



fcfm

FACULTAD DE CIENCIAS
FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
UNIVERSIDAD DE CHILE

CI41C HIDROLOGÍA

EVAPORACIÓN

Cont....



fcfm

FACULTAD DE CIENCIAS
FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
UNIVERSIDAD DE CHILE

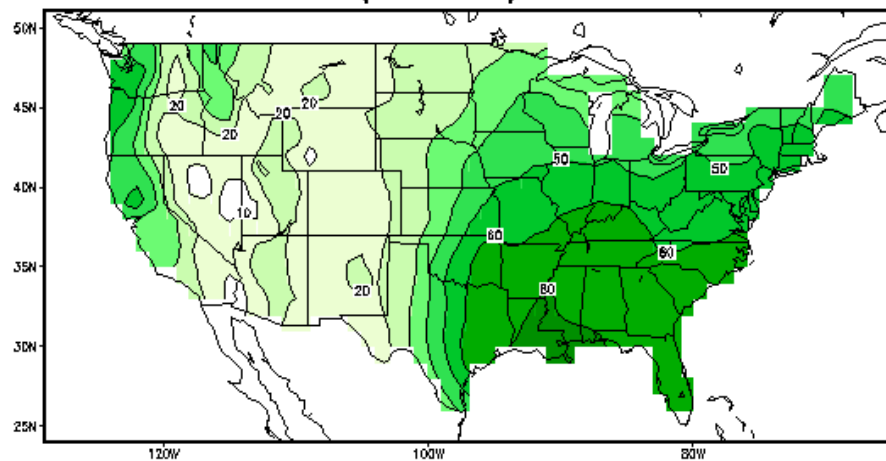


2005 6 9

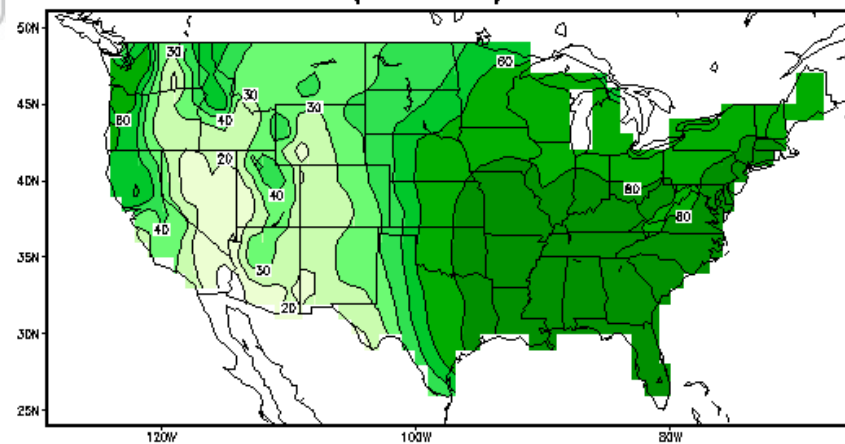
– Factores que condicionan la evaporación

- gradiente de presión de vapor o déficit higrométrico $e_w - e_a$
- temperatura del aire
- radiación solar
- viento
- presión atmosférica

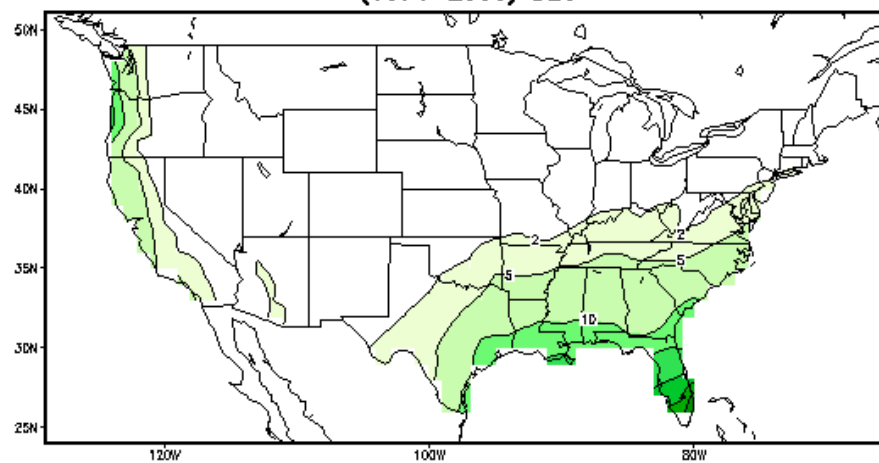
Calculated Evaporation Climatology (mm/men)
(1971–2000) MAY



Calculated Evaporation Climatology (mm/men)
(1971–2000) JUL



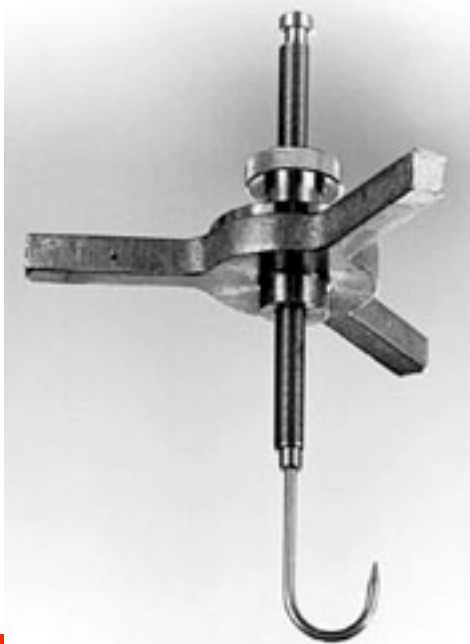
Calculated Evaporation Climatology (mm/men)
(1971–2000) DEC



