

**Curso “Garantizando productividades sostenibles de palma de aceite en el contexto del cambio climático.**



**Cálculo de necesidades hídricas en el cultivo de la palma de aceite.**

Jose H Silva C. Ingeniero Agrícola  
jsilva@agrodinco.com

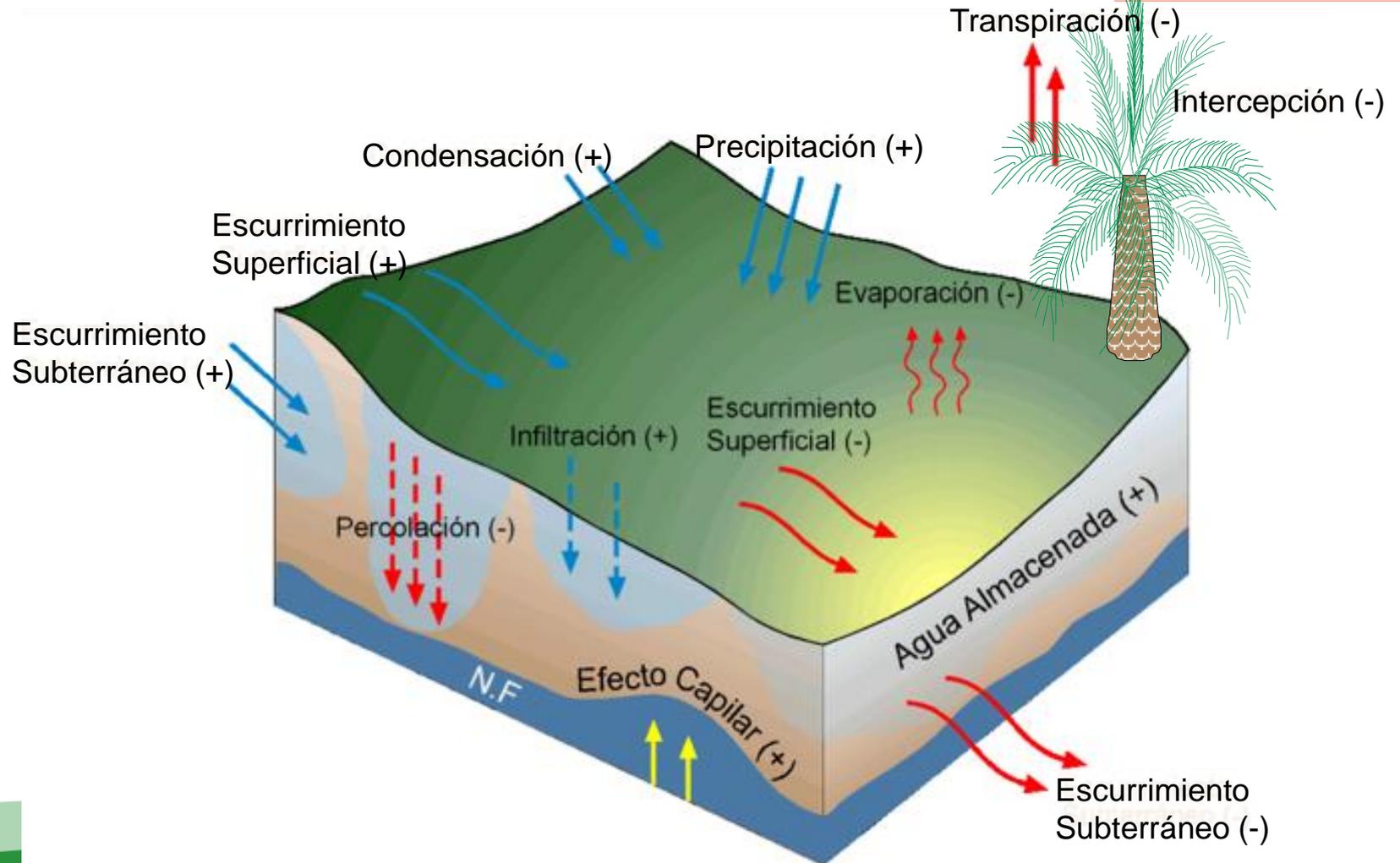
Guatemala, Junio 22 de 2017

# EL BALANCE HÍDRICO



Un balance hídrico, consiste en contabilizar a través del tiempo, las diferentes entradas y salidas que se presenten en un volumen de control. Cuantifica los excesos y déficits.

# EL BALANCE HÍDRICO



# EL BALANCE HÍDRICO

$$BH = P - Esc - Perc - EV - T + Ac$$

Interceptación

Pe ET

# ET



La evapotranspiración (UC). Agua evaporada desde la superficie del suelo y transpirada por el cultivo.

## Evaporación.

El agua líquida es convertida en vapor y retirada de la superficie que se evapora.

La radiación solar es la principal fuente de energía y la temperatura en pequeña proporción.

La fuerza impulsora para retirar el vapor de agua es la diferencia entre la presión de vapor de agua en la superficie que se evapora y la de la atmósfera.

El remplazo del aire saturado por un aire más seco depende en gran medida de la velocidad del viento.

Los parámetros climatológicos determinantes en la evaporación son:

**RADIACIÓN, TEMP DEL AIRE, HUMEDAD RELATIVA Y VELOCIDAD DEL VIENTO**

## Transpiración.

Vaporización del agua líquida contenida en los tejidos finos de la planta y el retiro de vapor a la atmósfera.

Las plantas pierden su agua a través de los estomas.

La vaporización ocurre dentro de la hoja en los espacios intercelulares y la apertura estomal regula el intercambio con la atmósfera.

Casi toda el agua absorbida por la planta es perdida en la transpiración.

