

Método de Blanney – Criddle para determinar la Evapotranspiración de los cultivos

Blanney y Criddle desarrollaron una fórmula en el Oeste de los Estados Unidos, en la que hacen intervenir la temperatura media mensual y el porcentaje de horas luz por mes con respecto al total anual. Originalmente los autores diseñaron el método para estimar la evapotranspiración real total de los cultivos y su fórmula es:

$$ET = K * F$$

ET = evapotranspiración real total del cultivo expresada como lámina (cm)

K = Coeficiente total de ajuste que depende del cultivo y de la ubicación de la zona de estudio.

$$F = \sum_1^n f$$

Es la suma de los valores “f” de todos los meses (desde el mes 1 hasta el mes n del ciclo vegetativo del cultivo en cuestión).

Para calcular el valor de f se utiliza la siguiente ecuación:

$$f = \left[\frac{T + 17.8}{21.8} \right] * P * Duracion_mes \quad (1)$$

T es la temperatura promedio mensual (° C)

P es el porcentaje de horas luz en el día en relación con el total anual (%) (Tabla No. 1)

Duracion_mes es la división del número de días considerados en un mes para el ciclo vegetativo del cultivo, dividido entre el número total de días que tiene el mes (adim). Por ejemplo, si se siembra el 15 noviembre, el mes de noviembre tendrá 16 días considerados dentro del ciclo vegetativo, y como noviembre tiene 30 días; Duracion_mes = 16/30 = 0.53

$$Duracion_mes = \frac{Numero_dias_considerados}{Numero_dias_del_mes} \quad (2)$$

Una modificación a la ecuación de Blanney-Criddle la realizó Phelan que introdujo al procedimiento el uso de un coeficiente por temperatura:

$$Kt = 0.031144 * T + 0.2396 \quad (3)$$

T = temperatura media mensual en °C

Una vez determinado el valor de f y Kt se procede a calcular el valor de la evapotranspiración de referencia (ETo), ya que, hasta este paso, únicamente se han considerado aspectos climáticos.

$$ETo = f * Kt \quad (4)$$

Posteriormente se determinan los valores de los coeficientes de cultivo (Kc) (Tabla No. 2 y No. 3) para cada uno de los meses correspondientes al ciclo vegetativo y se calcula una primera estimación de la evapotranspiración potencial (ETp')

$$ETp' = ETo * Kc \quad (5)$$

Para finalizar con el cálculo se determina un coeficiente de ajuste:

$$K' = \frac{ETp'}{\sum_1^n f} \quad (6)$$

De la tabla No. 4 se obtiene el valor de un coeficiente global de cultivo (K_G) y se calcula el valor final de la evapotranspiración, con la siguiente expresión:

$$ETp = ETp' * \frac{K_G}{K'} \quad (7)$$

En resumen, para aplicar el método de Blanney – Criddle, se requiere de datos climáticos como temperatura media mensual y porcentajes de hora luz para cada mes (estos se obtienen de una tabla y están en función de la latitud de la zona de estudio). Se requiere además de los coeficientes de cultivo (Kc se obtienen de tablas), conocer la curva de desarrollo del cultivo. Se requiere finalmente un coeficiente global de cultivo (K_G se obtiene de una tabla).

Tabla No. 1.- TABLA DE PORCENTAJE DE HORAS LUZ O INSOLACION EN EL DIA PARA CADA MES DEL AÑO EN RELACION AL NUMERO TOTAL EN UN AÑO (P)

