

RIEGO Y DRENAJE

ARTÍCULO ORIGINAL

Coeficientes de cultivo (K_c) para la determinación de la necesidad de agua en campos deportivos

Crops coefficients (K_c) for determination of water requirement in sport fields

Dr.C. Julián Herrera Puebla, Dr.C. Felicita González Robaina, Dr.C. Teresa López Seijas

Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola, Boyeros, La Habana, Cuba.

RESUMEN. Entre los principales problemas que enfrenta el desarrollo de un campo de golf se encuentra la alta demanda de agua para riego del mismo con vistas a mantener las condiciones de calidad y estéticas del césped para el juego; una de las condiciones que se impone para una acertada demanda de agua para riego es el realizar un balance hídrico de calidad en que se tenga en cuenta la demanda de agua del césped cultivado, para lo cual es imprescindible contar con coeficientes de cultivo (K_c) apropiados. A partir de resultados de investigaciones realizadas en Cuba con especies de pastos en parcelas experimentales y lisímetros donde se determinó el consumo de agua en la Bermuda Cruzada No 1 y el Saca sebo (*Paspalum notatum*) se obtuvieron coeficientes ajustados a la relación entre el consumo del cultivo (ET_c) y la evapotranspiración de referencia (ET_o) calculada según la fórmula de Penman-Montheit. Estos resultados permiten proponer coeficientes diferenciados para los tee y green y el fairway y rough; el coeficiente promedio para las dos primeras zonas fue de 0,93, mientras que para las otras dos, de menos requerimientos de agua, fue de 0,65.

Palabras clave: riego, golf, evapotranspiración del césped.

ABSTRACT. One of the main problem to solve in the developing of a new Golf course, is the high water demand they needs for irrigation, in order to maintain a good turfgrass. An accurate estimation of golf course irrigations requirement request a water balance that take into account the properly turfgrass water requirement, and in these sense, it is necessary a grass crop coefficient (K_c) properly determined. Using experimental results developed in Cuba, where it was determined the actual evapotranspiration rates of Cross Bermuda N° 1 (field plots), and potential evapotranspiration (lysimeters) in *Paspalum notatum*; were calculated turf crop coefficients adjusted at the rate between grass water consumption (ET_c) and the reference evapotranspiration calculated according with the FAO Penman-Montheit equation. The results found, permit to recommend differentiated K_c for different areas of the golf course taking into account the differences in turf management, and in these way, it was obtained average K_c for tees and greens 0.93 while for fairways and rough, areas with a lower water requirements a K_c 0.65 is recommended.

Keywords: Irrigation, golf courses, turf evapotranspiration.

INTRODUCCIÓN

En los últimos años la práctica del golf se ha ido incrementando de forma tal que para el año 2000 se estimaba que solo en los Estados Unidos de América existían 2000 campos de golf, 1100 de ellos localizados en el estado de la Florida (Mitchel, 2004)¹.

La literatura revisada, particularmente en los Estados Unidos de América, coincide en afirmar (Zoldoske, 2003²; Mitchel, 2004; Green, 2005; Vogt, 2009; entre otros) que uno de los problemas más apremiantes que enfrenta en la actualidad la

llamada “Industria del Golf” es el relacionado con la cantidad de agua demandada, y la eficiencia del riego.

Zoldoske (2003) y Vogt (2009) estiman que para el riego de los campos de golf se utilizan anualmente en los Estados Unidos de América 476 billones de galones de agua (1,8 km³) equivalente al 1,6% del agua total usada en el país (según datos de la Asociación Americana de Riego, citado por Vogt, 2009); mientras que solamente para el estado de la Florida, Mitchell (2004) ha

¹ MITCHELL, M. W.: Evaluation of the agricultural field scale irrigation requirement simulation (afsirs) in predicting golf course irrigation requirements with site-specific data. A Thesis Presented to The Graduate School of The University of Florida in Partial Fulfillment of The Requirements For The Degree of Master of Science, University Of Florida, 2004.

² ZOLDOSKE, D. F.: Improving golf course irrigation uniformity: A California case study. The Center for Irrigation Technology, 2003.

estimado en 172 billones de galones ($0,65 \text{ km}^3$) el consumo. De este modo, Vogt (2009), estima el consumo promedio anual de un campo de golf en el suroeste de los Estados Unidos en $333\,116 \text{ m}^3 \text{ año}^{-1}$, mientras que Mitchell (2004) para la Florida estima un consumo anual por campo de $503\,459 \text{ m}^3$ anuales, valor este último muy similar al calculado para la región occidental de Cuba (campo de golf de Varadero de $525\,840,7 \text{ m}^3 \text{ año}^{-1}$ (con una lluvia aprovechable de 65%) por Herrera y Martínez (2013)³.