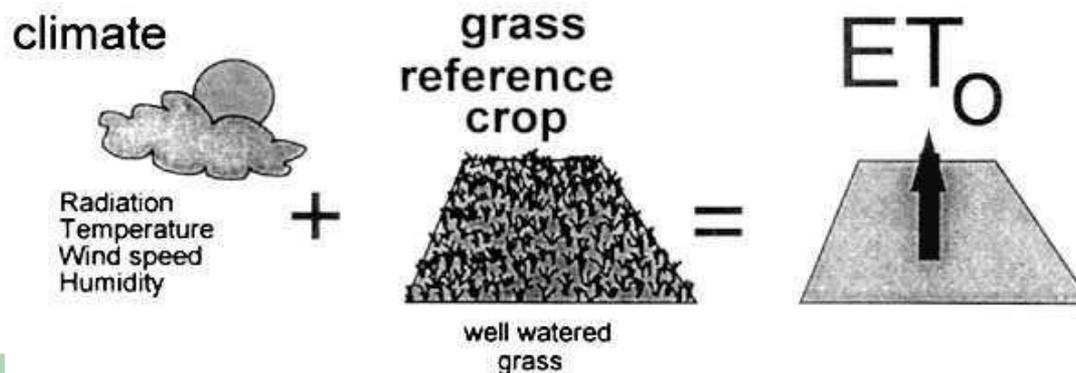
Entre los factores que afectan la tasa de transpiración están:

**Radiación, temp. del aire, humedad relativa, velocidad del viento, capilaridad del suelo, salinidad del agua, características del cultivo, manejo agronómico, entre otras.**

# CONCEPTOS

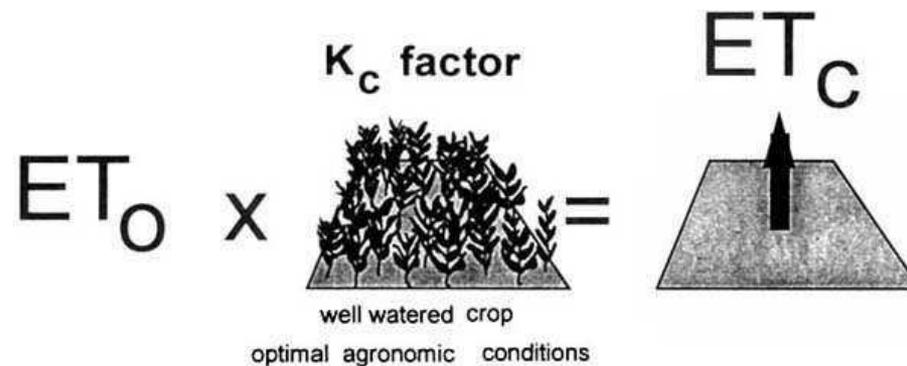
- **Evapotranspiración del cultivo de referencia. ( $ET_o$ )**
- **Evapotranspiración real del cultivo bajo condiciones estándar. ( $ET_c$ )**
- **Evapotranspiración real del cultivo bajo condiciones no estándares. ( $ET_{cadj}$ )**

$ET_o$ ; La FAO recomienda estimarlo a partir de la ecuación de penman-Monteith.