LATITUD NORTE	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
15	7.94	7.37	8.44	8.45	8.98	8.80	9.03	8.83	8.27	8.26	7.75	7.88
16	7.93	7.35	8.44	8.46	9.01	8.83	9.07	8.85	8.27	8.24	7.72	7.83
17	7.86	7.32	8.43	8.48	9.04	8.87	9.11	8.87	8.27	8.22	7.69	7.80
18	7.83	7.30	8.42	8.50	9.09	8.92	8.16	8.90	8.27	8.21	7.66	7.74
19	7.79	7.28	8.41	8.51	9.11	8.97	9.20	8.92	8.28	8.19	7.63	7.71
20	7.74	7.26	8.41	8.53	9.14	9.00	9.23	8.95	8.29	8.17	7.59	7.66
21	7.71	7.24	8.40	8.54	9.18	9.05	9.29	8.98	8.29	8.15	7.54	7.62
22	7.66	7.21	8.40	8.56	9.22	9.09	9.33	9.00	8.30	8.13	7.50	7.55
23	7.62	7.19	8.40	8.57	9.24	9.12	9.35	9.02	8.30	8.11	7.47	7.50
24	7.58	7.17	8.40	8.60	9.30	9.20	9.41	9.05	8.31	8.09	7.43	7.46
25	7.53	7.13	8.39	8.61	9.32	9.22	9.43	9.08	8.30	8.08	7.40	7.41
26	7.49	7.12	8.40	8.64	9.38	9.30	9.49	9.10	8.31	8.06	7.36	7.35
27	7.43	7.09	8.38	8.65	9.40	9.32	9.52	9.13	8.32	8.03	7.36	7.31
28	7.40	7.07	8.39	8.68	9.46	9.38	9.58	9.16	8.32	8.02	7.22	7.27
29	7.35	7.04	8.37	8.70	9.49	9.43	9.61	9.19	8.32	8.00	7.24	7.20
30	7.30	7.03	8.38	8.72	9.53	9.49	9.67	9.22	8.34	7.99	7.19	7.14
31	7.25	7.00	8.36	8.73	9.57	9.54	9.72	9.24	8.33	7.95	7.15	7.09
32	7.20	6.97	8.37	8.75	9.63	9.60	9.77	9.28	8.34	7.95	7.11	7.05
34	7.10	6.91	8.36	8.80	9.72	9.70	9.88	9.33	8.36	7.90	7.02	6.92
40	6.76	6.72	8.33	8.95	10.02	10.08	10.22	9.54	8.39	7.75	6.72	6.52
46	6.34	6.50	8.29	9.12	10.39	10.54	10.64	9.79	8.42	7.57	6.36	6.04
50	5.98	6.30	8.24	9.24	10.68	10.91	10.99	10.11	8.46	7.45	6.10	6.65
56	5.30	5.95	8.15	9.45	11.22	11.67	11.69	10.40	8.53	7.21	5.54	4.89
60	4.67	5.65	8.08	9.65	11.74	12.39	12.31	10.70	8.57	6.98	5.04	4.22

Tabla No. 2 Coeficientes de cultivo para determinar la curva de crecimiento de algunos cultivos anuales (Kc)

