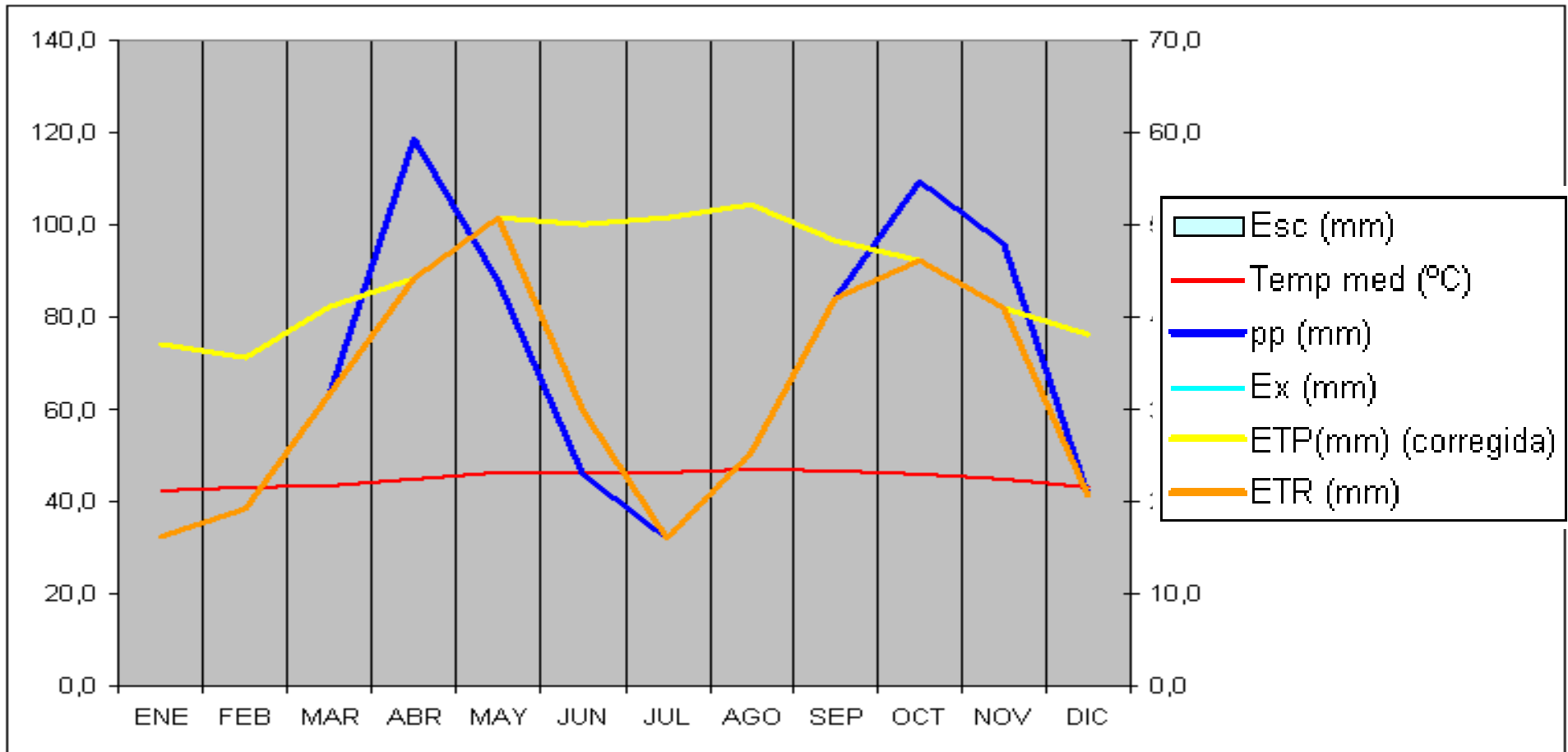


1.- Introducción
2.- Definiciones
3.- Datos
4.- Representación
5.- C

**BALANCE HÍDRICO 1.
CÁLCULO DE LA
EVAPOTRANSPIRACIÓN
POTENCIAL (ETP)**

Mediante el cálculo del balance hídrico se puede estimar para una cuenca o área determinada, los valores relativos de entrada y salida del flujo y la variación del volumen de agua almacenado para un período de tiempo dado.



1.- Introducción
2.- Definiciones
3.- Datos
4.- Representación
5.- Conclusiones

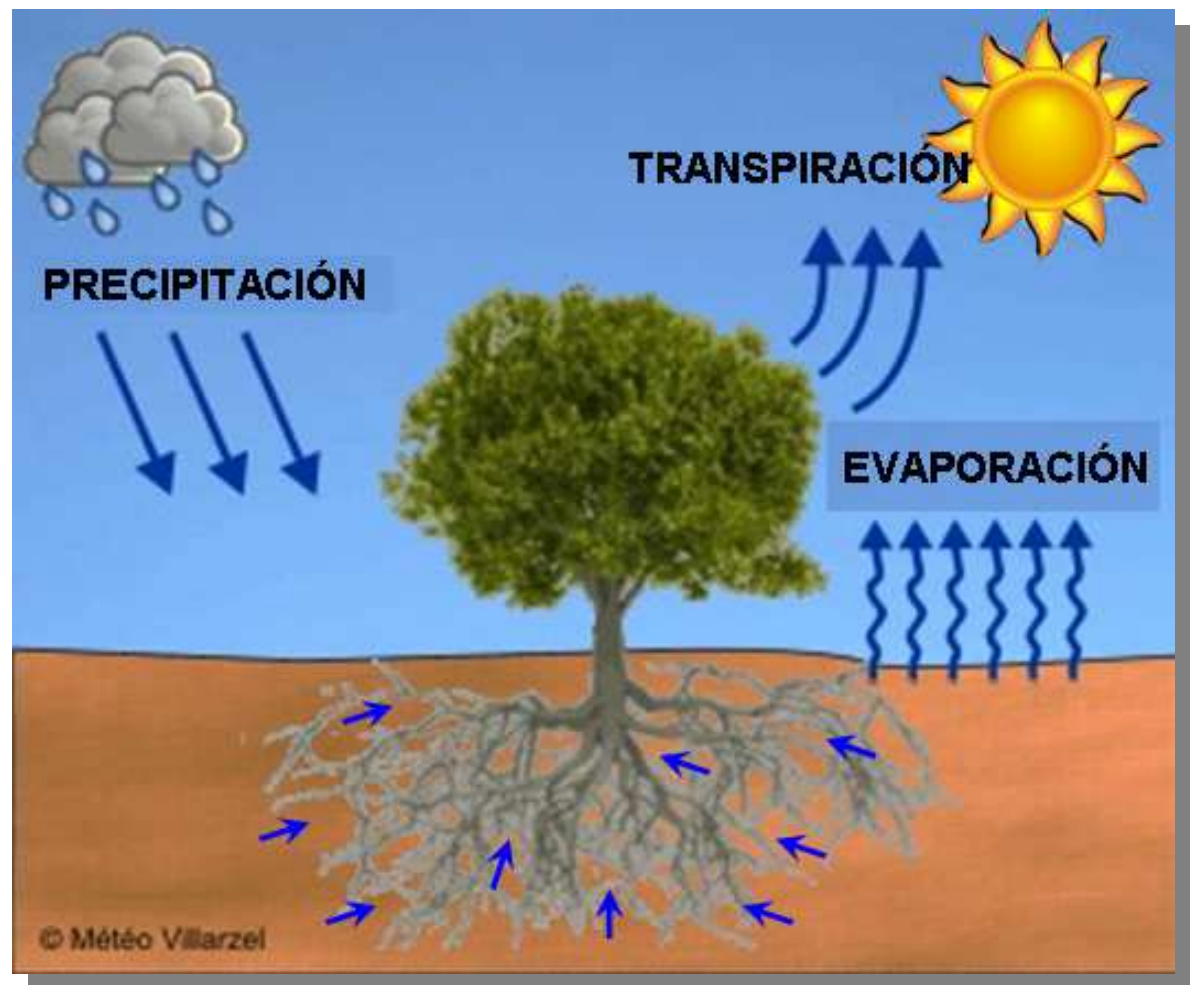
La evaporación es el mecanismo por el cual el agua es devuelta a la atmósfera en forma de vapor (H_2O).

La evaporación de carácter biológico generada por los vegetales se conoce como transpiración.

Sin embargo, aunque los dos mecanismos son diferentes y se realizan independientemente no resulta fácil separarlos, pues ocurren por lo general de manera simultánea.

La ocurrencia de estos mecanismos se engloba dentro de un concepto más amplio: **EVAPOTRANSPIRACIÓN**

La transpiración según algunos autores es la principal fracción de la evaporación total.



