



GOBIERNO DE CHILE
CORPORACION NACIONAL FORESTAL

METODOLOGÍA DE DISEÑO DE OBRAS DE CONSERVACIÓN DE SUELO

(Manual y Software MAUCO)

Versión Actualizada

Mauricio Lemus Vera

Escuela Latinoamericana de Física de Suelos. Manejo Sustentable de Cuencas Hidrográfica
Física de Suelos y el Manejo de la Tierra y el Agua en Zonas de Ladera

ANTECEDENTES GENERALES

Tendencias en la plantación de árboles en Chile

(En hectáreas por año)

Marco Jurídico	Período	Plantación de árboles
	Hasta 1930	150
Ley Forestal	1931 - 1973	16.000
Decreto Ley 701	1974 - 1995	90.000 (a)
Ley 19.561 (Nuevo D.L. 701)	1996 - 2004	91.000 (b)

(a) Principalmente forestación

(b) Principalmente reforestación

Fuente: Corporación Chilena de la Madera (CORMA) en CEPAL/OCDE

Evaluación del desempeño ambiental CHILE, 2005

ANTECEDENTES GENERALES

D.L. 701 (1974)

Objetivo:

Fomentar la forestación y preservar los bosques existentes.

Medios:

- **Bonificaciones directas, exenciones tributarias, inexpropiabilidad de terrenos forestales.**
- **Obligatoriedad de la reforestación**

Ley 19.561 (1998) (Nuevo D.L. 701)

Esta Ley tiene por Objeto regular la actividad forestal en suelos de aptitud preferentemente Forestal y en suelo degradados e incentivar la forestación, en especial por parte de pequeños propietarios forestales y aquella necesaria para la prevención de la degradación protección y recuperación del territorio nacional

Obras de Conservación Bonificadas (D.L. 701)

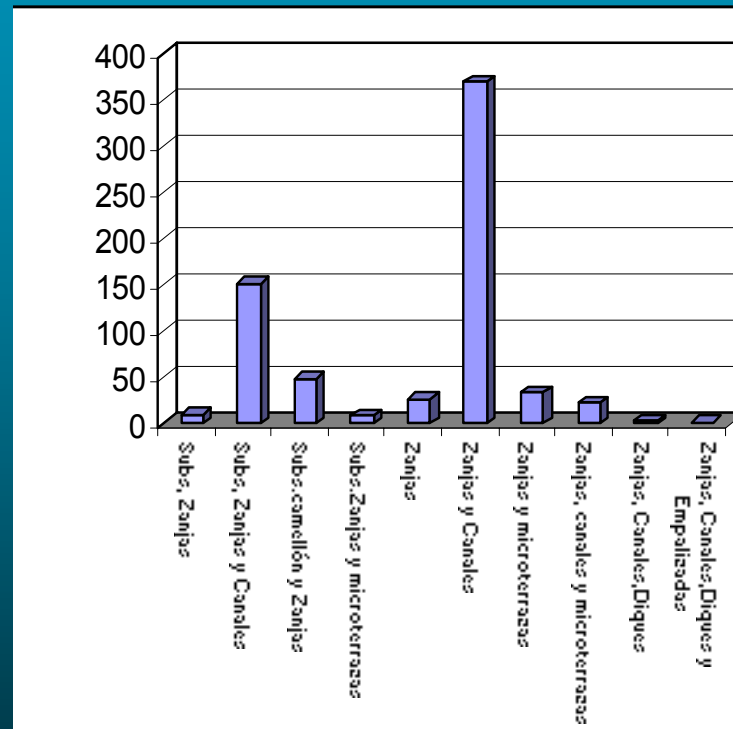
- 1.- Zanja de Infiltración
- 2.- Canal de Desviación
- 3.- Diques de postes
- 4.- Gaviones
- 5.- Empalizada
- 6.- Murestes de sacos
- 7.- Muretes de piedras
- 8.- Muro de Contención de Neumáticos
- 9.- Muro de Contención de Neumáticos
- 10.- Microterraza Manual
- 11.- Microterraza con Escarificado
- 12.- Biotecnias
- 13.- Subsulado con camellom



ANALISIS : Obras de Conservación Bonificadas (D.L. 701)

Obras desarrolladas Provincia Colchagua, VI Región (Hasta el año 2002)

Sistemas de Obras	Ha
Subs, Zanjias	9.20
Subs, Zanjias y Canales	151.90
Subs.camellón y Zanjias	48.16
Subs.Zanjias y microterrazas	8.00
Zanjias	26.44
Zanjias y Canales	369.95
Zanjias y microterrazas	32.56
Zanjias, canales y microterrazas	21.98
Zanjias, Canales,Diques	2.20
Zanjias, Canales,Diques y Empalizadas	1.20
Total	671.59



Obras más utilizadas
Zanja de Infiltración
Canal de Desviación

Objetivo: Obras de Conservación

Canal de Desviación

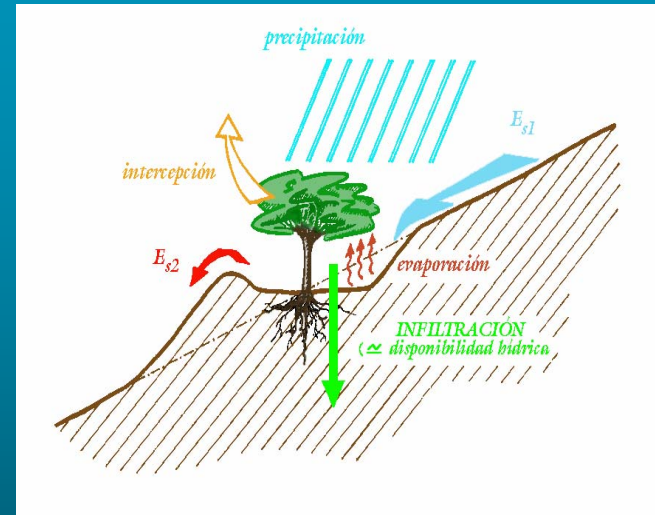
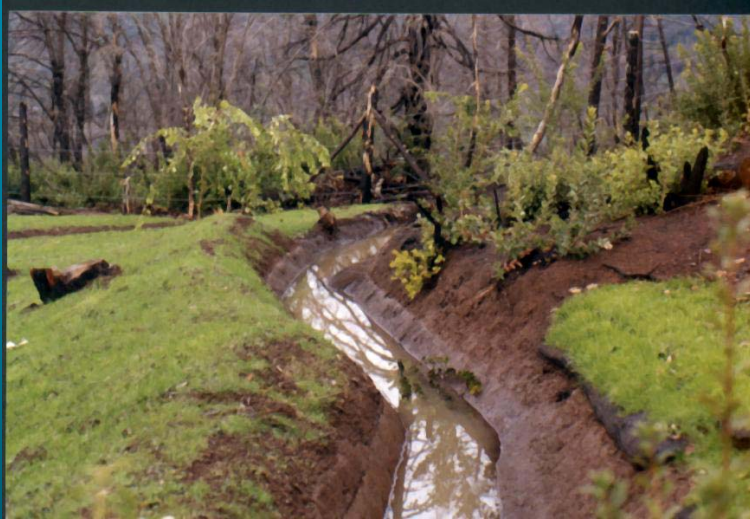


