



Coeficientes de riego del césped americano (*Stenotaphrum secundatum*) en condiciones de estrés hídrico utilizando riego por goteo subterráneo

Irrigation coefficients of turfgrass (*Stenotaphrum secundatum*) in arid conditions, under water stress using subsurface drip irrigation

David Ascencios^{1,*}; Néstor Montalvo¹; Karem Meza²; Astrid Cifuentes³

¹ Programa de Maestría en Recursos Hídricos, Facultad de Ingeniería Agrícola, Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM), Lima, Perú.

² Programa de Maestría en Recursos Hídricos, Universidad Nacional Agraria La Molina. (UNALM), Lima, Perú.

³ Condominio La Quebrada, Oficina Recursos hídricos, Lima, Perú.

Received October 17, 2018. Accepted May 17, 2019.

Resumen

El trabajo de investigación tuvo como objetivo obtener los coeficientes de riego del césped americano, se evaluaron 1,0; 0,8; 0,6 y 0,4 de la evapotranspiración potencial para cada estación durante un año. Las variables climáticas fueron monitoreadas por una estación automática y se utilizó el riego por goteo subterráneo, no se presentó intrusión de las raíces en los laterales de riego. Para el monitoreo de la distribución de humedad se utilizaron sensores TDR, obteniéndose coeficientes de uniformidad entre el 90 a 92 %. El monitoreo de la humedad en el tiempo y el estado energético se realizó mediante sensores FDR y curvas pF. La calidad visual fue evaluada mediante el color, uniformidad y cobertura, esta última apoyada en imágenes digitales. Se ensayaron diferentes coeficientes de riego para cada estación. Finalmente se seleccionaron los coeficientes que permitieron mantener al césped con bajo requerimiento de agua y mantenimiento, así como una buena calidad visual, aplicando el Proceso de Análisis Jerárquico. Los coeficientes seleccionados fueron: 0,8; 0,8; 0,4 y 0,6 de la ETo para la verano, otoño, invierno y primavera respectivamente, obteniendo con ellos una adecuada calidad visual y un ahorro del volumen agua del 31%.

Palabras clave: Césped americano; proceso de análisis jerárquico; coeficiente de riego; riego deficitario; requerimientos de agua.

Abstract

The research work had the objective to obtain the irrigation coefficients of Saint Augustine turfgrass, were evaluated 1.0; 0.8; 0.6 and 0.4 of the potential evapotranspiration for each season during the year. Climatic variables were monitored by an automatic station and sub-surface drip irrigation was used, no intrusion of the roots into the irrigation hoses and drips. To monitor the moisture distribution, TDR sensors were used, a uniformity coefficient between 90 and 92% was obtained. Moisture monitoring during the time and energy status were used FDR sensors and pF curves. Visual quality was evaluated through color, uniformity and coverage, the last one supported by digital images. Different irrigation coefficients were presented for each season. Finally, the coefficients that allowed keeping the turfgrass with low water requirement and maintenance were selected, as well as a good visual quality by applying the Hierarchical Analysis Process, the coefficients selected were: 0.8; 0.8; 0.4 and 0.6 of the ETo for the summer, autumn, winter and spring respectively, obtaining an adequate visual quality and a water volume saving of 31%.

Keywords: Saint Augustine; hierarchical analysis process; irrigation coefficient; deficit irrigation; water requirements.

How to cite this article:

Ascencios, D.; Montalvo, N.; Meza, K.; Cifuentes, A. 2019. Coeficientes de riego del césped americano (*Stenotaphrum secundatum*) en condiciones de estrés hídrico utilizando riego por goteo subterráneo. Scientia Agropecuaria 10(2): 207 – 216.

* Corresponding author
E-mail: dascencios@lamolina.edu.pe (D. Ascencios).

1. Introducción

La disponibilidad de agua es el principal factor limitante para el incremento y mantenimiento de las áreas verdes urbanas y agrícolas, frente al Cambio Climático Global y los procesos de desertificación que se incrementarán en los próximos años. Las grandes ciudades sobre el desierto, incrementan su población afectando las áreas verdes urbanas, por ejemplo la ciudad de Lima tiene un índice de 3,5 m²/hab (Eisenberg *et al.*, 2014), lo recomendado por la Organización Mundial de la Salud es 9 m²/hab, que permite un hábitat saludable y un desarrollo sostenible (Vélez, 2009; Khoshtaria y Chachava, 2017). Además existe una alta competencia por el agua entre los sectores de uso poblacional, agricultura, industria y minería (Siemens, 2010), ejerciendo una alta presión sobre las áreas verdes urbanas, efecto que se presenta a nivel mundial debido a los procesos migratorios (Elmqvist *et al.*, 2015). Las ciudades, dependen de los ecosistemas externos, pero también de los internos, como las áreas verdes urbanas que brindan servicios eco sistémicos, bienestar a través de las áreas de esparcimiento y deporte, beneficios económicos directos e indirectos (Beard y Green, 1994; Bolund y Hunhammar, 1999).

La escasez, la huella hídrica, el alto precio del agua y energía, son reconocidos como problemas en la agricultura urbana y rural. El agua y la energía son los recursos de entrada para los sistemas de riego presurizados; el uso eficiente de estos recursos es vital para la competitividad y sustentabilidad ambiental (Ahmad y Khan, 2017). El uso eficiente del recurso hídrico, se obtiene utilizando los sistemas de riego presurizados eficientes y la adecuada selección de plantas de bajo requerimiento hídrico, resistentes al estrés hídrico y tolerantes a la sequía, alta eficiencia de uso del agua y estéticamente aceptado por los usuarios, es decir plantas adaptadas al medio árido (Glenn *et al.*, 2015; Litvak y Pataki 2016; Warner *et al.*, 2018). El césped americano está presente en las áreas verdes urbanas en áreas mayores al 80 % y debido a la escasez de agua en el futuro, el césped deberá crecer en permanente déficit de humedad, limitando su transpiración por las condiciones secas del suelo, pero también presentar una apariencia adecuada, porque mantener el césped en condiciones de capacidad de campo produce un excesivo consumo del agua (Evans y Sadler, 2008; Cathey *et al.*, 2013; Aamlid *et al.*, 2016; Fuentealba *et al.*, 2016).

