

## Determinación del tiempo térmico para el cultivo de banano en la zona bananera de Urabá, Colombia

Julián Andrés Valencia-Arbeláez<sup>1\*</sup>; Diego Alejandro Londoño-Puerta<sup>1</sup>; Sebastián-Zapata Henao<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Centro de Investigaciones del Banano–Cenibanano.

**\*Autor de**

**Correspondencia:**

Julián Andrés Valencia-Arbeláez  
invagroclimatologia@augura.com.co

**Contribución:**

Científica

**Sección:**

Cambio Climático y  
Agrometeorología

**Recibido:**

15 Diciembre, 2023

**Aceptado:**

15 Enero, 2024

**Publicado:**

16 Abril, 2024

**Cita:**

Valencia-Arbeláez JA,  
Londoño-Puerta DA y  
Sebastián-Zapata H.  
2024. Determinación del  
tiempo térmico para el  
cultivo de banano en la  
zona bananera de Urabá,  
Colombia. *Acorbat Revista  
de Tecnología y Ciencia*  
1(1): 20  
<https://doi.org/10.62498/AR.TC.2420>

### RESUMEN

La temperatura controla el ritmo de desarrollo de muchos organismos entre ellos el banano, donde la media general óptimo entre el crecimiento y el desarrollo es de aproximadamente 27 °C. Para la determinación de tiempo térmico se emplearon bases climatológicas de 7 estaciones provenientes de IDEAM, Colombia, durante el período 2000 a 2021 y se realizó una selección de 13 yemas de segundo pentágono de plantas de banano, a las cuales se les hizo seguimiento de crecimiento y desarrollo, y cada etapa se relacionó con el tiempo térmico acumulado, determinando un valor TT de 5282 °GD, presentando este enfoque como una herramienta sistemas de apoyo en la toma de decisiones.

**Palabras clave:** Grados-días de desarrollo, agroclimatología, fenología, ENOS, clima.

### ABSTRACT

Temperature controls the rate of development of many organisms, among them banana, where the general average optimum between growth and development is approximately 27°C. For the determination of thermal time, climatological bases of 7 stations from IDEAM, Colombia, during the period 2000 to 2021 were used and a selection of 13 second pentagon buds of banana plants was made, which were monitored for growth and development, and each stage was related to the accumulated thermal time, determining a TT value of 5282 °GD, presenting this approach as a support systems tool for decision making.

**Keywords:** thermal weather, agroclimatology, phenology, weather.



## INTRODUCCIÓN

La temperatura controla el ritmo de desarrollo de muchos organismos. Las plantas y los animales invertebrados, necesitan una determinada cantidad de calor para desarrollar su ciclo vital. Esta medida de calor acumulado se conoce como tiempo fisiológico. En teoría, el tiempo fisiológico proporciona una referencia común para el desarrollo de los organismos. La cantidad de calor necesaria para completar el desarrollo de un organismo determinado no varía: la combinación de temperatura (entre umbrales) y tiempo será siempre la misma. El tiempo fisiológico suele expresarse y aproximarse en unidades denominadas grados-día ( $^{\circ}\text{D}$ ). (Baskerville y Emin, 1969; Zalom et al., 1983; Wilson y Barnett, 1983).

En plantas de banano, la tasa de crecimiento y desarrollo está determinada por la temperatura, por ejemplo, la emisión de nuevas hojas se detiene a  $16^{\circ}\text{C}$  en los subtrópicos; el crecimiento (asimilación de materia seca) se detiene a  $14^{\circ}\text{C}$ ; la temperatura óptima para el crecimiento y para la iniciación de la flor es  $22^{\circ}\text{C}$ ; y la tasa óptima de emergencia de la hoja es de aproximadamente  $31^{\circ}\text{C}$  (Robinson y Galán Saúco, 2010; Turner y Lahav, 1983). La temperatura media general para un equilibrio óptimo entre el crecimiento (asimilación) y el desarrollo (tasa de emisión foliar) es de aproximadamente  $27^{\circ}\text{C}$  (Robinson y Galán Saúco, 2010).

