



## ACUMULACIÓN DE GRADOS-DÍA DE DESARROLLO EN EL CULTIVO DE LECHUGA (*Lactuca sativa* L.) TIPO BATAVIA EN INVERNADERO

Juan Manuel Barrios Díaz<sup>1\*</sup>; Susana Emicete Salas<sup>1</sup>; Benjamín Barrios Díaz<sup>2</sup>;  
Guillermo Jesuita Pérez Marroquín<sup>1</sup>; Pablo Zaldivar Martínez<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Facultad de Ciencias Agrícolas y Pecuarias, BUAP. San Juan Acateno, Teziutlán, Puebla.

juan.barrios@correo.buap.mx (\*Autor de correspondencia)

<sup>2</sup>Complejo Regional Norte, BUAP.

### Resumen

Actualmente, el cálculo de los grados-día de desarrollo (GDD) son de gran utilidad para la planeación y manejo de los cultivos protegidos, puesto que ayuda a predeterminar las diferentes etapas fenológicas, fechas de siembra y cosecha, presencia e incidencia de plagas y enfermedades, además, facilita la programación del riego y de la fertirrigación, entre otras aplicaciones. La presente investigación tuvo el objetivo de comparar dos métodos para el cálculo de GDD (residual e integración) para el cultivo de lechuga en condiciones de invernadero. Para el cálculo fueron considerados registros horarios de temperatura de una estación meteorológica automatizada ubicada dentro del invernadero. Adicionalmente se identificaron etapas fenológicas del cultivo en términos de los GDD calculados, para lo cual fueron realizados muestreos del crecimiento de 10 plantas cada 10 días aproximadamente, desde el trasplante (cero GDD) hasta la etapa de floración. Los resultados mostraron 20.9 % de desviación estadística al comparar ambas metodologías, con valores sobrestimados por el método racional (1,309 GDD) con respecto al método de integración (1,083 GDD). A 707 GDD y de acuerdo al método de integración fue establecido el inicio de la etapa de cosecha, en ésta las plantas tuvieron en promedio: 30 cm de altura, 28.3 mm de diámetro de tallo y 42 hojas con 9,240 cm<sup>2</sup> de área foliar. El cálculo de GDD por el método de integración es más adecuado para establecer con precisión la presencia de las diferentes etapas fenológicas del cultivo de lechuga en condiciones de invernadero.

**Palabras clave:** Grados-día de desarrollo, lechuga, fenología



## Introducción

El cultivo de lechuga (*Lactuca sativa* L.) es considerado de los más importantes dentro del grupo de hortalizas de hoja suelta, debido a que se consume principalmente en ensaladas y en casi todos los países del mundo. México es el noveno productor de lechuga a nivel mundial y se produce en 22 entidades, pero las principales son: Guanajuato, Zacatecas y Puebla. En el año 2020 la producción nacional fue de 541,804 t en 22,284 ha sembradas (SIAP, 2020).

Por otra parte, el crecimiento y desarrollo de un cultivo en términos biológicos es afectado por múltiples factores: de genotipo, ambiente y condiciones de manejo, que provocan la expansión y diferenciación de los órganos, captación y procesamiento de energía y fotoasimilados, así como su distribución entre los distintos órganos de la planta, dando como resultado la acumulación de biomasa (Di Benedetto y Tognetti, 2016).

Considerando lo anterior, desde hace varios años se ha planteado el término grados-día de desarrollo (GDD) para referirse a la relación entre la temperatura y el desarrollo de los cultivos, como una herramienta confiable al tomar decisiones del manejo agronómico, que involucran la predicción de inicio y término de las etapas del ciclo de vida del cultivo o de plagas y enfermedades, la determinación del momento oportuno para control de malezas, la sincronización de la floración o polinización cruzada de cultivos para la producción de semillas híbridas, la programación precisa del riego y estimación del rendimiento, entre otros aspectos.

Los GDD y su acumulación representan el reloj térmico que controla la manifestación de las diferentes etapas fenológicas de las plantas y otros organismos, ya que requieren acumular cierta cantidad de grados para pasar de una etapa de desarrollo a otra. Lo anterior explica porque las fechas de brotación o floración no son las mismas en distintas temporadas de cultivo, se adelantan en años calurosos o atrasan en años fríos.

