Horizonte Académico
Revista Multidisciplinaria
Recibido: 08/12/2024 Aprobado: 18/01/2025

DOI: https://doi.org/10.70208/3007.8245.v5.n1.72

Crecimiento y desarrollo del frijol (Phaseolus vulgaris L.) con acumulación de calor y humedad edáfica disponible

Amanda López Maya
navejasjesus@hotmail.com
https://orcid.org/0009-0001-5462-8480
Universidad Nacional Autónoma de México, FES-C
México, Cuautitlán Izcalli, Estado de México

Gustavo Mercado Mancera
navejasjesus@hotmail.com
https://orcid.org/0000-0002-0800-1134
Universidad Nacional Autónoma de México, FES-C
México, Cuautitlán Izcalli, Estado de México

Jesús Navejas Jiménez
navejasjesus@hotmail.com
https://orcid.org/0009-0005-8709-8913
Instituto Nacional de Investigaciones
Forestales Agrícolas y Pecuarias
México, Ciudad de México

RESUMEN

El objetivo del trabajo fue analizar la acumulación de calor y su relación con la fenología del cultivo de frijol, en el área de Cuautitlán Izcalli, Estado de México. Se consideraron los datos diarios de temperatura media y de precipitación. Además, se emplearon los datos de campo de la fenología del frijol, registrados del año de 2014 al 2022. Fue determinada la acumulación de calor de cada etapa fenológica, con una temperatura base de 7 °C. Los resultados mostraron una variación en las condiciones climáticas, que influyeron en la duración de las diversas etapas fenológicas del frijol. En general, se acumularon 170.2, 453.6, 152.0, 167.9, 199.9 y 198.6 UC, para las etapas de germinación, vegetativa, reproductiva, fructificación, madurez fisiológica y madurez a cosecha, respectivamente. La duración del ciclo del cultivo osciló entre 107 y 128 días, en los años 2015 y 2017-2020-2021, respectivamente. La etapa vegetativa fue la de mayor duración con 41 días en promedio, y la menor fue la reproductiva con 13 días. La variedad Vaquita negro, tuvo un ciclo promedio de 120 días y 1,342.2 UC. El uso de las unidades calor ayuda a pronosticar la aparición de las diversas fases de los cultivos, así como, la selección de los cultivos más adecuados con base al potencial agroclimático de una zona en particular, estimar épocas de siembra y cosecha

Palabras clave: frijol, temperatura, humedad

Growth and development of bean (Phaseolus vulgaris L.) with heat accumulation and available soil humidity

ABSTRACT

The objective was to analyze the heat accumulation and its relationship with the phenology of bean crop, in Cuautitlan Izcalli area, State of Mexico. Daily data, average temperature and precipitation were considered. In addition, field data on bean phenology were used, recorded from 2014 to 2022. The heat accumulation of each phenological stage was determined, with a base temperature of 7 °C. The results showed a variation in climatic conditions, which influenced the duration of various phenological stages of the bean. In general, 170.2, 453.6, 152.0, 167.9, 199.9, and 198.6 UC were accumulated on the germination, vegetative, reproductive, fructification, physiological maturity, and ripening-harvest stages, respectively. The crop cycle ranged between 107 and 128 days in 2015 and 2017-2020-2021, respectively. The vegetative stage was the longest, with an average of 41 days, and the reproductive stage was the shortest, with 13 days. The Vaquita Negro variety had an average cycle of 120 days and 1,342.2 HU. The use of heat units helps to predict the appearance of the various phases of crops, as well as the selection of most suitable crops based on agroclimatic potential of a particular area, and to estimate sowing and harvesting times.

Keywords: bean, temperature, humidity

INTRODUCCIÓN

El frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) es uno de los cultivos más importantes en México, por la superficie sembrada y la producción obtenida; se siembra en todas las regiones agrícolas del país y es componente fundamental de la dieta del mexicano. Es una de las leguminosas más importantes para el consumo humano directo; es considerado como una fuente económica y esencial de proteínas, minerales como hierro y zinc, y carbohidratos como fibra dietaria y oligosacáridos (INIFAP, 2021). El ciclo biológico de muchos organismos depende estrechamente de la temperatura, este hecho ha llevado al establecimiento del concepto unidades calor (UC), que ha sido utilizado con éxito en la predicción del desarrollo de diferentes organismos en distintas partes del mundo. Hoy en día ha resultado mejor evaluar el tiempo de manera fisiológica, ya que, está determinado únicamente por la temperatura y si el tiempo es evaluado de manera cronológica (días) este se verá influenciado por todas las variables ambientales (ProNAP, 2015). Barrera et al. (2010) señalaron que el crecimiento de los diferentes órganos de las plantas es un proceso fisiológico complejo, que depende directamente de la fotosíntesis, la respiración, la división celular, la elongación, la diferenciación, entre otros; y la temperatura del aire es un elemento climático que promueve el aumento de la masa vegetativa (Morales et al., 2006). Por su parte Ruiz (2018), indicó que la temperatura controla la tasa de desarrollo de muchos organismos; plantas y animales, que necesitan cierta acumulación de calor para poder pasar de una etapa de desarrollo a la siguiente.