- Disminuir el escurrimiento superficial del área con cárcavas activas
- Disipar el agua retenida hacia las laderas estabilizadas

Fuente : CONAF, 1999

Objetivo: Obras de Conservación

Zanja de Infiltración



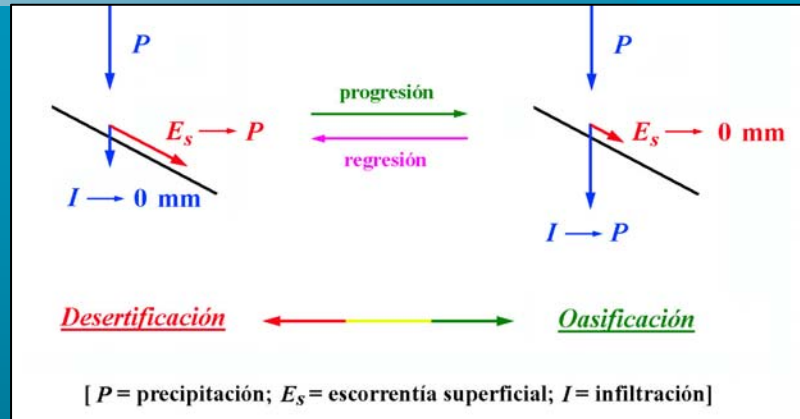
- Disminuir la velocidad de las aguas lluvias.
- Aumentar la infiltración del agua en el suelo
- Reducir la escorrentía superficial
- Retener los sedimentos removidos por el flujo hídrico.
- Acumular el agua de las lluvias para el riego

- Cosechar Agua
- Recolectar suelo y nutrientes
- Mejorar las condiciones de Humedad del Suelo
- Permitir el desarrollo de una vegetación forestal
- Revertir el proceso de Desertificación por Aridez edáfica : **OASIFICAR**

Fuente : CONAF, 1999

Fuente : Martínez de Azagra, 2005

OASIFICACIÓN



OASIFICACIÓN: como antónimo de desertificación por aridez edáfica. Se trata de densificar y lignificar la cubierta vegetal, o lo que es lo mismo, revertir el proceso de degradación hídrica, edáfica y botánica que padece una ladera, mediante una correcta preparación del suelo e introduciendo las especies vegetales adecuadas.

(Martínez de Azagra, 1999; 2002 – WWW.OASIFICACION.COM)



*¿Que Indicaciones Técnicas
para el Diseño de Zanjas de
Infiltración y Canales de
Desviación, entrega la Ley?*

Zanja de Infiltración y Canal de desviación

ZANJA DE INFILTRACION: Obra de recuperación de suelos, manual o mecanizada, diseñada y construida para capturar y almacenar la escorrentía procedente de las cotas superiores. Se construye transversalmente a la pendiente, en la **curva de nivel**. La obra comprende un conjunto de zanjas continuas o individuales en tresbolillo. Presenta una sección con un ancho **mínimo en la base de 0,2 metros**, una altura efectiva mínima en la **cara inferior de 0,2 metros**. Al construirse zanjas individuales en tresbolillo **el largo fluctúa entre 3 y 8 metros y la separación o tabique entre zanjas**, en la curva de nivel, varía entre 0,7 y 7 metros, según la altura y largo de ellas. Si las zanjas son continuas, en un rango de 5 a 15 metros se deberá dejar un tabique de 0,3 metros sin construir. Aguas abajo, adyacente a la excavación, se construye un camellón de altura y ancho similares a la profundidad de la zanja y a la anchura superior de la obra, respectivamente. Se excluye la construcción de zanjas en suelos no estructurados.



Zanja de Infiltración y Canal de desviación

CANAL DE DESVIACION: Obra de recuperación de suelos, manual o mecanizada, que se sitúa preferentemente en la parte superior o media de la ladera para capturar la escorrentía procedente de las cotas superiores. Se construye transversalmente a la **pendiente con un ligero desnivel (1%)** para transportar el agua a una salida estabilizada. Presenta una sección con un **ancho mínimo en la base de 0,2 metros** y una **altura efectiva mínima de 0,2 metros**. Las dimensiones deben permitir evacuar un volumen de agua según la precipitación de diseño. Aguas abajo, adyacente a la excavación, se construye un camellón de altura y ancho similares a la profundidad del canal y a la anchura superior de la obra respectivamente. El **largo máximo es de 100 metros**. Las aguas del canal siempre deben evacuar en un área receptora estabilizada.





Chile País de Contrastes

- Clima (T° - Pp)
- Suelos
- Relieve
- Vegetación

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



Dificultad en el Diseño de Zanjas y Canales

- Para la realización de las obras según D.L 701, hace falta de una metodología técnica para el diseño de las obras (zanjas , canales)



- No existía bibliografía que reuniera en solo libro, de un modo directo una metodología para el diseño de canales y zanjas
- Escasa información pluviométrica disponible
- La necesidad de entregar de manera sistemática a los consultores el desarrollo de una metodología de diseño

Dificultad en el Diseño de Zanjas de Infiltración

- Determinación de Coeficiente de Escorrentía

OBJETIVO

Canal de Desviación



Agua que se va

Zanjas de Infiltración



Agua que se INFILTRA

Dificultad en el Diseño de Zanjias de Infiltración

- Determinación de Coeficiente de Escorrentía



$$\bar{C} = \frac{(P - P_0)(P + 23 \cdot P_0)}{(P + 11 \cdot P_0)^2}$$

(MOPU, 1987)

>

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

(Martínez de Azagra, 2006)

\bar{C} (en vez de a C).

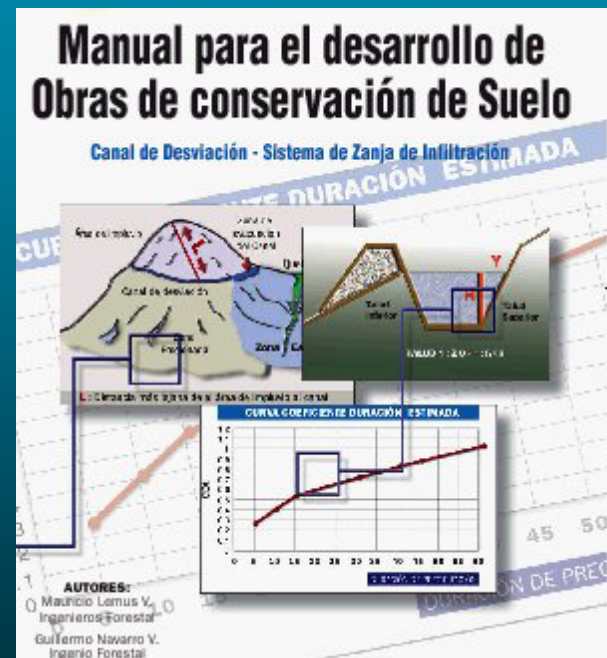
Método Racional

Sistemas de Recolección de agua
para repoblación Forestal

PROGRAMA Y MANUAL DE DISEÑO OBRAS DE CONSERVACIÓN

PROGRAMA :

MAUCO "Aguas Lluvias"



Programa para el diseño de obras de Conservación de Suelo
Diseño de Canales de desviación y Sistema de Zanjas de infiltración

OBJETIVOS

"Desarrollar una metodología para profesionales del sector forestal, en la aplicación de técnicas de conservación de suelo (zanjas – canales de desviación), en terrenos susceptibles de acogerse a subsidios que otorga el D.L. 701 "

1. Entregar una metodología para el manejo de la información pluviométrica
2. Entregar una metodología para el diseño de canales de desviación
3. Entregar una metodología para el diseño de zanjas de desviación

METODOLOGÍA PROPUESTA

Análisis de Precipitaciones



Determinar la magnitud de precipitación para un periodo de retorno dado

Calculo de Magnitudes e Intensidades para duraciones del tiempo de diseño

Diseño de Canales de Desviación

Calculo de Escorrentia crítica (Caudal)

Diseño y dimensionamiento de canal de desviación

Diseño de Zanjas de Infiltración

Determinar Volumen de Zanja

Diseño y dimensionamiento de zanjas de infiltración

Información Pluviométrica

- Precipitación máximas 24 Hrs.

