

Determinación de un modelo fenológico para el cultivo de gulupa (*Passiflora edulis* f. *edulis* Sims) en condiciones de invernadero en la Sabana de Bogotá

Yeny Paola Vela Hernández

Director:

Carlos Edwin Carranza Gutiérrez

Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD

Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente

Agronomía

2024

Dedicatoria

Le dedico esta investigación a Dios por darme la sabiduría para culminar mi proceso formativo. Cada conocimiento adquirido, cada habilidad desarrollada y cada éxito alcanzado son testimonio de tu bondad y amor hacia mí, a mis padres Álvaro Jacobo Vela Barajas, Delia Rosa Hernández Sáenz, y hermanos María Inelda, Cristian Andrés, Iván Camilo Vela Hernández por su apoyo incondicional y fe en mis capacidades, por su aliento comprensión y animo constante.

Agradecimientos

Al director de tesis Carlos Edwin Carranza Gutiérrez por su orientación experta al presente trabajo, por su tiempo, y sugerencias en la realización de esta tesis.

Al proyecto “Investigación de los compuestos volátiles orgánicos e inducidos para el manejo de moscas, plagas en gulupa y granadilla en el departamento de Cundinamarca” BPIN 2020000100433 financiado por el Sistema General de Regalías, por brindarme todos los recursos económicos y el espacio necesario para llevar a cabo la investigación.

A la Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD) y la Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente (ECAPMA) quien me ha abierto las puertas desde la monitoria y me ha acogido durante los años que duró mi proceso de formación.

A la Universidad Nacional de Colombia y al profesor Diego Miranda Lasprilla por los espacios en el invernadero para el desarrollo del ensayo.

A la profesora cristina Mendoza de la escuela ECAMPA- UNAD por su aportes y apoyo en la realización de este trabajo.

A la compañera Beatriz Segura Osorio quien ha sido de gran apoyo en la toma de datos en invernadero sirviéndome como guía y amiga.

A los compañeros del grupo de investigación Jayson Álzate Calixto, Juliana Botero y Jackson Fontecha siempre fue posible contar con su ayuda y recomendaciones para mejora de la investigación.

Resumen

La gulupa es una de las frutas más importantes en el sector productivo colombiano siendo muy apetecida en mercados internacionales. Actualmente no se conoce información referente a la acumulación de grados de día de crecimiento (GDC) para cada una de sus etapas fenológicas. El objetivo es realizar un modelo fenológico para el crecimiento y desarrollo del cultivo de la gulupa en condiciones de invernadero en la Sabana de Bogotá. El desarrollo experimental se realizó en los invernaderos de la Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá. Las plantas fueron sembradas en sustrato con arena cuarcítica calibre 1,5 y 3,0 mm, en bolsas tipo arándanos de 30 L, con una densidad de siembra de 1,5 m entre plantas y 1,5 m entre surcos, con fertirriego con una solución nutritiva modificada de Hoagland y Arnon para su crecimiento y desarrollo. En 51 plantas, se registraron datos del número de nudos, hojas, longitud de la planta, aparición de botones y florales, floración y tiempo de cosecha semanalmente. Para evaluar el desarrollo de las plantas se aplicaron los principios de la escala BBCH. Se instaló una estación climática para el registro de temperatura, humedad relativa. Para la aparición del botón floral se realizó la estimación con el modelo de regresión lineal y para la determinación de floración y fruto se realizaron sobre la mínima variación de la desviación estándar a través de mínimos cuadrados con la herramienta Solver de Excel y se realizó la determinación de tiempo térmico (TT). Para la emisión de botón floral se determinó una temperatura base (T_b) de $13,53^{\circ}\text{C}$ y un TT de 1146°C , Así mismo para la floración se determinó una T_b de $1,25^{\circ}\text{C}$ con un TT de $842,45^{\circ}\text{C}$ y finalmente para cosecha se determinó una T_b de $1,7^{\circ}\text{C}$ con un TT de 1.136°C .

En la aplicación de la escala BBCH de determino Estado 1: Desarrollo de hojas de gulupa al Estado 5: Aparición de botón floral a los 159,5 DDT, estado 6 floración ocurrió a los 37,1DDB y Estado 8 maduración del fruto ocurrió a los 118,2 DDB (8 meses,17 DDT).

Palabras clave: Acumulación de grados día de crecimiento (GDC), Temperatura base, Fenología, escala BBCH.

