



¿Es este un buen día para las plantas? Una forma tecnológica simple de revisar el ambiente en cultivos de interior

Coral Martínez Nolasco

*Tecnológico Nacional de México / IT de
Celaya,
Celaya, Guanajuato, México*

Juan José Martínez Nolasco

*Tecnológico Nacional de México / IT de
Celaya,
Celaya, Guanajuato, México*

José Guadalupe Zavala Villalpando

*Tecnológico Nacional de México / IT de
Celaya,
Celaya, Guanajuato, México*

Armando Figueroa Martínez *

*Tecnológico Nacional de México / IT de Roque,
Celaya, Guanajuato, México*

* Autor de correspondencia: m2403011@itcelaya.edu.mx

Resumen: Este trabajo se pregunta si es posible saber si un lugar es bueno para que crezcan las plantas solo observando los datos del ambiente. Para responderlo, se desarrollaron tres herramientas sencillas usando información real de un cultivo hidropónico de acelga, donde se controlaron variables como la temperatura, la luz, la humedad y el dióxido de carbono (CO₂). Con estos datos se crearon indicadores que permiten clasificar los días como buenos, aceptables o poco favorables para el crecimiento de las plantas. La idea es que tanto productores como estudiantes e investigadores puedan usar esta información para tomar mejores decisiones, cuidar recursos como la luz y la electricidad, y acercarse de manera práctica al conocimiento sobre el ambiente y los cultivos.

Palabras clave: *Ambiente de cultivo, cámara de crecimiento, eficiencia ambiental, iluminación, sensores.*

1. Introducción: *lo que debemos saber de inicio*

En ciertos experimentos o cultivos se emplean cámaras de crecimiento, espacios controlados donde se regulan factores como la luz, temperatura, humedad y dióxido de carbono, para favorecer el desarrollo óptimo de las plantas mediante la fotosíntesis. Para asegurar el buen funcionamiento de las cámaras de crecimiento se utilizan sensores que registran variables como temperatura, iluminación, humedad y CO₂. Sin embargo, el verdadero desafío es interpretar esos datos y determinar si las condiciones son favorables para las plantas, lo que requiere herramientas que transformen los datos en información útil, dotando a la cámara de una especie de "cerebro". La evaluación del ambiente durante el cultivo comienza con la recolección de datos de iluminación, temperatura, humedad relativa y CO₂ a lo largo de un mes. Posteriormente, se aplica la fórmula de Grados Día de Crecimiento (GDD), una herramienta que permite determinar si las plantas recibieron suficiente "calor útil" para desarrollarse. Este cálculo promedia la temperatura máxima y mínima diaria, restando una temperatura base (en este caso, 5 °C), que marca el umbral a partir del cual las acelgas dejan de crecer. El calor no es el único factor que influye en el crecimiento de las plantas; también es fundamental contar con suficiente iluminación en el momento adecuado. Para evaluar esto, utilizamos un indicador llamado Eficiencia Ambiental, que determina el porcentaje del día en el que se mantuvieron simultáneamente condiciones óptimas de iluminación y temperatura. Es similar a la hora de comer: no basta con tener comida, también es importante contar con un espacio cómodo, ni demasiado frío ni a oscuras. Finalmente, se diseñó un indicador que resume todo eso: el Índice de Calidad de Fotoperiodo (IQF) (fotoperiodo: duración diaria de iluminación que recibe una planta). Este considera tres aspectos: ¿Cuánta iluminación total hubo? (intensidad media), ¿Qué tan estable fue esa iluminación? (variación), ¿Cuánto tiempo se mantuvo la iluminación dentro del rango ideal para las plantas? (entre 200 y 400 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}$).

