

SOBRE ALGUNOS PROCEDIMIENTOS QUE
SIMPLIFICAN LA UTILIZACION DE LA FORMULA DE PENMAN

R.M. Quintela y O.E. Scarpati

Centro de Investigaciones Biometeorológicas

H. Conti y R. Moschini

Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria

RESUMEN

En esta comunicación se trata de obtener nuevas mejoras en la aplicación de la fórmula de Penman, entendiéndose que es uno de los mejores estimadores de la evapotranspiración potencial, en opinión de la mayoría de los investigadores en la materia, por lo menos en determinadas condiciones climáticas. La objeción más frecuente para su utilización es que resulta complicada, por la cantidad de parámetros que requiere su formulación.

Para lograr esa simplificación se parte de dos premisas: a) la muy buena correlación que se obtiene entre las mediciones del atmómetro Piche y el término aerodinámico de la fórmula y b) la ayuda que proporcionan nomogramas y ecuaciones que permiten obviar la medición directa de la radiación global. Se procesaron datos diarios de Piche y de otras variables meteorológicas de rutina, de las estaciones Castelar, Las Breñas, Cerro Azul y San Juan, habiéndose obtenido resultados positivos, con errores mínimos.

ABSTRACT

The objective of this paper is to obtain new improvements on the application of Penman's formula. Most scientifics involved in potential evapotranspiration studies consider that Penman's formula is one of the best estimators almost in certain climatic conditions. The objection, frequently, is its complications because the amount of necessary parameters.

For obtain that simplification we part of two premises: a) the very good correlation between Piche evapotranspirometer and the aerodynamic term of Penman's formula and b) nomograms and equations that provid help making not necessary the global radiation meditation.

Daily values of Piche and other meteorological rutine variates were proceeding of Castelar, Las Breñas, Cerro Azul and San Juan stations, obtaining positive results with minimum errors.

1. INTRODUCCION

La fórmula de Penman (1948) es la más ampliamente difundida en el mundo occidental para el cálculo de la evapotranspiración potencial. A través de los años, numerosos autores han introducido modificaciones en la misma pa-

ra lograr un uso más racional y eficiente (Frere (1972) Doorenbos y Pruitt (1977), Monteith (1981), etc.). En la Argentina, Quintela (1970,1979,1982) Damarío y Cattáneo (1982), Sierra y Pórfido (1978), Niemann y Da Porta (1980) entre otros, se han ocupado del tema. En general, puede afirmarse que existe consenso en admitir que su aplicación es conveniente en zonas húmedas y sub-húmedas y que el inconveniente mayor que presenta es su complejidad.

El objetivo de esta comunicación es, precisamente, presentar un método gráfico que permita su cálculo en forma expeditiva, disponiendo solamente de variables meteorológicas obtenidas del abrigo y del atmómetro Piche.

La fórmula de Perman está constituida por dos términos, comunmente designados como radiactivo uno y advectivo, el otro:

$$E_P = E_R + E_A$$

$$E_R = f (R_g, t, t', \frac{h}{H})$$

$$E_A = f (e_a, e_d, U)$$

donde:

R_g = radiación global.

t = temperatura del termómetro seco.

t' = temperatura del termómetro húmedo.

$\frac{h}{H}$ = heliofanía relativa.

e_a = tensión de vapor actual.

e_d = tensión de vapor a la temperatura de saturación.

U = velocidad del viento a 2 m de altura.

En algunas fórmulas de Perman se reemplaza R_g por I_{gA} (radiación en el límite de la atmósfera) valor que se obtiene de tablas. También es necesario conocer la $F'(t) = A$, que es la pendiente de la curva de vapor de saturación a la temperatura t .

Cabe señalar que, en general, para determinaciones diarias o aún semanales, la aplicación de cualquier ecuación semiempírica, como la de Perman u otras (Blaney - Criddle, Blaney-Morin, Thornthwaite, Christiansen, etc) introduce errores importantes. Es por tal motivo que en este trabajo se ha establecido como umbral mínimo temporal la década y luego el mes, en la convicción, comprobada "a posteriori", que los errores que se puedan cometer en esos períodos con el método expeditivo, son del mismo orden de magnitud que los que se incurren en el déficit de la tensión de vapor calculado con una temperatura media, o la humedad media, u otras variables. (Stanhill, 1962).

2. METODOLOGIA

Tal como se ha mencionado, la metodología se orientó a calcular por estimaciones gráficas, separadamente, los dos términos de la fórmula de Perman.

Para tener una evidencia más completa de la efectividad del método elegido se seleccionaron 4 estaciones del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), representativas (aproximadamente) de zonas climáticas diferentes: Cerro Azul (Misiones), Castelar (Buenos Aires), Las Breñas (Chaco) y San Juan (San Juan), a las cuales, de acuerdo con el criterio de Thornthwaite, les corresponde un Índice Hídrico (I.H.) igual a 60 (muy húmedo); 20 (húmedo); -5 (subhúmedo seco) y -30 (árido), respectivamente.