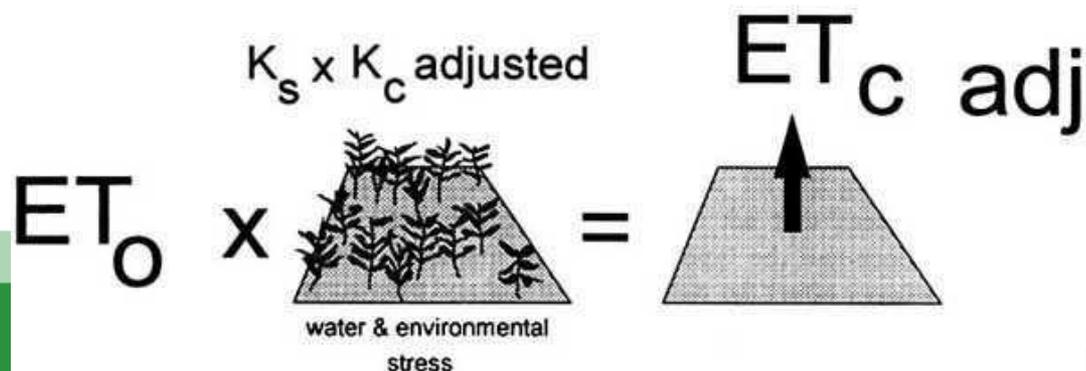


## CONCEPTOS

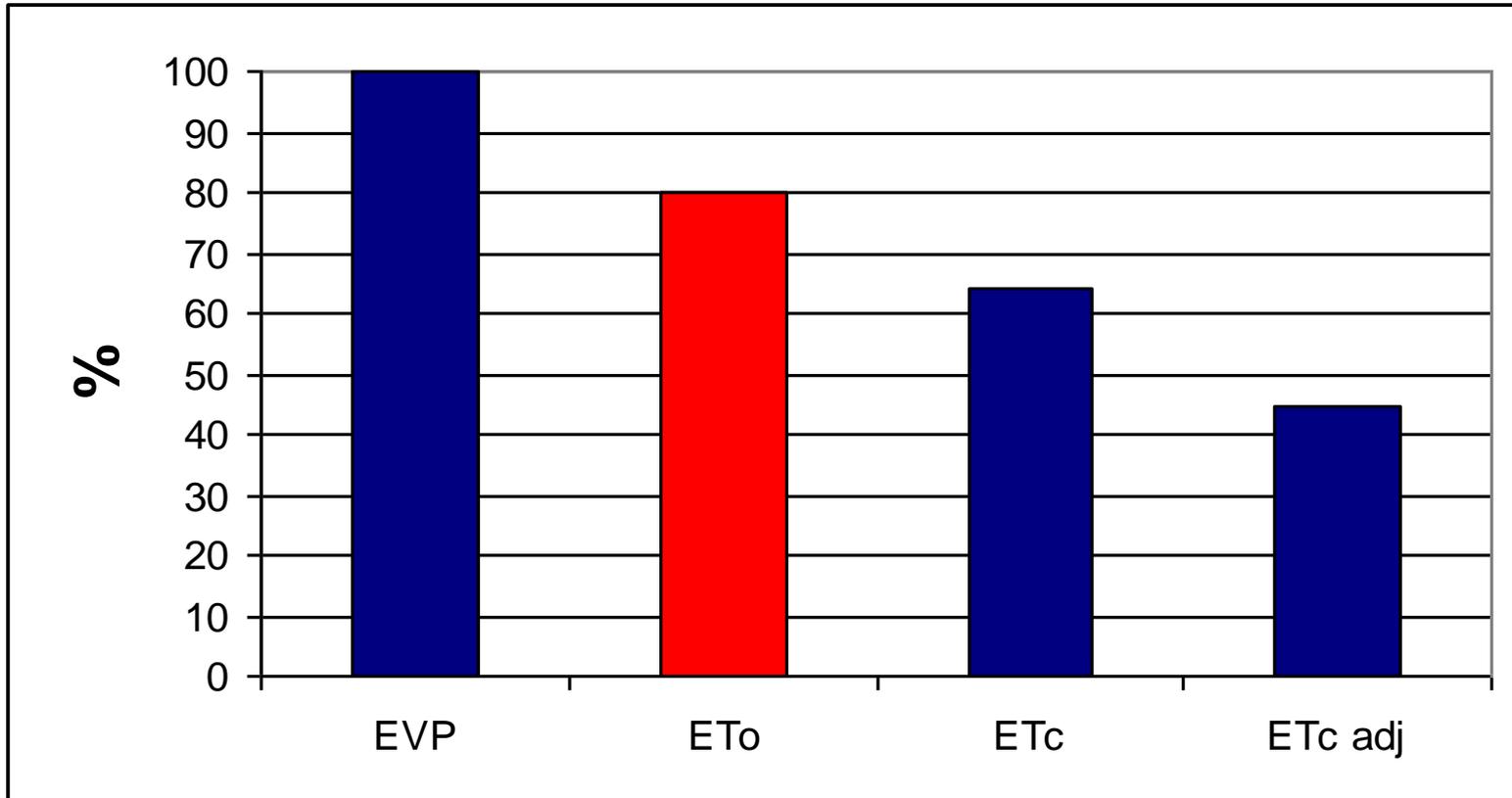
**ET<sub>c</sub>**; Es la ET real del cultivo, sin enfermedades, bien fertilizado, sembradas a gran escala y bajo condiciones optimas de agua en el suelo.



**ET<sub>cadj</sub>**; Consiste en determinar un coeficiente para ajustar el verdadero consumo del cultivo afectado por condiciones no optimas como enfermedades, baja fertilidad de los suelos, falta de riego, inundación, etc.

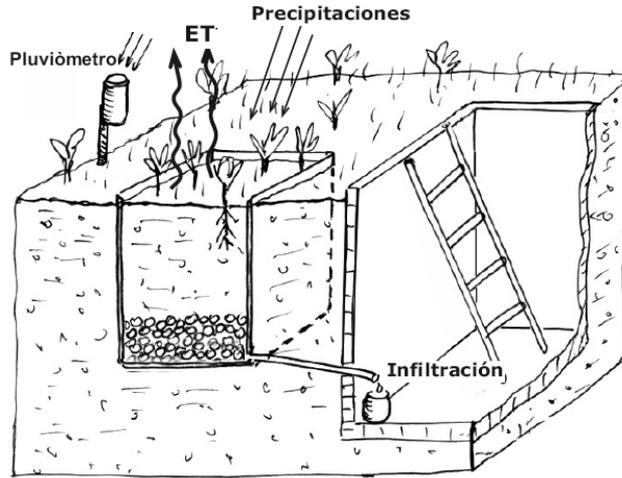


# CONCEPTOS



# DETERMINACIÓN DE LA ET

- Lisímetros.



# DETERMINACIÓN DE LA ET



- Calculada a partir de datos climáticos.

Modelos	Parámetros requeridos	Otros datos
Thornthwaite	Temperatura	De la latitud por una tabla se obtiene el n° teórico de horas sol.
Jensen-Heise	Temperatura. Latitud. Radiación solar	Tablas de n° teórico de horas de sol. La radiación solar se puede estimar.
Hargreaves	Temperatura Radiación Solar	La radiación solar se puede estimar con Temp. Máximas y mínimas diarias.
Blanney-Criddle	Temperatura	Tablas de n° teórico de horas sol. Coeficiente que depende del cultivo.
Turc	Temperatura. Horas reales de sol	De las horas de sol se obtiene la radiación global incidente (cal/cm <sup>2</sup> ) con una formula.
<b>Penman</b>	Temperatura. Horas reales de sol. Velocidad del viento. Humedad Relativa.	Por tablas se obtienen otros parámetros necesarios.

# DETERMINACIÓN DE LA ET



## Penman-Monteith

## Estimación Mensual.



Climate Data Table

Country: Colombia Station: Barranca Bermeja Altitude: 126 (m)

Month	Max Temp. (C)	Min Temp. (C)	Humidity (%)	WindSpeed (km/d)	SunShine (hours)	Solar Radiation (MJ/m2/d)	ETo (mm/d)
January	32,8	25,2	83,0	35,0	6,4	17,5	3,7
February	33,6	25,5	81,0	35,0	6,0	17,9	3,9
March	33,6	25,8	82,0	26,0	5,3	17,6	3,9
April	32,5	25,7	80,0	17,0	4,1	15,8	3,5
May	32,5	25,3	79,0	9,0	5,6	17,5	3,7
June	32,6	25,1	77,0	9,0	5,1	16,4	3,5
July	33,2	24,9	78,0	9,0	5,4	16,9	3,6
August	33,0	24,5	77,0	9,0	5,1	17,0	3,6
September	32,4	24,7	76,0	9,0	5,4	17,7	3,7
October	31,9	24,5	82,0	9,0	4,4	15,6	3,3
November	32,1	25,1	79,0	9,0	4,9	15,5	3,2
December	32,9	25,3	77,0	17,0	6,6	17,3	3,6
Average	32,8	25,1	79,3	16,1	5,4	16,9	3,6

Report... Close



# DETERMINACIÓN DE LA ET



## Estimación Diaria.

Microsoft Excel - PenmanDia

Archivo Edición Ver Insertar Formato Herramientas Datos Ventana ?