Es común en el medio utilizar coeficientes del césped igual a la unidad, obteniendo requerimientos hídricos altos; sin embargo, se puede utilizar menos agua y producir estrés al césped mediante la reducción del coeficiente en 20%, 40% y 60%, para disminuir la transpiración por efecto de la cantidad de agua disponible en suelo, que no ha sido repuesta en su totalidad, y obtener una planta en condiciones aceptables.

Los cultivos tienen diferente capacidad para extraer agua, ésta depende de su metabolismo, arquitectura de hojas y tallos, tipo de raíces y longitud, momento de crecimiento y prácticas de manejo para mejorar la Eficiencia del Uso del Agua (EUA) como el riego deficitario controlado, que no afectan la calidad visual del césped (Xin *et al.*, 2013; Duong, 2014; Aydinsakir *et al.*, 2016; Colmer y Barton, 2017). RGS ofrece ahorro de agua, energía y bienestar al usuario (Schiavon *et al.*, 2012; Bourziza *et al.*, 2014; Sevostianova y Leinauer, 2014).

El sensor de humedad de suelo TDR 350 (Time Domain Reflectometry) se utiliza para evaluar la uniformidad de distribución de agua y detectar zonas donde los goteros en RGS no están funcionando adecuadamente (Kieffer y Huck, 2008; Kieffer y Campbell, 2009; Straw, 2018).

Por otro lado, el Proceso de Análisis Jerárquico (PAJ) es una herramienta que consiste en formalizar la comprensión intuitiva de un problema multicriterio complejo, mediante la construcción de un modelo jerárquico, que le permite al decisor estructurar el problema en forma visual (Saaty, 2008; Tavella *et al.*, 2014; Giri y Nejadhashemi, 2014; Taylor *et al.*, 2015; Liang y Peng, 2017; Madrigal y Puga, 2018). El PAJ se utilizó para definir el coeficiente de riego para las estaciones del año, utilizando criterios cuantitativos y cualitativos; éste permitirá a las áreas verdes urbanas tener un gran potencial para ser atractivo, menos costoso en mantenimiento y de bajo consumo de agua (Asgarzadeh *et al.*, 2014).

Por lo expuesto, existe la necesidad de crear bases científicas para realizar acciones que contribuyan a la mitigación y adaptación del Cambio Climático, mediante el uso eficiente del agua por las plantas y los sistemas eficientes de riego. El objetivo del trabajo fue determinar los coeficientes de riego del césped americano bajo estrés hídrico y evaluar su efecto sobre la calidad del césped, para las cuatro estaciones del año utilizando RGS.

2. Materiales y métodos

El proyecto se realizó en la parcela demostrativa, perteneciente a la Facultad de Ingeniería Agrícola de la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM) en Lima - Perú. El periodo de evaluación de los tratamientos fue de agosto del 2016 a julio del 2017, fueron monitoreadas las variables climáticas a nivel horario, con la estación meteorológica automática Davis Vantage Pro2. Las variables monitoreadas fueron las siguientes: temperatura, humedad relativa, velocidad del viento, radiación solar y evapotranspiración potencial, lo que permitió la obtención de curvas características del comportamiento de cada variable a nivel diario y promedio mensual. Se determinó las características hídricas del suelo, textura, conductividad eléctrica, pH, y materia orgánica, así como la conductividad eléctrica del agua, pH e índice de saturación de Langelier para evaluar el riesgo potencial de obturación en los goteros; además, se midió las sales solubles del suelo en los primeros 10 cm de profundidad para evaluar su efecto en el césped.

Los tratamientos fueron en función de la gradiente de la evapotranspiración potencial (ET_o): 100% ET_o, 80% ET_o, 60 % ET_o y 40% ET_o, para la determinación del coeficiente de riego en las cuatro estaciones del año. Para el cálculo de la lámina a regar se utilizaron los valores de ET_o diarios acumulados; la frecuencia de riego fue variable: a nivel diario en los meses de verano, cada cinco a siete días en los meses de invierno y de dos a tres días en otoño y primavera. Para monitorear la humedad del suelo por el efecto de los diferentes tratamientos y definir el porcentaje de humedad disponible utilizado (p) se instalaron sensores FDR (Frequency Domain reflectometry), conectados con registradores de datos Em5b de 5 salidas (Decagon Device® USA), programados con el software ECH20[®]utility versión 1.74, con una configuración de registro horaria. Se elaboró la curva de retención de agua en el suelo, para relacionar la energía de retención del agua en el suelo (potencial mátrico) y la humedad del suelo, utilizando los platos de presión, Modelo 1600F1 5 Bar y Modelo 1500F2 15 Bar plato cerámico extractor, marca Soil Moisture Equipment Corp. Las muestras de suelo se sometieron a presiones de 3, 6, 9, 50, 100 y 150 metros de agua.

Los componentes del RGS fueron los siguientes: cisterna, electrobomba, cabezal de riego, red de tuberías, arcos de riego, porta laterales, líneas de laterales inte-

grales y purgas. Los laterales de goteo subterráneo tuvieron un diámetro de 17 mm (clase 4) y fueron enterrados a 10 cm de la superficie del suelo. Se utilizó un espaciamiento entre goteros de 0,3 m y un espaciamiento entre laterales de 0,4 m, para obtener un porcentaje de área mojada de 100 % en el suelo. El caudal del gotero auto compensado fue de 2,3 L/h, de marca Rain Bird, modelo XFS, con escudo de cobre para evitar el ingreso de las raíces del césped al gotero. El rango de presiones de trabajo del emisor fue de 5,8 a 41,4 m de agua y la velocidad de aplicación del gotero fue de 19,17 mm/h.