Una UC es una unidad que combina el tiempo y la temperatura para estimar el desarrollo de un organismo a partir de un punto a otro en su ciclo de vida. Las plantas deben acumular determinada cantidad de calor medida en grados día (GD) para pasar de una etapa de desarrollo a otra (Nájera, 2016). El método residual es uno de los más utilizados para el cálculo de las UC, y las estima con base en la ocurrencia de temperatura en un intervalo, entre la temperatura máxima y mínima para el desarrollo, tomando en cuenta la temperatura umbral inferior o temperatura base (Ruisánchez et al., 2020). Los estudios fenológicos permiten entender las respuestas de los organismos a los factores ambientales, así como las etapas críticas de las plantas cultivadas, lo cual ayuda a maximizar el uso eficiente de los

insumos disponibles (Vázquez et al., 2008). El frijol presenta diez etapas fenológicas a saber: V0 Germinación, V1 Emergencia, V2 Hojas primarias, V3 Primeras hojas trifoliadas, V4 Tercera hoja trifoliada, R5 Prefloración, V6 Floración, R7 Formación de las vainas, R8 Llenado de vainas y R9 Maduración (SIAP, 2019).

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización Geográfica

El estudio se realizó en la Facultad de Estudios Cuautitlán, UNAM (FES-C), en el centro del valle donde se ubican los municipios de Cuautitlán México y Cuautitlán Izcalli, Estado de México, perteneciendo políticamente al segundo municipio. El municipio de Cuautitlán Izcalli se localiza en la parte noroeste de la cuenca de México. Tiene una extensión territorial de 109.9 km^2 que representa el 0.5% de la superficie del Estado de México, con una altitud de 2,256 msnm, el municipio de Cuautitlán Izcalli, se encuentra ubicado dentro del eje Neovolcánico, con las elevaciones al Suroeste y Oeste del municipio, que forman parte de las estribaciones de las sierras de Monte Alto y Monte Bajo, y colinda al Norte con los municipios de Tepotzotlán y Cuautitlán México, al Este con Cuautitlán México y Tultitlán, al Sur con Tlalnepantla de Baz y Atizapán de Zaragoza, al Oeste con Villa Nicolás Romero y Tepotzotlán (Figura 1).

Figura 1. Localización geográfica del municipio de Cuautitlán Izcalli. México (Infoabe, 2023)



Descripción climática de la zona de estudio

De acuerdo con la clasificación climática de Köppen modificado por García (1973) la clasificación del clima de la zona es $C(w_0)$ b (i'), esto es, un clima templado subhúmedo con lluvias de verano, el más seco de los subhúmedos, con verano fresco, porcentaje de lluvia invernal de 4.71%, poca oscilación de

temperatura, el mes más caliente es junio y sin sequía intraestival. La temperatura media anual es de 15.4 °C y la precipitación anual de 652.1 mm (Angeles, 2022), a una altitud de 2,256 msnm.

METODOLOGÍA

El estudio se basó en un método cuantitativo, utilizando datos de temperatura media y precipitación diaria que fueron capturados durante el periodo de junio a octubre del año de 2014 al 2022 en la estación meteorológica Almaraz, de la FES Cuautitlán, UNAM, y se consideraron los valores diarios de temperatura media, máxima y mínima, y precipitación. Además, se analizaron los registros fenológicos del cultivo de frijol variedad Vaquita negro, obtenidos en campo, en los ciclos agrícolas primavera-verano del 2014 al 2022, en condiciones de temporal. Se calcularon las unidades por el método residual, con base en la ocurrencia de temperaturas en un intervalo entre la temperatura máxima y mínima para el desarrollo de las plantas, tomando en cuenta, además, la temperatura umbral inferior o temperatura base (Tb), que en esta investigación se consideró 7 °C, esto es, UC=Temperatura media – Temperatura base (Ruisánchez et al., 2020). Las variables evaluadas fueron: a) Unidades calor y b) Fenología del frijol variedad Vaquita negro. Las fechas de siembra fueron entre el 10, 12, 10, 10, 8, 11, 10, 12 y 10 de junio, para los años 2014, 2015, 2016, 2017, 2018, 2019, 2020, 2021, 2022, respectivamente; en condiciones de temporal. Asimismo, se emplearon los datos fenológicos del cultivo de frijol variedad Vaquita negro de los ciclos P-V de los años 2014 al 2022, cultivado en la parcela fenológica de la estación meteorológica de la FES Cuautitlán.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Acumulación de unidades calor