COEFICIENTES DE CULTIVO (K _c) PARA CULTIVOS ANUALES																	
% de Desarrollo	Maiz	Trigo	Algodón	Sorgo	Cártamo	Soya	Arroz	Frijol	Ajonjolí	Garbanzo	Cebada	Jitomate	Linaza	Chile	Papa	Cacahuete	Cucurbitaceas
0	0.42	0.15	0.20	0.30	0.14	0.51	0.45	0.50	0.30	0.30	0.15	0.43	0.30	0.48	0.30	0.15	0.45
5	0.45	0.20	0.22	0.35	0.16	0.45	0.50	0.54	0.35	0.35	0.20	0.43	0.35	0.50	0.35	0.17	0.47
10	0.48	0.30	0.25	0.40	0.18	0.41	0.55	0.60	0.40	0.40	0.30	0.43	0.40	0.55	0.40	0.20	0.50
15	0.51	0.40	0.28	0.48	0.22	0.45	0.65	0.65	0.50	0.50	0.40	0.45	0.50	0.65	0.45	0.25	0.53
20	0.60	0.55	0.32	0.60	0.27	0.51	0.72	0.73	0.60	0.55	0.55	0.45	0.55	0.75	0.50	0.29	0.55
25	0.65	0.70	0.40	0.70	0.35	0.51	0.80	0.80	0.70	0.65	0.70	0.50	0.70	0.80	0.60	0.36	0.60
30	0.70	0.90	0.50	0.80	0.44	0.51	0.85	0.90	0.80	0.70	0.90	0.55	0.90	0.90	0.70	0.43	0.65
35	0.80	1.10	0.62	0.90	0.54	0.52	0.90	0.97	0.87	0.75	1.10	0.65	1.00	0.95	0.82	0.52	0.70
40	0.90	1.25	0.89	1.00	0.64	0.55	0.92	1.05	0.95	0.78	1.25	0.75	1.10	0.98	0.97	0.61	0.75
45	1.00	1.40	0.90	1.08	0.76	0.57	0.93	1.10	1.00	1.80	1.40	0.85	1.15	1.03	1.05	0.61	0.80
50	1.05	1.50	0.98	1.07	0.88	0.60	0.93	1.12	1.10	0.82	1.50	0.95	1.20	1.05	1.16	0.80	0.81
55	1.07	1.57	1.00	1.05	0.97	0.63	0.93	1.12	1.20	0.85	1.57	1.00	1.28	1.05	1.25	0.90	0.82
60	1.08	1.62	1.02	1.00	1.07	0.66	0.92	1.10	1.28	0.85	1.62	1.03	1.30	1.05	1.30	1.00	0.80
65	1.07	1.61	1.00	0.95	1.07	0.68	0.90	1.05	1.30	0.82	1.61	1.02	1.35	1.03	1.35	1.01	0.79
70	1.05	1.55	0.95	0.90	1.08	0.70	0.85	1.02	1.32	0.80	1.55	0.98	1.30	1.00	1.38	1.02	0.77
75	1.02	1.45	0.87	0.82	1.02	0.70	0.80	0.95	1.29	0.75	1.45	0.95	1.28	0.97	1.38	0.91	0.75
80	1.00	1.30	0.80	0.75	0.96	0.69	0.68	0.87	1.25	0.70	1.30	0.90	1.25	0.90	1.35	0.80	0.72
85	0.95	1.10	0.75	0.70	0.86	0.63	0.63	0.80	1.10	0.65	1.10	0.85	1.10	0.85	1.33	0.60	0.71
90	0.90	0.95	0.65	0.65	0.76	0.56	0.58	0.72	1.00	0.60	0.95	0.80	0.95	0.80	1.30	0.41	0.70
95	0.87	0.80	0.55	0.60	0.60	0.43	0.55	0.70	0.90	0.50	0.80	0.75	0.80	0.70	1.25	0.25	0.67
100	0.85	0.62	0.50	0.55	0.45	0.31	0.47	0.62	0.80	0.40	0.62	0.70	0.60	0.60	1.20	0.11	0.65

Tabla No. 3 Coeficientes de cultivo para determinar la curva de crecimiento de algunos cultivos perennes (K_c)**COEFICIENTES DE CULTIVO (K_c) PARA CULTIVOS PERENNES**

Mes	Caña	Alfalfa	Pasto	Vid	Cítricos	Frutales de hoja caduca	Frutales de hoja perenne
1	0.30	0.65	0.48	0.20	0.65	0.20	0.60
2	0.35	0.75	0.60	0.23	0.67	0.25	0.75
3	0.50	0.85	0.75	0.30	0.69	0.35	0.85
4	0.60	1.00	0.85	0.50	0.70	0.65	1.00
5	0.77	1.10	0.87	0.70	0.71	0.85	1.10
6	0.90	1.13	0.90	0.80	0.72	0.95	1.12
7	0.98	1.12	0.90	0.80	0.72	0.98	1.12
8	1.02	1.08	0.87	0.75	0.71	0.85	1.05
9	1.02	1.00	0.85	0.67	0.70	0.50	1.00
10	0.98	0.90	0.80	0.50	0.68	0.30	0.85
11	0.90	0.80	0.65	0.35	0.67	0.20	0.75
12	0.78	0.65	0.60	0.25	0.65	0.20	0.60

Tabla No. 4 Coeficiente globales (K_G) de algunos cultivos.**COEFICIENTES GLOBALES DE USOS CONSUNTIVOS (K_G) PARA DIFERENTES CULTIVOS**

Cultivo	Periodo de crecimiento vegetativo	Coeficientes Globales K_G	
		Región húmeda	Región árida
Aguacate	Todo el año	0.5	0.55
Ajonjolí	3 a 4 meses	0.8	
Alfalfa	Entre heladas	0.8	0.85
	En invierno	0.6	
Algodón	6 a 7 meses	0.6	0.65
Arroz	3 a 5 meses	1	1.2
Cacahuete	5 meses	0.6	0.65
Cacao	Todo el año	0.75	0.8
Café	Todo el año	0.75	0.75
Camote	5 a 6 meses	0.6	
Caña de azúcar	Todo el año	0.75	0.9
Cártamo	5 a 8 meses	0.55	0.65
Cereales de granos pequeños (Alpiste) (Avena) (Cebada) (Centeno) (Trigo)	3 a 6 meses	0.75	0.85
Cítricos	7 a 8 meses	0.5	0.65
Chile	3 a 4 meses	0.6	
Espárrago	6 a 7 meses	0.6	
Fresa	Todo el año	0.45	0.6
Frijol	3 a 4 meses	0.6	0.7