fcfm

FACULTAD DE CIENCIAS
FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
UNIVERSIDAD DE CHILE

EVAPORIMETROS

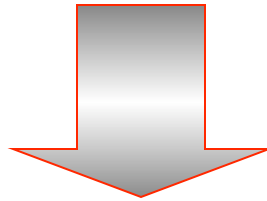


EVAPORACION MEDIDA REPRESENTA PODER EVAPORANTE ATMOSFERA

Coeficiente de Embalse =

Tasa E_{real} en Superficie Agua Libre

Tasa E_{medida} en Evaporímetro en = cond. meteorológica



Puede variar según el tipo de instalación y época del año

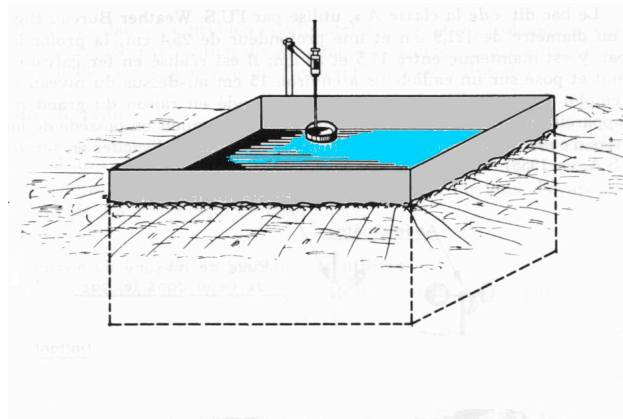


fcfm

FACULTAD DE CIENCIAS
FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
UNIVERSIDAD DE CHILE

— Evaporímetro enterrado Tipo Colorado

10 cm sobre nivel
suelo



Evaporímetro de estanque flotante: agua al mismo nivel que la del lago o embalse. $l=90$ cm; $h=45$ cm, $C_e=0,7$ a $0,82$



fcfm

FACULTAD DE CIENCIAS
FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
UNIVERSIDAD DE CHILE

Evaporímetro de porcelana porosa o atmómetro:
esferas, placas o cilindros de porcelana porosa
conectadas a fuentes de agua para mantenerlas
saturadas.

Atmómetro de Livingstone: $D=5\text{cm}$, $e=3\text{mm}$
conectado a recipiente de agua destilada.



fcfm

FACULTAD DE CIENCIAS
FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
UNIVERSIDAD DE CHILE

Evaporímetros de papel poroso :de Piche $C_e=0,5$



Evaporímetros de balanza



fcm

FACULTAD DE CIENCIAS
FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
UNIVERSIDAD DE CHILE

REDUCCION DE EVAPORACION DESDE SUPERFICIES LIQUIDAS

Reducción de la Superficie

Cubiertas artificiales

Capas Superficiales Monomoleculares: película de 1 molécula de espesor que pueden reducir evaporación hasta en 50%. Hidrocarburos de cadenas largas: hexadecanol (se obtiene de la esperma de la ballena) $e=10^{-8}$ mm



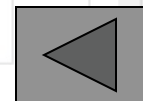
fcfm

FACULTAD DE CIENCIAS
FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
UNIVERSIDAD DE CHILE

Minimizar A/Vol

1 embalse grande ? Varios pequeños

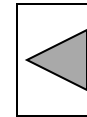
Operación superficial + embalse subterráneo



Techos artificiales (radiación)



Superficies deflectoras



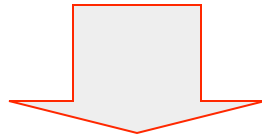
En Chile: 70% hexadecanol

30% octadecanol

reducción E en 40%

EVAPORACION DESDE SUELO

Fuerzas de atracción entre moléculas de agua y suelo es mayor que entre moléculas de agua



PARA ESCAPAR DESDE SUELO MOLECULAS DEBEN VENCER RESISTENCIA MAYOR QUE DESDE LAS SUPERFICIES LIQUIDAS.



fcfm

FACULTAD DE CIENCIAS
FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
UNIVERSIDAD DE CHILE

Agua Capilar

Agua higroscópica

Agua Gravitacional

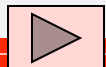
**Zona de
aireación**

**Zona
saturada**



fcfm

FACULTAD DE CIENCIAS
FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
UNIVERSIDAD DE CHILE



Delgada película alrededor de la partícula de suelo.

Gran fuerza de adherencia por lo que no es utilizable por la planta

Película continua alrededor de la partícula, sobre agua higroscópica. Adherencia menor; la fuerza a vencer es la de tensión superficial

Exceso que drena por efecto de la gravedad



fcfm

FACULTAD DE CIENCIAS
FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
UNIVERSIDAD DE CHILE

– Factores

Poder evaporante de la atmósfera

**Característica de la superficie
(velocidad)**

**Agua higroscópica
(5% suelo) no es
utilizable**



Disponibilidad de agua



fcjm

FACULTAD DE CIENCIAS
FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
UNIVERSIDAD DE CHILE



**Existe evaporación hasta que
primera capa de suelo se seque**



Arcillas 10 cm

Arenas 20 cm



fcfm

FACULTAD DE CIENCIAS
FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
UNIVERSIDAD DE CHILE

Suelos Saturados

E arcilla	75 a 85%	E agua libre
------------------	-----------------	---------------------

E limos	90%	E agua libre
----------------	------------	---------------------

E arenas finas	100%	E agua libre
-----------------------	-------------	---------------------



Suelos No Saturados

Agua contenida en el suelo susceptible de evaporarse

Precipitación

TURC

$$E_{10\text{días}} = \frac{P + a}{\sqrt{1 + \left(\frac{P + a}{L}\right)^2}}$$

mm

Temperatura media en
10 días °C

Radiación solar
global media (cal/
cm²/día)

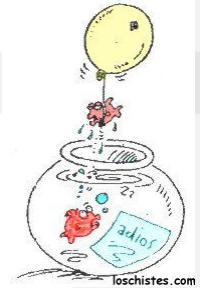
$$L = \frac{1}{16}(t + 2\sqrt{I})$$



fcfm

FACULTAD DE CIENCIAS
FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
UNIVERSIDAD DE CHILE

Transpiración Vegetal



Proceso mediante el cual el agua escapa de una planta, incorporándose a la atmósfera

