

Programación del riego mediante el uso de un atmómetro

Irrigation scheduling using an atmometer

Arturo Reyes González^{1*}, Miguel Rivera Gonzalez², Gerardo Delgado Ramirez², David Guadalupe Reta Sanchez¹ y Juan Isidro Sánchez Duarte¹

¹Campo Experimental La Laguna, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Blvd. José Santos Valdez 1200. Col. Centro, Matamoros, Coahuila. C. P. 27440.

²Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Relación Agua-Suelo-Planta-Atmosfera. Gómez Palacio, Durango.

* Autor para correspondencia: reyes.arturo@inifap.gob.mx

RESUMEN

La programación y aplicación eficiente del riego es una práctica importante en la agricultura bajo riego. Los objetivos de esta investigación son: 1) comparar la evapotranspiración de referencia (ET_o) estimada con la estación meteorológica y la ET_o medida con un atmómetro y 2) programar los riegos mediante la utilización de un atmómetro en el sorgo forrajero. Las lecturas de ET_o en el atmómetro se realizaron todos los días a las 8:30 am. Las lecturas del atmómetro se multiplicaron por un Kc para determinar la lámina de riego o evapotranspiración de cultivo. Los valores de ET_o diarios se compararon entre el atmómetro y la estación meteorológica y posteriormente se acumularon para saber la lámina de riego total utilizada para cada uno de los métodos durante la estación de crecimiento. Los resultados mostraron que el atmómetro sobreestimó en un 2% los valores de ET_o provenientes de la estación meteorológica. Esto muestra que con el atmómetro se puede estimar la ET_o con alto grado de confiabilidad. En conclusión, podemos decir que el atmómetro es una herramienta útil en la calendarización y programación del riego de los cultivos forrajeros en la Comarca Lagunera.

Palabras clave: riego, evapotranspiración, supersorgo

SUMMARY

Scheduling and efficient irrigation application is an important practice in irrigated agriculture. The aims of this research are: 1) compare reference evapotranspiration (ET_o) estimated with weather station and ET_o measured with an atmometer and 2) irrigation scheduling using an atmometer in forage sorghum. The study was carried out at La Laguna Experimental Station of the National Institute of Agricultural and Livestock Forestry Research (INIFAP) of Matamoros Coahuila, Mexico. ET_o readings from atmometer were taken daily at 8:30 am. The atmometer readings were multiplied by a Kc to determine the irrigation volume or crop evapotranspiration. ET_o daily were compared between atmometer and weather station and subsequently accumulated to know total irrigation volume used between the two methods during whole growing season. ET_o daily were compared between atmometer and weather station and subsequently accumulated to know total irrigation volume used for each method during the growing season. The results showed that atmometer overestimated 2% ET_o values from weather station. This shows that atmometer can estimate ET_o with high reliability. In conclusion we can say that atmometer is a useful tool for scheduling irrigation in forage crops in the Region Lagunera.

Key words: drip, evapotranspiration, atmometer, supersorghum



INTRODUCCIÓN

La evapotranspiración (ET) es el componente más grande del ciclo hidrológico solo después de la lluvia. Sin embargo, en zonas áridas y semiáridas la ET es el principal componente (Reyes-González 2017). La ET se define como la pérdida de agua de la superficie de la tierra hacia la atmósfera a través de dos procesos; evaporación y transpiración. En las primeras etapas del cultivo, el agua se pierde principalmente por evaporación, mientras que a medida que el cultivo va cubriendo el suelo la transpiración se convierte en el principal factor (Allen *et al.*, 1998).

La evapotranspiración (ET) generalmente se utiliza para estimar los requerimientos hídricos de los cultivos y la programación de los riegos. El conocimiento de la ET es importante para el manejo del agua y la planificación de los recursos hídricos. Diferentes métodos se han desarrollado para estimar la ET, donde la mayoría de ellos utilizan ecuaciones para determinarla. Entre estos métodos, el modelo de Penman-Monteith es el más preciso y ampliamente utilizado. La Sociedad Americana de Ingenieros Civiles (ASCE) de Estados Unidos recomienda este modelo para la calendarización de los riegos. Sin embargo, este modelo exige muchas variables meteorológicas tales como temperatura del aire, radiación solar, velocidad del viento y la humedad relativa (Allen *et al.*, 1998) que no podrían estar disponibles en

muchos lugares (Irmak *et al.*, 2005), además la instalación y el mantenimiento de los sensores y equipos de la estación meteorológica es costoso y complicado (Gavilan y Castillo-Llanque 2009). Por otro lado, el uso de variables meteorológicas y ecuaciones empíricas es una tarea difícil para los agricultores (Alam and Troien 2001). Debido a esto se buscan herramientas viables para medir la evapotranspiración de referencia (ET_o) en forma rápida y confiable. El atmómetro puede ser una herramienta para estimar la tasa de ET_o, debido a que tiene ventajas sobre la estación meteorológica; por ejemplo, es simple, económico y proporciona una interpretación visual de la ET_o.