Frutales de hueso y pepita (hoja caduca)	Entre heladas	0.6	0.7
Garbanzo	4 a 5 meses	0.6	0.7
Girasol	4 meses	0.5	0.65
Gladiola	3 a 4 meses	0.6	
Haba	4 a 5 meses	0.6	0.7
Hortalizas	2 a 4 meses	0.6	
Jitomate	4 meses	0.7	
Lechuga y col	3 meses	0.7	
Lenteja	4 meses	0.6	0.7
Lino	7 a 8 meses	0.7	0.8
Maiz	4 a 7 meses	0.75	0.85
Mango	Todo el año	0.75	0.8
Melón	3 a 4 meses	0.6	
Nogal	Entre heladas	0.7	
Papa	3 a 5 meses	0.65	0.75
Palma Datilera	Todo el año	0.65	0.8
Palma de coco	Todo el año	0.8	0.9
Papaya	Todo el año	0.6	0.8
Plátano	Todo el año	0.8	1
Pasto de gramíneas Pastos de trebol	Todo el año	0.75	
Ladino	Todo el año	0.8	0.85
Remolacha	6 meses	0.65	0.75
Sandía	3 a 4 meses	0.6	
Sorgo	3 a 5 meses	0.7	
Soya	3 a 5 meses	0.6	0.7
Tabaco	4 a 5 meses	0.7	0.8
Tomate	4 a 5 meses	0.7	
Zanahoria	2 a 4 meses	0.6	

Para facilitar el cálculo de la evapotranspiración (ETp) se propone la integración de la información en un cuadro de cálculo como el que se muestra a continuación:

Mes	Duración mes	T (°C)	$\frac{T+17.8}{21.8}$	P(%)	f (cm)	Kt	ETo	Kc	ETp'	ETp

Ejercicio

Determinar la evapotranspiración potencial (ETp) para el cultivo de maíz sembrado en la zona de Culiacán, con las siguientes características:

Cultivo: **Maíz**

Localización de la zona: **24° 40'**

Fecha de siembra: **15 nov**

Fecha de cosecha: **10 mayo**

Mes	Temperatura		Precipitación promedio (mm)	Evaporación potencial media (mm)	Humedad Relativa Promedio (%)	Velocidad del viento (m/s)
	Máxima (°C)	Minima (°C)				
Ene	35.0	2.0	25	102	66.8	1.9
Feb	35.5	-2.0	7	126	65.8	2.3
Mar	39.0	3.0	3	189	62.6	2.4
Abr	41.5	6.0	2	225	58.1	2.6
May	41.0	9.0	1	267	55.3	3.1
Jun	42.5	13.0	24	266	59.8	3.5
Jul	42.5	13.0	165	223	65.2	3.2
Ago	40.5	19.0	200	181	70.1	2.7
Sep	41.5	1.3	130	157	72.9	2.2
Oct	41.5	11.0	53	156	66.5	1.9
Nov	38.0	3.0	28	125	66.1	1.8
Dic	37.0	2.0	31	97	66.9	1.7

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Mes	Duración mes	T (°C)	$\frac{T+17.8}{21.8}$	P(%)	f (cm)	Kt	ETo	Kc	ETp'	ETp
Nov										
Dic										
Ene										
Feb										
Mar										
Abr										
May										

Paso No. 1.- Se determinan los meses que abarca el ciclo vegetativo del cultivo, considerando el ciclo vegetativo como el tiempo en días, entre la fecha de siembra y la fecha de cosecha.

Para este caso los meses son desde noviembre hasta mayo (columna No. 1)

Paso No. 2.- Se determina la duración de cada uno de los meses que quedan incluidos dentro del ciclo vegetativo, para ello se utiliza la ecuación (2)

$$Duracion_mes(nov) = \frac{16}{30} = 0.53$$

$$Duracion_mes(may) = \frac{10}{31} = 0.32$$

$$Duracion_mes(dic) = \frac{31}{31} = 1$$

Los meses de enero, febrero, marzo y abril, están en la misma condición que diciembre, así que se toma el valor de 1 para esos meses también y se anotan en la columna No. 2.

