbel

$$F(x) = e^{-e^{-\alpha(x-\beta)}}$$

Función de distribución de probabilidad

$$f(x) = \alpha e^{[-\alpha(x-\beta) - e^{(-\alpha-\beta)}]}$$

Función de densidad de probabilidad

n-1 años	$\mu_y$	$\sigma_y$	n-1 años	$\mu_y$	$\sigma_y$
2	0.4043	0.4984	9	0.4902	0.9288
3	0.4286	0.6435	10	0.4952	0.9497
4	0.4458	0.7315	11	0.4996	0.9676
5	0.4588	0.7928	12	0.5035	0.9833
6	0.469	0.8388	13	0.507	0.9972
7	0.4774	0.8749	14	0.51	1.0095
8	0.4843	0.9043	15	0.5128	1.0206

$$\alpha = \frac{\sigma_y}{s}; \quad \beta = x - \frac{\mu_y}{\alpha}$$

En donde :

$x$  : Promedio de Precipitaciones en 24 horas (mm).

$s$  : Desviación estándar de Precipitaciones en 24 horas.

$n$  : Número de registro (Pp máximas en 24 horas).

$$P_{max} = \beta - \left(\frac{1}{\alpha}\right) * \ln \left[ \ln \left( \frac{R}{R-1} \right) \right]$$

$P_{max}$ : Precipitación máxima en 24 horas asociado a un periodo de retorno R.

R : Periodo de retorno.

$a, b$  : Parámetros de calculo (Ecuación N° 1 y 2)

# ANÁLISIS DE PRECIPITACIONES

## Distribución de Gumbel

Año	Precipitación Máxima 24
1994	17,0
1995	47,0
1996	38,0
1997	40,0
1998	51,0
1999	63,0
2000	25,0
2001	18,0
2002	100,5
2003	31,1
2004	46,3
2005	53,0
<b>Promedio</b>	<b>44,2</b>
<b>Desviación estandar</b>	<b>22,7</b>

n	$\mu_y$	$\sigma_y$	n	$\mu_y$	$\sigma_y$
3	0,4286	0,6435	10	0,4952	0,9497
4	0,4458	0,7315	11	0,4996	0,9676
5	0,4558	0,7928	12	0,5035	0,9833
6	0,469	0,8388	13	0,507	0,9972
7	0,4774	0,8749	14	0,51	1,0095
8	0,4843	0,9043	15	0,5128	1,0206
9	0,4902	0,9288	16	0,5157	1,0316

$$\alpha = \frac{\sigma_y}{s} = \frac{0.9676}{22.7} = 0.04$$

$$\beta = x - \frac{\mu_y}{\alpha} = 44.2 - \frac{0.4996}{0.04} = 32.04$$

$$P_{max} = \beta - \left(\frac{1}{\alpha}\right) * \ln \left[ \ln\left(\frac{R}{R-1}\right) \right]$$

Periodo de retorno	Pp max
2	45,14
5	74,42
10	93,81
15	104,75
20	112,41

$P_{max}$ : Precipitación máxima en 24 horas asociado a un periodo de retorno R.

R : Periodo de retorno.

a,b : Parámetros de calculo (Ecuación N° 1 y 2)

# ANÁLISIS DE PRECIPITACIONES

## Test de Bondad de Ajuste

¿El ajuste realizado es bueno o hay que desecharlo por poco preciso desde el punto de vista estadístico?

Kolmogorov SmirnovE

Es una prueba no paramétrica que se utiliza para determinar la bondad de ajuste de dos distribuciones de probabilidad entre sí.

n	Pmax	$F_{r_i} = \frac{n}{N+1}$	F(X) Gumbel	$ \Delta $
1	17,0	0,077	0,145	0,068
2	18,0	0,154	0,158	0,004
3	25,0	0,231	0,254	0,023
4	31,1	0,308	0,347	0,039
5	38,0	0,385	0,454	0,070
6	40,0	0,462	0,485	0,023
7	46,3	0,538	0,575	0,036
8	47,0	0,615	0,584	0,031
9	51,0	0,692	0,635	0,057
10	53,0	0,769	0,659	0,110
11	63,0	0,846	0,762	0,084
12	100,5	0,923	0,946	0,023

$$F(x):\text{Gumbel} : F(x) = e^{-e^{-\alpha(x-\beta)}}$$

D max : 0,110

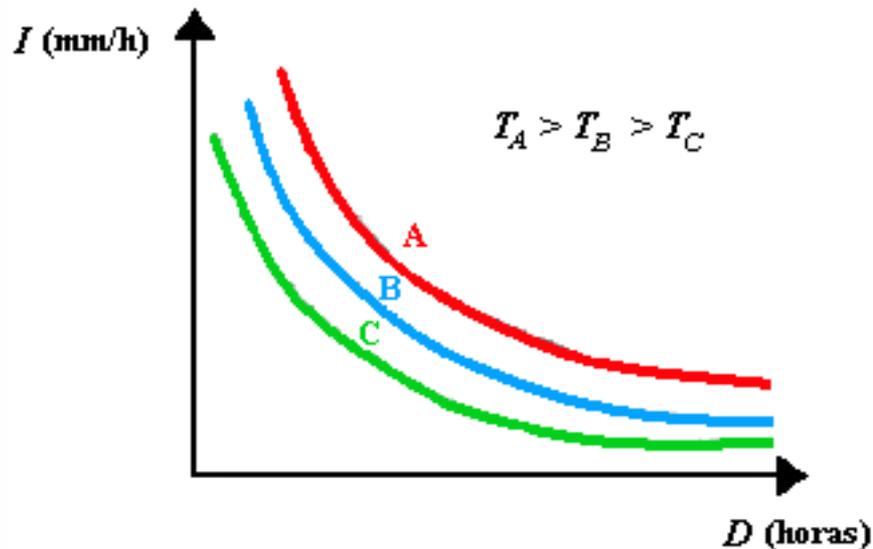
D tabla 95 : 0,375

Dmax (0,110) Dcalculado (0,375) el ajuste con la distribución de Gumbel es válido

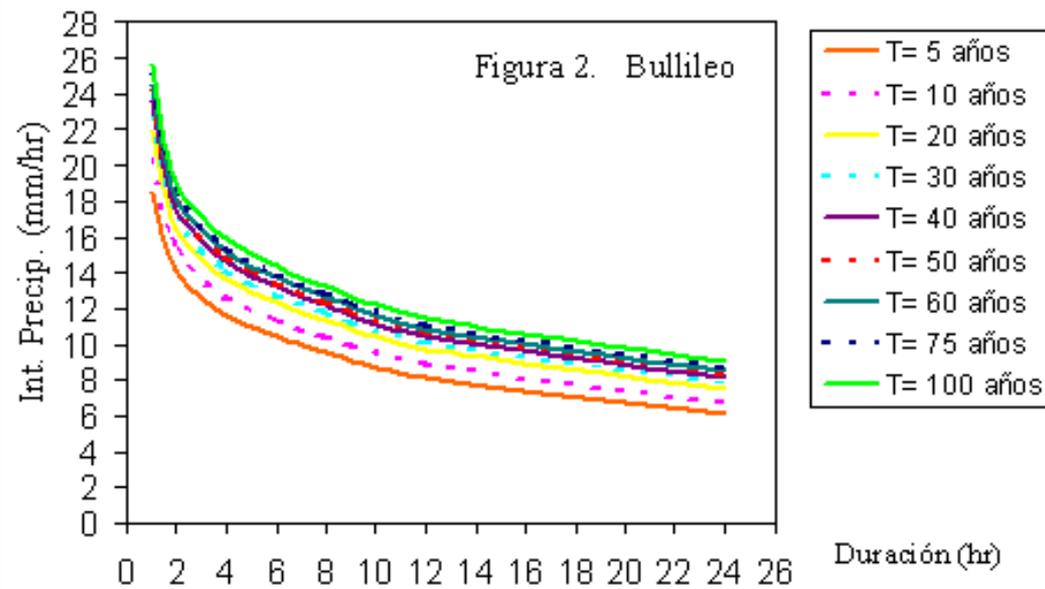
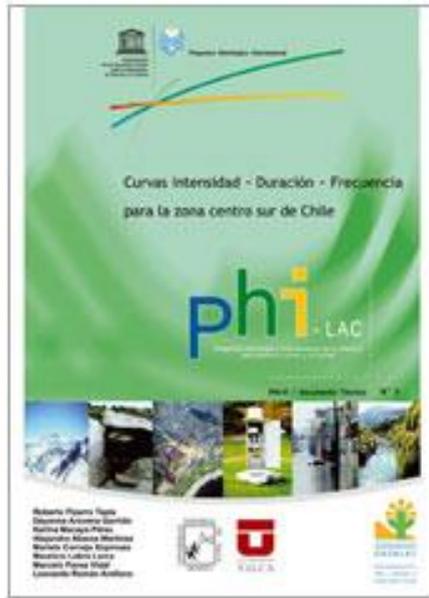
# ANÁLISIS DE PRECIPITACIONES

## Curva de intensidad duración frecuencia

Un elemento importante, para la determinación de la intensidad de precipitación de diseño es la curva intensidad duración frecuencia. Por otro lado, según Mintegui *et al* (1990), se denominan Curvas Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF) a aquellas que representan duraciones en abscisas y alturas de precipitación en las ordenadas, en la cual, cada curva representada corresponde a una frecuencia (o período de retorno), de tal forma que las gráficas de las curvas IDF representan la intensidad media en intervalos de diferente duración, correspondiendo todos los de una misma curva, a un idéntico período de retorno.



# ANÁLISIS DE PRECIPITACIONES



# ANÁLISIS DE PRECIPITACIONES

Análisis de Magnitudes e Intensidades de Lluvia para Duraciones Pequeñas

Grunsky 
$$I^t = I_{24} x \left( \frac{25}{t} \right)^{1/2}$$

Aparicio 
$$I = \frac{kT^m}{D^n}$$

Espildora 
$$CD_t = \frac{P_t(mm)}{P_{60}(mm)}$$

Bell 
$$I_t^T = \frac{1}{t} (cd_t)_1 x (cd_t)_{24} x P_{24}^T$$

# ANÁLISIS DE PRECIPITACIONES

## Análisis de Magnitudes e Intensidades de Lluvia para Duraciones Pequeñas

### Coeficiente de Duración de Espíldora

Los coeficientes de duración propuestos por Espíldora, definidos como el cociente entre la precipitación caída en “t” min. y la precipitación correspondiente en 1 hora, asociadas a un mismo periodo de retorno. La mayor utilidad de los coeficientes de duración propuesto por Espíldora, se debe a que fueron calculados, a partir del régimen pluviométrico de Chile

$$CD_t = \frac{P_t (mm)}{P_{60} (mm)}$$

Duración t	Coeficiente CDt
5 min.	0.26
10 min.	0.4
15 min.	0.53
30 min.	0.7
45 min.	0.86
60 min.	1
120 min.	1.4
24 hrs.	4.04

$CD_t$  : Coeficiente de duración para t min.

$P_t$  : Precipitación para t min.

$P_{60}$  : Precipitación en 60 min

$$P_t = \left( \frac{CD_t}{CD_{24}} \right) x P_{max}$$

# ANÁLISIS DE PRECIPITACIONES

## Análisis de Magnitudes e Intensidades de Lluvia para Duraciones Pequeñas

$$P_t = \left( \frac{CD_t}{CD_{24}} \right) \times P_{\max} \times K$$

t	: Tiempo de precipitación en t min.
Pt	: precipitación en t min. con un periodo de retorno R años (mm).
Pmax	: precipitación en 24 hrs con periodo de retorno R años ( mm). (Sec. 3.1.1)
CDt	: coeficiente de duración en t min.
CD 24	: Coeficiente de duración en 24 horas
K ; P24/Pd =1.1	: Cuociente entre la lluvia caída en 24 horas (P24) y la lluvia diaria (Pd) (Vargas y Sánchez, citado por Bonelli 1986).

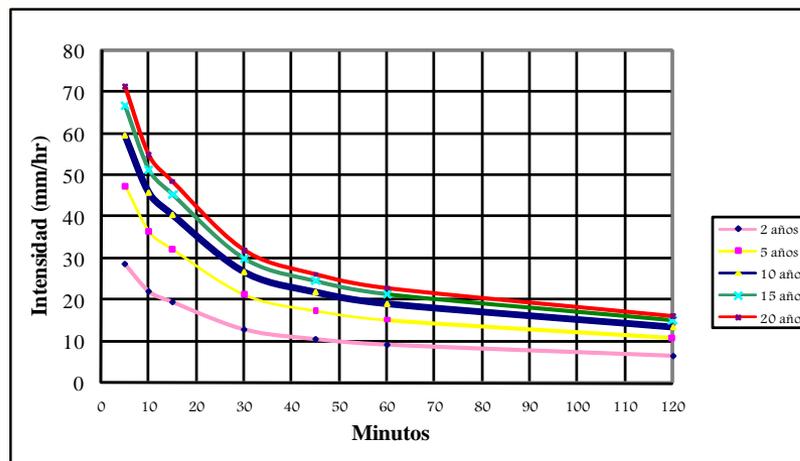
La curvas de intensidad, duración y frecuencias estimadas por Espildora (Bonelli, 1986), y las calculadas con posterioridad por Varas y Sánchez , con un número superior de datos pluviométrico, tienen diferencias significativas en los coeficientes de duración para 24 horas (Cdt 24hr); Espíldora: 4.04 y Varas y Sánchez: 6.45 , diferencia superior al 60%, Bonelli (1986) explica que las estimaciones a partir del valor propuesto por Espíldora, exceden a la precipitaciones reales, en la mayoría de los casos. Ante esta situación se recomienda utilizar un coeficiente de duración intermedio (Montti , 2002) es decir 4.9 , valor propuesto por Grunsky.