En consecuencia, el punto 2.1 se refiere al cálculo del término advectivo y el 2.2 al término radiactivo.

2.1 Término advectivo (TA)

En base a trabajos de Stanhill (1962), Brochet y Gerbier (1977) y otros, se efectuó un análisis de correlación simple, decádico y mensual, entre los valores de evaporímetro Piche y el término advectivo de Perman, calculada en la forma clásica. Utilizando soporte computacional del CIBIOM y del INTA se procesaron 5 años de información diaria correspondiente al período 1968-72 para Castelar y 1970-74 para el resto de las estaciones. Los datos básicos fueron proporcionados por el Area de Agrometeorología del INTA (Castelar), adecuadamente validados. Para el procesamiento se utilizó el programa SAS, que incluyó un análisis de varianza.

Es oportuno recordar que en decenios pasados, el evaporímetro Piche fue usado como medidor de la evaporación en redes de distintos países (Brasil, por ejemplo), comprobándose en numerosos casos que sus resultados no eran aceptables y en casos de compatibilización de redes (por ejemplo en los mapas de la OEA para el estudio hidrometeorológico de la cuenca del Plata) fue muy difícil armonizar los datos del tanque A (Argentina y Uruguay) y el Piche (Brasil). Muchos otros ejemplos podrían mencionarse en igual sentido, de tal modo que a partir del decenio de 1950 el Piche fue conservado en redes, para comparaciones de poder evaporativo del aire, solamente evaluables entre sí.

En este trabajo se adoptó como valor aceptable del coeficiente de correlación 0,8; con la reserva conocida que no es una condición suficiente, porque sólo mide el grado de aproximación entre dos series, que pueden no ser representativas del fenómeno que se quiere evaluar. En el caso estudiado, se puede dar como buen estimador del déficit de saturación al término advectivo de Perman y, por ende, válida la hipótesis formulada. Además se reforzó el aserto con los estadísticos primarios, como puede verse en el punto 3.

El aspecto escala, dado por el grado de dispersión de todos los

datos considerados, puede considerarse como medianamente satisfactorio, calificativo que le cabe a la fórmula de Perman en su totalidad.

También se consideró aceptable la hipótesis de la regresión lineal, ya que en todos los casos el intervalo de confianza para el término b en dichas regresiones, fue estimado utilizando la hipótesis $H_0: b = 0$. Luego, evaluando por el método de Student, dió valores para t que en todos los casos superaron los valores críticos. Por lo tanto la hipótesis $b = 0$ pudo ser rechazada.

El t crítico se estimó con 50 pares de valores para las regresiones decádicas, 150 pares aproximadamente para las mensuales y $(n - 2)$ grados de libertad.

2.2. Término radiactivo (TR)

Se encaró el trabajo desde dos puntos de vista: a) la utilización del monograma de Purvis modificado (Quintela, et al, 1970), nuevamente adaptado para este trabajo y b) el estudio, mediante análisis estadístico, de la correlación entre la radiación global y el término radiactivo ($R_g - TR$).

Asimismo, se calibraron los resultados obtenidos aplicando la fórmula de Perman con los coeficientes $a = 0,25$ y $b = 0,52$, obtenidos en Castellar mediante datos de un solarímetro fotovoltaico a placa de silicio, instalado por la CNIE (Comisión Nacional de Investigaciones Espaciales).

Se calcularon los errores standard medios, los que oscilaron entre un 55 y un 80% de varianza.

Cabe señalar que cuando se habla de valores decádicos, estos corresponden a los mismos 10 días de 5 años consecutivos.

3. RESULTADOS

3.1 Correlación Piche - TA

El primer intento de exploración se efectuó con valores mensuales para Castellar, efectuándose un análisis primario mensual (Fig.1.a) que dió resultados muy promisorios. En función de los mismos, se siguió aplicando el mismo criterio para las estaciones restantes; de tal modo se obtuvieron los gráficos siguientes:

Figura 1.b. Las Breñas (decádico)

Figura 1.c. San Juan (decádico)

Figura 2.a. Castellar. Segunda década de enero

Figura 2.b. Castellar. Segunda década de julio

Figura 2.c. Cerro Azul. Tercera década de enero

Figura 2.d. Cerro Azul. Tercera década de julio

Figura 2.e. Las Breñas. Primera década de enero

Figura 2.f. Las Breñas. Tercera década de julio

Pueden observarse los buenos resultados obtenidos para Castelar (todos los $r > 0,83$) y Cerro Azul ($r > 0,80$); para las Breñas (sobre 36 grupos de valores decádicos, sólo 7 $< 0,80$) y para San Juan (sobre 36 grupos de valores decádicos, 15 fueron menores de 0,80 y sólo uno alcanzó a 0,54). En el caso de las Breñas, estación ubicada en el límite de la aplicación de la fórmula de Perman, los estadísticos covarianza, desviación standard y coeficiente de variación dan resultados aceptables. Para San Juan los resultados no son tan buenos, por el hecho previsible (observado por muchos autores) de que los términos de Perman no son aptos para aplicar en zonas áridas (Quintela 1981, Sierra y Pórfido, 1978).