Actualmente, en la agricultura intensiva o protegida, las estaciones meteorológicas son herramientas que apoyan muchas de las actividades realizadas y como consecuencia de su evolución tecnológica ahora es posible tener registros en tiempo real y por lo tanto, el cálculo de GDD puede estimarse con mayor precisión, empleando intervalos de tiempo relativamente pequeños, por ejemplo horarios. El método de integración es considerado de referencia y mayor precisión (Rodríguez *et al.*, 2012); en consecuencia, los métodos indirectos que utilizan temperaturas diarias máximas y mínimas para el cálculo de GDD (Snyder, 1985) pueden ser sustituidos o replanteados para situaciones especiales.

Con base en lo anterior, el objetivo de la presente investigación fue comparar dos metodologías para el cálculo de grados-día de desarrollo del cultivo de lechuga tipo Batavia en condiciones de invernadero y establecer su relación con las diferentes etapas fenológicas de su desarrollo.



## **Materiales y Métodos**

La investigación fue desarrollada en un invernadero tipo baticenital de 1,250 m<sup>2</sup> ubicado en la Facultad de Ciencias Agrícolas y Pecuarias de la BUAP, en San Juan Acateno, Teziutlán, Puebla, México (19° 52' 31" N y 97° 22' 02" W), a una altitud de 1,676 msnm, con clima templado, lluvias en verano y temperatura media anual de 15 °C (INEGI, 2005). El material vegetal fue lechuga tipo Batavia cv. Bateira<sup>®</sup> (Nunhems) y las semillas fueron germinadas en charolas de poliestireno de 200 cavidades con sustrato de peat moss y perlita. El trasplante se realizó el 26 de noviembre de 2019 en camas de 23 m de longitud y 0.80 m de ancho. Cada cama de siembra fue preparada con una dosis de 3.0 t ha<sup>-1</sup> de estiércol fresco de ovino y acolchadas con plástico bicolor plata/negro calibre 90 de 1.20 m de ancho. El marco de plantación fue en "tresbolillo" con tres hileras de plantas por cama y separadas a 0.3 m (5.5 plantas m<sup>-2</sup>). La dosis de fertilización fue de 2.0, 1.0, 2.0, 1.0 y 0.5 kg ha<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup> de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O, CaO y MgO, respectivamente, la cual se aplicó mediante fertirrigación con nitrato de amonio, nitrato de calcio, fosfato de potasio, sulfato de potasio y sulfato de magnesio. El control de plagas y enfermedades fue con productos biológicos de *Trichoderma viride* y *Bacillus subtilis* a dosis de 2.0 L ha<sup>-1</sup>. El riego del cultivo fue por goteo con cintilla marca TORO<sup>®</sup> de 16 mm de diámetro, separación entre emisores de 20 cm y caudal de 1.0 L h<sup>-1</sup> a 80 kPa de presión suministrada con una bomba marca Pedrollo<sup>®</sup> de 1.0 HP activada por un programador de riego.

Cada 10 días a partir de la fecha del trasplante y hasta la etapa de floración fue realizado el muestreo de las hojas y tallos de 10 plantas. Las variables medidas fueron: altura de planta, diámetro de tallo y de las hojas fue determinado el número y área foliar. Para calcular el área foliar fueron escaneadas cada una de las hojas por planta y se utilizó el programa de cómputo imageJ<sup>®</sup>.

Con datos de temperatura registrados automáticamente cada hora por una estación meteorológica Vantage Pro 2.0<sup>®</sup> ubicada dentro del invernadero, fueron calculados los grados-día de desarrollo (GDD) con los métodos residual (Arnold, 1959) y de integración (Rodríguez *et al.*, 2012). La temperatura umbral máxima fue considerada de 30 °C y la umbral mínima de 6 °C.

En el método residual fue utilizada la fórmula:

$$GDD_R = \left( \frac{TM + Tm}{2} \right) - Tb \quad (1)$$

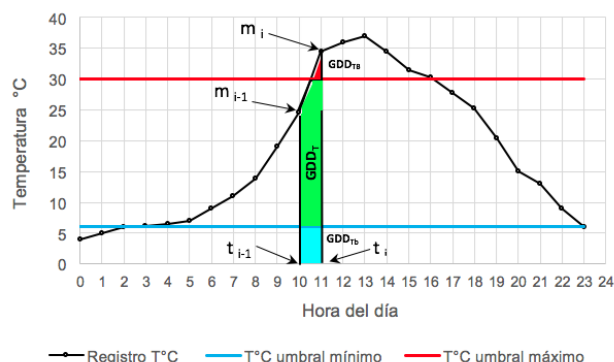
Donde: GDD<sub>R</sub>= grados-día de desarrollo método residual (°C día): TM= temperatura máxima diaria (°C): Tm= temperatura mínima diaria (°C): Tb= temperatura umbral mínima (°C).