Datos Terreno

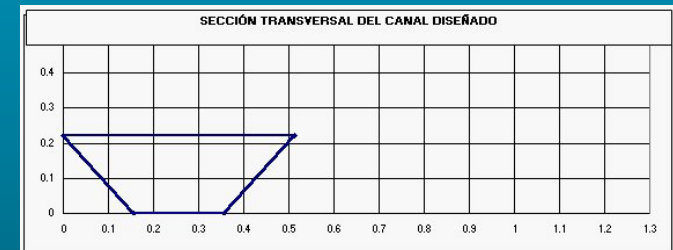
- Textura ~ Permeabilidad
- Pendiente
- Cobertura Vegetal
- Caracterización del área de trabajo

Canal de desviación

- Area de Impluvio
- Largo Canal
- Distancia mas lejana del canal

Zanja de Infiltración

- Area de Impluvio
- Precipitación de Diseño



Datos de Terreno

Datos estación agroclimática Lolol



Suelo Muy Erosionado

AÑO	Ppmax en 24 Horas
1989	109.3
1991	80.1
1992	50.2
1993	103
1994	66.6
1995	52.5
1989	65.3
Promedio	75.29
Desviación standard	23.35

Textura : Franco Arcilloso

Cobertura Vegetal : Pastizal

Pendiente : 15 %

Canal de desviación

Largo Canal : 60 m.

Area Impluvio : 0.6 Ha

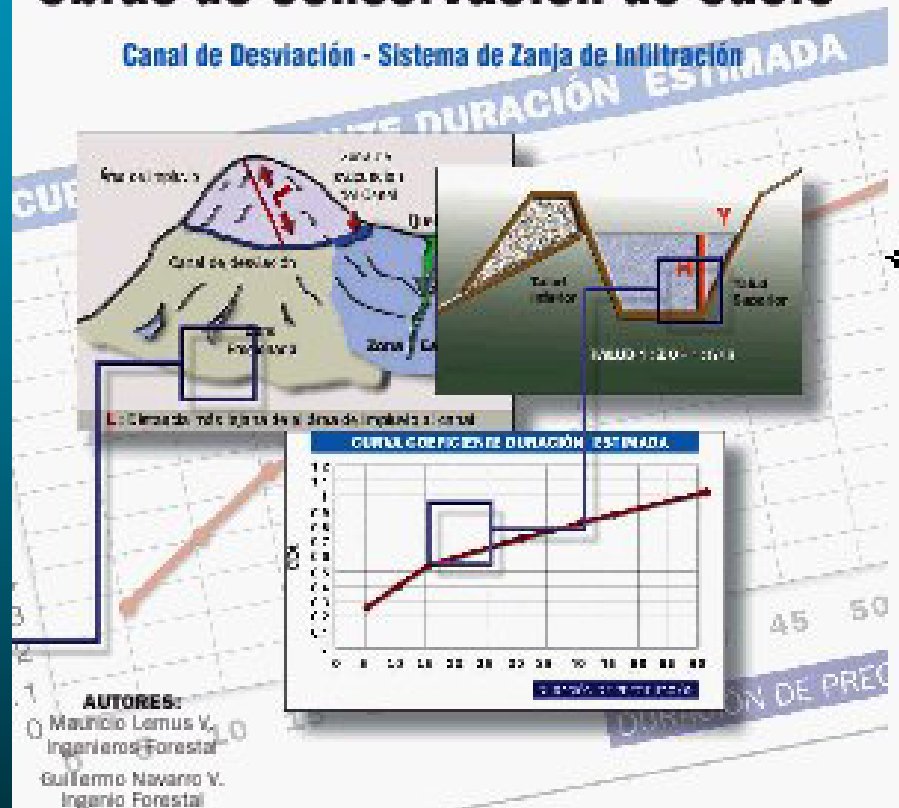
Distancia mas lejana : 200m

Zanja de Infiltración

Dist entre Zanja : 8 m.

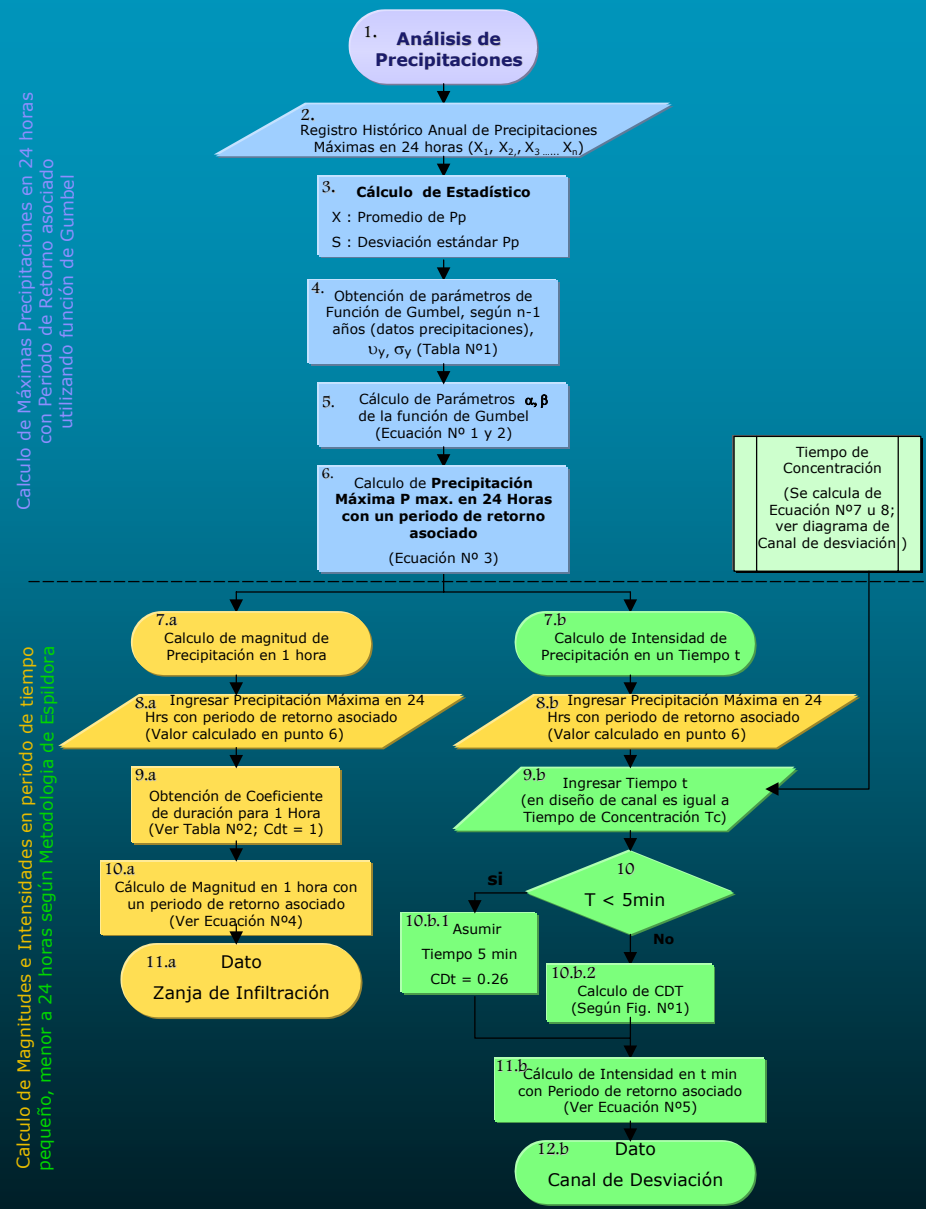
Manual para el desarrollo de Obras de conservación de Suelo

