

## Acumulación de Grados-Día en un Cultivo de Pepino (*Cucumis sativus* L.) en un Modelo de Producción Aeropónico

Growing Degree Days Accumulation in a Cucumber (*Cucumis sativus* L.) Crop Grown in an Aeroponic Production Model

Dubián Hoyos García<sup>1</sup>; Juan Gonzalo Morales Osorio<sup>2</sup>; Héctor Chavarría Ardila<sup>3</sup>; Ana Paola Montoya Ríos<sup>4</sup>; Guillermo Correa Londoño<sup>5</sup> y Sonia del Carmen Jaramillo Villegas<sup>6</sup>

**Resumen.** La temperatura tiene gran influencia sobre los cultivos y es clave en la determinación de la fecha de siembra, cosecha y las variables de producción. Los grados-día (GDD) o unidades térmicas (HU) son uno de los índices más comúnmente utilizados para estimar el desarrollo de las plantas y para predecir la fecha de cosecha. En el cultivo de pepino (*Cucumis sativus* L.), el número de días desde la siembra hasta la cosecha depende del genotipo y su interacción con la temperatura ambiental. En este trabajo se estudiaron variables fenométricas que inciden sobre la eficiencia y producción de cultivos bajo un sistema aeropónico. Se determinó que se requirieron 726 y 660 grados-día, correspondientes a 73 y 64 días para los materiales comerciales Dasher II y Poinsett 76, respectivamente. Se analizó el efecto de dos periodos de riego 30 y 60 s, con un intervalo de aplicación de cuatro min durante el día, sobre las variables área foliar y peso seco de tallos y hojas en el híbrido Dasher II. No se encontraron diferencias significativas para los parámetros evaluados lo que indicó que el tiempo de 30 s representó una ventaja económica por el ahorro de energía. Se usaron tres soluciones nutritivas: Hoagland y Arnon, Aeropónicos 100% y Aeropónicos 50%, para determinar el efecto sobre el peso seco y el área foliar. Se encontró una reducción de las variables área foliar, materia seca acumulada en el tallo y las hojas, peso promedio de frutos (hasta 44,3%) y número promedio de frutos, con la solución Aeropónicos al 50% de la concentración comercial. Los resultados permiten implementar variables de eficiencia en el cultivo aeropónico de pepino, las cuales inciden en el rendimiento, viabilidad económica y ambiental de la tecnología.

**Palabras clave:** Fenología, temperatura base, tiempo fisiológico, clima.

**Abstract.** Plant growth and development is determined largely by weather which is composed by several factors. Temperature is one of such key factors which is very important for deciding sowing and harvest time and production. The Growing Degree Days (GDD) or Heat Units (HU) are indexes commonly used for growth and harvest time estimation. In cucumber crops (*Cucumis sativus* L.), the number of days from sowing until harvest significantly changes according to genotype and temperature. In this work we studied some variables which may affect the efficiency and crop production under an aeroponic system. We determined that 726 and 660 GDD corresponding to 73 and 64 days were required for the commercial materials Dasher II and Poinsett 76 respectively. The effect of two aspersion time periods of 30 and 60 seconds followed by a four minutes interval during the day, were evaluated over leaf area and stem and leaves dry weight, using the hybrid Dasher. No statistical significant differences were found suggesting that the 30 s time period is the best choice since it reduces electric energy costs. The effect of three different nutrient solutions: Hoagland and Arnon, Aeroponics 100% and Aeroponics 50%, was tested for leaf area, dry weight, fruit weight and number. We found a significant reduction in the variables leaf area, leaf and stem dry weight, average fruit weight (up to 43.3%) and fruit number, using the solution named Aeroponics at 50% of the commercial concentration. Together our results allowed implementing variables to increase efficiency on a cucumber aeroponic crop system, some of which may improve the economic and environmental performance of cucumber crop using this technology.

**Key words:** Phenology, base temperature, physiological time, climate.

La dinámica del desarrollo vegetal está determinada en parte por el clima, lo que se ha tratado de cuantificar desde que Reaumur en 1730 inventó el termómetro e introdujo el concepto de "requerimientos térmicos" de

las plantas para alcanzar su madurez (Wang, 1960). Entre los factores climáticos que mayor influencia tiene sobre el crecimiento y el desarrollo de los cultivos se encuentran la temperatura, el fotoperiodo (Porter

<sup>1</sup> Estudiante Ingeniería Agronómica. Universidad Nacional de Colombia - Sede Medellín, Facultad de Ciencias Agrarias - Departamento de Ciencias Agronómicas. Medellín, Colombia. <dubian6@gmail.com>

<sup>2</sup> Profesor Asociado. Universidad Nacional de Colombia - Sede Medellín - Facultad de Ciencias Agrarias - Departamento de Ciencias Agronómicas. A.A. 1779, Medellín, Colombia. <jgmorealeso@unal.edu.co>

<sup>3</sup> Gerente. Aeropónicos de Colombia S.A.S. Carrera 67 B No. 48 D-29 Int 401, Medellín, Colombia. <aeroponicos@gmail.com>

<sup>4</sup> Ingeniera de Control. Estudiante de Doctorado, Universidad de Almería. Departamento de Lenguajes y Computación. <apmontoy@unal.edu.co>

<sup>5</sup> Profesor Asociado. Universidad Nacional de Colombia - Sede Medellín - Facultad de Ciencias Agrarias. Departamento de Ciencias Agronómicas. A.A. 1779, Medellín, Colombia <gcorrea@unal.edu.co>.