Un atmómetro es un instrumento que mide la cantidad de agua evaporada a la atmósfera desde una superficie húmeda y porosa (Broner y Law 1991) (Figura 1). El atmómetro consiste de una capsula de cerámica porosa montada en la parte superior de un depósito cilíndrico lleno de agua destilada, y un tubo de succión que se extiende hasta la parte inferior del depósito. La capsula está recubierta por una malla verde que puede cambiarse según el cultivo de referencia del que se quiera medir la evapotranspiración ya sea alfalfa (malla #54) y/o pasto (malla #30). Finalmente, el nivel del agua en el depósito cilíndrico se muestra visualmente en un tubo lateral montado frente a una regla en el instrumento, lo que facilita su lectura como un medidor de lluvia (Magliulo *et al.*, 2003).



Figura 1. Atmómetro

Varios investigadores han evaluado la relación entre la ETo estimada con la estación meteorológica y un atmómetro bajo diferentes ambientes con buena correlación (Broner y Law 1991; Alam y Trooien 2001; Magliulo *et al.*, 2003; Irmak *et al.*, 2005, Gavilan y Castillo-Llanque Knox *et al.*, 2011 y Reyes-González *et al.*, 2016a). Sin embargo, relación entre la estación meteorológica y atmómetro o el funcionamiento del atmómetro bajo las condiciones de la

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El presente estudio se realizó en el Campo Experimental La Laguna del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) de Matamoros Coahuila, México. Ubicado a 25° 32' N y 103° 14' O, con altitud de 1100 msnm (Figura 2). El clima de la región se clasifica como muy seco semicalido (Bwh), con escasa humedad atmosférica, temperatura media anual de 22.6 °C, precipitación promedio de 215.5 mm y evaporación media de anual de 2000 mm (Villa *et al.*, 2005).

Comarca Lagunera no existe. Los objetivos de esta investigación son: 1) comparar la ETo estimada con la estación meteorológica y la ETo medida con un atmómetro y 2) Programar los riegos mediante el uso de un atmómetro en el sorgo forrajero. El sorgo, el maíz y la alfalfa son los principales cultivos forrajeros en la Comarca Lagunera, ya que ocupan más del 70% de la superficie sembrada.

La siembra se realizó en seco el 13 de abril del 2018 con el genotipo supersorgo. La densidad de población fue de 66,000 planta ha⁻¹. La dosis de fertilización fue de 200-80-80 kg/ha de N-P₂O₅-K₂O; las fuentes de fertilizante fueron sulfato de amonio, ácido fosfórico (52% de P₂O₅) y nitrato de potasio. En este caso, los nutrientes se aplicaron de manera fraccionada semanalmente, a través del sistema de riego. La cosecha se realizó a los 108 DDS. El diseño experimental fue en bloques al azar con 3 repeticiones o parcelas.

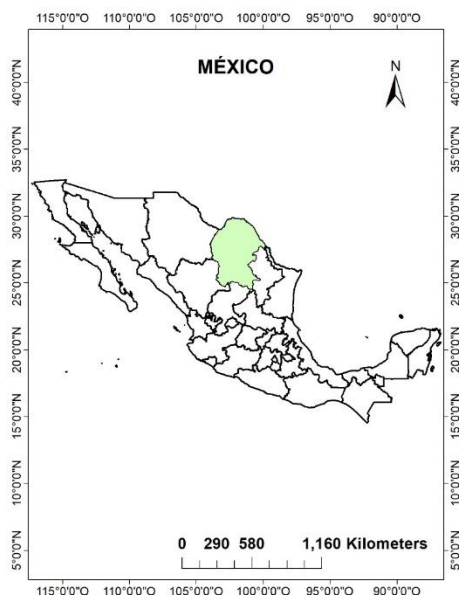


Figura 2. Área de estudio y ubicación del atmómetro.

Altura de planta

La altura de la planta se midió con una cinta métrica en tres plantas escogidas al azar en cada parcela durante todo el ciclo del cultivo. Las mediciones se realizaron desde la superficie del suelo hasta la penúltima hoja del cultivo y estas se tomaron dos veces por semana.

Índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI)

Las mediciones de NDVI se llevaron a cabo por la mañana con el equipo GreenSeeker, el cual

fue diseñado por la Universidad Estatal de Oklahoma y comercializado por (NTech Industries Inc., Ukiah, CA, EE. UU). Se tomaron los dos surcos centrales de cada parcela tomándose los valores a lo largo de los surcos a una altura de 0.6 m sobre el cultivo. El GreenSeeker funciona dirigiendo la luz roja, así como el infrarrojo cercano al dosel del cultivo. El NDVI se calculó utilizando la reflectancia espectral de la banda visible e infrarrojo cercano utilizando la siguiente relación (Rouse *et al.*, 1973).

$$\text{Fórmula empleada: } NDVI = \frac{NIR - Red}{NIR + Red}$$

Dónde: *NIR* y *Red*, son reflectancias en la longitud de onda del infrarrojo cercano (700 nm) y rojo (660 nm), respectivamente.