# ANÁLISIS DE PRECIPITACIONES

Determinación de curva intensidad duración frecuencia

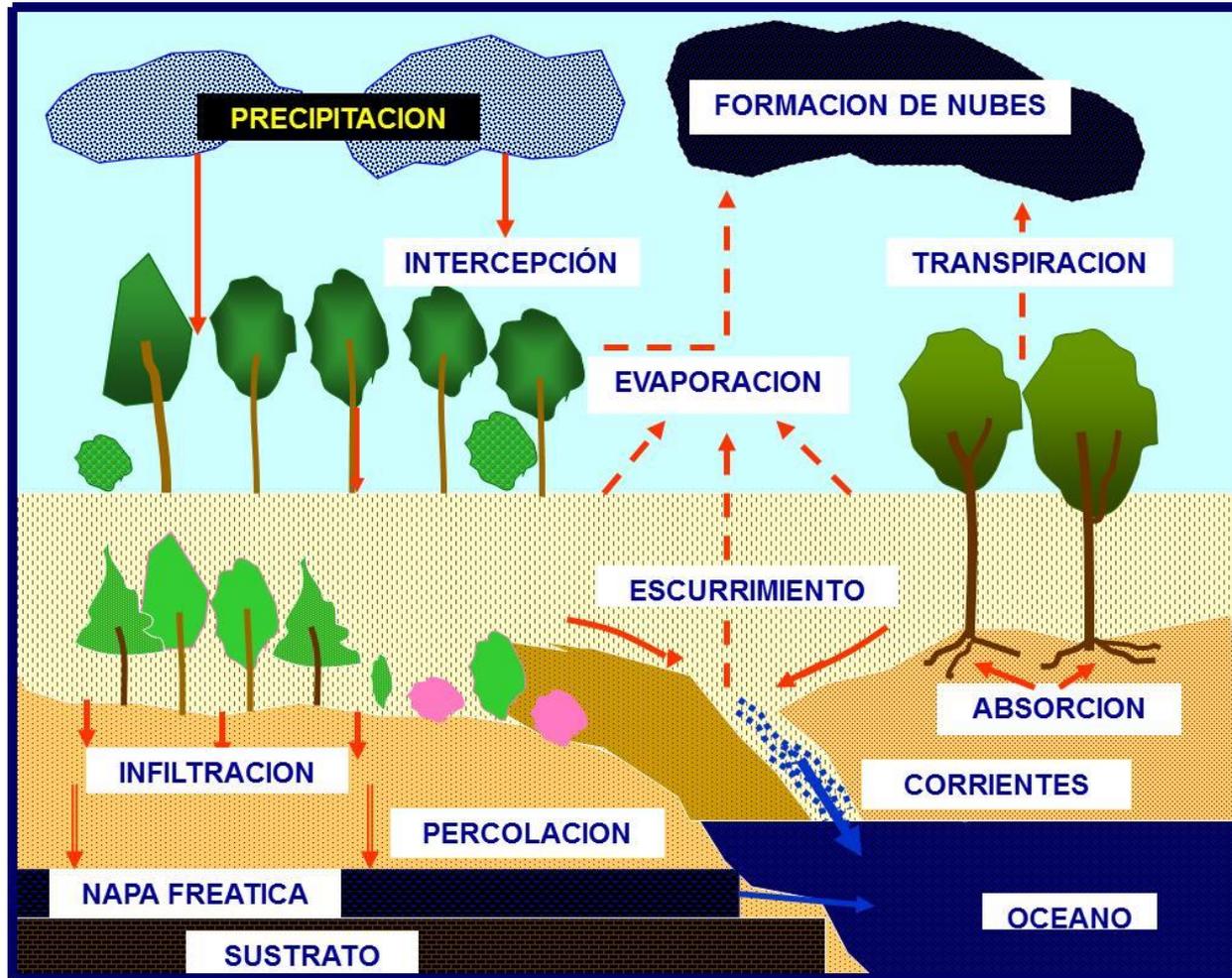
$$I_t = \frac{1}{t} x \left( \frac{CD_t}{4.9} \right) x P_{\max} x K$$

Tiempo	5,000	10	15	30	45	60	120	24 Horas
Coef. De Duración	0,260	0,4	0,53	0,7	0,86	1	1,4	4,9
Periodo de retorno								
2	28,739	22,1072476	19,5280687	12,8958945	10,5623517	9,21135318	6,49400399	45,1356306
5	47,386	36,4504601	32,1979064	21,2627684	17,4152198	15,1876917	10,7073226	74,4196893
10	59,731	45,9469147	40,5864414	26,8023669	21,9524148	19,1445478	13,4969062	93,8082843
15	66,696	51,3047342	45,3191819	29,9277616	24,5122619	21,3769726	15,0707657	104,747166
20	71,573	55,0561421	48,6329255	32,1160829	26,3046012	22,9400592	16,1727417	112,40629

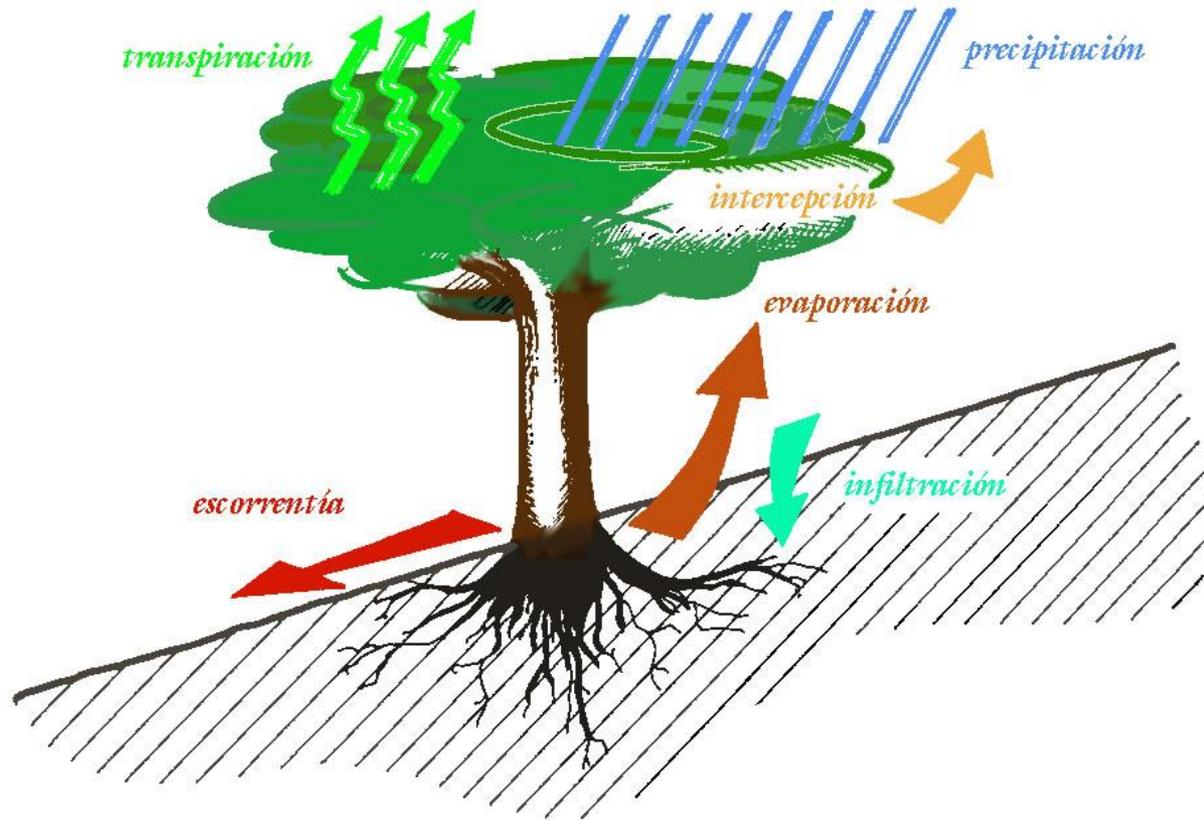


# INFILTRACIÓN-ESCORRENTÍA

## CICLO HIDROLÓGICO



# INFILTRACIÓN-ESCORRENTÍA



Fuente: Martínez de Azagra ([www.oasificacion.com](http://www.oasificacion.com))

La infiltración es uno de los componentes principales del ciclo hidrológico el motor de la vida para la mayor parte de los organismos que habitan en un ecosistema terrestre

# INFILTRACIÓN

---

Infiltración es el movimiento del agua a través de la superficie del suelo hacia su interior producido por la acción de las fuerzas gravitacionales y capilares

La infiltración es el proceso de entrada de agua en el suelo a través de su superficie. Se produce por la acción de la gravedad y por las fuerzas capilares.

El agua infiltrada puede seguir distintos caminos: puede quedar retenida en la rizosfera (siendo, posteriormente, evaporada o transpirada), puede escurrir sub-superficialmente (escorrentía hipodérmica; migraciones oblicuas), o puede percolar hasta un acuífero.

Mediante una correcta preparación del suelo (tanto en la agricultura como en las repoblaciones forestales) se procura aumentar la infiltración y la retención de agua del suelo.



# INFILTRACIÓN

---

La infiltración es fundamental para:

- la recarga del suelo (es decir: la disponibilidad hídrica de las plantas y del ecosistema)
- la redistribución del agua en el suelo (áreas con más o menos capacidad de infiltración)
- la recarga de acuíferos
- el caudal base de los ríos
- la erosión (“Agua que se infiltra no escurre.”)
- las avenidas
- el movimiento de contaminantes,



# INFILTRACIÓN

---

A la Hidrología de Conservación de Aguas le interesa mucho la infiltración para poder:

- Estimar disponibilidades hídricas
- Evaluar riesgos de desertificación
- Cuantificar escorrentías y cosechas de agua
- Dimensionar microcuencas endorreicas
- Diseñar preparaciones del suelo



# INFILTRACIÓN

---

## Factores que rigen la Infiltración

- Precipitación
  - Suelo
  - Vegetación
  - Efecto Antrópico
- 

# INFILTRACIÓN

## Precipitación

La precipitación influye en cuanto a su duración e intensidad. Cuando la intensidad de precipitación es menor que la capacidad de infiltración, todo el agua que cae se introduce en el suelo, mientras que si es superior, el terreno no es capaz de absorber todo el agua que cae produciéndose el encharcamiento y la escorrentía superficial. Para una misma intensidad de precipitación, un aguacero de larga duración puede terminar por encharcar el suelo

Forma de Lluvia	Diametro mm	v(m/s)
Niebla	0,06	<0,1
Llovizna	0,50	4,00
Lluvia ligera	1,00	5,50
Lluvia	2,00	6,50
Chubasco	4,00	9,00

# INFILTRACIÓN

Propiedades importantes del suelo que inciden en la infiltración:

- Cubierta vegetal, hojarasca, materia orgánica ↑
- Tastanas (costras por compactación o sellado) ↓
- Textura, porosidad, conectividad de los poros
- Estructura, estabilidad de los agregados; sales
- Grietas y macroporos ↑
- Fauna edáfica ↑
- Conductividad hidráulica (= permeabilidad,  $k_s$ )
- Contenido de humedad ↓
- Estratificación del perfil edáfico



# INFILTRACIÓN

---

El uso y manejo del suelo afectan mucho a la infiltración.

## Más infiltración ↑

- Cobertura vegetal, mulch (acolchados)
- Buena estructura
- Materia orgánica
- Laboreo (inicialmente)
- Microrrelieve rugoso (trampas de agua)
- Drenajes

## Menos infiltración ↓

- Suelos desnudos, barbechos
  - Laboreo (frecuentemente)
  - Sobrepastoreo
  - Suelos lisos
  - Compactación
  - Pavimentación, asfaltado
- 

# INFILTRACIÓN

Conviene saber distinguir entre: **Tasa o velocidad de infiltración** ( $v_i(t)$ ), **infiltración acumulada** ( $I(t)$ ) y **capacidad de infiltración** ( $f(t)$ ):

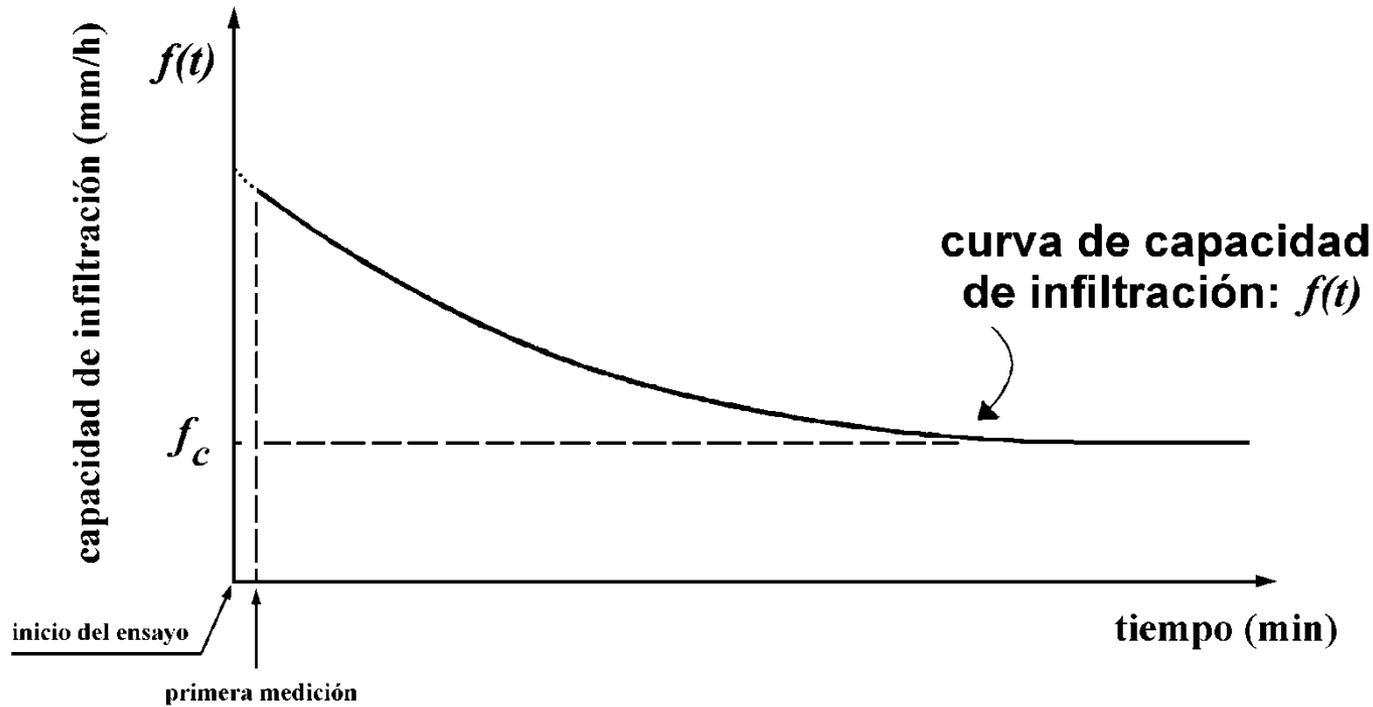
→ La **tasa o velocidad de infiltración** ( $v_i(t)$ ) es la cantidad de agua que entra en el suelo a través de su superficie en un determinado momento ( $t$ ). Se expresa como volumen por unidad de área y de tiempo. Se suele dar en mm/h. Depende de la intensidad de lluvia ( $i(t)$ ) y de la capacidad de infiltración ( $f(t)$ ).