1.- Introducción

2.- Definiciones

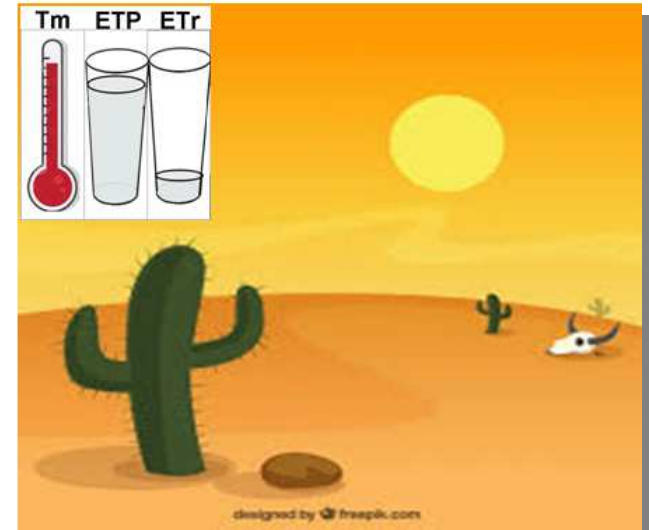
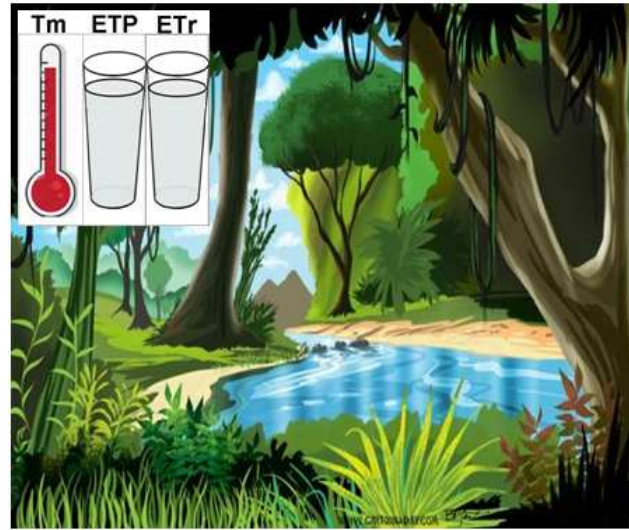
3.- Datos

4.- Representación

5.- Conclusiones

En términos aplicados, la evapotranspiración es un indicador de aridez de un área determinada.

Sin embargo, donde la evapotranspiración ha ganado un lugar realmente importante es en la evaluación de los volúmenes de agua involucrados en las tareas de planificación y gestión de los recursos hídricos, en ciertos estudios medioambientales y en la cuantificación de las demandas hídricas de la vegetación, especialmente de los cultivos.



EVAPOTRANSPIRACIÓN (ETP según Thornthwaite)

1.- Introducción
2.- Definiciones
3.- Datos
4.- Representación
5.- Conclusiones

- **Evapotranspiración potencial (ETP)** = cantidad de agua que puede ser evaporada, en caso de tener una fuente ilimitada de agua, bajo las condiciones atmosféricas existentes

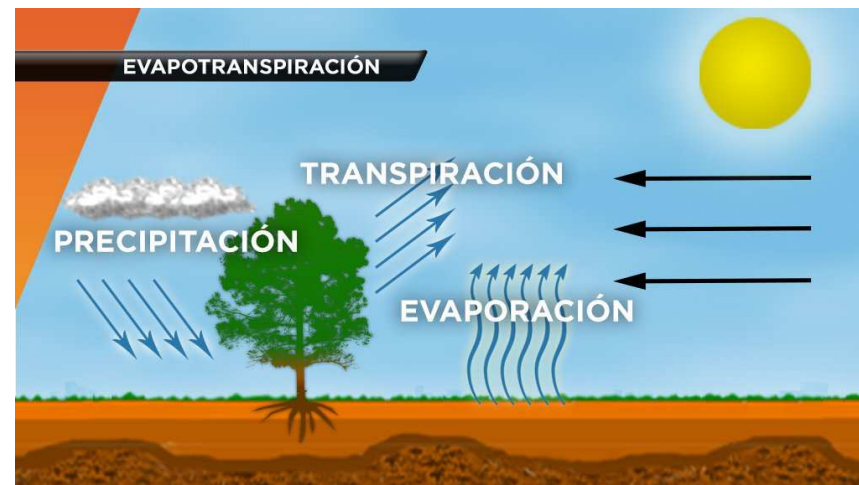
- **Evapotranspiración real (ETR)** = suma de las cantidades de agua evaporadas a partir del suelo y las transpiradas por los vegetales, bajo condiciones atmosféricas, de suelo y de vegetación existentes.

- **ETR** es menor o igual a **ETP**

- **Evaporación** = proceso físico en el cual el agua en estado líquido pasa a vapor
- **Transpiración** = Proceso biológico por el cual las plantas pierden agua a la atmósfera
- **Evapotranspiración (ET)** = evaporación + transpiración
- A diferencia de la ebullición no debe ocurrir a 100°C

Se produce desde:

- Superficie del suelo
- Vegetación
- Superficie de agua (Ríos, lagos, etc)

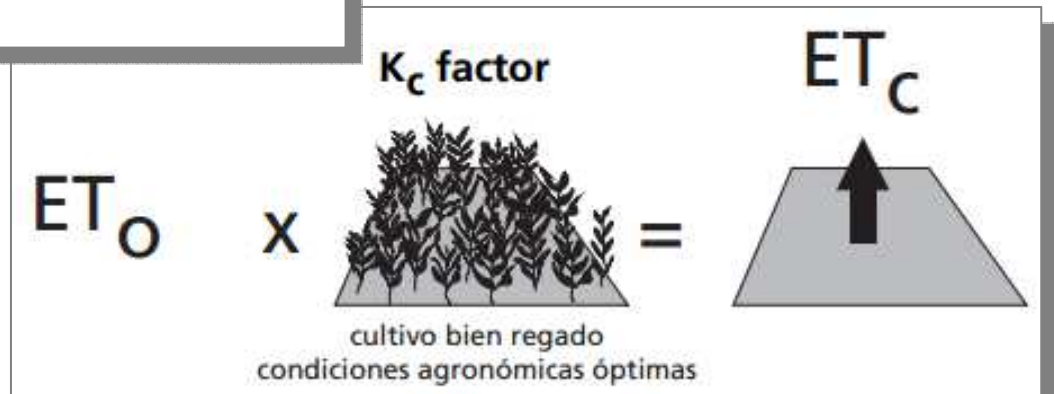


1.- Introducción
2.- Definiciones
3.- Datos
4.- Representación
5.- Conclusiones

ETP según Thornthwaite no considera el potencial de transpiración de las diferentes plantas y formaciones vegetales, por esto se establece:

- **Evapotranspiración del cultivo de referencia (ET_o)** = se refiere a la **ETP** de una superficie de gramíneas de 12 cm de altura, sin falta de agua y con determinadas características aerodinámicas y de albedo.

- **Evapotranspiración del cultivo en condiciones estándar (ET_c)** = **ETP** en un cultivo específico, y en suelos con óptimas condiciones de humedad, es considerada también como **ET_c = ET_o * K_c** (K_c= coeficiente correspondiente al tipo de cultivo)



1.- Introducción

2.- Definiciones

3.- Datos

4.- Representación

5.-

Agentes y factores que influyen en la Evapotranspiración

AGENTES		FACTORES
ELEMENTOS ATMOSFÉRICOS		Radiación solar
		Temperatura
		Humedad
		Altitud
		Presión atmosférica
		Viento
TIPO DE SUPERFICIE	Superficie lacustre, fluvial o marina	Salinidad del agua
	Suelo desnudo	Temperatura del agua
TIPO DE COBERTURA VEGETAL		Textura del suelo
		Grado de humedad del suelo
		Absorción de la humedad del suelo
		Tipo de cobertura vegetal
		Variaciones estacionales. Fitofenología
		Variaciones interanuales

1.- Introducción

2.- Definiciones

3.- Datos

4.- Representación

5.- Conclusiones

Agentes, factores y su efecto general en la Evapotranspiración

AGENTE	FACTORES	EFFECTO GENERAL
ELEMENTOS ATMOSFÉRICOS	Radiación solar	+ Radiación → + Evapotranspiración — Radiación → — Evapotranspiración
	Temperatura del aire	+ Temperatura → + Evapotranspiración — Temperatura → — Evapotranspiración
	Humedad	— Humedad → + Evapotranspiración
	Altitud	+ Altitud → + Evapotranspiración
	Presión atmosférica	— Presión → + Evapotranspiración
	Viento	+ Viento → + Evapotranspiración