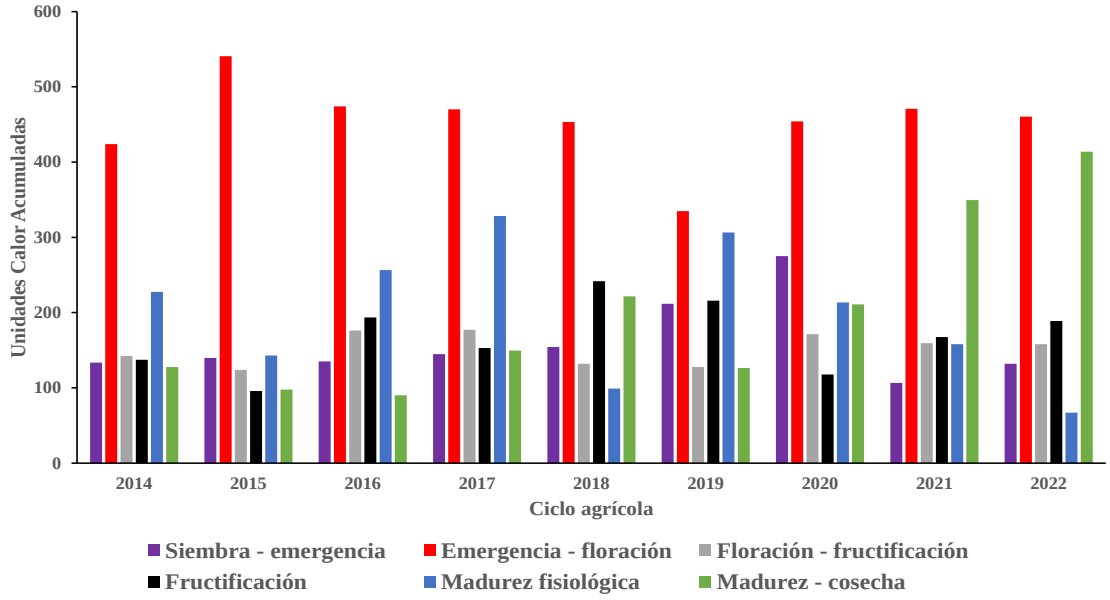
En el Cuadro 1 se muestra la acumulación de calor que se registró durante cada año de análisis. El promedio durante los años de análisis fue de 1,342.2 UC, mientras que en el año 2020 se acumuló el mayor número con 1,442.5 UC.

Cuadro 1. Unidades calor acumuladas del cultivo de frijol variedad Vaquita negro, ciclo primavera-verano 2014-2022 y etapa fenológica. Cuautitlán Izcalli, Méx.

Ciclo agrícola	Siembra - emergencia	Emergencia - floración	Floración - fructificación	Fructificación	Madurez fisiológica	Madurez - cosecha	Total
2014	133.5	423.9	142.2	137.3	227.5	127.7	1192.1
2015	139.6	540.7	123.9	95.9	143.0	97.7	1140.8
2016	135.1	473.9	176.2	193.6	256.4	90.1	1325.3
2017	144.7	470.0	177.1	152.8	328.4	149.6	1422.6
2018	154.2	453.3	132.0	241.7	98.9	221.6	1301.7
2019	311.6	334.9	127.9	215.9	306.4	126.4	1423.1
2020	275.0	454.1	171.3	117.7	213.5	210.9	1442.5
2021	106.4	470.9	159.3	167.4	158.0	349.5	1411.5
2022	132.0	460.3	158.1	188.7	67.1	413.8	1420.0
Promedio	170.2	453.6	152.0	167.9	199.9	198.6	1342.2