Abstract

The gulupa is one of the most important fruits in the Colombian production sector and is highly sought after in international markets. Currently, there is no known information on the accumulation of growing day degrees (GDC) for each of its phenological stages. The objective is to develop a phenological model for the growth and development of the gulupa crop under greenhouse conditions in the Bogotá Plateau. The experimental development was conducted in the greenhouses of the Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. The plants were planted in a substrate with quartzite sand of 1.5- and 3.0-mm caliber, in 30 L blueberry bags, with a planting density of 1.5 m between plants and 1.5 m between rows, with fertigation with a modified nutrient solution of Hoagland and Arnon for their growth and development. In 51 plants, data on the number of nodes, leaves, plant length, bud and flower bud emergence, flowering and harvest time were recorded on a weekly basis. To evaluate plant development, the principles of the BBCH scale were applied. A weather station was installed to record temperature and relative humidity. For the appearance of the flower bud, the estimation was done with the linear regression model and for the determination of flowering and fruit, the minimum variation of the standard deviation through least squares with the Excel Solver tool and the determination of thermal time (TT) was done. For flower bud emission, a base temperature (Tb) of 13.53°C and a TT of 1146°C was determined. For flowering, a Tb of 1.25°C with a TT of 842.45°C was determined, and finally, for harvest, a Tb of 1.7°C with a TT of 1,136°C was determined. In the application of the BBCH scale, State 1: development of gulupa leaves was determined at State 5: appearance of flower bud at 159.5 DDT, State 6: flowering occurred at 37.1 DDT and State 8: fruit ripening occurred at 118.2 DDB (8 months, 17 DDT)

Keywords: Growing degree day accumulation (GDD), Base temperature, Phenology,
Scale BBCH

Tabla de contenido

Introducción	14
Planteamiento del problema	18
Justificación.....	20
Marco Teórico	22
Familia pasifloracea.....	22
Características Morfológicas.....	24
<i>Flores</i>	24
<i>Tallo</i>	25
<i>Hojas</i>	25
<i>Raíz</i>	25
<i>Zarcillos</i>	25
<i>Frutos</i>	26
Plagas y enfermedades de la gulupa	27
Comercialización.....	28
Ecofisiología de la gulupa.....	33
Fotomorfogénesis	34
Fenología.....	36
Escala BBCH	40
Modelos fenológicos.....	42
Modelos de regresión No lineal	44
Temperatura Base	47
Objetivos.....	52
Objetivo General	52

Objetivos Específicos	52
Materiales y Métodos	53
Ubicación	53
Material vegetal.....	53
Estructuración de la toma de datos.....	54
Manejo del experimento	55
Variables para analizar	56
Resultados y Discusión	60
Importancia de conocer el estado vegetativo y reproductivo de la gulupa.....	64
Fenología en estado reproductivo de gulupa.....	64
Estimación de la temperatura base	73
<i>Cosecha a emisión de Botón floral</i>	73
Tasa de aparición de nudos	76
Emisión de Botón Floral a Floración.....	79
Floración a Cosecha.....	82
Conclusiones.....	86
Recomendaciones	87
Referencias Bibliográficas	88
Apéndice	102

Lista de Tablas

Tabla 1 Estadios principales de crecimiento	41
Tabla 2 Revisión de estudios relacionados Tb, grados acumulados y tiempo calendario de diferentes cultivos.....	49
Tabla 3 Modelos de regresión no lineal.	57
Tabla 4 Estado 1: Desarrollo de hojas de gulupa	62
Tabla 5 Estado 3: Crecimiento longitudinal del tallo principal.	63
Tabla 6 Estado 5: Aparición y desarrollo del órgano floral.....	65
Tabla 7 Estado 6: Floración	67
Tabla 8 Estado 7: Desarrollo del fruto.....	69
Tabla 9 Estado 8: Maduración del fruto	70
Tabla 10 Modelo ajustado análisis de regresión no lineal.	73