1.- Introducción

2.- Definiciones

3.- Datos

4.- Representación

5.- Conclusiones

Agentes, factores y su efecto general en la Evapotranspiración

AGENTE		FACTORES	EFEECTO GENERAL
TIPO DE SUPERFICIE	Superficie lacustre, fluvial o marina	Salinidad del agua	+ Salinidad → — Evapotranspiración
			— Salinidad → + Evapotranspiración
		Temperatura del agua	+ Temperatura → + Evapotranspiración
			— Temperatura → — Evapotranspiración
	Suelo desnudo	Textura del suelo	+ Texturas finas → — Evapotranspiración
			+ Texturas gruesas → + Evapotranspiración
		Humedad del suelo	+ Humedad → + Evapotranspiración
			— Humedad → — Evapotranspiración

1.- Introducción

2.- Definiciones

3.- Datos

4.- Representación

5.- Conclusiones

Agentes, factores y su efecto general en la Evapotranspiración

AGENTE	FACTORES	EFFECTO GENERAL
TIPO DE COBERTURA VEGETAL	Absorción de la humedad del suelo	+ Absorción → + Evapotranspiración — Absorción → — Evapotranspiración
	Tipo de cobertura vegetal	+ Bosques → + Evapotranspiración
	Variaciones estacionales. Fitofenología	+ Ciclos de crecimiento → + Evapotranspiración
		- Ciclos de crecimiento → - Evapotranspiración
	Variaciones interanuales	+ Desarrollo forestal → + Evapotranspiración
		+ Deforestación → — Evapotranspiración

1.- Introducción
2.- Definiciones
3.- Datos
4.- Representación
5.- Conclusiones

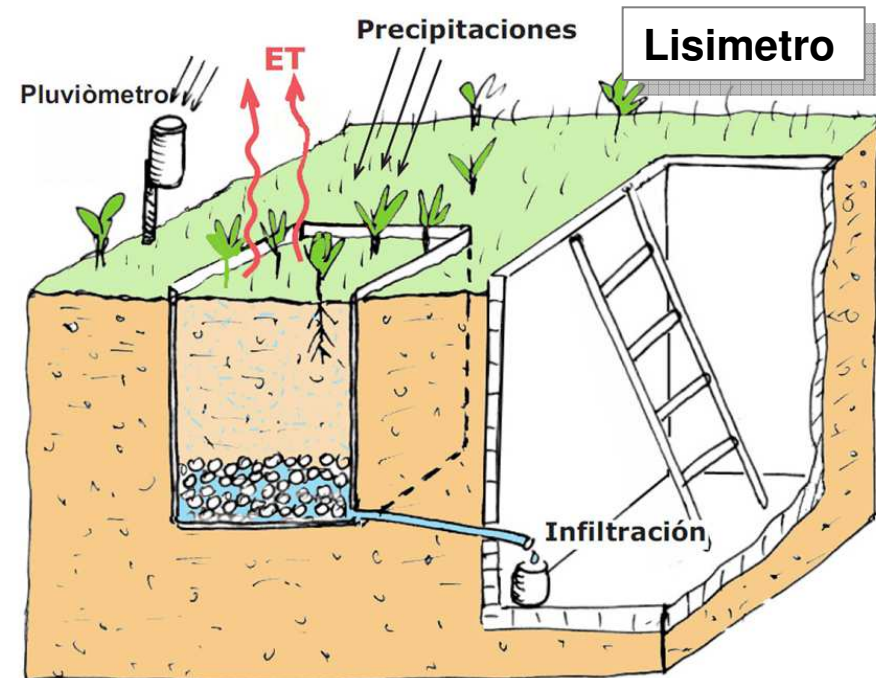
Algunos métodos para la medida y cálculo de la evapotranspiración

La ETP puede medirse a través de métodos directos e indirectos. Los primeros a partir de equipos de campo los segundos a través de modelos basados en datos experimentales.

Métodos directos

Proporcionan valores muy apegados a la realidad. Sirven para ajustar los parámetros de los métodos empíricos.

Tanque o tina evaporimétrica



La unidad de medida de la ETP es el milímetro (mm)

1.- Introducción
2.- Definiciones
3.- Datos
4.- Representación
5.- Conclusiones

Métodos indirectos (climatológicos)
 Estiman la evapotranspiración en períodos mínimos de una semana a partir de fórmulas empíricas

Diversas formulas permiten evaluar la ETP con una aproximación aceptable. Normalmente con estas formulas se calcula la ETP para cada mes y basadas en la temperatura.

Luego con esta ETP mensual y su correspondiente precipitación se realiza el balance hídrico del suelo con lo que se obtiene la ETR (Evapotranspiración real). Entre los diversos modelos tenemos:

MÉTODOS INDIRECTOS	FORMULA	PARÁMETROS
Holdridge	$ETP_{mensual} = \frac{58,93 * tm * N_{dm}}{N_{daño}}$	ETP mensual (mm)
		N _{dm} = Total días del mes
		tm = Temperatura media mensual
		N _{daño} = Total días del año

1.- Introducción
2.- Definiciones
3.- Datos
4.- Representación
5.- Conclusiones

Métodos indirectos

MÉTODOS INDIRECTOS	FORMULA	PARÁMETROS
Thornthwaite	$ETP_{sin\ corr.} = 16 \left(\frac{10.t}{I} \right)^a$	$ETP_{sin\ corr.} =$ ETP mensual en mm/mes
		$t =$ temperatura media mensual, °C
		$I =$ índice de calor anual $I = \sum i$
		$i = \left(\frac{t}{5} \right)^{1,514}$
	$ETP = ETP_{sc} \left(\frac{N * d}{365} \right)$	$ETP =$ Evapotranspiración potencial corregida $N =$ número máximo de horas de sol, $d =$ número de días del mes
	$a = 0,000000675 * I^3 - 0,0000771 * I^2 + 0,01792 * I + 0,49239$	

1.- Introducción
2.- Definiciones
3.- Datos
4.- Representación
5.- Conclusiones

Métodos indirectos

MÉTODOS INDIRECTOS	FORMULA / PARÁMETROS
Hargreaves	$ET_0 = 0,0023 (t_{med} + 17,78) R_0 * (t_{dmáx} - t_{dmin})^{0,5}$ <p> <i>ET₀</i> = evapotranspiración potencial, mm/día <i>t_{med}</i> = temperatura media diaria, °C <i>R₀</i> = Radiación solar extraterrestre , en mm/día <i>t_{dmáx}</i> = temperatura diaria máxima <i>t_{dmin}</i> = temperatura diaria mínima </p>

1.- Introducción
2.- Definiciones
3.- Datos
4.- Representación
5.- Conclusiones

Métodos indirectos

MÉTODOS INDIRECTOS	FORMULA	PARÁMETROS
Jensen-Heise	$ETP = C_T (T - T_x) \cdot R_s$	$C_T = \frac{1}{38 - \frac{h}{152,5} + \frac{380}{e_2 - e_1}}$ <p>$h =$ Altitud del lugar (metros)</p>
		$T_x = -2,5 - 0,14(e_2 - e_1) - \frac{h}{550}$
		$e = 6,108 \cdot \exp\left(\frac{17,27 \cdot t}{t + 237,3}\right)$ <p>$t =$ Temperaturas medias <u>min</u> y <u>max</u>.</p>
		$R_s = R_o \left(0,18 + 0,55 \frac{n}{N} \right)$ <p> $R_o =$ Radiación solar si no existiera atmósfera (Tabla) $n =$ número de horas de sol reales (medidas con un heliógrafo) $N =$ número máximo teórico de horas de sol (Tabla) </p>

1.- Introducción
2.- Definiciones
3.- Datos
4.- Representación
5.- Conclusiones

Métodos indirectos

MÉTODOS INDIRECTOS	FORMULA	PARÁMETROS
Turc	$ETR = \frac{P}{\sqrt{0,9 + \frac{P^2}{L^2}}}$	<p>ETR = evapotranspiración real en mm/año P = Precipitación en mm/año L = 300 + 25 t + 0,05 t³ t = temperatura media anual en °C</p>

1.- Introducción
2.- Definiciones
3.- Datos
4.- Representación
5.- Conclusiones

Métodos indirectos

MÉTODOS INDIRECTOS	FORMULA / PARÁMETROS
Coutagne	$ETR = P - \chi P^2$
	<p>ETR = evapotranspiración real en metros/año P = Precipitación en metros/año (Atención: las unidades son m)</p> $\chi = \frac{1}{0,8 + 0,14 t}$ <p>t = temperatura media anual en °C</p>
	válida para valores de P (en metros/año) comprendidos entre $1/8\chi$ y $1/2\chi$

1.- Introducción

2.- Definiciones

3.- Datos

4.- Representación

5.-

Métodos indirectos

**MÉTODOS
EMPÍRICOS**

**FORMULA /
PARÁMETROS**

**Penman -
FAO**

$$\text{mm ETP} = \frac{\left[\frac{\Delta}{\gamma} \frac{P_o}{P} \right] \text{RN} + \text{CA}}{\left[\frac{\Delta}{\gamma} \frac{P_o}{P} \right] + 1}$$

RN = radiación neta

CA = componente aerodinámico $0,26(es - ea) (1 + 0,54U)$

es = presión de vapor de saturación

ea = presión de vapor actual

U = velocidad del viento en m/s (a 2 m)

Po = presión atmosférica media a nivel del mar (mb)

P = presión atmosférica media en función de la altitud de la estación donde se realiza la estimación (mb)

Δ = pendiente de la curva de presión de vapor de saturación en función de la temperatura

γ = coeficiente psicrométrico

!!!Ejercicios!!!

