

**ADAPTACION DE LA FORMULA DE EVAPORACION DE TURC
A LOS DIFERENTES TIPOS CLIMATICOS DE LA
COSTA DESERTICA PERUANA**



ADAPTACION DE LA FORMULA DE EVAPORACION DE TURC A LOS DIFERENTES

TIPOS CLIMATICOS DE LA COSTA DESERTICA PERUANA (*)

POR : J. PINNA C. (**)

INTRODUCCION

La costa peruana, a partir de los grados 5 y 6 de latitud sur se caracteriza por un clima árido, pero con variantes según la latitud.

En el centro, entre Trujillo y el Puerto de Chala, la temperatura es relativamente baja con medias oscilantes entre 15 y 25°C, la humedad relativa media es elevada, la saturación es frecuentemente alcanzada en la tarde y la mañana.

Hacia el norte, a partir de Chiclayo, el desierto es más caliente, las brumas son raras o no duran, los aguaceros durante el invierno pueden caer al pie de los Andes. En el sur el desierto se encuentra muy elevado, el clima es más caliente y árido, la humedad es muy débil y está comprendida entre 70 y 30 % con los valores medios alrededor de 55 %; la temperatura es elevada con fuertes variaciones entre el día y la noche.

En esta zona del Perú, la agricultura se desarrolla exclusivamente por irrigación, de donde la importancia de conocer la evapotranspiración potencial (ETp) con una cierta exactitud.

La fórmula de TURC ha sido estudiada por diferentes autores comparándola con otras fórmulas y de las medidas directas de evapotranspiración, dando buenos resultados para Bélgica (Benz, 1963), Madagascar (Riquier, 1983) y en otras regiones del globo descritas por numerosos autores.

En el Perú, Pizarro y Valverde (1969) llegaron a las mismas conclusiones.

FORMULA DE TURC

La formula de TURC se expresa como sigue :

$$ETp \text{ mm/mes} = 0,40 \frac{t}{t + 15} (Rg + 50)$$

(0,37 para el mes de febrero)

donde :

ETp = evapotranspiración potencial

t = temperatura media del mes en °C.

Rg = radiación solar global media diaria, durante el período considerado en cal/cm² por día.

Cuando la humedad relativa es inferior al 50 % se escribe :

$$ETp \text{ mm/mes} = 0,40 \frac{t}{t + 15} (Rg + 50) \left(1 + \frac{50 - \text{humedad relativa}}{70} \right)$$

Se puede estimar Rg según la fórmula de ANGSTROM (1924) :

$$Q = Rg = Q_A (a + b n/N)$$

donde :

Q_A = radiación solar global en el límite de la atmósfera para la latitud considerada.

n = duración de insolación en horas.

N = duración astronómica del día (en horas) según la latitud y la época del año.

Los investigadores han tratado de determinar los coeficientes a y b para diferentes condiciones climáticas estableciendo las rectas de regresión.

$$Q/Q_A = a + b n/N$$

3/2013

D: Sra. Olga Stambuk Vda. de Cáceres (17a 2012)

Así Black y Collab (1954) han encontrado los valores de 0,23 y 0,48; ANGSTROM (1924) : 0,25 y 0,75; NICOLET y DOGNIAUX (1951) : 0,31 para el coeficiente "a" de la fórmula; PENMAN : 0,20 y 0,48; TURC: 0,18 y 0,62; el último señala para los Estados Unidos otros valores que difieren sensiblemente los precedentes.

Nuestro fin será de encontrar las rectas de regresión para las 3 regiones climáticas de la costa árida peruana.

MATERIAL Y METODOS

Nosotros hemos trabajado sobre los datos climáticos de los años - 1965, 1966 y 1967 de las estaciones meteorológicas siguientes, representativas de las 3 regiones climáticas de la costa árida :

lat.	: 06° 42'	Dep.	Lambayeque
long.	: 79° 55'	Prov.	Lambayeque
alt.	: 18 m	Distr.	Lambayeque

CENTRO : LA MOLINA CAP Nº 601

lat.	: 12° 05'	Dep.	Lima
long.	: 76° 57'	Prov.	Lima
alt.	: 251 m	Distr.	La Molina

SUR : MOQUEGUA CAP Nº 806

lat.	: 17° 12'	Dep.	Moquegua
long.	: 70° 56'	Prov.	Mariscal Nieto
alt.	: 1420 m.	Distr.	Moquegua

Los valores de Q_A y N, han sido calculados por interpolación a partir de tablas reproducidas por TURC (1961).