Entre las soluciones planteadas para enfrentar estos altos pero necesarios consumos (en función de la estética y utilidad para el juego del campo), se pueden definir tres vías, que no son independientes una de la otra:

1. Uso de especies y/o variedades de césped adaptadas a cada lugar y que utilizando menos agua sean capaces de mantener una superficie adecuada para el juego (este aspecto se considera de tanta importancia que según Vogt (2009), la Asociación de Golf de los Estados Unidos ha situado un fondo de 18 millones de dólares para la obtención de nuevas variedades que cumplieran con el propósito antes mencionados).
2. Realizar un balance de agua anual preciso, acorde con metodologías establecidas y refrendadas por las leyes de cada estado (Mitchell, 2004; Green, 2005).
3. Definir estándares precisos de operación del sistema, en particular de la eficiencia de distribución del aspersor, la cual es obligatorio auditarla por técnicos acreditados al menos una vez cada tres años y presentar este certificado de auditoría al realizar los contratos de agua.

La vía 2, referida a la realización de un balance de agua preciso, requiere también de una metodología precisa con parámetros adecuados a cada región de cálculo, entre ellos el conocimiento de la Evapotranspiración de referencia (ET_o) y el coeficiente del cultivo (K_c).

En Cuba, la industria del Golf está en desarrollo y solo existe hasta el momento un campo que cubre los requerimientos internacionales de este deporte; por ello ante la perspectiva de incrementar el número de los mismos en un futuro, y dado las demandas de agua de estos campos, generalmente en competencia con el agua de uso doméstico; se requiere del conocimiento de estos parámetros para el cálculo de las demandas de agua para el riego de los mismos. Un estudio detallado de la Evapotranspiración de referencia para Cuba ha sido realizado por Solano *et al.* (2003a y 2003b⁴) basado en la ecuación de **Penman-Monteith** según lo reportado por Allen *et al.* (2006). Estos valores de ET_o pueden ser utilizados en la confección de las demandas de agua para cualquier región del país si se cuenta con los coeficientes de cultivo apropiados, lo cual constituye el objetivo de este trabajo.

MÉTODOS

Se realizó una revisión de la literatura sobre los estudios

de consumo de agua para especies de gramíneas pratenses realizados en Cuba y los coeficientes de cultivo de las mismas. Aun cuando estos estudios no fueron realizados para gramíneas utilizadas para césped, la similitud de especies y el hecho de que algunos de ellos se hayan realizado en lisímetros, indicaron la posibilidad de obtener coeficientes adaptables a las condiciones de césped existentes en los campos de golf.

También se revisó la literatura sobre consumo de agua en campos de golf en áreas de clima similar, particularmente la Florida (E.E.U.U.), Australia y Sudáfrica.

Revisión de la literatura

Dado que el césped del campo de golf tiene diferentes manejos en dependencia del área en que se planta, es lógico pensar que las demandas de agua y el manejo del riego por zonas sean diferentes, en este sentido, Grenn (2005) sugiere para el cálculo del balance de agua con mayor seguridad, en campos de golf de California, utilizar coeficientes diferentes para cada parte del campo de golf (*greens, tees, fairways y rough*). En su trabajo utilizó coeficientes de 0,8, 0,75, 0,75 y 0,65 para greens, tees, fairways y rough respectivamente. Aun cuando este autor no da una clara explicación porque utilizó coeficientes diferentes, su decisión parece lógica toda vez que a las hierbas de estas partes del campo se le dan manejos diferentes de corte y fertilización, lo cual influye en el consumo del agua.

Brown y Kopec (2000)⁵, señalan que la altura del césped es un factor que impacta el valor de K_c, añadiendo que las hierbas cortadas a mayor altura consumen un poco más de agua debido a que interactúan más efectivamente con el viento y absorben mayor radiación solar como resultado del incremento en el área foliar. Lo anterior pudiera parecer en contradicción con el uso de coeficientes de cultivo menores para el fairway y el rough, ya que en los mismos el césped puede tener una altura mayor, sin embargo, al no necesitar un riego tan frecuente como los tee y green, la humedad del suelo (generalmente el suelo del lugar) se deja descender hasta un valor más bajo, elemento este que contribuye de modo decisivo en el valor del coeficiente de cultivo (Allen *et al.*, 2006).

Al estudiar especies de césped para estación fría y caliente, Augustin (2000)⁶ señaló que los tipos de césped de estación caliente y como estos se manejan, contribuye con solo pequeñas diferencias a la cantidad de ET si la yerba crece activamente y tiene suficiente agua. Esto puntualiza que el ambiente (radiación solar recibida) es el factor controlador, no la especie de planta, siempre y cuando haya una cobertura continua que cubra toda la superficie del suelo.

Romero y Dukes (2009), al revisar la literatura sobre el consumo de agua de las hierbas para césped (tanto de estación cálida como fría) en los E.E.U.U concluyeron que el consumo de agua en los césped de estación cálida varía entre $0,8$ a $0,9 \text{ mm día}^{-1}$, asociados los altos consumos y altos valores de K_c a condiciones de buen suministro de agua, mientras que los más bajos valores

³ HERRERA, J; MARTÍNEZ, R.: Necesidades de riego y balance anual de agua para riego en Varadero Golf Club. Informe IAgri, 9 pp., (2013).

⁴ SOLANO, O.; MENÉNDEZ, C.; VÁZQUEZ, R.; MENÉNDEZ, J.: Zonificación de la evapotranspiración de referencia en Cuba. Atlas Agro meteorológico de Disponibilidades Hídricas para una Agricultura de Secano, Instituto de Meteorología. La Habana, Cuba, 2003b.