<sup>6</sup> Profesora Jubilada. Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín, Facultad de Ciencias Agrarias. Departamento de Ciencias Agronómicas. A.A. 1779. Medellín, Colombia. <sjaramal@gmail.com>

Recibido: Agosto 31 de 2011; aceptado: Mayo 20 de 2012.

y Delecolle, 1988; Fischer, 1983) y en ocasiones la vernalización (Fischer, 1983).

La temperatura es clave en la definición del momento de siembra en el subtrópico y por lo tanto sobre la duración de las diferentes fases fenológicas, las cuales afectan la productividad de los cultivos (Tewari y Singh, 1993) y es considerado el elemento que mayor importancia tiene sobre la tasa de crecimiento y desarrollo de las plantas (Machado *et al.*, 2006; Ritchie y Ne Smith, 1991).

La temperatura incide sobre la tasa de producción y el área foliar que conforma el dosel vegetal, a través del cual los cultivos interceptan la radiación solar y realizan los procesos metabólicos tendientes a la acumulación de fotoasimilados (García y López, 2002; García *et al.*, 2000). El conocimiento de la duración exacta de las fases de desarrollo y su interacción con los factores ambientales, es esencial para alcanzar los máximos rendimientos en las plantas cultivadas, ya que determinan factores como la absorción de nutrientes y el llenado de frutos que inciden directamente sobre la productividad del cultivo (Prabhakar *et al.*, 2007).

Los grados-día de desarrollo (GDD por *Growing Degree Days*), o las unidades térmicas (HU por *Heat Units*), son los índices más comúnmente utilizados para estimar el desarrollo de las plantas (Qadir *et al.*, 2007). Estos índices han sido aplicados en numerosos sistemas de producción de hortalizas para predecir la madurez fisiológica, la fecha de cosecha y el momento de siembras sucesivas (Perry *et al.*, 1986; Clay *et al.*, 2006; Qadir *et al.*, 2007). Aunque la acumulación GDD para las diferentes etapas de desarrollo es relativamente constante e independiente de la fecha de siembra, cada híbrido, variedad o cultivar de la especie, puede tener valores específicos para estos parámetros (Phadnawis y Saini, 1992; Qadir *et al.*, 2006).

El pepino (*Cucumis sativus* L.), es una de las especies que se desarrolla más rápidamente desde la siembra hasta la cosecha. Sin embargo, el número de días desde la siembra hasta la cosecha puede variar en función de la temperatura ambiental, lo que dificulta la estimación de la fecha de la cosecha (Wehner y Guner, 2004). Los requerimientos de HU para la cosecha de pepino han sido determinados en Estados Unidos y se ha desarrollado un modelo de HU para esta especie (Perry *et al.*, 1986; Perry y Wehner, 1990). El objetivo fue determinar los GDD o HU acumuladas después de la siembra hasta la cosecha y compararlos con el tiempo en días a cosecha de dos híbridos comerciales de pepino cohombro para consumo en fresco, con dos periodos de riego y tres soluciones nutritivas, bajo condiciones de aeroponía.

## MATERIALES Y MÉTODOS

**Localización.** El experimento se desarrolló en el campus de la Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín, departamento de Antioquia - Colombia, ubicado a 6°15'48" de latitud Norte y 75°34'39" longitud Oeste y a una altitud de 1.522 msnm.

**Material biológico - tratamientos.** Se realizaron dos siembras consecutivas de pepino bajo condiciones de invernadero en un modelo de producción aeropónico. La primera siembra se realizó con el híbrido denominado Dasher II para determinar el mejor intervalo de microaspersión. La segunda se realizó con la variedad Poinsett 76 para determinar la mejor solución nutritiva (Tabla 1). Las semillas se sembraron en aserrín y se mantuvieron en casa-malla, con humedad permanente por una semana hasta la germinación. Las plántulas germinadas se sembraron en el sistema aeropónico en un total de

**Tabla 1.** Descripción de los tratamientos para cada siembra de pepino (*Cucumis sativus* L.) en un modelo de producción aeropónico.

	Híbrido	Tratamiento 1	Tratamiento 2
Siembra 1	Dasher II	30 s*	60 s*

	Variedad	Tratamiento 3	Tratamiento 4	Tratamiento 5
Siembra 2	Poinsett 76	Hoagland y Arnon£	Aeropónicos 50%£	Aeropónicos 100%£

£ En la siembra 2 se compararon las diferentes soluciones nutritivas.

nueve camas. Este sistema se diseñó para controlar en forma independiente grupos de tres camas que correspondieron a un tratamiento, para un total de tres tratamientos. En cada cama se establecieron 45-50 plantas. Se aplicó la solución nutritiva por microaspersión, controlada en forma automática por intervalos de cuatro minutos, desde las 06:00 h hasta las 18:00 h; durante la noche (18:00 h a 06:00 h), se aplicó a intervalos de 50 min.

En la primera siembra se empleó la misma solución nutritiva comercial para todos los tratamientos, denominada Aeropónicos cuya formulación fue diseñada por la empresa Aeropónicos de Colombia

S.A.S. (Tabla 2), con base en la experiencia obtenida con cultivos comerciales. En esta fase se compararon dos periodos de microaspersión, uno de 30 s (T1) y el otro de 60 s (T2).