Canal de Desviación - Sistema de Zanja de Infiltración



Programa Mauco

PROCESAMIENTO DE INFORMACIÓN PLUVIOMETRICA



Calculo de Máximas Precipitaciones en 24 horas con Periodo de Retorno asociado utilizando función de Gumbel

Calculo de Magnitudes e Intensidades en periodo de tiempo pequeño, menor a 24 horas según Metodología de Espilúora

Máximas Precipitaciones en 24 horas con Periodo de Retorno (Gumbel)

Información básica

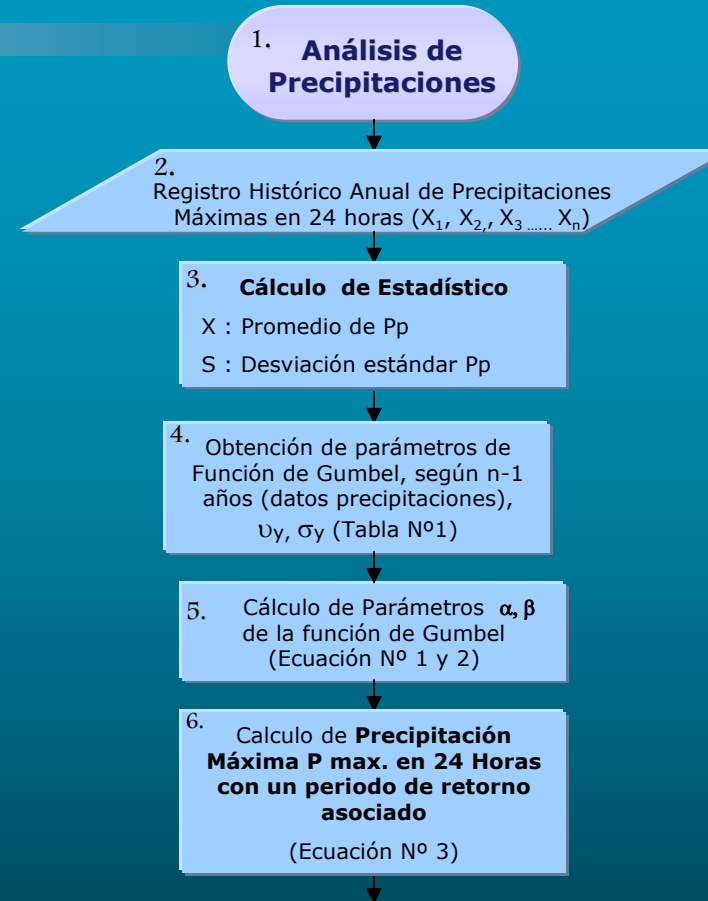
AÑO	Ppmax en 24 Horas
1989	109.3
1991	80.1
1992	50.2
1993	103
1994	66.6
1995	52.5
1989	65.3
Promedio	75.29
Desviación standard	23.35

n-1 años	σ_y	μ_y	n-1 años	μ_y	σ_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

$$\alpha = \frac{\sigma_y}{s}$$

$$\beta = x - \frac{\mu_y}{\alpha}$$

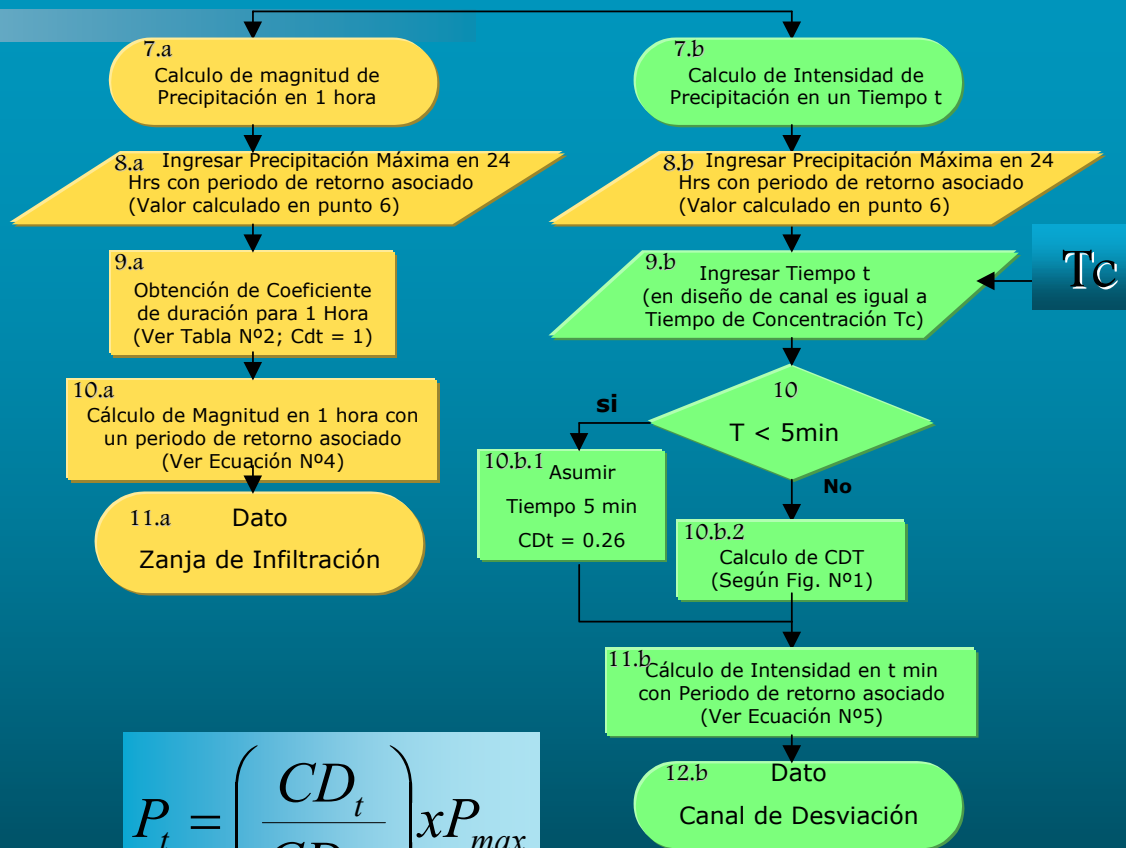
$$P_{max} = \beta - \left(\frac{1}{\alpha}\right) * \ln \left[\ln \left(\frac{R}{R-1} \right) \right]$$