Con estos tres valores —GDD, Eficiencia Ambiental e IQF— se pudo identificar cuáles días fueron realmente buenos para el cultivo, y detectar si hacía falta mejorar la iluminación o la temperatura para tener más días ideales. Con esta propuesta se busca apoyar a investigadores, estudiantes o personas que cultivan plantas en interiores a tomar mejores decisiones sobre sus entornos de cultivo. Al usar indicadores como los GDD, la eficiencia ambiental y el IQF, es posible mejorar las condiciones sin necesidad de medir directamente el crecimiento de la planta. Por ejemplo, es posible reducir el consumo de energía eléctrica

al determinar con precisión el momento y la duración óptimos para encender las lámparas. Además, en caso de que surja alguna enfermedad, el análisis de estos datos permiten descartar causas ambientales y comprender mejor los factores que podrían haber influido en su aparición. Los GDD dan una idea de cuándo una planta ha alcanzado suficiente “madurez térmica” para pasar a la siguiente etapa del cultivo. Es como si la planta cumpliera 18 años... y estuviera lista para sacar su licencia de conducir. Esta propuesta vale la pena porque convierte los datos en información útil. Tener sensores no es suficiente si no se sabe cómo interpretar lo que miden. Estos indicadores permiten transformar simples números en decisiones prácticas para cuidar mejor el entorno del cultivo. También abren la puerta a la automatización. En el futuro es posible tener un sistema inteligente que ajuste la iluminación, la temperatura o el riego de forma automática, como un “asistente virtual” que cuida tus plantas. Con herramientas como estas, no solo se logra ahorrar recursos, sino también entender mejor a las plantas, anticiparse a sus necesidades y actuar a tiempo. Es como pasar de ser un espectador, a convertirse en el médico —o el investigador— que tiene más herramientas para cuidarlas y estudiarlas.

2. Fundamentos Teóricos: reglas y principios científicos importantes

Las plantas requieren condiciones adecuadas para crecer sanas, siendo esenciales factores como la luz, temperatura, humedad relativa y dióxido de carbono (CO_2). La acelga, como muchas otras plantas, pertenece al grupo de las plantas C3, lo que significa que realizan el tipo más común de fotosíntesis. Estas plantas forman un compuesto con tres carbonos al capturar CO_2 , y requieren temperaturas moderadas y buena iluminación para funcionar de manera eficiente. Si no reciben suficiente iluminación, no pueden hacer bien la fotosíntesis. La fotosíntesis es el proceso que usan las plantas para producir su propio alimento. Lo hacen tomando la luz del sol, el dióxido de carbono (CO_2) del aire y el agua (H_2O) del suelo. Con esos ingredientes, y gracias a una sustancia verde que tienen en sus hojas llamada clorofila, las plantas crean glucosa (una forma de azúcar que les da energía) y liberan oxígeno al ambiente. Por otra parte, si la temperatura es muy baja, el crecimiento se detiene; y si es demasiado alta, la planta entra en estrés, como cuando los seres humanos necesitan con urgencia un vaso de agua después de correr. El exceso de humedad y el frío pueden provocar enfermedades como los hongos en las plantas. Para evaluar si recibieron el “calor útil”

necesario, se utilizan los Grados Día de Crecimiento (GDD), que se calculan promediando la temperatura máxima y mínima diaria y restando una temperatura base, que indica el valor a partir del cual la planta empieza a crecer. Sumando estos valores día con día, es posible estimar si las condiciones han sido adecuadas para el desarrollo del cultivo. En algunos casos, este valor ayuda a predecir en qué momento una planta puede pasar a otra etapa, o incluso cuándo sería buen momento para cosechar. Es como tener un termómetro del progreso: ni dejar a la planta “sin cobija” (con frío), ni “demasiado tapada” (con exceso de calor). En general, la eficiencia se refiere a qué tanto se aprovechan los recursos. En este caso, se habla de eficiencia ambiental como una medida de cuánto se aprovecha el ambiente durante el día para que las plantas crezcan en condiciones ideales. En las cámaras de crecimiento, donde se consume energía continuamente para mantener condiciones ideales, es crucial evaluar si vale la pena tener el sistema encendido todo el tiempo. Para ello, se calcula el porcentaje del día en que coinciden temperatura adecuada e iluminación óptima para el cultivo de acelga. La Eficiencia Ambiental indica el porcentaje del día en que se cumplen simultáneamente condiciones óptimas de temperatura e iluminación; un valor de 0.5 significa un 50 % de eficiencia. Esta medida revela si el ambiente fue bien aprovechado o si hubo pérdidas. Además, no solo importa la cantidad de luz, sino también su estabilidad y calidad, ya que variaciones bruscas pueden afectar negativamente el desarrollo de las plantas. El Índice de Calidad de Fotoperiodo (IQF) es una herramienta que combina tres aspectos clave, como se muestra en la siguiente ecuación:

$$IQF = \alpha \cdot PPF \text{ media} - \beta \cdot CV \text{ del PPF} + \gamma \cdot \text{Proporción ideal} \quad (1)$$

- La intensidad promedio de iluminación (PPF media) representa la cantidad total de iluminación útil para la fotosíntesis.
- El coeficiente de variación del PPF (CV) indica qué tan estable fue esa iluminación.
- Y la proporción ideal representa el porcentaje del tiempo diario en que la iluminación estuvo dentro del rango fotosintético óptimo (200–400 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}$), donde las plantas C3 trabajan con mayor eficiencia.
-

Al integrar estos tres factores en una sola fórmula, el IQF permite comparar la calidad del ambiente lumínico entre diferentes días. Además, es una herramienta flexible, ya que se puede ajustar o adaptar según el tipo de planta o el objetivo del cultivo.

3. Desarrollo del Trabajo: *aplicando las reglas y principios científicos*

La presente sección describe el desarrollo del trabajo realizado (Ver Figura 1) de manera resumida.

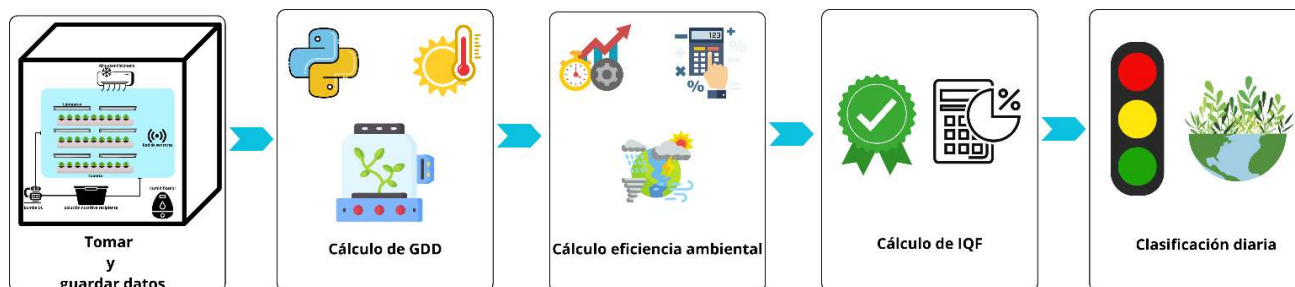


Figura 1 metodología resumida.

Obtenida de: elaboración propia.

Durante un mes completo, del 3 de marzo al 3 de abril de 2025, se recopilaban datos en una cámara de cultivo, un espacio cerrado diseñado para controlar las condiciones óptimas de crecimiento de las plantas. En este estudio, se analizaron cuatro factores clave: la temperatura, la humedad relativa, el dióxido de carbono (CO_2) y la cantidad de iluminación fotosintética, fundamental para su desarrollo.

Los datos se obtuvieron con sensores colocados dentro de la cámara, que registraban las condiciones cada 5 minutos. Luego, se calcularon promedios por hora para analizar con mayor claridad cómo se comportaba el ambiente durante cada día. La información es la base con la que se construyeron tres indicadores que nos ayudaron a entender si el ambiente estaba siendo realmente útil para las plantas.