Cada subunidad de riego (Unidad experimental) estuvo compuesta: por una válvula para la apertura o cierre, una válvula de aire para evitar que los goteros succionen aire y/o partículas de suelo durante el vaciado de los laterales, un rociador que indica la presurización de la subunidad, un punto de presión, los laterales con los goteros integrales y un porta-lateral. La presurización del sistema fue realizada mediante el uso de una electrobomba con un caudal de 0,4 L/s y 20 m de carga dinámica total, abastecida por una cisterna de capacidad de 1100 L, que está conectada a la red tuberías del sistema de riego principal que abastece de agua a 20 hectáreas de áreas verdes urbanas de la UNALM.

Para el monitoreo de los caudales de los goteros, se instalaron válvulas volumétricas a nivel de subunidades de riego, permitiendo registrar los excesos de agua aplicada, debido a una rotura o desconexión de mangueras, o falta de agua debido a una obstrucción de goteros por el ingreso de raíces o de suelo. Con la finalidad de detectar el mal funcionamiento en forma inmediata, se comparó las láminas teóricas que fueron obtenidas a partir de la evapotranspiración con las láminas aplicadas a cada tratamiento, mediante las lecturas de las válvulas antes y después del riego. Adicionalmente se controló la presión en un rango de 10 a 15 m. La uniformidad de riego se evaluó mediante el coeficiente de uniformidad del cuarto inferior en base a la humedad volumétrica del suelo; se utilizó TDR 350, con sondeos a 7,5 cm de profundidad. La topología del RGS, a nivel de la subunidad de riego, fue anillada. La [Figura 1](#) presenta los equipos y materiales más relevantes utilizados en la investigación.

Se utilizó el PAJ ([Saaty, 2008](#)) para seleccionar el mejor coeficiente de riego de cada estación del año, los criterios utilizados fueron los siguientes: láminas de

riego por tratamiento, eficiencia en el uso del agua (EUA) relacionado con el mantenimiento (menor corte y traslado de materia seca) y calidad del césped, el cual involucra color, uniformidad y cobertura. Las alternativas del modelo fueron los tratamientos: 1,0 ETo, 0,8 ETo, 0,6 ETo y 0,4 ETo.

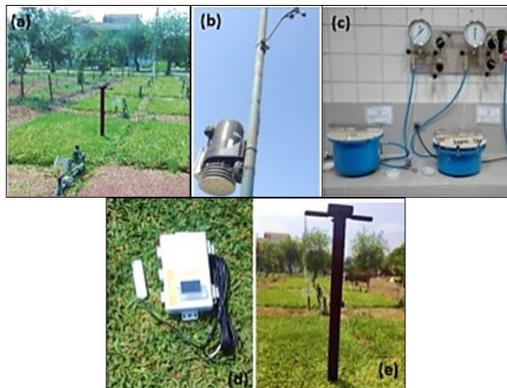


Figura 1. a) Sistema de riego por goteo subterráneo y tratamientos b) Estación automática Davis c) Ollas y platos de presión d) Sensor FDR e) Sensor TDR.

Las láminas de riego fueron la suma de las ETo, multiplicadas por los coeficientes de riego según su tratamiento. La poda del césped fue mensual, con alturas de hoja en un rango de 4 a 8 cm, en muestras de 2,1 m x 0,4 m, para determinar la materia fresca y seca, a fin de evaluar la EUA para cada tratamiento.

Se evaluó el color, uniformidad y cobertura, en forma visual. Para la cobertura verde (cv) se asignó una valoración de (3) para una cv mayor del 90%, (2) para una cv entre 50% - 90% y (1) para una cv menor del 50%; fueron utilizadas las imágenes digitales y el programa Fiji V.2, para verificar los porcentajes de cv. En la valoración del color se calificó como (3) color verde con crecimiento activo, (2) descolorado con presencia de manchas marrones o amarillos y (1) color marrón y amarillo. Para determinar la uniformidad (color y altura) se asignó una valoración de (3) para la uniformidad mayor del 90% del área, (2) para la uniformidad entre 50% - 90% del área y (1) para la uniformidad menor del 50%. La suma de las tres valoraciones representa la calidad del césped.

Se utilizó un diseño completamente al azar, con cuatro tratamientos y tres repeticiones; cada tratamiento ocupó un área de 3,84 m², se evaluó el peso fresco y seco de biomasa (hojas y tallos). Las variables se sometieron al análisis de varianza y pruebas de comparación de medias de Tukey ($p < = 0,05$), se utilizó el programa Info Stat versión 2008.

3. Resultados y discusión

Los promedios mensuales de las variables climáticas se ven en la [Tabla 1](#). En el periodo de evaluación se presentó la máxima temperatura de 25,53 °C en el mes de febrero y la mínima de 15,96 °C en el mes de agosto. La velocidad del viento máximo de 1,35 m/s y mínima de 1,03 m/s se presentaron en los meses de octubre y junio respectivamente. La humedad relativa máxima fue en agosto de 91,86%, y la mínima de 74,84% en febrero. La radiación solar máxima fue de 8,05 MJm⁻²dia⁻¹ en el mes de marzo y la mínima de 2,54 MJm⁻²dia⁻¹ en junio. La precipitación acumulada anual fue de 10 mm.

El suelo fue de textura franca arenosa, con una la capacidad de campo de 0,24 m³/m³ y el punto de marchitez permanente de 0,10 m³/m³ y una densidad aparente de 1,4 g/cm³, valores que están dentro de los rangos del tipo de textura del suelo según la FAO ([Allen et al., 2006](#)).

La conductividad eléctrica fue de 1,55 dS/m, lo cual indica que se trata de un suelo muy ligeramente salino y el pH de 7,77 indicando que el suelo es ligeramente alcalino. El porcentaje de materia orgánica fue de 1,96%. La fuente de agua fue el río Rimac, la conductividad eléctrica del agua fue de 0,49 dS/m, y clasificó como C2, de salinidad moderada, el pH 7,16 del agua indico que es ligeramente neutra. La relación de absorción de sodio (RAS) fue 0,60, agua de clasificación S1, indica que no hay peligro de sodio. Se evaluó el índice de saturación de Langelier en -0,48, no presentándose riesgo potencial de precipitación del carbonato de calcio, por lo que no hubo peligro de obstrucción de goteros por formación de precipitados, cabe señalar que cuando el índice es positivo no se recomienda el uso para el riego por goteo ([Güngör y Arslan, 2016](#); [Abdulhussein, 2018](#)).