⁵ BROWN, P.; D. KOPEC: Converting reference evapotranspiration into turf water use. Turf Irrigation Management series No. 2. University of Arizona, College of Agriculture, Tucson, Arizona ag. Arizona.edu/pubs/water/AZ1195. pdf; 2000.

⁶ AUGUSTIN, B. J.: Water requirements of Florida turfgrasses. University of Florida, IFAS, Coop. Exten. Pub. EP-024. UF/IFAS, 2000.

a condiciones de estrés hídrico. Los coeficientes de cultivo para césped de estación cálida variaron entre 0,99 a 0,28.

Estos mismos autores Romero y Dukes (2009), realizaron una revisión de los coeficientes de cultivo para césped y encontraron una amplia variación, no solo debido a la diferencia de especies y humedad del suelo, sino también debido al método de determinación de la ETo utilizado como numerador en la determinación del Kc, lo cual concuerda con lo señalado por Allen *et al.* (2009), quienes plantearon que el Kc difiere según el método utilizado en el cálculo o la determinación de la ETo.

En Cuba no son numerosos los estudios sobre el consumo de agua de los pastos en general y no hay reportes publicados sobre las gramíneas de césped en particular. Para la Bermuda Cruzada No 1 y la Bermuda de Costa, este último utilizado como césped de región cálida en Norte América, Herrera y Herrera (1978) calcularon para los meses de enero a abril un consumo de agua diario promedio para estos meses de 4,14 y 4,28 mm día⁻¹ respectivamente, cuando las mismas fueron regadas al 85% de la capacidad de campo (Cc) en un suelo Ferralítico Rojo compactado y cortadas cada 45 días en la época de seca. Los coeficientes de cultivo, expresados como relación entre el consumo de agua real del pasto (ETr) determinado mediante balance hídrico y la evaporación del tanque evaporímetro clase A (Ev) fueron de 0,73 y 0,74 para Bermuda cruzada N° 1 y Bermuda de costa respectivamente.

Por su parte, Rey y Jiménez (1982), también con Bermuda cruzada N° 1, trabajando en lisímetros de compensación en la región de Güira de Melena (actual provincia de Artemisa), donde el pasto mantuvo un suministro constante de agua para mantener el suelo a capacidad de campo, fertilización adecuada y cortes cada 45 días; obtuvieron que la evapotranspiración máxima anual (promedio de

tres años) fue de 1629,8 mm año⁻¹ con un promedio diario anual de 4,47 mm día⁻¹ y picos máximos diarios de 5,99 y 6,11 en los meses de abril y junio respectivamente. El valor más bajo de consumo obtenido por estos autores ocurrió en noviembre y fue de 2,88 mm día⁻¹.

Estos autores encontraron un coeficiente de cultivo, calculado como la relación entre la evapotranspiración obtenida en el lisímetro (ETm, evapotranspiración máxima, según los autores) y la evaporación del tanque evaporímetro clase A (E_{tanque}), de 0,82 promedio anual para tres años con un valor máximo de 0,96 (valor mayor) en la tercera decena de julio y 0,66 (valor menor) en noviembre.

Herrera *et al.* (1982), en parcelas regadas al 85-90% de la capacidad de campo en suelo Ferralítico Rojo compactado en la zona norte de la Habana (Estación de Pastos Niña Bonita), también en Bermuda cruzada N° 1, obtuvieron un consumo anual de 1158,6 mm con los mayores valores correspondiendo al mes de julio y agosto (4,55 y 5,68 mm día⁻¹) y los menores al mes de febrero (1,66 mm día⁻¹). El mayor valor de Evapotranspiración y coeficiente de cultivo durante los meses de seca, se obtuvo en el mes de abril cuando el cultivo consumió 127,2 mm mes⁻¹ y la relación ETc/E_{tanque} fue de 0,69.

Bernal (1996), con el fin de obtener la Evapotranspiración de referencia (ETo), utilizó el sacasebo (*Paspalum notatum*) plantado en lisímetros de drenaje libre en la región sur (Alquizar) de la actual provincia de Artemisa. En este caso el pasto se mantuvo segado siempre a una altura no mayor de 10 cm y la humedad se mantuvo en el suelo a capacidad de campo; la ETo se obtuvo por el método de balances hídrico teniendo en cuenta el agua recibida en el lisímetro (2 x 2 x 2 m) como riego o lluvia y la drenada.

La Tabla 1 muestra los valores obtenidos por Bernal (1996)⁷ en su estudio sobre la Evapotranspiración de referencia en lisímetros utilizando césped de *Paspalum notatum*.