→ La **infiltración acumulada** ( $I(t)$ , en mm) desde el comienzo del chubasco ( $t = 0$ ) hasta un instante genérico ( $t$ ) se calcula mediante la integral:

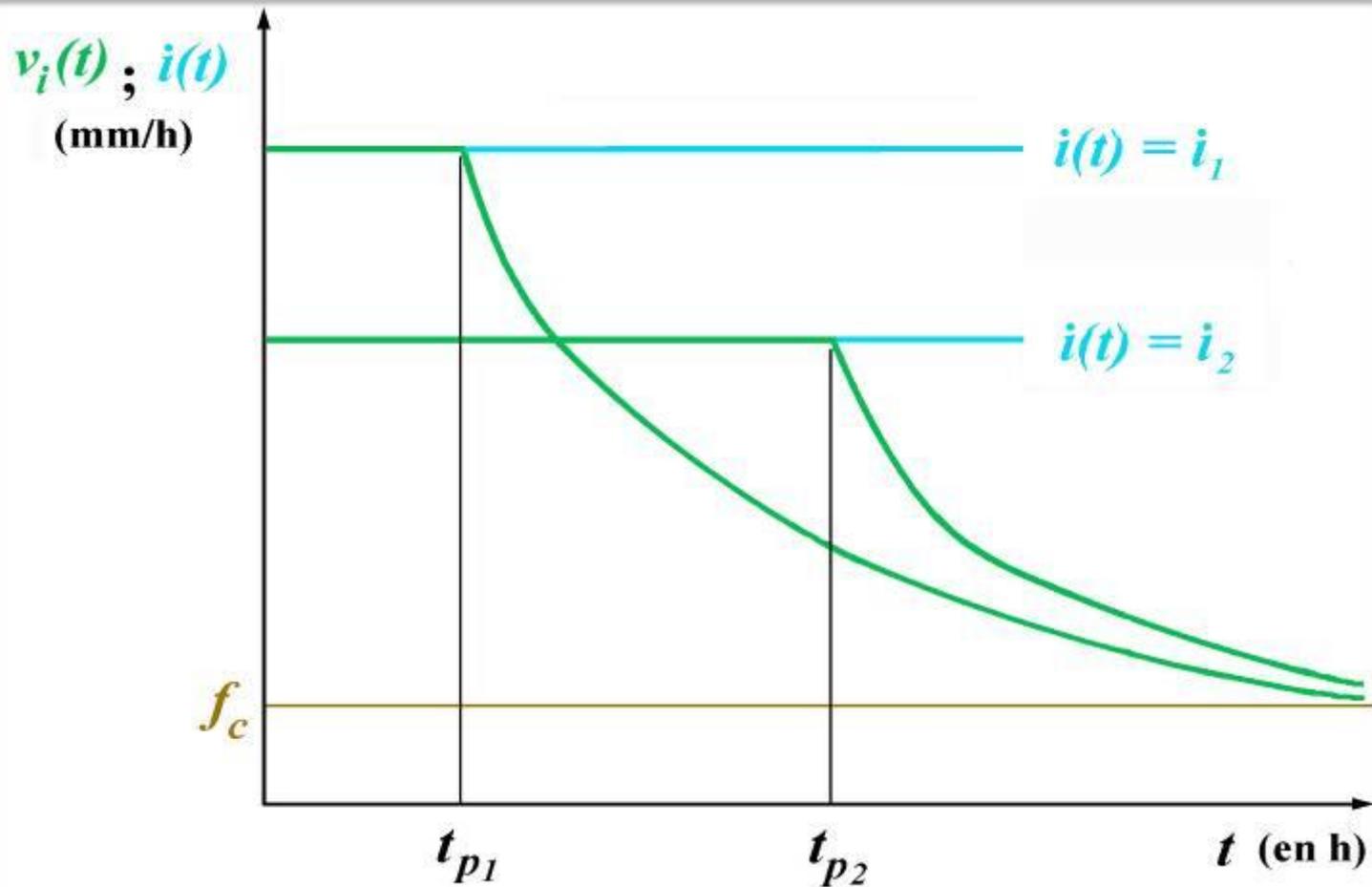
$$I(t) = \int_0^t v_i(t) \cdot dt$$

# INFILTRACIÓN

→ La **capacidad de infiltración** ( $f(t)$ ) es la **cantidad máxima de agua** que puede infiltrarse en el suelo por unidad de tiempo en un instante dado. Se mide en mm/h y es variable según sea el suelo y su contenido de humedad. Con infiltrómetros (de uno o de dos anillos, con simuladores de lluvia, o con lisímetros) se obtiene la curva de capacidad de infiltración de un suelo.



# INFILTRACIÓN



Tasas de infiltración en un mismo suelo (curvas verdes) ante dos chubascos de intensidades constantes diferentes ( $i_1 > i_2$ ). Además, se señalan los tiempos de encharcamiento ( $t_{p1} < t_{p2}$ ) y la capacidad de infiltración final del suelo ( $f_c$ ).

# INFILTRACIÓN

→ La velocidad de infiltración ( $v_i$ ) se rige por la intensidad de lluvia ( $i$ ) y por la capacidad de infiltración ( $f$ ). En concreto:

si el suelo no está encharcado

$$v_i(t) \approx i(t) \quad \text{si el suelo está encharcado.}$$

$$v_i(t) = f(t)$$

→ El **tiempo de encharcamiento** ( $t_p$ ) es el intervalo de tiempo que transcurre entre el comienzo del aguacero y el momento en el que comienza la escorrentía superficial.

Antes de llegar al tiempo de encharcamiento, la tasa de infiltración coincide – aproximadamente - con la intensidad de lluvia. Una vez alcanzado el tiempo de encharcamiento, la tasa de infiltración se rige por la capacidad de infiltración. Es decir:

si  $t \leq t_p$   $v_i(t) \approx i(t)$  , todo el agua de lluvia se infiltra.

si  $t > t_p$   $v_i(t) = f(t)$  , por lo que se produce escorrentía superficial.

# INFILTRACIÓN

Los tres factores que más inciden en la capacidad de infiltración de un suelo son su contenido inicial de humedad, su permeabilidad y su vegetación. La capacidad de infiltración es máxima si el suelo posee su cubierta vegetal natural. Dicha capacidad disminuye por intervención humana hasta anularse en el asfalto de las ciudades.



# INFILTRACIÓN

## Medidas de Infiltración

La infiltración puede medirse de distintas formas: con infiltrómetros; con lisómetros o mediante análisis de hidrógramas en cuencas pequeñas. Los dos primeros ofrecen datos locales mientras que el último facilita datos ponderados de la tasa de infiltración de la cuenca. La medida de infiltración más frecuente para la infiltración es mm/hr



La medición de la infiltración se puede hacer empleando lisímetros o parcelas de ensayo, de manera análoga a la medida de la evaporación y de la evapotranspiración desde el suelo. Sin embargo, por los inconveniente de estos métodos, es normal hacer determinaciones in situ. El aparato que se usa es muy sencillo, es el infiltrómetro. El más común consiste en un cilindro de 15 cm. de largo y fijo, aproximadamente de 20 cm; se pone en él una determinada cantidad de agua y se observa el tiempo que tarda en infiltrarse.

# INFILTRACIÓN



Infiltrómetro de doble anillo

A este aparato se le atribuyen algunos defectos: el agua se infiltra por el círculo que constituye el fondo, pero como alrededor de él no se está infiltrando agua, las zonas del suelo a los lados del aparato participan también en la infiltración, por lo tanto, da medidas superiores a la realidad. El error apuntado se corrige colocando otro tubo de mayor diámetro (40 cm) alrededor del primero, constituye una especie de corona protectora. En éste también se pone agua aproximadamente al mismo nivel, aunque no se necesita tanta precisión como en el del interior; con ello se evita que el agua que interesa medir se pueda expandir.

# INFILTRACIÓN

---

## Utilidad:

Los modelos de infiltración persiguen dos objetivos básicos:

- 1) Explicar patrones de infiltración observados
- 2) Predecir la infiltración ( $\leftrightarrow$  estimar la escorrentía superficial) de un suelo, de una parcela, de una ladera o de una cuenca ante diferentes lluvias.

→ La primera tarea la realizan bastante bien casi todos los modelos: ajustan bien a la nube de puntos del ensayo de infiltración.

→ La segunda tarea (que es la más importante) suelen hacerla bastante mal. Por eso hay que estarlos calibrando cada dos por tres.

# INFILTRACIÓN

---

Muchas laderas de zona árida se estructuran, de forma natural, en **áreas de impluvio** y **áreas de recepción**, es decir: en zonas con menos y más capacidad de infiltración. A este hecho contribuyen las diferentes propiedades locales del suelo, su microtopografía y la propia vegetación. Así, las proximidades de las plantas tienden a comportarse como áreas de recepción (sumideros) de agua, suelo y nutrientes, al contener más abundancia de residuos vegetales y de materia orgánica. Por el contrario, a mayor distancia de las plantas la capacidad de infiltración decrece, pudiendo ser las diferencias muy grandes. La naturaleza tiende a aumentar estas diferencias de partida, ya que las semillas que más esperanza de vida poseen son las que germinan en puntos con mayor infiltración. Posteriormente, la propia labor de la planta acentúa esta diferencia inicial en su favor, incrementando la capacidad de infiltración en sus proximidades.



# INFILTRACIÓN

Mediante una correcta preparación del suelo (tanto en la agricultura como en las repoblaciones forestales) se procura aumentar la infiltración y la retención de agua del suelo.