1.- Introducción

2.- Definiciones

3.- Datos

4.- Representación

5.- Conclusiones

Objetivos:

- 1.- Calcular la ETP con los datos de temperatura y precipitación de la estación meteorológica de Burbusay, a través del **método de Thornthwaite**.
- 2.- Calcular la diferencia $pp - ETP$.
- 3.- Representar los datos de temperatura, precipitación y ETP en gráfico de líneas.

Premisa 1

➤ Este ejercicio es el primero de la serie de practicas conducentes al calculo del balance hídrico para la estación meteorológica Burbusay, con datos mensuales de temperatura y precipitación.

Premisa 2

➤ Este ejercicio complementa los postulados teóricos vistos en clase, instruye a los estudiantes en el manejo básico de una hoja de calculo y cumple con las competencias esperadas en la licenciatura en educación mención Geografía Cs. De la Tierra..

Premisa 3

➤ Los datos aquí presentados corresponden a datos de practica ofrecidos libremente a través de:
<http://www.inameh.gob.ve>
<https://es.climate-data.org/location/4023/>

- | |
|--------------------|
| 1.- Introducción |
| 2.- Definiciones |
| 3.- Datos |
| 4.- Representación |
| 5.- Conclusiones |

9° 25' 00" LN
70° 16' 00" LO
1631 msnm



1.- Introducción

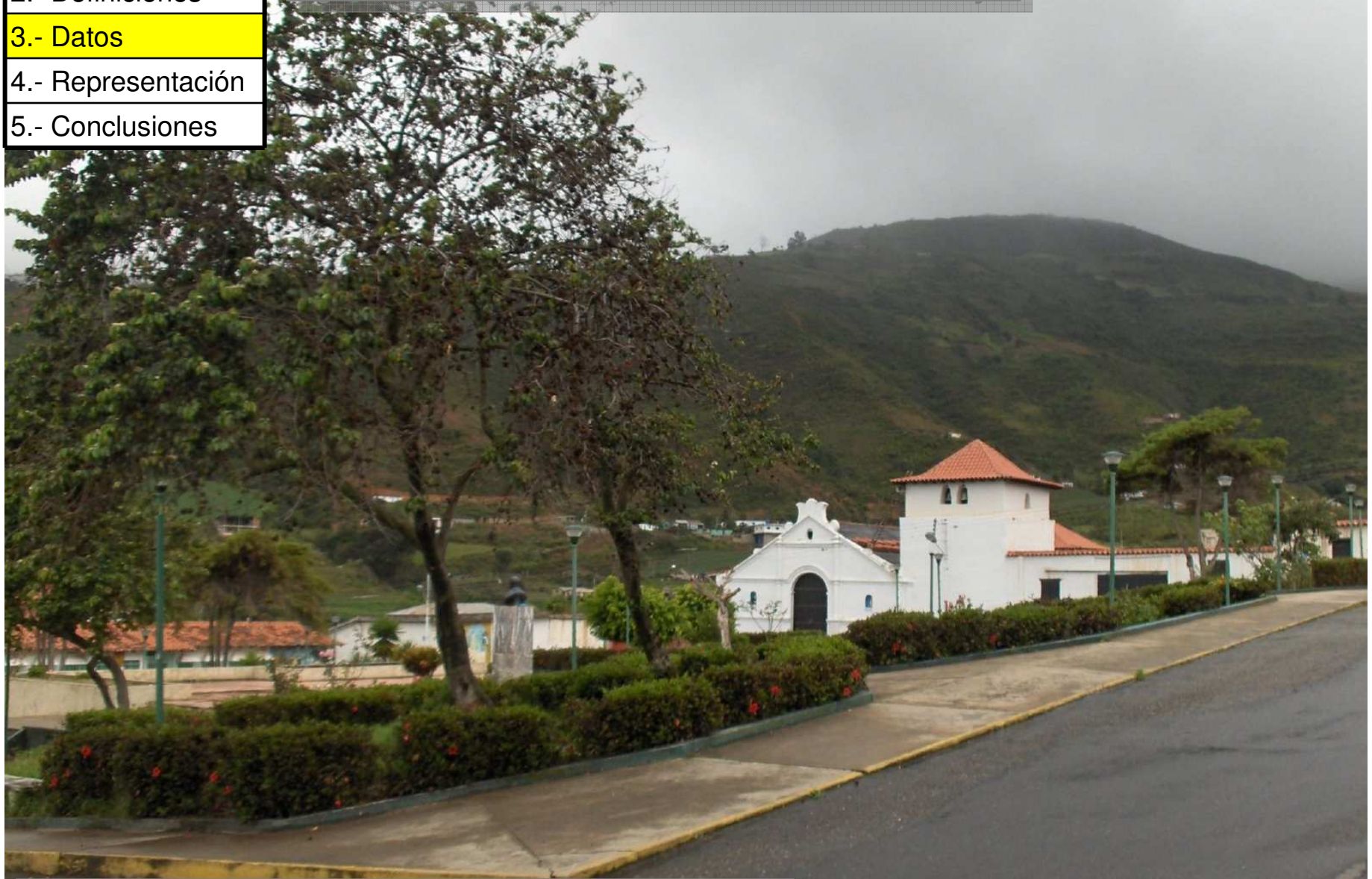
2.- Definiciones

3.- Datos

4.- Representación

5.- Conclusiones

¿Qué ambiente físico natural tiene Burbusay?



<http://cuentosycaminos.blogspot.com/2007/09/burbusay.html>

1.- Introducción

2.- Definiciones

3.- Datos

4.- Representación

5.- Conclusiones

¿Qué ambiente sociocultural tiene Burbusay?



<http://cuentosycaminos.blogspot.com/2007/09/burbusay.html>

1.- Introducción
2.- Definiciones
3.- Datos
4.- Representación
5.- Conclusiones

Actividades para la elaboración del balance hídrico (Thornthwaite).
PRACTICA BALANCE HÍDRICO 1
Cálculo de la ETP según Thornthwaite.
1.- Cálculo del índice de calor mensual (i)
2.- Cálculo del Índice de calor anual (I)
3.- Cálculo del exponente empírico (a)
4.- Cálculo de la ETP sin corregir
5.- Complementar las horas de sol según latitud
6.- Complementar el total días del mes
7.- Cálculo de la ETP corregida

Actividades para la elaboración del balance hídrico (Thornthwaite).
PRACTICA BALANCE HÍDRICO 1
Cálculo de la ETP según Thornthwaite.
1.- Cálculo del índice de calor mensual (i)
2.- Cálculo del Índice de calor anual (I)
3.- Cálculo del exponente empírico (a)
4.- Cálculo de la ETP sin corregir
5.- Complementar las horas de sol según latitud
6.- Complementar el total días del mes
7.- Cálculo de la ETP corregida
8.- Cálculo de la diferencia pp - ETP corregida

s de comienzo

hídrico.

ETR

umo y recarga de

1.- Introducción
2.- Definiciones
3.- Datos
4.- Representación
5.- Conclusiones

1.- Abra la hoja de calculo: Plantilla_ETP.

Los datos ofrecidos son las temperaturas medias mensuales y los totales de precipitación mensual para Burbusay.

	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
1													
2													
3	Estación Burbusay										Índice calor anual (I) =		
4	Período 1950- 1998		LN 9° 25'		1.631 msnm						a =		
5													
6		ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
7	Temp med (°C)	17,3	17,9	18,4	18,4	18,6	18,6	18,4	18,6	18,4	18,3	18,1	17,6
8	pp (mm)	32,0	34,0	54,0	118,0	117,0	101,0	80,0	84,0	91,0	112,0	92,0	72,0
9	Índice calor mensual (i)												
10	ETP(mm)(sin corregir)												
11	Horas sol												
12	Total días del mes												
13	ETP(mm) (corregida)												
14	pp - ETP												
15	Reserva												
16	Variación reserva												
17	ETR												

1.1

En esta primera practica sobre balance hídrico sólo se resolverá la plantilla hasta la fila pp – ETP 1.1. Los campos siguientes se complementarán en la practica siguiente.