Cuticular, estomatal y gutación

Según disponibilidad de agua:

xerofitos - meso.... - freato.....-hidrofitos



Déficit de agua, gran evaporación

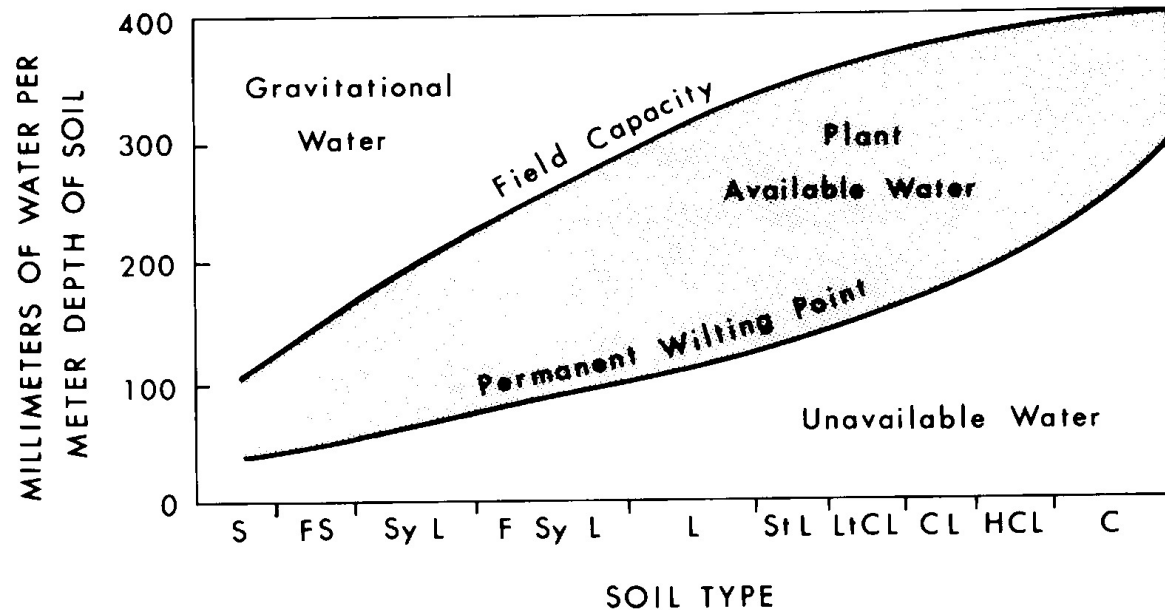
Plantas sumergidas

Superficie evaporante: hojas

Fuente del agua: humedad del suelo

CAPACIDAD DE CAMPO : Porcentaje de humedad, en peso, que tiene el suelo después de drenar por acción de la gravedad

PUNTO DE MARCHITEZ PERMANENTE: Porcentaje de humedad, en peso, en el momento en que una planta se marchita por deficiencia de agua y sin posibilidad de recuperarse si se la coloca en atmósfera saturada



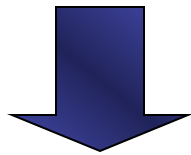
3.8. Typical water-holding characteristics of different textural soils (re-drawn from U.S. Forest Service 1961). C = clay; F = fine; H = heavy; L = loam; Lt = light; S = Sand; St = silt; Sy = sandy.



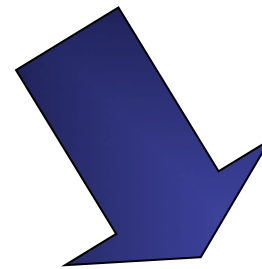
Fuente: Brooks et al 1991 “Hydrology and the management of watersheds”

Factores

Fisiológicos y Ambientales

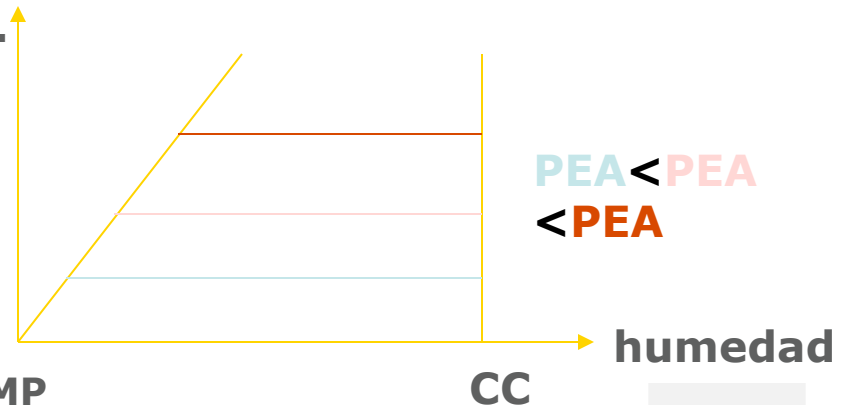


Tipo de Planta (magnitud de sistema radicular, cobertura vegetal, variedad, etapa de desarrollo), densidad y comportamiento de los estomas, tipo y características de elementos protectores en las hojas, estructura de la hoja, enfermedades



Poder Evaporante de la atmósfera; tipo de suelo; disponibilidad de agua; presencia de compuestos químicos y microorganismos

Transp. Real

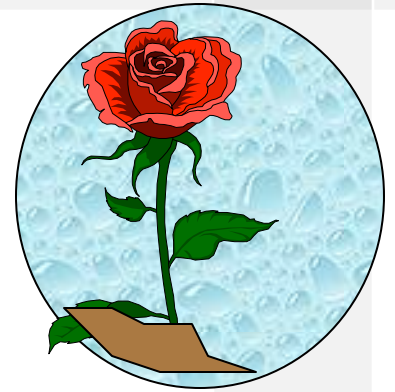


fcfm

FACULTAD DE CIENCIAS
FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
UNIVERSIDAD DE CHILE

MEDICION

Absorción higroscópica e higrómetros: planta se coloca dentro de campana o cilindro hermético. Variación de humedad en el interior=transpiración planta



Fitómetro: estanque o recipiente con suelo dentro del cual se hace crecer la planta. Superficie de suelo se sella de modo que variaciones del peso del estanque indiquen cantidad de agua transpirada por la planta