Lista de Figuras

Figura 1 Crecimiento vegetativo y reproductivo de la gulupa.	23
Figura 2 Principales órganos de la planta de <i>Passiflora edulis</i> Sims f. <i>edulis</i> . Flor (a), tallo (b), Hoja (c), y fruto(d), fruto en diferentes estados de madurez de la gulupa (e), Semillas(f).	27
Figura 3 Principales países exportaciones de gulupa (mayo 2023 - octubre 2023).....	30
Figura 4 Área y producción de gulupa en Colombia 2017- 2022.....	31
Figura 5 Estados de crecimiento de botones florales de gulupa.	37
Figura 6 Fenología floral del cacao.	38
Figura 7 Almácigo de gulupa.....	54
Figura 8 Comportamiento de la temperatura y humedad relativa promedia en el invernadero	61
Figura 9 Estados fenológicos más importantes del desarrollo de la hoja	62
Figura 10 Elongación del tallo principal.	63
Figura 11 Estados fenológicos más importantes del desarrollo del órgano floral de acuerdo con la escala BBCH.	66
Figura 12 Detalle de la flor de gulupa abierta y cerrándose.	67
Figura 13 Principales estados del desarrollo del fruto de gulupa.....	70
Figura 14 Estado de maduración del fruto.....	71
Figura 15 Relación número de nudos observados y simulados vs días después de trasplante (DDT).....	75
Figura 16 Relación Tasa acumulada de nudos vs. Temperatura promedio (°C).....	77

Figura 17 Relación número de nudos vs. Tiempo térmico ($^{\circ}\text{C}$) aparición de botón floral	78
Figura 18 Ajuste para la determinación de la temperatura base (T_b) para la aparición de floración.....	80
Figura 19 Tiempo térmico en función a los días después de trasplante (DDT) en floración.....	81
Figura 20 <i>Determinación de la temperatura base (T_b) para cosecha.</i>	82
Figura 21 Tiempo térmico en función a los días después de trasplante (DDT) para cosecha de gulupa	83

Lista de Apéndices

Apéndice A Siembra de plántulas de Gulupa (<i>Passiflora edulis</i> f. <i>edulis</i>) en bolsas de 30 L en sustrato inerte.....	102
Apéndice B Sistema de tutorada espaldera sencilla.....	103
Apéndice C Toma de datos	104
Apéndice D Podas en Gulupa.....	105
Apéndice E Medición diámetro polar y ecuatorial.....	106
Apéndice F Fertilización foliar.....	107
Apéndice G Fertilización edáfica Manual con macro y micronutrientes	108
Apéndice H Participación congreso internacional CICCA 2023	109

Introducción

La gulupa (*Passiflora edulis* f. *edulis* Sims), es una planta que pertenece a las pasifloráceas y es considerada una fruta exótica, es originaria de países de Sudamérica, pero actualmente se encuentra en todos los continentes (Pereira et al., 2023). Son arbustos trepadores con zarcillos axilares (Jiménez et al., 2011), se cultiva en regiones tropicales y subtropicales por encima de los 1.500 m.s.n.m (Lozano-Montaña et al., 2021). La gulupa se cultiva en climas promedios de 16 y 22°C, por ende, son frutos redondos con un diámetro entre 5 y 7 cm, de color morado en su madurez, el cual presenta un aroma intenso dulce-ácido (Jiménez et al., 2011).

El estudio de la fenología es entendido como los cambios que se producen en las plantas desde la emergencia hasta la madurez de cosecha, tales como la brotación, floración, desarrollo del fruto, y cómo estos cambios se ven afectados por las condiciones ambientales locales (Parra-Coronado et al., 2015). Es importante en la toma de decisiones en la gestión y planificación de la producción, Además de ser un indicador clave del cambio climático en la agricultura (Wang et al., 2018). Así mismo es una herramienta útil para comprender mejor los ciclos de vida de las plantas y ha sido estudiada en numerosas plantas herbáceas, como arroz, maíz, girasol, frijoles y guisantes, etc. (Liu et al., 2015).

La ecofisiología vegetal por su parte, considera diversas condiciones climáticas como la temperatura, el viento, la radiación, la precipitación y la humedad relativa, siendo la radiación fotosintéticamente activa (RFA) un factor importante que es la radiación que se encuentra entre los 400 y 700 nm influyendo en la fotosíntesis al ser fuente de energía lumínica utilizada por las

plantas. Así mismo la planta requiere una humedad relativa del 70 al 80 %, los suelos son franco-arcillosos con pendientes moderadas de 15 a 30 %, y un rango de pH entre 6,5 y 7,5, son sensibles al exceso de agua y encharcamiento del suelo, por lo que su crecimiento y desarrollo requieren condiciones adecuadas (Melgarejo, 2012).