Empalizada



Canal de Desviación



Zanja de Infiltración



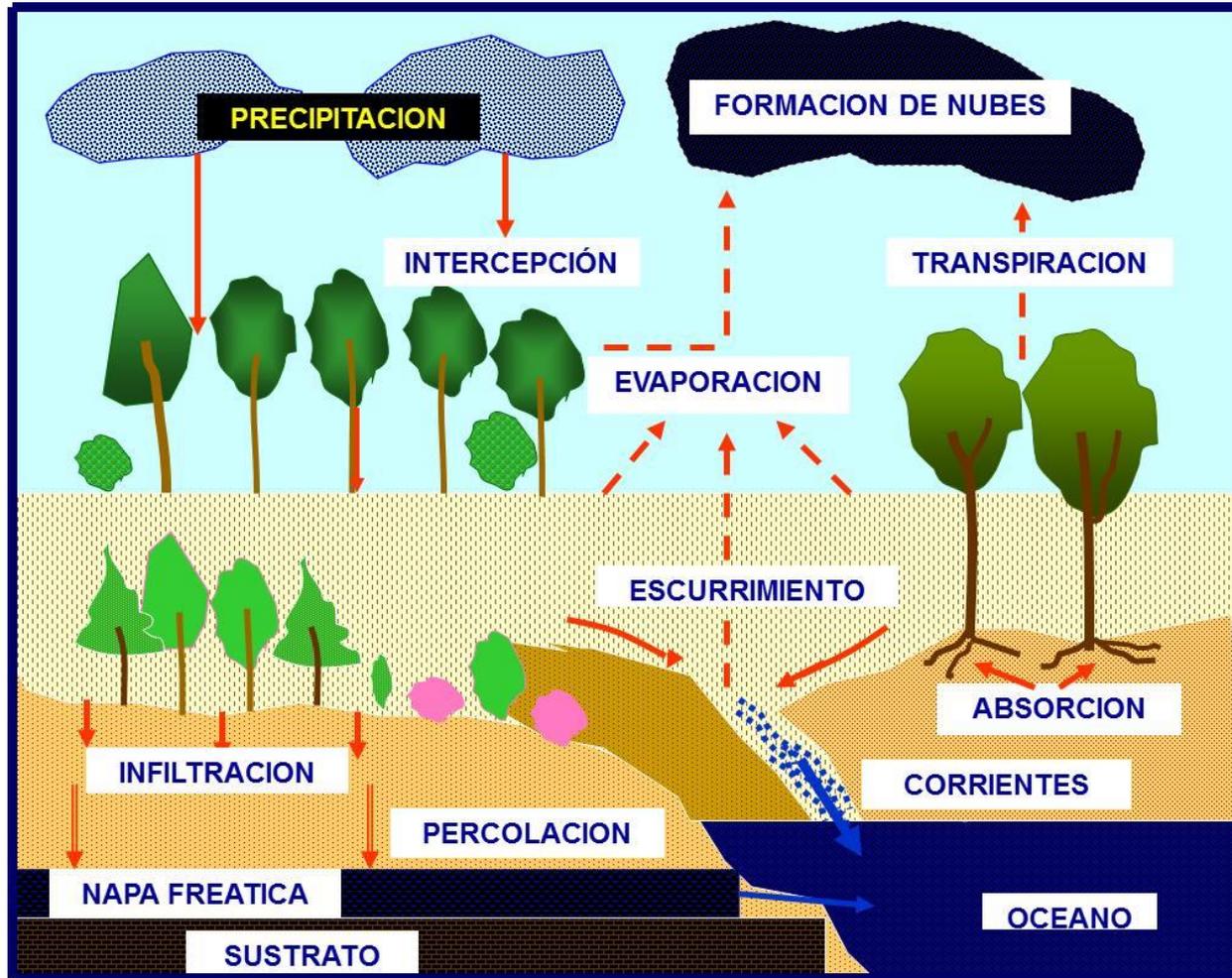
Muretes de sacos



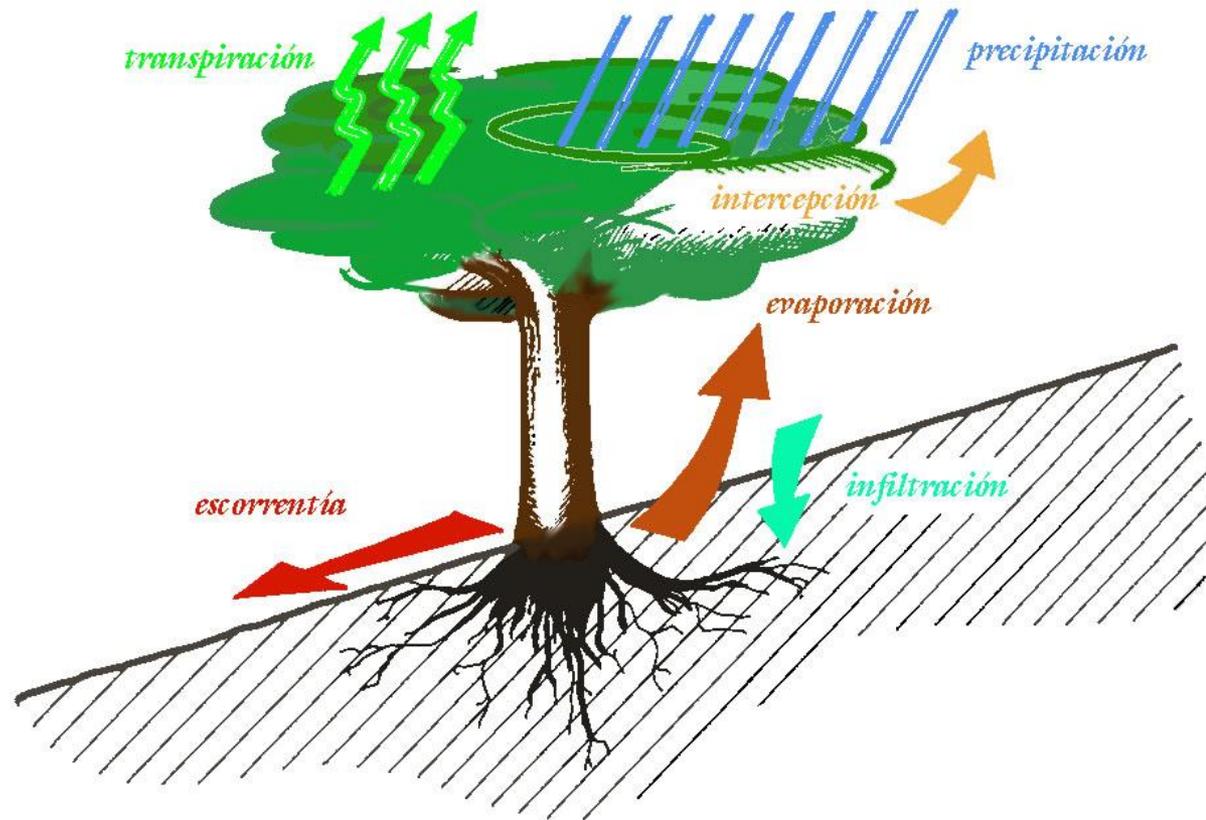
MicroTerraza Forestal

# INFILTRACIÓN-ESCORRENTÍA

## CICLO HIDROLÓGICO



# ESCORRENTÍA



Fuente: Martínez de Azagra ([www.oasificacion.com](http://www.oasificacion.com))

Se llama escorrentía a la fracción de la precipitación que nutre los cursos de agua de una cuenca.

# ESCORRENTÍA

---

Dependiendo de su origen la escorrentía se distingue en:

**Escorrentía Pluvial:** es la que procede de las precipitaciones en forma de lluvias.

**Escorrentía Nival:** Se designa de este modo a la procedente de la función de la nieve.



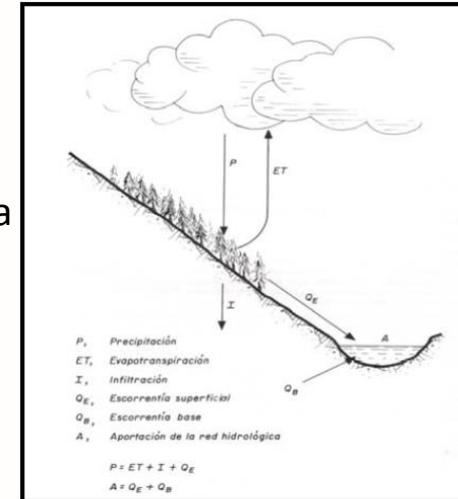
# ESCORRENTÍA

Según el camino que sigue el agua hasta alcanzar la red de drenaje se puede distinguir entre

**Escorrentía Superficial:** Corresponde al agua que no se infiltra en ningún momento, producto de una mayor intensidad de precipitación con respecto a la capacidad de infiltración del suelo, y que alcanza la red de drenaje moviéndose por la superficie del terreno bajo la acción de la gravedad.

**Escorrentía Hipodérmica o Subsuperficial:** Se debe a la saturación de los horizontes edáficos inferiores y corresponde a la fracción de precipitación que penetra el suelo y se mueve lateralmente por los horizontes superiores. El límite entre éste y la escorrentía superficial es confuso, ya que el agua que circula bajo la superficie puede reaparecer al aire libre e incorporarse a la escorrentía superficial y viceversa

**Escorrentía Subterránea :** Es la fracción de la precipitación que se infiltra hasta alcanzar la capa freática y que circula en régimen laminar a través de los acuíferos hasta desembocar en la red de drenaje superficial.



# ESCORRENTÍA

La importancia de este elemento en el ciclo hidrológico es patente, ya que alimenta las corrientes de los ríos, se aprovecha en el periodo de estiaje mediante su almacenamiento en embalses, se emplea su energía para la creación de energía eléctrica, la escorrentía provocada por los aguaceros torrenciales es la causante de las avenidas e inundaciones; provoca los procesos erosivos tanto superficiales como subterráneos y condiciona la composición química de las aguas.



# ESCORRENTÍA

---

Fases en la generación de la Escorrentía:

**1ª Fase:** Antes de la lluvia, la cuenca está perdiendo agua por dos caminos: la evapotranspiración y la escorrentía subterránea que alimenta los cauces de agua, con lo que disminuye el nivel piezométrico de la capa freática y disminuye la humedad del suelo.

**2ª Fase:** Al iniciarse la precipitación, la evapotranspiración se reduce al mínimo (atmósfera saturada de humedad) y el agua de lluvia es interceptada por la cubierta vegetal. También se inicia la infiltración en el suelo, aunque con el paso del tiempo puede llegar al punto de escarchamiento. El agua se almacena en las depresiones del terreno (detención superficial) y comienza a escurrir por las laderas, incorporándose al flujo proveniente de las aguas subterráneas. Sin embargo, estas últimas son las que todavía aportan la mayor cantidad a las corrientes fluviales.

**3ª Fase:** La intensidad de la precipitación supera en mucho la capacidad de infiltración del suelo. La interceptación es muy escasa. Hay mucha translocación y escurrimiento fustal. El suelo está saturado de agua y la escorrentía es intensa.

**4ª Fase:** Cesa la lluvia y la escorrentía disminuye rápida y progresivamente. El suelo y el subsuelo están saturados y van a seguir alimentando los cursos de aguas a través de escurrimientos subsuperficiales y subterráneos.

# ESCORRENTÍA

---

Factores que rigen la Escorrentía

**Suelo:** La escorrentía es menos en los suelos arenosos y mayor en los compactos, es inversamente proporcional a la capacidad de infiltración del terreno

**Vegetación:** este factor actúa positivamente reduciendo la escorrentía superficial, al frenar la velocidad de la lamina de agua, aumenta el tiempo de infiltración. También mantiene el perfil edáfico por debajo de la capacidad de campo, mejora mediante la incorporación de materia orgánica la estructura del suelo y estabiliza los agregados frente al agua

**Fauna:** está ligada a la presencia de la vegetación. La fauna edáfica oxigena y airea los horizontes superficiales formando canales que aumentan la infiltración. En suelos compactos, arcillosos, con velocidad de infiltración del orden de 1mm/min esta puede llegar a duplicarse gracias a la presencia de la microfauna.

**Precipitación:** En especial, la intensidad del aguacero influye en la generación de escorrentía superficial. Siempre que dicha intensidad sea mayor que la velocidad de infiltración se estará produciendo lluvia neta, es decir : Flujo superficial.

**Efecto Antrópico**



# Numero de Curva

Este método conocido como el Método de los Números Hidrológicos, fue desarrollado por el Servicio de Conservación de Suelos del Departamento de Agricultura en el año 1972. La hipótesis inicial o de base se expresa de la siguiente forma:

El cociente entre las Pérdidas reales durante el aguacero y las pérdidas máximas posibles es igual al cociente entre el escurrimiento superficial real y el escurrimiento superficial máximo

$$\frac{P - E_s - P_o}{S} = \frac{E_s}{P - P_o} \quad (1)$$

**P-Es-Po:** Son las pérdidas reales durante el aguacero

**Po** : Es el umbral de escorrentía previa al encharcamiento (altura mínima de lluvia necesaria para que se produzca escorrentía superficial). Se corresponde con la cantidad de agua inicial retenida por intercepción, embalse superficial, evaporación, infiltración, antes de iniciarse la escorrentía

**S** : Son las pérdidas máxima posibles parámetro del modelo que depende del tipo de suelo, de su humedad inicial antes del aguacero, de la vegetación que sustenta y del tratamiento cultural que antes del aguacero, de la vegetación que sustenta y del tratamiento cultural que se realice sobre el suelo. Representa el potencial máximo de retención de agua que retiene el complejo : suelo – vegetación analizado.

**Es** : Escurrimiento superficial real, (VALOR A ESTUDIAR)

**P – Po** : Es el escurrimiento superficial máximo, es decir lo que llueve menos el umbral de escorrentía.

# Numero de Curva

Dependiendo de la ecuación (1), se obtiene la siguiente expresión

$$E_s = \frac{(P - P_0)^2}{P - P_0 - S} \quad (2)$$

Después de numerosas experiencias en cuencas aforadas el “Soil Conservation Service SCS” propone la siguiente relación entre S y Po

$$P_0 = 0,2 * S$$

Este valor sustituido en la ecuación (2) nos da el valor de la escorrentía superficial

$$E_s = \frac{(P - P_0)^2}{P + 4P_0}$$

en función de “S”

$$E_s = \frac{(P - 0,2S)^2}{P + 0,8S}$$

# Numero de Curva

**S** : Son las pérdidas máxima posibles parámetro del modelo que depende del tipo de suelo, de su húmedo inicial antes del aguacero, de la vegetación que sustenta y del tratamiento cultural que antes del aguacero, de la vegetación que sustenta y del tratamiento cultural que se realice sobre el suelo. Representa el potencial máximo de retención de agua que retiene el complejo : suelo – vegetación analizado.

**S** : Es un parámetro que se obtiene a partir del numero de curva de la cuenca (N), conocido el valor de N, el parámetro S se calcula mediante la expresión:

$$S = \frac{25400 - 254N}{N}$$

Con lo que:

$$P_0 = \frac{5080 - 50,8N}{N}$$

# Numero de Curva

---

- El número de curva (***N***) siempre está comprendido entre 0 y 100.
- Números de curva altos implican escorrentías elevadas (es decir: infiltraciones bajas).
- Números de curva bajos aseguran bajas escorrentías superficiales y altas infiltraciones.
- El número de curva (***N***) de un complejo hidrológico depende de:
  - Tipo de cubierta vegetal (***CV***)
  - Tratamiento (o explotación del terreno) (***TT***)
  - Condiciones hidrológicas de la superficie del suelo (***HH***)
  - Tipo de suelo (***TS***) {**A, B, C, D** // 4 tipos de suelo}
  - Grado de humedad antecedente (***J***) {**1, 2, 3** // 3 posibilidades}

$$N = F(CV, TT, HH, TS, J)$$

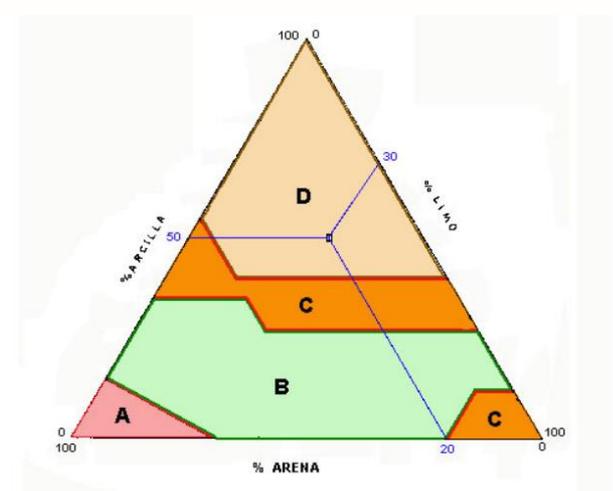
# Numero de Curva

**CLASE A:** Suelos con alta capacidad de infiltración.  
Arenas, gravas y loess profundos.

**CLASE B:** Suelos con capacidad de infiltración moderada. Loess poco profundos, marga arenosa.

**CLASE C:** Suelos con capacidad de infiltración bajas. Marga arcillosa, marga arenosa poco profunda, suelos de bajo contenido orgánico y suelos generalmente con alto contenido de arcilla.

**CLASE D:** Suelos con muy baja capacidad de infiltración o en los que el nivel freático está cerca de la superficie. Suelos que aumentan de volumen cuando están mojados, arcillas plásticas pesadas y algunos suelos salinos.