Estudios hidrológicos: Balance en zona antes y después de remover completamente la vegetación



fcfm

FACULTAD DE CIENCIAS
FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
UNIVERSIDAD DE CHILE

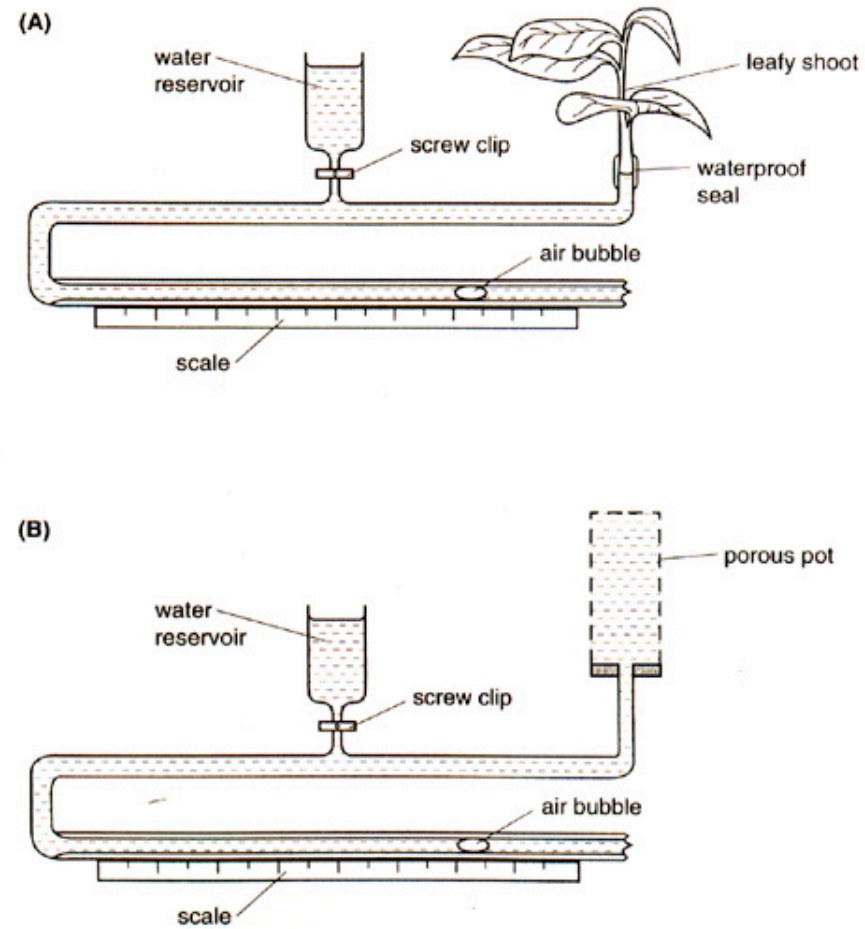


Fig. 2.1

Evapotranspiración

Depende de los mismos factores que controlan la evaporación desde superficies líquidas, es decir la disponibilidad de energía y el transporte de vapor aunque además incide la disponibilidad de humedad en la superficie evaporante. A medida que el suelo se seca, la tasa de evapotranspiración disminuye en relación a la que existiría si el suelo continuara mojado.

EVAPOTRANSPIRACION POTENCIAL: Máxima ET que podrá ocurrir para un determinado PEA si existe una reserva de agua suficiente en el suelo en todo momento



MEDICION

Estanques cilíndricos o rectangulares ($l=3\text{m}$; $D=75\text{ cm}$; $h=0,7\text{ a }3\text{ m}$) dentro de los cuales se hace crecer vegetación

$$\text{ET} = \text{Lluvia} + \text{Riego} + \text{DH}$$

Parcelas y Superficies Naturales $< 1/2\text{ ha}$

$$\text{ET} = \text{Lluvia} + \text{Riego} - \text{Escorrentía} + \text{DH}$$

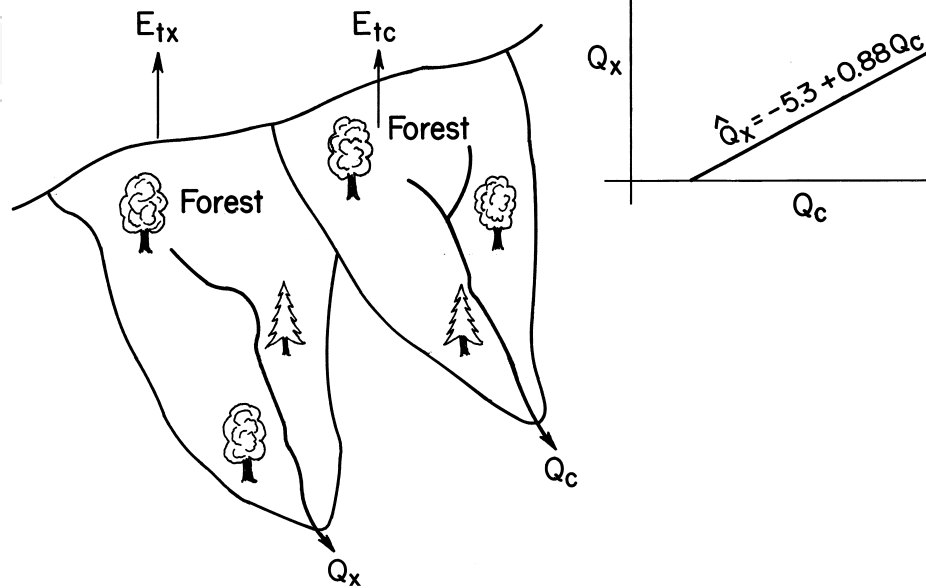


fcfm

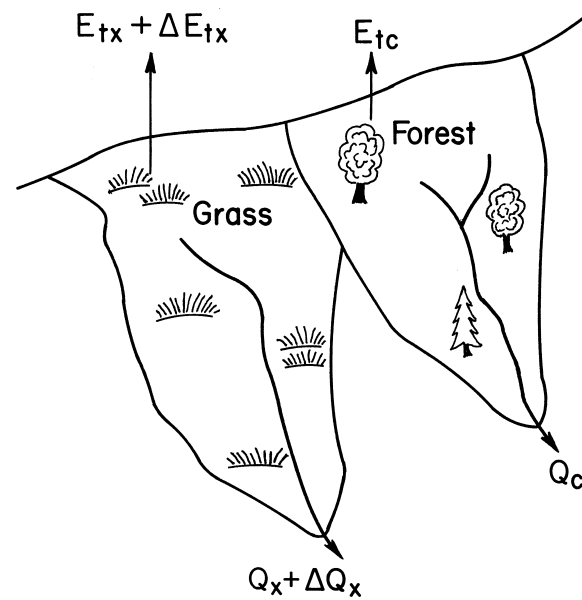
FACULTAD DE CIENCIAS
FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
UNIVERSIDAD DEL PACÍFICO