TABLA 1. Valores diarios y mensuales de Evaporación (Ev) y Evapotranspiración determinados según diferentes métodos para *Paspalum notatum* (sacasebo, Tomado de Bernal, 1996)

| Mes | Evaporación | | Evaporación | | ETp Penman (ETp) | | ETo medida en el | |
|-------------------------------|---------------------------|---------|----------------------------------|---------|------------------|---------|------------------|---------|
| | Evaporímetro Clase A (Ev) | | Evaporímetro Tipo Colorado (Evc) | | | | lisímetro. (ETo) | |
| | Diaria | Mensual | Diaria | Mensual | Diaria | Mensual | Diaria | Mensual |
| Enero | 3,7 | 113,1 | 2,5 | 76,8 | 2,9 | 88,3 | 2,8 | 86,8 |
| Febrero | 4,2 | 117,6 | 3,2 | 89,8 | 3,6 | 100,8 | 3,6 | 100,8 |
| Marzo | 5,8 | 178,2 | 4,1 | 127,1 | 5,0 | 153,4 | 4,3 | 133,3 |
| Abril | 7,2 | 216,0 | 5,1 | 153,0 | 6,3 | 190,5 | 6,0 | 180,0 |
| Mayo | 6,9 | 213,9 | 5,0 | 155,0 | 6,2 | 192,2 | 5,8 | 181,3 |
| Junio | 6,3 | 190,5 | 4,9 | 147,0 | 5,5 | 165,0 | 5,4 | 162,0 |
| Julio | 5,8 | 179,8 | 4,4 | 138,0 | 5,1 | 159,7 | 5,2 | 156,6 |
| Agosto | 6,0 | 184,4 | 4,7 | 145,7 | 5,3 | 165,9 | 5,2 | 161,2 |
| Septiembre | 5,2 | 156,0 | 4,0 | 121,5 | 4,4 | 133,5 | 4,5 | 135,0 |
| Octubre | 4,9 | 151,9 | 3,6 | 110,0 | 4,1 | 127,1 | 4,2 | 130,2 |
| Noviembre | 4,3 | 130,5 | 3,0 | 90,0 | 3,7 | 109,5 | 3,9 | 117,0 |
| Diciembre | 4,6 | 141,0 | 3,0 | 91,4 | 3,7 | 113,1 | 4,0 | 124,0 |
| Promedio diario y total anual | 5,4 | 1972,9 | 4,0 | 1445,3 | 4,7 | 1699,0 | 4,6 | 1668,2 |

⁷ BERNAL, P. L.: Measured and Calculated Evapotranspiration in South Havana, Cuba, Proceedings of the International Conference in Evapotranspiration and Irrigation Scheduling. ASAE/ Irrigation Assoc./ICID, pp: 924-927, 1996.

Según Bernal (1996), el valor total anual de consumo del césped en el lisímetro fue (promedio de dos años) de 1660,8 mm año⁻¹ y los mayores valores mensuales fueron para los meses de abril y mayo con 180 y 181 mm mes⁻¹ respectivamente; como puede observarse, en este trabajo, a diferencia de lo reportado por Rey y Jiménez (1982) y Herrera *et al.* (1982), trabajando con Bermuda Cruzada No. 1 en lisímetros y parcelas respectivamente los mayores valores mensuales corresponden a meses de la estación seca. El valor total anual fue muy similar al obtenido por Rey y Jiménez (1982) de 1629,8 mm año⁻¹.

Los coeficientes de cultivo obtenidos por Bernal (1996) son los primeros reportados en el país donde se compara el consumo del césped (en lisímetro) mantenido a una altura del pasto más cercana a la que se mantiene en un tee o green de

un campo de golf. También estos resultados son los primeros donde se obtuvieron Kc relacionados con la evapotranspiración potencial (ETp) calculada según la ecuación de Penman modificada.

En la Tabla 2 se presentan las relaciones (coeficientes) obtenidas entre las diferentes medidas. En la misma puede observarse una diferencia entre 28 a 11% entre los Kc calculados utilizando el tanque evaporímetro Clase A o la evapotranspiración calculada por la ecuación de Penman modificada. En este sentido, Allen *et al.* (2006) señalan que “aunque el tanque evaporímetro responde de una manera similar a los mismos factores climáticos que afectan la transpiración del cultivo, varios factores producen diferencias significativas en la pérdida de agua de una superficie libre evaporante y de una superficie cultivada.

TABLA 2. Relaciones entre la ETo y la evaporación en dos tipos de tanques evaporímetros, la ETo y la ETp según la fórmula de Penman modificada y coeficiente del tanque clase A/ETp Penman (según datos de Bernal, 1996)

| Mes | ETo/EV | | ETo/EVc | | ETo/ETp | | ETp/EV | |
|------------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|--------|---------|
| | Diaria | Mensual | Diaria | Mensual | Diaria | Mensual | Diaria | Mensual |
| Enero | 0,76 | 0,77 | 1,14 | 1,13 | 0,97 | 0,98 | 0,78 | 0,77 |
| Febrero | 0,86 | 0,86 | 1,13 | 1,12 | 1,00 | 1,00 | 0,86 | 0,86 |
| Marzo | 0,74 | 0,75 | 1,05 | 1,05 | 0,86 | 0,87 | 0,86 | 0,75 |
| Abril | 0,83 | 0,83 | 1,18 | 1,18 | 0,95 | 0,94 | 0,88 | 0,83 |
| Mayo | 0,84 | 0,85 | 1,16 | 1,17 | 0,94 | 0,94 | 0,90 | 0,85 |
| Junio | 0,86 | 0,85 | 1,10 | 1,10 | 0,98 | 0,98 | 0,87 | 0,85 |
| Julio | 0,90 | 0,87 | 1,18 | 1,13 | 1,02 | 0,98 | 0,88 | 0,87 |
| Agosto | 0,87 | 0,87 | 1,11 | 1,11 | 0,98 | 0,97 | 0,88 | 0,87 |
| Septiembre | 0,87 | 0,87 | 1,13 | 1,11 | 1,02 | 1,01 | 0,85 | 0,87 |
| Octubre | 0,86 | 0,86 | 1,17 | 1,18 | 1,02 | 1,02 | 0,84 | 0,86 |
| Noviembre | 0,91 | 0,90 | 1,30 | 1,30 | 1,05 | 1,07 | 0,86 | 0,90 |
| Diciembre | 0,87 | 0,88 | 1,33 | 1,36 | 1,08 | 1,10 | 0,80 | 0,88 |
| Promedio | 0,85 | 0,85 | 1,16 | 1,15 | 0,98 | 0,98 | 0,86 | 0,85 |

