



IV CONGRESO NACIONAL DE RIEGO Y DRENAJE COMEII 2018

Aguascalientes, Ags., del 15 al 18 de octubre de 2018

IDENTIFICACIÓN DEL K_c DEL MAGUEY *Agave salmiana* (Var. *Xhamíni*) EN HUICHAPAN, HIDALGO

Homero Alonso Sánchez^{1*}; Jaqueline Rufino Arteaga²; Emilio Raymundo Morales Maldonado²

¹Ingeniería Agrícola de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán-UNAM, carretera Cuautitlán-Teoloyucan km 2.5, Col San Sebastián Xhala, Cuautitlán Izcalli, Edo. Méx. C.P. 54700.

alonso_m77@hotmail.com, (595) 106 5233 (*Autor de correspondencia)

²Ingeniería en Innovación Agrícola Sustentable del Instituto Tecnológico Superior de Huichapan. Domicilio Conocido s/n El Saucillo, Huichapan, Hgo. C.P. 42411.

Resumen

La identificación del coeficiente del cultivo K_c mediante metodologías que utilizan el método de Penman-Monteith o el tanque evaporímetro han sido de gran utilidad para calcular las necesidades hídricas de los cultivos, traduciéndolo como lámina de riego real cuando se pondera por la evapotranspiración de referencia, siendo lo más cercano a las características del lugar en donde se desarrollan las plantas. En el presente trabajo se identificó el K_c del *Agave salmiana* (var. *Xhamíni*), conocido como maguey pulquero, en la zona de Huichapan en el estado de Hidalgo; lo cual se realizó mediante el cociente entre la Evapotranspiración del cultivo (ET_c), y la Evapotranspiración de referencia (ET_0); esta última se estimó con el método de Penman-Monteith tomando como referencia la Estación Meteorológica Automatizada (EMA) que maneja el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) en el municipio, de igual manera se determinó la Evapotranspiración del cultivo ET_c mediante los pesos registrados por periodos semanales en el lisímetro de pesada, tomando en cuenta el balance de entradas y salidas. El K_c promedio de la etapa inicial resultó de 0.903 por lo que se concluye que dicho coeficiente en la región de huichapan está afectado por la evaporación desde el suelo principalmente dado que el metabolismo del maguey es del tipo CAM teniendo valores bajos de transpiración, no obstante, en condiciones de manejo agronómico habrá que satisfacer este requerimiento y/o realizar el manejo técnico del riego.

Palabras clave: Evapotranspiración Potencial; Evapotranspiración del cultivo; Método Penman-Monteith; Variables climatológicas, Manejo del riego.



Introducción

Los efectos combinados de la transpiración del cultivo y la evaporación del suelo se integran en el coeficiente único del cultivo; el coeficiente del cultivo o K_c incorpora sus características en cuanto a su transpiración y los efectos promedios de la evaporación desde el suelo de acuerdo con la edafología y la zona geográfica en donde se encuentre. El K_c es utilizado para la planificación del riego y propósitos de manejo, para la definición de calendarios de riego y para los estudios de balance hídrico, es por ello que la mayoría de cultivos agrícolas cuentan con dicho K_c en sus diferentes etapas fenológicas, el cual indica junto con la Evapotranspiración potencial (ET_0) la humedad que la planta realmente requiere, esto se traduce en la optimización del uso del agua, recurso único e indispensable para la producción agrícola; lo que se logra al determinar la lámina de riego más próxima al requerimiento real, de acuerdo a las condiciones climatológicas, propiedades del suelo, características del mismo cultivo y su manejo agronómico.

En la literatura existen rangos de K_c de los cultivos de importancia agrícola, estos coeficientes se han determinado en lugares con condiciones y características edafoclimáticas distintas y únicas para dichos lugares en donde se ha realizado la experimentación, por ello, este tipo de estudios tienen gran relevancia, más aún para aquellos que tradicionalmente se les ha explotado de forma marginal, pero que son de importancia económica en la región. En este caso, la zona del municipio de Huichapan, Hidalgo el cultivo de *Agave Salmiana* también conocido como “maguey pulquero” tiene importancia económica por sus múltiples usos tales como la extracción de agua miel para autoconsumo o para comercialización, la que a su vez se aprovecha como materia prima para la elaboración de pulque y mezcal; las “pencas” se utilizan para alimento del ganado, como material combustible y como insumo para la industria de la gastronomía (García-Herrera *et al.*, 2010), indirectamente también se ocupa en el aprovechamiento de las larvas llamadas “Chinicuiles” (*Comadia redtenbacheri*), los cuales parasitan a los agaves.