Balance Hidrológico

CALIBRATION PERIOD



TREATMENT PERIOD



fcfm

FACULTAD DE CIENCIAS
FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
UNIVERSIDAD DE CHILE

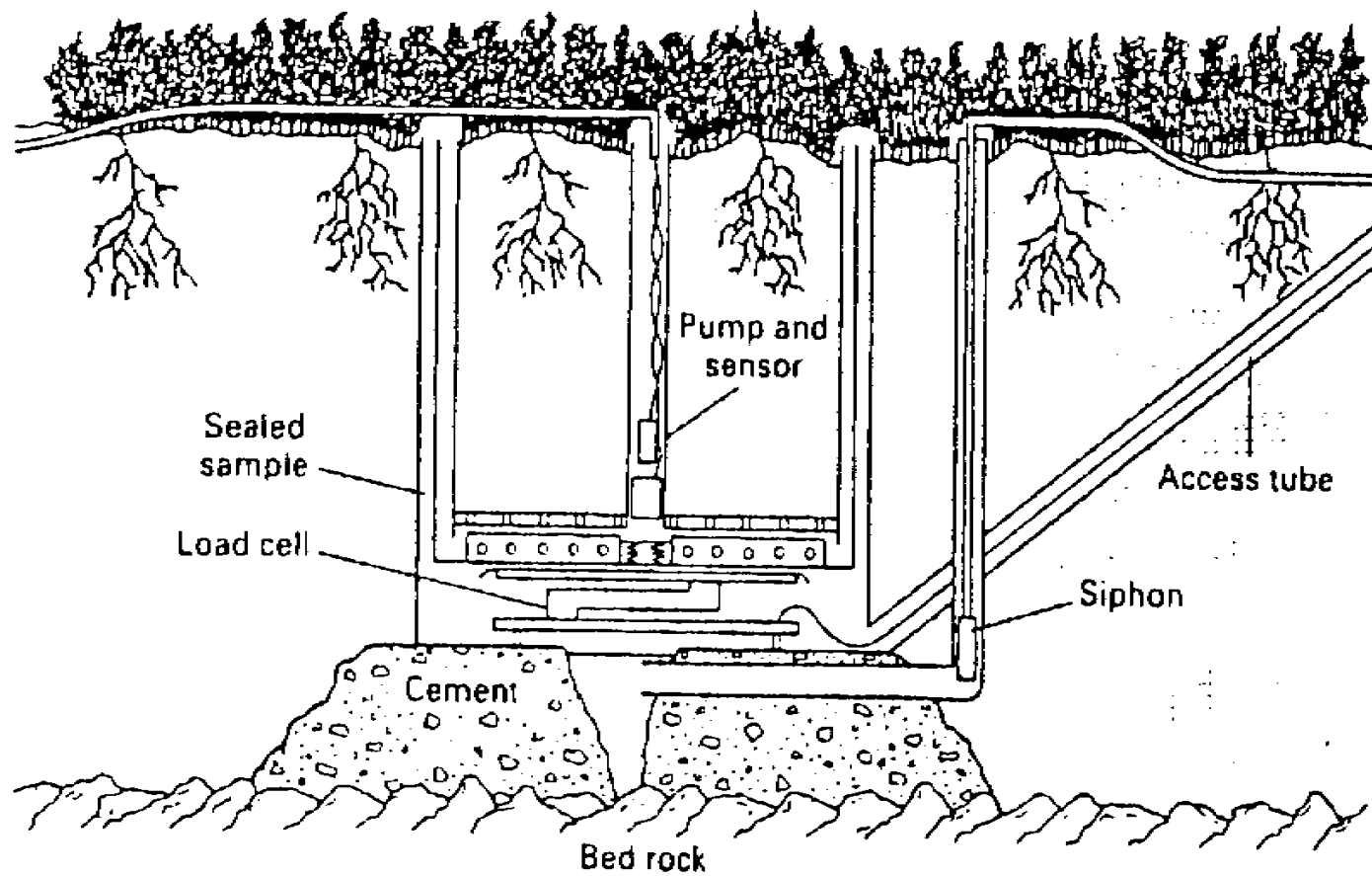
LISIMETROS



fcfm

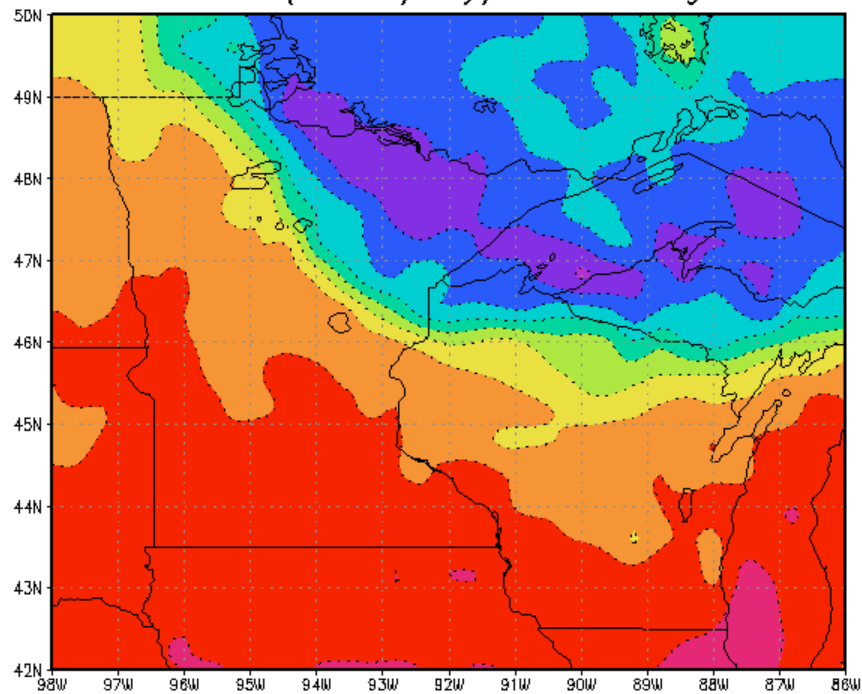
$$ET = \text{Lluvia} + \text{Riego} + \text{DH} - \text{Percolación}$$