La reflexión de la radiación solar del agua en el tanque puede ser diferente del 23% asumido para el cultivo de referencia. El almacenaje de calor dentro del tanque puede ser apreciable y puede causar una significativa evaporación durante la noche mientras que la mayoría de los cultivos transpiran solamente durante el día. También se distinguen diferencias en la turbulencia, temperatura y humedad del aire que se encuentran inmediatamente sobre estas dos superficies. La transferencia de calor a través de las paredes del tanque también afecta el balance energético”. Lo anterior explica las diferencias en el Kc calculados cuando se utiliza la E_{tanque} o la ETo según la ecuación de Penman modificada.

La Figura 1 muestra la relación entre los consumos promedios diarios mensuales determinados por Rey y Jiménez (1982), Herrera *et al.* (1982) y Bernal (1996). En la misma puede observarse la poca diferencia entre los valores de Bernal (1996) y Rey y Jiménez a pesar de trabajar con especies y periodos de corte diferentes pero en condiciones en que la humedad del suelo no fue limitante; mientras que para el período de seca se puede observar gran diferencia con

los valores de Herrera *et al.* (1982), quienes impusieron un ligero estrés hídrico en el césped. En la época de lluvias, la diferencia entre los valores de consumo diario de los trabajos citados fue mínima, producto del efecto de la lluvia que al complementar el riego hace desaparecer el estrés por falta de humedad del suelo.

Como se señaló con anterioridad para dos especies de Cynodon en condiciones similares de humedecimiento y manejo, Herrera y Herrera (1978) encontraron una diferencia de consumo diario de solo 0,14 mm, y la Figura 1 muestra que en condiciones de humedad no limitante (época de lluvias), el consumo es muy similar al comparar dos especies bien contrastantes como Paspalum y Cynodon.

Lo anterior indica que al nivel de conocimiento actual sobre el consumo de agua por las gramíneas utilizadas para césped en Cuba y en espera de resultados más específicos sobre las especies actualmente manejadas en el desarrollo de la “industria del golf” en el país, es posible, utilizar los coeficientes de cultivo de estas hierbas en el cálculo de la demanda de agua para el riego de campos de golf.

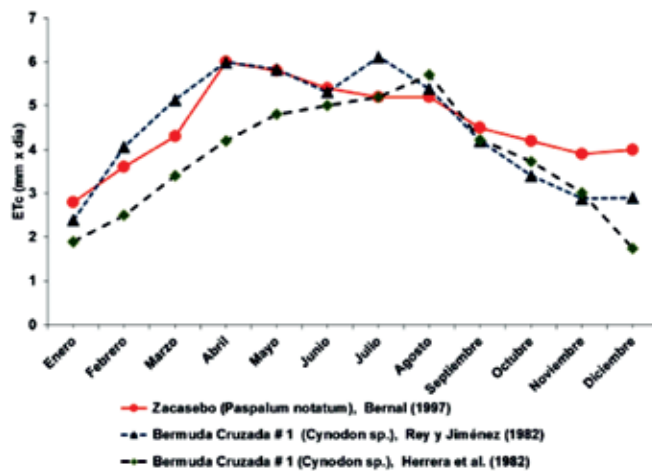


FIGURA 1. Variación mensual del promedio diario de ETc en Bermuda Cruzada No1 en lisímetro y campo y de sacasebo en condiciones de lisímetro.

Obtención de los coeficientes de cultivo para césped

Teniendo en cuenta que tanto Rey y Jiménez (1982) como Herrera *et al.* (1982) obtuvieron coeficientes relacionados con la Evaporación del tanque clase A y que en la actualidad, los coeficientes de la mayor parte de los cultivos agrícolas han sido transformados a coeficientes de cultivo basados en la ETp calculada por la fórmula de Penman-Monteith (Zamora *et al.*, 2014) con el fin de poder utilizar en los cálculos de demanda de agua los mapas de distribución nacional de este parámetro elaborados por el Instituto de Meteorología (Solano *et al.*, 2003); se hace necesario también la transformación de los coeficientes de césped.

Allen *et al.* (2006) señalaron que “la evaporación del tanque está relacionada con la evapotranspiración de referencia por un coeficiente empírico derivado del mismo tanque”:

$$ET_o = K_p \cdot E_{\text{tanque}} \quad (1)$$

donde:

ET_o: evapotranspiración de referencia, (mm día⁻¹);

K_p: coeficiente del tanque evaporímetro;

E_{tanque}: evaporación del tanque evaporímetro, (mm día⁻¹).