Periodo de retorno	24 Horas
2	79.68
5	114.39
10	137.37
15	150.33
20	159.41

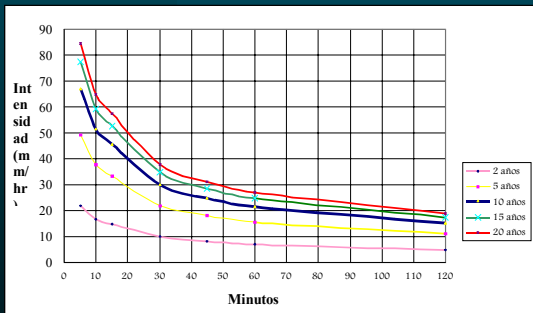
Magnitudes e Intensidades de Precipitación en Tiempos Pequeños

Duración t	Coefficiente 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



$$I_t = \frac{1}{t} x \left(\frac{CD_t}{CD_{24}} \right) x P_{max}$$

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



Tiempo	5	10	15	30	45	60	120	24 Horas
Coef. De Duración	0.26	0.4	0.53	0.7	0.86	1	1.41	4.9
Periodo de retorno								
2	4.23	6.50	8.62	11.38	13.98	16.26	22.93	79.68
5	6.07	9.34	12.37	16.34	20.08	23.34	32.91	114.39
10	7.29	11.21	14.86	19.62	24.11	28.03	39.53	137.37
15	7.98	12.27	16.26	21.48	26.38	30.68	43.26	150.33
20	8.46	13.01	17.24	22.77	27.98	32.53	45.87	159.41

MAUCO : ANALISIS DE LAS PRECIPITACIONES

	A	B	C	D	E
1	INGRESO DE REGISTRO DE PRECIPITACIONES				
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
11					
12					
13					
14					
15					
16					
17					
18					
19					
20					
21					
22					
23					
24					
25					
26					
27					
28					
29					
30					
31					

	AÑO	PP
1	1989	109.3
2	1990	80.1
3	1991	50.2
4	1992	103
5	1992	66.6
6	1994	52.5
7	1995	65.3
8		
9		
10		
11		
12		
13		
14		
15		
16		
17		
18		
19		
20		
21		
22		
23		
24		
25		
26		
27		
28		
29	Numero de registros	7
30	Promedio	75.29
31	Desviación standard	23.35

CALCULO DE MAGNITUDES E INTENSIDADES								
Magnitudes de precipitación máximas (mm) según el periodo y duración estimada (Espildora)								
Tiempo	Duración							
	5	10	15	30	45	60	120	24 Horas
Coef. De Duración	0.26	0.4	0.53	0.7	0.86	1	1.41	4.9
Periodo de retorno								
2	4.23	6.50	8.62	11.38	13.98	16.26	22.93	79.68
5	6.07	9.34	12.37	16.34	20.08	23.34	32.91	114.39
10	7.29	11.21	14.86	19.62	24.11	28.03	39.53	137.37
15	7.98	12.27	16.26	21.48	26.38	30.68	43.26	150.33
							58.87	159.41

Estimación de máximas diarias para un Periodo de retorno T
Estadística de Gumbel

μ	0.4690
σ	0.8388
En donde	
α	0.04
β	62.23
T	10

120	24 Horas
1.4	4.9
11.46	79.68
16.46	114.39
19.76	137.37
21.63	150.33
22.94	159.41

Máxima 24 Horas 137.37 Periodo retorno

BONDAD DE AJUSTE (Funcion de Gumbel)

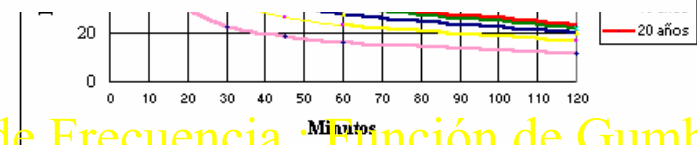
Coficiente Correlacion R2

R2 : **0.9592**

Test de Kolmogorov Smirnov

D supremo : **0.089**

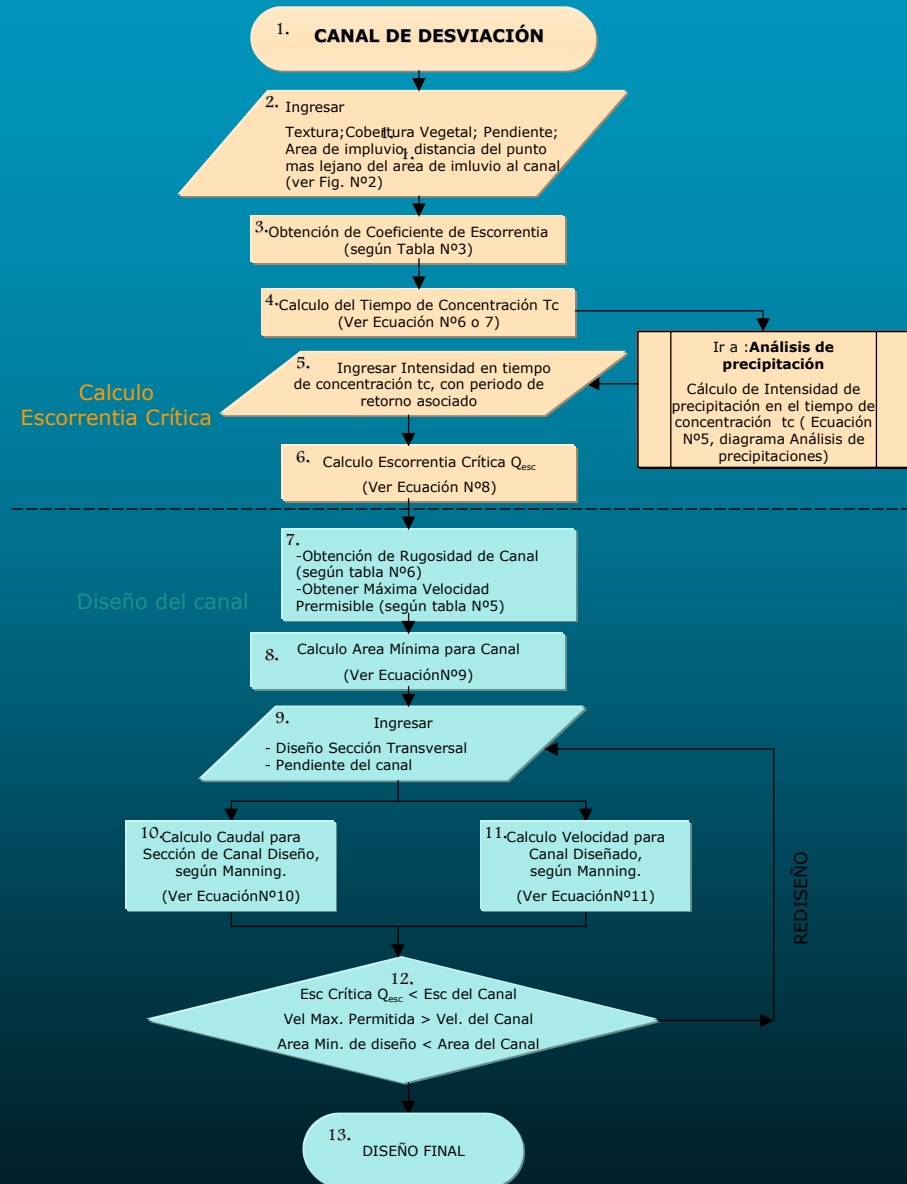
D tabla 95 : **0.486** Significativo al 95 %