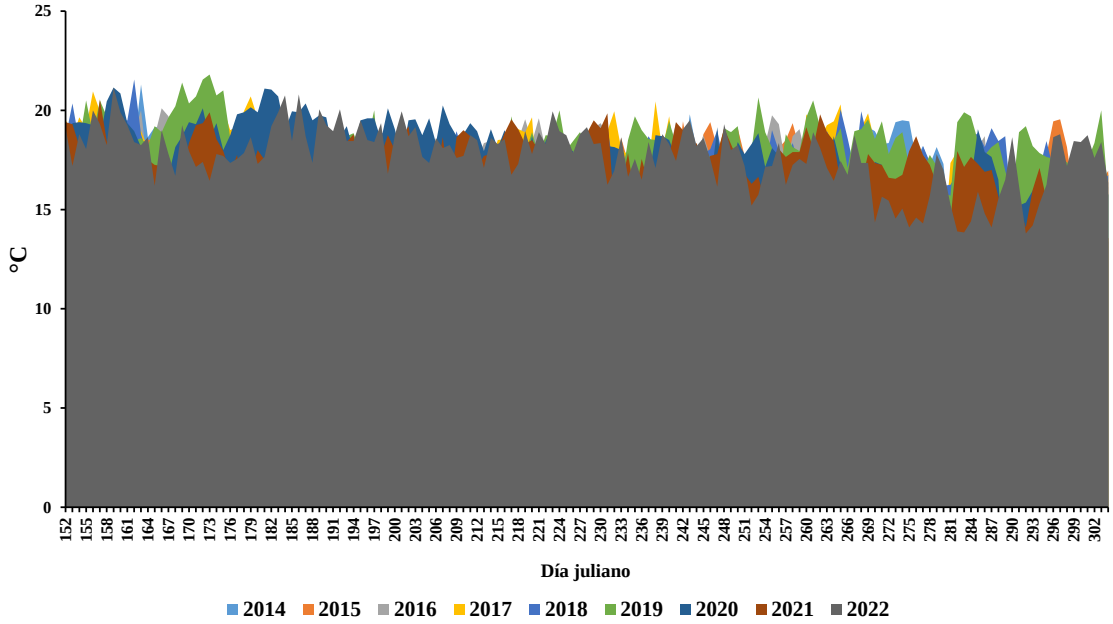
En la Figura 2 se observa de forma gráfica que durante la etapa de germinación (emergencia-floración) la acumulación de calor mantuvo una tendencia similar año con año, y la de madurez comercial (madurez-cosecha) se presenta con mayor variabilidad.

Figura 2. Unidades calor acumuladas del cultivo de frijol variedad Vaquita negro, ciclo primavera-verano 2014-2022 y etapa fenológica. Cuautitlán Izcalli, Méx.



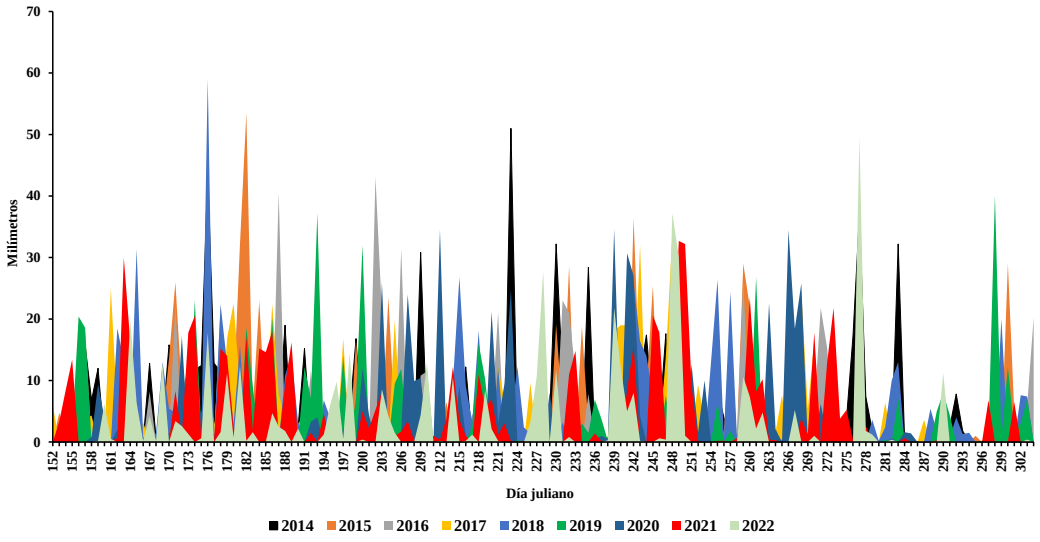
Estas variaciones en cada etapa y en cada ciclo estarían relacionadas con la tendencia de la temperatura (Figura 3), y con la disponibilidad de agua en el suelo, producto de las lluvias del temporal (Figura 4).