Estos mismos autores, al presentar coeficientes de ajustes para los tanques evaporímetros añaden que los coeficientes por ellos propuestos pueden no ser suficiente para incluir todos los factores ambientales locales que influyen sobre el valor de K_p y que puede requerirse un ajuste local. Para ello se recomienda realizar una adecuada calibración de E_{tanque} con relación a la ET_o calculada con el método FAO Penman-Monteith. En este sentido, Bernal (1996), al relacionar la E_{tanque} con la ET_o obtenida por el método de Penman-Monteith, encontró una relación lineal positiva y altamente significativa (R²= 0,98) entre ambos valores expresada por la ecuación siguiente:

$$ET_o = 0,6842 + 1,0159 E_{\text{tanque}} \quad (2)$$

A partir de esta ecuación se derivó el factor de corrección K_p de la ecuación 1, el cual arroja un valor de 0,86. Como se señaló con anterioridad, los coeficientes K_c de los pastos

obtenidos por Rey y Jiménez (1982) y Herrera *et al.* (1982) responden a la fórmula:

$$K_c = \frac{ET_c}{ET_{\text{tanque}}} \quad (3)$$

donde: ET_c es la evapotranspiración del cultivo y los demás términos como fueron definidos anteriormente. De acuerdo a lo anterior y con vistas a obtener K_c como relación de la ET_o según Penman-Monteith se utilizó el coeficiente obtenido a partir de la ecuación 2. En lo anterior está implícito que como K_b obtenido por los autores antes citados, es la razón que expresa la ecuación 3, al dividir el mismo por el factor obtenido a partir de la ecuación 2 (0,86), se obtiene el coeficiente K_c ajustado a la ET_o según Penman-Monteith. Este ajuste fue también utilizado anteriormente por Herrera *et al.* (2010) al ajustar los coeficientes de cultivo del Kinggrass (*Pennisetum sp.*).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La Figura 2 muestra la variación mensual del coeficiente bioclimático obtenido a partir de la relación ET_c/E_{tanque}; en la misma puede observarse una diferencia neta entre los valores obtenidos en lisímetros y los obtenidos en condiciones de campo; menores para estos últimos. Entre los valores de las dos especies estudiadas en lisímetros existe muy poca diferencia en los meses de enero a octubre con valores alrededor de 0,8, a partir de este mes, inexplicablemente estos valores se alejan, lo que podría ser atribuido al efecto más notable de las bajas temperaturas sobre la ET_c en la bermuda cruzada que sobre el sacasebo.

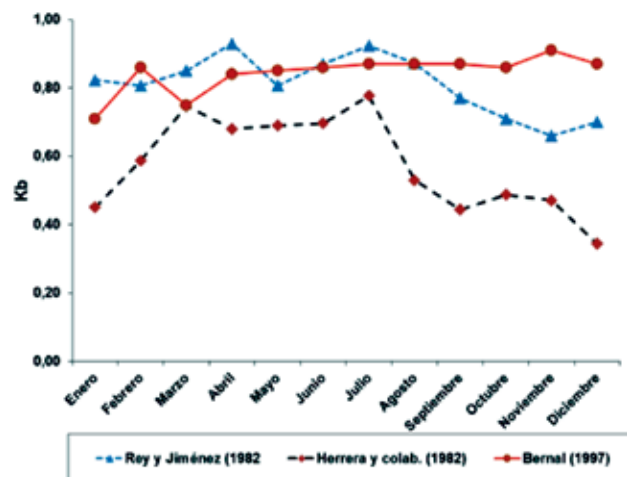


FIGURA 2. Variación mensual de los coeficientes Kb en Bermuda cruzada No 1 y sacasebo.

En la Figura 3 se presentan los coeficientes de cultivo K_b por meses una vez corregidos. Como era de esperar la variación mensual es similar a la de la Figura 2, coeficientes muy similares pero ligeramente mayores para la bermuda comparada con el sacasebo cuando ambos se miden en lisímetros y muy inferiores para los resultados de campo donde los valores de la humedad del suelo no se mantienen constantes y por tanto se imponen condiciones de estrés periódicos que según los autores (Herrera *et al.*, 1982) no afectan el pasto aunque si reducen el consumo.

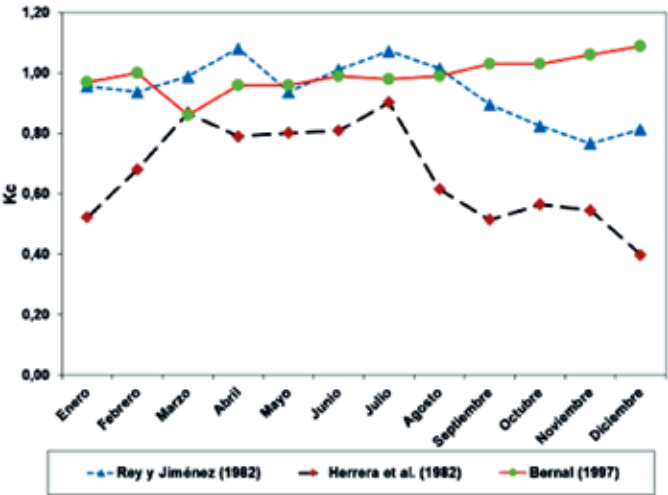


FIGURA 3. Variación mensual de los coeficientes Kc en bermuda cruzada No 1 y sacasebo.

