



USO DE LOS GRADOS DÍAS ACUMULADOS EN LA ESTIMACIÓN DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN DE LA CAÑA DE AZÚCAR (*Saccharum* spp. híbrido) PARA CICLOS DE CRECIMIENTO MONOMODAL

Using degree days accumulated by monomodal growth cycles in estimating evapotranspiration of sugarcane (*Saccharum* spp. hybrid)

Maira Ferrer Reyes✉, Guillermo Gálvez, Carlos Lamela y Gilda Jiménez

ABSTRACT. Presents preliminary results about the relationship obtained among degree days, evapotranspiration and agricultural yields of sugarcane. A linear correlation between evapotranspiration and degrees days accumulated by monomodal growth cycles was obtained. A trial to estimate agricultural yields in seven basic business units (BSU) of Cuba was conducted. Potential yields were determined from the degree days. These ranged from 160,2 to 205,7 t cane.ha⁻¹, indicating the potential possibilities of this crop. In five of the seven companies, used model underestimated farm yields in percentages from 8,52 (UEB “Jesús Rabi” to 28,81 % (UEB Brazil). Agricultural performance was overestimated in two UEB “Primero de Enero” and “Argeo Martínez” at 8,20 and 13,98 %, respectively. The results obtained allow ratify the possible use of the degree days as similar from the accumulated evapotranspiration, for the prediction of agricultural performance, as well as cover the first stage of quantitative character at a general level, whereas the sugarcane as individual species and prepare conditions for the arrival to a more qualitative stage in the yields prediction at of commercial level of varieties in this crop.

RESUMEN. Se presentan resultados preliminares sobre la relación obtenida, entre los grados días acumulados, la evapotranspiración y los rendimientos agrícolas de la caña de azúcar. Se obtuvo una correlación lineal, entre la evapotranspiración y los grados días acumulados por ciclos de crecimiento monomodal. Se realizó un ensayo para estimar los rendimientos agrícolas en siete Unidades Empresariales Básicas (UEB) de Cuba. Los rendimientos potenciales fueron determinados a partir de los grados días. Estos variaron entre 160,2 y 205,7 t de caña.ha⁻¹, los que indican las posibilidades potenciales de este cultivo. En cinco de las siete empresas, el modelo utilizado subestimó los rendimientos agrícolas en porcentajes desde 8,52 (UEB “Jesús Rabi” hasta 28,81 % (UEB Brasil). El rendimiento agrícola fue sobreestimado en dos UEB “Primero de Enero” y “Argeo Martínez” en 8,20 y 13,98 %, respectivamente. Los resultados permiten ratificar el posible uso de los grados días como similar de la evapotranspiración acumulada, para la predicción del rendimiento agrícola, así como cubrir una primera etapa de carácter cuantitativo a nivel general, considerando a la caña de azúcar como especie individual y preparar condiciones para el arribo a una etapa más cualitativa en la predicción de los rendimientos a nivel de variedades comerciales en este cultivo.

Key words: sugarcane, yield, estimate

Palabras clave: caña de azúcar, rendimiento, estimación

INTRODUCCIÓN

Las variables evapotranspiración y grados días, son utilizadas en el pronóstico de los rendimientos agrícolas y requerimientos hídricos en cultivos de interés agrícola (1, 2, 3).

La primera, constituye el elemento que integra el sistema suelo-planta-atmósfera, desde el punto de vista hídrico y la segunda, es utilizada en los modelos para simular el tránsito de las plantas de una etapa

fenológica a otra, ya que los grados días le asignan un valor de calor a cada día del calendario. Este tipo de simulación de las etapas fenológicas se utiliza en caña de azúcar (4, 5, 6, 7) y otros cultivos, como trigo (8), frijol (9), remolacha azucarera (10), maíz (11), algodón (12) y papa (13).

En trabajos de zonificación agroecológica de la caña de azúcar (14) combinó los requerimientos hídricos, los grados días y la aptitud física de los suelos y estableció los rendimientos potenciales por agrupamientos de suelos.

En Cuba, no contamos con antecedentes sobre el uso de los grados días en la estimación de la evapotranspiración de la caña de azúcar; sin embargo, la obtención de un modelo que permita estimar la evapotranspiración de la caña de azúcar a partir de los grados días acumulados durante su ciclo de plantación, puede ser de gran utilidad práctica, ya que con respecto a la relación rendimiento agrícola y evapotranspiración se refiere que por cada 10 mm de agua, se produce una t de caña de azúcar (15).

El presente trabajo tiene como objetivo evaluar la relación evapotranspiración de la caña de azúcar con los grados días acumulados por ciclos de crecimiento monomodal y su posible uso en la estimación de los rendimientos agrícolas de la caña de azúcar.