El primero fue el GDD, que indica si hubo suficiente calor para que las acelgas pudieran crecer. Es como ir sumando los días en los que hizo el clima ideal para que la planta “avance”. El segundo indicador fue la eficiencia ambiental, que muestra qué tanto del día se cumplieron al mismo tiempo dos condiciones: buena temperatura y presencia de iluminación. Si eso pasaba durante muchas horas, considerábamos que había sido un buen día para las plantas. Y, por último, se propone un índice que resume la calidad de la iluminación en cada día: el IQF, o Índice de Calidad de Fotoperiodo. Este indicador combina tres aspectos: cuánta iluminación hubo en promedio, qué tan estable fue esa iluminación durante el día (es decir, si no hubo muchas subidas o bajadas bruscas), y cuánto tiempo la se mantuvo dentro del rango ideal para que la acelga haga fotosíntesis.

Con estos tres valores, dan una idea mucho más clara de cuáles días fueron buenos, aceptables o críticos para el desarrollo de las plantas, sin necesidad de medir partes o datos de las plantas directamente. Además, como el IQF se puede ajustar según el tipo de cultivo, es útil para comparar la calidad de la iluminación entre distintos días o condiciones. Todos los cálculos fueron realizados en Python.

Ya con estos indicadores, se realizaron varios análisis para entender mejor cómo se comportaba el ambiente cada día. Por ejemplo, se tomó el valor más alto de GDD registrado y se usó como base para construir un “escenario ideal”. Eso permitió comparar cuánto desarrollo térmico se podría haber tenido si todos los días hubieran sido tan buenos como ese. Así se puede visualizar claramente el margen de mejora.

Para la eficiencia ambiental y el IQF, se creó una clasificación tipo semáforo, dividiendo los valores en tres rangos iguales: 🚫 Crítico: de 0 a 0.33 🟡 Aceptable: de 0.34 a 0.66 🟢 Óptimo: de 0.67 a 1.00

Esto nos ayuda a identificar con facilidad cuáles días ofrecieron condiciones ideales, cuáles fueron funcionales pero mejorables, y cuáles resultaron poco favorables para el cultivo.

Las gráficas generadas (Ver Figura 2 y 3) muestran cómo cambiaron los tres indicadores a lo largo del tiempo, y también cómo se relacionaron entre sí. En especial, se encontró una correlación fuerte ($r \approx 0.90$) entre el IQF y la eficiencia ambiental, lo que confirma que este índice es un buen resumen de la calidad lumínica útil para las plantas.

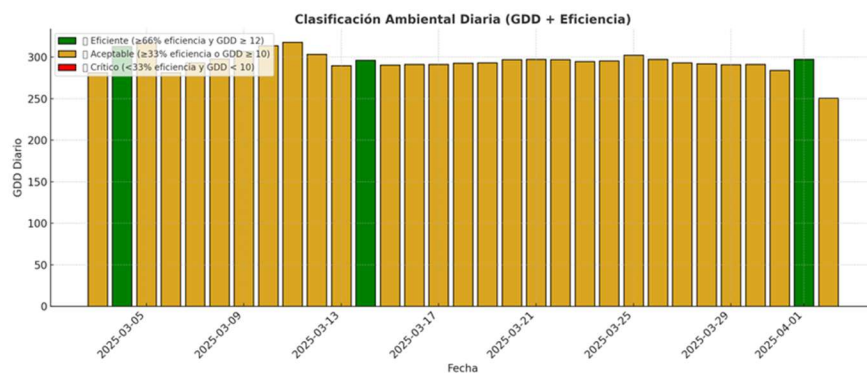


Figura 2 Grafico ejemplificativo De clasificación diaria.

Obtenida de: elaboración propia

Se concluyó que es posible evaluar el ambiente de cultivo mediante modelos simples, sin medir directamente a las plantas. Sensores comunes y cálculos básicos permiten analizar

cantidad y calidad de la iluminación, siempre que se consideren las necesidades específicas del cultivo.