Tabla 1
Promedios mensuales de las variables climáticas, año 2016 -2017

Mes	Temperatura (°C)	Velocidad viento (m/s)	Humedad Relativa (%)	Rad. Solar (MJ m ² /día)
Agosto	15,96	1,04	91,86	2,63
Septiembre	16,51	1,27	90,73	4,12
Octubre	17,60	1,35	87,15	4,63
Noviembre	19,27	1,22	83,92	6,65
Diciembre	21,09	1,20	83,41	6,22
Enero	24,49	1,12	78,58	6,40
Febrero	25,53	1,13	74,84	7,89
Marzo	25,46	1,18	76,32	8,05
Abril	22,60	1,10	81,68	6,24
Mayo	20,04	1,15	86,79	3,74
Junio	17,50	1,03	89,41	2,54
Julio	16,69	1,15	87,77	2,95

Tabla 2

Láminas aplicadas a nivel mensual para los tratamientos (mm)

Tratamiento	ago-16	sep-16	oct-16	nov-16	dic-16	ene-17	feb-17	mar-17	abr-17	may-17	jun-17	jul-17
T1	29,65	44,10	60,48	81,79	83,49	96,07	107,33	118,98	84,34	51,42	31,48	38,43
T2	23,72	35,28	48,38	65,43	66,79	76,86	85,86	95,18	67,47	41,14	25,18	30,74
T3	17,79	26,46	36,29	49,07	50,09	57,64	64,40	71,39	50,60	30,85	18,89	23,06
T4	11,86	17,64	24,19	32,72	33,40	38,43	42,93	47,59	33,74	20,57	12,59	15,37

Tabla 3

Porcentaje de humedad disponible (p) utilizado por tratamiento

Estación del año	Tratamientos				ETo mm/día
	1,0ETo	0,8ETo	0,6ETo	0,4ETo	
Verano	38	42	65	75	3,59
Otoño	21	48	83	88	1,84
Invierno	-21	-8	50	40	1,24
Primavera	4	54	54	58	2,44

Es necesaria la aplicación de láminas de agua adicionales, para evitar la salinización del suelo, debido al riego de alta eficiencia y la falta de precipitación. Los valores de conductividad eléctrica en los tratamientos variaron de 1,2 a 2,25 dS/m, el requerimiento de lavado asciende a 2,45%, equivalente a 19,6 mm/año, considerando una conductividad eléctrica de 10 dS/m en el extracto de saturación y de 0,49 dS/m en el agua, valor suficiente de lámina de lavado, debido a la tolerancia a la salinidad obtenida en otras investigaciones (Ramírez y Hernández, 2016).

En la Figura 2 se presenta la variación temporal promedio diaria y mensual de la ETo; el valor máximo diario de ETo fue de 4,71 mm/día el 15 del mes de febrero y la mínima de 0,33 mm/día el 31 de mayo. La ETo promedio mensual, para los meses de enero, febrero y marzo (verano) fueron de 3,1; 3,83 y 3,84 mm/día respectivamente, y para los meses julio, agosto y setiembre (invierno) fueron 1,24; 1,20 y 0,96 mm/día, respectivamente. Se obtuvo un ratio de ETo 4/1 entre el mes de marzo y setiembre, y una ratio de ETo 3,17/1 entre la estación de verano e invierno. La ETo acumulada anual fue 827,56 mm.

La lámina de riego acumulada aplicada en los tratamientos T1= 1 ETo, T2 = 0,8 ETo, T3 = 0,6 ETo y T4 = 0,4 ETo, fueron de 827, 662, 496 y 331 mm/año.

En la Tabla 2 se observa las láminas aplicadas por tratamiento a nivel mensual.

Durante el monitoreo de los caudales a nivel de subunidad, se obtuvo una ecuación de regresión lineal que relaciona las láminas teóricas y las láminas aplicadas, ésta tiene una pendiente de 1,07. Los puntos observados no fueron valores atípicos, lo cual significa que no se presentaron fallas, como la rotura de mangueras enterradas o el taponamiento de goteros en el RGS.

Se realizaron excavaciones para extraer los laterales y realizar la inspección sobre la posible invasión de raíces en los goteros, en especial en el tratamiento de 0,4 ETo, que estuvo sometido a mayor déficit de agua; al respecto se observó que los goteros no estaban afectados (Figura 3). Se evaluó también el coeficiente de uniformidad en base a la humedad volumétrica del suelo, utilizando TDR 350, obteniéndose valores entre 92 a 90%, resultados que son similares obtenidos por otros investigadores (Ayars et al., 2015; Munoth et al., 2016; Straw 2018).

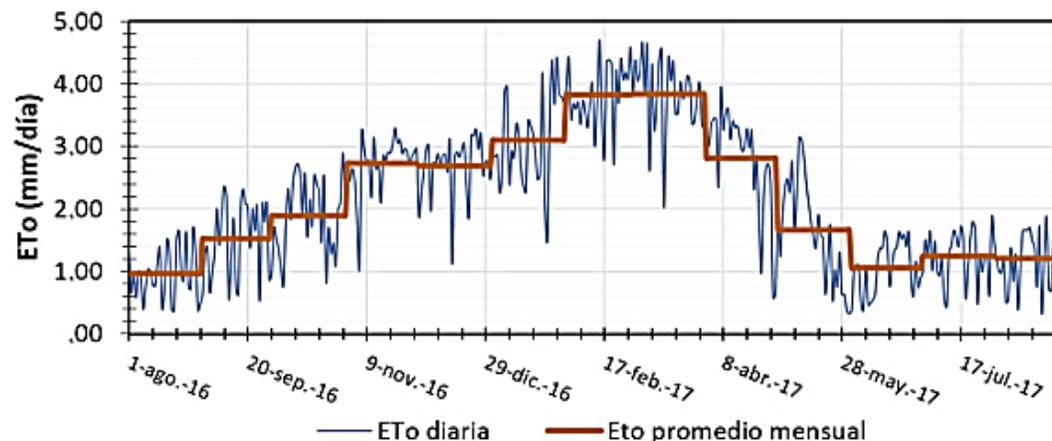
**Figura 2.** Variación temporal diaria y mensual de la ETo.