Arial 10

L38

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
6															
7	<b>EVAPOTRANSPIRACION DE REFERENCIA SEGUN FAO Penman-Monteith (mm/día)</b>														
8															
9		<b>día 1</b>	<b>día 2</b>	<b>día 3</b>	<b>día 4</b>	<b>día 5</b>	<b>día 6</b>	<b>día 7</b>	<b>día 8</b>	<b>día 9</b>	<b>día 10</b>				
10	Temperatura media °C	16,90	16,90	16,90	16,90	16,90	16,90	16,90	16,90	16,90	16,90				
11	Calor vaporización "Cv" (MJ/kg)	2,46	2,46	2,46	2,46	2,46	2,46	2,46	2,46	2,46	2,46				
12	Gradiente presión vapor satur "Gsv" (kPa/°C)	0,122	0,122	0,122	0,122	0,122	0,122	0,122	0,122	0,122	0,122				
13	Presión kPa	100,10	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00				
14	Cons. psicrométrica "Cps" kPa/°C	0,066	0,066	0,066	0,066	0,066	0,066	0,066	0,066	0,066	0,066				
15	Cons. psicrom. modificada "Cps*" kPa/°C	0,113	0,114	0,113	0,111	0,102	0,101	0,102	0,099	0,101	0,107				
16	Gsv/(Gsv-Cps*)	0,5194	0,5165	0,5188	0,5236	0,544	0,5469	0,5444	0,5523	0,5481	0,5336				
17	Cps/(Gsv-Cps*)	0,2817	0,2799	0,2811	0,2838	0,2948	0,2964	0,295	0,2993	0,297	0,2892				
18	Radiación solar "Rs" MJ/m2 día	21,94	21,60	21,57	21,54	21,51	21,48	21,45	21,41	21,37	21,33				
19	Rad. día despejado sin nubes "Rso" MJ/m2 día	30,97	30,91	30,85	30,78	30,71	30,64	30,56	30,48	30,39	30,30				
20	Rad. neta entrante "Rns" (solar) MJ/m2 día	16,90	16,63	16,61	16,59	16,57	16,54	16,51	16,49	16,46	16,43				
21	Rad. neta saliente (onda larga) MJ/m2 día	3,66	3,48	3,51	3,44	3,40	3,38	3,39	3,39	3,40	3,40				
22	Radiación neta "Rn"	13,23	13,16	13,11	13,15	13,17	13,16	13,13	13,10	13,06	13,03				
23	Flujo de calor en el suelo MJ/m2 día "G"	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00				
24	"Rn-G"	13,23	13,16	13,11	13,15	13,17	13,16	13,13	13,10	13,06	13,03				
25	Función del viento "f(u)"	6,442	6,634	6,495	6,194	4,987	4,825	4,964	4,523	4,755	5,591				
26	Déficit de saturación de vapor "e°-e" (kPa)	0,59	0,50	0,52	0,46	0,42	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40				
27	(Gsv/(Gsv+Cps*))(1/Cv):(Rn-G)	2,7924	2,7612	2,7627	2,7978	2,9108	2,9246	2,9044	2,939	2,9091	2,8242				
28	(Cps/(Gsv+Cps*)):f(u):(e°-e)	1,0687	0,9274	0,9483	0,8074	0,6168	0,5713	0,5851	0,5409	0,5643	0,6459				
29															
30															
31	<b>ETr (Penman-Monteith) mm/día</b>	<b>3,86</b>	<b>3,69</b>	<b>3,71</b>	<b>3,61</b>	<b>3,53</b>	<b>3,50</b>	<b>3,49</b>	<b>3,48</b>	<b>3,47</b>	<b>3,47</b>				
32															
33															
34															
35															
36															
37															
38															

Listo

Inicio MSN Messenger Penman Microsoft Excel - Pen... Microsoft PowerPoint ... 100% 09:48 p.m.

# DETERMINACIÓN DE LA ET

- Medida del poder evaporante de la atmósfera.



Las medidas de un tanque de evaporación se han relacionado con la  $ET_o$ .  
Estableciéndose la siguiente relación:

**$ET_o$**  = Evaporación del tanque (mm/día) X Coeficiente del tanque.

Este coeficiente del tanque varia mucho, pero generalmente oscila entre 0.6 y 0.85 (Allen 1998)

# ET en palma de aceite



- **7–8 mm/día en Palma adulta y 5.5 – 6.5 mm/día en palma joven**  
(Foong, 1999)
- **3,54 en áreas no regadas**  
(Dufrene et al. Foong, 1999)
- **7,0 – 10 mm/día en suelo a capacidad de campo**  
(Acosta, 2000)
- **8,98 en palmas de vivero (Cumara Meta)**  
(Cayón et al, 1996)

# Elementos de entrada Precipitación.



# PRECIPITACIÓN EFECTIVA ( $P_e$ )

## 1. En función de la precipitación caída durante el mes (Anderson)

- P superior a 75 mm:

- $P_e = 0.8P - 25$

- P inferior a 75 mm:

- $P_e = 0.6P - 25$

## 2. En función de la precipitación (P) y del número de eventos (N)

- P superior a 75 mm:

- $P_e = 0.8P - 12.5N$

# PRECIPITACIÓN EFECTIVA (Pe)



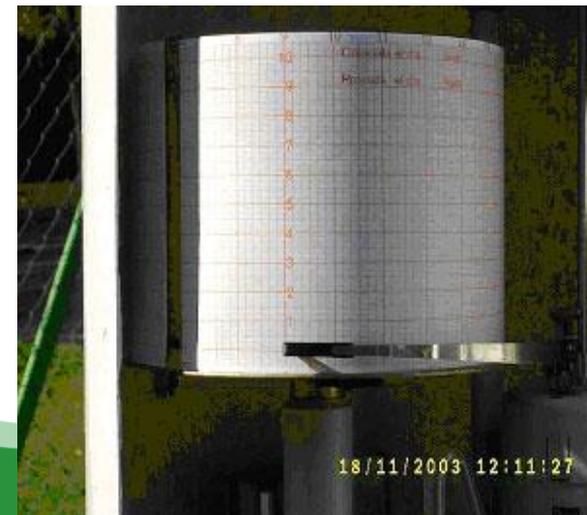
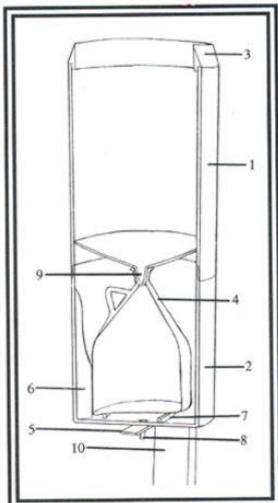
## Para el Balance hídrico diario:

- “Efectiva” la que no es interceptada por la cobertura.
- Si la precipitación es igual o menor a 20 mm, la precipitación efectiva corresponde a un 85% de esta.
- Si la precipitación es superior a 20 mm toda se considera efectiva e ingresa al balance hídrico para ser afectada por la escorrentía y la percolación, dependiendo de la humedad del suelo.

## Medición de la precipitación

Consiste en determinar la cantidad de agua que se “precipita” en un tiempo dado sobre superficie determinada. Los instrumentos utilizados para esto son:

- Pluviómetros: permiten determinar la lamina de lluvia.
- Pluviográfós: fuera de la lamina de lluvia permiten determinar su intensidad (repartición en el tiempo). Existen los pluviográfós de balanza, de flotador y de cubeta basculante.