Finalmente, los valores de NDVI fueron utilizados para generar el coeficiente de cultivo (*Kc*) y este a su vez se multiplica por la evapotranspiración de referencia (*ET_o*) para desarrollar la evapotranspiración real del cultivo (*ET_c*).

follaje del cultivo. Este valor se dividió entre el ancho de surco (0.76 m) y se multiplicó por cien para determinar el porcentaje de cobertura vegetal. Las mediciones de cobertura vegetal se realizaron semanalmente entre las 12:00 y 14:00 horas, hasta los ~50 dds.

Cobertura vegetal

La cobertura vegetal se midió con una cinta métrica, haciendo dos mediciones por parcela, donde se midió la proyección perpendicular del

Lecturas del atmómetro

Las lecturas del atmómetro se realizaron todos los días a las 8:30 am (Figura 3). El atmómetro en la parte exterior del depósito tiene un tubo de

cristal con una escala graduada que permite la lectura del nivel de agua del depósito con facilidad. Para determinar la cantidad de agua perdida por el ambiente, se debe realizar una primera lectura y posteriormente, según el periodo en el que se desea cuantificar la evapotranspiración, sucesivas lecturas. Así, la diferencia en el nivel del agua entre dos lecturas

consecutivas es el agua evaporada por el atmómetro. Dicho valor representa la evapotranspiración de referencia para ese periodo de tiempo. Las lecturas del atmómetro se multiplicaron por el Kc generado del índice de vegetación para determinar la lámina de riego o evapotranspiración de cultivo.



Figura 3. Toma de lecturas de ETo diariamente en el atmómetro.

Comparación de la ETo entre el atmómetro y la estación climática

La evapotranspiración de referencia se midió con el atmómetro y se estimó mediante la ecuación de Penman-Monteith en la estación meteorológica. Dichos valores se compararon diariamente y posteriormente se acumularon para saber la lámina de riego total utilizada en ambos métodos durante la estación de crecimiento del cultivo.

Rendimientos forraje seco

La producción de forraje verde se estimó pesando dos metros lineales en los dos surcos centrales de cada parcela, después se tomó una muestra y se secó en una estufa de aire forzado a una temperatura de 65°C durante 72 horas, para posteriormente determinar la producción de forraje seco, la cual se determinó con el porcentaje de materia seca y la producción de forraje verde.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Temperaturas

Las temperaturas fueron típicas de la región teniendo las temperaturas mas altas en el mes de mayo. La Figura 4 muestra las temperaturas maximas, minimas y promedio durante el crecimiento del cultivo. Las altas temperturas

(>35 °C) se presentaron en las últimas dos semanas de mayo y la primera semana de junio. Aunque el sorgo forrajero es menos afectado por las altas temperaturas que el maíz forrajero. Sin embargo las altas temperaturas y su larga duracion pueden afectar el crecimiento y desarrollo de los cultivos, dando como resultado bajos rendimientos de materia seca.

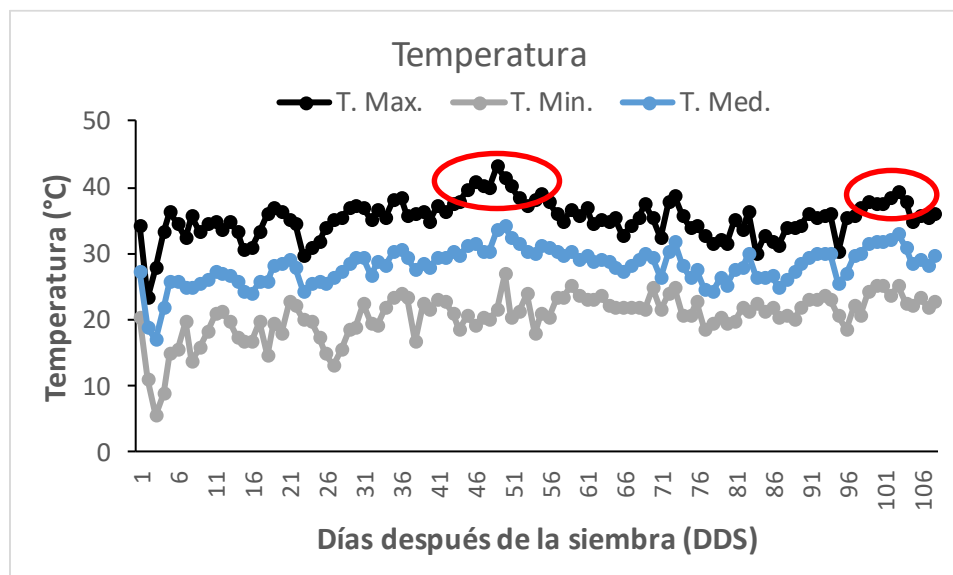


Figura 4. Temperaturas máximas, mínimas y medias durante el ciclo del sorgo forrajero

Altura de planta

La altura de planta se incrementó desde las primeras etapas de desarrollo del cultivo donde generalmente son pequeñas, hasta alcanzar su máximo valor al final del ciclo. La Figura 5 muestra la evolución de la altura de planta durante el ciclo de cultivo. La altura monitoreada presentó un valor de (0.17m) al inicio del desarrollo del cultivo y al finalizar el ciclo se reportó una altura máxima de (3.92 m). Los valores de altura reportados en la figura son el promedio de 30 plantas seleccionadas al azar.