El cálculo de grados-día por el método de integración (GDD<sub>T</sub>) es mediante la fórmula:

$$GDD_T = GDD_{TT} - (GDD_{TB} + GDD_{Tb}) \quad (2)$$

Donde:  $GDD_T$  grados-día de desarrollo método de integración ( $^{\circ}C$  día);  $GDD_{TT}$ = grados-día totales ( $^{\circ}C$  día);  $GDD_{TB}$ = grados-día sobre la temperatura umbral máxima ( $T_B$ ,  $^{\circ}C$  día);  $GDD_{Tb}$ = grados-día por abajo de la temperatura umbral mínima ( $T_b$ ,  $^{\circ}C$  día); para calcular  $GDD_{TB}$  y  $GDD_{Tb}$ , las temperaturas son consideradas respectivamente, superior o igual que  $T_B$  y menor o igual que  $T_b$ , en cada intervalo de tiempo considerado.

Para comprender las variables que intervienen en la ecuación 2, se presenta la Figura 1, en la cual, el área de un trapecoide construido con los registros horarios de temperatura ( $A_{TT}=A_{Tb}+A_T+A_{TB}$ ) es calculada mediante la “regla del trapecio” (ecuación 2). La integración de estas áreas corresponde al área bajo la curva total para el intervalo considerado. De manera similar se calcularon las áreas bajo la curva sobre  $T_B$  ( $A_{TB}$ ) y por abajo de  $T_b$  ( $A_{Tb}$ ), que al dividir las por el total de segundos de un día (86,400), se obtienen los grados-día correspondientes a  $GDD_{TT}$ ,  $GDD_{TB}$  y  $GDD_{Tb}$ .



$$GDD = \frac{\sum_{i=2}^n 0.5 * (m_i + m_{i-1}) * (t_i - t_{i-1})}{86400} \quad (3)$$

**Figura 1.** Descripción de las áreas consideradas para calcular los grados-día de desarrollo ( $GDD_T$ , área verde),  $GDD_{Tb}$  ( $A_{Tb}$ , área azul) y  $GDD_{TB}$  ( $A_{TB}$ , área roja).

Donde:  $GDD$  = grados-día de desarrollo;  $m_i$  = temperatura del registro  $i$ ;  $m_{i-1}$  = temperatura del registro  $i-1$ ;  $t_i$  = tiempo del registro  $i$ ;  $t_{i-1}$  = tiempo del registro  $i-1$ .

Para comparar las dos metodologías, fue ajustado un modelo lineal con los valores observados de cada una. El grado de ajuste se evaluó con el valor de la pendiente del modelo, el coeficiente de determinación ( $R^2$ ) y la desviación promedio (ecuación 4).

$$DP = \left( \frac{\sum_{i=1}^n (GDD_R - GDD_T)}{\sum_{i=1}^n GDD_T} \right) * 100 \quad (4)$$

Donde:  $DP$  = desviación promedio (%),  $GDD_R$ = grados-día con el método residual ( $^{\circ}C$  día),  $GDD_T$  = grados-día por el método de integración ( $^{\circ}C$  día).

Los análisis estadísticos fueron realizados con el programa estadístico SAS versión 9.0 (SAS Institute, 2012) y con la hoja de cálculo Excel de Microsoft Windows.

## Resultados y Discusión

### Grados-día de desarrollo (GDD) y fenología

En el Cuadro 1 se muestra la acumulación de GDD, de trasplante a floración, resultantes con las metodologías evaluadas. Se observa una diferencia de 226 °C día entre los valores del método residual (GDD<sub>R</sub>, 1,704 °C día) respecto al de integración (GDD<sub>T</sub>, 1,083 °C día). El período evaluado fue de 121 días después del trasplante y la planta desarrolló masa foliar y engrosamiento del tallo, pero a partir de 821 y 1,083 GDD<sub>T</sub>, se detectó el inicio de formación del tallo floral e inicio de floración, respectivamente.

**Cuadro 1.** GDD calculados con las metodologías residual e integración para el cultivo de lechuga tipo Batavia cv. Bateira<sup>®</sup> en condiciones de invernadero.