La determinación de las necesidades hídricas por medio del K_c en otras especies agrícolas se ha realizado debido a la necesidad de optimizar el recurso hídrico y para mejorar el manejo agronómico del cultivo. La metodología aprobada por la FAO para el estudio de la ET_c se basa en su cálculo como el producto de la ET_0 y el coeficiente de cultivo K_c (Allen *et al.*, 2006) como se realizó en el estudio de Determinación del K_c para *Paltos Cv. Hass* por el método de Penman-Monteith donde se evaluó el efecto de distintos volúmenes de riego sobre el desarrollo vegetativo y reproductivo de los árboles, el cual indica que al considerar la ET_c los rendimientos se incrementan significativamente (Gardiazabal *et al.*, 2003). Otra investigación alude a la determinación de la lámina de riego más eficiente para el desarrollo de la *Albahaca genovesa* mediante la variación del coeficiente multiplicador de la evaporación (C) y la ET_0 tomada a partir de un prototipo del tanque evaporímetro tipo A (Delgado, 2012).

En un estudio acerca de la determinación de la evapotranspiración y coeficientes de cultivo de arroz y girasol con lisímetro, se identificaron sus K_c a partir de las mediciones



de la ET_c y los datos meteorológicos. Los valores estimados de K_c del girasol fueron más altos que los valores sugeridos por la FAO. También se ha establecido la relación entre la norma FAO-Penman-Monteith y otros métodos de ET_0 . (Tyagi *et al.*, 2000). En la investigación sobre la evaluación del coeficiente de cultivo de trigo utilizando el lisímetro, el conocimiento sobre los cambios del agua en el suelo durante las etapas de crecimiento, desde la siembra hasta la maduración fue una herramienta fundamental para la planificación eficaz de los programas de riego; con el fin de mejorar tanto la calidad como la producción del cultivo; la evapotranspiración y el K_c dan una idea más cercana del comportamiento del sistema suelo-planta-atmósfera (Shahrajabian *et al.*, 2017).

Una de las condiciones que se impone para la acertada demanda de agua para riego es el realizar el balance hídrico de calidad en el que se tenga en cuenta la demanda de agua, como en el caso del césped en campos de golf, donde se obtuvieron coeficientes ajustados a la relación entre el ET_c y la evapotranspiración de referencia ET_0 calculada según la fórmula de Penman-Monteith (Puebla, 2017). Durante el crecimiento y desarrollo de los cultivos principalmente los de grano, se presenta un conjunto de limitantes que impiden la obtención de los rendimientos potenciales; en el caso del sorgo las deficiencias hídricas es uno de los principales factores que afectan el rendimiento, por lo que el K_c se ha convertido en el factor para potencializar dichos rendimientos (Giménez & García-Petillo, 2011). De manera similar en la agricultura protegida mediante una escala diaria de calendarios de riego en el cultivo de fresa basados en la estimación de la ET_c se han utilizado valores de ET_0 y coeficientes de cultivo (Zafra *et al.*, 2014). Con ello es posible desarrollar un sistema de riego automatizado en tiempo real para determinar el momento oportuno y cantidad de riego, monitoreado por medio de Tecnologías de Información (TI) (Castro-Popoca *et al.*, 2008).

Cabe resaltar que en distintas regiones del mundo se están realizando investigaciones referentes al K_c de los cultivos típicos y de interés para su actividad agrícola, un ejemplo de ello es la determinación del K_c de una variedad de papa en Bangladesh, en donde se determinaron los valores de ET_c y de K_c de dicho cultivo, siendo éstos ligeramente variables de los valores recomendados por la FAO (Akanda *et al.*, 2017). En Sudáfrica ante un inminente crecimiento de la producción de caña de azúcar se realizó la estimación de los flujos de transpiración de este cultivo usando un modelo de coeficiente de resistencia y K_c debido a que las consecuencias de crecimiento en el consumo de agua en la cuenca y en los recursos hídricos competidores deben ser entendidos además de mostrar limitaciones para su aplicación con modelos convencionales para la ET . Para estimar las demandas en tiempo real del consumo de agua de caña, se calculó la transpiración horaria y diaria de la caña de azúcar de seco y la transpiración diaria de la caña de azúcar irrigada usando la ecuación de Penman-Monteith (Bastidas-Obando *et al.*, 2017).