1.- Introducción

2.- Definiciones

3.- Datos

2.- La formula a aplicar para el calculo de la ETP es la postulada en el método de Thornthwaite.

	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
1													
2													
3	Estación Burbusay												
4	Período 1950- 1998		LN 9° 25'		1.631 msnm								
5													
6		ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
7	Temp med (°C)	17,3	17,9	18,4	18,4	18,6	18,6	18,4	18,6	18,4	18,3	18,1	17,6
8	pp (mm)	32,0	34,0	54,0	118,0	117,0	101,0	80,0	84,0	91,0	112,0	92,0	72,0
9	Indice calor mensual (i)												
10	ETP(mm)(sin corregir)												

11	Horas sol
12	Total dias del m
13	ETP(mm) (corre
14	pp - ETP
15	Reserva
16	Variación reser
17	ETR

MÉTODOS INDIRECTOS	FORMULA	PARÁMETROS
Thornthwaite	$ETP_{sin\ corr.} = 16 \left(\frac{10 \cdot t}{I} \right)^a$	$ETP_{sin\ corr.} =$ ETP mensual en mm/mes
		$t =$ temperatura media mensual, °C
		$I =$ índice de calor anual $I = \sum i$
		$i = \left(\frac{t}{5} \right)^{1,514}$
	$ETP = ETP_{sc} \left(\frac{N * d}{365} \right)$	$ETP =$ Evapotranspiración potencial corregida $N =$ número máximo de horas de sol, $d =$ número de días del mes
	$a = 0,000000675 * I^3 - 0,0000771 * I^2 + 0,01792 * I + 0,49239$	

1.- Introducción
2.- Definiciones
3.- Datos
4.- Representación
5.- Conclusiones

3.- La formula de Thornthwaite para el cálculo de la ETP, demanda además de la temperatura media mensual, los datos relativos al total de días de cada mes y el total días del año.

Exponente empírico basado en el índice de calor anual.

Total anual del índice de calor mensual

	F	G	H	I	J	K	L	M	N				
1	Temperatura media mensual (°C)									Índice calor anual (I) =			
2	Precipitación mensual (mm)									a =			
3	Estación Burbusay												
4	Período 1950- 1998 LN 9° 25'									1.631 msnm			
6	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	
7	Temp med (°C)	17,3	17,9	18,4	18,4	18,6	18,6	18,4	18,6	18,4	18,3	18,1	17,6
8	pp (mm)	32,0	34,0	54,0	118,0	117,0	101,0	80,0	84,0	91,0	112,0	92,0	72,0
9	Indice calor mensual (i)	Cociente de calor basado en Tm mensual											
10	ETP(mm)(sin corregir)	Evapotranspiración potencial (mm) sin corregir											
11	Horas sol	Máximo de horas de sol para determinada latitud, basado en Allen et al, 1998)											
12	Total dias del mes	Total de días en cada mes. (Febrero = 28,25)											
13	ETP(mm) (corregida)	Evapotranspiración potencial (mm) corregida											
14	pp - ETP	Precipitación mensual – ETP corregida											
15	Reserva												
16	Variación reserva												
17	ETR												

- 1.- Introducción
- 2.- Definiciones
- 3.- Datos
- 4.- Representación
- 5.- Conclusiones

4.- Cálculo del índice de calor mensual (i)

Click derecho sobre la celda ENE / índice calor mensual (i) **4.1**, e introduzca la formula correspondiente **4.2**.

Microsoft Excel - Plantilla_ETP

File Edit View Insert Format Tools Data Window Help

Σ

C9 **f_x =(C7/5)^1,514** **4.3**

	B	C	D	E	F	G
1						
2						
5						531 msnm
6		ENE	FEB	MAR	ABR	MAY
7	Temp med (°C)	17,3	17,9	18,4	18,4	18,6
8	pp (mm)	32,0	34,0	54,0	118,0	117,0
9	Indice calor mensual (i)					
10	ETP(mm)(sin corregir)					
11	Horas sol					
12	Total	C7 = Tm mes de enero				
13	ETP(r)	Para elevar a una potencia utilice el circumflexo: ^ (alt 94)				
14	pp - ETP					
15	Reserva					
	Variación reserva					
	ETR					

$$i = \left(\frac{t}{5} \right)^{1,514}$$

4.2

Para introducir en la hoja de cálculo la formula prevista en la figura **4.2**, debe escribirse en la línea de comandos: **=(C7/5)^1,514** **4.3**

1.- Introducción
2.- Definiciones
3.- Datos
4.- Representación
5.- Conclusiones

Actividades para la elaboración del balance hídrico (Thornthwaite).
PRACTICA BALANCE HÍDRICO 1
Cálculo de la ETP según Thornthwaite.
1.- Cálculo del índice de calor mensual (i)
2.- Cálculo del Índice de calor anual (I)
3.- Cálculo del exponente empírico (a)
4.- Cálculo de la ETP sin corregir
5.- Complementar las horas de sol según latitud
6.- Complementar el total días del mes
7.- Cálculo de la ETP corregida

Actividades para la elaboración del balance hídrico (Thornthwaite).
PRACTICA BALANCE HÍDRICO 1
Cálculo de la ETP según Thornthwaite.
1.- Cálculo del índice de calor mensual (i)
2.- Cálculo del Índice de calor anual (I)
3.- Cálculo del exponente empírico (a)
4.- Cálculo de la ETP sin corregir
5.- Complementar las horas de sol según latitud
6.- Complementar el total días del mes
7.- Cálculo de la ETP corregida
8.- Cálculo de la diferencia pp - ETP corregida

s de comienzo

hídrico.

ETR

umo y recarga de

- 1.- Introducción
- 2.- Definiciones
- 3.- Datos
- 4.- Representación
- 5.- Conclusiones

5.- El Índice de calor anual es la sumatoria de los índices de calor mensuales. Click derecho sobre la celda N3 **5.1**, e introduzca en la línea de comandos la formula **=SUM(C9:N9)**, click enter y obtenga el valor.

The screenshot shows a Microsoft Excel spreadsheet titled 'Plantilla_ETP'. The spreadsheet contains data for 'Estación Burbusay' for the period 1950-1998. The data is organized as follows:

	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	
1													5.1	
2														
3	Estación Burbusay										Índice calor anual (I) =			
4	Período 1950- 1998		LN 9° 25'		1.631 msnm					a =				
5														
6		ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	
7	Temp med (°C)	17,3	17,9	18,4	18,4	18,6	18,6	18,4	18,6	18,4	18,3	18,1	17,6	
8	pp (mm)	32,0	34,0	54,0	118,0	117,0	101,0	80,0	84,0	91,0	112,0	92,0	72,0	
9	Índice calor mensual (i)	6,5	6,9	7,2	7,2	7,3	7,3	7,2	7,3	7,2	7,1	7,0	6,7	
10	ETP(mm)(sin corregir)													
11	Horas sol													
12	Total días del mes													
13	ETP(mm) (corregida)													
14	pp - ETP													
15	Reserva													
16	Variación reser													
17	ETR													
	Def													
	Ex													
	Esc													

The formula bar at the top shows the formula **=SUM(C9:N9)** being entered into cell N3. A yellow callout box at the bottom of the spreadsheet contains the text: "Las hojas de cálculo poseen una lista de funciones que facilitan el ingreso y calculo de formulas. La forma usada en este ejercicio es solo una de ellas."

1.- Introducción
2.- Definiciones
3.- Datos
4.- Representación
5.- Conclusiones

Actividades para la elaboración del balance hídrico (Thornthwaite).
PRACTICA BALANCE HÍDRICO 1
Cálculo de la ETP según Thornthwaite.
1.- Cálculo del índice de calor mensual (i)
2.- Cálculo del Índice de calor anual (I)
3.- Cálculo del exponente empírico (a)
4.- Cálculo de la ETP sin corregir
5.- Complementar las horas de sol según latitud
6.- Complementar el total días del mes
7.- Cálculo de la ETP corregida

Actividades para la elaboración del balance hídrico (Thornthwaite).
PRACTICA BALANCE HÍDRICO 1
Cálculo de la ETP según Thornthwaite.
1.- Cálculo del índice de calor mensual (i)
2.- Cálculo del Índice de calor anual (I)
3.- Cálculo del exponente empírico (a)
4.- Cálculo de la ETP sin corregir
5.- Complementar las horas de sol según latitud
6.- Complementar el total días del mes
7.- Cálculo de la ETP corregida
8.- Cálculo de la diferencia pp - ETP corregida

s de comienzo

hídrico.