MATERIALES Y MÉTODOS

Los grados días (GDD) acumulados por mes, fueron determinados mediante la sustracción de una temperatura base igual a 20 °C a la temperatura promedio mensual. La fórmula utilizada fue:

$$\text{GDD} = [(T_{\text{máx}} - T_{\text{mín}}) / 2] - T_b$$

donde:

T máx: temperatura máxima diaria del aire

T mín: temperatura mínima del aire

T_b: temperatura base T_b=20 °C

Para comparar el comportamiento de los GDD con la evapotranspiración mensual de la caña de azúcar, se tomaron datos sobre el comportamiento de las temperaturas máximas y mínimas, así como de la evapotranspiración mensual de dos experimentos realizados con la variedad de caña de azúcar Ja 60-5 plantada sobre suelos Ferralitizados cálcicos, bajo condiciones de riego por aspersión, según se refiere^A se realizaron en la estación Experimental del Instituto de Investigaciones de Riego y Drenaje (latitud 20° 47' N, longitud 82° 36' O) a 6 m sobre el nivel del mar, en el municipio de Alquizar al suroeste de la provincia Artemisa.

La información climática del periodo experimental, excepto de la lluvia, se tomó de la Estación Meteorológica de "La Pepilla" a menos de 10 km del área experimental. Los datos de lluvia de un pluviómetro ubicado en el área experimental^A. El primer experimento tuvo en cuenta una caña planta de 16 meses (plantanov /81¹), cuyo periodo de plantación estuvo comprendido entre el 27 de noviembre de 1981 y el 15 de marzo de 1983. El segundo experimento seleccionado se correspondió con un retoño de 14 meses (Ret (1)-abr/80¹). El periodo de evaluación de este retoño se enmarcó entre diciembre de 1981 y febrero de 1983.

El comportamiento de los GDD acumulados mensualmente, fue también determinado en un experimento realizado con el primer retoño de las variedades de caña de azúcar: C89-148, C86-12 y C85-102 que fueron cultivadas bajo condiciones lisimétricas, con el objetivo de conocer su máxima evapotranspiración^B. Los estudios se realizaron en el lisímetro de la Estación Experimental de la Caña de Azúcar de Jovellanos, cuya estación meteorológica está ubicada a 60 m del mismo^B. El periodo de evaluación estuvo comprendido entre diciembre de 2006 y diciembre de 2007.

La relación de la evapotranspiración con los grados días acumulados fue evaluada para cada ciclo por separado, mediante el programa Statistica 6.0.

Para la estimación del rendimiento agrícola bajo condiciones de riego se realizó un ensayo en siete Unidades Empresariales de Base (UEB) de Cuba ("30 de noviembre" en Pinar del Río, "Jesús Rabi" en Matanzas, "Primero de Enero" y "Brasil" en Ciego de Ávila, "Amancio Rodríguez" en Las Tunas, "Urbano Noris" en Holguín, "Julio Antonio Mella" en Santiago de Cuba y "Argeo Martínez" en Guantánamo^C) con el modelo de Doorenbos y Kassan (1).

$$[1 - (R_r / R_p)] = k_y [1 - (E_r / E_p)]$$

donde:

R_r y R_p – rendimientos reales y potenciales, respectivamente

E_r y E_p – evapotranspiración o consumo real y potencial, respectivamente

K_y (factor respuesta de los rendimientos agrícolas)= 1, 2- es el valor global, dado por la FAO para la caña de azúcar (1).

Se tomó como evapotranspiración potencial, el valor obtenido a partir de la determinación de los GDD acumulados, teniendo en cuenta los valores de temperaturas máximas y mínimas reportadas por UEB^C

y considerando ciclos de plantación hasta 16 meses. Para calcular el rendimiento potencial de los ciclos anteriores, se asumió los GDD como el valor de la evapotranspiración potencial y la relación, 10 mm de agua por cada t de caña (15).

La evapotranspiración real o consumo fue calculada para cada UEB, teniendo en cuenta los datos de precipitaciones aprovechadas más la adición de los requerimientos hídricos de la caña^c para ciclos de 16 meses.

Los datos obtenidos fueron sustituidos en el modelo (1) para cada empresa por separado y utilizando el valor de $k_y=1,2$ se estimaron los rendimientos agrícolas, que fueron comparados con los reales obtenidos^c.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las Figuras 1, 2, 3, 4, 5 representan la relación encontrada entre los grados días acumulados y la evapotranspiración durante el ciclo de plantación de cada una de las cepas evaluadas.