En nuestra región y en el país es ineludible mencionar que el *Agave Salmiana* es una planta CAM, por lo que a diferencia de las plantas C3 y C4 abren sus estomas durante la noche, resultando menor pérdida de agua y foto-respiración reducida. Por tanto, las



plantas CAM tienen una eficiencia del uso del agua cinco a diez veces más altas que las plantas C4 (Geydan y Melgarejo, 2005) implicando una considerable ventaja competitiva en ambientes en que el agua es el factor limitante, como por ejemplo desiertos o ambientes epífitos, con esto expuesto se llega a la hipótesis de que el K_c en este cultivo resultaría muy bajo al tener un mecanismo fisiológico adaptado para conservar y aprovechar eficazmente el agua, no obstante, en condiciones de capacidad de campo su valor puede incrementarse.

El objetivo del presente estudio fue determinar *in situ* el valor de K_c del cultivo de *Agave salmiana* en su etapa inicial de crecimiento, mediante la estimación de la ET_0 y la medición de la ET_c con el balance de entradas y salidas para las condiciones de la región, de esta manera para el mejor manejo y riego del cultivo de maguey se tendrá un dato preciso que será la base para determinar las demandas hídricas de acuerdo a las condiciones climáticas en tiempo real, con lo que se tendrá el manejo adecuado y mayor aprovechamiento del agua, beneficiando el desarrollo de este cultivo del que se ha observado un elevado potencial agrícola en la región.

Materiales y métodos

El desarrollo del experimento se realizó en el Instituto Tecnológico Superior de Huichapan (ITESHU) ubicado en la latitud $20^{\circ}10'09''$ y longitud $99^{\circ}32'32''$ a la elevación de 2,172 msnmm, perteneciente a una zona con precipitación media normal de 394.9 mm y temperatura media normal de 15.6°C según el Servicio Meteorológico Nacional (SMN, 2017), por lo que la clasificación climática que le corresponde es Bs (seco con lluvias en verano) según el trabajo realizado por Koppen modificado por Enriqueta García (García, 1964).

Se utilizaron 7 plantas de maguey de un año de edad, reproducidas por germinación de semilla, provenientes del vivero de los Centros de Bachillerato Técnico Agropecuario (CEBTA 197), en las cuales la altura osciló entre 13 y 17 cm, teniendo desde 5 hasta 9 hojas modificadas también llamadas pencas (Gómez-Aíza y Zuria, 2010), mismas que, con el lisímetro de pesada, se colocaron en la parcela con el cultivo de agave en macetas de 25 cm de diámetro. El suelo de la parcela es de textura arcillosa, según el análisis de suelo realizado en el laboratorio del Colegio de Posgraduados (COLPOS) el cual se caracteriza por tener Capacidad de Campo (CC) de 37% y Punto de Marchitamiento Permanente (PMP) de 19%, además, su conductividad hidráulica o Infiltración básica (I_b) es de 1.7 cm/h y Densidad Aparente (D_a) de 1.29 g/cm^3 .

Identificación del K_c

El coeficiente del cultivo (K_c) integra las diferencias de la evaporación desde el suelo y la tasa de transpiración entre el cultivo y la superficie del pasto de referencia (Allen, 2006). El coeficiente único K_c incorpora las características del cultivo y los efectos promedio de la evaporación desde el suelo, éste se utiliza para una adecuada planificación del riego y propósitos de manejo, para la definición de calendarios básicos



de riego y para la mayoría de los estudios de balance hídrico agrícola; los valores de K_c son diferentes de acuerdo con los ciclos fenológicos de cada cultivo. Debido a que la evaporación es un componente de la evapotranspiración del cultivo, los factores que afectan la evaporación en el suelo también afectaran el valor del K_c . Estos factores son: el tipo de cultivo, el clima, la evaporación del suelo y las etapas de crecimiento.

El K_c se identificó mediante el cociente entre la evapotranspiración del cultivo (ET_c) y la evapotranspiración potencial o de referencia (ET_0) según se muestra en la expresión 1, la primera se calculó con los pesos inicial y final por periodos realizando el balance de entradas y salidas que comprende principalmente; el peso inicial de la maceta más el peso del agua de riego, más la precipitación menos el peso del agua percolada (drenaje) y el déficit corresponde a la propia evapotranspiración del conjunto suelo y planta (ET_c). La segunda se estimó a partir del método de Penman-Monteith:

$$K_c = ET_c / ET_0 \quad (1)$$

Donde

K_c = Coeficiente del cultivo (adimensional),

ET_c = Evapotranspiración real o del cultivo (mm), y

ET_0 = Evapotranspiración potencial o de referencia (mm).

Evapotranspiración del cultivo (ET_c)

La ET_c se refiere a la evapotranspiración de un cultivo que se desarrolla libre de enfermedades, con buena fertilización, que crece en un campo extenso bajo condiciones óptimas de humedad en el suelo, el cual alcanza su producción total bajo ciertas condiciones climáticas (Allen, 2006), también se define como el consumo de agua que realizan cada uno de los cultivos en condiciones específicas de humedad, suelo y de clima.