Con los valores de R_g , nosotros hemos aplicado la fórmula de ET_p de TURC para compararla con los valores de medidas de evaporación Piché.

A título de comparación nosotros hemos aplicado para una estación del sur del Perú que no produce los valores de R_g , la fórmula de TURC con los valores originales de este autor para la recta de regresión y éstas encontradas por nosotros mismos para la región.

La última estación es la de la Pampa de Majes para la cual nosotros hemos trabajado sobre los datos de 1965 y que posee las características siguientes :

PAMPA DE MAJES :

lat.	: 16° 21'	Dep.	Arequipa
long.	: 72° 10'	Prov.	Arequipa
Alt.	: 1440 m.	Distr.	Siguas

La radiación solar es registrada por los actinógrafos tipo - Robitzsch, la insolación por los heliógrafos Campbell-Stokes y la evaporación por los evaporímetros Piché en la excepción de la última estación para la cual nosotros no conocemos el aparato utilizado. La temperatura es la media de las tres observaciones en 7.00, 13.00 y 19.00 horas.

RESULTADOS Y DISCUSION

En la figura 1 se indica las ecuaciones de las Regresiones encontradas para cada una de las estaciones meteorológicas y para las tres en conjunto (costa árida). Se puede remarcar que los coeficientes de correlación (r) a excepción de Lambayeque, producen buenos resultados, esto puede ser debido a la dispersión causada por el año 1967 que fue más húmedo que los otros dos, con una lluvia bastante considerable para la región (10,4 mm) en el mes de enero. Se encuentra entonces en esta año, una radiación global más débil que en los demás; aunque la insolación relativa sea aproximadamente la misma; esto es debido a la mayor humedad atmosférica.

Para la estación representativa al centro (La Molina) el coeficiente de correlación (r) es de 0,91 y la ecuación de la recta de regresión se escribe como sigue :