3.2 Correlación $R_g - TR$

Se efectuó un cálculo análogo al anterior para las dos estaciones más comprometidas: San Juan y Las Breñas. En ambas se observa un comportamiento muy deficiente de la correlación desde abril hasta setiembre. Un ensayo efectuado para Castelar demuestra un comportamiento similar, aunque atenuado (Figuras 3.a. y 3.b.)

3.3 Diagrama de Purvis, modificado

Se modificó el diagrama de Purvis (1961), (Figuras 4.a. y 4.b.), para poder ingresar en él con la temperatura de bulbo húmedo (que es la que mide el observador) y en dos ejemplos tomados al azar, el día 15 de enero de 1972, se obtuvieron los resultados siguientes; combinando ambos términos.

<u>Castelar</u>	<u>TR</u>	<u>TA</u>	
Perman (I_{ga})	4,36	+ 1,46	= 5,78 mm día ⁻¹
Perman - Frere			= 6,40 "
Piche y Purvis	4,70	+ 1,70	= 6,40 "
<u>Las Breñas</u>			
Perman (I_{ga})	4,76	+ 2,10	= 6,86 "
Perman - Frere			= 6,30 "
Piche y Purvis	4,90	+ 2,00	= 6,90 "

Se trata de un día en el que las condiciones meteorológicas fueron térmicamente similares en ambas estaciones, con mayor heliofanía en Las Breñas, pero mayor déficit de humedad, lo que justifica los más altos valores del Piche.

Cabe señalar que en la Figura 4.a. (monograma) I_{ga} es la radiación en el límite superior de la atmósfera (langleys).

4. CONCLUSIONES

4.1 Se aprecia que los resultados obtenidos evidencian que la factibilidad del método gráfico aquí presentado es aceptable, como una primera eva-

luación, especialmente para un observador que sólo posee datos del abrigo y del Piche

4.2 Se considera que el reemplazo del término radiactivo por la radiación global es solo factible en la estación estival y aún así se debe ser cauteloso en el procedimiento.

4.3 Cabe señalar que no se ha hecho aplicación del método en zonas de vientos intensos, en los cuales los resultados pueden no ser satisfactorios.

AGRADECIMIENTO

Se agradece al Ing. Rafael Rodríguez del INTA, su valioso aporte en la programación y procesamiento de la información.

BIBLIOGRAFIA

- 1.- Brochet P. et Gerbier N. (1977). Un méthode operationnelle pratique de calcul de l'evapotranspiration potentielle. La meteorologie. VI Serie (II).
- 2.- Damarío E.A. y Cattáneo C.L. (1982). Estimación climática de la evapotranspiración potencial en la Argentina según el método de Perman (1948). Revista de la Facultad de Agronomía 3 (3): 271-292, Buenos Aires.
- 3.- Doorembos J. and Pruitt W.O. (1977). Crop water requeriments. FAO. Irrigation and drainage paper N°24, 124 p., Roma.
- 4.- Frere M. (1972). A method for the practical application of the Perman formula for the estimation of potential evapotranspiration and evaporation from free water surfaces. FAO - AGP - AS/1972/2, Roma.
- 5.- Monteith J. (1981). Evaporation and surface temperature. Quart J.R. Met. Soc. 107 N°451.p. 1-27.
- 6.- Niemann E.J. - Da Porta (1981) - Actual and potential evapotranspiration. Its influence on the water balance of "La Suela" representative basin. Preliminary results of a measurement campaign to determine the energy balance. CIHRSA, 20 p., Carlos Paz, Córdoba.
- 7.- Perman, H.L. (1948). Natural evaporation from open water, bare soil and grass. Proc. Roy Soc. A 193: 120-146, London.
- 8.- Purvis J. C. (1961) Graphical solution of the Perman equation for potential evapotranspiration. Monthly Weather. Review.
- 9.- Quintela, R.M., Medina L. y Plaza L. (1970). Contribución al conocimiento del régimen de evaporación de la República Argentina, S.M.N. Publ. Serie 6 N°8, 24 p., Buenos Aires.
- 10.- Quintela, R.M. (1977). La evaporación en zonas áridas en la República Argentina. S.M.N. Publ. Serie B. N°17, 35 p., Buenos Aires.
- 11.- Quintela, R.M. (1982). Informe sobre evaporación en grandes cuerpos de agua. Revista de Geofísica I.P.G.H. N°16. México.

- 12.- Sierra, E. y Pórfido O. (1978). Evaluación comparativa de diversas fórmulas de evapotranspiración potencial en la región pampeana. *Meteorológica* 8/9: 99 - 107, Buenos Aires.
- 13.- Stanhill G. (1962). The use of the Piche evaporimeter in the calculation of evaporation. *Quart J.R. M. Soc.* (88).
- 14.- Thornthwaite C.W. (1948) An approach toward a rational classification of climate. *The Geographical Review* XXXVIII (1): 55-94.