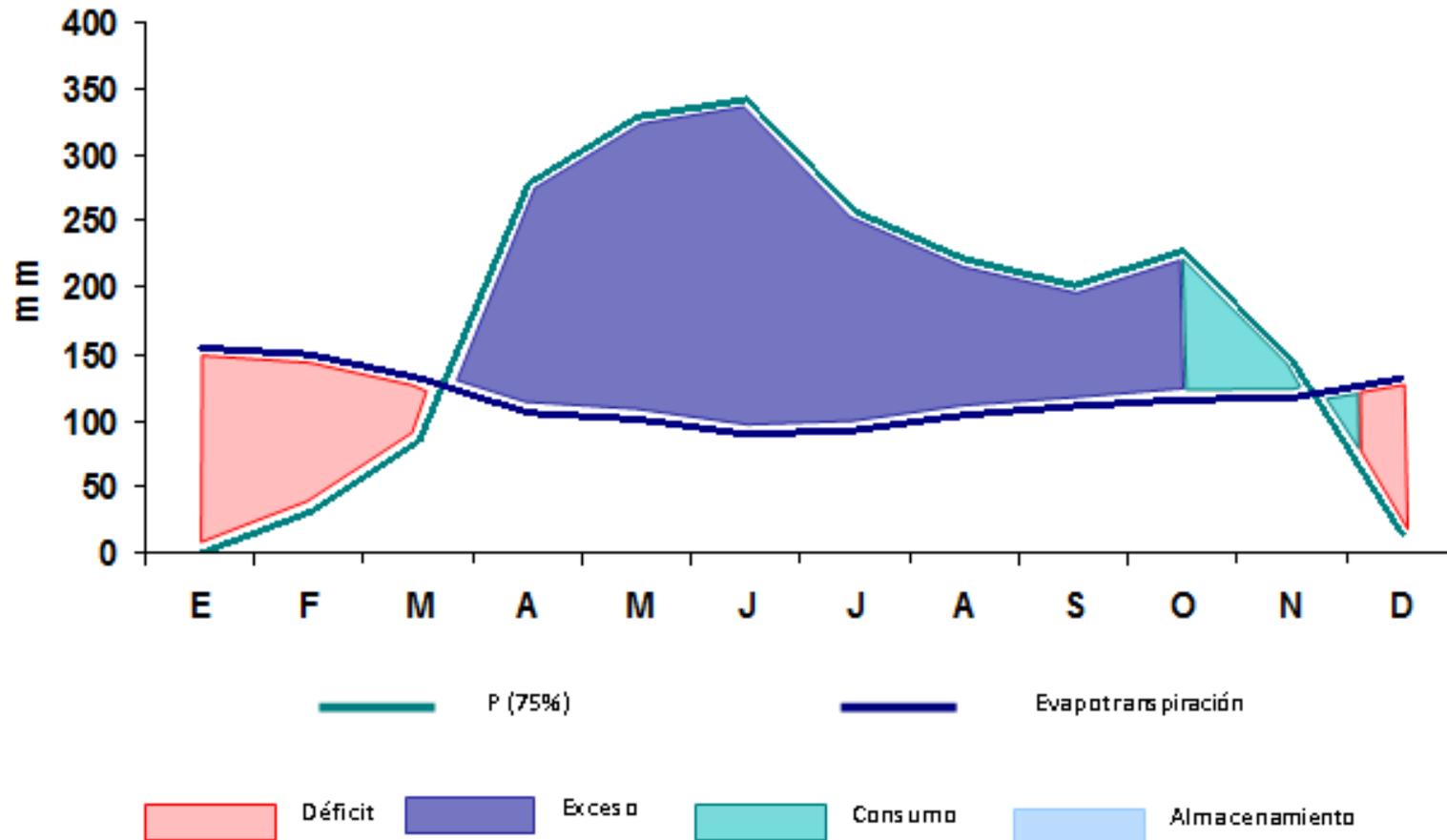


# Balance hídrico climático



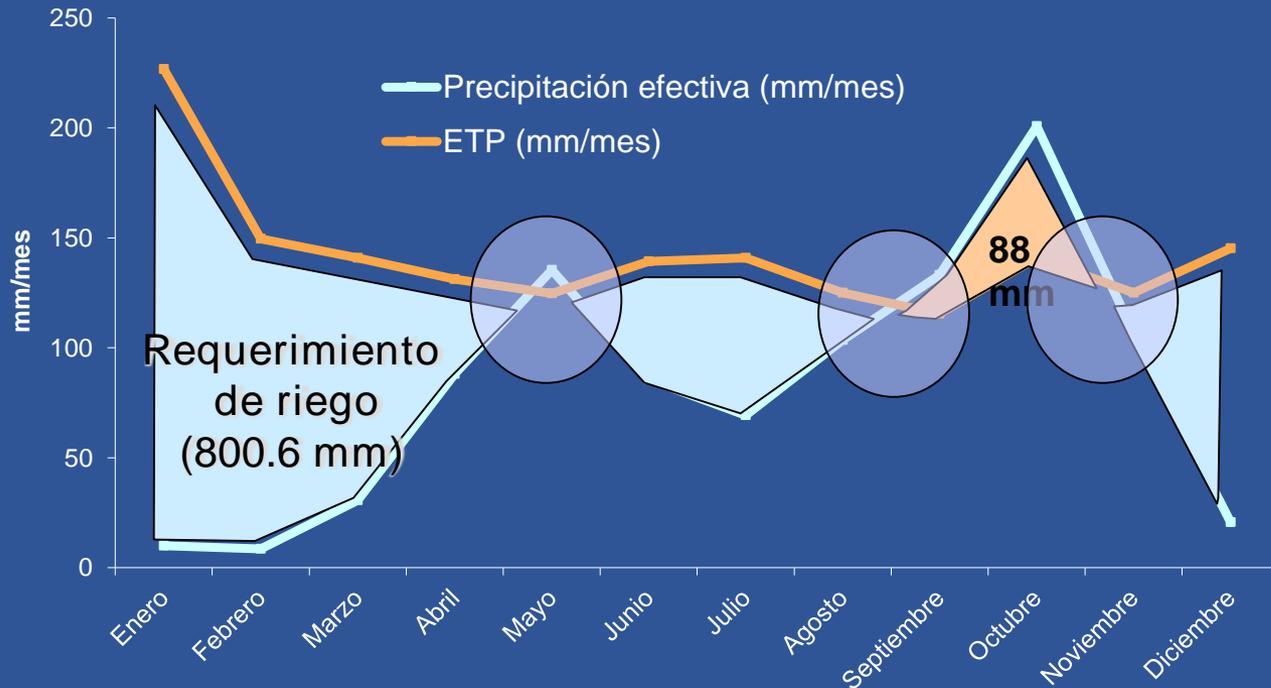
- Escala mensual.
- Estudio de pre-factibilidad de obras de riego y drenaje.
- Serie histórica de datos multianuales mensuales de precipitación y ET, textura del suelo y profundidad efectiva.

# Balance hídrico Agrícola



# BALANCE HÍDRICO

Balance hídrico Caso Motilonia (Probabilidad de 75%)