Figura 3. Tendencia de la temperatura media diaria durante el ciclo de cultivo de frijol variedad Vaquita negro, del año 2014 al 2022. Cuautitlán Izcalli, Méx.



En los años de 2019 y 2020, las temperaturas medias fueron más altas durante los días que duró la etapa de germinación con respecto a los otros años de estudio, sin embargo, se asoció con menor presencia de precipitación, por lo cual la duración de esta etapa fenológica fue de un período más largo.

Figura 4. Ocurrencia de lluvia diaria durante el ciclo de cultivo de frijol variedad Vaquita negro, del año 2014 al 2022. Cuautitlán Izcalli, Méx.



Con base a lo anterior, se observa la importancia que tienen la precipitación y la temperatura para el crecimiento y desarrollo del frijol, su distribución a lo largo del ciclo del cultivo va a jugar un papel importante en las etapas fenológicas, ya que de esto depende el tiempo entre una etapa y otra, que esta se acorte o se alargue, y que el calor acumulado sea mayor o menor. Estos elementos se mantienen

variables año con año, pueden existir condiciones muy secas con temperaturas más altas, como lo fue en el año 2019, o condiciones más regulares como lo fue en el año 2021. En el año de 2019 se presentaron las condiciones de menor precipitación al inicio del cultivo, por lo cual se alargó la etapa de germinación, sin embargo, ese déficit de humedad aceleró a la planta a llegar a la floración, como un estímulo natural ante el estrés hídrico y la supervivencia de la planta, como lo señaló Rosales *et al.* (2021).

La etapa vegetativa del cultivo de frijol registró un mayor número de días en comparación con las otras etapas, como se muestra en la Cuadro 2, por ende, acumuló una mayor cantidad de calor. Esto es de esperarse debido a que en esta etapa se van a formar las principales estructuras de la planta, entre ellas, la aparición de las hojas primarias, la primera y subsecuentes hojas trifoliadas, alargamiento de tallos, y con ello, la producción fotosintética de sustancias de reserva que promoverán la floración y reproducción del cultivo. Asimismo, se obtuvo un valor promedio de 1,342.2 UC para que el cultivo de frijol llegue a la cosecha.

Cuadro 2. Promedio de días y unidades calor acumulados por etapa fenológica, del cultivo de frijol variedad Vaquita negro, de los ciclos primavera-verano 2014 al 2022, Cuautitlán Izcalli, México.

Etapa	Días acumulados	UC acumuladas
Siembra - emergencia	14.1	170.2
Emergencia - floración	40.8	623.8
Floración - fructificación	13.2	775.8
Fructificación	14.7	943.7
Madurez fisiológica	39.3	1143.6
Cosecha	122.1	1342.2

Las unidades calor tienen un amplio uso e importancia dentro de las actividades agrícolas. Como menciona Bracho *et al.* (2010) las unidades calor se deben considerar para la zonificación de cultivos, esto va a permitir determinar qué tan viable es establecer un cultivo en una cierta región para lograr un

óptimo desarrollo, con base en la acumulación potencial determinada. Asimismo, la madurez fisiológica y la cosecha de los cultivos.

Es de gran importancia conocer la fenología de una planta para su desarrollo productivo y con ayuda de las UC se pueden predecir la aparición de una fase fenológica en particular o bien, la duración de las etapas correspondientes, y que puedan completarse de forma satisfactoria. A mayor acumulación de calor, la planta presentará un mayor crecimiento, ya que la temperatura estimula el desarrollo de las plantas, como lo mencionó De la Rosa (2013). Al conocer las distintas etapas fenológicas de un cultivo y la cantidad de calor que se acumula en cada una de ellas, será posible establecer las mejores fechas de siembra que permitan planificar los cultivos y obtener un crecimiento y desarrollo óptimo.

CONCLUSIONES

Las variaciones en la temperatura y precipitación durante los años estudiados demuestran que la planta de frijol variedad Vaquita negro, va a buscar cumplir con su ciclo biológico, ya sea en menor o mayor tiempo, y esto se verá reflejado directamente en el rendimiento.

La duración promedio del ciclo biológico del frijol en el área de estudio es de 120 días, con una acumulación total promedio de 1,342.2 unidades calor.