Las alturas promedio del sorgo en estudio fueron superiores a los valores de altura reportados en otras investigaciones hechas por Rivera *et al.*, 2014 y Núñez *et al.*, 2015, quienes reportaron alturas finales de 3.18 y 3.28 m, respectivamente en el sorgo forrajero silo miel. Pero menores a los reportados por Berber *et al.*, 2016 en Tecmán, Colima, México, quienes reportaron alturas máximas hasta de 4.45 m en una variedad de super sorgo.

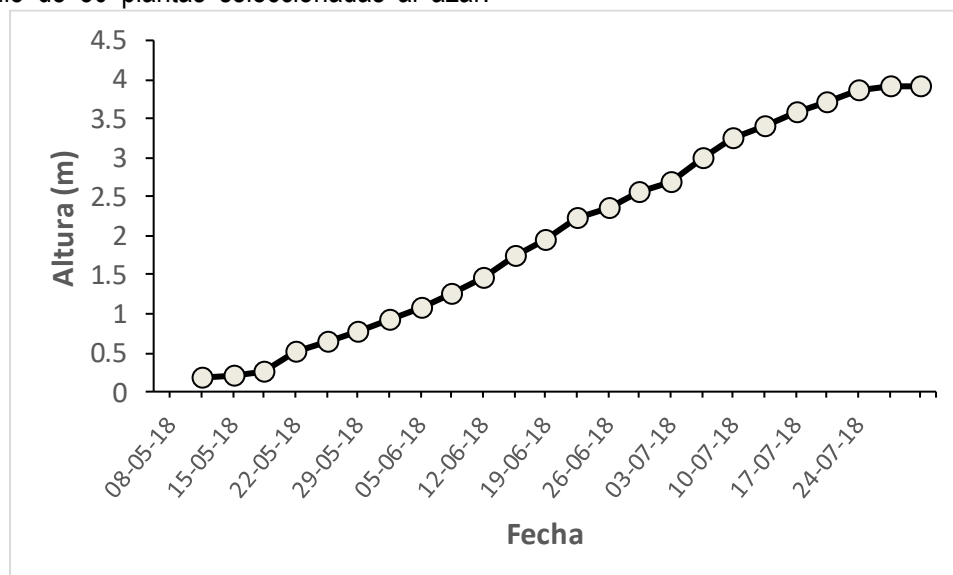


Figura 5. Evolución de la altura del super sorgo forrajero en Matamoros, Coahuila.

Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI)

La progresión del índice de vegetación para el super sorgo se muestra en la figura 6. Donde los valores bajos (0.3) fueron al inicio del ciclo cuando la planta estaba pequeña, después se observa un crecimiento rápido hasta obtener un valor máximo de 0.7 y una cobertura total del cultivo. Después de la cobertura del cultivo los valores de NDVI fueron constantes (~0.7) hasta un cierto periodo de tiempo. Finalmente, los valores de NDVI empezaron a disminuir (0.55) cuando el cultivo empezaba la tapa de

senescencia y el número de hojas secas se empezó a incrementar. Curvas similares de NDVI fueron reportadas por Hong *et al.*, 2007 y Romano *et al.*, 2011 en maíz forrajero utilizando el equipo Greenseeker, esas curvas presentaron valores mínimos de NDVI (0.2) al inicio del ciclo, valores máximos (0.8) en la etapa intermedia de crecimiento del cultivo y valores intermedios al final del ciclo (0.6). Relación entre índice de vegetación (NDVI) y altura se presentan en la figura 7. Buena correlación (0.94) entre estas dos variables fue observada.

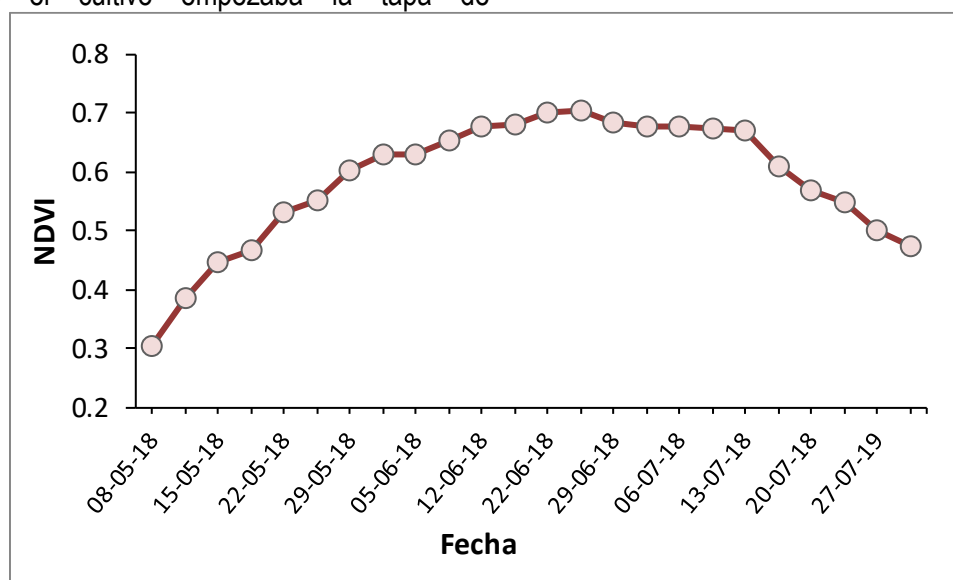


Figura 6. Progresión del índice de vegetación (NDVI) durante el ciclo del super sorgo 2018.