Dado que el manejo del corte en tees y greens es diferente al fairways y que la calidad del césped no es necesariamente la misma, coincidimos con el criterio de Green (2005) sobre la necesidad de coeficientes de cultivo diferenciados para cada una de estas secciones del campo. Esto está en correspondencia con la composición del sustrato donde descansa el césped.

Las normas para la construcción de los green, de acuerdo con la Asociación de Golf de los Estados Unidos de América (USGA, Higgins y McCarty, 2001.) indican que el mismo consiste en 30 a 36 cm de zona radicular con suelo de textura fina que descansa sobre una capa de 5 a 10 cm de arena gruesa que cubre a una capa de 10 cm de grava. Se recomienda la instalación de tuberías de drenaje por debajo de la capa de grava en forma de espina de pescado. Esta composición permite que la zona radicular alcance la capacidad de campo antes de que el agua escurra a través de la capa de grava hacia los drenes.

En estas condiciones de diseño, el green se comporta como un lisímetro; de ahí que el valor del coeficiente de cultivo utilizado para calcular la necesidad de agua del césped de los campos de golf en el Estado de la Florida (USA) es igual a 1 (Mitchell, 2004) y por ello se considera que la evapotranspiración real de este césped se igual al valor de la evapotranspiración de referencia.

El fairways por su parte se conforma por la zona central entre el tee y el green donde se planta o se aprovecha el césped natural sobre el suelo existente, tal vez con alguna enmienda mineral u orgánica. En este caso, las propiedades de retención de agua del suelo, pendiente y otras influyen en la demanda de agua del césped, aumenta la capacidad del reservorio y el consumo de agua disminuye acercándose más a las condiciones

de consumo conseguidas en las investigaciones en parcelas de campo.

Siguiendo los criterios antes expuestos, en la Tabla 3 se muestran los coeficientes de cultivo para el césped de campos de golf (aplicables también a otros campos deportivos).

Los coeficientes de cultivo expuestos en la Tabla 3 permiten el cálculo de la necesidad de agua para proyectos en campos de golf en Cuba, para lo cual solo se requiere estimados de la evapotranspiración potencial (ETo) para estimar la evapotranspiración del cultivo (ETc) y con ello realizar la programación de riegos o la demanda de agua.

TABLA 3. Coeficiente de cultivo (Kc) para césped en campos deportivos

| Mes | Coeficientes de cultivo ajustados $Kc=Kb/0,86$ | |
|------------|--|------------------|
| | Greenn y Tees | Fairways y Rough |
| Enero | 0,96 | 0,52 |
| Febrero | 0,94 | 0,68 |
| Marzo | 0,99 | 0,87 |
| Abril | 1,08 | 0,79 |
| Mayo | 0,94 | 0,80 |
| Junio | 1,01 | 0,81 |
| Julio | 1,07 | 0,90 |
| Agosto | 1,02 | 0,62 |
| Septiembre | 0,90 | 0,52 |
| Octubre | 0,83 | 0,57 |
| Noviembre | 0,77 | 0,55 |
| Diciembre | 0,81 | 0,40 |

CONCLUSIONES

- En el país no se han realizado hasta el momento investigaciones dirigidas a determinar el consumo de agua de césped para campos deportivos, sin embargo, ante el posible auge de los mismos, en particular los campos de golf, y la demanda de agua por ellos requerida, se necesita de métodos adecuados para el cálculo de esta demanda.
- Los coeficientes expuestos en este trabajo (Tabla 3), de conjunto con los cálculos de ETo para todo el país realizados por el Instituto de Meteorología (Solano *et al.*, 2003), ambos formando parte de una metodología para la determinación de las demandas de agua en estas áreas (Herrera y González; 2015), constituyen un avance para el mejor uso y planificación del agua en esta industria en desarrollo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D.; SMITH, M.: *Evapotranspiración del cultivo. Guía para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos*, 300pp., Estudio FAO Riego y Drenaje 56, ISBN 92-5-304219-2, ISSN 0254-5293, Rome, 2006.

GREEN, R. L.: *Golf course water use regulations in California. Research Science for the golf Course [en línea]*, Disponible en: <http://www.usga.org/course/articles/environment/water/Water-Conservation-on-Golf-Courses>, [Consulta: Julio 20 2005].

HERRERA, P. J.; HERRERA, E.: “Producción bajo riego y utilización del agua en tres especies de pastos tropicales”, *Revista Ciencia y Técnica en la Agricultura, Pastos y Forrajes*, ISSN: 0138-8487, 1 (2): 61-72, agosto, 1978.