EPIGRAFES DE LAS FIGURAS

Figura 1: Correlación Evaporímetro Piche - Término Advectivo (Perman)

- 1.a. Castelar (1968-72). Mensual
- 1.b. Las Breñas (1970-74). Decádico
- 1.c. San Juan (1970-74). Decádico.

Figura 2: Relación Evaporímetro Piche - Término Advectivo (Perman)

- 2.a. Castelar
- 2.b. Castelar
- 2.c. Cerro Azul
- 2.d. Cerro Azul
- 2.e. Las Breñas
- 2.f. Las Breñas

Figura 3: Correlación Radiación global - Término Radiactivo (Perman)

- 3.a. San Juan
- 3.b. Las Breñas

Figura 4: Diagrama de Purvis modificado

- 4.a.
- 4.b.

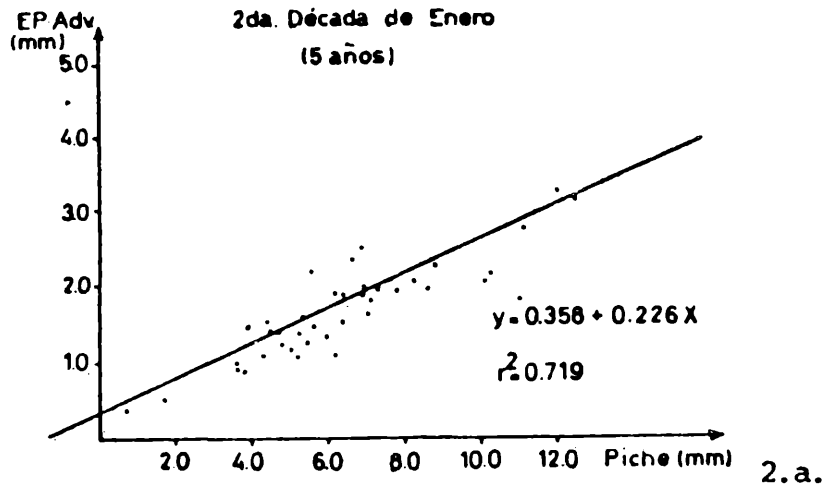
	a	b	r	S_{YX}
DICIEMBRE	0.2090	0.2522	0.9279	0.2780
ENERO	0.3580	0.2279	0.8357	0.3816
FEBRERO	0.3237	0.2311	0.8760	0.3001
VERANO	0.2900	0.2388	0.8860	0.3248
MARZO	0.2426	0.2353	0.8306	0.2630
ABRIL	0.3039	0.2058	0.8366	0.1673
MAYO	0.2569	0.1842	0.8492	0.2070
OTOÑO	0.2365	0.2211	0.8550	0.2295
JUNIO	0.0696	0.2744	0.8891	0.1689
JULIO	0.1005	0.2514	0.8581	0.1875
AGOSTO	0.1101	0.2610	0.8718	0.1879
INVIERNO	0.0896	0.2634	0.8802	0.1826
SEPTIEMBRE	0.1598	0.2610	0.9061	0.2103
OCTUBRE	0.0491	0.2964	0.8618	0.3234
NOVIEMBRE	0.2896	0.2304	0.8315	0.2758
PRIMAVERA	0.1599	0.2615	0.8685	0.2794
AÑO	0.1508	0.2552	0.9140	0.2645

MES DEC	r ²	r	r̄	MENSUALES			
				MES	r ²	r	r̄
01-1	0.89	0.94	0.86				
01-2	0.86	0.93		enero	0.87	0.93	0.87
01-3	0.84	0.92	—				
02-1	0.77	0.88	S _r				—
02-2	0.91	0.95		febrero	0.83	0.91	S _r
02-3	0.84	0.92	0.08				
03-1	0.89	0.94					0.08
03-2	0.51	0.71		marzo	0.84	0.92	
03-3	0.87	0.93					
04-1	0.60	0.77					
04-2	0.62	0.79		abril	0.77	0.88	
04-3	0.91	0.95					
05-1	0.69	0.83					
05-2	0.49	0.70		mayo	0.61	0.78	
05-3	0.68	0.82					
06-1	0.71	0.84					
06-2	0.65	0.81		junio	0.77	0.88	
06-3	0.81	0.90					
07-1	0.90	0.95					
07-2	0.85	0.92		julio	0.85	0.92	
07-3	0.84	0.92					
08-1	0.61	0.78					
08-2	0.83	0.91		agosto	0.78	0.88	
08-3	0.73	0.85					
09-1	0.77	0.88					
09-2	0.85	0.92		septiem.	0.82	0.91	
09-3	0.83	0.91					
10-1	-	-					
10-2	0.45	0.67		octubre	0.42	0.65	
10-3	0.48	0.69					
11-1	0.65	0.81					
11-2	0.79	0.89		noviemb.	0.73	0.85	
11-3	0.73	0.85					
12-1	0.81	0.90					
12-2	0.83	0.91		diciemb.	0.81	0.90	
12-3	0.80	0.89					