Para la identificación de la ET_c , desde el día 08 de abril al 18 de agosto, las plantas de maguey se tuvieron en condiciones de Capacidad de Campo (CC) para lo que fueron regadas periódicamente con cantidades variables de agua hasta alcanzar tal punto indicado por el tensiómetro, se tomó en cuenta la percolación mostrada después de 24 horas al agregar el riego, dicha percolación fue del 50% en algunos casos por lo que el volumen de riego se ajustó en éstos. En algunos periodos no se agregó riego debido a la entrada de agua por precipitación.

Mediante el uso de una báscula digital modelo VINS-40, equipada con sensor de un gramo de precisión, de pesaje automático y de 40 kg de capacidad, se registró el peso en los periodos correspondientes de cada una de las plantas para determinar la ET_c con la fórmula del balance hídrico (expresión 2), en la que se consideró la densidad del agua de 1 g/cm^3 para transformar el peso a volumen, dado que en el sistema las entradas y salidas son exclusivamente volúmenes de agua.

$$ET_c = [(P_i + R + P - D - P_f) / (D_a * A)] * 10 \quad (2)$$



Donde;

ET_c = Evapotranspiración, en mm

P_i = peso inicial, en g

R = aporte de agua de riego, en g,

P = precipitación, en g,

D = agua perdida por drenaje, en g,

D_a = Densidad del agua, en g/cm^3 ,

P_f = Peso final, en g, y

A = área de la maceta, en cm^2 .

Evapotranspiración potencial (ET_0)

Se basa en que la superficie de referencia es un cultivo hipotético de pasto, con la altura asumida de 0.12 m, la resistencia superficial fija de 70 s/m y el albedo de 0.23 m. La superficie de referencia es muy similar a una superficie extensa de pasto verde, bien regada, de altura uniforme, creciendo activamente y dando sombra totalmente al suelo. La resistencia superficial fija de 70 s/m implica un suelo moderadamente seco que recibe riego con frecuencia semanal aproximadamente (Allen, 2006). También se define como la cantidad de agua que requieren los cultivos para su transpiración y la que se evapora desde el suelo.

Para la identificación de la ET_0 se utilizó el método Penman-Monteith (expresión 3).

$$ET_0 = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} U_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34U_2)} \times 100 \quad (3)$$

Dónde:

ET_0 = Evapotranspiración de referencia, en mm/día;

R_n = Radiación neta en la superficie del cultivo, en $MJ/m^2/día$;

G = Flujo de calor de suelo, en $MJ/m^2/día$;

T = Temperatura media del aire a 2 m de altura, en $°C$;

U_2 = Velocidad del viento a 2 m de altura, en m/s;

e_s = Presión de vapor a saturación, en kPa;

e_a = Presión real del vapor, en kPa;

Δ = Pendiente de la curva de presión de vapor, en $kPa/°C$; y

γ = Constante psicrométrica que se obtiene de tablas, en $kPa/°C$.

Se aplicó este método para el cálculo diario de los valores de ET_0 , luego se obtuvo el acumulado por periodo.



Resultados y Discusión

Para la identificación de K_c en el cultivo de maguey pulquero se tomaron las variables climatológicas de la Estación Meteorológica Automática (EMA) de Huichapan Hidalgo ubicado a la latitud $20^{\circ}23'19''$ y longitud $99^{\circ}39'50''$, a la elevación de 2,200 msnmm, que opera el Instituto Nacional de Investigación Forestal Agrícola y Pecuaria (INIFAP).

El K_c se calculó para cada periodo desde el 08 de abril al 18 de agosto de 2017 mediante la expresión 2. De acuerdo con el enfoque del coeficiente del cultivo, la evapotranspiración del cultivo ET_c se calcula como el producto de la evapotranspiración del cultivo de referencia, ET_0 y el coeficiente del cultivo K_c . La ET_c se calculó mediante la diferencia entre los pesos inicial y final mdidos en cada periodo de tiempo, los resultados se muestran en la Tabla 1.