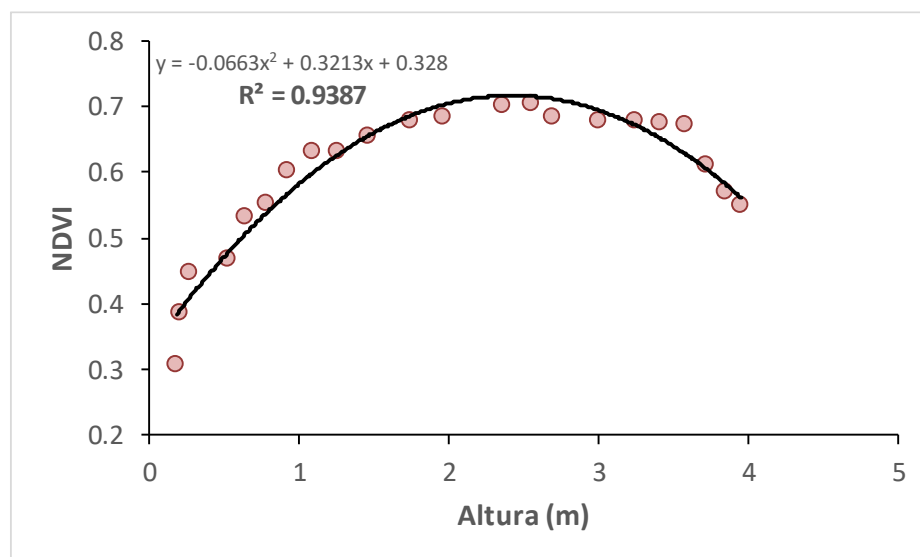


Figura 7. Correlaciones entre altura y el NDVI en el cultivo de sorgo forrajero

Curva de Kc para sorgo forrajero

La curva de Kc se generó a partir de datos de NDVI durante el ciclo de cultivo. La curva de nuevo Kc mostró valores bajos al inicio del ciclo (~0.2), posteriormente fue aumentando hasta alcanzar un valor máximo de 1.0 donde permanece como una meseta para después disminuir a un valor promedio de ~0.7 (Figura 8). Estas curvas de Kc son semejantes a las curvas

obtenidas por Reyes-González *et al.*, 2016b, 2018, 2019 en maíz forrajero en la Comarca Lagunera utilizando los índices de vegetación. Cabe mencionar que los nuevos valores de Kc generados en esta investigación se multiplicaron por la ETo derivada del atmómetro para calcular la evapotranspiración actual del cultivo (ETc) y programar los riegos en el sorgo.

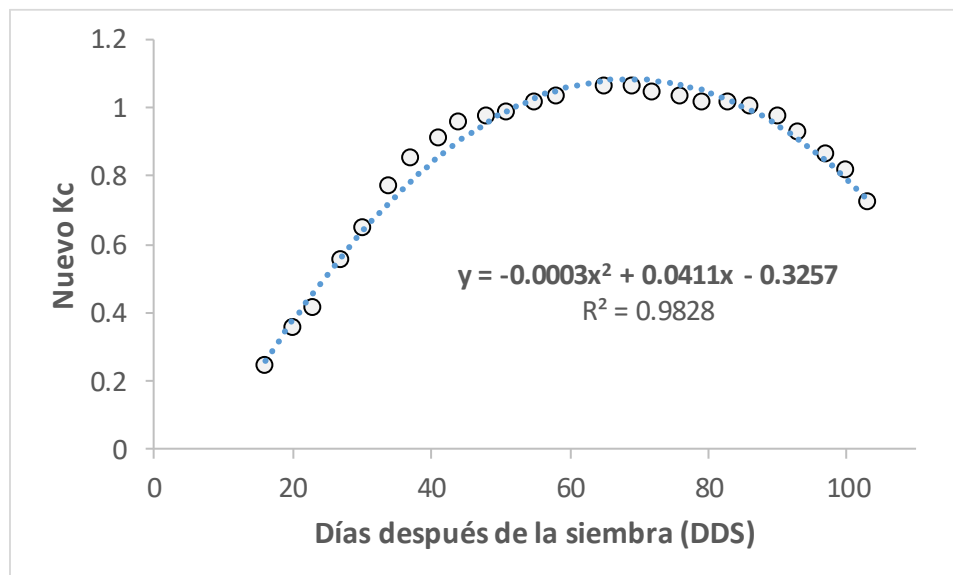


Figura 8. Nuevo Kc para sorgo forrajero en ciclo primavera 2018, Comarca Lagunera.