En la segunda siembra, se aplicaron tres soluciones nutritivas diferentes por periodos de 30 s durante intervalos de 4 min, en tres bloques de tres camas cada uno. Al primer bloque de tres camas se aplicó la formulación de Hoagland y Arnon (1950) (T3), para el segundo y tercer bloque se empleó la formulación Aeropónicos de Colombia S.A.S (Tabla 2), a la mitad de la concentración (T4) y completa (T5) respectivamente.

**Tabla 2.** Composición de las soluciones nutritivas evaluadas en la segunda siembra con la variedad de pepino Poinsett 76 (*Cucumis sativus* L.) en un modelo de producción aeropónico.

Nutriente	Solución nutritiva	
	Aeropónicos 100%	Hoagland
N-NO <sub>3</sub>	148	206
N-NH <sub>4</sub>	0	13
N-Total	148	218
P	49	33
K	230	236
Ca	199	181
Mg	54	72
S	75	95
Fe	4,98	5
Mn	0,54	0,5
Cu	0,1	0,027
Zn	0,1	0,077
B	0,49	0,506
Mo	0,05	0,043
N-NO <sub>3</sub>	148	206

En los dos ciclos de cultivo se determinaron los valores de acumulación de GDD hasta el momento de la cosecha. Para los dos ciclos se registraron las temperaturas máximas y se registraron las temperaturas de forma automática cada minuto durante las 24 horas del día. Al finalizar los ciclos del cultivo y para el posterior análisis se promediaron las temperaturas máximas y mínimas registradas.

**Fenometría.** Para las variables fenométricas se realizaron muestreos destructivos cada 8 días, desde

el momento en que las plantas tuvieron su primer nomófilo completamente desplegado. En total se hicieron 8 mediciones en cada una de las dos cosechas. En cada muestreo se cosecharon al azar tres plantas por cama, es decir, nueve repeticiones por tratamiento. Cada planta se separó en raíces, tallos, hojas, flores y frutos, para determinar el área foliar (cm<sup>2</sup> planta<sup>-1</sup>); la altura hasta el crecimiento apical del tallo principal (cm); la longitud de la raíz (cm); el número de hojas con lámina completamente desplegada; el número de botones florales; el número de zarcillos; el número

y la longitud de las ramificaciones. El material vegetal colectado se colocó en bolsas de papel y se secó hasta peso constante en una estufa a 70 °C durante 48 a 76 h. Posteriormente se determinó el peso seco total y de los respectivos órganos en forma individual (g planta<sup>-1</sup>) (raíces, tallos, hojas, flores y frutos).

**Cálculo de Grados-Día.** Para el cálculo de los GDD acumulados se empleó el método de umbrales de temperatura (Perry *et al.*, 1986) o el método de onda senoidal (Murray, 2008), el cual asume que las temperaturas de un día de 24 h siguen una curva senoidal. Este método es una modificación del método estándar para el cálculo de los GDD y ofrece mayor precisión para el cálculo, ya que utiliza la temperatura diaria mínima y máxima, junto con la temperatura base e incorpora la temperatura techo o umbral superior en el cálculo. El número de GDD se calcula como el área bajo la curva dentro de los umbrales de temperatura superior e inferior (Murray, 2008).

Para el cálculo de los GDD se empleó la siguiente fórmula:

$$\begin{aligned} \text{GDD} &= \sum ((T_x + T_n)/2 - T_b) & T_x < T_c \text{ y } T_n > T_b \\ \text{GDD} &= \sum ((T_c + T_b)/2 - T_b) & T_x > T_c \text{ y } T_n < T_b \end{aligned}$$

Donde,  $T_x$  y  $T_n$  son las temperaturas diarias máximas y mínimas respectivamente,  $T_b$  es la temperatura base y  $T_c$  es la temperatura base techo o umbral superior del cultivo. En este caso, se trabajó con una temperatura base inferior de 15,5 °C y una temperatura base superior techo de 32 °C, sugeridas por Perry y Wehner (1996).

Para el análisis de los tratamientos se realizó un análisis de varianza (ANAVA), bajo un diseño de bloques al azar y se identificaron las diferencias estadísticamente significativas mediante la prueba de Tukey ( $P < 0,05$ ). Los cálculos se realizaron en el programa computacional SAS.

**Tabla 3.** Días y grados-día acumulados desde la siembra hasta la cosecha en dos materiales de pepino (*Cucumis sativus* L.) establecidos en un modelo de producción aeropónico.