Figura 3. a) Excavación de laterales enterrados b) Inspección de los goteros enterrados del tratamiento 0,4 ETo, no presenta invasión de raíces.

Figura 4 se presenta la curva de retención de humedad del suelo y los potenciales mátricos.

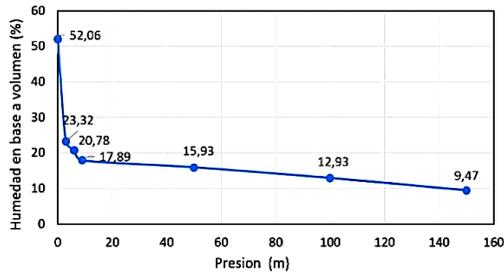


Figura 4. Curva de retención de humedad del suelo.

Para el césped, según FAO, el porcentaje de agotamiento (p) varía hasta el 60% en invierno y en verano hasta el 50% (Allen et al., 2006), en los tratamientos el agua retenida en el suelo tuvo un potencial mátrico en el rango de 3 a 100 metros correspondiendo porcentajes de agotamiento hasta 88%. Los coeficientes 1,0 y 0,8 ETo son elegibles para la estación de verano y otoño. En invierno son elegibles los coeficientes 0,6 y 0,4 ETo. En primavera son elegibles los coeficientes 0,8; 0,6 o 0,4 ETo, para la elección final de los

coeficientes se consideraron adicionalmente otros criterios como, la apariencia estética del césped y el mantenimiento. El agua transpirada represento más del 98% del total, y el 2% restante la planta lo utilizó para la formación hojas, tallos y raíces, cuyo peso está relacionados al costo de mantenimiento del corte y traslado del césped. El césped no brinda productos comestibles como los productos agrícolas, cumple funciones estéticas y funcionales. En verano la ETo promedio fue 3,59 mm/día, las láminas de agua aplicadas para los tratamientos 0,6 ETo y 0,4 ETo (Tabla 3), representan una menor disponibilidad de agua en el suelo, la transpiración se reduce lo cual significa una menor cantidad de agua utilizada por la planta y por tanto una mayor eficiencia en el uso del agua (Allen et al., 2006). En invierno la ETo promedio es 1,24 mm/día, la demanda evaporativa es menor, las condiciones de estrés hídrico fueron menores que en verano y la disponibilidad de agua en el suelo para el césped fue la adecuada para los tratamientos 0,6 ETo y 0,4 ETo y en exceso de agua para los tratamientos 1,0 ETo y 0,8 ETo. No es necesario altas láminas de agua durante el invierno, se justifican únicamente para el lavado de sales. Las producciones de materia fresca y seca no presentan diferencias significativas entre los tratamientos con un nivel de significancia del 5%. La combinación de un césped C4, con un sistema radicular bajo condiciones restrictivas de humedad e irrigada con un sistema de riego con un 90% de uniformidad, permite obtener una alta eficiencia del uso del agua (Zhou et al. 2014), práctica del manejo que fue similar al presente estudio (Tabla 4).

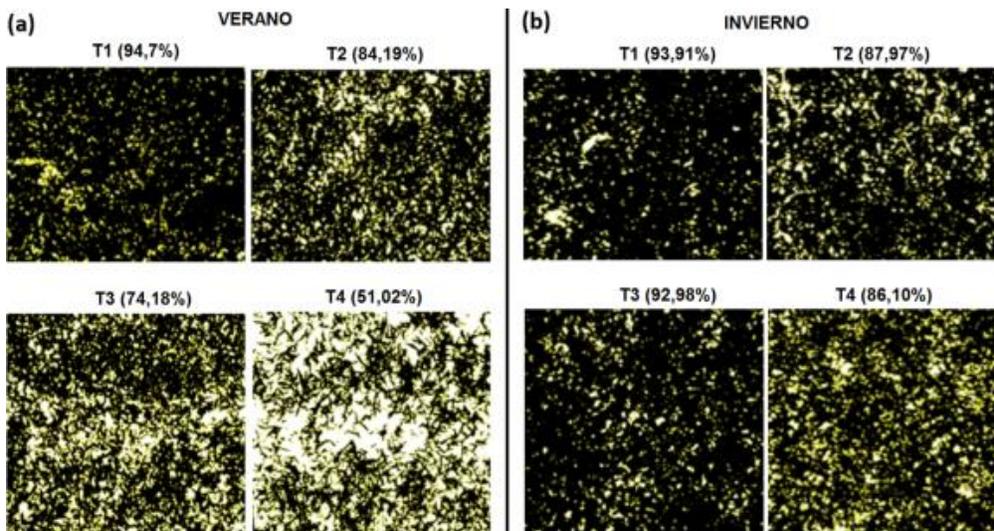


Figura 5. Imágenes digitales de porcentajes de cobertura verde de los tratamientos a) Verano b) Invierno.