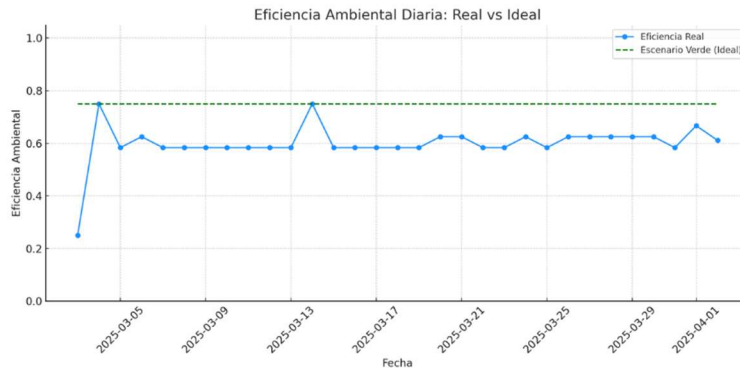


Figura 3 Grafico ejemplificativo De clasificación diaria.

Obtenida de: elaboración propia.

4. Conclusiones: lo que podemos aprender de este artículo

Este trabajo demuestra que no es necesario contar con equipos complejos para evaluar si un ambiente es favorable para el crecimiento vegetal. A través de mediciones básicas y un análisis accesible, se logró identificar condiciones óptimas o críticas en función del calor acumulado (GDD), la eficiencia ambiental diaria y la calidad del fotoperiodo (IQF). Aunque en este estudio no se midieron directamente variables morfológicas del cultivo, la literatura científica respalda que valores elevados de GDD y estabilidad lumínica están correlacionados con un mayor desarrollo foliar en plantas C3 como la acelga (Yamori et al., 2014; Taiz & Zeiger, 2015). Por tanto, los días clasificados como óptimos se pueden asociar hipotéticamente con mejores condiciones de crecimiento, lo que será objeto de futuros estudios. Además, los indicadores propuestos permiten comparar distintos escenarios de cultivo y podrían emplearse para planear estrategias de eficiencia energética, como el encendido automático de lámparas o sistemas de alerta. En el futuro, se espera que estas herramientas se integren en sistemas inteligentes de control ambiental, que no solo reaccionen ante desviaciones, sino que anticipen condiciones desfavorables. En suma, este enfoque propone una forma concreta y replicable de traducir datos ambientales en decisiones prácticas, abriendo la puerta a sistemas automatizados y accesibles para investigadores, docentes o productores que buscan optimizar sus cultivos sin recurrir a tecnologías costosas.

5. Referencias: *por si quieres seguir conociendo más*

- G. S. McMaster and W. W. Wilhelm. (1997). Growing degree-days: One equation, two interpretations. *Agric. For. Meteorol.*, 87(4), 291–300, 1997. [https://doi.org/10.1016/S0168-1923\(97\)00027-0](https://doi.org/10.1016/S0168-1923(97)00027-0)
- G. D. Massa, H. Kim, R. M. Wheeler, and C. A. Mitchell. (2008).)Plant productivity in response to LED lighting. *HortScience*, 43(7), 1951–1956. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.43.7.1951>
- L. Taiz, E. Zeiger, I. M. Møller, and A. Murphy. (2015). *Plant Physiology and Development*, 6th ed. Sunderland, MA, USA: Sinauer Associates.
- N. El Bassam, *Handbook of Bioenergy Crops: A Complete Reference to Species, Development and Applications*. London, U.K.: Earthscan, 2010.
- R. Flores Palacios and E. Martínez Hernández, Eds. (2012). *Requerimientos agroecológicos de cultivos*, 2nd ed. México: INIFAP.
- W. Yamori, K. Hikosaka, and D. A. Way. (2014). Temperature response of photosynthesis in C3, C4, and CAM plants: Temperature acclimation and temperature adaptation. *Photosynth. Res.*, 119 (1–2), 101–117. <https://doi.org/10.1007/s11120-013-9874-6>