- HERRERA, J.; CORONA, L.; JAQUINET, P.: "Estudio de la evapotranspiración real de la Bermuda Cruzada No. 1", *Revista Ciencia y Técnica en la Agricultura, Riego y Drenaje*, ISSN: 0138-8487, 5 (2): 49-61, julio, 1982.
- HERRERA, J.; GONZÁLEZ, F.; ZAMORA, E.: "Coeficientes de cultivo (Kc) del King grass para diferentes épocas del año y edad de la planta", *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, ISSN: 1010-2760, 19 (1):44-49, 2010.
- HERRERA, J.; GONZÁLEZ, F.: "El estudio de las necesidades de agua de los cultivos, una demanda permanente, un nuevo enfoque", *Revista Ingeniería Agrícola*, ISSN: 2306-1545, 5 (1): 3-7, (enero- febrero-marzo), 2015.
- HIGGINS, J.; MCCARTY, L. B.: *Golf course construction and renovation*. pp. 119-148. In L.B. McCarty (ed.) *Best golf course management practices*, Prentice-Hall, Upper Saddle River, NJ, 672 pp., 2001. <http://www.reeis.usda.gov/web/crisprojectpages/0188847-best-management-strategies-for-turfgrasses-in-south-carolina.html>, [Consulta: octubre 20 2014].
- REY, R.; JIMÉNEZ, R.: "Evapotranspiración máxima de la bermuda Cruzada No. 1", *Revista Ciencia y Técnica en la Agricultura, Serie Riego y Drenaje*, ISSN 0138-8487, 5 (2): 29-48, julio, 1982.
- ROMERO, C. C.; DUKES, M. D.: *Turfgrass and Ornamental Plant Evapotranspiration and Crop Coefficient Literature Review*. Agricultural and Biological Engineering Department, University of Florida, Gainesville, FL, [en línea] February 23, 2009, Disponible en: http://abes.ufl.edu/mdukes/pdf/irrigation-efficiency/Romero_Dukes_Turfgrass%20ET_Crop_%20Coefficient_%20Lit.pdf, [Consulta: octubre 20 2014].
- SOLANO, O., C. MENÉNDEZ, R. VÁZQUEZ y J.A. MENÉNDEZ: "Estudio de la evapotranspiración de referencia en Cuba". *Revista Cubana de Meteorología*, ISSN: 0864-151X, 10 (1): 33-38, 2003a.
- VOGHT, M.: *Golf Course Irrigation Water*, [en línea] mayo, 2009, Disponible en: <http://mcmahongroup.blogspot.com/2009/05/golf-course-irrigation-water-michael-d.html>, [Consulta: 7 noviembre 2013].
- ZAMORA, H. E.; DUARTE, D. C.; CUN, G. R.; PEREZ, H. R.; LEÓN, F. M.: "Coeficientes de cultivos (Kc) en Cuba", *Revista Ingeniería Agrícola*, ISSN-2306-1545, 4 (3): 16-22, (julio-agosto-septiembre), 2014.

Recibido: 15/09/2014.

Aprobado: 13/03/2015.

Publicado: 19/04/2015.

Julián Herrera Puebla, Prof. Titular, Investigador Titular, Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola, Carretera Fontanar, km 2 ¹/₂, Reparto Abel Santamaria, Boyeros, La Habana, Cuba, Tel. (53) (7) 645-1731; 645-1353, Correo electrónico: direccioninvesti@iagric.cu.



CONVOCATORIA

El Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola (IAGRIC) del Ministerio de la Agricultura le invita a integrar la **Red Cubana de Género y Agua**, a través de la cual se pretende promover el acceso equitativo y la gestión eficiente de agua segura y adecuada de hombres y mujeres, para abastecimiento doméstico, saneamiento, seguridad alimentaria y sostenibilidad ambiental.

¿Quiénes Sonan? un equipo de trabajo integrado por ingenieros, técnicos, especialistas y productores que de forma conjunta con todas y todos tiene como objetivo general: *Contribuir a la integración efectiva del enfoque de género en los la actividad agropecuaria vinculada directamente al agua en el país, a través de la formación de personas que trabajan vinculados a esta temática y que puedan ejercer un efecto multiplicador en sus ámbitos de acción.*

Objetivos Específicos:

1. Constituir en una comunidad de aprendizaje para:
 - Promover prácticas en género y la aplicación del enfoque de género a diferentes niveles;
 - Diseminar, problematizar y difundir el conocimiento;
 - Fomentar la enseñanza, aprendizaje, investigación y la cultura sobre el tema;
 - Proporcionar una fuente de experiencia y conocimientos para los profesionales especializados en la materia;
 - Facilitar y desarrollar el intercambio de información entre sus miembros.
2. Elaborar un Programa de Capacitación de la Red, que integre los conocimientos analíticos y prácticos a través de una propuesta pedagógica diferente. Se dirige a un grupo meta que hasta la actualidad no ha sido suficientemente integrada en los estudios de género.
3. Identificar proyectos a nivel nacional en que se aprecien sistemas integrados de la gestión del agua y equidad de género;
4. Integrar a la Red de las experiencias exitosas previamente identificadas a nivel nacional en la gestión integrada del agua y la equidad de género y todas aquellas que vayan surgiendo;
5. Recopilar información y bibliografía (nacional e internacional) sobre el tema Género para intercambiar con los miembros de la Red e incrementar el fondo documental de la Biblioteca Digital de la Red.