# Numero de Curva

Tipo de vegetación	Tratamiento	Condición Hidrológica	Tipo de suelo			
			A	B	C	D
Barbecho	Desnudo	-	77	86	91	94
	CR	Pobre	76	85	90	93
	CR	Buena	74	83	88	90
Cultivos alineados	R	Pobre	72	81	88	91
	R	Buena	67	78	85	89
	R + CR	Pobre	71	80	87	90
	R + CR	Buena	64	75	82	85
	C	Pobre	70	79	84	88
	C	Buena	65	75	82	86
	C + CR	Pobre	69	78	83	87
	C + CR	Buena	64	74	81	85
	C + T	Pobre	66	74	80	82
	C + T	Buena	62	71	78	81
	C + T + CR	Pobre	65	73	79	81
	C + T + CR	Buena	61	70	77	80

# Numero de Curva

Tipo de vegetación	Tratamiento	Condición Hidrológica	Tipo de suelo			
			A	B	C	D
Cultivos no alineados, o con	R	Pobre	65	76	84	88
surcos pequeños o mal definidos	R	Buena	63	75	83	87
	R + CR	Pobre	64	75	83	86
	R + CR	Buena	60	72	80	84
	C	Pobre	63	74	82	85
	C	Buena	61	73	81	84
	C + CR	Pobre	62	73	81	84
	C + CR	Buena	60	72	80	83
	C + T	Pobre	61	72	79	82
	C + T	Buena	59	70	78	81
	C + T + CR	Pobre	60	71	78	81
C + T + CR	Buena	58	69	77	80	
Cultivos densos de leguminosas	R	Pobre	66	77	85	89
o prados en alternancia	R	Buena	58	72	81	85
	C	Pobre	64	75	83	85
	C	Buena	55	69	78	83
	C + T	Pobre	63	73	80	83
	C + T	Buena	51	67	76	80
	-	Pobres	68	79	86	89
	-	Regulares	49	69	79	84
Pastizales o pastos naturales	-	Buenas	39	61	74	80
	C	Pobres	47	67	81	88
	C	Regulares	25	59	75	83
Pastizales	C	Buenas	6	35	70	79

# Numero de Curva

Tipo de vegetación	Tratamiento	Condición Hidrológica	Tipo de suelo			
			A	B	C	D
Matorral-herbazal, siendo el	-	Pobres	48	67	77	83
matorral preponderante	-	Regulares	35	56	70	77
	-	Buenas	≤30	48	65	73
Combinación de arbolado y herbazal, cultivos agrícolas leñosos	-	Pobres	57	73	82	86
	-	Regulares	43	65	76	82
	-	Buenas	32	58	72	79
Montes con pastos	-	Pobres	45	66	77	83
(aprovechamientos silvopastorales)	-	Regulares	36	60	73	79
	-	Buenas	25	55	70	77
Bosques	-	I Muy pobre	56	75	86	91
	-	II Pobre	46	68	78	84
	-	III Regular	36	60	70	76
	-	IV Buena	26	52	63	69
	-	V Muy buena	15	44	54	61
Caseríos	-	-	59	74	82	86
Caminos en tierra	-	-	72	82	87	89
Caminos con firme	-	-	74	84	90	9

# Numero de Curva

---

Los valores N que aparecen en la tabla suponen un contenido de humedad en el suelo, antes del aguacero, normal. Sin embargo, puede ocurrir que el aguacero se produzca sobre suelos muy secos o muy húmedos, con lo cual se han de utilizar otros valores de “N” distintos

Condición I

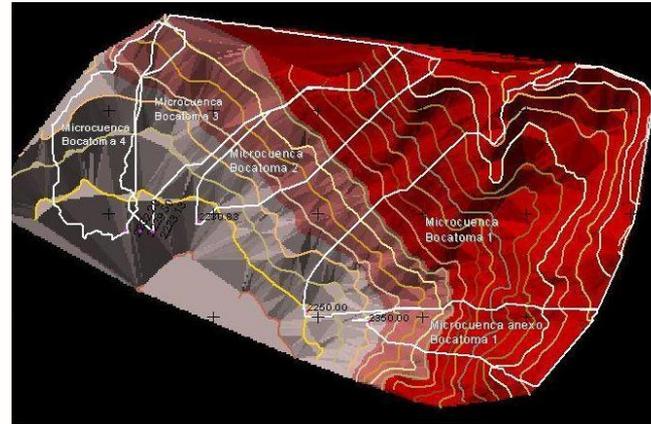
$$N_I = \frac{4,2N_{II}}{10 - 0,058N_{II}}$$

Condición II

$$N_{III} = \frac{23N_{II}}{10 - 0,13N_{II}}$$

# Numero de Curva

Para el numero hidrológico de una cuenca, se deben determinar las distintas áreas homogéneas y se calcula el valor característico para el conjunto del sistema



$$N = \sum_1^n \frac{N_i * a_i}{A}$$

# Numero de Curva

De la escorrentía superficial que se produce para una lluvia de 60 mm/H, que cae durante una hora y cuarto sobre una cuenca en la que existen pastos permanente de muy buena calidad en su parte alta y que ocupan aproximadamente 30% de la superficie total de la cuenca. Además y defendiendo la ladera, se ha efectuado un reforestación con coníferas que ocupan el 40% de la superficie. En tanto en las zonas bajas se dedica a cultivos agrícolas, su extensión supone el 30% restante. Los suelos presentan, en general buenas condiciones de infiltración con presencia de arcillas



# Numero de Curva

Suponiendo que los suelos pertenecen al grupo B y la condición II tenemos:

Para los cultivos naturales con buena infiltración  
N = 61

Para cultivos agrícolas en hileras N: 78

Para repoblación forestal N: 60

Tipo de vegetación	Tratamiento	Condición Hidrológica	Tipo de suelo			
			A	B	C	D
Cultivos no alineados, o con	R	Pobre	65	76	84	88
surcos pequeños o mal definidos	R	Buena	63	75	83	87
	R + CR	Pobre	64	75	83	86
	R + CR	Buena	60	72	80	84
	C	Pobre	63	74	82	85
	C	Buena	61	73	81	84
	C + CR	Pobre	62	73	81	84
	C + CR	Buena	60	72	80	83
	C + T	Pobre	61	72	79	82
	C + T	Buena	59	70	78	81
	C + T + CR	Pobre	60	71	78	81
C + T + CR	Buena	58	69	77	80	
Cultivos densos de leguminosas	R	Pobre	66	77	85	89
o prados en alternancia	R	Buena	58	72	81	85
	C	Pobre	64	75	83	85
	C	Buena	55	69	78	83
	C + T	Pobre	63	73	80	83
	C + T	Buena	51	67	76	80
	-	Pobres	68	79	86	89
Pastizales o pastos naturales	-	Regulares	49	69	79	84
	-	Buenas	39	61	74	80
	C	Pobres	47	67	81	88
Pastizales	C	Regulares	25	59	75	83
	C	Buenas	6	35	70	79

# Numero de Curva

Entonces el N de toda la cuenca será

$$N = \sum_1^n \frac{Ni * a_i}{A} \quad N : 0,6 * 61 + 0,3 * 78 + 0,4 * 60 = 67$$

A partir del numero de curva se genera la información

$$S = \frac{25400 - 254N}{N} \quad E_s = \frac{(P - 0,2S)^2}{P + 0,8S}$$

$$S = \frac{25400 - 254 * 65,7}{65,7} = 132,6$$

$$E_s = \frac{(P - 0,2S)^2}{P + 0,8S} = \frac{(75 - (0,2 * 132,6))^2}{75 + (0,8 * 132,6)} = 13mm$$

# Numero de Curva

Condición I

$$N_I = \frac{4,2N_{II}}{10 - 0,058N_{II}} = \frac{4,2 * 65,7}{10 - (0,058 * 65,7)} = 44,6$$

$$S = \frac{25400 - 254 * 44,6}{44,6} = 301,8$$

$$E_s = \frac{(P - 0,2S)^2}{P + 0,8S} = \frac{(75 - (0,2 * 308,1))^2}{75 + (0,8 * 308,1)} = 0,7mm$$

# Numero de Curva

Condición III

$$N_{III} = \frac{23N_{II}}{10 + 0,13N_{II}} = \frac{23 * 65,7}{10 + (0,13 * 65,7)} = 82$$

$$S = \frac{25400 - 254 * 82}{82} = 55,76mm$$

$$E_s = \frac{(P - 0,2S)^2}{P + 0,8S} = \frac{(75 - (0,2 * 55,76))^2}{75 + (0,8 * 55,76)} = 34,08mm$$

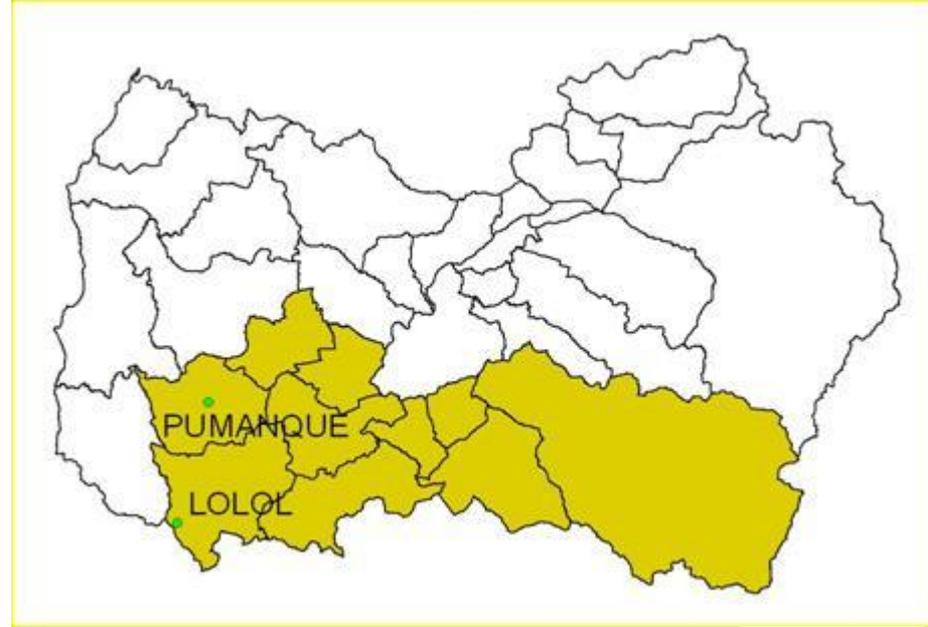
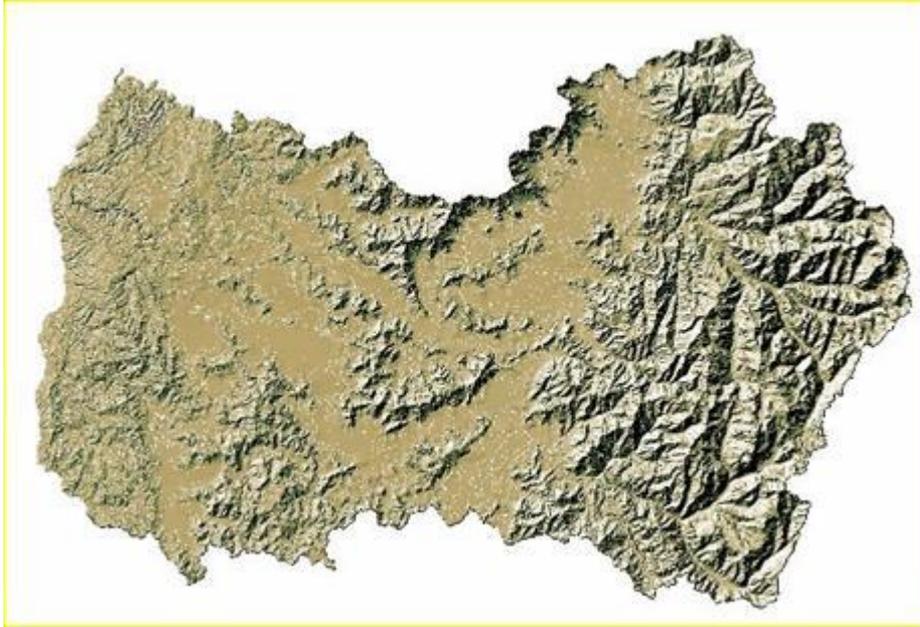
## Experiencia Práctica

### Water augmentation techniques for plantations on sloped drylands: an experimental evaluation

- Aportar antecedentes técnicos que permitan un uso eficiente de las aguas lluvias, provenientes de módulos de carácter experimental, en dos sitios edafoclimáticos distintos del secano interior de la Provincia de Colchagua, Sexta Región de Chile.

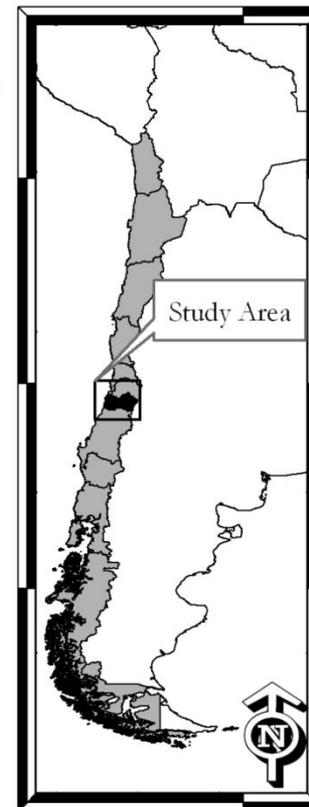
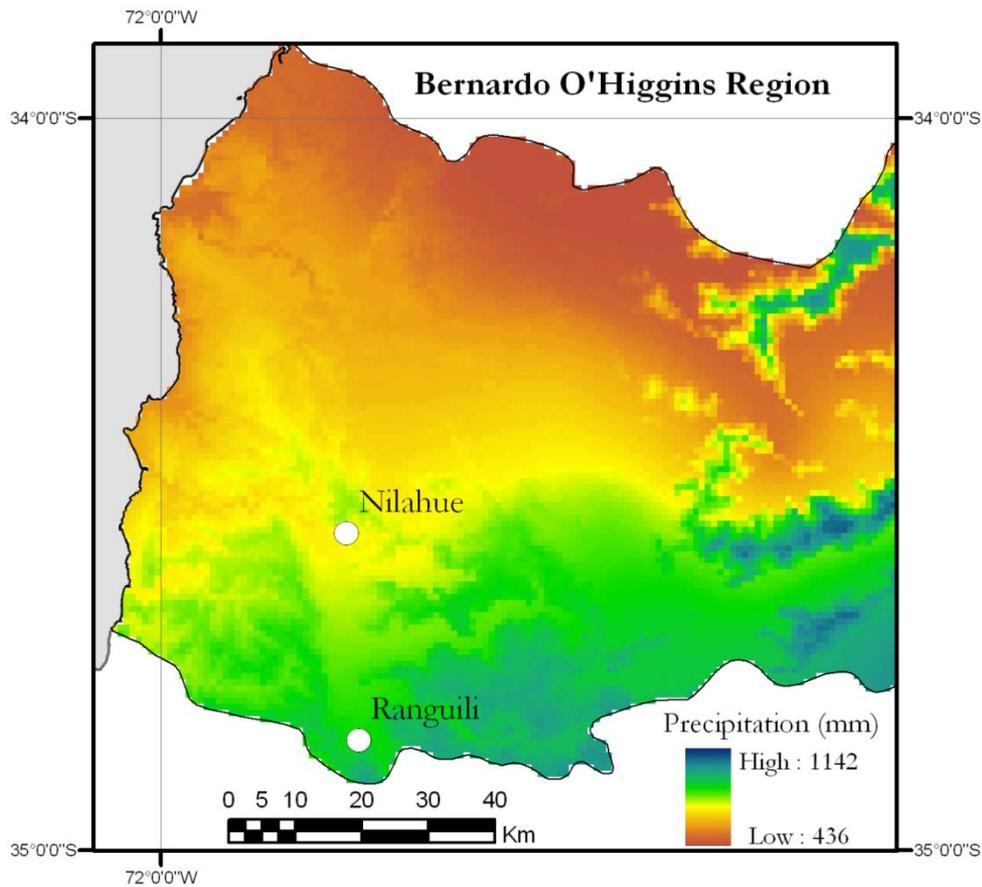
# PROYECTOS DE REHABILITACIÓN