El concepto de grados días, es un buen referente para conocer la duración de las etapas de desarrollo del cultivo (Lassoudière, 2007) y debe tenerse muy presente principalmente para el periodo entre floración y el momento óptimo de cosecha del racimo para garantizar una adecuada vida verde del banano (Sánchez Torres y Mira Castillo, 2013). Investigaciones de tiempo fisiológico desarrollados por Robinson (1992), en Sudáfrica, mostraron que plantas de banano “Willians” requieren un promedio de 1000 grados día ( $^{\circ}\text{D}$ ), con temperatura base de  $14^{\circ}\text{C}$ , para desarrollar un racimo a partir de la emergencia de la inflorescencia hasta la madurez de cosecha (rango 950–1050). En objetivo en este trabajo fue desarrollar el cálculo y determinación del tiempo térmico (TT) en banano como una herramienta de precisión fenológica que alimente los sistemas de apoyo en la toma de decisiones en el sector agrícola, perfilando el cultivo en la generación de agricultura 4.0.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Las bases de datos climatológicos fueron provenientes del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), de 7 estaciones agroclimáticas representativas de la zona bananera en la región Caribe según información de Unidad de Planificación Rural Agropecuaria (UPRA) cuyo periodo fue de 2000 a 2021 (Cuadro 1). La información recolectada fue temperatura máxima y mínima diarias.

**Cuadro 1.** Información general de siete estaciones climáticas empleadas en el estudio.

| Núm. | Long.  | Lat. | ASNM | COD      | ESTACIÓN            | MPIO                | DPTO      |
|------|--------|------|------|----------|---------------------|---------------------|-----------|
| 1    | -76.22 | 9.07 | 15   | 12045020 | Cristo Rey          | Puerto escondido    | Córdoba   |
| 2    | -76.61 | 7.54 | 58   | 12015090 | La Palmera          | Chigorodó           | Antioquia |
| 3    | -75.58 | 8.40 | 90   | 25025190 | Planeta Rica San    | Planeta Rica San    | Córdoba   |
| 4    | -75.95 | 9.37 | 22   | 13085030 | Bernardo del Viento | Bernardo del Viento | Córdoba   |
| 5    | -76.67 | 7.77 | 39   | 1201506  | Tulenapa            | Carepa              | Antioquia |
| 6    | -75.80 | 8.84 | 20   | 13075030 | Turipaná            | Cereté              | Córdoba   |
| 7    | -76.65 | 7.83 | 43   | 12015020 | Uniban              | Apartado            | Antioquia |

Para la homogenización de la información de temperatura se empleó una serie de datos diarios comprendida entre 2000 – 2021, proveniente de la red meteorológica operada por IDEAM. La información fue ordenada, en un inicio, filtrando únicamente los datos de temperatura (mínima, media y máxima), para luego generar una base de datos a escala diaria de cada estación, dejando vacíos en donde no existió toma de datos.

Para la homogenización de datos faltantes se empleó el paquete Climatol diseñado bajo la plataforma R y disponible en (<https://CRAN.R-project.org/package=climatol>). Climatol calcula primero estos parámetros con los datos disponibles en cada serie, rellena los datos ausentes usando estas medias y desviaciones típicas provisionales, y vuelve a calcularlas con las series rellenas. Después se vuelven a calcular los datos inicialmente ausentes usando los nuevos parámetros, lo que dará lugar a nuevas medias y desviaciones típicas, repitiendo el proceso hasta que ninguna media cambia al redondearla con la precisión inicial de los datos. Una vez estabilizadas las medias, se normalizan todos los datos y se procede a estimarlos (tanto si existen o no, en todas las series) mediante la expresión:

$$\hat{y} = \frac{\sum_{j=1}^{j=n} w_j x_j}{\sum_{j=1}^{j=n} w_j}$$

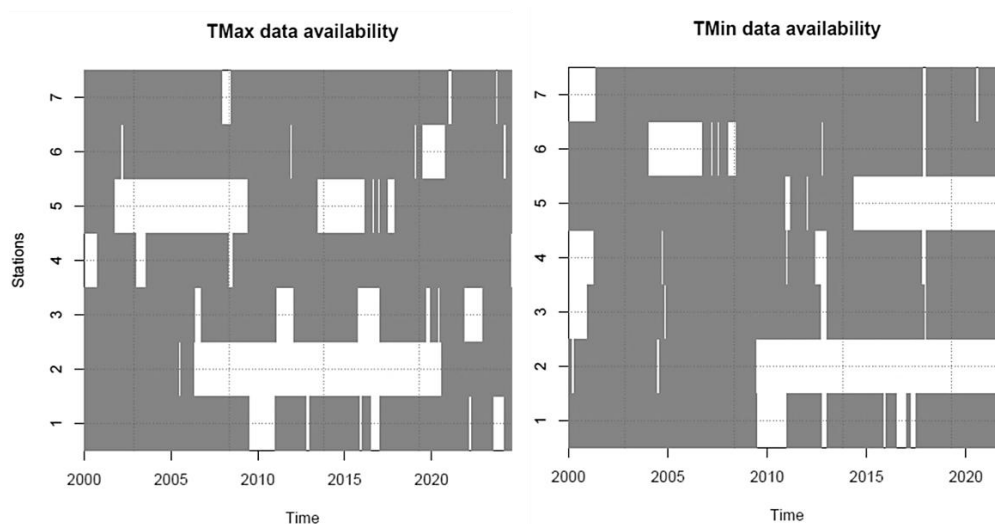
En la que  $\hat{y}$  es un dato estimado mediante los correspondientes ndatos  $x_j$  más próximos disponibles en paso temporal, y  $w_j$  es el peso asignado. Estadísticamente,  $\hat{y}_i = x_i$  es un modelo de regresión lineal denominado Eje Mayor Reducido o Regresión Ortogonal, en el que la recta se ajusta minimizando las distancias de los puntos medidas en dirección perpendicular a la misma (regresión modelo II) en lugar de en dirección vertical (regresión modelo I) como se hace generalmente, cuya formulación (con series normalizadas) es  $\hat{y}_i = r \cdot x_i$ , siendo  $r$  el coeficiente de correlación entre las series  $x$ ,  $y$ .

Para el cálculo del tiempo térmico se partió de la premisa de que el método del corte vertical, citado por Roltsch et al. (1999), es la mejor alternativa para determinar la cantidad de temperatura disponible para el desarrollo de un organismo en cualquier localidad. Conceptualmente, al utilizar esta metodología, se asume que la tasa de crecimiento y desarrollo de cualquier ectotermo se detiene o cesa cuando la temperatura del aire está por debajo del umbral mínimo o por encima del umbral máximo definido para la especie, contrario a lo que sucede cuando se utiliza el corte horizontal, método en el cual el crecimiento y desarrollo continua constante a temperaturas que superan el umbral máximo, es decir, que el área por encima de ese umbral se resta de la zona por encima del umbral mínimo.

Para la aplicación del método, se realizó una selección de plantas y seguimiento de las mismas, el 16 de julio de 2021, en el Campo Experimental Ramírez Jaramillo Sossa, ubicado en el municipio de Carepa, Antioquia, Colombia. Se seleccionaron 13 plantas en estado de yemas, de segundo pentágono, con una altura entre 0 a 30 cm, a las cuales se les hizo seguimiento de crecimiento y desarrollo, se identificó los estados fenológicos F10 (primera hoja con 10 cm de ancho), diferenciación (emisión de hoja 12), floración (Emisión de inflorescencia) y cosecha; cada etapa se relacionó con el tiempo térmico acumulado.

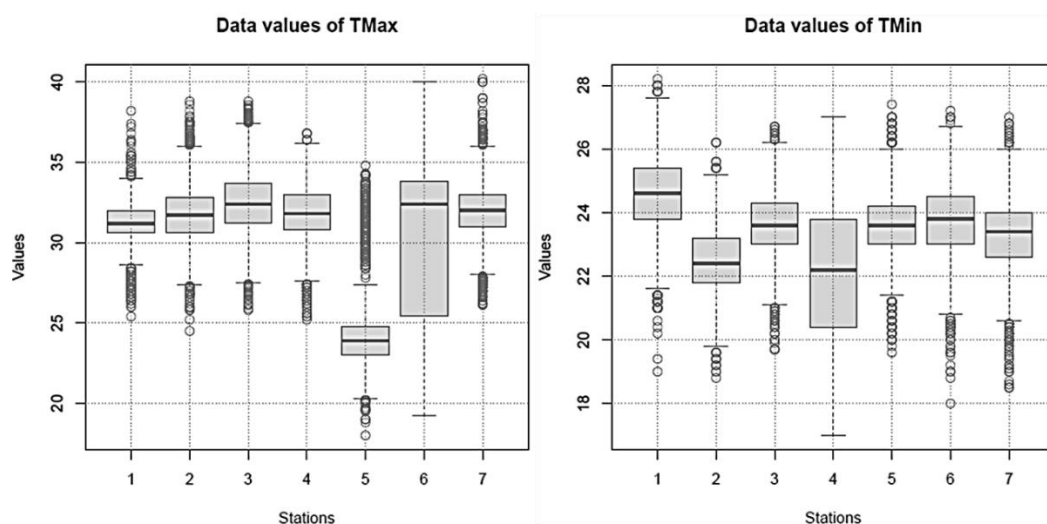
## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Figura 1 se observa la disponibilidad de datos en todas las estaciones para el período comprendido entre 2000 – 2021.