$$Q/Q_A = 0,20 + 0,61 n/N$$

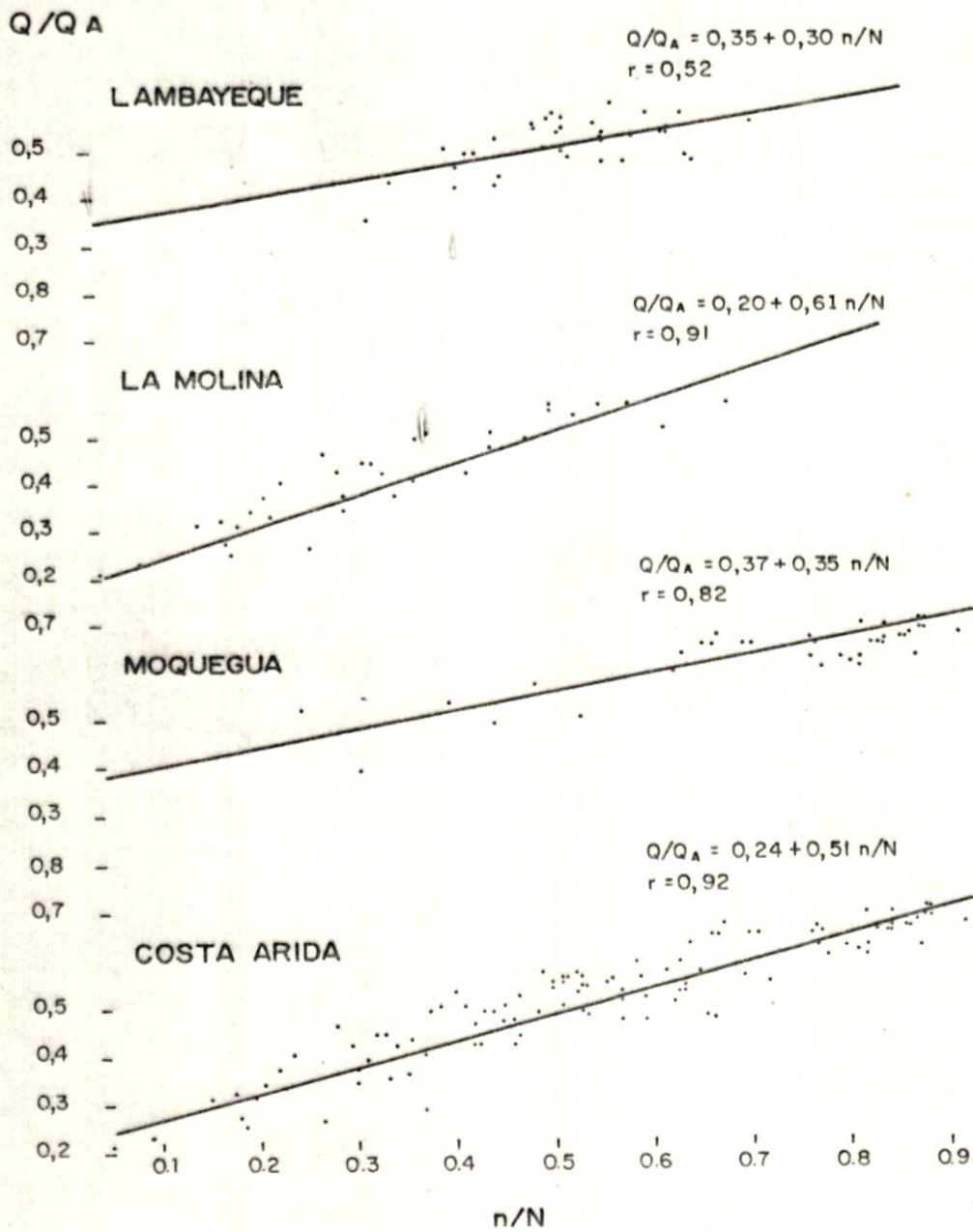


Fig 1

LINEAS DE REGRESION ENTRE LA RADIACION SOLAR Y LA INSOLACION DE 3 ZONAS CLIMATICAS DE LA COSTA ARIDA DEL PERU

Del mismo modo para el sur, se encuentra una buena correlación - (r = 0,82), la recta de regresión se expresa :

$$Q/Q_A = 0,37 + 0,35 n/N$$

Como se esperaba, se encuentra para las 3 regiones consideradas globalmente, una correlación de 0,92 con una buena dispersión de los puntos todo a lo largo de la recta de regresión; esta produce los valores a y b que se encuentran entre los encontrados para cada estación, su expresión es :

$$Q/Q_A = 0,24 + 0,51 n/N$$

La dispersión de los puntos es debido a la reagrupación de los diferentes grupos de puntos correspondientes a cada estación, es decir que esta ecuación de regresión es buena para el conjunto.

Pero cuando se trabaja en una zona determinada, es recomendable utilizar la fórmula correspondiente. A título de primera indicación, para el norte, esperando estudios ulteriores en un mayor número de años. Se puede sin embargo, aplicar la fórmula general para toda la costa árida y del mismo modo para las estaciones que se sitúan fuera de los 3 tipos de climas que nosotros hemos considerado.

Concerniente a la E_{Tp}, en la figura 2 y la tabla 1 nosotros hemos indicado los valores calculados según la fórmula de TURC y la evaporación Piché proporcionada; probablemente la E_{Tp} está ligeramente exagerada debido a que la temperatura utilizada es la media de las observaciones en 7.00, 13.00 y 19.00 horas, mientras que TURC trabaja probablemente con la temperatura meteorológica.

Para la estación de Lambayeque hemos utilizado los valores para cada uno de los tres años y para las demás hemos establecido con la media de los 3 años viendo la uniformidad de el ritmo de las curvas.

Para las estaciones del norte y del centro (bastante húmeda) se encuentra una E_{Tp} mayor que la evaporación Piché, los resultados concuerdan con los encontrados por Pizarro y Valverde (1969) para el Perú.

Pero para las otras 2 estaciones, que se encuentran en la zona del sur con las características desérticas más fuertes y una humedad más débil, la evaporación sobrepasa fuertemente la E_{Tp} y los ritmos de las curvas no son del todo semejantes. Esto es explicado por RIQUIER (1963) para MADAGASCAR quien muestra que el evaporímetro Piché es muy sensible en el medio ambiente (sobre todo al viento) y sobre estima mucho la evapotranspiración por el efecto de oasis.

Este autor recomienda no emplear las fórmulas que utilizan el evaporímetro Piché en países secos o en estación seca.

En esta región seca del sur donde el efecto de oasis tiene una gran importancia, se encuentra una mejor expresión de el E_{Tp} cuando ella es desarrollada después de las fórmulas que tienen en cuenta los resultados climáticos que aquellas que se basan sobre la evaporación medida con los evaporímetros Piché.