	DDS a cosecha	DDT a cosecha	GDD °C-día
Dasher II	73	58	726
Poinsset 76	64	52	660

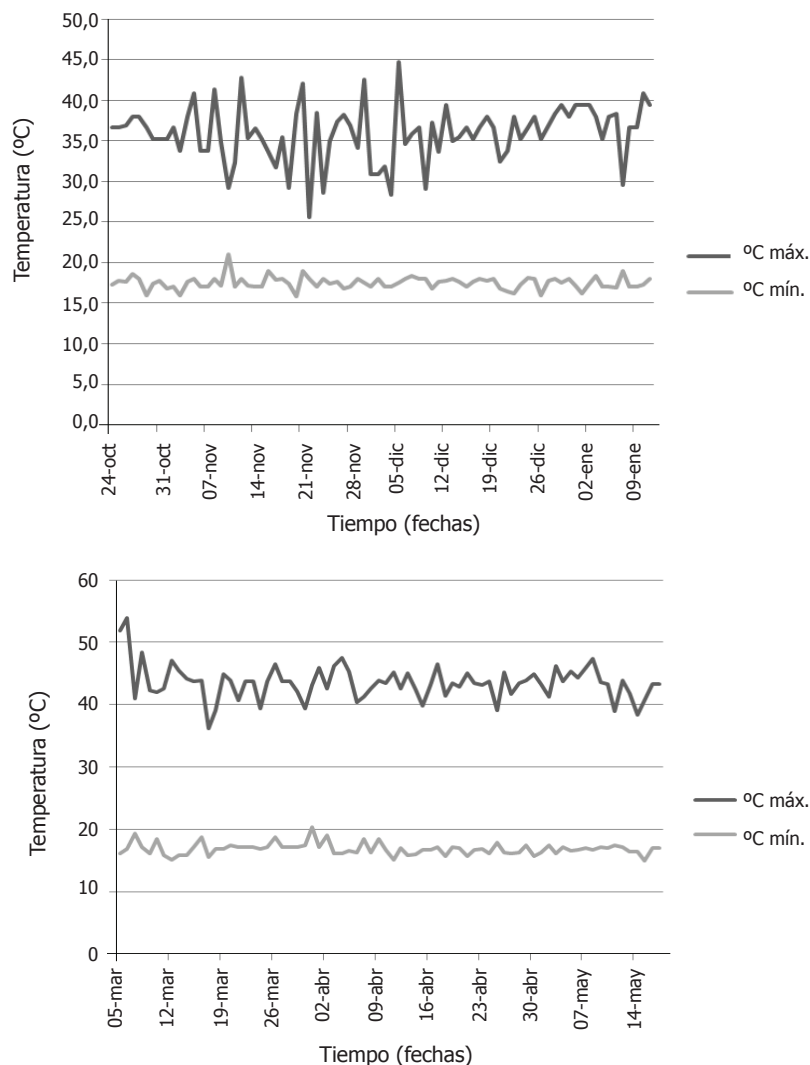
DDS: días después de siembra; DDT: días después de trasplante

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el experimento las temperaturas diurnas máximas registradas para la primera siembra fluctuaron entre 25,6 y 44,7 °C, las mínimas entre 15,8 y 21 °C. En la segunda siembra el intervalo de variación de las temperaturas máximas fue 36,1 - 53,8 °C y el de mínimas 15 - 20,3 °C (Figura 1). Aunque se registraron temperaturas máximas muy superiores a la temperatura techo o umbral (32 °C) del cultivo de pepino, no se observaron daños en el tejido foliar de las plantas, como se ha mencionado previamente (Perry y Wehner, 1996).

El total de GDD acumulados para los dos materiales de pepino fue de 726 y 660; el número de días a cosecha fue 73 y 64 para Dasher II y Poinsett 76, respectivamente (Tabla 3). Estos resultados coinciden con Perry y Wehner (1990), quienes informan que el pepino requiere desde la siembra hasta la cosecha 745 GDD acumulados y un período de tiempo entre 58 y 64 días. El número de días hasta la cosecha varía con la temperatura, dificultando la estimación de la fecha de cosecha (Wehner y Guner, 2004), sin embargo, la variación en la acumulación de GDD y número de días a la cosecha, observada en este experimento, podría deberse al genotipo, dado que cada híbrido o variedad puede responder de manera diferente a las condiciones ambientales (Qadir *et al.*, 2006).

En el primer ciclo del cultivo del híbrido Dasher II, no se encontró efecto significativo de los periodos de aplicación de la solución a las raíces (T1 por 30 y T2, 60 s), en el área foliar y la producción de materia seca del tallo y hojas (Figura 2 y 3). Este resultado indica que la absorción de nutrientes y los rendimientos no se ven afectados por un tiempo mas corto de microaspersión. En un sistema de producción agrícola donde la energía eléctrica se puede convertir en un factor limitante por los costos que implica, como es el caso de un sistema de producción aeropónico, resulta más económico, asperjar durante un periodo de 30 s que durante uno de 60 s, con igual intervalo de aplicación.

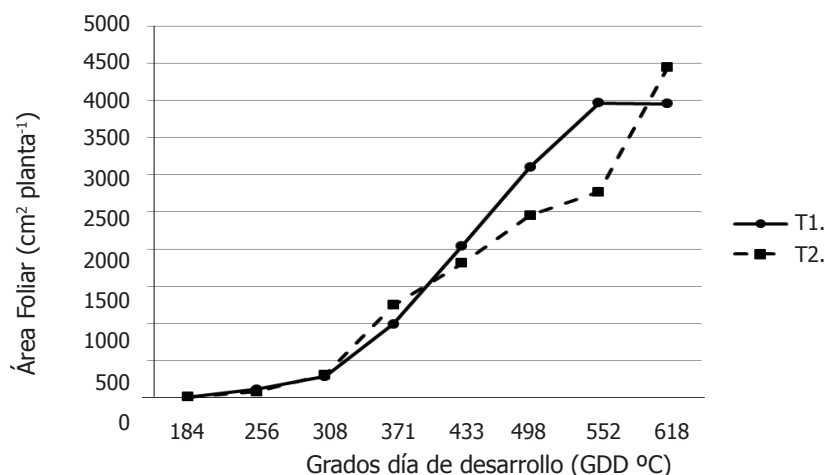


**Figura 1.** Comportamiento de la temperatura máxima (máx) y mínima (mín) durante dos ciclos de cultivo de pepino (*Cucumis sativus* L.) sembrados en un modelo de producción aeropónico, desde el 24 de octubre de 2010 hasta el 14 de mayo de 2011.