La etapa vegetativa es la que tiene mayor duración dentro del ciclo biológico del frijol con una duración promedio de 41 días y 623.8 unidades calor acumuladas.

A pesar de las condiciones ambientales imperantes durante el periodo de análisis, el rendimiento de frijol se mantuvo superior a la media nacional; en el año 2014 resultó con 2.02 t ha^{-1}, debido a la mayor precipitación durante el ciclo biológico del frijol.

Con el análisis obtenido se puede realizar una proyección en campo para estimar la fecha de siembra y posteriormente la aparición y duración de las fases y etapas fenológicas del cultivo de frijol, respectivamente, con base a la necesidad de calor de cada una de ellas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Ángeles, F.S.B. 2022. Determinación de la normal climática de 1987 a 2022 de la Estación Meteorológica Almaraz. Tesis de Licenciatura de Ingeniería Agrícola. FES Cuautitlán, UNAM. México. 117 pp.

Barrera, J., Suárez, D., Melgarejo, L.M. 2010. Análisis de crecimiento en plantas. Capítulo 2: 25-38. En: Experiments in plant Physiology. Edition: First. Publisher: Universidad Nacional de Colombia. Editors: Luz Marina Melgarejo.

Bracho, B., Arnaude, O., Lozada, B. 2010. Fenología de cultivares locales de frijol y arveja del municipio Rafael Urdaneta, estado Táchira, Venezuela, basado en grados día. Agronomía Tropical, 60(2): 1-6.

De la Rosa, T.M.I. 2013. Identificación de estados fenológicos y determinación de unidades calor en el cultivo de rosa (Rosa x hibrida) en la región florícola del Estado de México. Licenciada en Ingeniero Agrónomo en Floricultura. Universidad Autónoma del Estado de México. Tenancingo, Méx. 97 pp.

Gómez, B., Javier, E., Castañeda, L., Kohashi, S., Josue. 2011. Relaciones hídricas y temperaturas altas en frijol del tipo flor de mayo. Agronomía Costarricense, 35(1): 131-145.

INIFAP. 2021. El cultivo del frijol presente y futuro para México. En: https://vun.inifap.gob.mx/VUN_MEDIA/BibliotecaWeb/_media/_librotecnico/12319_5085_El_cultivo_del_frijol_presente_y_futuro_para_M%C3%A9xico.pdf . Fecha de consulta el 24 de noviembre de 2023.

Morales, D., Rodríguez, P., Dell'Amico, J., Torrecillas, A., Sánchez, M. 2006. Efecto de altas temperaturas en algunas variables del crecimiento y el intercambio gaseoso en plantas de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill. CV. Amalia). Cultivos Tropicales, 27(1): 45-48.

Nájera, G.A. 2016. Caracterización del ciclo biológico de *Cydia pomonella* (L.) mediante unidades calor en Chihuahua: Región manzanera 2013-2014. En: http://erecursos.uacj.mx/bitstream/handle/20.500.11961/1738/PT_NAJERA_124659_19-06-2016.pdf?sequence=1&isAllowed=y . Fecha de consulta el 24 de noviembre de 2023.

ProNAP (Programa Nacional Sectorial de Producción Agrícola bajo Ambientes Protegidos). 2015. Edad fisiológica de los cultivos: el uso de grados día. En: https://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/av-1816.pdf . Fecha de consulta el 24 de noviembre de 2023

Rosales, S.R., Flores, G.H., López, G.J., Rubiños, P.J., Ortíz, S.I., Flores, M.H., Santana, E.S., Domínguez, M. P. 2021. Fenología y productividad del agua en variedades mejoradas de frijol pinto cultivadas en Durango, México. Revista Fitotecnia Mexicana. 44(4): 511-519.

Ruisánchez, O.Y. 2020. Las unidades calor, herramienta de monitoreo en la palomilla dorso de diamante. Agro excelencia, la revista del profesional del campo, 33: 7-9.

Ruiz, M.A. 2018. Las Unidades Calor. En: https://semillastodoterreno.com/2018/11/las-unidadescalor#:~:text=La%20Unidades%20Calor%20(UC)%20son,temperaturas%20adecuadas%20para%20su%20desarrollo . Fecha de consulta 29 de abril de 2023.

Vázquez, G., Román, E., Ariza, R. 2008. Fenología y unidades calor de genotipos de papayo en el sur de Tamaulipas, México. Revista Fitotecnia Mexicana, 31(3): 45-48.