Para la estación de la Pampa de Majes aplicando la recta de regresión.

$$Q/Q_A = 0,37 + 0,35 n/N$$

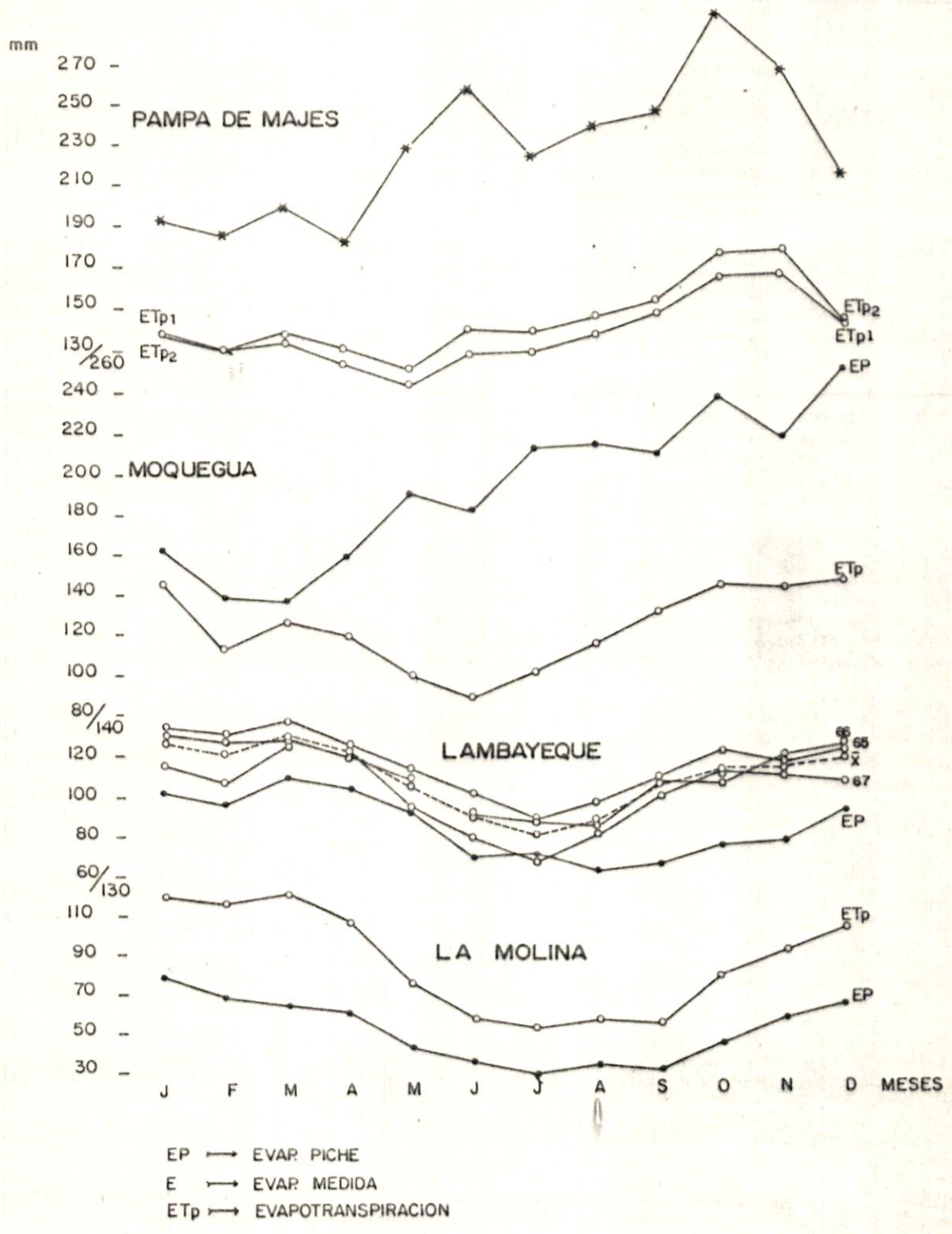


Fig. 2
 EVAPOTRANSPIRACION POTENCIAL DE ACUERDO A LA FORMULA TURC

TABLA 1

COMPARACION DE EVAPOTRANSPIRACION POTENCIAL CALCULADA DE ACUERDO A LA FORMULA DE TURC CON LA MEDIDA DE EVAPORACION PICHE

LAMBAYEQUE					LA MOLINA		MOQUEGUA		PAMPA DE MAJES			
MESES	ETp.				EVAPORAC. PICHE	ETp	EVAPORAC. PICHE	ETp	EVAPORAC. PICHE	ETp 1	ETp 2	EVAPORAC.
	1965	1966	1967	X								
ENERO	134.22	131.22	115.51	126.98	102.6	120.51	78.6	144.74	163.4	138.97	136.75	192.1
FEBRERO	130.67	126.63	106.98	121.42	96.7	117.16	69.4	112.83	139.0	129.64	129.71	185.1
MARZO	138.43	128.82	125.70	130.98	110.4	122.54	65.2	125.50	137.0	134.30	137.70	198.8
ABRIL	125.88	121.09	122.52	123.16	105.3	108.51	60.6	119.66	160.1	123.01	130.72	182.3
MAYO	114.37	107.67	95.73	105.92	94.3	76.74	43.3	100.30	190.6	113.03	120.61	228.3
JUNIO	102.82	91.97	79.90	91.56	71.0	57.78	36.0	88.60	182.3	128.61	139.51	257.6
JULIO	90.29	89.10	67.92	82.43	72.8	52.48	30.8	101.89	214.4	129.46	139.13	224.4
AGOSTO	98.68	87.53	83.26	89.82	63.8	57.90	35.9	117.11	215.6	137.68	147.36	238.5
SETIEMB.	110.72	109.10	102.23	107.35	67.6	55.69	33.3	133.01	212.1	147.58	153.99	245.2
OCTUBRE	123.71	108.12	113.97	115.26	77.7	81.60	46.6	146.30	238.0	165.85	177.17	294.5
NOVIEMB.	118.54	122.12	112.02	117.56	79.8	93.50	59.6	145.16	220.1	167.25	178.76	268.0
DICIEMBRE	125.96	127.12	108.54	120.54	96.9	107.33	68.4	188.90	251.7	143.17	145.23	216.9
T	1414.29	1350.49	1234.28	1332.98	1038.9	1051.44	627.7	1484.00	2324.3	1658.55	1736.64	2731.7

$$ETp 1Q = Q_A (0.37 + 0.35 n/N)$$

$$ETp 2Q = Q_A (0.18 + 0.62 n/N)$$



Para estimar R_g en lugar de la obtenida por TURC :

$$Q/Q_A = 0,18 + 0,62 n/N$$

y desarrollando la fórmula E_{Tp} del autor, se encuentra los valores más bajos. Las diferencias no sobrepasan el 10 %.

CONCLUSIONES

- a) Para conocer la radiación solar en las estaciones meteorológicas de la costa peruana, donde no se registra directamente, teniendo para fin la resolución de las fórmulas de evapotranspiración, se debería utilizar los valores siguientes :