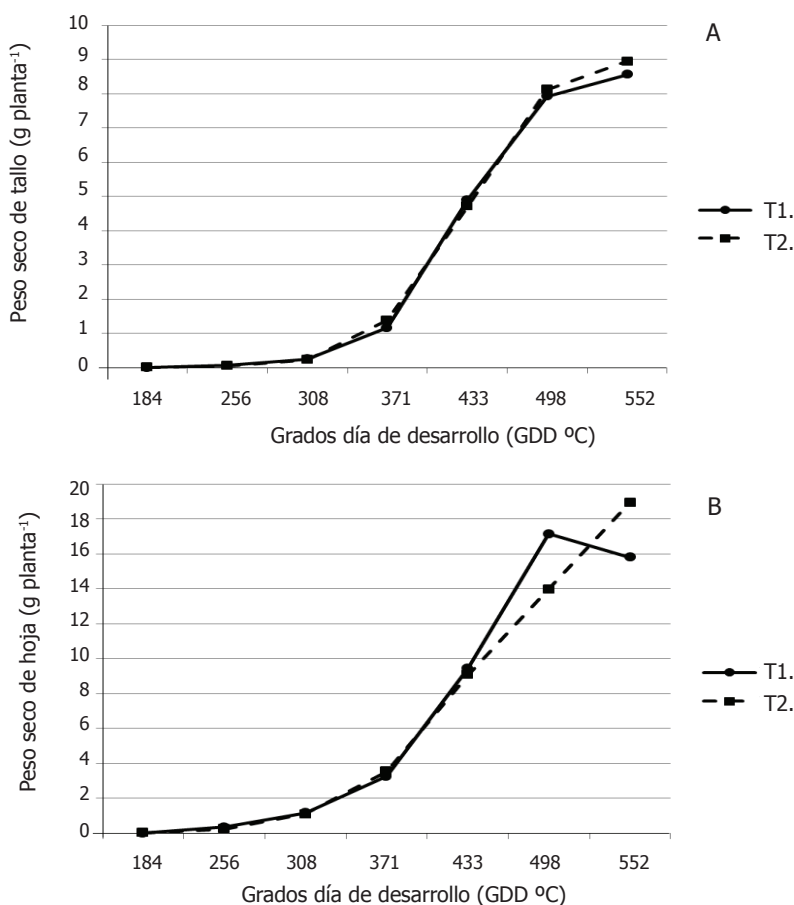
Al igual que para área foliar, la variable peso seco de tallos y hojas (Figura 3) no mostró diferencias significativas, razón por la cual, las soluciones pueden ser aplicadas por un periodo de 30 s cada 4 min durante el día y en la noche se aplica microaspersión durante 2 min cada 50 min. Durante los primeros 300 GDD, el área foliar fue menor a  $500 \text{ cm}^2 \text{ planta}^{-1}$ , lográndose la mayor área foliar ( $4.500 \text{ cm}^2 \text{ planta}^{-1}$ ), alrededor de los 700 GDD (Figura 2). Esta tendencia y la pendiente de la curva sugieren que la absorción de nutrientes es mayor entre los 300 y 600 GDD. Las soluciones nutritivas podrían ajustarse a las necesidades particulares del desarrollo de las plantas, siguiendo la tendencia de la pendiente

de la curva GDD grados día, pero este aspecto requiere mayor investigación en el futuro.

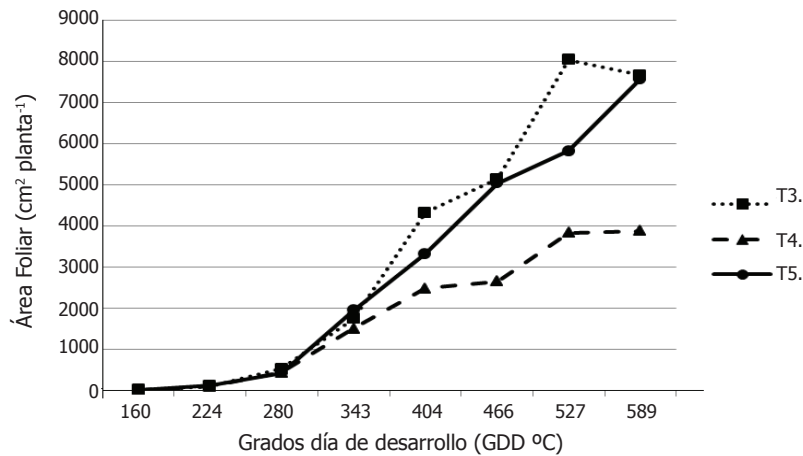
El crecimiento del tallo presenta una gráfica típica de tipo sigmoideal, en la cual la fase logarítmica se presentó hasta los 371 GDD, a partir de los cuales se observa la fase de crecimiento lineal que llega hasta los 498 GDD, retomando la desaceleración de la tasa de crecimiento, para entrar a la fase de senescencia, que coincidió con la muerte y caída de las hojas bajas (Figura 3). Al igual que se discutió respecto al área foliar, este resultado indica una tasa de desarrollo más alta después de 300 GDD.