Evapotranspiración de referencia (ETo)

La ETo diaria se midió con el atmómetro y se estimó con la estación meteorológica durante el ciclo del cultivo (Figura 9). Los valores de ETo diarios medidos con el atmómetro fluctuaron de 3.0 a 9.75 mm día⁻¹. Mientras que los valores de ETo para la estación oscilaron entre 3.4 y 8.1 mm día⁻¹. En general el atmómetro sobreestimó en un 2% a los valores de ETo tomados de la estación meteorológica durante el ciclo del cultivo (Figura 9). Sin embargo, si se requiere que las lecturas del atmómetro sean lo más cercanas a las lecturas de la estación, tendrán que ser multiplicadas por un factor de corrección de 0.75. Reyes-González *et al.*, (2016)

compararon la ETo de un atmómetro con la ETo proveniente de la estación de clima en Dakota del Sur, EUA y concluyeron que el atmómetro sobreestimó la ETo final en un 12%. Otras investigaciones (Mendoca *et al.*, 2003, Irmak *et al.*, 2005, Knox *et al.*, 2011 y Gleason *et al.*, 2013) compararon la ETo en intervalos de un día, tres y siete días, llegando a la conclusión de que conforme se alarga el intervalo (7 días) los coeficientes de regresión son mayor entre el atmómetro y la estación meteorológica. Por otro lado, la ETo provenientes del atmómetro es útil en áreas donde no se cuenta con una estación meteorológica o para personas que no tiene acceso a esta información.

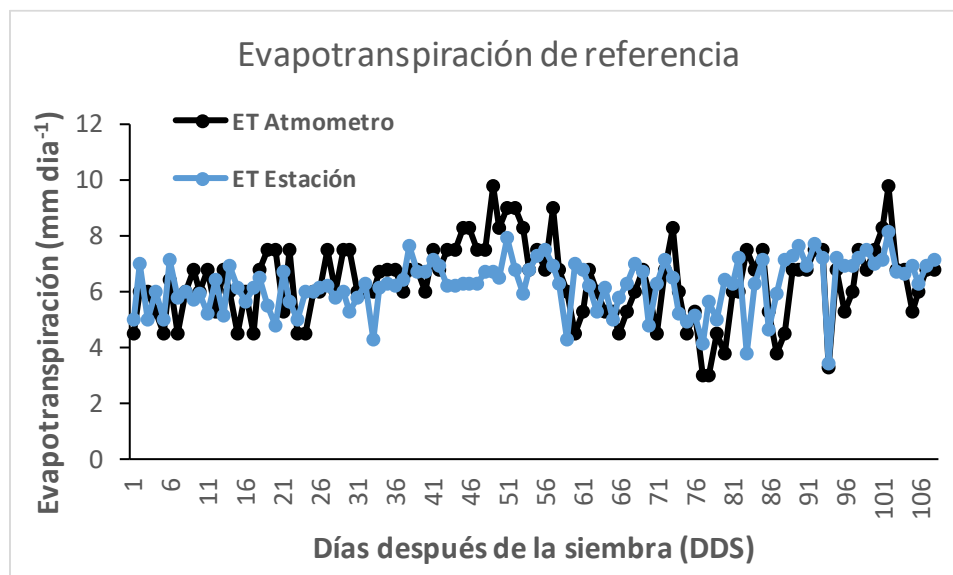


Figura 9. Monitoreo de la ETo usando un atmómetro y la estación meteorológica.

Lámina de riego acumulada y total

Las Figuras 10 y 11 muestran la lámina acumulada de riego y la lámina total de riego utilizada durante el ciclo del cultivo para ambos métodos. La Figura 10 muestra como al inicio del ciclo la lámina de riego entre el atmómetro y la estación es diferente, esto se debió a que las lecturas del atmómetro se multiplicaron por el Kc que se generó en esta investigación, el cual es bajo al inicio del ciclo (0.2) y posteriormente se va incrementando conforme el cultivo se va

desarrollando. Sin embargo, esta diferencia se observó durante todo el ciclo del cultivo. Por otro lado, en la figura 11, se muestra la gráfica de barras con los que se valida la eficacia del atmómetro, teniendo un ahorro de agua de 15 cm de lámina en todo el ciclo. Esto muestra que el atmómetro puede ser un instrumento que estima la lámina de riego con alto grado de confiabilidad y se puede tener un considerable ahorro de agua en la agricultura bajo riego.