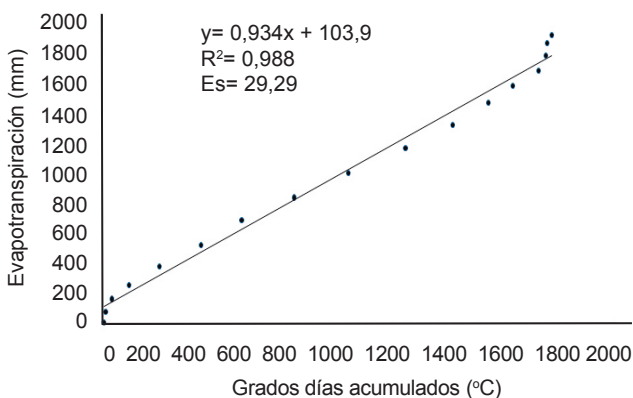


Figura 1. Relación entre los grados días y la evapotranspiración acumulada, durante el ciclo de plantación de la caña de 16 meses de la variedad Ja 60-5

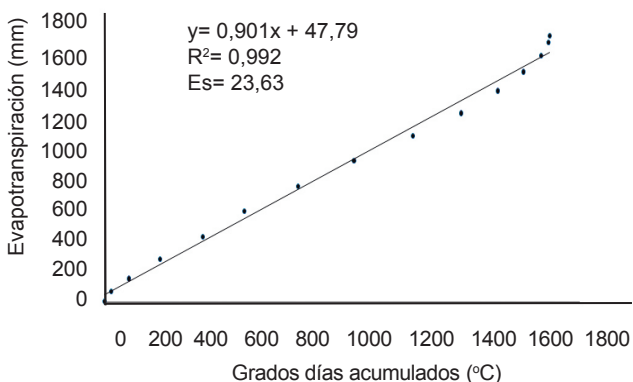


Figura 2. Relación entre los grados días y la evapotranspiración acumulada, durante el ciclo de plantación de la cepa primer retoño de la variedad Ja 60-5

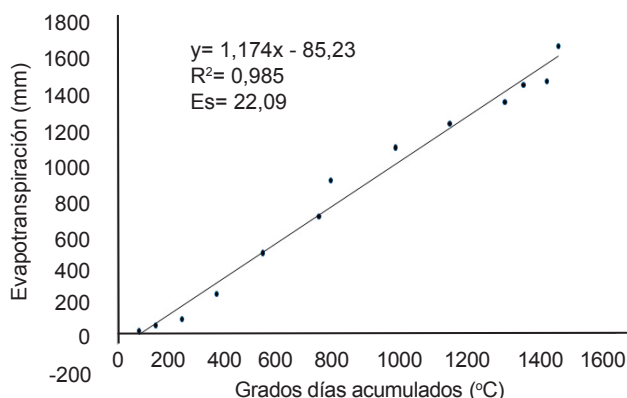


Figura 3. Relación entre los grados días y la evapotranspiración acumulada, durante el ciclo de plantación de la cepa retoño de la variedad C89-148

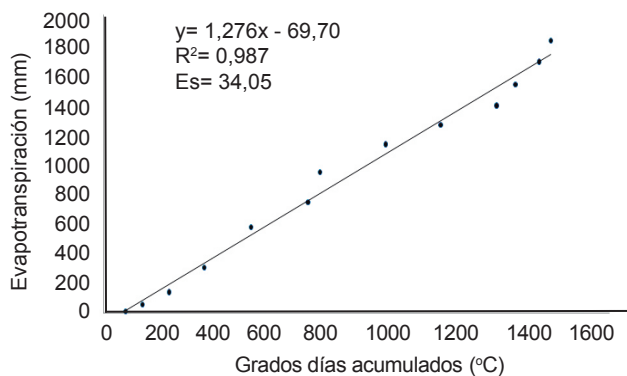


Figura 4. Relación entre los grados días y la evapotranspiración acumulada, durante el ciclo de plantación de la cepa retoño de la variedad C86-12

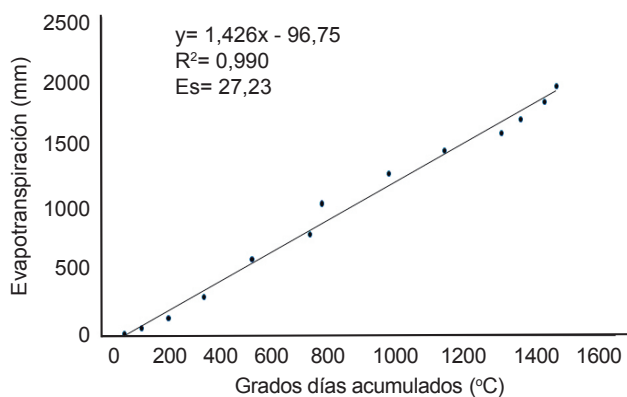


Figura 5. Relación entre los grados días y la evapotranspiración acumulada, durante el ciclo de plantación de la cepa retoño de la variedad C85-102