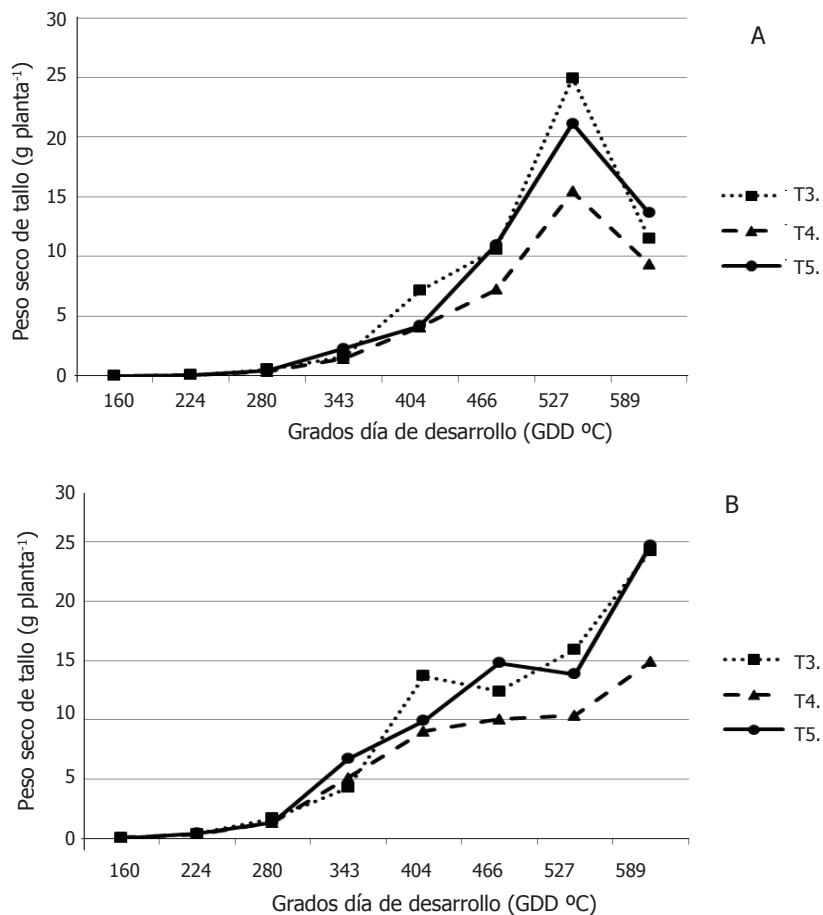
**Figura 2.** Área foliar y GDD de pepino (*Cucumis sativus* L.) híbrido Dasher II sembrado en un modelo de producción aeropónico (T1= tratamiento de 30 s y T2= tratamiento de 60 s). Cada valor en el eje x corresponde al número de GDD acumulados en cada semana durante el período evaluado.



**Figura 3.** Materia seca acumulada en el tallo (A) y en hojas (B) y GDD de pepino cohombro (*Cucumis sativus* L.) híbrido Dasher II sembrado en un modelo de producción aeropónico. Cada valor en el eje x corresponde al número de GDD acumulados en cada semana durante el período evaluado.



**Figura 4.** Área foliar de pepino (*Cucumis sativus* L.) variedad Poinsett 76 sembrado en un modelo de producción aeropónico con relación a los GDD. Cada valor en el eje x corresponde al número de GDD acumulados en cada semana durante el período evaluado.

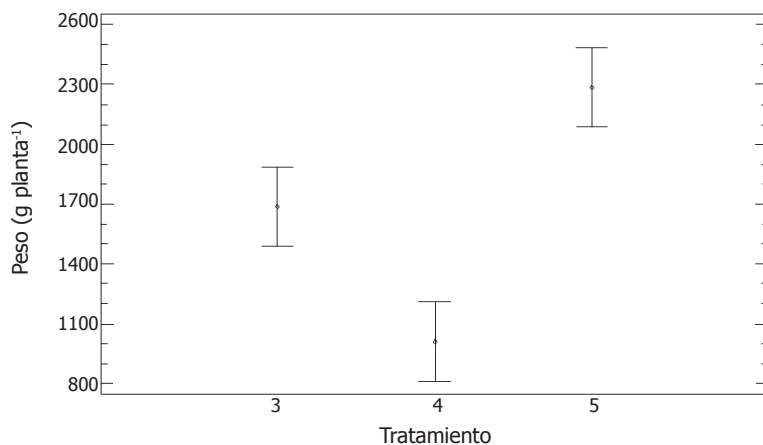


**Figura 5.** Materia seca acumulada en el tallo (A) y hojas (B) y GDD de pepino (*Cucumis sativus* L.) variedad Poinsett 76 sembrados en un modelo de producción aeropónico. Cada valor en el eje x corresponde al número de GDD acumulados en cada semana durante el período evaluado.

En el segundo ciclo de cultivo con pepino híbrido Poinsett 76, las plantas acumularon 343 GDD durante los primeros 25 días después del trasplante (ddt) (Figura 4). No se observaron diferencias significativas para este periodo de tiempo entre los tratamientos correspondientes a la aplicación de las tres soluciones nutritivas: Hoagland y Arnon (T3), Aeropónicos 50% (T4) y completa 100% (T5). A partir de 32 ddt, correspondiente a la acumulación de 404 GDD en las plantas, se identificaron diferencias ( $P > 0,05$ ) entre los tratamientos (Figura 4). Se observó una reducción de las variables área foliar, materia seca acumulada en el tallo y las hojas, con T4, correspondiente a Aeropónicos 50% (Figuras 4 y 5). Entre los otros dos tratamientos no se observaron diferencias significativas. Este hallazgo sugiere que el crecimiento inicial de las plantas, se puede lograr con baja concentración de nutrientes, pero en la medida

que las plantas acumulen energía y fotoasimilados, la tasa de crecimiento se acelera y se incrementa la demanda de nutrientes por unidad de área y/o peso, que van a repartirse en los diferentes órganos (Figuras 3, 4 y 5) (Meza y Bautista, 1999). En este momento, la concentración de nutrientes disponibles en T4, el cual es la mitad de la concentración comercial de la solución Aeropónicos, ya no es suficiente para sostener el ritmo de crecimiento con las consecuencias observadas.