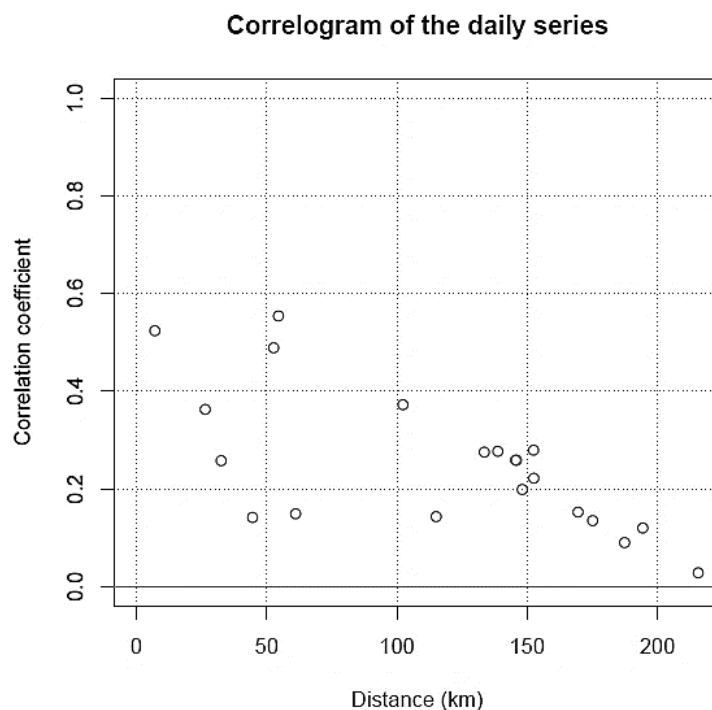


**Figura 1.** Disponibilidad de datos por estaciones seleccionadas operadas por IDEAM en el periodo 2000 - 2021 en la zona Caribe Colombiana.

Las correlaciones entre las series y su clasificación en grupos con variabilidad similar tienden a variar según la distancia, entre más alejadas, son más bajas y viceversa (Figura 2). Cuanto más altas sean las correlaciones, mayor será la fiabilidad de la homogeneización y el relleno de datos ausentes. En particular, las correlaciones deben ser siempre positivas, al menos dentro de un rango de distancias razonables que garanticen un valor no muy alejado de las características climáticas de la zona en estudio (Figura 3).