Análisis de Frecuencia : Función de Gumbel

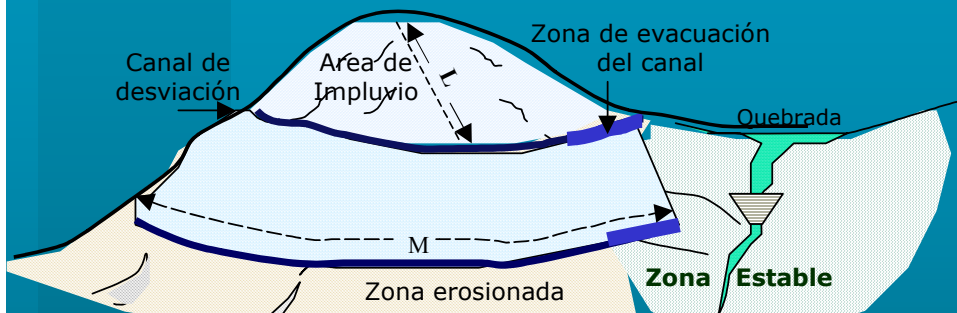
Análisis de de magnitudes e intensidades : Método Espildora

DISEÑO DE CANAL DE DESVIACIÓN



Calculo de la Escorrentia Superficial

Esquema Canal de Desviación



L : Distancia mas lejana de el área de imluvio al canal
M : Largo del Canal

$$Q_{esc} = \frac{C \times I \times A}{360}$$

C : Coeficiente de Escorrentia (Descripción de terreno)

I : Intensidad máxima (Curva IDF)

A: Area (Medición de terreno)

1. CANAL DE DESVIACIÓN

2. Ingresar

Textura; Cobertura Vegetal; Pendiente; Área de imluvio; distancia del punto mas lejano del área de imluvio al canal (ver Fig. N°2)

3. Obtención de Coeficiente de Escorrentia (según Tabla N°3)

4. Calculo del Tiempo de Concentración Tc (Ver Ecuación N°6 o 7)

5. Ingresar Intensidad en tiempo de concentración tc, con periodo de retorno asociado

Ir a : **Análisis de precipitación**

6. Calculo Escorrentia Crítica Q_{esc} (Ver Ecuación N°8)

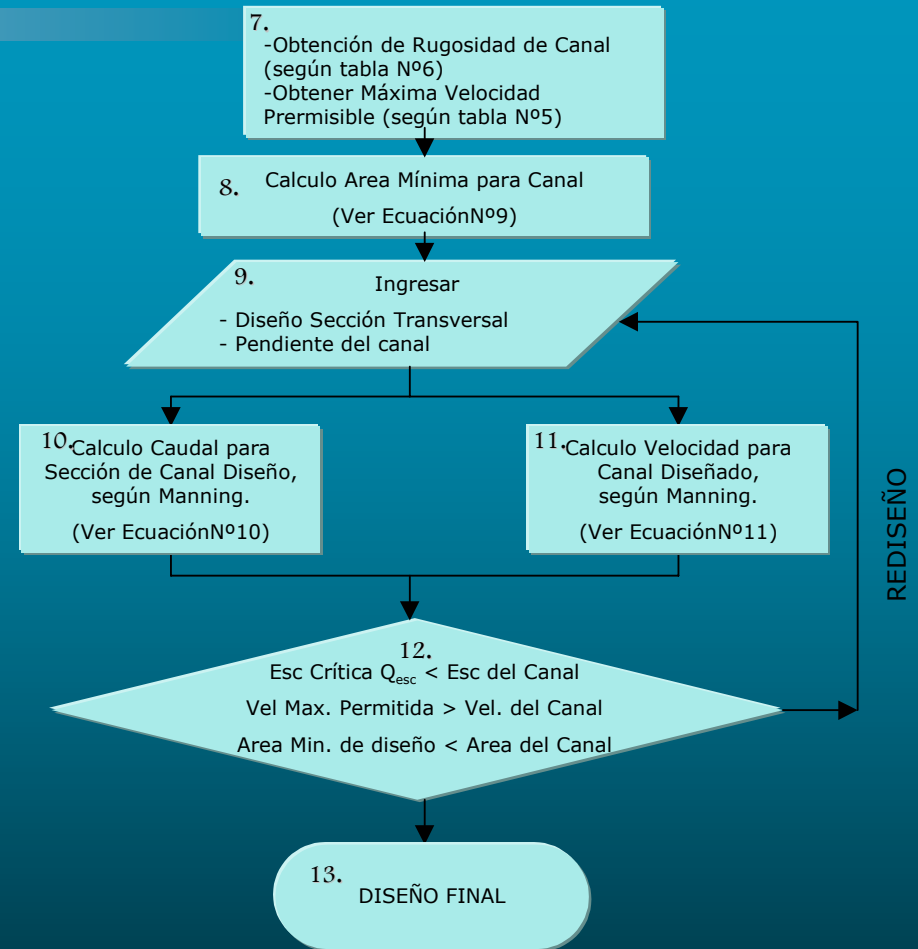


Dimensionamiento de Canal de Desviación

$$A_{min} = \frac{V_{max}}{Q_{esc}}$$

$$Q = \frac{1}{n} ar^{\frac{2}{3}} s^{\frac{1}{2}} =$$

$$V = \frac{1}{n} r^{\frac{2}{3}} s^{\frac{1}{2}} =$$



MAUCO : CANAL DE DESVIACIÓN

Coef. Escarrosia 0.7 (porcentaje de precipitaciones a ocurrir)

INTENSIDAD DE LA LLUVIA : I

Calculo de Tiempo de Concentración (Giandotti)

$$T = 4\sqrt{A} + 1.5L$$

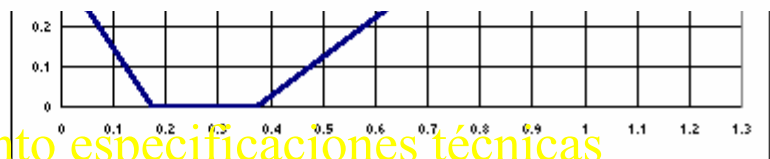
A: Superficie en Km² 0.8

DISEÑO DEL CANAL

Longitud Canal de Desviación	Base (m)	Altura (m)	Ancho Superior (m)	Talud superior (sugar arriba)		Talud inferior (sugar abajo)	
				1:2	Angulo (grados)	Longitud	1:2

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

REQUERIMIENTOS TÉCNICOS		CARACTERÍSTICA CANAL DISEÑADO		CONTROL	COMPROBACIÓN DE CONDICIONANTES TÉCNICAS	
Área Mínima (QIV)	0.121	Área de diñña	0.162	ACEPTADO	Área Mínima < 0.121	Área de Diñña
Q (esc. crítica): V (vel. Max. Permitida)	0.1457	Q caudal estimado	0.1517	ACEPTADO	Escarrosia Crítica (Mínima) <	Q caudal estimado
Caudal mínima del canal	1.2	V: Velocidad estimada	0.937	ACEPTADO	Máxima Velocidad (Vmax) >	V: velocidad estimada