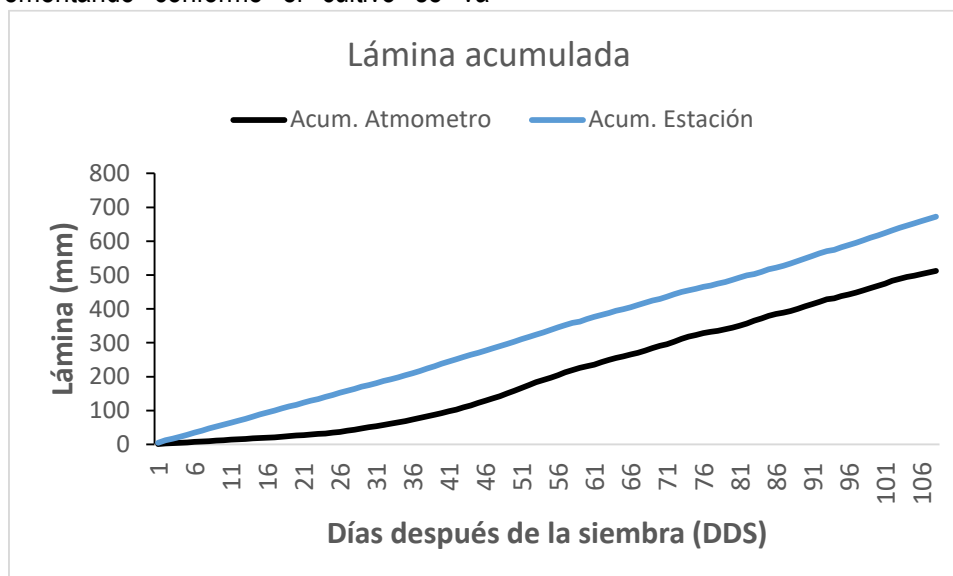


Figura 10. Lámina de riego acumulada para el atmómetro y la estación durante el ciclo de crecimiento del cultivo.

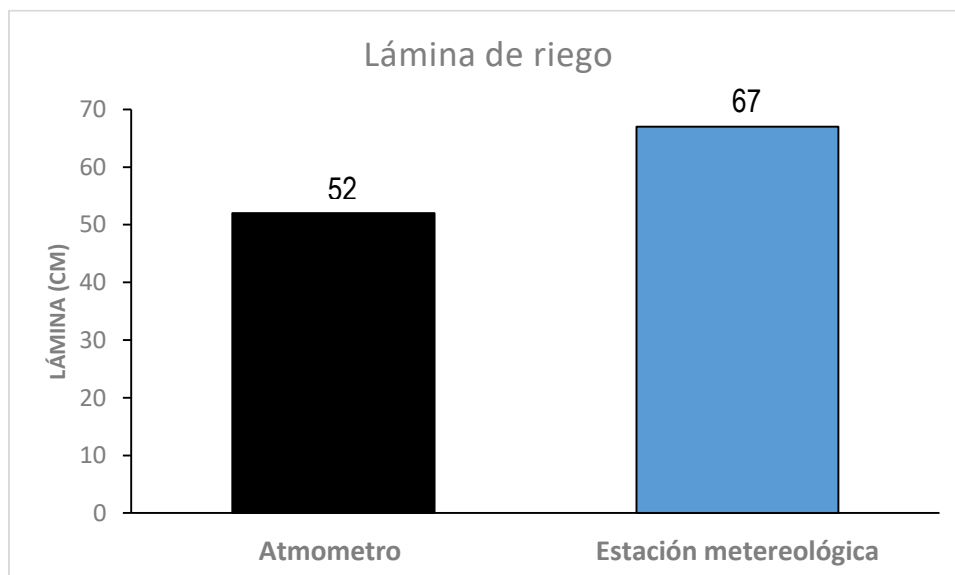


Figura 11. Lámina de riego total utilizada con el atmómetro y con la estación meteorológica en el super sorgo.

Rendimientos

Para obtener el forraje verde del sorgo se cosecharon cinco plantas con sus respectivos hijuelos, después se cosechó el resto del surco, cosechando en total de dos metros lineales por cada parcela. El cuadro 1 presenta el promedio de las tres parcelas, donde la producción de forraje verde vario entre 135 y 171 t ha⁻¹ teniendo una media de 149 t ha⁻¹ en el ciclo primavera verano 2018. Los rendimientos de

forraje verde registrados en este estudio fueron superiores a los encontrados por Faz *et al.*, 2013 y Rivera *et al.*, 2014, quienes reportaron rendimientos de 70 y 81 t ha⁻¹, respectivamente de forraje verde en la Comarca Lagunera, aunque estos sorgos fueron regados utilizando el riego por superficie. Sin embargo, nuestros resultados fueron similares (139 - 171 t ha⁻¹) a los reportados por Berber *et al.*, 2016 en Tecomán, Colima, México.

Cuadro 1. Peso de planta e hijuelos y rendimiento de forraje verde (FV) y forraje seco (FS)

Peso 5 plantas (kg)			Peso hijuelos (kg)		Resto surco 2 m	Peso total área 1.52 m ²	F.V tha ⁻¹	F.S tha ⁻¹
Planta	Espiga	Hoja	Planta	Espiga				
3.8	0.1	0.9	2.3	0.2	16.6	22.6	148.9	32.0

CONCLUSIONES

Durante el ciclo del cultivo el atmómetro sobreestimo en un 2% los valores de ETo provenientes de la estación meteorológica. Esto demuestra que con el atmómetro se puede estimar la evapotranspiración de referencia con alto grado de confiabilidad. Además, con el uso del atmómetro y las curvas de coeficiente de cultivo aquí desarrolladas se obtuvo un ahorro de agua de 1500 m³ durante el ciclo del cultivo.

En conclusión, podemos decir que el atmómetro es un instrumento útil en la programación del riego para el sorgo en la Comarca Lagunera. Sin embargo, investigaciones futuras será la evaluación del atmómetro bajo diferentes condiciones climáticas, tales como condiciones tropicales y/o húmedas.