ETR

umo y recarga de

- 1.- Introducción
- 2.- Definiciones
- 3.- Datos
- 4.- Representación
- 5.- Conclusiones

6.- El exponente empírico **a** necesario para el cálculo de la ETP, también se hace de manera similar. Click derecho sobre la celda N4 **6.1**, e introduzca la formula correspondiente:

$$a = 0,000000675 * I^3 - 0,0000771 * I^2 + 0,01792 * I + 0,49239$$

Microsoft Excel - Plantilla_ETP

File Edit View Insert Format Tools Data Window Help

Type a question for help

N3 =0,000000675*(N3^3)-0,0000771*(N3^2)+0,01792*(N3)+0,49239

	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
1													
2													
3	Estación Burbusay											índice calor anual (I) =	85,0
4	Período 1950- 1998		LN 9° 25'		1.631 msnm							a =	
5													6.1
6		ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
7	Temp med (°C)	17,3	17,9	18,4	18,4	18,6	18,6	18,4	18,6	18,4	18,3	18,1	17,6
8	pp (mm)	32,0	34,0	54,0	118,0	117,0	101,0	80,0	84,0	91,0	112,0	92,0	72,0
9	Índice calor mensual (i)	6,5	6,9	7,2	7,2	7,3	7,3	7,2	7,3	7,2	7,1	7,0	6,7
10	ETP(mm)(sin corregir)												
11	Horas sol												
12	Total dias del mes												
13	ETP(mm) (corregida)												
14	pp - ETP												
15	Reserva												
16	Variación reserva												
17	ETR												
	Def												
	Ex												
	Esc												

Recuerde que una forma rápida de escribir la potencia de un número es utilizando el tilde circumflexo: ^ (alt 94)

1.- Introducción
2.- Definiciones
3.- Datos
4.- Representación
5.- Conclusiones

Actividades para la elaboración del balance hídrico (Thornthwaite).
PRACTICA BALANCE HÍDRICO 1
Cálculo de la ETP según Thornthwaite.
1.- Cálculo del índice de calor mensual (i)
2.- Cálculo del Índice de calor anual (I)
3.- Cálculo del exponente empírico (a)
4.- Cálculo de la ETP sin corregir
5.- Complementar las horas de sol según latitud
6.- Complementar el total días del mes
7.- Cálculo de la ETP corregida

Actividades para la elaboración del balance hídrico (Thornthwaite).
PRACTICA BALANCE HÍDRICO 1
Cálculo de la ETP según Thornthwaite.
1.- Cálculo del índice de calor mensual (i)
2.- Cálculo del Índice de calor anual (I)
3.- Cálculo del exponente empírico (a)
4.- Cálculo de la ETP sin corregir
5.- Complementar las horas de sol según latitud
6.- Complementar el total días del mes
7.- Cálculo de la ETP corregida
8.- Cálculo de la diferencia pp - ETP corregida

s de comienzo

hídrico.

ETR

umo y recarga de

- 1.- Introducción
- 2.- Definiciones
- 3.- Datos
- 4.- Representación
- 5.- Conclusiones

7.- Con los anteriores parámetros resueltos se procede entonces a calcular la ETP (sin corregir), mediante la ejecución de la formula 7.1.

Click derecho sobre la celda C/10 o ETP (mm) (sin corregir) / ENE, e introduzca la formula señalada en la línea de comandos 7.2. Click en enter para obtener el valor y luego arrastre esta celda a lo largo de la fila para así calcular los mese restantes.

Microsoft Excel - Plantilla_ETP

File Edit View Insert Format Tools Data Window Help

Type a question for help

Formula bar: $=16*((10*C7/85)^{1,872899})$ 7.2

	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
1													
2													
3	Estación Burbusay												Índice calor anual (I) = 85,0
4	Período 1950- 1998		LN 9° 25'		1.631 msnm								a = 1,872899
5													
6		ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
7	Temp med (°C)	17,3	17,9	18,4	18,4	18,6	18,6	18,4	18,6	18,4	18,3	18,1	17,6
8	pp (mm)	32,0	34,0	54,0	118,0	117,0	101,0	80,0	84,0	91,0	112,0	92,0	72,0
9	Índice calor mensual (i)	6,5	6,9	7,2	7,2	7,3	7,3	7,2	7,3	7,2	7,1	7,0	6,7
10	ETP(mm)(sin corregir)												
11	Horas sol												
12	Total dias del mes												
13	ETP(mm) (corregida)												
14	pp - ETP												
15	Reserva												
16	Variación reserva												
17	ETR												
	Def												
	Ex												
	Esc												

7.1

$$ETP_{sin\ corr.} = 16 \left(\frac{10 \cdot t}{I} \right)^a$$

1.- Introducción
2.- Definiciones
3.- Datos
4.- Representación
5.- Conclusiones

Actividades para la elaboración del balance hídrico (Thornthwaite).
PRACTICA BALANCE HÍDRICO 1
Cálculo de la ETP según Thornthwaite.
1.- Cálculo del índice de calor mensual (i)
2.- Cálculo del Índice de calor anual (I)
3.- Cálculo del exponente empírico (a)
4.- Cálculo de la ETP sin corregir
5.- Complementar las horas de sol según latitud
6.- Complementar el total días del mes
7.- Cálculo de la ETP corregida

Actividades para la elaboración del balance hídrico (Thornthwaite).
PRACTICA BALANCE HÍDRICO 1
Cálculo de la ETP según Thornthwaite.
1.- Cálculo del índice de calor mensual (i)
2.- Cálculo del Índice de calor anual (I)
3.- Cálculo del exponente empírico (a)
4.- Cálculo de la ETP sin corregir
5.- Complementar las horas de sol según latitud
6.- Complementar el total días del mes
7.- Cálculo de la ETP corregida
8.- Cálculo de la diferencia pp - ETP corregida

s de comienzo

hídrico.

ETR

umo y recarga de

- 1.- Introducción
- 2.- Definiciones
- 3.- Datos
- 4.- Representación
- 5.- Conclusiones

8.- Una vez calculada la ETP sin corregir, esta se debe corregir y para esto se necesitan dos parámetros como lo son los valores de horas de sol **8.1** y total de días del mes **8.2**.

Los valores de horas sol se consiguen en la tabla siguiente, escoja la latitud 10° y copie esos valores a la plantilla. En cuanto a los días del mes, revise esos totales en un calendario y cópielos a la plantilla.

Microsoft Excel - Plantilla_ETP

File Edit View Insert Format Tools Data Window Help

Type a question for help

Arial 10 B I U

N3

	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
1													
2													
3	Estación Burbusay												Índice calor anual (I) = 85,0
4	Período 1950- 1998		LN 9° 25'		1.631 msnm								a = 1,872899
5													
6		ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
7	Temp med (°C)	17,3	17,9	18,4	18,4	18,6	18,6	18,4	18,6	18,4	18,3	18,1	17,6
8	pp (mm)	32,0	34,0	54,0	118,0	117,0	101,0	80,0	84,0	91,0	112,0	92,0	72,0
9	Índice calor mensual (i)	6,5	6,9	7,2	7,2	7,3	7,3	7,2	7,3	7,2	7,1	7,0	6,7
10	ETP(mm)(sin corregir)	60,6	64,5	68,0	68,0	69,4	69,4	68,0	69,4	68,0	67,3	65,9	62,5
11	Horas sol												8.1
12	Total días del mes												8.2
13	ETP(mm) (corregida)												
14	pp - ETP												
15	Reserva												
16	Variación reserv												
17	ETR												
	Def												
	Ex												
	Esc												

El mes de febrero siempre tendrá un valor de 28,25 dado que cada cuatro años asume el valor de 29 días y en este caso estamos ante una serie 1950 – 98.