## OBRAS DE CONSERVACIÓN DE SUELO



# PROYECTOS DE REHABILITACIÓN

## OBRAS DE CONSERVACIÓN DE SUELO

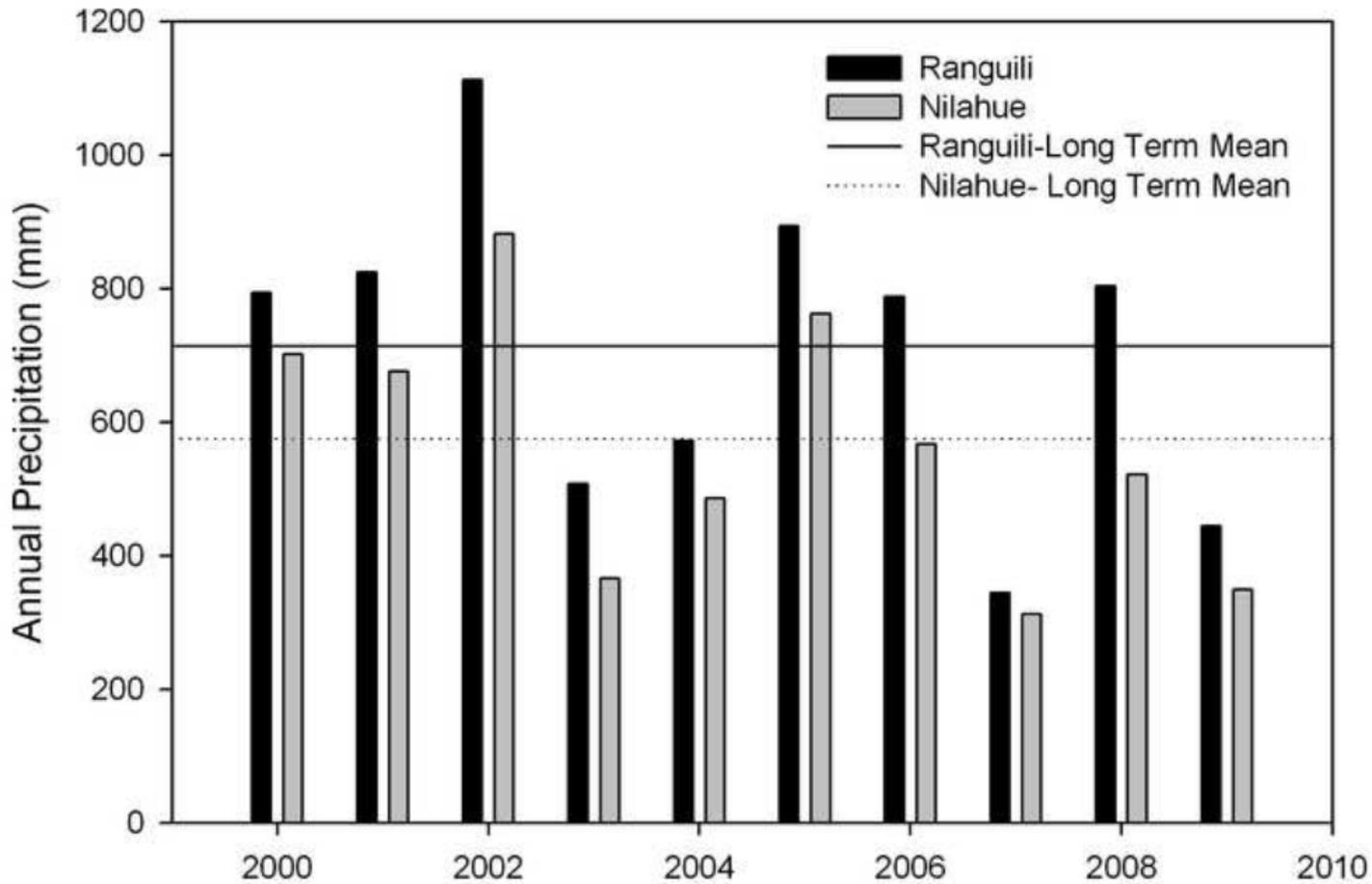


# OBRAS DE CONSERVACIÓN DE SUELO

## Suelo

<b>Generalidades</b>	<b>Secano Norte</b>	<b>Secano Sur</b>
Fisiografía	Ladera alta cerro	Ladera alta cerro
Relieve	Ondulado	Ondulado
Material de origen	Graniodorita	Graniodorita
Grado de erosión	Muy severa	Muy severa
Infiltración	Lenta	Lenta
Drenaje	Lento	Lento
Uso pasado reciente	Producción cereales	Bosque <i>Pinus radiata</i>

# OBRAS DE CONSERVACIÓN DE SUELO



# PROYECTOS DE REHABILITACIÓN

---

## OBRAS DE CONSERVACIÓN DE SUELO

TESTIGO



Casilla, condición de suelo sin alterar.

# PROYECTOS DE REHABILITACIÓN

## OBRAS DE CONSERVACIÓN DE SUELO



Perfil superior del suelo removido mediante arado de tracción animal, de vuelta y vuelta, con una profundidad de rotulación de 15–20 cm.



## BARBECHO

# OBRAS DE CONSERVACIÓN DE SUELO



## MICROTERRAZA

Ancho en la base de 50 cm, contra pendiente de un 1%, camellón aguas abajo de 15 cm, altura talud de 15 cm, trazada con surco caballo en curva de nivel y perfilada manualmente con pala.

# PROYECTOS DE REHABILITACIÓN

## OBRAS DE CONSERVACIÓN DE SUELO

### ZANJA DE INFILTRACIÓN



Área del perfil transversal  $0,108 \text{ m}^2$ , de base 20 cm, ancho superior 52 cm, altura 30 cm, proporción talud aguas arriba 1:0,57, largo 30 cm y proporción talud aguas abajo 1:0,50, largo 32,5 cm. De largo 3 m, capacidad en volumen  $0,324 \text{ m}^3$  y una distancia entre zanjas de 6 m, resultando un área de captación de aguas lluvias de  $18 \text{ m}^2$ .



# PROYECTOS DE REHABILITACIÓN

## OBRAS DE CONSERVACIÓN DE SUELO

### SENSORES DE TENSIÓN DE HUMEDAD DEL SUELO

Tratamiento	Descripción preparación de suelo	Profundidad del sensor (m)	Ubicación del sensor
1-2-3	Suelo testigo, barbecho y microterrazza	0,3 -0,6	Centro de la parcela experimental
4-5-6	Suelo con zanja de infiltración	0,3 -0,6	A 0,6; 3,0 y 5,0 m del talud inferior



**Rango de medición sensores:  
200 kPa = 1,97 atm**

**1 atm = 76 cm Hg, a 1 bar, a 0,1 Mpa, a  
101,3 kPa**

**1 kPa = 0,987 x 10<sup>-3</sup> Mpa**

# PROYECTOS DE REHABILITACIÓN

## OBRAS DE CONSERVACIÓN DE SUELO

Preparación del suelo - Sensores



CASILLA (TESTIGO)