LITERATURA CITADA

- Alam, M., and Trooien, T. (2001). Estimating reference evapotranspiration with an atmometer. *Applied Engineering in Agriculture*, 17(2), 153-158.
- Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., and Smith, M. (1998). Crop Evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements-FAO Irrigation and drainage paper 56. *FAO*, Rome, 300 (9), D05109.
- Berber A., F. J. Ramírez y A. Santoscoy. (2016). Super Sorgo: El sorgo dulce como un alternativa rentable para algunas regiones del tropico mexicano. Folleto Técnico No. 15. Centro de Investigación Regional Pacifico Centro, Campo Experimental Tecoman. INIFAP.
- Broner, I., and Law, R. (1991). Evaluation of a modified atmometer for estimating reference ET. *Irrigation Science*, 12(1), 21-26.
- Faz R, A. Anaya, G. Núñez, y J. Cruz. (2013). Potencial forrajero y eficiencia de uso de agua de cultivos forrajeros en ciclo de primavera-verano. *Agrofaz*, vol. 13 No. 3.
- Gavilán, P., and Castillo-Llanque, F. (2009). Estimating reference evapotranspiration with atmometers in a semiarid environment. *Agricultural Water Management*, 96(3), 465-472.
- Gleason, D., Andales, A., Bauder, T., and Chávez, J. (2013). Performance of atmometers in estimating reference evapotranspiration in a semi-arid environment. *Agricultural Water Management*, 130, 27-35.
- Hong, S., J. Schepers, D. D. Francis, and M. R. Schlemmer. (2007). Comparison of ground-based remote sensors for evaluation of corn biomass affected by nitrogen stress. *Soil Sci. and Plant Analysis*, 38: 2209-2226.
- Irmak, S., Dukes, M., and Jacobs, J. (2005). Using modified Bellani plate evapotranspiration gauges to estimate short canopy reference evapotranspiration. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 131(2), 164-175.
- Knox, J., Rodriguez-Diaz, J., and Hess, T. (2011). Estimating evapotranspiration by using atmometers for irrigation scheduling in a humid environment. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 137(11), 685-691.
- Magliulo, V., d'Andria, R., and Rana, G. (2003). Use of the modified atmometer to estimate reference evapotranspiration in Mediterranean environments. *Agricultural Water Management*, 63(1), 1-14.
- Mendonça, J. C., Sousa, E. d., Bernardo, S., Dias, G. P., and Grippa, S. (2003). Comparação entre métodos de estimativa da evapotranspiração de referência (ET_o) na região Norte Fluminense, RJ. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 7(2), 275-279.
- Núñez G, A. Anaya, Faz R, y H.A. Serrato. (2015). Variedades de sorgo para forraje con alto potencial de producción de leche de bovino. *Agrofaz*. Vol. 15 No. 1.
- Reyes-Gonzalez, A., Trooien, T., Hay, C., and Kjaersgaard, J. (2016a). Comparison of reference evapotranspiration estimated by automated weather station and measured with an atmometer. Paper presented at the 2016 Western South Dakota Hydrology Conference, Rushmore plaza civic center, Rapid city, SD.
- Reyes-González, A., Trooien, T., Kjaersgaard, J., Hay, C., and Reta-Sánchez, D. G. (2016b). Development of Crop Coefficients Using Remote Sensing-Based Vegetation Index and Growing Degree Days. Paper presented at the

- 2016 ASABE Annual International Meeting.
- Reyes-Gonzalez, A. (2017). Using remote sensing to estimate crop water use to improve irrigation water management. Doctoral Dissertation. South Dakota State University, EU. p. 196.
- Reyes-González. A., J. Kjaersgaard, T. Trooien, C. Hay, and L. Ahiablame. (2018). Estimation of crop evapotranspiration using satellite remote sensing-based vegetation index. *Adv. Meteorol.* vol. 2018, Article ID4525021, 12 pages.
- Reyes-González. A., D. G. Reta, J. I. Sánchez, E. Ochoa, K. Rodríguez y P. Preciado. (2019). Estimación de la evapotranspiración de maíz forrajero apoyada con sensores remotos y mediciones *in situ*. *Terra Latinoamericana* 37: 279-290. DOI: <https://doi.org/10.28940/terra.v37i3.485>
- Romano, G., S. Zia, W. Spreer, C. Sanchez, J. Cairns, J. L. Araus, and J. Muller. (2011). Use of thermography for high throughput phenotyping of tropical maize adaptation in water stress. *Comp. and Electron. Agric.* 79:67-74.
- Rouse, J. W., R. H. Haas, J. A. Schell, and D. W. Deering. (1973). Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. In *Proceeding of third ERTS symposium, Washington, DC, USA, 10-14 December 1973*; vol. 1, pp. 309-317.
- Rivera E, G. Esquivel, J.A. Muñoz, M. Velásquez e H. Macías. (2014). Generación de tecnología para aumentar la eficiencia en el aprovechamiento del agua y nutrientes en sorgo forrajero con tres riegos de auxilio. *Agrofaz*, vol. 14 No. 2.
- Villa, C. M. M., V. V. E. A. Catalan, y M. A. Inzunza. (2005). Análisis de la información climática para usos agrícolas. *Agrofaz* 5: 717-724.