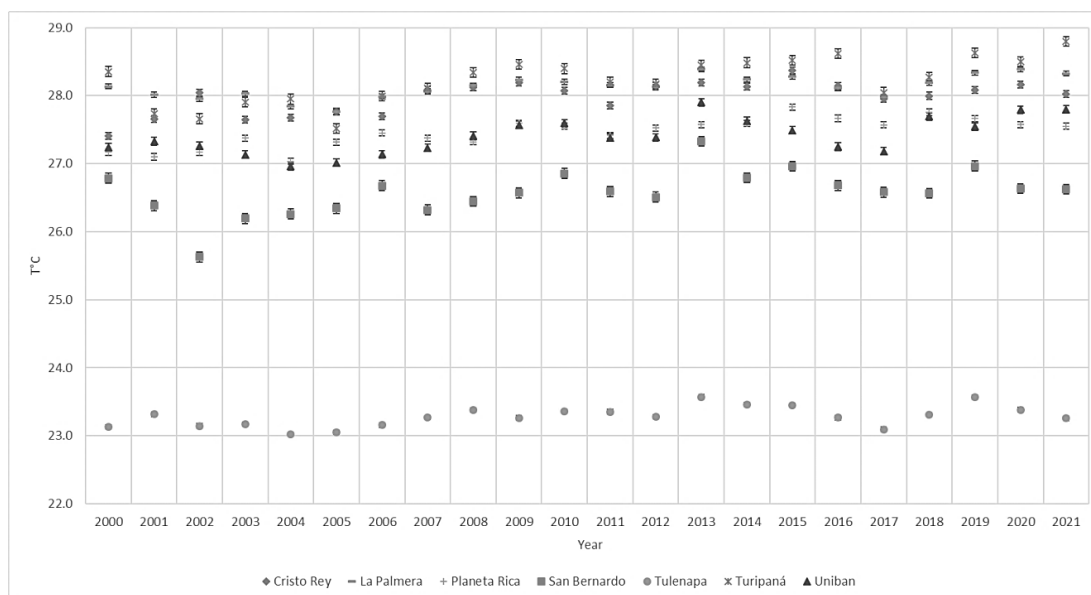


**Figura 1.** Diagramas de caja de los datos en cada estación seleccionada y operadas por IDEAM en el periodo 2000 - 2021 en la zona Caribe Colombiana.



**Figura 2.** Correlograma de las series de estaciones seleccionada y operadas por IDEAM en el periodo 2000 - 2021 en la zona Caribe Colombiana. Nótese que, a mayor distancia, menor correlación entre los valores

La información resultado de temperatura por estación como resultado de la homogenización mediante Climatol (Figura 4), permite ser empleada como una herramienta previa al análisis de tiempo térmico para el cultivo de banano en la zona de Urabá, eliminando los posibles outliers que se presentan al momento de coleccionar la información, principalmente por errores de observación, al ser estaciones de tipo convencional. Cabe mencionar que la zona bananera de Urabá, y el caribe colombiano, presentan una condición heterogénea de temperatura a lo largo del año, la cual, puede variar entre 1 y 1.5 por efecto de monomodalidad causada por la ZCIT y el paso de huracanes en el periodo junio – noviembre.

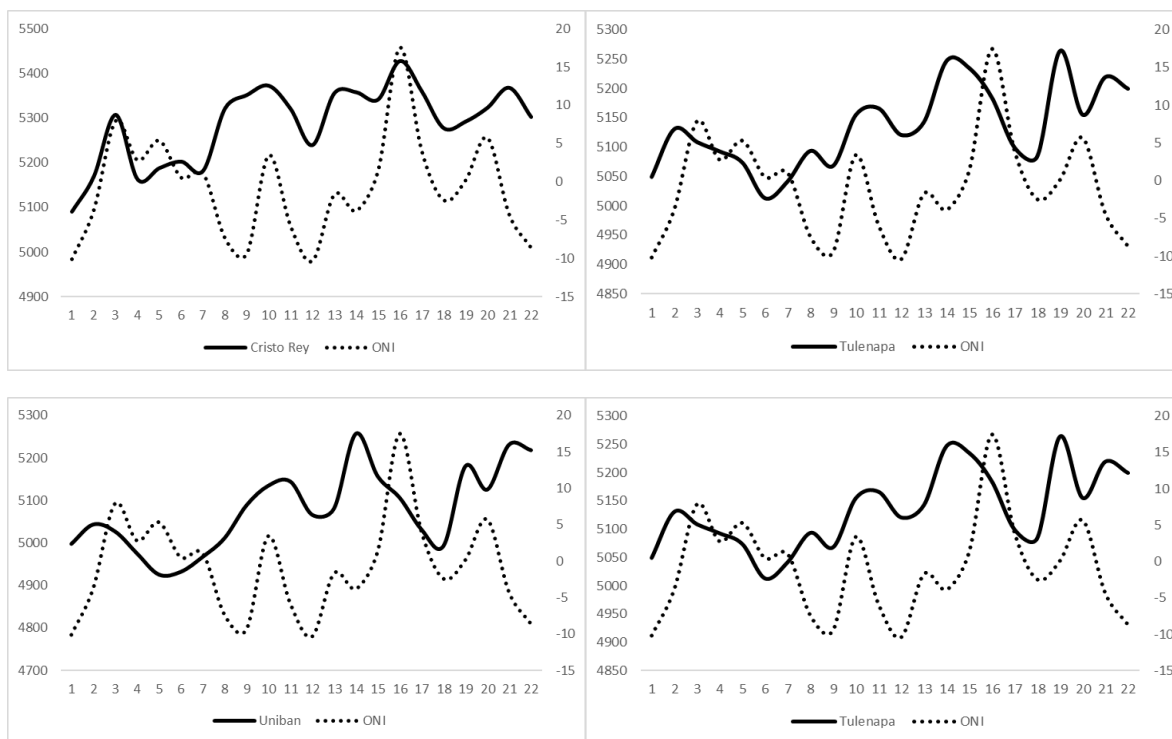


**Figura 4.** Comportamiento anual de la Temperatura en siete estaciones climáticas en el Caribe Colombiano durante el período 2000 - 2021 como resultado de homogenización.