BARBECHO



MICROTERRAZA



ZANJA DE INFILTRACIÓN

# PROYECTOS DE REHABILITACIÓN

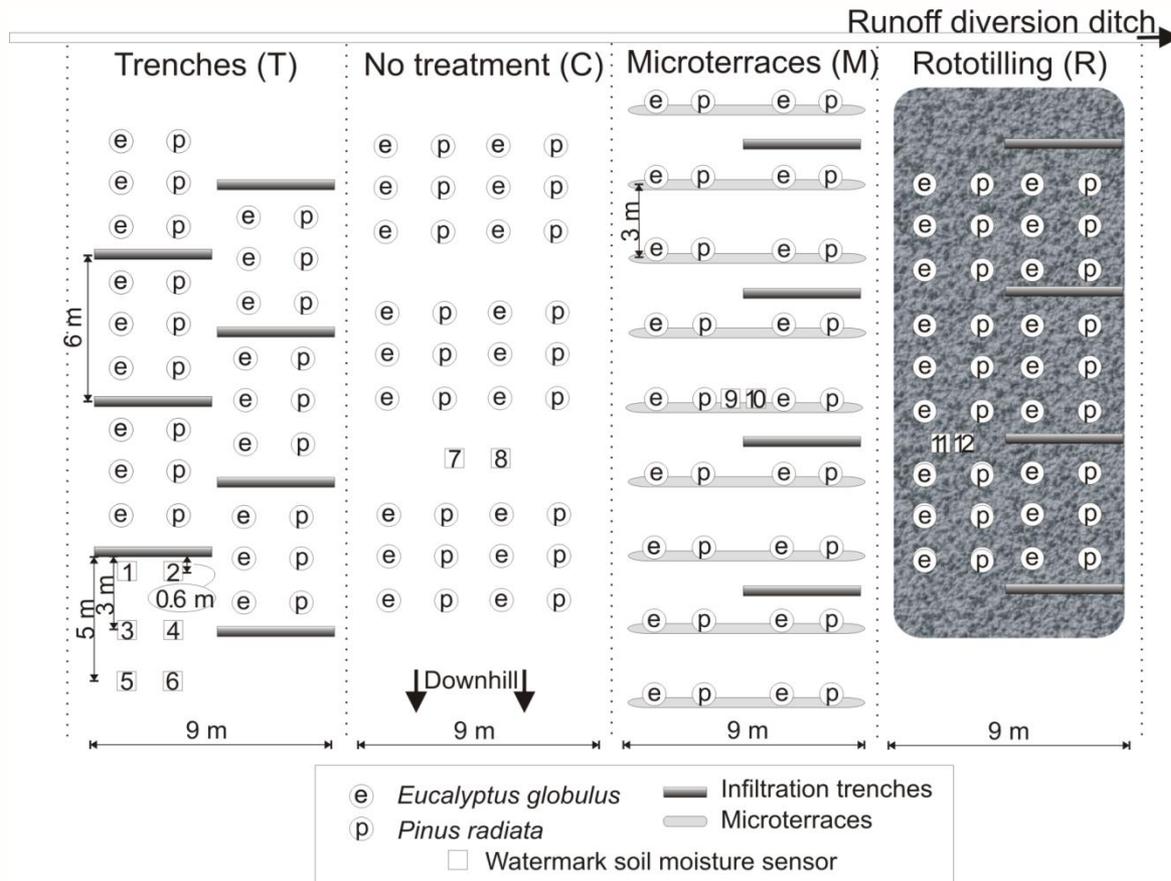
---

## OBRAS DE CONSERVACIÓN DE SUELO



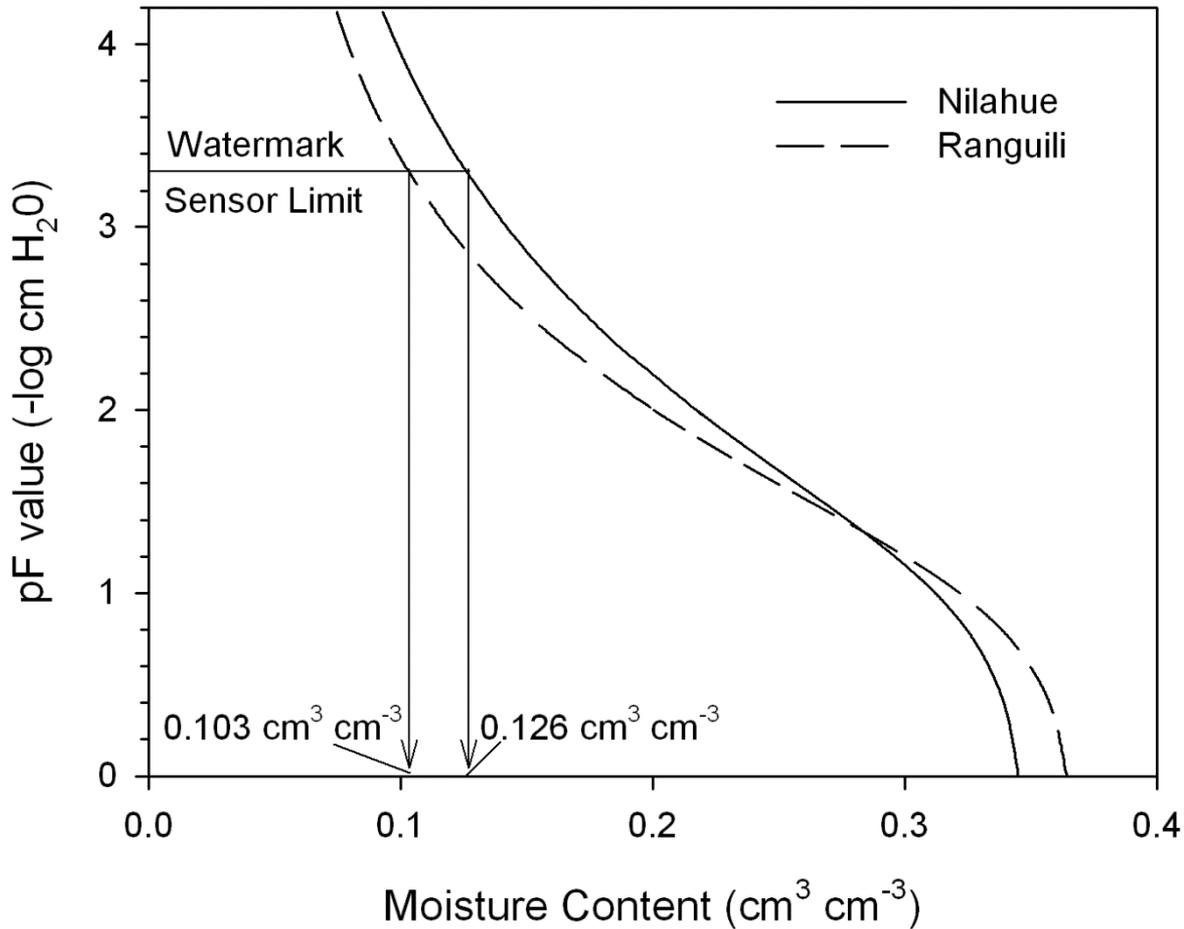
# PROYECTOS DE REHABILITACIÓN

## OBRAS DE CONSERVACIÓN DE SUELO



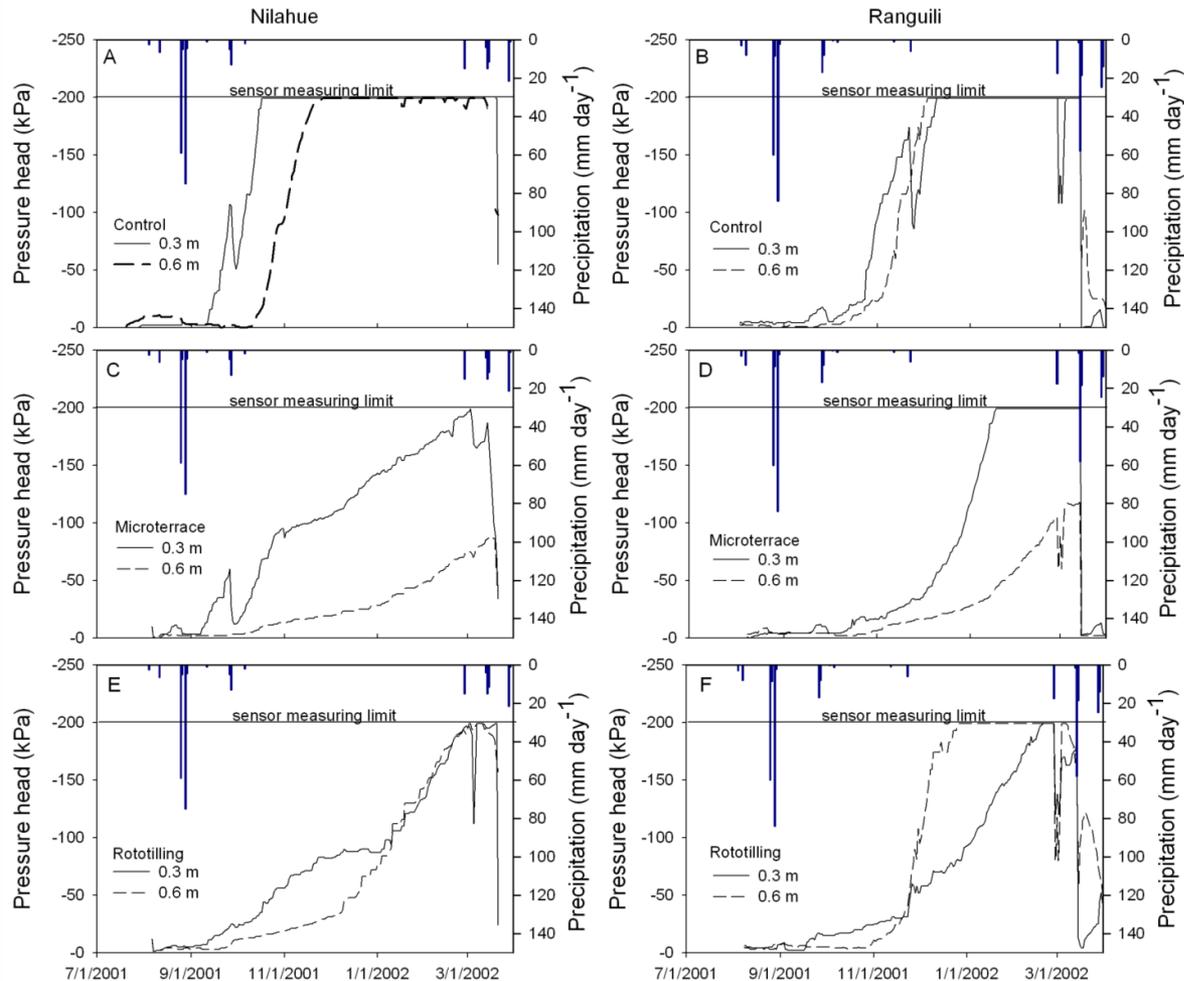
# PROYECTOS DE REHABILITACIÓN

## OBRAS DE CONSERVACIÓN DE SUELO



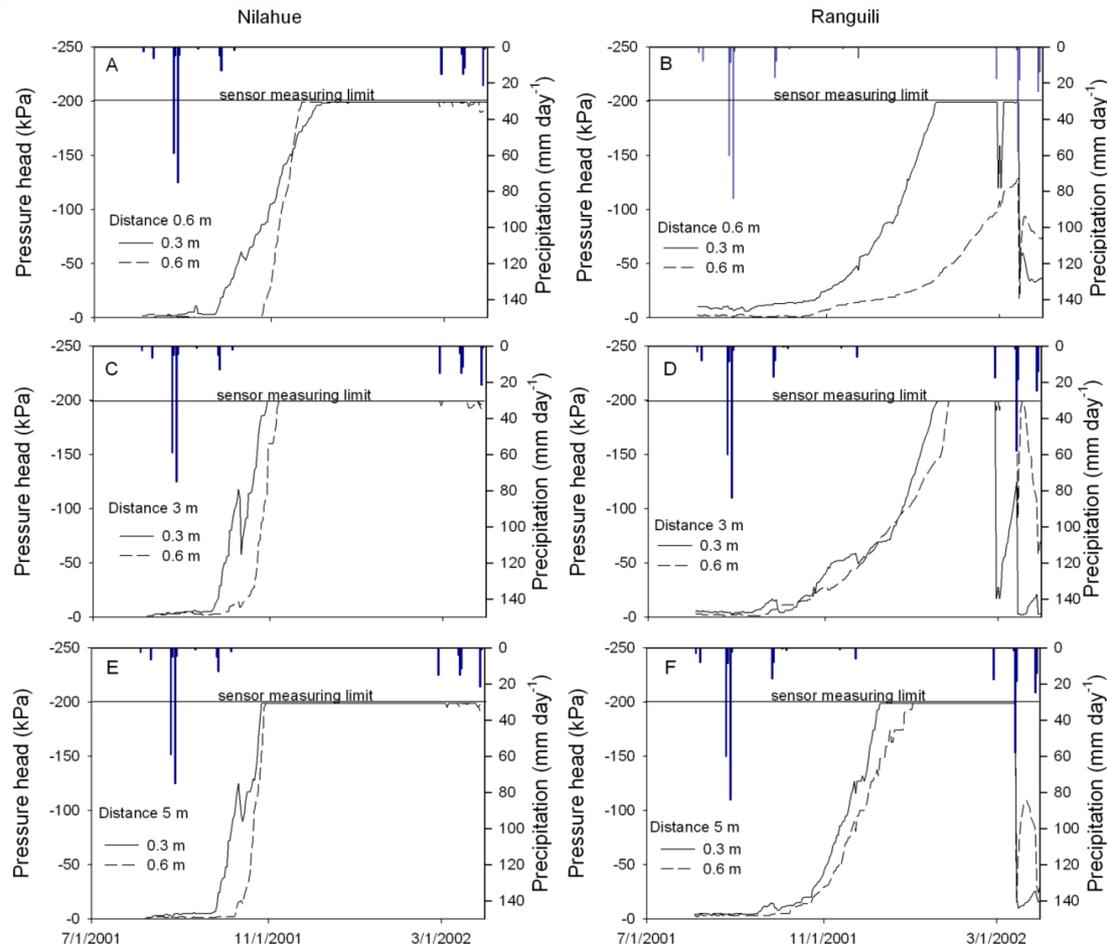
# PROYECTOS DE REHABILITACIÓN

## OBRAS DE CONSERVACIÓN DE SUELO



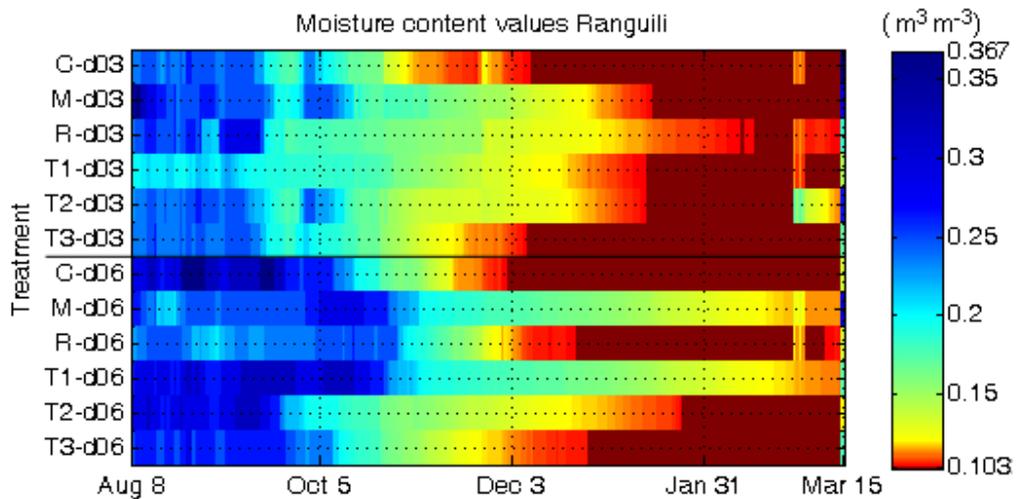
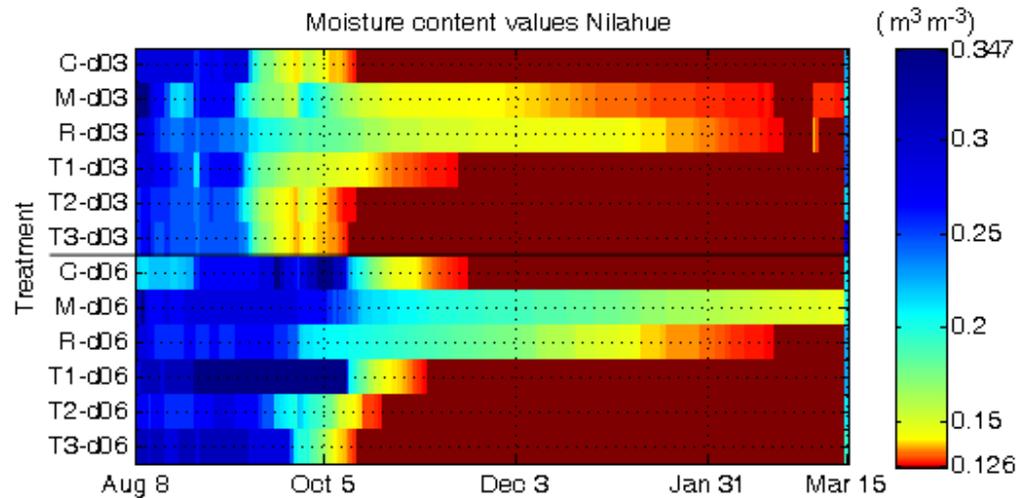
# PROYECTOS DE REHABILITACIÓN