Paso No. 3.- De la tabla climatológica se toma el valor de temperatura media mensual para cada mes, en caso de que en la tabla se tenga la temperatura máxima y mínima, se calcula la media con la ecuación:

$$T = \frac{Temperatura_maxima + Temperatura_minima}{2}$$

$$T(nov) = \frac{38+3}{2} = 20.5 \quad T(ene) = \frac{35+2}{2} = 18.5 \quad T(mar) = \frac{39+3}{2} = 21.0$$

$$T(dic) = \frac{37+2}{2} = 19.5 \quad T(feb) = \frac{35.5+(-2)}{2} = 16.8 \quad T(abr) = \frac{41.5+6}{2} = 23.8$$

$$T(may) = \frac{41+9}{2} = 25$$

Los valores de Temperatura media mensual se colocan en la columna No. 3.

Paso No. 4.- Se calcula el valor de la columna No. 4 con la ecuación que ahí aparece:

$$\frac{T + 17.8}{21.8}$$

$$\frac{20.5+17.8}{21.8} = 1.76 \quad \frac{19.5+17.8}{21.8} = 1.71 \quad \frac{18.5+17.8}{21.8} = 1.67 \quad \frac{16.8+17.8}{21.8} = 1.58$$

$$\frac{21+17.8}{21.8} = 1.78 \quad \frac{23.8+17.8}{21.8} = 1.91 \quad \frac{25+17.8}{21.8} = 1.96$$

Paso No. 5.- Se determina el valor de la columna No. 5, para ello se utiliza la tabla No. 1 (arriba señalada).

Con la localización de la zona (24° 40' LN) se entra a la tabla y se toman los valores de P correspondiente. Como el dato exacto de 24° 40' no viene en la tabla, se debe realizar una interpolación entre los datos de 24° y 25°, para ello se debe convertir los 40' a grados.

$$40/60 = 0.667$$

Grados Latitud Norte	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
24	7.58	7.17	8.40	8.60	9.30	9.20	9.41	9.05	8.31	8.09	7.43	7.46
25	7.53	7.13	8.39	8.61	9.32	9.22	9.43	9.08	8.30	8.08	7.40	7.41

$$40/60 = 0.667$$

	0.05	0.04	0.01	-0.01	0.02	0.02	0.02	-0.03	0.01	0.01	0.03	0.05
	0.03	0.03	0.01	-0.01	0.01	0.01	0.01	-0.02	0.01	0.01	0.02	0.03
24° 40'	7.55	7.14	8.39	8.61	9.31	9.21	9.42	9.07	8.3	8.08	7.41	7.43

Se realizara el cálculo del mes de noviembre, el procedimiento es similar para el resto de los meses.

Para el mes de noviembre, si en un grado de diferencia (de 24° a 25°) existe un diferencia en P de 0.03 (7.43-7.40) en 0.667° que representan los 40 minutos, la diferencia en P es de 0.02 (regla de tres). Ese valor se le resta al valor de P para el mes de noviembre en 24° (7.43)

Noviembre

El valor de 24° 40' está entre 24° y 25°

P para 24° = 7.43

P para 25° = 7.40

Entre 24° y 25° existe un 1° grado de diferencia

Entre el valor de 7.43 y 7.40 existen 0.03 de diferencia

Los cuarenta minutos convertidos a grados = 0.667 grados

1 grado - 0.03

0.667 grado - x

$$0.667 * 0.03 = 0.02$$

$$7.43 - 0.02 = 7.41$$

7.41 es el valor de P para noviembre en 24° 40'

En la tabla de arriba se calculó el valor de P para los 12 meses, haga las operaciones para que compruebe los resultados ahí mostrados.

Paso No. 6.- Se calcula el valor de "f" con la ecuación No. 1 y los resultados se anotan en la columna 6.

$$f(\text{nov}) = 1.76 * 7.41 * 0.53 = 6.91$$

$$f(\text{dic}) = 1.71 * 7.43 * 1 = 12.71$$

$$f(\text{ene}) = 1.67 * 7.55 * 1 = 12.61$$

$$f(\text{feb}) = 1.58 * 7.14 * 1 = 11.28$$

$$f(\text{mar}) = 1.78 * 8.39 * 1 = 14.93$$

$$f(\text{abr}) = 1.91 * 8.61 * 1 = 16.45$$

$$f(\text{may}) = 1.96 * 9.31 * 0.32 = 5.84$$

Suma de f = 80.73 cm

Se anota también la sumatoria de estos valores, ya que se ocupará más adelante.