La variable producción de frutos mostró diferencias significativas ( $P < 0,05$ ) entre los tres tratamientos. El promedio fue superior para T5 con 2.282,83 g planta<sup>-1</sup> correspondiente a la solución Aeropónicos 100%, seguida de T3 con una producción de 1.688,17 g planta<sup>-1</sup> (Hoagland y Arnon). La producción más baja se observó para el tratamiento con la solución Aeropónicos 50% con 1011,33 g planta<sup>-1</sup> (Figura 6).



**Figura 6.** Peso de frutos por planta de pepino (*Cucumis sativus* L.) sembrado en un modelo de producción aeropónico, para los tratamientos 3, 4 y 5. Las barras de error representan los intervalos de confianza calculados a partir de los datos de 12 plantas por cada tratamiento. Los promedios mostraron diferencias estadísticamente significativas para los tres tratamientos por el test de LSD de Fisher ( $P < 0,05$ ).

Para la variable número de frutos no se observaron diferencias estadísticas entre los tratamientos Aeropónicos 100% (T5, 63 frutos) y Hoagland y Arnon (T3, 51 frutos), pero si se detectó diferencia significativa entre el tratamiento Aeropónicos 50% (T4, 30 frutos) y T3-T5. Los resultados combinados de peso promedio y de número de frutos sugieren un mejor llenado de frutos en T5, comparado con los otros tratamientos.

El incremento de materia seca en el tallo se detuvo cuando las plantas acumularon 527 GDD, momento en el cual posiblemente los fotoasimilados se translocan a los frutos (sumideros), esta observación se acentúa

significativamente en las últimas dos semanas, cuando se registraron síntomas de senescencia del cultivo. El peso promedio acumulado en los tallos para T4, con la mitad de la concentración de nutrientes, fue de 15,4 g planta<sup>-1</sup>, frente a 24,9 g planta<sup>-1</sup> para T3 y 21,1 g planta<sup>-1</sup> para T5. Para la misma fecha, las hojas acumularon 14,8 g planta<sup>-1</sup> en T4, mientras que en T3 y T5, con dosis completa de nutrientes, acumularon 24,2 y 24,7 g planta<sup>-1</sup>, respectivamente (Figura 5).

Analizadas colectivamente, las Figuras 2 a 6, sugieren que el crecimiento y el desarrollo hasta los 300 GDD, requiere concentraciones bajas de nutrientes,



ya que aún en T4, en donde se tiene la mitad de la concentración comercial de la solución Aeropónicos, no se observan diferencias en crecimiento y desarrollo. A partir de 300 GDD, la absorción de nutrientes posiblemente se incrementa significativamente, por lo que T4 ya no provee suficientes nutrientes para satisfacer la alta demanda de los tejidos de la planta y se observa un retraso significativo en crecimiento y desarrollo, comparado con T3 y T5.

Según García y López (2002), las plantas están expuestas a las variaciones térmicas del medio físico y éstas tienen gran influencia en los diferentes procesos fisiológicos, bioquímicos y metabólicos conducentes a su crecimiento y desarrollo; dichas variaciones determinan el área foliar y la acumulación de materia seca durante el ciclo biológico de la planta (López *et al.*, 1996). Adicionalmente, como se aprecia en las Figuras 3 a 6, dicho crecimiento y desarrollo, está indudablemente afectado por otros factores además de la temperatura, como el flujo y duración de la radiación fotosintéticamente activa, la disponibilidad de nutrientes, agua y la pérdida de tejido fotosintético (Russelle *et al.*, 1984). En un sistema de producción aeropónico, el cual se desarrolla bajo entornos protegidos y en donde de manera permanente hay disponibilidad de nutrientes y agua, se pueden aprovechar otros factores bioclimáticos (temperatura, luminosidad y concentración de CO<sub>2</sub>), con el fin de incrementar el rendimiento o mejorar la calidad del producto final. La optimización de las condiciones que determinan el máximo rendimiento de los cultivos con un gasto mínimo de energía en los sistemas aeropónicos, es fundamental para generar tecnología económica y ambientalmente sostenible.

### CONCLUSIONES

Para alcanzar la madurez comercial de los frutos, en los materiales de pepino para consumo en fresco, Dasher II y Poinsett 76, bajo condiciones de invernadero, en un sistema de producción aeropónico, fueron necesarios 726 y 660 GDD, alcanzados a los 63 y 74 días después de la siembra, respectivamente. Esta acumulación de GDD, podría servir como parámetro para determinar el momento de cosecha y planear adecuadamente el cultivo.

No hubo diferencias significativas para los periodos de riego de 30 y 60 s, en las variables área foliar, ni para acumulación de materia seca en el tallo y las hojas. El tiempo de 30 s es más rentable por el

menor consumo de energía eléctrica, factor crítico para la viabilidad de la tecnología de los cultivos bajo sistemas aeropónicos.