FAKULTAD DE CIENCIAS
FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
UNIVERSIDAD DE CHILE



<http://www.soils.wisc.edu/wimnext/et/wimnet.html>

Estimated ET (Inches/day) for 29 August 2005



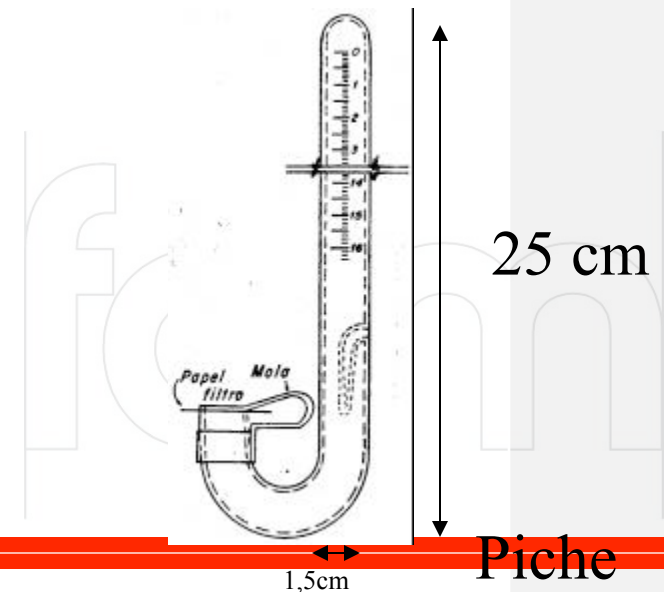
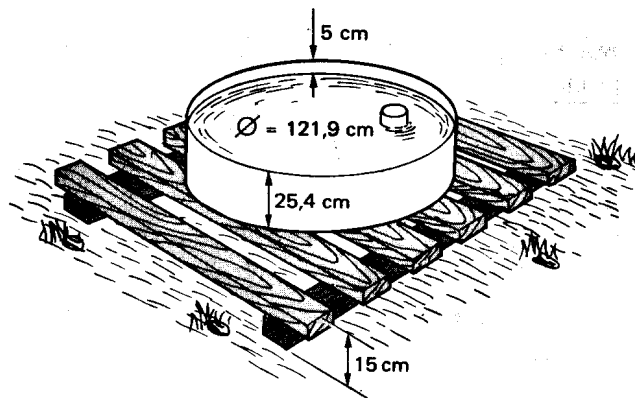
Variados métodos para predecir la evapotranspiración (ET) en función de variables climáticas. Doorembos y Pruitt (1986) establecen los parámetros de 4 fórmulas ampliamente utilizadas contrastándolas con datos medidos de ET en diferentes zonas geográficas y condiciones climáticas.

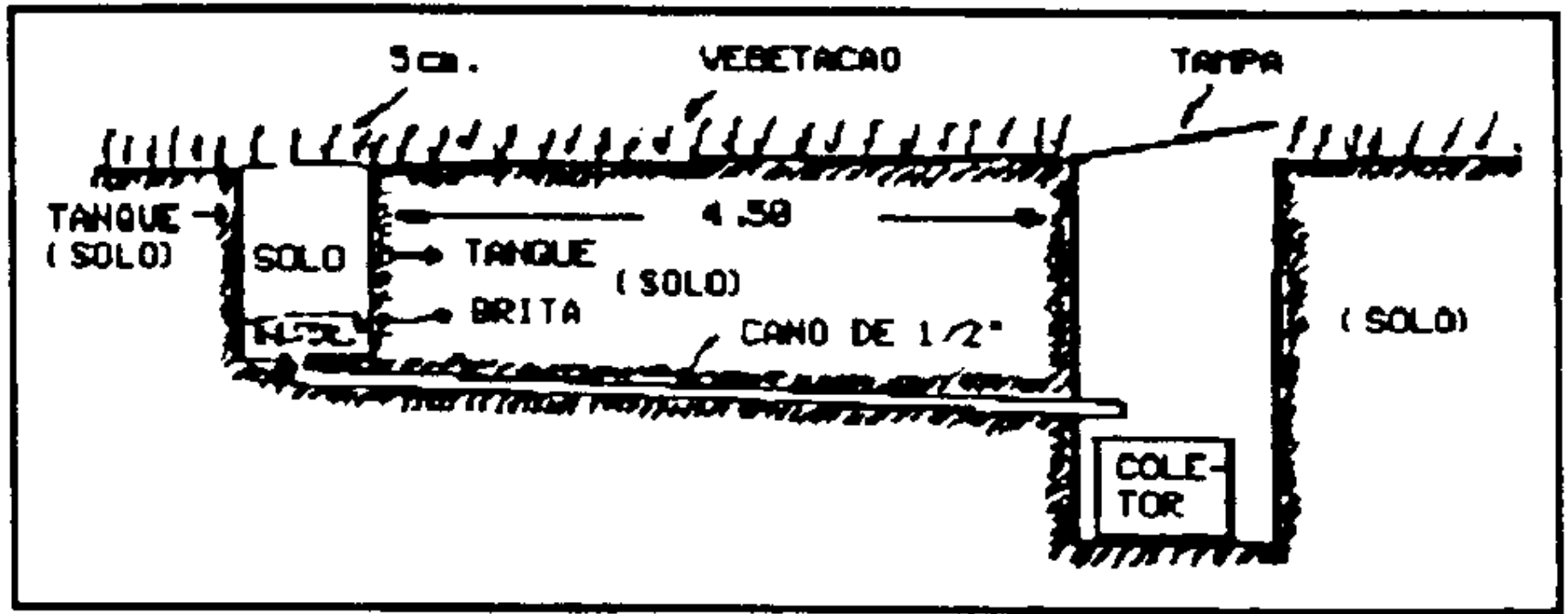
evapotranspiración de un cultivo de referencia ET_0 definida como: la tasa de ET de una superficie extendida de gramíneas verdes de 8 a 15 cm de altura, uniforme, de crecimiento activo, que cubren totalmente el suelo y que no escasean de agua.

$$ET = K_c ET_0$$

Métodos de Estimación

Método	T	R	v	HR	n	E	Observ.
Blaney-Criddle	*		(+)	(+)	(+)		
Evaporímetro			(+)	(+)		*	Cond. Ubic.
Radiación	*	*	(+)	(+)	*		Cond. Ubic.