Durante el período comprendido entre 2000 y 2021, el fenómeno climático de El Niño, caracterizado por condiciones neutras y cálidas en el océano Pacífico tropical, tuvo un impacto significativo en el cultivo de banano. La Figura 5 ilustra cómo esta influencia climática afectó las condiciones térmicas. Las aguas cálidas del Pacífico tropical generaron un aumento en la temperatura promedio, lo que favoreció el desarrollo del banano. Como resultado, la mayoría de los meses registraron una tendencia positiva en las temperaturas, lo que impulsó un ambiente propicio para el crecimiento de la fruta.

En Costa Rica, Mora y Guzmán (2007) estimaron que en 12 semanas los grados día (°D) oscilan entre 919 – 1.089 (promedio 1.016) según la época del año y que este factor influye notablemente en el peso de racimo, ‘ratio’ y racimos/ha. González *et al.* (2010) determinaron que se requieren entre 103 y 119 grados día (°D) para emitir una hoja, 2.372 grados día (°D) para floración, 1.026 para llegar al grado óptimo de corte y 1.100 para alcanzar el máximo peso de fruta. En este trabajo se encontraron resultados contrastantes con estos reportes. Por ejemplo, nosotros obtuvimos 3065 °D de estado F10 a floración, 693°D más que lo reportado por González *et al.* (2010), esto puede estar relacionado a otros factores locativos que deben ser evaluados en futuras investigaciones, por el momento se pudo manejar como un dato local; para cosecha nosotros obtuvimos 922 °D, 104°D menos que lo reportado por este mismo autor, este

último está ligado a que en Urabá la cosecha se hace por edad cronológica, a 11 semanas, enfocado a requerimientos de mercado Europeo, a diferencia de Costa Rica, que pueden cosechar con más semanas, ya que su enfoque, por cercanía, es el mercado Americano.



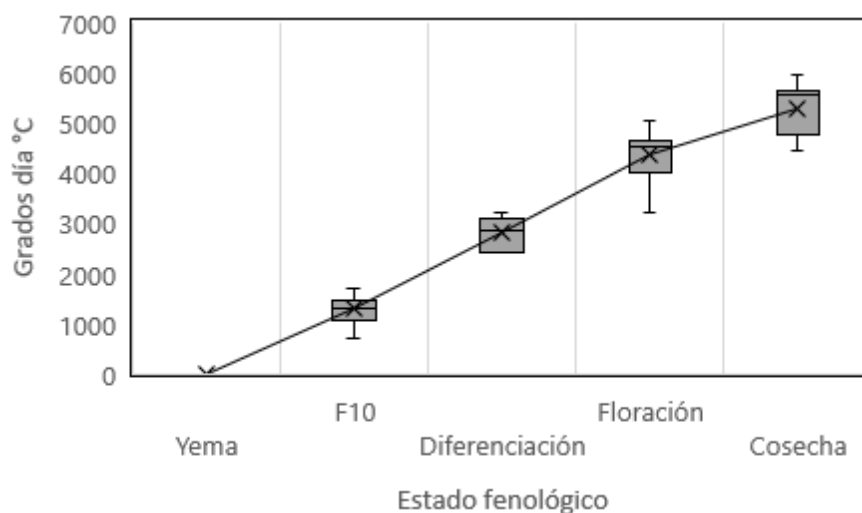
**Figura 5.** Relación de ION (Índice Oceánico del Niño) con las unidades calor acumuladas para las zonas de estudio durante el periodo 2000 – 2021.

En el Cuadro 2 y Figura 6 se muestran la acumulación de tiempo térmico para cada estado fenológico de la planta de banano, obtenido en el seguimiento a plantas en campo.