Tabla 1. Registro de pesos inicial y final por periodo obtenidos en el lisímetro de pesada

Número de planta	Pesos (kg)														
	8-12 ABR	13-20 ABR	21-27 ABR	28 ABR-05 MAY	6-12 MAY	12-20 JUN	21-26 JUN	27 JUN-03 JUL	4-12 JUL	13-18 JUL	19-25 JUL	26 JUL-01 AGO	02-08 AGO	09-15 AGO	16-18 AGO
1	13.50	13.40	13.50	13.40	14.20	16.50	15.75	16.50	17.00	16.00	15.75	16.00	16.50	15.43	15.55
2	13.50	13.40	13.50	13.90	14.70	17.75	17.00	17.75	17.50	17.25	16.50	16.75	16.75	16.68	16.54
3	12.20	11.80	12.20	11.20	12.50	14.00	14.00	14.50	14.75	14.25	14.00	14.25	14.75	13.55	13.68
4	11.40	11.20	11.40	11.20	12.00	14.00	14.00	15.25	15.00	14.50	13.75	13.75	14.00	13.38	13.70
5	12.80	12.60	12.80	12.30	13.70	16.00	15.75	16.50	16.50	16.00	15.00	15.25	15.50	15.41	15.29
6	12.0	11.80	12.00	12.30	13.20	15.00	15.50	17.25	16.00	15.50	14.50	14.75	15.00	14.85	14.78
7	11.40	11.20	11.40	11.70	12.50	14.00	14.00	15.75	15.50	15.00	14.00	14.00	14.25	13.64	13.73

Para el cálculo de la ET_c se registró el peso de cada una de las macetas y se utilizó la fórmula del balance hídrico (expresión 2) en la que se consideró la densidad del agua de 1 g/cm^3 , así como el área de la maceta, siendo del orden de 490.875 cm^2 , dado que en el sistema las entradas y salidas son volúmenes de agua que comprenden: el riego, la precipitación, el drenaje y la propia evapotranspiración. En el cuadro 2 se muestra el resultado de esta variable; se nota como toma valores disímboles que muestran la variabilidad de las condiciones edafoclimáticas de la región, además de los diferentes tamaños en los intervalos de tiempo. En la Figura 1, se observa el comportamiento por periodo indicado de esta variable así como de la Et_0 . En esta figura, no se observa una tendencia creciente dado que el periodo de tiempo del experimento es una fracción de su ciclo completo que oscila en los 70 meses.



Tabla 2. Evapotranspiración del cultivo (ETc) en mm por periodo

Número de planta		13-20 ABR	21-27 ABR	28 ABR-05 MAY	6-12 MAY	12-20 JUN	21-26 JUN	27 JUN-03 JUL	4-12 JUL	13-18 JUL	19-25 JUL	26 JUL -01 AGO	02-08 AGO	09-15 AGO	16-18 AGO
1	Peso final	13.4	13.5	13.4	14.2	16.5	15.8	16.5	17.0	16.0	15.8	16.0	16.5	15.4	15.6
	Peso inicial	15.8	14.9	15.0	14.9	16.9	18.1	18.7	17.6	17.3	17.0	16.1	17.6	18.7	15.9
2	Peso final	13.4	13.5	13.9	14.7	17.8	17.0	17.8	17.5	17.3	16.5	16.8	16.8	16.7	16.5
	Peso inicial	15.8	14.9	15.0	15.4	17.4	19.4	19.3	18.2	17.7	18.3	16.9	18.3	18.9	17.2
3	Peso final	11.8	12.2	11.2	12.5	14.0	14.0	14.5	14.8	14.3	14.0	14.3	14.8	13.6	13.7
	Peso inicial	14.5	13.3	13.7	12.7	15.2	15.6	17.0	15.3	15.1	15.3	14.4	15.8	16.9	14.0
4	Peso final	11.2	11.4	11.2	12.0	14.0	14.0	15.3	15.0	14.5	13.8	13.8	14.0	13.4	13.7
	Peso inicial	13.7	12.7	12.9	12.7	14.7	15.1	16.1	15.4	15.2	15.5	14.1	15.3	16.2	14.4
5	Peso final	12.6	12.8	12.3	13.7	16.0	15.8	16.5	16.5	16.0	15.0	15.3	15.5	15.4	15.3
	Peso inicial	15.1	14.1	14.3	13.8	16.4	16.6	18.7	17.2	16.8	17.0	15.4	16.8	17.7	15.9
6	Peso final	11.8	12.0	12.3	13.2	15.0	15.5	17.3	16.0	15.5	14.5	14.8	15.0	14.9	14.8
	Peso inicial	14.3	13.3	13.5	13.8	15.9	16.6	17.9	17.8	16.3	16.5	14.9	16.3	17.2	15.3
7	Peso final	11.2	11.4	11.7	12.5	14.0	14.0	15.8	15.5	15.0	14.0	14.0	14.3	13.6	13.7
	Peso inicial	13.7	12.7	12.9	13.2	15.2	15.6	19.0	16.2	15.8	16.0	14.4	15.6	16.4	14.1