Lisímetro

1,5m de diámetro por 1,0m de altura



fcfm

FACULTAD DE CIENCIAS
FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
UNIVERSIDAD DE CHILE

La evaporación real mensual de una región es del orden de 100 mm. Suponiendo consumo per cápita de 200 l/hab/día, con el agua perdida por evaporación en un embalse de 6 km² de área, podría abastecer, durante un mes, una ciudad de:

- a) 10.000 habitantes;
- b) 100.000 habitantes;
- c) 30.000 habitantes;
- d) 300.000 habitantes.

Método de Blaney y Criddle.

factor de uso
consuntivo

$$f = p (0,46T + 8,13)$$

Temperatura media diaria °C

(mm/día)

porcentaje diario
medio de horas
diurnas anuales

$$ET_o = kf + a$$

ET_o

V_1

V_4

f



fcfm

FACULTAD DE CIENCIAS
FÍSICAS-MATEMÁTICAS
UNIVERSIDAD DE CHILE

Grupo 1 a 9 según HR min y n/N



**TABLA 5.1: PORCENTAJE DIARIO MEDIO (p) DE HORAS DIURNAS ANUALES
A DIFERENTES LATITUDES**

Latitud Norte Sur (1)	En. Jul.	Feb. Ago.	Mar. Sept.	Abr. Oct.	May. Nov.	Jun. Dic.	Jul. En.	Ago. Feb.	Sept. Mar.	Oct. Abr.	Nov. May.	Dic. Jun.
60	15	20	26	32	38	41	40	34	28	22	17	13
58	16	21	26	32	37	40	39	34	28	23	18	15
56	17	21	26	32	36	39	38	33	28	23	18	16
54	18	22	26	31	36	38	37	33	28	23	19	17
52	19	22	27	31	35	37	36	33	28	24	20	17
50	19	23	27	31	34	36	35	32	28	24	20	18
48	20	23	27	31	34	36	35	32	28	24	21	19
46	20	23	27	30	34	35	34	32	28	25	22	20
44	21	24	27	30	33	35	34	31	28	25	22	20
42	21	24	27	30	33	34	33	31	28	25	22	21
40	22	24	27	30	32	34	33	31	28	25	22	21
35	23	25	27	29	31	32	32	30	28	25	23	22
30	24	25	27	29	31	32	31	30	28	26	24	23
25	24	26	27	29	30	31	31	29	28	26	25	24
20	25	26	27	28	29	30	30	29	28	26	25	25
15	26	26	27	28	29	29	29	28	28	27	26	25
10	26	27	27	28	28	29	29	28	28	27	26	26
5	27	27	27	28	28	28	28	28	28	27	27	27
0	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27

(1) Latitud Sur: Se desfasa 6 meses, según se indica



fcfm

FACULTAD DE CIENCIAS
FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
UNIVERSIDAD DE CHILE



PARAMETROS k Y a DEL METODO DE BLANEY Y CRIDDLE

>5 m/s

n/N BAJA

0,3 a 0,6

20 a 50%

	HR min <u>BAJA</u>		HR min <u>MEDIA</u>		HR min <u>ALTA</u>	
	k	a	k	a	k	a
V. DIURNO- FUERTE	1,53	-1,36	1,23	-1,38	1,00	-1,40
V. DIURNO MODER.	1,37	-1,43	1,20	-1,50	0,96	-1,54
V. DIURNO DEBIL	1,27	-1,80	1,13	-1,79	0,94	-1,97

	<u>n/N</u>		<u>MEDIA</u>		0,6 a 0,8	
	HR min <u>BAJA</u>		HR min <u>MEDIA</u>		HR min <u>ALTA</u>	
	k	a	k	a	k	a
V. DIURNO FUERTE	1,80	-1,58	1,50	-1,64	1,12	-1,30
V. DIURNO MODER.	1,60	-1,80	1,38	-1,71	1,03	-1,32
V. DIURNO DEBIL	1,38	-1,71	1,24	-1,77	0,96	-1,44

n/N

ALTA

>0,8

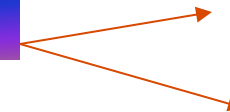
<2m/s

	HR min <u>BAJA</u>		HR min <u>MEDIA</u>		HR min <u>ALTA</u>	
	k	a	k -	a	k	a
DIURNO FUERTE	1,97	-1,54	1,72	-1,81	1,28	-1,48
DIURNO MODER.	1,78	-1,91	1,58	-1,97	1,23	-1,65
DIURNO DEBIL	1,71	-2,55	1,46	-2,11	1,14	-1,71

Calcular para cada mes de cada año de la estadística



No usar en regiones ecuatoriales



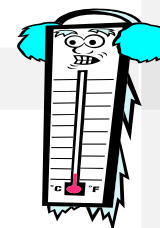
No usar en islas pequeñas



fcfm

FACULTAD DE CIENCIAS
FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
UNIVERSIDAD DE CHILE

Incierto a grandes alturas por bajas temperaturas mínimas



Método puede ser engañoso en climas con gran variación de horas de insolación (climas monzónicos y en latitudes medias en primavera)



fcfm

FACULTAD DE CIENCIAS
FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
UNIVERSIDAD DE CHILE

Método del evaporímetro



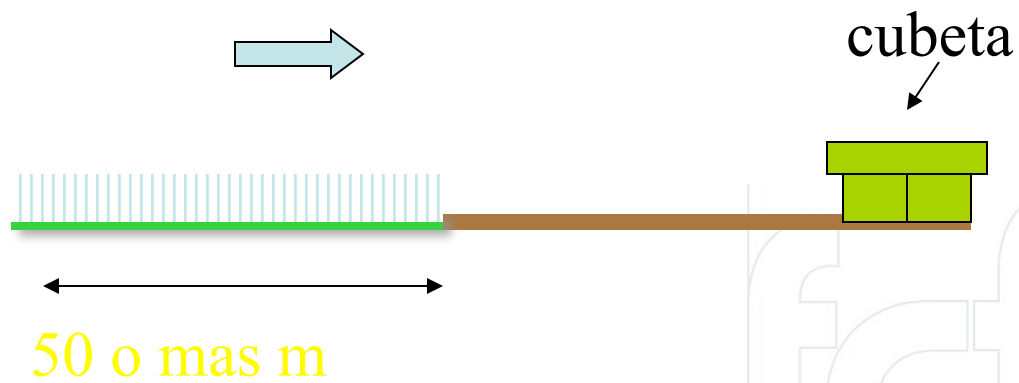
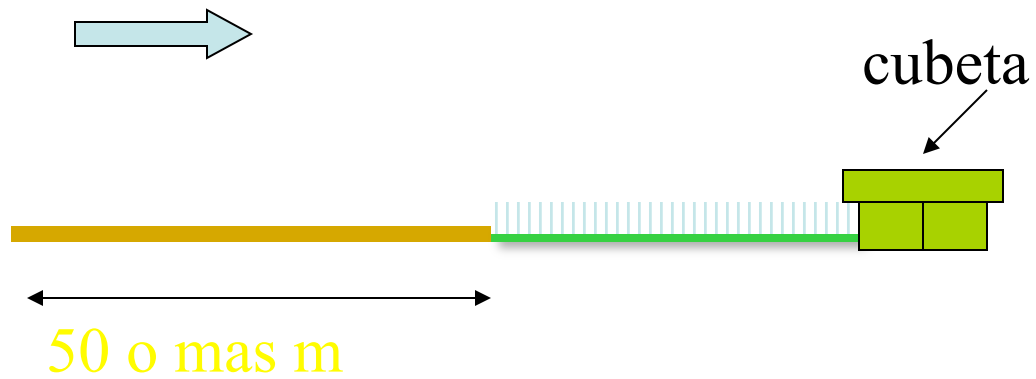
$$Et_o = K_p E_p$$