Es fundamental destacar la relación entre la Fotomorfogénesis y la ecofisiología, ya que la ecofisiología estudia como las plantas interactúan con su entorno y como responden a factores ambientales, incluida la luz. La capacidad de las plantas para percibir y responder a la luz influye en su germinación, crecimiento vegetativo y floración, lo que a su vez afecta su adaptación a diferentes ecosistemas. Por ejemplo, el fotoperiodismo, una forma de fotomorfogénesis, permite a las plantas determinar el momento adecuado para florecer según la duración del día, optimizando así su reproducción en función de las condiciones ambientales (Dai et al., 2024).

La aplicación de escalas fenológicas, como la escala BBCH, ha sido fundamental para el estudio del desarrollo de las plantas y se ha convertido en una herramienta esencial para la aplicación de la agricultura en diferentes cultivos (Rocha-Arroyo et al., 2011). Así mismo, la utilización de los modelos en la agricultura se ha consolidado como una herramienta esencial para probar hipótesis, sintetizar conocimiento, y comprender sistemas complejos. Según Salazar (2006), estos modelos desempeñan un papel crucial como soporte en la toma de decisiones en diferentes contextos, sistemas agrícolas, control climático de invernaderos, así como en la predicción y planeación de producción.

La aplicación de los modelos fenológicos en la agricultura está dirigida a conocer y predecir el desarrollo de las plantas y estimación de épocas de cosecha de algunos cultivos como el ejemplo dado por López et al., (2010), sobre un modelo de aparición de nudos hace implícito

la aparición de hojas. El cultivo de crecimiento determinado luego de un cierto número de nudos produce estructuras reproductivas, que determinan la cosecha. De este modo si se conoce la temperatura y su relación, con la tasa de aparición de nudos, es posible estimar las épocas de cosecha a partir de supuestos de temperatura promedio diaria (López et al., 2010). La combinación de temperatura y tiempo, expresada en grados-día, se ha implementado con éxito en la predicción de las etapas fenológicas importantes de los diferentes cultivos (Steinmaus et al., 2000).

La acumulación de temperatura media diaria por encima de una temperatura base (T_b), es uno de los métodos más utilizados para predecir el desarrollo fenológico de la planta. Este enfoque se conoce como tiempo térmico, grados día de crecimiento o desarrollo (GDC) Unidades de calor o tiempo fisiológico. El tiempo térmico se define como la cantidad de grados día requeridos para completar un proceso de desarrollo o fase fenológica

La temperatura base es la temperatura mínima que requiere la planta para su crecimiento, si existe una temperatura menor a esta existe la posibilidad que la planta no crezca. Se supone que cada fase de desarrollo puede tener una temperatura base diferente y la temperatura base debe ser similar para una determinada etapa de desarrollo del cultivo para cualquier período de crecimiento (Salazar-Gutiérrez et al., 2013).

El cambio climático se ha convertido en un factor determinante en los sistemas productivos, ya que el comportamiento de variables como temperatura, radiación solar, humedad relativa, dióxido de carbono tiene un impacto significativo en la fisiología vegetal en etapas previas a la cosecha afectando rendimientos y calidad (Muñoz-Ordoñez et al., 2023). En el caso de la gulupa, esta fruta ocupa un lugar destacado en el mercado internacional debido a sus propiedades organolépticas y físicas, constituyendo una de las principales líneas de exportación de frutas en

Colombia, ya que se comercializa como fruta fresca y procesada en todos los continentes (Rendón et al., 2013). La gulupa ocupa el quinto lugar de valor *Free On Board* (FOB USD) de compras realizadas a Colombia con una participación del 3,99% en el sector de hortalizas, frutas, cereales y semillas, después de frutas como el banano, aguacate Hass, limón Taití y los plátanos (Legiscomex, 2023).

Esta fruta ha mostrado una tasa de crecimiento positiva en el mercado de exportación de Colombia desde 1995, los principales clientes son Alemania, Holanda Reino Unido y Bélgica (Jiménez et al., 2011).