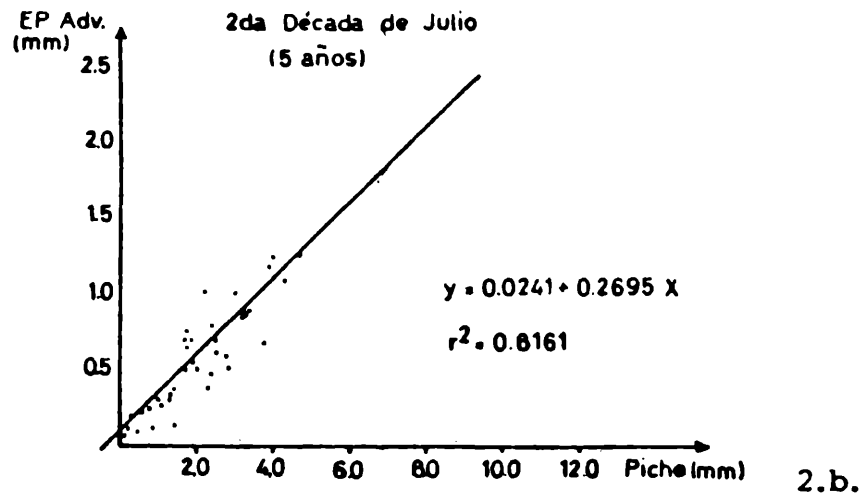
MES DEC	POR DECADAS			MENSUALES		
	r^2	r	S_r	r^2	MES	r
01-1	0.72	0.85	0.08	0.68	enero	0.80
01-2	0.62	0.79	\bar{r} 0.81			
01-3	0.74	0.86				
02-1	0.65	0.81		0.69	febrero	0.83
02-2	0.67	0.82				
02-3	0.75	0.87				
03-1	0.77	0.88	0.60	marzo	0.77	
03-2	0.59	0.76				
03-3	0.51	0.71				
04-1	0.48	0.69	0.60	abril	0.77	
04-2	0.83	0.91				
04-3	0.46	0.68				
05-1	0.61	0.78	0.79	mayo	0.89	
05-2	0.90	0.95				
05-3	0.88	0.94				
06-1	0.83	0.91	0.74	junio	0.86	
06-2	0.77	0.88				
06-3	0.62	0.79				
07-1	0.53	0.72	0.57	julio	0.75	
07-2	0.53	0.72				
07-3	0.62	0.79				
08-1	0.34	0.58	0.51	agosto	0.71	
08-2	0.60	0.77				
08-3	0.57	0.75				
09-1	0.75	0.87	0.70	sept.	0.83	
09-2	0.59	0.77				
09-3	0.80	0.89				
10-1	0.69	0.83	0.67	octub.	0.81	
10-2	0.67	0.82				
10-3	0.67	0.82				
11-1	0.59	0.77	0.70	noviem.	0.83	
11-2	0.76	0.87				
11-3	0.72	0.85				
12-1	0.80	0.89	0.63	diciem.	0.79	
12-2	0.68	0.82				
12-3	0.48	0.69				

Todos los valores
 $r^2 = 0.77$
 $r = 0.88$
 $n = 1826$

CASTELAR



CASTELAR



CERRO AZUL

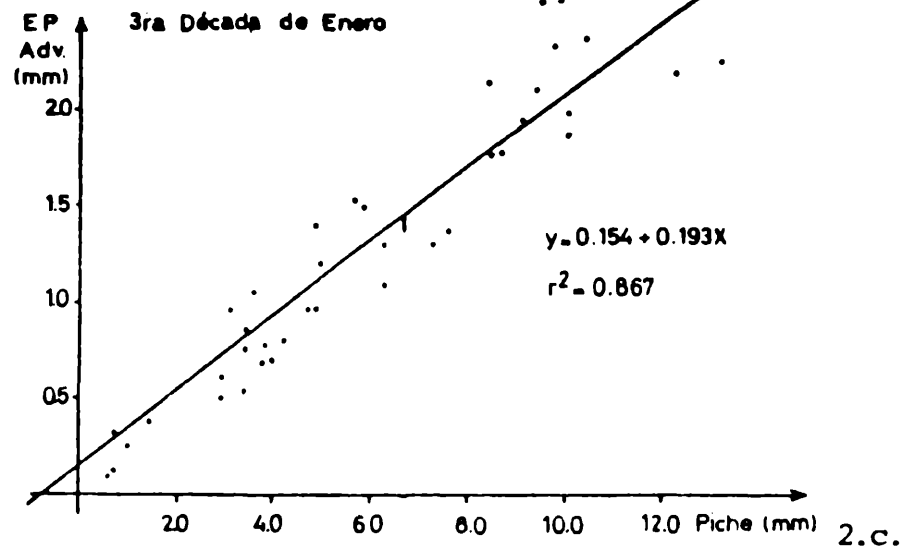
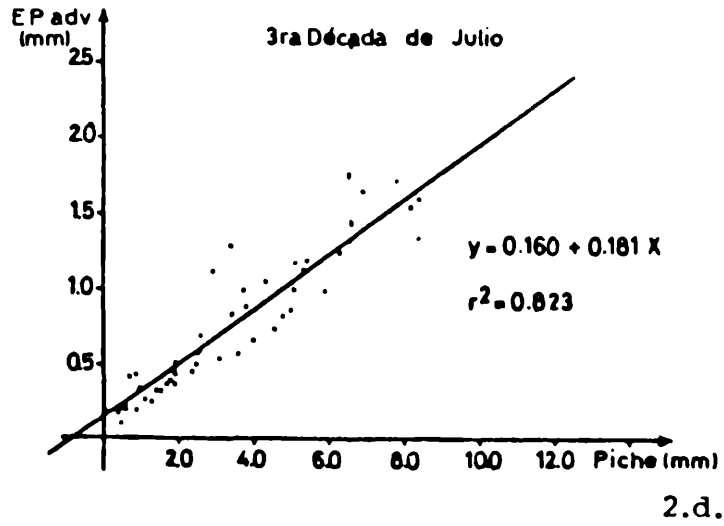