Como se observa en las figuras, en todos los casos evaluados la relación entre los grados días acumulados y la evapotranspiración, tuvo un ajuste lineal, tanto para la caña planta de 16 meses (Figura 1), como para los retoños (Figuras 2, 3, 4 y 5), con coeficientes de determinación (R^2) iguales a 0.99 y errores standart que variaron entre 22 (Figura 3) y 34,5 (Figura 4).

Como se ha podido ver la determinación de los grados días sobre la base de 20 °C, puede aportar valores modulares cercanos a la evapotranspiración de los ciclos evaluados, independientemente del cultivar y el método de riego. Esto significa que la relación que se establece entre la evapotranspiración bajo condiciones de riego y los GDD acumulados por la plantación es cercana a uno, por tanto, en la estimación de los rendimientos agrícolas, los grados días pudieran sustituir a la evapotranspiración.

La tabla muestra los rendimientos potenciales calculados, a partir de la relación encontrada entre los grados días y la evapotranspiración y considerando la relación evapotranspiración-rendimientos agrícolas (15), los rendimientos estimados por la expresión (1) y los reales obtenidos para las áreas de siete empresas bajo condiciones de riego. Se aprecia también que los potenciales calculados estuvieron entre 160,2 y 205,7 t de caña ha⁻¹, estos valores pudieran parecer elevados; sin embargo, teniendo en cuenta los rendimientos agrícolas de Colombia, Sudáfrica y Australia, se refiere un potencial experimental de 212 t caña ha⁻¹ y un rendimiento agrícola comercial de 150 t de caña ha⁻¹ (16). Los rendimientos estimados a partir del potencial calculado estuvieron entre 70,7 y 108,9 t de caña ha⁻¹.

Se observa además, que en cinco de las siete empresas, el modelo subestima los rendimientos agrícolas en porcentajes que van desde 8,52 (UEB "Jesús Rabí" hasta 28,81 % (UEB "Brasil"). El rendimiento agrícola es sobreestimado en dos UEB "Primero de Enero" y "Argeo Martínez" en 8,20 y 13,98 %. Las discrepancias entre los rendimientos estimados por el modelo y los reales obtenidos, pueden ser explicadas teniendo en cuenta, que en el modelo se utilizó 1,2 como factor respuesta de los

rendimientos agrícolas y entre los cultivares pueden existir diferencias con respecto a la respuesta al agua (1). Desafortunadamente, los valores de k_y no son conocidos para todas las variedades que se encuentran bajo condiciones de riego en el país. Sin embargo, la tendencia actual del Instituto de Recursos Hidráulicos (IRNH) es autorizar el uso del agua, teniendo en cuenta el rendimiento agrícola planificado a obtener en los diferentes cultivares⁹.

Del análisis realizado se deriva que el uso de los GDD acumulados es una herramienta que puede ser utilizada en la estimación de la evapotranspiración de la caña de azúcar, al tiempo que brinda un conocimiento general del rendimiento agrícola.

CONCLUSIONES

Los grados días acumulados por ciclos de plantación monomodal pueden ser utilizados en la estimación de la evapotranspiración de la caña de azúcar y aportar un conocimiento general para el pronóstico de los rendimientos agrícolas.

REFERENCIAS

1. Doorenbos, J. y Kassam, A. H. Yield response to water. Yield response to water. FAO irrigation and drainage paper 33. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome. 1979. pp. 193. ISBN 92-5-1007 44-6.
2. Van Dam, J. C.; Huygen, J.; Wesseling, J. G.; Feddes, R. A.; Kabat, P.; Van Walsum, P. E. V.; Groenendijk, P. y Van Diepen, C. A. Simulation of water flow, solute transport and plant growth in the soil-water-atmosphere-plant environment. Department Water Resources, Wageningen Agricultural University. Technical Document 1997. vol. 45. ISSN 0928-0944.
3. Pacheco de Souza, A.; Carvalho Ramos, M.; Dawson de Lima, A.; Oliveira, F.; Escobedo, J. F. Comparison of methodologies for degree-days estimation using numerical methods. Acta Scientiarum Agronomy Maringá, 2011, vol. 33, no. 3, pp. 391-400. Doi: 10.4025/actascagron.