Tabla 4

Eficiencia del uso del agua del césped

Tratamiento	Verano			Otoño		
	UEA (kg/m ³)	M.seca (kg/m ²)	Volumen (m ³ /ha)	UEA (kg/m ³)	M.seca (kg/m ²)	Volumen (m ³ /ha)
T1	0,278	0,089	3223,8	0,340	0,057	1672,4
T2	0,418	0,108	2579,0	0,390	0,052	1337,9
T3	0,506	0,098	1934,3	0,560	0,056	1003,4
T4	0,494	0,064	1289,5	0,460	0,031	669,0
Tratamiento	Invierno			Primavera		
	UEA (kg/m ³)	M.seca (kg/m ²)	Volumen (m ³ /ha)	UEA (kg/m ³)	M.seca (kg/m ²)	Volumen (m ³ /ha)
T1	0,478	0,054	1121,8	0,310	0,070	2257,6
T2	0,416	0,037	897,3	0,390	0,070	1806,1
T3	0,594	0,040	673,1	0,558	0,076	1354,6
T4	0,497	0,022	448,7	0,590	0,053	903,0

Tabla 5

Valoración de calidad del césped por estación

Estación	Tratamiento	Color	cobertura	uniformidad	Calidad
Verano	T1	3,0	3,0	3,0	9,0
	T2	3,0	3,0	3,0	9,0
	T3	2,0	2,0	2,0	6,0
	T4	1,0	2,0	2,0	5,0
Otoño	T1	3,0	3,0	3,0	9,0
	T2	3,0	3,0	3,0	9,0
	T3	3,0	3,0	2,0	8,0
	T4	2,0	3,0	2,0	7,0
Invierno	T1	3,0	3,0	3,0	9,0
	T2	3,0	3,0	3,0	9,0
	T3	3,0	3,0	3,0	9,0
	T4	3,0	3,0	3,0	9,0
Primavera	T1	3,0	3,0	3,0	9,0
	T2	3,0	3,0	3,0	9,0
	T3	3,0	2,0	2,0	7,0
	T4	2,0	2,0	2,0	6,0

Tabla 6

Coeficientes de prioridad (%) y riego seleccionados, utilizando el Proceso Análisis Jerárquico (PAJ)

Alternativa/criterios	Estación de verano y otoño			
	Lamina	Calidad	Mantenimiento	Prioridad Global
T1 (CR = 1,0)	10,62	42,38	6,86	20,31
T2 (CR = 0,8)	38,36	42,38	13,44	36,60
T3 (CR = 0,6)	24,25	9,73	26,79	19,92
T4 (CR = 0,4)	26,78	5,52	52,91	23,17
Ratio consistencia	7,67	5,73	6,69	1,58
Tratamiento	Estación de invierno			
	Lamina	Calidad	Mantenimiento	Prioridad Global
T1 (CR = 1,0)	5,53	5,25	5,53	5,44
T2 (CR = 0,8)	11,76	9,18	11,76	10,93
T3 (CR = 0,6)	26,21	28,17	26,21	26,84
T4 (CR = 0,4)	56,49	57,4	56,49	56,78
Ratio consistencia	4,33	8,45	4,33	1,58
Tratamiento	Estación de primavera			
	Lamina	Calidad	Mantenimiento	Prioridad Global
T1 (CR = 1,0)	8,15	9,46	6,85	8,41
T2 (CR = 0,8)	11,99	7,51	13,13	10,69
T3 (CR = 0,6)	44	44,69	44,59	44,39
T4 (CR = 0,4)	35,87	38,34	35,43	36,6
Ratio consistencia	6,93	6,82	8,95	1,58

CR, coeficiente de riego.

La evaluación cualitativa del césped está basada en la valoración de variables visuales como el color, cobertura y uniformidad, la calidad del césped es una medida de la estética y del uso funcional que se le asigne. En la **Tabla 5** se presenta la valoración de la calidad del césped para todas las estaciones y tratamientos. No existe una diferenciación de las calidades en los tratamientos en invierno, alcanzando

el mayor puntaje de 9, en las otras estaciones del año si se presenta la diferenciación.

La evaluación visual de la cobertura verde se realizó en base a valoraciones subjetivas y fueron apoyadas con imágenes digitales, **Figura 5**, obteniendo valores de correlación entre 0,7 y 0,75, que permitieron una evaluación objetiva y consistente de la cobertura del césped como lo

reconocen otros investigadores (Bell *et al.*, 2009; Zhang *et al.*, 2017). En verano se observaron diferencias marcadas entre los tratamientos T1 y T4, con cobertura de 94,7% y 51,02% respectivamente.

En los T3 y T4 se observó el thatch (estrato de fieltro) y fragmentos amarillos del césped y suelo desnudo. En la estación de invierno los porcentajes de cobertura verde para los diferentes tratamientos están en el rango del 93,91% y 86,10%, observando que el T4 tiene una cobertura adecuada. Para las estaciones de otoño y primavera la cobertura fue mayor al 80%.

La selección del coeficiente de riego en cada estación del año se realizó utilizando el PAJ, considerando los criterios: lámina de agua, mantenimiento y calidad del césped, además de las alternativas que se presentan en la [Tabla 6](#). Para la estación de verano y otoño se seleccionó el 0,8 ETo, con un coeficiente de prioridad global de 36,6%.

En la estación de invierno y primavera se seleccionaron 0,4 y 0,6 ETo, con un coeficiente de prioridad global de 56,78% y 44,39% respectivamente, los ratios de consistencia se mantuvieron menores al 10% para todos los casos. La Universidad de Florida para el césped americano seleccionó los coeficientes de 0,6 a 0,8 ETo (Zhang *et al.*, 2015). En campos de golf de Turquía se concluyó que utilizando el 0,75 ETo, para el césped mixto conformado por Kentucky bluegrass, Red fescue y Rye grass fue el óptimo (Bastug y Buyuktas, 2003). El césped Bermuda requiere una lámina de 1,5 ETo en verano, para los campos de fútbol en Brasil (Rodrigues *et al.*, 2013). Según Litvak y Pataki (2016) y el Departamento de Recursos Hídricos de California recomiendan para un césped de estación caliente, un coeficiente de especie de 0,6 ETo como promedio anual. En Oman, para Seashore paspalum, Tifway y Bermuda aplicando 5 mm/día, en un rango de temperaturas de 20 a 33 °C, las plantas presentan condiciones aceptables (Alshehhi *et al.*, 2010). Se debe considerar las diferentes funciones del césped, para el caso de la presente investigación es con fines paisajistas. En el césped de zonas cálidas, la evapotranspiración tiene un amplio rango de valores que depende de la demanda evaporativa, humedad del suelo y puede diferir con el genotipo y prácticas de manejo (Colmer y Barton, 2017).