## OBRAS DE CONSERVACIÓN DE SUELO



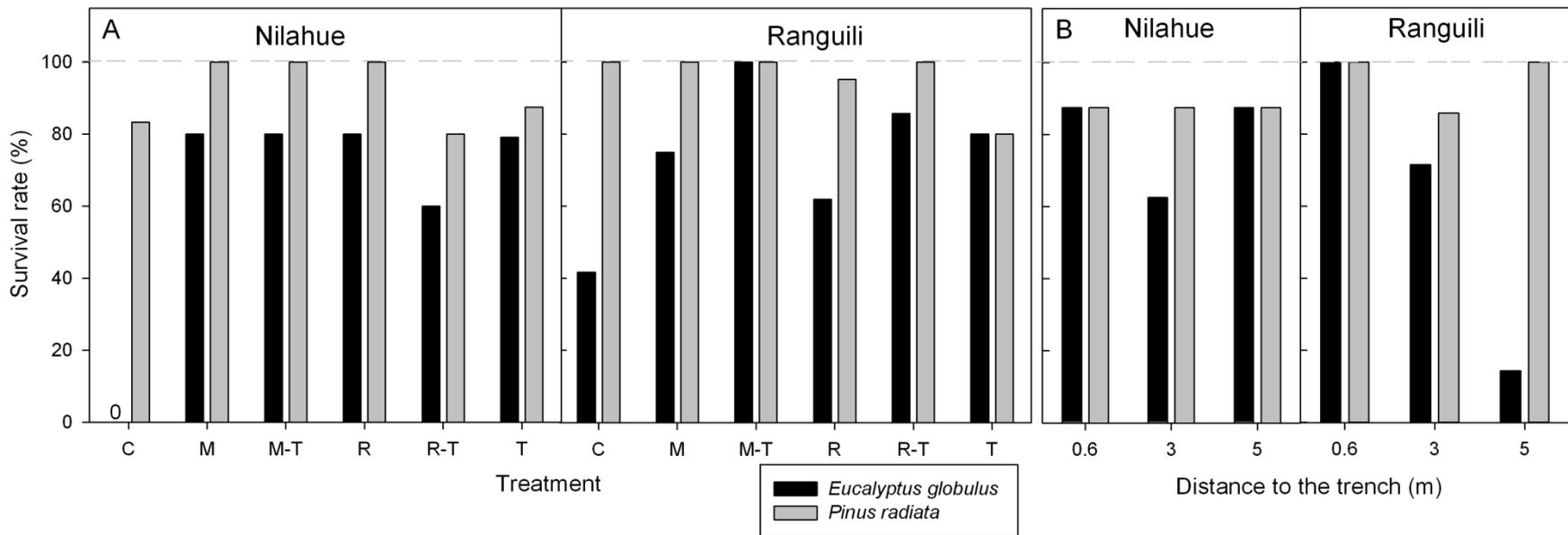
# PROYECTOS DE REHABILITACIÓN

## OBRAS DE CONSERVACIÓN DE SUELO



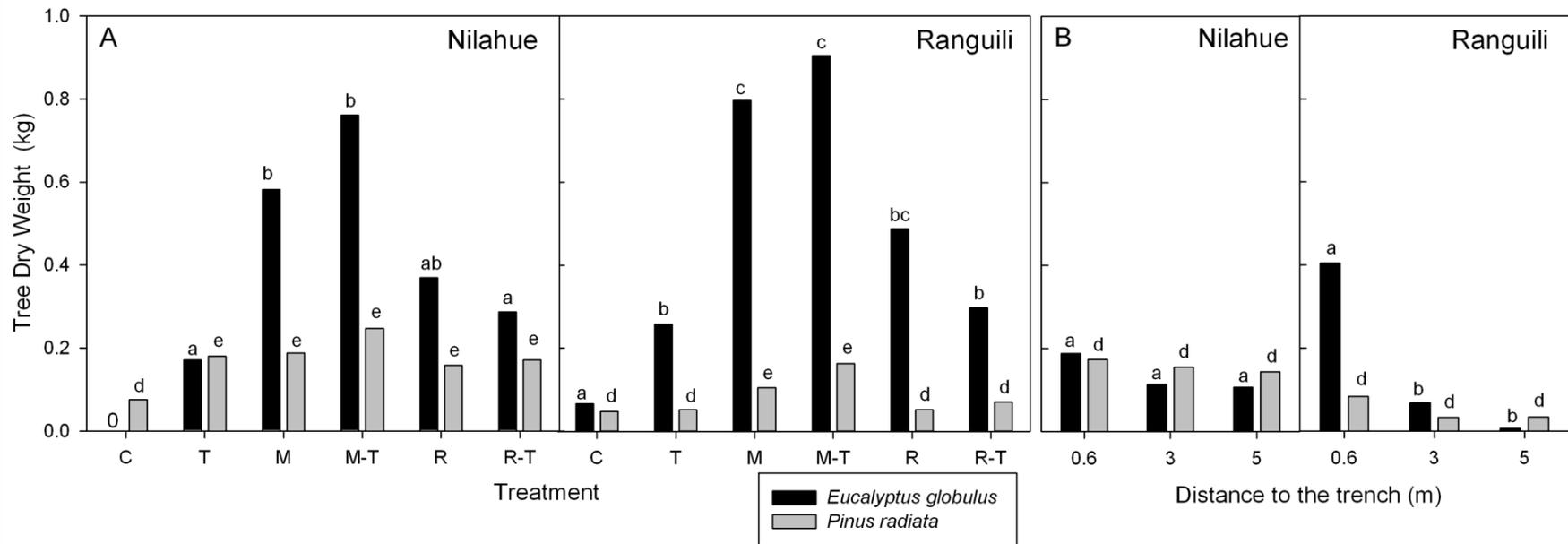
# PROYECTOS DE REHABILITACIÓN

## OBRAS DE CONSERVACIÓN DE SUELO



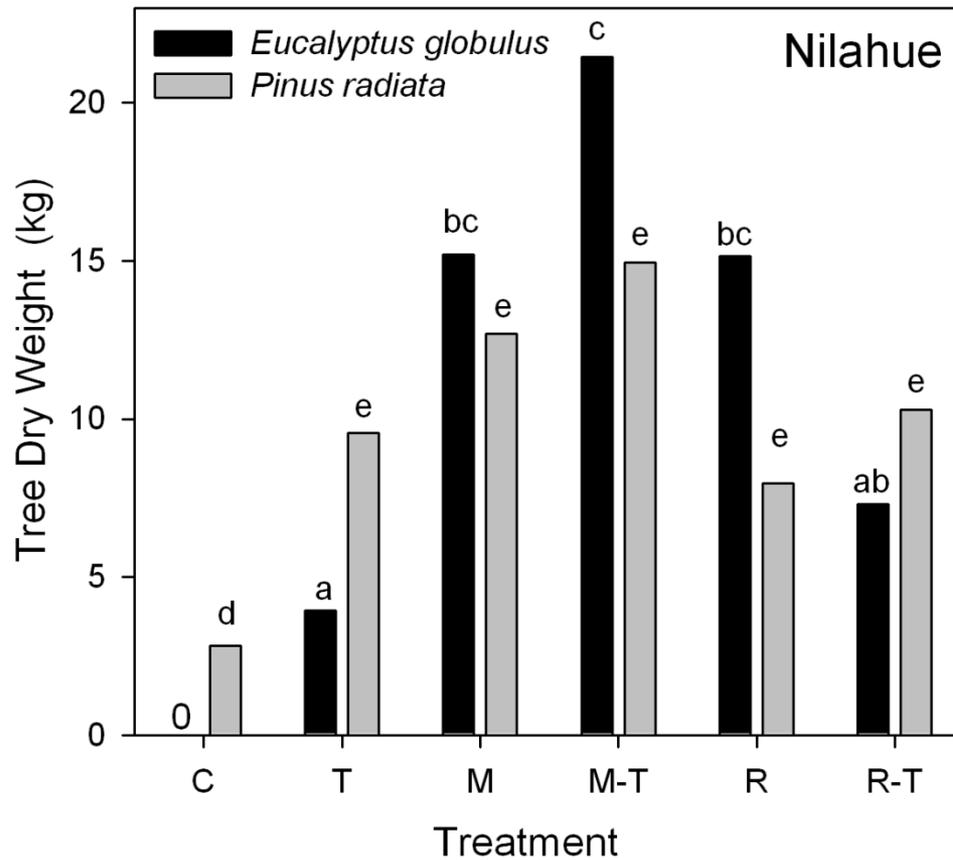
# PROYECTOS DE REHABILITACIÓN

## OBRAS DE CONSERVACIÓN DE SUELO



# PROYECTOS DE REHABILITACIÓN

## OBRAS DE CONSERVACIÓN DE SUELO



# PROYECTOS DE REHABILITACIÓN



- 100 km S de Santiago, cerca de Rapel (Loncha)



- Convenio CONAF-El Teniente:  
Reforestación de terrenos degradados

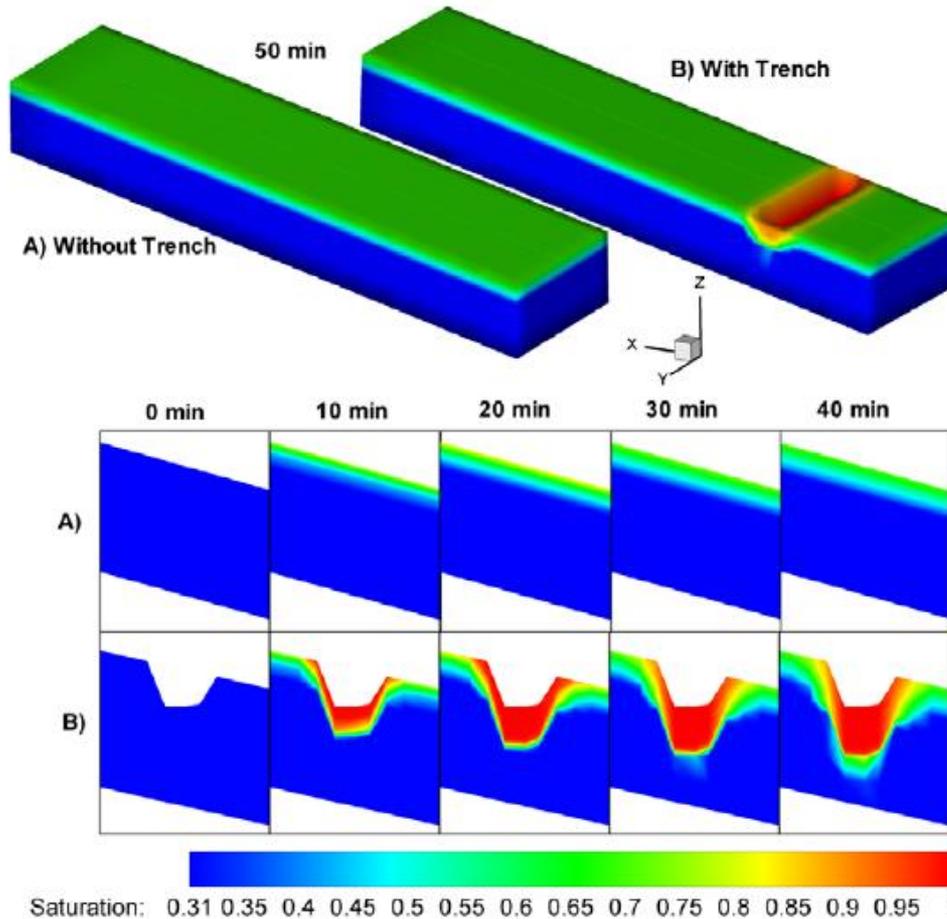
# PROYECTOS DE REHABILITACIÓN

## OBRAS DE CONSERVACIÓN DE SUELO



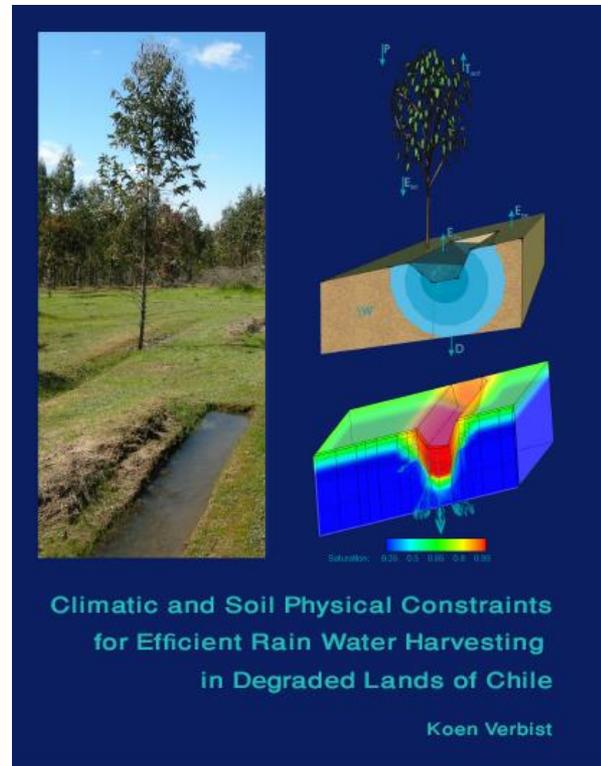
# PROYECTOS DE REHABILITACIÓN

## OBRAS DE CONSERVACIÓN DE SUELO



# PROYECTOS DE REHABILITACIÓN

## OBRAS DE CONSERVACIÓN DE SUELO



## OBRAS DE CONSERVACIÓN DE SUELO

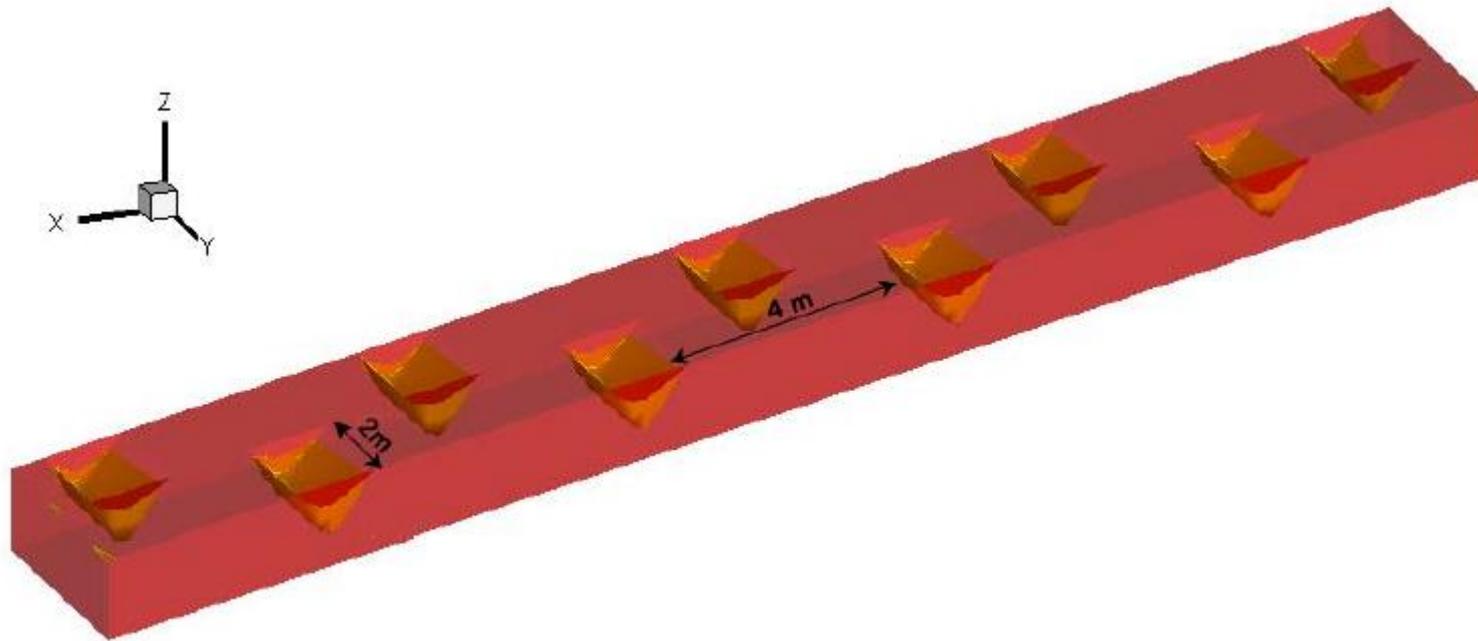


Fig. 7.10 The design calculated by the MAUCO approach, with an intertrench distance of 4 m

# PROYECTOS DE REHABILITACIÓN

## OBRAS DE CONSERVACIÓN DE SUELO

- Diseño 'MAUCO':