Fig. 2: Relación Evaporímetro Piche - Término Advectivo (Penman)

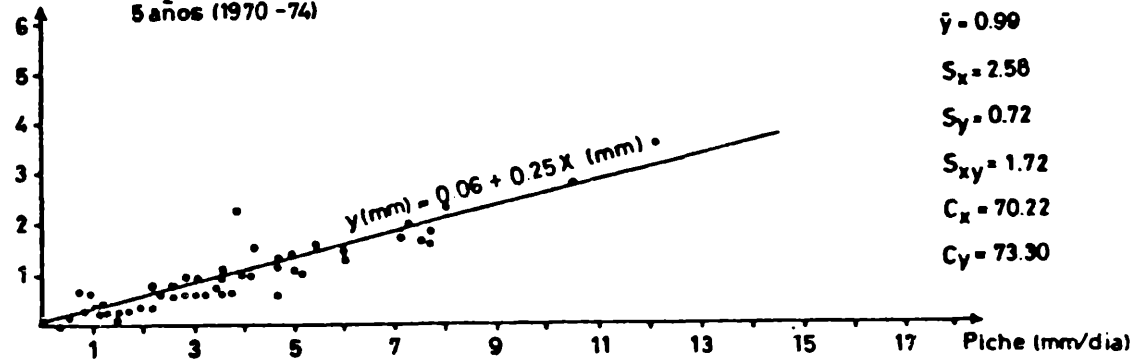
CERRO AZUL



LAS BREÑAS

Correlacion Piche - T.A. Penman

T.A. Penman (mm/día)
3ra década julio
5 años (1970 -74)



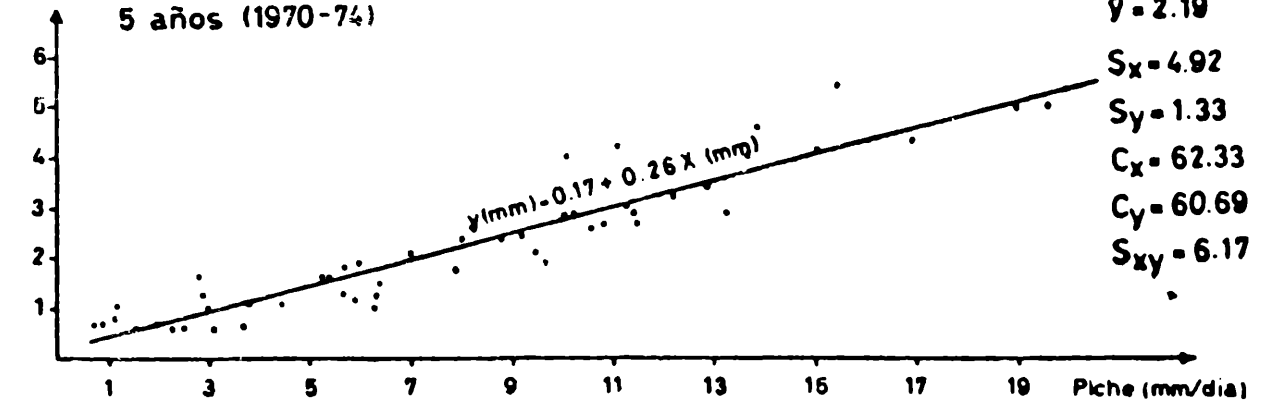
$r^2 = 0.84$
 $\bar{x} = 3.68$
 $\bar{y} = 0.99$
 $S_x = 2.58$
 $S_y = 0.72$
 $S_{xy} = 1.72$
 $C_x = 70.22$
 $C_y = 73.90$

LAS BREÑAS

Correlacion Piche-T.A.