APÉNDICE 4

Número máximo de horas de sol (Allen et al., 1998)

1.- Introducción
2.- Definiciones
3.- Datos
4.- Representación
5.- Conclusiones

Latitud N (*)	Ene.	Feb.	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
50	8,3	9,8	11,6	13,5	15,2	16,1	15,7	14,3	12,3	10,4	8,7	7,9
48	8,6	10	11,6	13,4	15	15,8	15,5	14,1	12,3	10,6	9	8,2
46	8,8	10,1	11,6	13,3	14,8	15,5	15,2	14	12,3	10,7	9,2	8,5
44	9,1	10,3	11,6	13,2	14,6	15,3	15	13,8	12,3	10,7	9,4	8,7
42	9,3	10,4	11,7	13,2	14,4	15	14,8	13,7	12,3	10,8	9,6	9
40	9,5	10,5	11,7	13,1	14,2	14,8	14,6	13,6	12,2	10,9	9,7	9,2
38	9,6	10,6	11,7	13	14,1	14,6	14,4	13,5	12,2	11	9,9	9,4
36	9,8	10,7	11,7	12,9	13,9	14,4	14,2	13,4	12,2	11,1	10,1	9,6
34	10	10,8	11,8	12,9	13,8	14,3	14,1	13,3	12,2	11,1	10,2	9,7
32	10,1	10,9	11,8	12,8	13,6	14,1	13,9	13,2	12,2	11,2	10,3	9,9
30	10,3	11	11,8	12,7	13,5	13,9	13,8	13,1	12,2	11,3	10,5	10,1
28	10,4	11	11,8	12,7	13,4	13,8	13,6	13	12,2	11,3	10,6	10,2
26	10,5	11,1	11,8	12,6	13,3	13,6	13,5	12,9	12,1	11,4	10,7	10,4
24	10,7	11,2	11,8	12,6	13,2	13,5	13,3	12,8	12,1	11,4	10,8	10,5
22	10,8	11,3	11,9	12,5	13,1	13,3	13,2	12,8	12,1	11,5	10,9	10,7
20	10,9	11,3	11,9	12,5	12,9	13,2	13,1	12,7	12,1	11,5	11	10,8
18	11	11,4	11,9	12,4	12,8	13,1	13	12,6	12,1	11,6	11,1	10,9
16	11,1	11,5	11,9	12,4	12,7	12,9	12,9	12,5	12,1	11,6	11,2	11,1
14	11,3	11,6	11,9	12,3	12,6	12,8	12,8	12,5	12,1	11,7	11,3	11,2
12	11,4	11,6	11,9	12,3	12,6	12,7	12,6	12,4	12,1	11,7	11,4	11,3
10	11,5	11,7	11,9	12,2	12,5	12,6	12,5	12,3	12,1	11,8	11,5	11,4
8	11,6	11,7	11,9	12,2	12,4	12,5	12,4	12,3	12	11,8	11,6	11,5
6	11,7	11,8	12	12,1	12,3	12,3	12,3	12,2	12	11,9	11,7	11,7
4	11,8	11,9	12	12,1	12,2	12,2	12,2	12,1	12	11,9	11,8	11,8
2	11,9	11,9	12	12	12,1	12,1	12,1	12,1	12	12	11,9	11,9
0	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12

(*) Para latitud Sur, basta calcular el complementario de 24. Por ejemplo, en Enero, 60°:

$$N^{\circ} \text{ máximo de horas de sol} = 24 - 6,4 = 17,6$$

<http://hidrologia.usal.es/hidro.htm>

1.- Introducción
2.- Definiciones
3.- Datos
4.- Representación
5.- Conclusiones

Actividades para la elaboración del balance hídrico (Thornthwaite).
PRACTICA BALANCE HÍDRICO 1
Cálculo de la ETP según Thornthwaite.
1.- Cálculo del índice de calor mensual (i)
2.- Cálculo del Índice de calor anual (I)
3.- Cálculo del exponente empírico (a)
4.- Cálculo de la ETP sin corregir
5.- Complementar las horas de sol según latitud
6.- Complementar el total días del mes
7.- Cálculo de la ETP corregida

Actividades para la elaboración del balance hídrico (Thornthwaite).
PRACTICA BALANCE HÍDRICO 1
Cálculo de la ETP según Thornthwaite.
1.- Cálculo del índice de calor mensual (i)
2.- Cálculo del Índice de calor anual (I)
3.- Cálculo del exponente empírico (a)
4.- Cálculo de la ETP sin corregir
5.- Complementar las horas de sol según latitud
6.- Complementar el total días del mes
7.- Cálculo de la ETP corregida
8.- Cálculo de la diferencia pp - ETP corregida

s de comienzo

hídrico.

ETR

umo y recarga de

- 1.- Introducción
- 2.- Definiciones
- 3.- Datos
- 4.- Representación
- 5.- Conclusiones

9.- Para obtener la ETP (mm) (corregida), debe aplicarse la formula **9.1** , a través de la línea de comandos de la hoja de cálculo. Click derecho sobre la celda C/13 o ETP (mm) (corregida) / ENE, e introduzca la formula señalada en la línea de comandos **9.2**.

Click en enter para obtener el valor y luego arrastre esta celda a lo largo de la fila para así calcular los meses restantes.

Microsoft Excel - Plantilla_ETP

File Edit View Insert Format Tools Data Window Help

Type a question for help

10 B I U

N3 =C10*((C11*C12)/365) **9.2**

	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
1													
2													
3	Estación Burbusay												Índice calor anual (I) = 85,0
4	Período 1950- 1998		LN 9° 25'		1.631 msnm								a = 1,872899
5													
6		ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
7	Temp med (°C)	17,3	17,9	18,4	18,4	18,6	18,6	18,4	18,6	18,4	18,3	18,1	17,6
8	pp (mm)	32,0	34,0	54,0	118,0	117,0	101,0	80,0	84,0	91,0	112,0	92,0	72,0
9	Índice calor mensual (i)	6,5	6,9	7,2	7,2	7,3	7,3	7,2	7,3	7,2	7,1	7,0	6,7
10	ETP(mm)(sin corregir)	60,6	64,5	68,0	68,0	69,4	69,4	68,0	69,4	68,0	67,3	65,9	62,5
11	Horas sol	11,5	11,7	11,9	12,3	12,6	12,7	12,6	12,4	12,1	11,7	11,4	11,3
12	Total días del mes	31	28,25	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
13	ETP(mm) (corregida)												
14	pp - ETP												
15	Reserva												
16	Variación reserva												
17													

N = Total máximo de horas de sol
d = Total días del mes.
 Esc

9.1

$$ETP = ETP_{sc} \left(\frac{N * d}{365} \right)$$

1.- Introducción
2.- Definiciones
3.- Datos
4.- Representación
5.- Conclusiones

Actividades para la elaboración del balance hídrico (Thornthwaite).
PRACTICA BALANCE HÍDRICO 1
Cálculo de la ETP según Thornthwaite.
1.- Cálculo del índice de calor mensual (i)
2.- Cálculo del Índice de calor anual (I)
3.- Cálculo del exponente empírico (a)
4.- Cálculo de la ETP sin corregir
5.- Complementar las horas de sol según latitud
6.- Complementar el total días del mes
7.- Cálculo de la ETP corregida

Actividades para la elaboración del balance hídrico (Thornthwaite).
PRACTICA BALANCE HÍDRICO 1
Cálculo de la ETP según Thornthwaite.
1.- Cálculo del índice de calor mensual (i)
2.- Cálculo del Índice de calor anual (I)
3.- Cálculo del exponente empírico (a)
4.- Cálculo de la ETP sin corregir
5.- Complementar las horas de sol según latitud
6.- Complementar el total días del mes
7.- Cálculo de la ETP corregida
8.- Cálculo de la diferencia pp - ETP corregida

s de comienzo

hídrico.

ETR

umo y recarga de

1.- Introducción
2.- Definiciones
3.- Datos
4.- Representación
5.- Conclusiones

Actividades para la elaboración del balance hídrico (Thornthwaite).
PRACTICA BALANCE HÍDRICO 1
Cálculo de la ETP según Thornthwaite.
1.- Cálculo del índice de calor mensual (i)
2.- Cálculo del Índice de calor anual (I)
3.- Cálculo del exponente empírico (a)
4.- Cálculo de la ETP sin corregir
5.- Complementar las horas de sol según latitud
6.- Complementar el total días del mes
7.- Cálculo de la ETP corregida