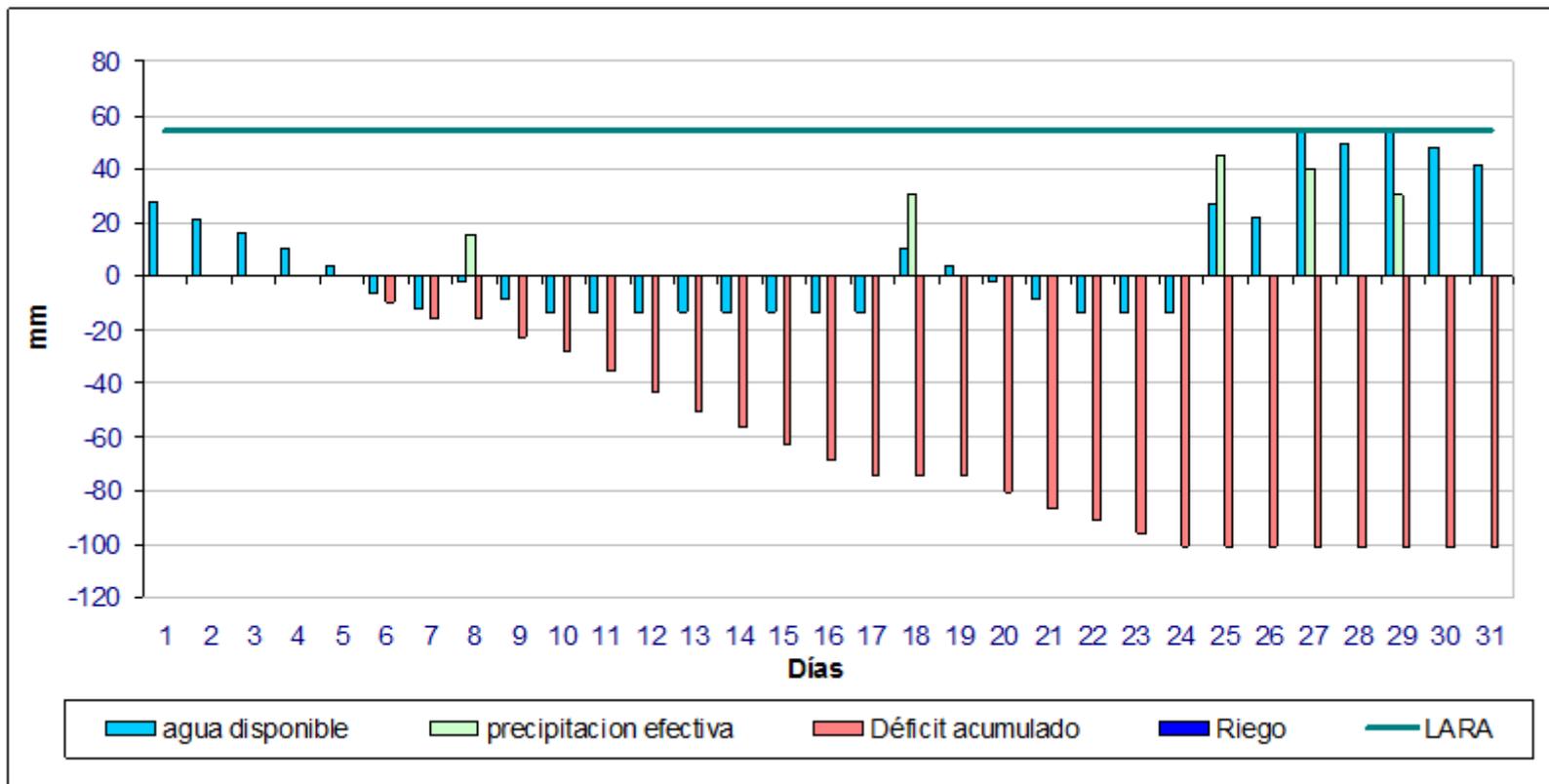
# BALANCE HÍDRICO DIARIO



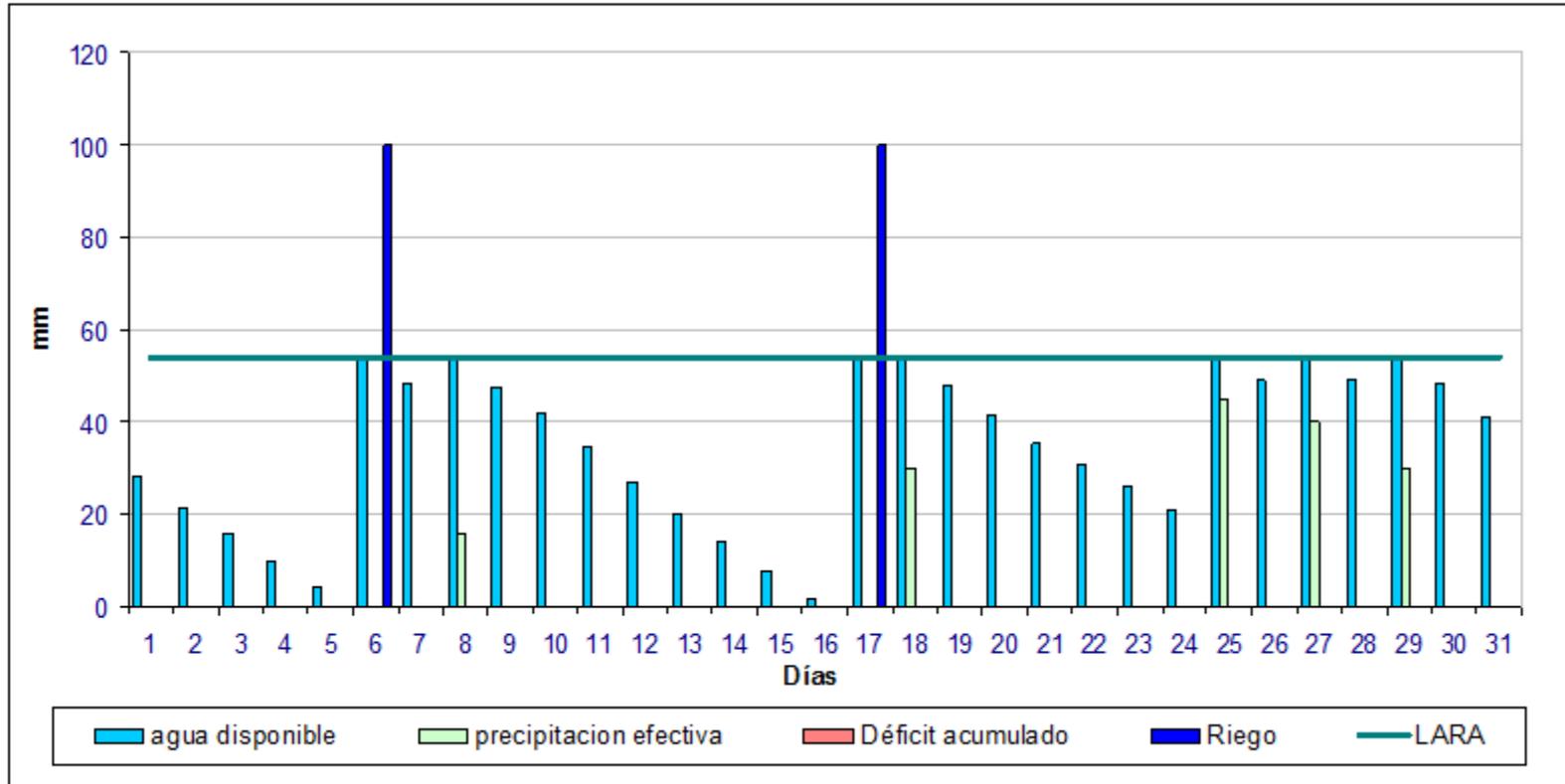
LOS PALMICULTORES DE GUATEMALA

Día	P (mm)	Pe (mm)	Riego (mm)	ET (mm)	Lámina de agua disponible (mm)	Exceso (mm)	Déficit (mm)	Déficit acumulado (mm)
1	0	0	0	6,56	28	0	0	0
2	0	0	0	6,94	21,06	0	0	0
3	0	0	0	5,31	15,75	0	0	0
4	0	0	0	5,96	9,79	0	0	0
5	0	0	0	5,96	3,83	0	0	0
6	0	0	0	9,99	-6,16	0	-9,99	-9,99
7	0	0	0	6,03	-12,19	0	-6,03	-16,02
8	18	15,3	0	5,21	-2,1	0	0	-16,02
9	0	0	0	6,6	-8,7	0	-6,6	-22,62
10	0	0	0	5,62	-13,5	0	-5,62	-28,24
11	0	0	0	7,37	-13,5	0	-7,37	-35,61
12	0	0	0	7,37	-13,5	0	-7,37	-42,98
13	0	0	0	7,36	-13,5	0	-7,36	-50,34
14	0	0	0	5,82	-13,5	0	-5,82	-56,16
15	0	0	0	6,35	-13,5	0	-6,35	-62,51
16	0	0	0	6,2	-13,5	0	-6,2	-68,71
17	0	0	0	5,65	-13,5	0	-5,65	-74,36
18	30	30	0	6,38	10,12	0	0	-74,36