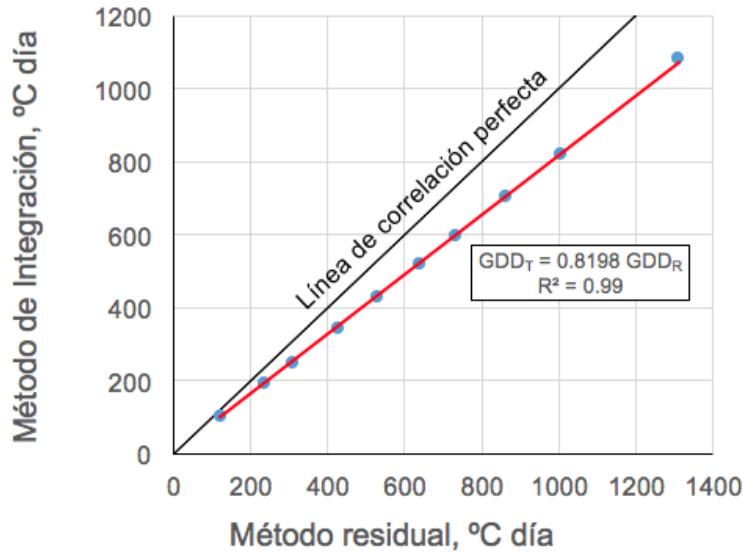
Fecha muestreo	Etapa de desarrollo	DDT	GDD <sub>R</sub>		GDD <sub>T</sub>	
			Método residual		Método de integración	
			En intervalo	Acumulado	En intervalo	Acumulado
26/11/19	Trasplante	0	0	0	0	0
6/12/19	6 hojas	10	121	121	102	102
16/12/19	10 hojas	20	115	236	92	194
26/12/19	13 hojas	30	72	308	56	250
7/01/20	14 hojas	42	119	427	96	346
17/01/20	23 hojas	52	101	529	82	428
28/01/20	27 hojas	63	109	638	93	521
6/02/20	35 hojas	72	93	730	77	598
17/02/20	Cosecha	83	131	862	109	707
2/03/20	Inducción tallo floral	97	144	1006	114	821
26/03/20	Floración	121	303	1309	262	1083

En la figura 2 se observa la correlación entre GDD<sub>T</sub> y GDD<sub>R</sub>, la cual se expresa mediante un modelo lineal con coeficiente de determinación R<sup>2</sup>=0.99, el cual denota bondad de ajuste perfecto, además, gráficamente se observa que el modelo estimado varía de la línea de correlación ideal, pues la pendiente del modelo (0.8198) indica que el método residual para el cálculo de grados-día sobreestima a los valores del método de integración.

El cálculo de la desviación promedio entre GDD<sub>R</sub> y GDD<sub>T</sub> se muestra a continuación:

$$DP = \left( \frac{226.49}{1083} \right) * 100 = 20.9 \% \quad (5)$$

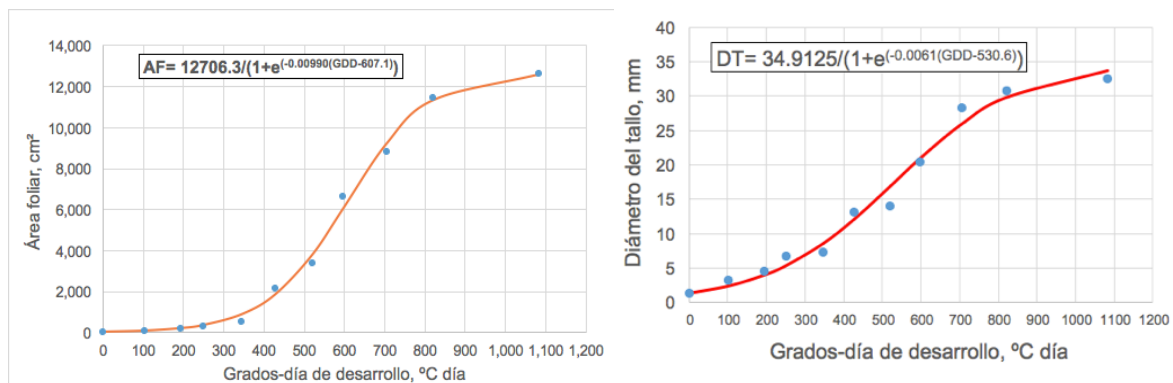
El resultado anterior coincide a lo reportado por Unigarro *et al.* (2017), quienes de acuerdo a la DP, señalaron que el método residual tiende a sobrestimar los grados-día respecto al método de referencia o de integración. Sin embargo, los mismos autores indican que, el desempeño de cada método puede variar entre zonas debido a las condiciones agroambientales propias de cada localidad y que el uso de los diferentes métodos depende de la información disponible y del objetivo de la estimación del tiempo térmico o grados-día.