1ra década enero

5 años (1970-74)



$r^2 = 0.90$
 $\bar{x} = 7.89$
 $\bar{y} = 2.19$
 $S_x = 4.92$
 $S_y = 1.33$
 $C_x = 62.33$
 $C_y = 60.69$
 $S_{xy} = 6.17$

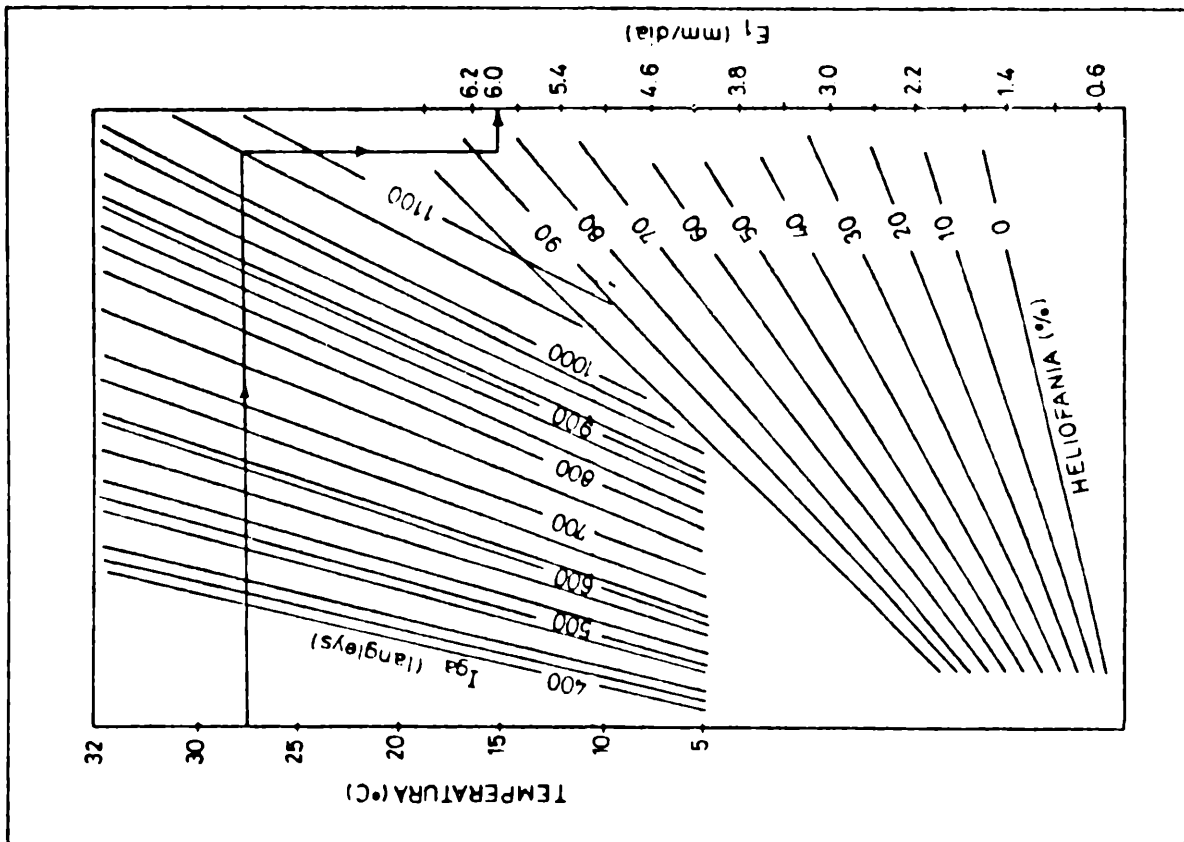
Fig. 2: Relación Evaporímetro Piche - Término Advectivo (Perman)

POR DECADAS				MENSUALES		
MES DEC	r^2	r	\bar{r}	r^2	MES	\bar{r}
01-1	0.83	0.91				
01-2	0.71	0.84	0.66	0.74	enero	0.86
01-3	0.57	0.75				
02-1	0.62	0.79	S_r			
02-2	0.81	0.90		0.78	febrero	0.88
02-3	0.82	0.91	0.25			
03-1	0.79	0.89				
03-2	0.64	0.80		0.65	marzo	0.81
03-3	0.79	0.89				
04-1	0.62	0.79				
04-2	0.39	0.62		0.54	abril	0.73
04-3	0.34	0.58				
05-1	0.17	0.41				
05-2	0.23	0.48		0.14	mayo	0.37
05-3	-	-				
06-1	0.05	0.22				
06-2	0.31	0.56		0.19	junio	0.44
06-3	0.64	0.80				
07-1	0.29	0.54				
07-2	0.23	0.48		-	julio	-
07-3	0.11	0.33				
08-1	0.07	0.26				
08-2	0.15	0.39		0.27	agosto	0.52
08-3	0.01	0.10				
09-1	0.26	0.51				
09-2	0.82	0.91		0.61	septiembre	0.78
09-3	0.77	0.88				
10-1	0.52	0.72				
10-2	0.63	0.79		0.61	octubre	0.78
10-3	0.73	0.85				
11-1	0.75	0.87				
11-2	0.75	0.87		0.74	noviembre	0.86
11-3	0.65	0.81				
12-1	0.75	0.87				
12-2	0.55	0.74		0.57	diciembre	0.75
12-3	0.32	0.57				