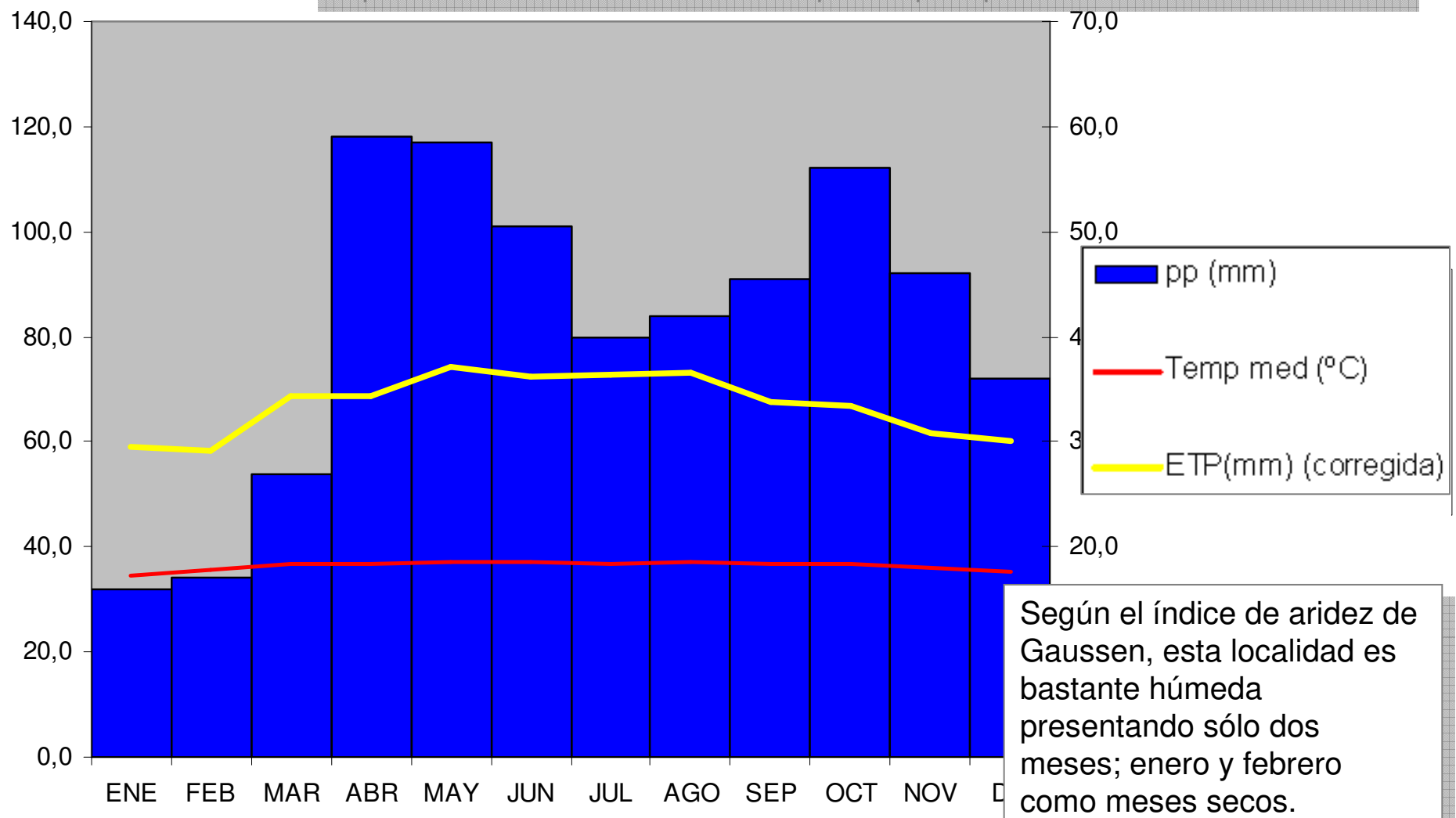
Actividades para la elaboración del balance hídrico (Thornthwaite).
PRACTICA BALANCE HÍDRICO 1
Cálculo de la ETP según Thornthwaite.
1.- Cálculo del índice de calor mensual (i)
2.- Cálculo del Índice de calor anual (I)
3.- Cálculo del exponente empírico (a)
4.- Cálculo de la ETP sin corregir
5.- Complementar las horas de sol según latitud
6.- Complementar el total días del mes
7.- Cálculo de la ETP corregida
8.- Cálculo de la diferencia pp - ETP corregida

s de comienzo
hídrico.
ETR
umo y recarga de

1.- Introducción
2.- Definiciones
3.- Datos
4.- Representación
5.- Conclusiones

12.- En el primer gráfico se puede observar la clásica representación de las precipitaciones en barras y dejando la ETP y temperaturas como lineales.

Las temperaturas tal como se plantea en la practica 1 de este curso, se representan al doble de la escala que las precipitaciones.

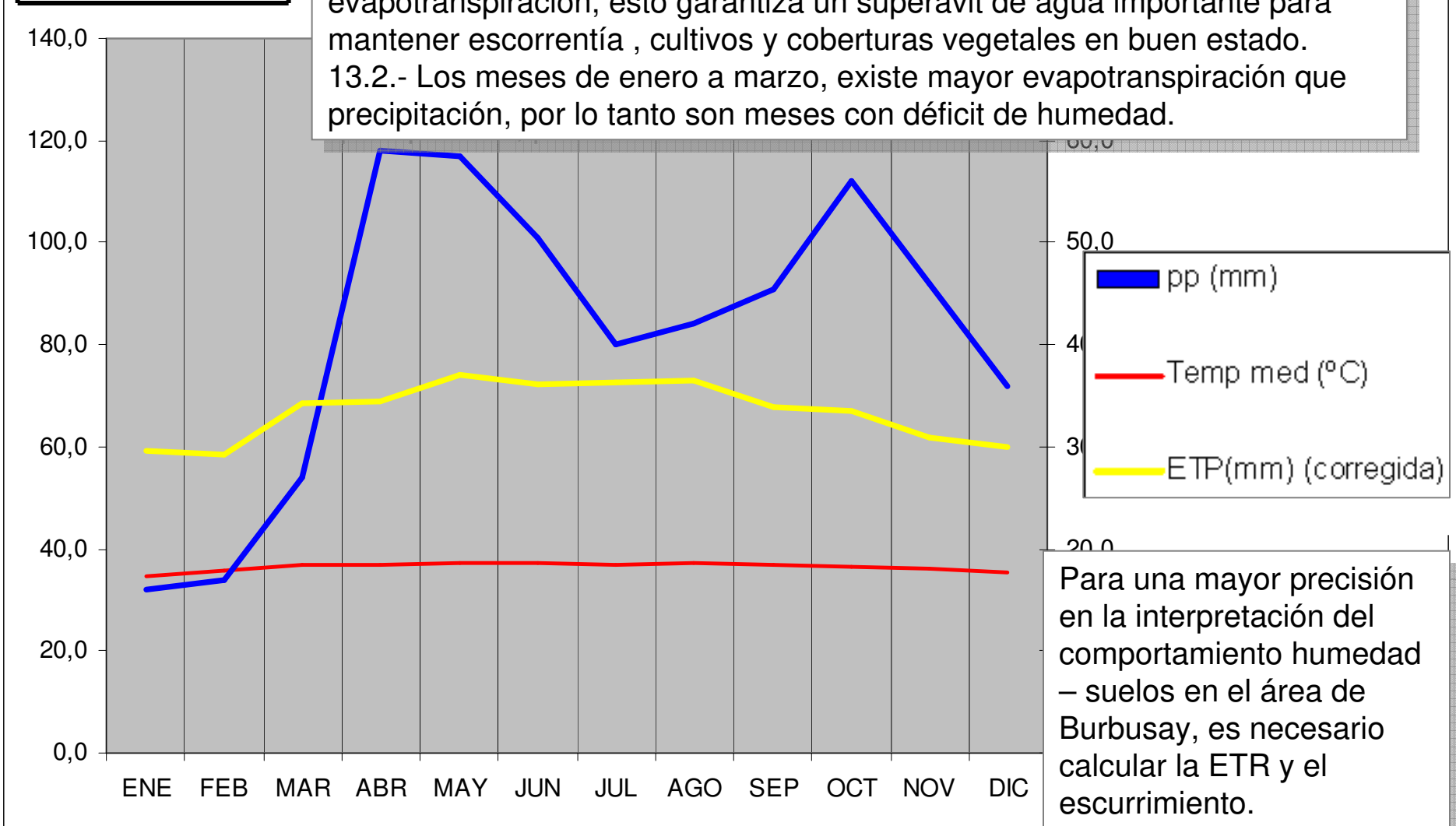


Según el índice de aridez de Gausson, esta localidad es bastante húmeda presentando sólo dos meses; enero y febrero como meses secos.

1.- Introducción
2.- Definiciones
3.- Datos
4.- Representación
5.- Conclusiones

13.- En el segundo gráfico o de curvas se puede observar la distribución de las precipitaciones y su relación con la evapotranspiración.

En una primera aproximación a su interpretación, podemos señalar:
 13.1.- Los meses de abril a diciembre registran una precipitación mayor a la evapotranspiración, esto garantiza un superávit de agua importante para mantener escorrentía, cultivos y coberturas vegetales en buen estado.
 13.2.- Los meses de enero a marzo, existe mayor evapotranspiración que precipitación, por lo tanto son meses con déficit de humedad.



Para una mayor precisión en la interpretación del comportamiento humedad – suelos en el área de Burbusay, es necesario calcular la ETR y el escurrimiento.

Bibliografía

Allen, R.G.; L. S. Pereira; D. Raes y Smith, M. (1998).- *Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements* - FAO Irrigation and drainage paper 56
Disponible en Internet en español : <ftp://ftp.fao.org/agl/aglw/docs/idp56s.pdf>

<http://onlinehydro.sdsu.edu/onlinethornthwaite.php>

<http://hidrologia.usal.es/hidro.htm>

Realice el calculo de la ETP, con los datos aportados por la plantilla estación Trujillo Liceo.