La ET_0 se calculó por el Método de Penman Monteith en el que se utiliza la expresión 3. Para dicho método se requirieron las variables climatológicas de la EMA, tomadas del 08 de abril al 18 de agosto de 2017 siendo las temperaturas máximas y mínimas (T° máx. y T° min), la humedad relativa (HR), la velocidad media del viento (V_v) y la insolación (n); posteriormente con ayuda de la hoja de cálculo del software Excel se calcularon los parámetros de radiación neta (R_n), flujo de calor (G), temperatura media (T°), velocidad del viento (U_2), presión de vapor a saturación (e_s), presión real de vapor (e_a), pendiente de la curva de presión de vapor (Δ) y la constante psicrométrica (γ). De igual manera se determinó la radiación solar neta (R_{sn}), radiación de onda larga (R_{nl}), radiación solar (R_s). De las tablas del Boletín 56 de la FAO, se obtuvieron las variables de duración máxima de insolación en el día (M) y radiación extraterrestre (R_a). La ET_0 acumulada resultante por periodo se muestra en la tabla 3. En este caso las variaciones que muestra la ET_0 , se deben a la variabilidad de las condiciones climáticas observadas en la estación climatológica y representa teóricamente el potencial de evapotranspiración.

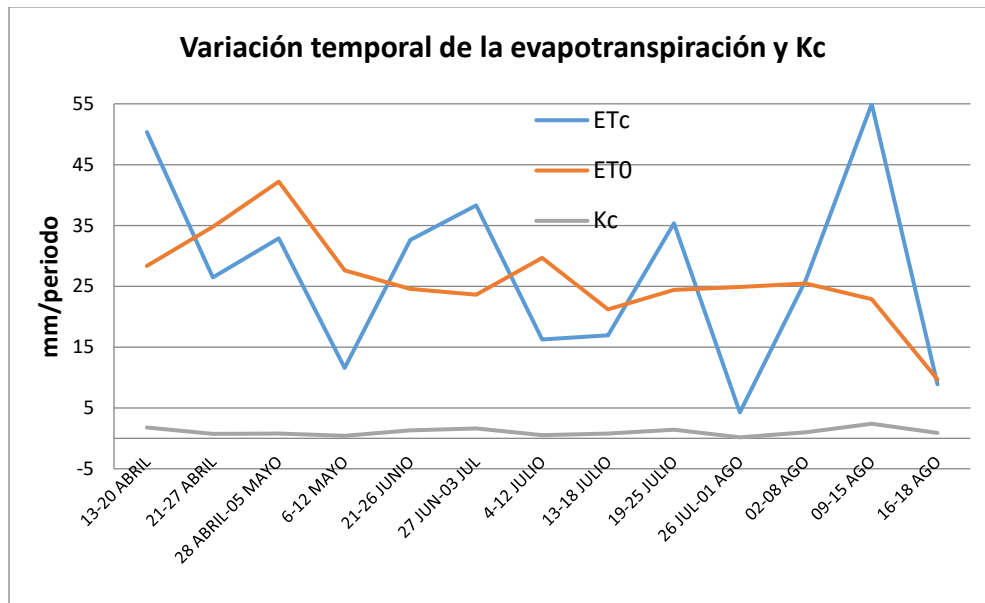


Figura 1. Histograma de las principales variables utilizadas para identificar Kc

Tabla 3. Evapotranspiración de referencia (ET_0) por periodo calculada a partir del método de Penman Monteith

		ET_0 (mm)													
8-12 ABR	13-20 ABR	21-27 ABR	28 ABR-05 MAY	6-12 MAY	12-20 JUN	21-26 JUN	27 JUN-03 JUL	4-12 JUL	13-18 JUL	19-25 JUL	26 JUL -01 AGO	02-08 AGO	09-15 AGO	16-18 AGOS	
19.79	28.35	34.75	42.21	27.63	160.06	24.55	23.61	29.65	21.21	24.43	24.86	25.49	22.88	9.69	



Finalmente, se determinó el K_c mediante la expresión 1, relacionando la ET_0 calculada con las variables climatológicas de la EMA y la ET_c determinada por la fórmula de balance de entradas y salidas, el K_c resultante se muestra en la tabla 4. Los valores extremos de 0.176 y 2.98, muestran cómo cambia la evapotranspiración del cultivo incluso en la unidad experimental homogénea, por lo que en sus aplicaciones, se debe tener en cuenta que este parámetro engloba un conjunto de factores que ocurren en el agroecosistema y realmente es una aproximación que integra las interacciones agua-suelo-planta-atmósfera.