Paso No. 7.- Se calcula una corrección por Temperatura propuesta por Phelan, para ello se utiliza la ecuación No. 3. Los resultados se anotan en la columna No. 7.

$$K_t = 0.031144 * 20.5 + 0.2396 = 0.88$$

$$K_t = 0.031144 * 19.5 + 0.2396 = 0.85$$

$$K_t = 0.031144 * 18.5 + 0.2396 = 0.82$$

$$K_t = 0.031144 * 16.8 + 0.2396 = 0.76$$

$$K_t = 0.031144 * 21.0 + 0.2396 = 0.89$$

$$K_t = 0.031144 * 23.8 + 0.2396 = 0.98$$

$$K_t = 0.031144 * 25.0 + 0.2396 = 1.02$$

Paso No. 8.- Se calcula la evapotranspiración de referencia (ET_o), cabe recordar que ésta depende únicamente de factores climáticos. Se utiliza la ecuación No. (4). Los resultados se anotan en la columna No. 8 de la tabla de cálculo.

$$ET_o(\text{nov}) = 6.91 * 0.88 = 6.08$$

$$ET_o(\text{dic}) = 12.71 * 0.85 = 10.80$$

$$ET_o(\text{ene}) = 12.61 * 0.82 = 10.34$$

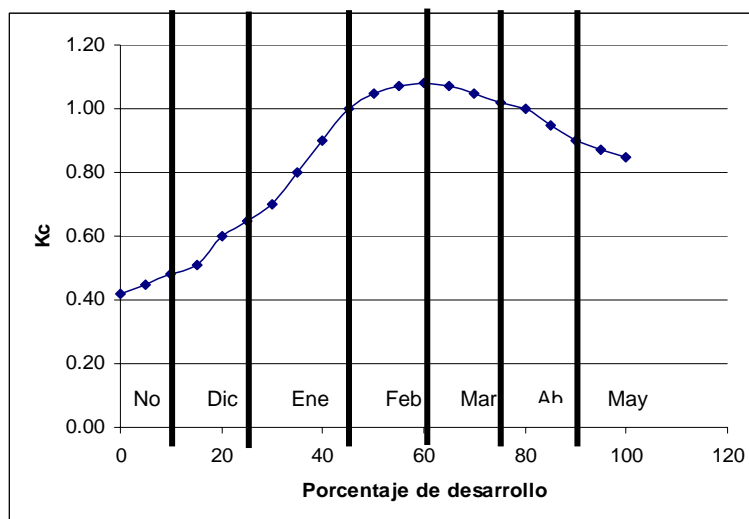
$$ET_o(\text{feb}) = 11.35 * 0.76 = 8.63$$

$$ET_o(\text{mar}) = 14.93 * 0.89 = 13.29$$

$$ET_o(\text{abr}) = 16.45 * 0.98 = 16.12$$

$$ET_o(\text{may}) = 5.84 * 1.02 = 5.96$$

Paso No 9.- Se obtienen los coeficientes de cultivo (K_c) de la tabla Nos. 2 y 3, dependiendo si trata de un cultivo anual o perenne respectivamente. Se distribuye la curva de desarrollo del cultivo entre el número de meses que abarca el ciclo vegetativo del cultivo, se obtiene así un K_c promedio mensual, que es el que se utiliza para la primera estimación de la evapotranspiración potencial (ET_p).



De acuerdo con la Tabla No. 3, los valores de Kc para el maíz son los que se observan a continuación:

% de Desarrollo	Maíz
0	0.42
5	0.45
10	0.48
15	0.51
20	0.60
25	0.65
30	0.70
35	0.80
40	0.90
45	1.00
50	1.05
55	1.07
60	1.08
65	1.07
70	1.05
75	1.02
80	1.00
85	0.95
90	0.90
95	0.87
100	0.85

$$K_c (\text{nov}) = (0.42+0.45+0.48)/3 = 0.45$$

$$K_c (\text{dic}) = (0.48+0.51+0.60+0.65)/4 = 0.56$$

$$K_c (\text{ene}) = (0.65+0.70+0.80+0.90+1.0)/5 = 0.81$$

$$K_c (\text{feb}) = (1.0+1.05+1.07+1.08)/4 = 1.05$$

$$K_c (\text{mar}) = (1.08+1.07+1.05+1.02)/4 = 1.06$$

$$K_c (\text{abr}) = (1.02+1.0+0.95+0.90)/4 = 0.97$$

$$K_c (\text{may}) = (0.90+0.87+0.85)/3 = 0.87$$

Paso No. 10.- Se calcula un primer valor de la Evapotranspiración potencial (ETp'), con la ecuación No. (5), y los resultados se anotan en la columna No. 10.

$$ETp' (\text{nov}) = 6.08 \times 0.45 = 2.74$$

$$ETp' (\text{dic}) = 10.8 \times 0.56 = 6.05$$

$$ETp' (\text{ene}) = 10.34 \times 0.81 = 8.38$$

$$ETp' (\text{feb}) = 8.63 \times 1.05 = 9.06$$

$$ETp' (\text{mar}) = 13.29 \times 1.06 = 14.02$$

$$ETp' (\text{abr}) = 16.12 \times 0.97 = 15.60$$

$$ETp' (\text{may}) = 5.96 \times 0.87 = 5.21$$

Suma ETp' = 61.06 cm

Paso No. 11.- Se hace un ajuste al valor de Evapotranspiración calculado en el paso anterior. El coeficiente de ajuste se obtiene con el valor de K' (ecuación No. 6) y un coeficiente de cultivo (K_G) que se obtiene de la Tabla No. 4.

Para calcular el valor de K' se utiliza la suma de f, calculada en el Paso No. 6 y la suma de ETp' calculada en el Paso No. 10.

$$K' = \frac{61.06}{80.73} = 0.76$$

En la Tabla No. 4 se obtiene el K_G para el cultivo de maíz, considerando que la zona de Culiacán (20° 40' LN) se encuentra en una zona árida.

$$K_G = 0.85$$

$$\frac{K_G}{K'} = \frac{0.85}{0.76} = 1.12$$

Con la ecuación No. (7) se calcula finalmente el valor de la evapotranspiración ajustada (ETp)

$$ETp (\text{nov}) = 2.74 \times 1.12 = 3.06$$

$$ETp \text{ (dic)} = 6.05 \times 1.12 = 6.77$$

$$ETp \text{ (ene)} = 8.38 \times 1.12 = 9.37$$

$$ETp \text{ (feb)} = 9.06 \times 1.12 = 10.13$$

$$ETp \text{ (mar)} = 14.02 \times 1.12 = 15.68$$

$$ETp \text{ (abr)} = 15.60 \times 1.12 = 17.45$$

$$ETp \text{ (may)} = 5.21 \times 1.12 = 5.83$$

Suma de ETp = 68.29 cm

Se concluye así que la necesidad hídrica del cultivo de maíz para la zona de Culiacán y con un ciclo vegetativo aproximado a los 6 meses, es de 68.29 cm. Para fines prácticos se puede considerar el valor como de 70 cm.

Es importante recordar que este valor de evapotranspiración (ETp) es el que se utiliza para el diseño de los sistemas de riego.

A continuación se muestra el Cuadro de cálculo.

Resumen de cálculo o Cuadro de cálculo de la Etp para Maíz

Mes	Duración Mes	T (° C)	$\frac{T+17.8}{21.8}$	P (%)	f (cm)	Kt	ETo (cm)	Kc	ETp' (cm)	ETp (cm)
Nov	0.53	20.5	1.76	7.41	6.91	0.88	6.08	0.45	2.74	3.06
Dic	1	19.5	1.71	7.43	12.71	0.85	10.8	0.56	6.05	6.77
Ene	1	18.5	1.67	7.55	12.61	0.82	10.34	0.81	8.38	9.37
Feb	1	16.8	1.59	7.14	11.35	0.76	8.63	1.05	9.06	10.13
Mar	1	21.0	1.78	8.39	14.93	0.89	13.29	1.06	14.02	15.68
Abr	1	23.8	1.91	8.61	16.45	0.98	16.12	0.97	15.60	17.45
May	0.32	25.0	1.96	9.31	5.84	1.02	5.96	0.87	5.21	5.83
					80.8				61.06	68.29