Para los tratamientos seleccionados, el estado energético del agua en el suelo estuvo entre 3 a 50 m durante las estaciones de verano, otoño, primavera e invierno, lo que indica que el césped se

encontraba en estrés hídrico, debido a riego deficitario; sin embargo, el césped presentó condiciones estéticas adecuadas. El requerimiento anual de agua del césped con los coeficientes seleccionados es de 5 720 m³/ha-año, con una producción de materia seca de césped de 0,229 kg/m², considerando el coeficiente de riego como 1,0 ETo para todo el año, el volumen anual de agua utilizada es de 8276 m³/ha-año y una producción de materia seca de césped de 0,241 kg/m². El ahorro en volumen de agua es de 2555 m³/ha-año, que corresponde al 31%. El ahorro en la producción de materia seca es de 4,4%, equivalente a 0,012 kg/m² de materia seca de césped.

4. Conclusiones

El césped estuvo en condiciones de estrés hídrico, lo cual limitó la transpiración y la planta fue más eficiente en el uso del agua, además de limitar ligeramente el crecimiento de biomasa. Se refleja en un menor costo del mantenimiento, presentando una calidad visual estéticamente aceptable. Finalmente se determinaron los coeficientes de riego de: 0,8; 0,8; 0,4 y 0,6 de la ETo para las estaciones de verano, otoño, invierno y primavera respectivamente.

Los resultados obtenidos tendrán como beneficiarios a las municipalidades, empresas y personas que cuenten con césped americano en sus propiedades. Es recomendable realizar pruebas utilizando aguas tratadas con el RGS para el césped, debido a la escases y prioridades del uso de agua de las fuentes para las ciudades.

Referencias bibliográficas

- Aamlid, T.S.; Knox, J.W.; Riley, H.; Kvalbein, A.; Pettersen, T. 2016. Crop coefficients, growth rates and quality of cool-season turfgrasses. *Journal of Agronomy and Crop Science* 202(1): 69-80.
- Abdulhussein, H.A. 2018. Investigation the stability of treated water produced from six stations in Babylon. *Journal of University of Babylon, Engineering Sciences* 26(1): 376-386.
- Ahmad, A.; Khan, S. 2017. Water and energy scarcity for agriculture: Is irrigation modernization the answer? *Irrigation and Drainage* 66(1): 34-44.
- Allen, R.G.; Pereira, L.S.; Raes, D.; Smith, M. 2006. Evapotranspiración del cultivo guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. s.l., s.e. 323 pp.
- Alshehhi, A.; Khan, I.; Said, F.; Deadman, M.; Alkanjari, S.; Ahmad, T. 2010. Evaluation of Warm Season Turfgrass under Different Irrigation Regimes in Arid Region. *Notulae Scientia Biologicae* 2(3): 30-38.