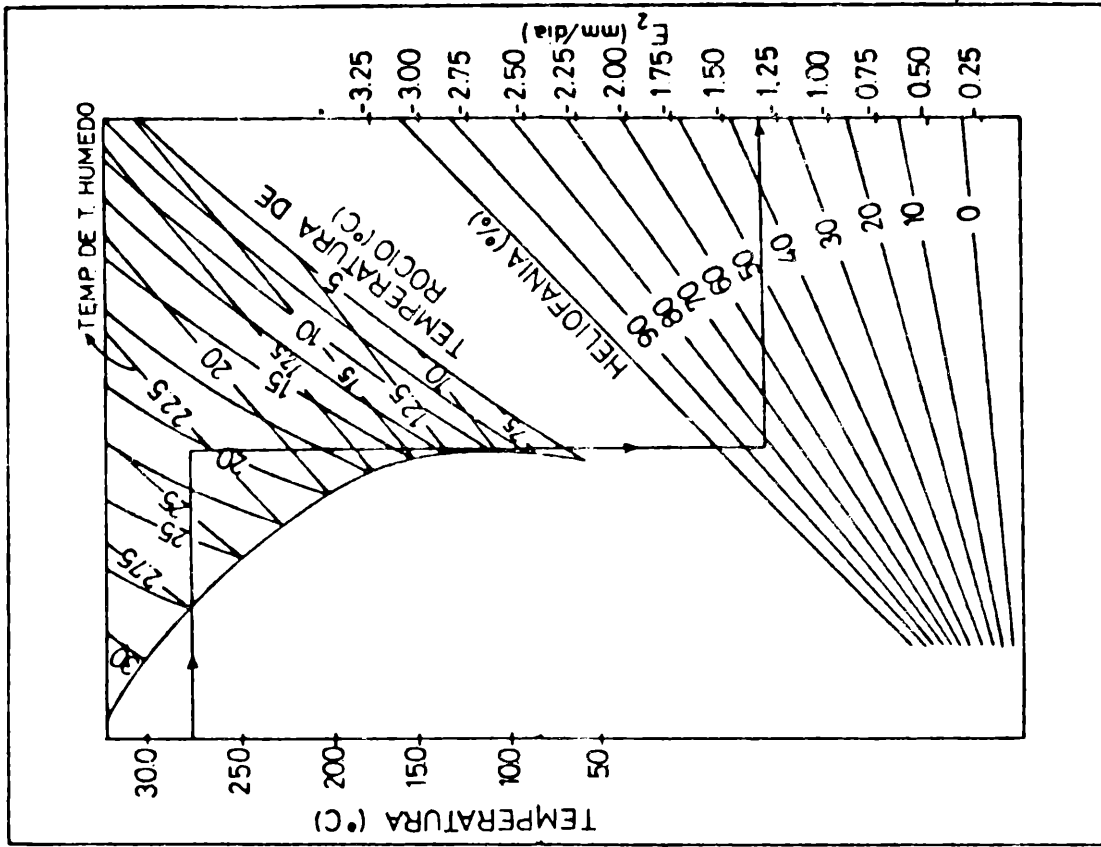
$\bar{r} = 0.71$ $S_r = 0.18$

POR DECADAS				MENSUALES			
MES DEC	r^2	r	\bar{r}_{17}	r^2	MES	r	\bar{r}_6
01-1	0.85	0.92	0.93	0.88	enero	0.94	0.91
01-2	0.85	0.92	$S_{r_{17}}$				
01-3	0.92	0.96					
02-1	0.85	0.92		0.88	febr.	0.94	S_{r_6}
02-2	0.94	0.97					
02-3	0.86	0.93	0.04				
03-1	0.90	0.95	0.91	marzo	0.95	0.94	
03-2	0.90	0.95					
03-3	0.98	0.99					
04-1	0.88	0.94	0.69	abril	0.83		
04-2	0.75	0.87					
04-3	0.58						
05-1	0.44		0.42	mayo			
05-2	0.48						
05-3	0.32						
06-1	0.20		0.69	junio			
06-2	0.69						
06-3	0.10						
07-1	0.05		0.40	julio			
07-2	0.47						
07-3	0.57						
08-1	0.46		0.52	agost.			
08-2	0.50						
08-3	0.56						
09-1	0.36		0.64	sept.			
09-2	0.83						
09-3	0.82						
10-1	0.66		0.68	oct.			
10-2	0.65						
10-3	0.83						
11-1	0.72	0.85	0.82	noviem.	0.91		
11-2	0.93	0.96					
11-3	0.76	0.87					
12-1	0.84	0.92	0.85	diciem.	0.92		
12-2	0.91	0.95					
12-3	0.88	0.94					

3.b.



4.a.



4.b.

Fig. 4: Diagrama de Purvis modificado