La formulación completa de Aeropónicos produjo el mayor peso promedio de frutos de pepino por planta. Los tratamientos T3 y T5 no presentaron diferencias significativas en los parámetros de crecimiento y desarrollo evaluados. El tratamiento Aeropónicos al 50% (T4), presentó una disminución significativa en todas las variables evaluadas, respecto a los otros tratamientos.

### AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue financiado por la Universidad Nacional de Colombia, INVERCA y AEROPONICOS de Colombia S.A.S., mediante el proyecto DIME titulado: "Establecimiento y evaluación de algunos factores ambientales en un cultivo aeropónico de cilantro (*Coryandrum sativum*) bajo invernadero con condiciones climáticas controladas"; código QUIPU: 20301007162. Agradecemos al Ingeniero Agrónomo Joaquín Guillermo Ramírez Gil por el apoyo en las pruebas estadísticas.

### BIBLIOGRAFÍA

Clay, P.A., K.M. Young and E.R. Taylor. 2006. Effect of heat unit accumulation on cotton defoliation, lint yield and fiber quality. Arizona Cotton Report (P-145): 245-250.

Fischer, R.A. 1983. Wheat. pp. 129-154. In: Smith, W.H. and S.J. Banta (eds.). Symposium on Potential Productivity of Field Crops Under Different Environments. International Rice Research Institute, Los Baños, Philippines. 526 p.

García, A.D. y C. López. 2002. Temperatura base y tasa de extensión foliar del maíz. Revista Fitotecnia Mexicana 25(4): 381-386.

García, H., C. Galán, M.T. Gómez and E. Domínguez. 2000. A comparative study of different temperature accumulation methods for predicting the start of the *Quercus* pollen season in Córdoba (South West Spain). Grana 39: 194-199.

Hoagland, D.R. and D.I. Arnon. 1950. The water culture method for growing plants without soil. Second edition. California Agricultural Experiment Station, Circ. 347. 32 p.

- López, C., R.A. Richards, G.D. Farquhar and R.E. Williamson. 1996. Seed and seedling characteristics contributing to variation in early vigor among temperate cereals. *Crop Science* 36(5): 1257-1266.
- Machado, B., M.R. Prioli, A.B. Gatti and V.J. Mendes. 2006. Temperature effects on seed germination in races of common beans (*Phaseolus vulgaris* L.). *Acta Scientiarum Agronomy* 28(2): 155-164.
- Meza, N. y D. Bautista. 1999. Estimación del área foliar en plantas jóvenes de níspero (*Manilkara achras* [Miller] Fosberg) sometidas a dos ambientes de luz. *Bioagro* 11(1): 24-28.
- Murray, M.S. 2008. Using degree days to time treatments for insect pests. Fact Sheet. Utah State University Extension and Utah Plant Pest Diagnostic Laboratory, IPM 05-08. 5 p.
- Perry, K.B. and T.C. Wehner. 1996. A heat unit accumulation method for predicting cucumber harvest date. *HortTechnology* 6(1): 27-30.
- Perry, K.B. and T.C. Wehner. 1990. Prediction of cucumber harvest date using a heat unit model. *HortScience* 25(4): 405-406.
- Perry, K.B., T.C. Wehner and G.L. Johnson. 1986. Comparison of 14 methods to determine heat unit requirements for cucumber harvest. *HortScience* 21(3): 419-423.
- Phadnawis, N.B. and A.D. Saini. 1992. Yield models in wheat based on sowing time and phenological development. *Annals of Plant Physiology* 6: 52-59.
- Porter, J.R. and R. Delecolle. 1988. Interaction of temperature with other environmental factors in controlling the development of plants. pp: 133-156 In: Long, S.P. and F.I. Woodward (eds.). *Plants and temperature*. Symposia of the Society for Experimental Biology Number XXXXII. The Company of Biologists Limited, Department of Zoology, University of Cambridge, Great Britain.
- Prabhakar, B.N., A.S. Halepyati, B.K. Desai and B.T. Pujari. 2007. Growing degree days and photo thermal units accumulation of wheat (*Triticum aestivum* L. and *T. durum* Desf.) genotypes as influenced by dates of sowing. *Karnataka Journal of Agricultural Sciences* 20(3): 594-595.
- Qadir, G, M.A. Cheema, F. Hassan, M. Ashraf and M.A. Wahid. 2007. Relationship of heat units accumulation and fatty acid composition in sunflower. *Pakistan Journal of Agricultural Sciences* 44(1): 24-29.
- Qadir, G., S. Ahmad, F Hassan and M.A. Cheema. 2006. Oil and fatty acid accumulation in sunflower as influenced by temperature variation. *Pakistan Journal of Botany* 38(4): 1137-1147.
- Ritchie, J.T. and D.S. Ne Smith. 1991. Temperature and crop development. *Agronomy Journal* 31: 5-29.
- Russelle, M.P., W.W. Wilhelm, R.A. Olson and J.F. Power. 1984. Growth analysis based on degree days. *Crop Science* 24: 28-32.
- Tewari, S.K. and M. Singh. 1993. Yielding ability of wheat at different dates of sowing: a temperature development performance. *Indian Journal of Agronomy* 38: 204-209.
- Wang, J.Y. 1960. A critique of the heat unit approach to plant response studies. *Ecology* 41 (4): 785-790.
- Wehner T.C. and N. Guner. 2004. Growth stage, flowering pattern, yield, and harvest date prediction of four types of cucumber tested at 10 planting dates. *Acta Horticulturae* 637: 223-229.