Depende de condiciones de
instalación de la cubeta, tipo
de cubeta y condiciones
meteorológicas (HR,v)



fcfm

FACULTAD DE CIENCIAS
FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
UNIVERSIDAD DE CHILE



fcfm

FACULTAD DE CIENCIAS
FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
UNIVERSIDAD DE CHILE

Cuadro 20 COEFICIENTE K_p , EN EL CASO DE UNA CUBIERTA HUNDIDA DEL COLORADO, PARA DIFERENTES CUBIERTAS Y NIVELES DE HUMEDAD RELATIVA MEDIA Y VIENTOS DURANTE LAS 24 HORAS

Cubeta hundida del Colorado	Caso A Cubeta rodeada de cubierta verde baja				Caso B 1/ Cubeta rodeada de barbecho de secano			
		baja < 40	media 40-70	alta > 70		baja < 40	media 40-70	alta > 70
Vientos km/día	Distancia a barlovento de cubierta verde (en m)				Distancia a barlovento del barbecho de secano (en m)			
Débiles < 175	0	.75	.75	.8	0	1.1	1.1	1.1
	10	1.0	1.0	1.0	10	.85	.85	.85
	≥ 100	1.1	1.1	1.1	100	.75	.75	.8
					1 000	.7	.7	.75
Moderados 175-425	0	.65	.7	.7	0	.95	.95	.95
	10	.85	.85	.9	10	.75	.75	.75
	≥ 100	.95	.95	.95	100	.65	.65	.70
					1 000	.6	.6	.65
Fuertes 425-700	0	.55	.6	.65	0	.8	.8	.8
	10	.75	.75	.75	10	.65	.65	.65
	≥ 100	.8	.8	.8	100	.55	.6	.65
					1 000	.5	.55	.6
Muy fuertes > 700	0	.5	.55	.6	0	.7	.75	.75
	10	.65	.7	.7	10	.55	.6	.65
	≥ 100	.7	.75	.75	100	.5	.55	.6
					1 000	.45	.5	.55

1/ En el caso de superficies extensas de barbecho desnudo y con un desarrollo agrícola nulo, se deben reducir los valores de K_p en un 20% en condiciones de mucho calor y vientos fuertes y en un 5-10% tratándose de una temperatura, una humedad y unos vientos moderados.



Caso B 1/ Cubeta rodeada de barbecho de secano			
	baja < 40	media 40-70	alta > 70
Distancia a barlovento del barbecho de secano (en m)			
0	0,70	0,80	0,85
10	0,60	0,70	0,80
100	0,55	0,65	0,75
1000	0,50	0,60	0,70
0	0,65	0,75	0,80
10	0,55	0,65	0,70
100	0,50	0,60	0,65
1000	0,45	0,55	0,60
0	0,60	0,65	0,70
10	0,50	0,55	0,65
100	0,45	0,50	0,60
1000	0,40	0,45	0,55
0	0,50	0,60	0,65
10	0,45	0,50	0,55
100	0,40	0,45	0,50
1000	0,35	0,40	0,45

lo agrícola nulo, se deben reducir los valores de K_p en un 20% en
a una temperatura, una humedad y unos vientos moderados.



fcfm

FACULTAD DE CIENCIAS
FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
UNIVERSIDAD DE CHILE

Cuadro 13

RELACION ENTRE LA EVAPORACION EN LAS CUBETAS HUNDIDAS QUE SE CITAN Y LA CUBETA HUNDIDA DEL COLORADO, EN DIFERENTES CONDICIONES CLIMATICAS Y MIENTOS CIRCUN-
DANTES DE LAS CUBETAS, LOS COEFICIENTES INDICADOS PUEDEN EMPLEARSE COMO
FACTOR MULTIPLICADOR PARA OBTENER LA EVAPORACION ESTIMADA DE LA CUBETA DEL
COLORADO.

Clima		Clima húmedo templado		Arido y semiarido (estación seca)	
Cubierta sombreada que circunda la cubeta (50 ó más m)		Cubierta verde baja	Barbecho de secano	Cubierta verde baja	Barbecho de secano
	Sup. cu- bete (m ²)				
CGI 20: diám. 5 m profundidad 7 m (U.S.S.)	20	1.0	1.1	1.05	1.25*
Cubeta hundida de 3,6 m de diám. y 1 m de profundidad (Israel)	10.5				
Cubeta Symons, de 0,56 m ² y 60 cm de profundidad (Reino Unido)	3.3				
BPI: diám. 1,80 m, prof. 60 cm (EE.UU)	2.6				
Cubeta de Kenia: diám. 1,20 m, prof. 35,5 cm	1.2				
Cubeta australiana: diám. 90 cm; prof. 90 cm	0.7		1.0		1.0
Cubeta Aslyng de 0,33 m ² y 1 m de prof. (Dinamarca)	0.3			1.0	
CGI 3000 diám. 61,8 cm prof. 60-80 cm	0.3				
Cubeta hundida de 50 cm de diám. y 25 cm prof. (Países Bajos)	0.2	1.0	.95	1.0	.95