Tabla. Rendimientos potenciales calculados, rendimientos estimados y reales obtenidos en siete empresas azucareras de Cuba

UEB	Rendimiento potencial calculado (t caña ha ⁻¹)	Rendimiento estimado (t caña ha ⁻¹)	Rendimiento real (2009-2010) (2010-2011)	Nº de cosechas
30 de noviembre	172,8	70,75	79,5	6
Jesús Rabí	173,6	108,86	119	15
Primero de Enero	160,2	92,73	85,7	25
Brasil	178,1	74,19	104,2	2
Amancio	205,7	74,6	98,6	5
Rodríguez	198,6	74,66	65,5	4
Argeo Martínez	195,1	74,68	87	2

4. Salles, S. M. y Ferreira de Beauclair, E. G. Physiological model to estimate the maturity of sugarcane. *Sci. agric. Piracicaba, Braz.*, 2009, vol. 66, no. 5, pp. 667- 676. ISSN 0103-9016.
5. Srivastava, A. K.; Srivastava, D. C.; Snha, O. K. y Kumar, R. Accumulated thermal time, a key factor in affecting generation, initiation and duration of top borer, *Scirpophaga excerptakis Walker* of sugarcane for its model- based chemical control. *Meteorological applications*, 2010, vol. 17, pp. 32-38. Disponible en: Doi: 10.1002/met.154.
6. Singels, A.; Smit, M. A.; Redshaw, K. A. y Donaldson, R. A. The effect of crop start date, crop class cultivar on sugarcane canopy development and radiation interception. *Field Crops Research*, 2005, vol. 92, pp. 249-260. Disponible en : doi: 10.1016/j.fcr.
7. Almeida, A. C.; Souza, J. L.; Teodoro, I.; Barbosa, G. V.; Fihlo, G. M. y Ferreira, R. A. Vegetative development and production of sugarcane varieties as a function of water availability and thermic units. *Ciencia y Agrotecnología*, 2008, vol. 32, no. 5. ISSN 1413-7054.
8. Riffkin, P.; Harris, R.; Clough, A. y O. leary, G. Optimum sowing times wheat at Frances, South Africa. Department of primary industries. Future farming systems research. 2008. ISBN 978-1-74217-813.
9. Escalante, J. A.; Escalante, E. y Rodríguez, M. T. Producción de fríjol, en dos épocas de siembra: Su relación con la evapotranspiración, unidades de calor y radiación solar en clima cálido. TERRA Latinoamericana. Universidad de Chapingo. 2001. pp. 309-315. ISSN 0187-5779.
10. Gholipouri ASharifi, A.; Sedghi, M. y Heydari, A. A very simple model for simulating sugar beet yield for potential production. *Journal of Phytology* 1. 2009, no. 5, pp. 277-284. ISSN: 2075-6240.
11. Chen, C.; Wang, E. y Yu, Q. Modeling wheat and Maize productivity as affected by climate variation and irrigation supply in north China plain. *Agronomy Journal*, 2010, vol. 102, no. 3, pp. 1037-1049. doi: 10.2134/agronj2009.0505.
12. Saseendran, S. A.; Nielsen, D. C.; Liwang, Ma.; Ahuja, R. L. y Merle, F. V. Simulating Alternative Dryland Rotational Cropping Systems in the Central Gret Planins with RZWQM2. *Agronomy Journal*, 2010, vol. 102, pp. 1521-1534. Disponible en: doi: 10.2134/agronj.
13. Jiménez, A.; Vargas, V.; Salinas, W. E.; Aguirre, M. J. y Rodríguez, D. Aptitud agroecológica para el cultivo de la caña de azúcar en el sur de Tamaulipas, México. Investigaciones Geográficas. *Boletín del Instituto de Geografía, UNAM*. 2004, no. 53, pp. 58-74. ISSN 0188-4611.
14. Bustamante, W.; Ibarra, E.; Snack, D. y Carrillo, M. Generalization of irrigation scheduling parameters using the growing degree days concepts application to a potato crop. *Irrigation and drainage*, 2004, vol. 53, pp. 251-261. Disponible en: doi 10.1002/ird.134.
15. Lamelas, C.; Ferrer Reyes, M. y Oviedo Serrate, María T. La eficiencia biológica y tecnológica en el uso del agua para el riego de la caña de azúcar. *Revista Cuba Caña*, 2008, no. 1, pp. 55-59.
16. Gálvez, G.; Ferrer, M. y Lamela, C. El rendimiento de la caña de azúcar. Algunas relaciones con la biología y el manejo agronómico del cultivo. *Revista Cuba- Caña*, 2012, no. 1, ISSN 1028-6527.