Para el norte y la costa en general :

$$Q = Q_A (0,24 + 0,51 n/N)$$

Para el centro :

$$Q = Q_A (0,20 + 0,61 n/N)$$

Para el sur :

$$Q = Q_A (0,37 + 0,35 n/N)$$

En un futuro próximo, los valores producidos para la costa norte deberán adaptarse a las características propias de la zona, cuando se tenga un mayor número de mediciones de radiación e insola-ción.

- b) Las modificaciones propuestas para a y b en relación a los valo-res de TURC podrían provenir de la imprecisión del actinógrafo empleado (Robitzsch) del mismo modo que las variaciones entre estaciones. Creemos de igual manera que las variaciones debidas al aparato no son de importancia, puesto que la estación de La Molina (radiación solar baja) nos da los valores más próximos a las encontradas por TURC en condiciones de radiación semejante. La estación del sur que presenta una radiación mucho más fuerte nos da un coeficiente "a" más elevado como se esperaba. Los valo-res hallados para Moquegua valen con las halladas por TURC para el sur de los Estados Unidos.

$$(a = 0,32; b = 0,30)$$

- c) Se puede utilizar la evapotranspiración Piché para estimar la evapotranspiración potencial al centro y al norte de la costa, pero no al sur del Perú.
- d) La antigua recta de regresión producida por TURC, puede ser utilizada para desarrollar su fórmula, ya que las diferencias con los valores actuales no sobrepasan el 10 %. Pero cuando se trata de los valores anuales, sería deseable utilizar los nuevos datos a fin de obtener una mejor aproximación.
- e) Los valores encontrados (a) pueden ser utilizadas, en otra, para todas las fórmulas de evaluación del ET_p basado sobre la radiación (TURC, WALKER, BUSINGER, PENMAN, ETC.).

Traducido por : MARIA DEL PILAR GUERRA

(*) Trabajo efectuado en el marco de investigaciones de la cátedra de la Ciencia del Suelo. Prof. G. Manil, de la Facultad de Ciencias Agronómicas de el Estado, Gembloux, Belgique.

(**) Ing. Agr. Universidad Agraria, La Molina, Lima, Perú. Práctica en la cátedra de la Ciencia del Suelo.

L.02.11.87
GCZ/dcg.