CALCULO CARACTERÍSTICAS DEL CANAL

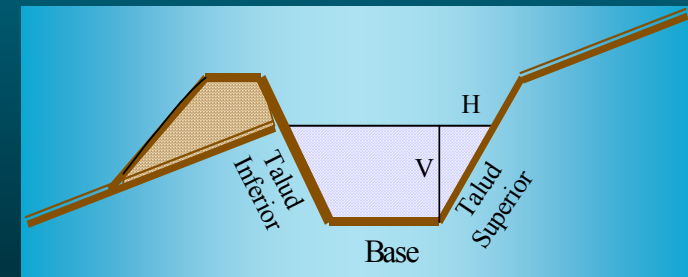
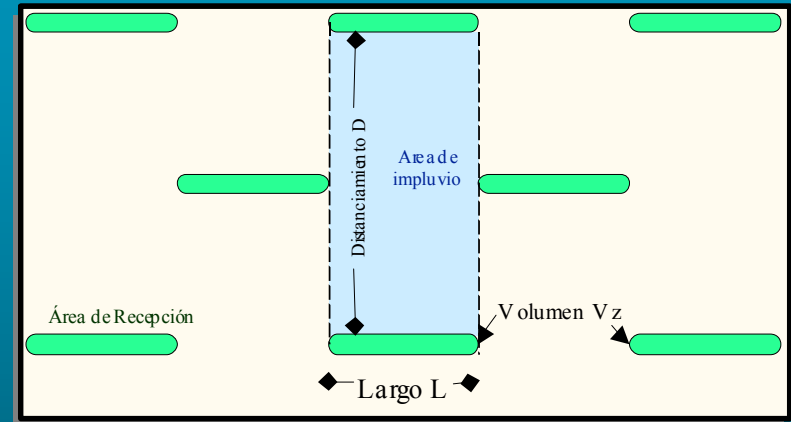
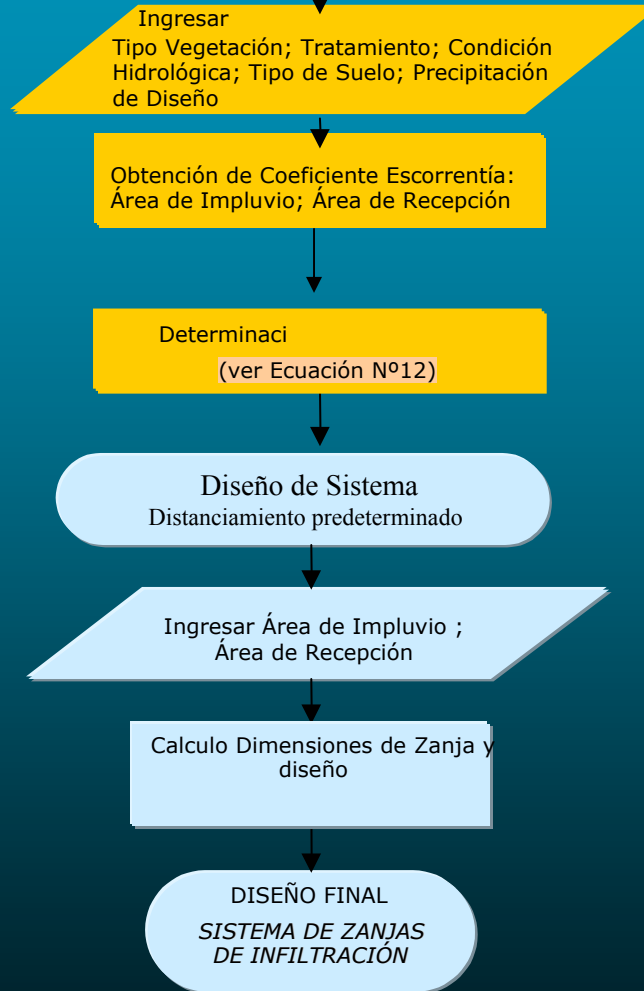
Verificación cumplimiento especificaciones técnicas

Q (m³/seg) Escarrosia crítica 0.1988

Dimensionamiento de canal de desviación
Ingreso de Información

DISEÑO DE SISTEMA DE ZANJAS DE INFILTRACIÓN

ZANJA DE DESVIACION



Determinación Coeficiente de Escorrentía : CI : Coeficiente Área Impluvio CR : Coeficiente Área de Recepción

Martínez de Azagra, A. 2006 Método de los coeficiente de escorrentía:
Mauco Generalizado. Documento inedito. 29 p. Universidad de Valladolid. España.

Coeficiente de Escorrentía

$$C = \frac{E_s}{P}$$

Escorrentía Superficial

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

P0 (es función del
numero de curva)

$$P_0 = 0.2 * \left(\frac{25400 - 254 * N}{N} \right) = \frac{5080 - 50.8 * N}{N}$$

Coeficiente de Escorrentía
(en función del numero de curva)

$$C = \frac{(P - P_0)}{P^2 + 4 * P * P_0} = \frac{\left(P - \frac{5080 - 50.8 * N}{N} \right)^2}{P^2 + P * \left(\frac{20320 - 203.2 * N}{N} \right)}$$

si $P_d > P_0$

Determinación Coeficiente de Escorrentía : CI : Coeficiente Área Impluvio CR : Coeficiente Área de Recepción

Martínez de Azagra, A. 2006 Método de los coeficiente de escorrentía:
Mauco Generalizado. Documento inedito. 29 p. Universidad de Valladolid. España.

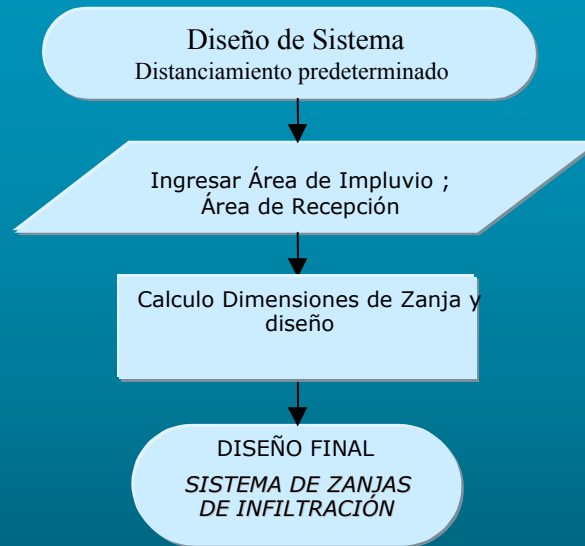
Tipo de Vegetación →
Tratamiento →
Condición Hidrológica →
Tipo de Suelo →

Se basa en una combinación de factores que afectan a la
Cultivos Alineados
Pastizales
Matorrales
Bosques...