Tabla 4. K_c por periodo del cultivo de maguey

Número de planta	Periodos de tiempo entre cada observación															
	8-12 ABR	13-20 ABR	21-27 ABR	28 ABR-05 MAY	6-12 MAY	12-20 JUN	21-26 JUN	27 JUN-03 JUL	4-12 JUL	13-18 JUL	19-25 JUL	26 JUL -01 AGO	02-08 AGO	09-15 AGO	16-18 AGO	PROMEDIO
1	0.7	1.7	0.8	0.8	0.5	0.0	2.0	1.9	-0.1	1.3	1.1	0.1	0.9	2.9	0.8	1.0
2	0.4	1.7	0.8	0.5	0.5	----	2.0	1.4	-0.2	0.4	1.5	0.1	1.3	2.0	1.3	0.9
3	0.2	1.9	0.6	1.2	0.2	0.1	1.4	2.1	-0.2	0.8	1.1	0.1	0.9	3.0	0.7	0.9
4	0.6	1.8	0.8	0.8	0.5	0.1	0.9	0.8	-0.4	0.7	1.5	0.3	1.1	2.5	0.3	0.8
5	0.4	1.8	0.8	1.0	0.1	0.0	0.7	1.9	-0.1	0.8	1.7	0.1	1.1	2.0	1.3	0.9
6	0.6	1.8	0.8	0.6	0.5	0.1	0.9	0.6	0.5	0.8	1.7	0.1	1.1	2.1	1.2	0.8
7	0.7	1.8	0.8	0.6	0.5	0.1	1.4	2.8	0.4	0.8	1.7	0.3	1.1	2.5	0.8	1.1
	PROMEDIO															0.9

---Dato perdido.

Los promedios de K_c por planta resultaron entre 0.761 y 1.053 con el valor promedio general de 0.903 correspondientes al periodo entre el 8 de abril y el 18 de agosto, este valor es similar al de algunos cultivos de importancia agronómica, como hortalizas y cereales, que reporta el Boletín 56 de la FAO. En la figura 2, se observa gráficamente el comportamiento de la media y la desviación estándar de los valores calculados del coeficiente del cultivo, las oscilaciones que muestra la figura reflejan los efectos de las condiciones edafoclimáticas en la unidad experimental.

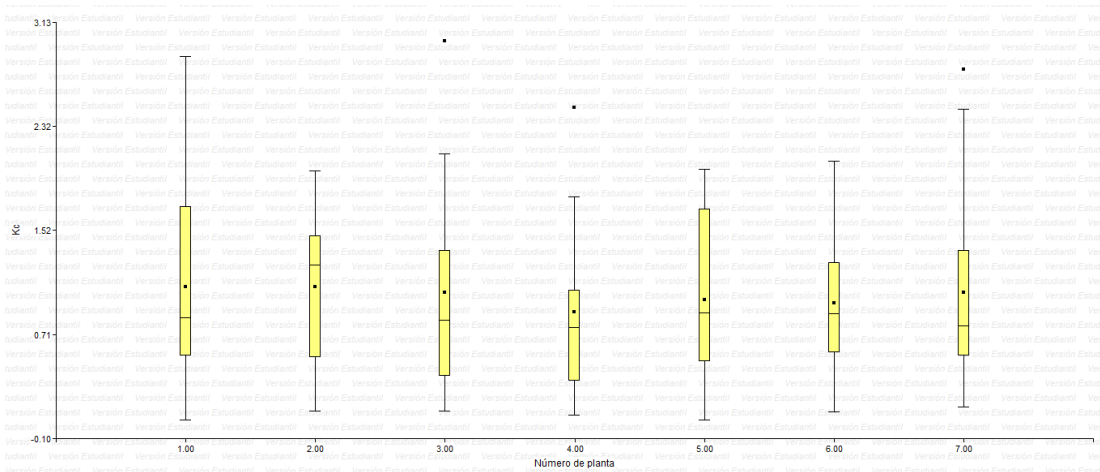


Figura 2. Representación de los estadísticos (media y desviación estándar) del Kc en las plantas de agave

Conclusiones

Se identificó el Kc promedio del cultivo de maguey *Agave salmiana* en condiciones *in situ*, no estándar, y resultó de 0.903 que corresponde a su etapa inicial de crecimiento entre los meses 13 y 17. Este valor muestra como un cultivo que convencionalmente se ha explotado en condiciones rudimentarias, cuando se somete al manejo agronómico con riego, tiene requerimientos hídricos similares a los de hortalizas y cereales. No obstante, por su metabolismo del tipo CAM, en condiciones naturales esta especie ha generado mecanismo de adaptación principalmente a climas áridos, donde la disponibilidad de agua es limitada.