**Cuadro 2.** Grados día acumulados promedio para cada etapa fenológica del cultivo de banano.

| Etapa Fenológica | GD Acumulado | Semana |
|------------------|--------------|--------|
| Yema             | 0            | 1      |
| F10              | 1294,17      | 14     |
| Diferenciación   | 2801,84      | 29     |
| Floración        | 4359,19      | 44     |
| Cosecha          | 5281,67      | 53     |



**Figura 6.** Boxplot de acumulación de grados día por estado fenológico de la plata de banano.

## CONCLUSIONES

La relación entre la acumulación de tiempo térmico (TT) y las etapas fenológicas del cultivo del banano es fundamental en la agricultura contemporánea. Este enfoque se presenta como una herramienta esencial para los sistemas de apoyo en la toma de decisiones agrícolas, especialmente en un contexto de cambio climático. La acumulación de TT se refiere a la suma de temperaturas diarias por encima de un umbral específico, lo que indica el progreso del desarrollo de las plantas. Al relacionar esta variable con las etapas fenológicas del banano, como la floración y la maduración

de los frutos, podemos anticipar con mayor precisión cuándo ocurrirán estos eventos clave en el ciclo de cultivo.

El cambio climático ha alterado significativamente los patrones de temperatura y precipitación en muchas regiones, lo que a su vez ha impactado la duración y la frecuencia de las labores agrícolas. Al utilizar la acumulación de TT como indicador, los agricultores pueden adaptar sus prácticas de cultivo de manera más efectiva a las condiciones cambiantes. Por ejemplo, pueden ajustar el momento de la siembra, la aplicación de fertilizantes y la cosecha para optimizar la productividad y reducir los riesgos asociados con el cambio climático. Sin embargo, es posible mejorar el concepto TT integrando fotoperiodo o precipitación. En banano, por su condición tropical y dependencia de agua, el factor lluvia podría ser requerido para una óptima estimación de eventos fisiológicos.

No obstante, la relación entre la acumulación de TT y las etapas fenológicas del banano puede ser una herramienta valiosa para la toma de decisiones agrícolas, permitiendo a los agricultores enfrentar los desafíos del cambio climático y mejorar la gestión de sus cultivos de manera más eficiente y sostenible. Esta sinergia entre la ciencia y la agricultura contribuye al desarrollo sostenible y al aseguramiento de la producción de banano en un escenario de cambio climático.

## REFERENCIAS

1. Baskerville, G. L., & Emin, P. (1969). Rapid Estimation of Heat Accumulation from Maximum and Minimum Temperatures. *Ecology*, 50(3), 514-517. <https://doi.org/10.2307/1933912>
2. Lassoudière, A. (2007). *Le bananier et sa culture*. Éd. Quae.
3. Mora, M., & Guzmán, M. (2007). Relación de algunas variables de rendimiento con las unidades de calor de una finca de banano (Musa AAA, subgrupo Cavendish) del Caribe de Costa Rica. *CORBANA*, 33(60), 88-90.
4. Robinson, J. C., & Galán Saúco, V. (2010). *Bananas and plantains* (2nd ed). Du Roi Laboratory : Gobierno de Canarias, Instituto Canario de Investigaciones Agrarias : CABI.
5. Roltsch, W., Zalom, F., Strawn, A., Strand, J., & Pitcairn, M. (1999). Evaluation of several degree-day estimation methods in California climates. *International Journal of Biometeorology*, 42, 169-176. <https://doi.org/10.1007/s004840050101>
6. Sánchez Torres, J. D., & Mira Castillo, J. J. (2013). *Principios para la nutrición del cultivo de banano*. Asociación de Bananeros de Colombia: Centro de Investigaciones del Banano.
7. Turner, D. W., & Lahav, E. (1983). The Growth of Banana Plants in Relation to Temperature. *Functional Plant Biology*, 10(1), 43-53. <https://doi.org/10.1071/pp9830043>

8. Wilson, L., & Barnett, W. (1983). Degree-days: An aid in crop and pest management. *California Agriculture*. <https://www.semanticscholar.org/paper/Degree-days%3A-An-aid-in-crop-and-pest-management-Wilson-Barnett/3d8a65401db40c0a2db4371a83992d7e85a1cc25>
9. Zalom, F., Goodell, P., Wilson, L., Barnett, W., & Bentley, W. (1983). Degree-Days, the Calculation and Use of Heat Units in Pest Management: University of California Division of Agriculture and Natural Resources Leaflet 21373. *Univ. of California, Berkeley*.