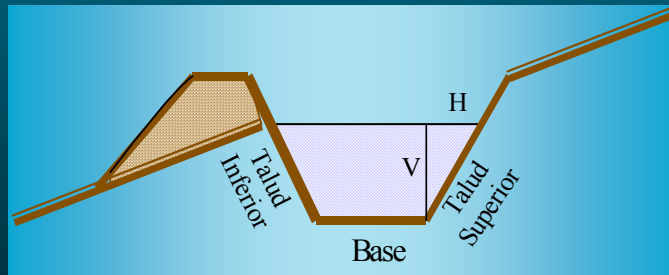
aterrazados

Dimensionamiento de Sistema de Zanjas de Infiltración



$$V_z = P_d * (CI * S_1 + CR * S_2)$$

$$A_z = P_d * (CI * d + CR * a_s)$$



MAUCO : ZANJAS DE INFILTRACIÓN

Determinación de Coeficiente de Escorrentía

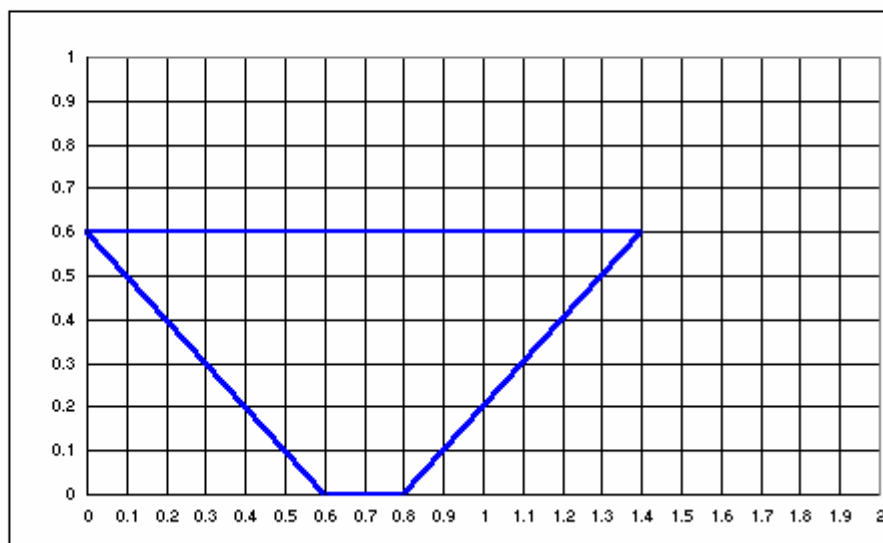
	A	B	C	D	E
3					
4	Tipo de vegetación	Codigo		TRATAMIENTO	
5	Barbecho	1			
6	Cultivos alineados	2			
7	Cultivos no alineados, o con				
8	surcos pequeños o mal definidos	3			
9	Cultivos densos de leguminosas				
10	o prados en alternancia	4			1
11	Pastizales o pastos naturales	5			
12	Pastizales	6			
13	Prados permanentes	7			
14	Matorral-herbazal, siendo el			Condicion Hidrológica	
15	matorral preponderante	8			
16	Combinación de arbolado y				
17	herbazal, cultivos agrícolas leñosos	9			
18	Montes con pastos				
19	(aprovechamientos silvopastorales)	10			
20	Bosques	11			2
21	Caseríos	12			
22	Caminos en tierra	13			
23	Caminos con firme	14			
24	Ingresar Valor	12		Tipo de Suelo	
25				A	1
26				B	2
27				C	3
28				D	4
29	Precipitación de Diseño	60		Ingresar Valor	4
30					
31					
32					
				COEFICIENTE DE ESCORRENTIA	0.48

MAUCO : ZANJAS DE INFILTRACIÓN

Diseño de Zanjas de Infiltración

Longitud Zanjas de Infiltración	Base (m)	Altura (m)	Ancho Superior (m)	Talud superior (aguas arriba)			Talud Inferior (aguas abajo)		
				1:Z	Angulo (grados)	Logitud	1:Z	Angulo (grados)	Logitud
3	0.20	0.60	1.400	1.0	45.000	1.131	1.0	45.000	1.131

Area Zanja de Desviación Sección Tranversal (m2)	0.640
Volumen Zanja de Desviación (m3)	1.92



Talud Inferior 1:Z=(Y/H) 1

Talud Superior 1:Z=(Y/H) 1

Ingreso de Información
Diseño de Zanja de Infiltración

Observación Final

A través de las modificaciones al programa subsana las falencias de utilizar tablas de coeficientes de escorrentía generadas para la estimación de caudales máximos a través del método racional, el diseño de sistema de Zanjas de Infiltración requiere de valores medios globales de coeficientes de escorrentía que considere todo un aguacero en su conjunto (Mauco Generalizado, Martínez de Azagra, 2006)

Para dicho efecto se recurrió al una estimación de coeficientes de escorrentía a partir del método de curva (Mauco Generalizado, Martínez de Azagra, 2006)

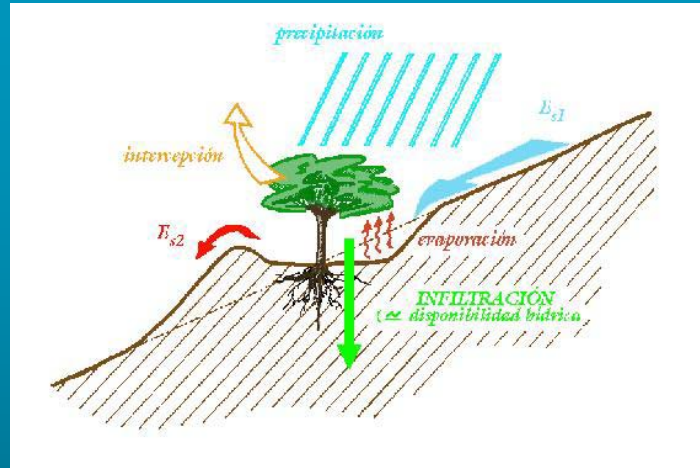
$$C = \frac{E_s}{P} = \frac{(P - P_0)^2}{P^2 + 4 \cdot P \cdot P_0}$$

(Martínez de Azagra, 2006)

<

$$\bar{C} = \frac{(P - P_0)(P + 23 \cdot P_0)}{(P + 11 \cdot P_0)^2}$$

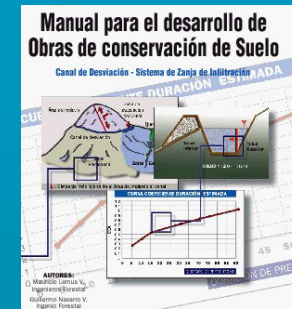
(MOPU, 1987)



MODIPÉ es un modelo hidrológico sobre recolección de agua basado en el método del número de curva, y permite el Diseño de Sistemas de Recolección de Agua para la Repoblación Forestal (Zanjas Bordos, Microterrazas, Negarin, entre otros...

MODIPÉ estima la infiltración (o disponibilidad hídrica) en una ladera degradada antes y después de la intervención proyectada.

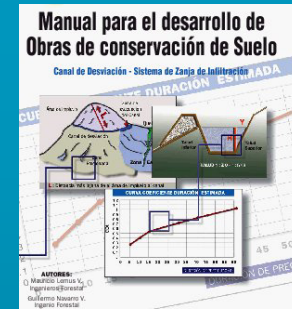
www.oasificacion.com



Programa y Manuel disponible en:

www.oasificacion.com

mlemus@conaf.tie.cl



MUCHAS GRACIAS