- Asgarzadeh, M.; Vahdati, K.; Lotfi, M.; Arab, M.; Babaei, A.; Naderi, F.; Pir Soufi, M.; Rouhani, G. 2014. Plant selection method for urban landscapes of semi-arid cities (a case study of Tehran). *Urban Forestry & Urban Greening* 13(3): 450-458.
- Ayars, J.E.; Fulton, A.; Taylor, B. 2015. Subsurface drip irrigation in California-Here to stay? *Agricultural Water Management* 157: 39-47.
- Aydinsakir, K.; Buyuktas, D.; Bastug, R.; Yilmaz, S. 2016. Evapotranspiration and quality characteristics of some bermudagrass turf cultivars under deficit irrigation. *Grassland Science* 62(4): 224-232.
- Bastug, R.; Buyuktas, D. 2003. The effects of different irrigation levels applied in golf courses on some quality characteristics of turfgrass. *Irrigation Science* 22(2): 87-93.
- Beard, J.B.; Green, R.L. 1994. The role of turfgrasses in environmental protection and their benefits to humans. *Journal of Environment Quality* 23(3): 452-460.
- Bell, G.E.; Martin, D.L.; Koh, K.; Han, H.R. 2009. Comparison of turfgrass visual quality ratings with ratings determined using a handheld optical sensor. *HortTechnology* 19(2): 309-316.
- Bolund, P.; Hunhammar, S. 1999. Ecosystem services in urban areas. *Ecological Economics* 29(2): 293-301.
- Bourziza, R.; Hammani, A.; Kuper, M.; Bouaziz, A. 2014. Water saving in arid regions: comparison of innovative techniques for irrigation of young date palms. *International Journal of Environmental, Chemical, Ecological, Geological and Geophysical Engineering* 8(11): 771-776.
- Cathey, S.E.; Kruse, J.K.; Sinclair, T.R.; Dukes, M.D. 2013. Transpiration and visual appearance of warm season turfgrasses during soil drying. *Environmental and Experimental Botany* 89: 36-43.
- Colmer, T.D.; Barton, L. 2017. A review of warm-season turfgrass evapotranspiration, responses to deficit irrigation, and drought resistance. *Crop Science* 57: S98-S110.
- Duong, H. 2014. Deficit Irrigation of Kentucky Bluegrass for Intermountain West Urban Landscapes. Tesis de maestría. s.l., Utah State University, Utah. USA. 68 pp.
- Eisenberg, B.; Nemcova, E.; Poblet, R.; Stokman, A. 2014. Estrategia de Infraestructura Ecológica de Lima. 1ra Edición. Universidad de Stuttgart, Alemania, s.e. 321 pp.
- Elmqvist, T.; Setälä, H.; Handel, S.N.; van der Ploeg, S.; Aronson, J.; Blignaut, J.N.; Gómez-Baggethun, E.; Nowak, D.J.; Kronenberg, J.; de Groot, R. 2015. Benefits of restoring ecosystem services in urban areas. *Environmental Sustainability* 14: 101-108.
- Evans, R.G.; Sadler, E.J. 2008. Methods and technologies to improve efficiency of water use. *Water Resources Research* 44(7): 1-15.
- Fuentealba, M.P.; Zhang, J.; Kenworthy, K.; Erickson, J.; Kruse, J.; Trenholm, L. 2016. Transpiration responses of warm-season turfgrass in relation to progressive soil drying. *Scientia Horticulturae* 198: 249-253.
- Giri, S.; Nejadhashemi, P. 2014. Application of analytical hierarchy process for effective selection of agricultural best management practices. *Journal of Environmental Management* 132: 165-177.
- Glenn, D.; Endter-Wada, J.; Kjelgren, R.; Neale, C. 2015. Tools for evaluating and monitoring effectiveness of urban landscape water conservation interventions and programs. *Landscape and Urban Planning* 139: 82-93.
- Güngör, A.; Arslan, H. 2016. Assessment of water quality in drainage canals of Çarşamba plain, Turkey, through water quality indexes and graphical methods. *Global Nest Journal* 18(1): 67-78.
- Khoshtaria, T.K.; Chachava, N.T. 2017. The planning of urban green areas and its protective importance in resort cities (case of Georgian resorts). *Annals of Agrarian Science* 15(2): 217-223.
- Kieffer, D.; Campbell, T. 2009. Effect of Sub-surface Drip Irrigation and Shade on Soil Moisture Uniformity in Residential Turf. In Paper presented at the 30th Annual Irrigation Show San Antonio. Texas.
- Kieffer, D.L.; Huck, M. 2008. A comparison of fairway distribution uniformity computed with catch can data and with soil moisture data from three sampling depths. In 29th Annual Irrigation Show. California, 2-4 nov, 2008.
- Liang, T.-C.; Peng, S.-H. 2017. Using Analytic Hierarchy Process to examine the success factors of autonomous landscape development in rural communities. *Sustainability* 9(12): 1-17.
- Litvak, E.; Pataki, D.E. 2016. Evapotranspiration of urban lawns in a semi-arid environment: An in situ evaluation of microclimatic conditions and watering recommendations. *Journal of Arid Environments* 134: 87-96.
- Madrigal, S.; Puga, R. 2018. Land suitability and sensitivity analysis for planning apple growing land suitability and sensitivity analysis for planning apple growing in Mala's Valley, Peru. *Bioagro* 30: 95-106.
- Munoth, P.; Goyal, R.; Tiwari, K. 2016. Sensor based Irrigation System: A Review. In NCACE. USA.
- Ramírez, W.; Hernández, L. 2016. Tolerancia a la salinidad en especies cespitosas Tolerancia a la salinidad en especies cespitosas Salinity tolerance in turfgrass species. *Pastos y Forrajes* 39(4): 235-245.
- Rodrigues, R.; Pitelli, J.; Barreto, A.; De Andrade, L. 2013. Bermuda grass growth under different water depths. *Irriga* 18(1): 257-269.
- Saaty, T. 2008. Decision making with the analytic hierarchy process. *International Journal of Services Sciences* 1(1): 83.
- Schiavon, M.; Leinauer, B.; Sevostianova, E.; Serena, M.; Macolino, S. 2012. Warm season turfgrass quality, spring green up, and fall color retention under drip irrigation in an arid climate. *Acta Horticulturae* 938: 175-183.
- Sevostianova, E.; Leinauer, B. 2014. Subsurface-applied tailored water: Combining nutrient benefits with efficient turfgrass irrigation. *Crop Science* 54(5): 1926-1938.
- Siemens, A.G. 2010. Índice de Ciudades Verdes de América Latina. Disponible en: https://www.siemens.com/press/pool/de/vents/corporate/2010-11-lam/Study-Latin-American-Green-City-Index_spain.pdf.

- Straw, C. 2018. Uniformity and spatial variability of soil moisture and irrigation distribution on natural turfgrass sports fields. *Soil and Water Conservation* 73(5): 1-28.
- Tavella, M.; Miropolsky, A.; Manera, R. 2014. Estudio comparativo de métodos multicriterio para el análisis de la localización sustentable de parques industriales regionales. *Revista Facultad de ciencias exactas, físicas y naturales* 1(1): 41-48.
- Taylor, P.; Hadipour, A.; Rajaei, T.; Hadipour, V.; Seidirad, S. 2015. Multi-criteria decision-making model for wastewater reuse application: a case study from Iran. *Desalination and Water Treatment* 1: 1-8.
- Vélez, L. 2009. Del parque urbano al parque sostenible: Bases conceptuales y analíticas para la evaluación de la sustentabilidad de parques urbanos. *Revista de geografía Norte Grande* 43: 31-49.
- Warner, L.; Lamm, A.; Kumar, A. 2018. Florida residents' perceived role in protecting water quantity and quality through landscape practices. *Landscape and Urban Planning* 171: 1-6.
- Xin, L.; Qing-wei, Y.; Lu, Z.; Hui-min, L.; Hai-xia, Z.; Wen-long, B.; Ya-jun, C. 2013. Research Progress on Water Use Efficiency and Drought Resistance of Turfgrass. *Journal of Northeast Agricultural University* 20(1): 85-90.
- Zhang, C.; Pinnix, G.; Zhang, Z.; Miller, G.; Ruffy, T. 2017. Evaluation of key methodology for digital image analysis of turfgrass color using open-source software. *Crop Science* 57(2): 550-558.
- Zhang, J.; Bryan Unruh, J.; Kenworthy, K. 2015. Turf performance of bahiagrass, centipedegrass, and St. augustinegrass cultivars under a linear gradient irrigation system. *HortScience* 50(3): 491-495.
- Zhou, Y.; Lambrides, C.; Fukai, S. 2014. Drought resistance and soil water extraction of a perennial C4 grass: Contributions of root and rhizome traits. *Functional Plant Biology* 41: 505-519.