19	0	0	0	6,38	3,74	0	0	-74,36
20	0	0	0	6,38	-2,64	0	-6,38	-80,74
21	0	0	0	6,13	-8,77	0	-6,13	-86,87
22	0	0	0	4,48	-13,25	0	-4,48	-91,35
23	0	0	0	4,67	-13,5	0	-4,67	-96,02
24	0	0	0	5,1	-13,5	0	-5,1	-101,12
25	45	45	0	4,56	26,94	0	0	-101,12
26	0	0	0	5,1	21,84	0	0	-101,12
27	40	40	0	4,62	54	3,22	0	-101,12
28	0	0	0	4,89	49,11	0	0	-101,12
29	30	30	0	4,56	54	20,55	0	-101,12
30	0	0	0	5,8	48,2	0	0	-101,12
31	0	0	0	7,1	41,1	0	0	-101,12

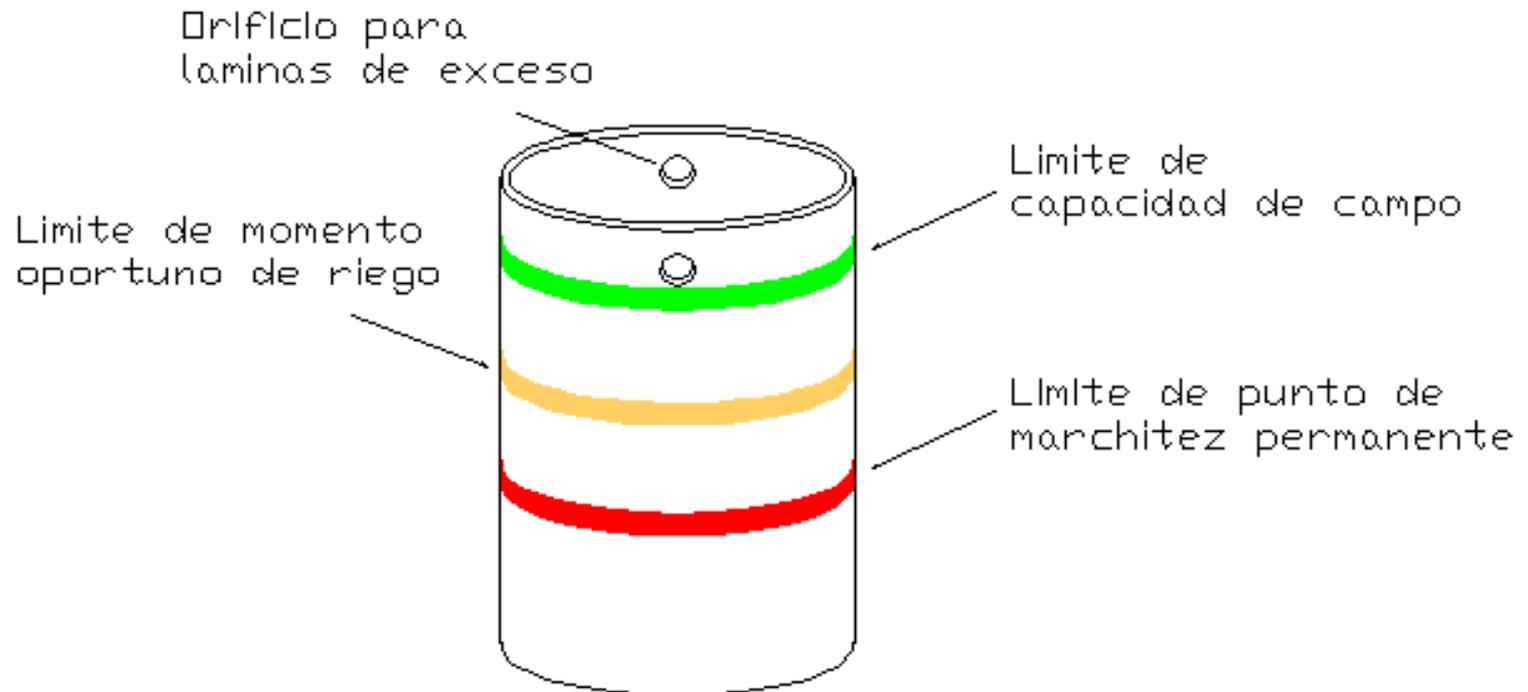
# BALANCE HÍDRICO DIARIO



# BALANCE HÍDRICO DIARIO CON RIEGO



# BALANCE HÍDRICO DE UN CULTIVO POR EL MÉTODO DEL TANQUE



# Cálculos de requerimientos netos de agua



## Necesidades Netas

$$Nn = \frac{150mm}{mes} \Rightarrow Nn = 0.58 l / s / ha$$

$$Qn = 0.58 l / s / ha * 100ha = 58 l / s \quad (919 GPM)$$

$$Vn = 150.336 m^3 / mes$$

GRACIAS