Se utilizó el método de Penman Monteith para estimar con precisión la evapotranspiración potencial, sin embargo, este modelo es sensible debido a que es robusto en cuanto al número de variables y parámetros que utiliza, para lo que requiere alimentarse con observaciones de los elementos del clima que ocurren dentro de la parcela en donde se desarrolla el cultivo.

Se recomienda seguir con la investigación del coeficiente del cultivo para conocer sus valores en todo su ciclo; con ello se contribuye al uso eficiente del agua en su aplicación a la programación del riego para el cultivo de *Agave salmiana* que tiene potencial agrícola en varios estados del País.

Agradecimientos

Este trabajo se realizó con el apoyo del Instituto Tecnológico Superior de Huichapan y la Universidad Nacional Autónoma de México.



Referencias Bibliográficas

- Akanda, A. R., Rahman, M. S., Islam, M. S., & Mila, A. J. (2017). Crop coefficient of a popular potato variety in Bangladesh. *Bangladesh Journal of Agricultural Research*, 42(1), 67–76.
- Allen, R. G. (2006). *Evapotranspiración del cultivo: guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos* (Vol. 56). Food & Agriculture Org.
- Bastidas-Obando, E., Bastiaanssen, W. G. M., & Jarman, C. (2017). Estimation of transpiration fluxes from rainfed and irrigated sugarcane in South Africa using a canopy resistance and crop coefficient model. *Agricultural Water Management*, 181, 94–107.
- Castro Popoca, M., Águila Marín, F. M., Quevedo Nolasco, A., Kleisinger, S., Tijerina Chávez, L., & Mejía Sáenz, E. (2008). Sistema de riego automatizado en tiempo real con balance hídrico, medición de humedad del suelo y lisímetro. *Agricultura Técnica En México*, 34(4), 459–470.
- Delgado, G. (2012). Determinación de la lámina de riego para el cultivo de la Albahaca Genovesa (*Ocimum basilicum* "Genovese".) a partir de la variación del coeficiente multiplicador de la evapotranspiración. Tesis Ingeniero Agrícola, Universidad del Valle, Santiago de Cali.
- García, E. (1964). Modificaciones al sistema de clasificación climática de Koppen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana) (p. 98).
- García-Herrera, E. J., Méndez-Gallegos, S. de J., & Talavera-Magaña, D. (2010). El género *Agave* spp en México: principales usos de importancia socioeconómica y agroecológica. *Revista Salud Pública y Nutrición*, Special Ed, 5, 109–129.
- Gardiazabal, F., Magdahl, C., Mena, F., & Wilhelmy, C. (2003). Determinación del Coeficiente de Cultivo (K_c) para *Paltos cv. hass* en Chile. En *Proceedings V World Avocado Congress (Actas V Congreso Mundial del Aguacate)* (pp. 329–334).
- Geydan, T. D., & Melgarejo, L. M. (2005). Metabolismo ácido de las crasuláceas. *Acta Biológica Colombiana*, 10(2), 3.
- Giménez, L., & García-Petillo, M. (2011). Evapotranspiración de cultivos de verano para dos regiones climáticamente contrastantes de Uruguay. *Agrociencia Uruguay*, 15(2), 100–108.



- Gómez-Aíza, L., & Zuria, I. (2010). Aves visitantes a las flores del maguey (Agave salmiana) en una zona urbana del centro de México. *Ornitología Neotropical*, 21, 17–30.
- Sistema Meteorológico Nacional (SMN). (2017). Información Climatológica por Estado. Retrieved June 25, 2017, from <http://smn.cna.gob.mx/es/informacion-climatologica-ver-estado?estado=hgo>
- Puebla, J. H. (2017). Coeficientes de cultivo (Kc) para la determinación de la necesidad de agua en campos deportivos. *Revista Ingeniería Agrícola*, 5(2), 3–9.
- Tyagi, N. K., Sharma, D. K., & Luthra, S. K. (2000). Determination of evapotranspiration and crop coefficients of rice and sunflower with lysimeter. *Agricultural Water Management*, 45(1), 41–54.
- Shahrajabian, M. H., Soleymani, A., Ogbaji, P. O., & Xue, X. (2017). Evaluation of Crop Coefficient, Cumulative and Dynamic Evapo-Transpiration of Winter Wheat under Deficit Irrigation Treatments in Weighing Lysimeter in Beijing, China. *Applied Science and Innovative Research*, 1(1), 38.
- Zafra, P. D. G., Pérez, D. L., & Baena, N. R. (2014). Estimación de la evapotranspiración del cultivo de la fresa basada en pronósticos meteorológicos. Validación con datos experimentales. *Instituto de Investigación Y Formación Agraria Y Pesquera*, 1(1), 10.