**Figura 2.** Correlación entre  $GDD_T$  acumulados (método de integración) y  $GDD_R$  acumulados (método residual, para el cultivo de lechuga tipo Batavia cv. Bateira® en condiciones de invernadero.

### Relación entre desarrollo del cultivo y GDD

En la figura 3 se muestra el acoplamiento de los datos observados de área foliar y diámetro de tallo en una función logística con la acumulación de GDD estimados por el método de integración. De acuerdo a los modelos obtenidos, la mayor tasa de crecimiento de las variables de la planta evaluadas se presentó a 607 y 630 GDD, respectivamente, esto fue cuando la planta presentaba entre 25 y 27 hojas. El punto óptimo de cosecha se estableció a 707 GDD y en ese momento la planta tuvo aproximadamente 30 cm de altura y 42 hojas con 9,240 cm<sup>2</sup> de área foliar y 28.3 mm de diámetro de tallo.



**Figura 3.** Relación entre el área foliar (AF), diámetro de tallo (DT) y los grados-día de desarrollo estimados por el método de integración (GDD), en el cultivo de lechuga tipo Batavia cv. Bateira® en condiciones de invernadero.



Para caracterizar el crecimiento y desarrollo de las plantas cultivadas en campo abierto o bajo condiciones protegidas se requiere tomar alto número de muestras para acercarse a la medida real del crecimiento de las plantas en una población (altura de la planta, diámetro del tallo, masa fresca y masa seca, área foliar, etc.), además, la velocidad con la que ocurren la acumulación de biomasa o cambios de etapa fenológica dependen de variaciones genéticas y de las condiciones ambientales (relaciones agua-suelo-planta-atmósfera). En esta investigación la temperatura promedio al interior del invernadero fue de 15.8°C, la cual se ubica en el rango óptimo para el crecimiento y desarrollo de la lechuga (diurnas de 14 a 18 °C y nocturnas de 5 a 8 °C); sin embargo, durante períodos de tiempo cortos se presentaron temperaturas máximas alrededor de 36 °C que favorecen el desarrollo de tallos florales y mínimas de hasta 4.2°C, donde el crecimiento es nulo y muy cercanas al punto de congelación de -6 °C (Benacchio, 1982).

## **Conclusiones**

El método residual sobreestimó considerablemente (>20 %) los grados-día de desarrollo (GDD) respecto al método de integración, lo cual justifica a este último, como la mejor opción para relacionar el crecimiento y desarrollo del cultivo de lechuga en condiciones de invernadero con los GDD acumulados.

Los dos métodos evaluados pueden ser utilizados bajo diferentes condiciones ambientales. Sin embargo, las actuales herramientas tecnológicas hacen fácil y rápido el procesamiento de un volumen grande de información, lo cual permite hacer comparables los resultados obtenidos por metodologías de mayor exactitud y precisión como lo es el método de integración para el cálculo de GDD.

## **Referencias Bibliográficas**

- Arnold C. Y. 1959. The determination and significance of the base temperature in a linear heat unit system. *Proc. Amer. Soc. Hort. Sci.* 74:430-445.
- Benacchio S. S. 1982. Algunas exigencias agroecológicas en 58 especies de cultivo con potencial de producción en el trópico americano. *En: FONAIAP-Centro Nacional de Investigación Agropecuaria, Ministerio de Agricultura y Cría, Maracay, 35-39.*
- Di Benedetto A., J. Tognetti. 2016. Técnicas de análisis de crecimiento de plantas: su aplicación a cultivos intensivos. *Revista de Investigaciones Agropecuarias* 42(3):258-282.
- INEGI. 2005. Estadísticas del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática.
- Rodríguez C. D., J. M. Cotes, J. R. Cure. 2012. Comparison of eight degree-days estimation methods in four agroecological regions in Colombia. *Bragantia*; 71(2): 299-307.



SIAP. 2020. Servicio de Información Agroalimentaria Pesquera. Gobierno de México.  
Snyder R. L. 1985. Hand calculating degree days. Agr. Forest Meteorol. 35(1-4):353-358. DOI: 10.1016/0168-1923(85)90095-4.

Unigarro C. A., L. N. Bermúdez, R. D. Medina, A, Jaramillo, C. P. Flórez. 2017. Evaluation of four degree-day estimation methods in eight Colombian coffee-growing areas. Colombiana 35(3):374-381.