Planteamiento del problema

El cultivo de la gulupa (*Passiflora edulis* f. *edulis* Sims) en su mayoría se siembra en condiciones de campo, en los últimos años se han incrementado los problemas fitosanitarios como la marchitez vascular y el agente causal es el *Fusarium oxysporum* y bacteriosis o mancha de aceite (*Xanthomonas axonopodis*), lo cual ha limitado la producción en climas fríos. Los productores para evitar la presencia de enfermedades han implementado las semicubiertas de plástico con malla antitrips para evitar la infestación de plagas como las moscas *Dasiops* spp, *Drosophila* y los trips. La tendencia en la producción es el uso de condiciones climáticas más controladas o invernaderos con el uso más eficiente en la nutrición vegetal con el uso de fertirriego y baja aplicación de plaguicidas.

Con frecuencia, los agricultores han utilizado el tiempo calendario para predecir los estados de crecimientos de los cultivos y el desarrollo de estos (Parra-Coronado et al., 2015). Sin embargo, estos conocimientos son escasos, lo cual limita la capacidad de los agricultores y profesionales del sector a tomar decisiones fundamentales en relación con el manejo del cultivo (Baker et al., 2001).

En gulupa se han realizado descripciones fenológicas en estado reproductivo en condiciones de campo, sin embargo, no hay reportes de la descripción fenológica relacionadas con la escala BBCH (Flórez, 2012). Por esta razón en la presente investigación, se pretendió identificar los estadios de crecimiento vegetativo y reproductivo en plantas juveniles de gulupa, bajo condiciones invernadero. De igual manera, no se encuentra información específica sobre los requerimientos de acumulación de grados día para los diferentes estados fenológicos de la gulupa en condiciones bajo invernadero en la Sabana de Bogotá.

Predecir herramientas que apoyen la toma de decisiones de los productores para la optimización de la producción de gulupa es un tema importante, especialmente bajo condiciones

controladas y conocer los cambios fenológicos en la gulupa ya que ayudara a guiar el manejo del cultivo y predecir los tiempos de cosecha.

Para la determinación de los grados días, la temperatura base (T_b) es un parámetro clave para estimar el tiempo térmico (Grados día de crecimiento, GDC) requerido para el desarrollo y maduración del cultivo (Parra-Coronado et al., 2015). Por ello la importancia de estimar el tiempo térmico (GDC) y la estimación de T_b para establecer un modelo fenológico y mejorar el uso del tiempo calendario en la predicción del desarrollo los cuales describen el efecto de la temperatura sobre el desarrollo fenológico (Elnesr & Alazba, 2016).

Con ello el modelo permite establecer la duración de diferentes estados fisiológicos, con relación a la acumulación de grados día, se podrá optimizar las prácticas de manejo como programación de riego, fertilización y demás aspectos relacionados, lo que permitirá maximizar la productividad y rentabilidad del cultivo en la sabana de Bogotá, promoviendo así el desarrollo sostenible del sector agrícola en la región de tal forma que se pueda explorar su máximo potencial (Salazar, 2006). Así mismo es imprescindible buscar alternativas que contribuyan a predecir la T_b para llegar a cada uno de los estados fenológicos del cultivo en especial su producción, es importante tener en cuenta las predicciones de la fecha de cosecha basadas en la temperatura determinante en el desarrollo de los cultivos (Baker et al., 2001).

Pregunta de investigación: ¿Cuál es la temperatura Base y Tiempo térmico para el crecimiento y desarrollo del cultivo de la gulupa en condiciones de invernadero en la Sabana de Bogotá?

Justificación

Para contrarrestar los efectos negativos que causa el desconocimiento de las predicciones precisas de la fenología del cultivo de gulupa bajo condiciones de invernadero para la evaluación integral de los cultivos, es necesario determinar un modelo fenológico que permita determinar el tiempo térmico con un enfoque de GDC que preside la evolución fenológica como floración y fructificación con respecto a la acumulación térmica por encima de una temperatura base (Yun et al., 2017) y predecir las fechas de floración y fructificación).

El desarrollo de un modelo fenológico para la gulupa tendrá un impacto significativo en el programa de agronomía, puesto que permitirá a los agricultores e investigadores comprender mejor las etapas de desarrollo de la planta y su relación con el ambiente como humedad, temperatura, radiación solar. Además, el uso de modelos fenológicos brinda herramientas a los agricultores para que tomen decisiones apropiadas en términos de manejos fitosanitarios, fertilización y manejo de podas. Esto no solo mejora el rendimiento y facilita la cosecha, sino que también tiene un impacto significativo en términos de comercialización, ya que facilita predecir el tiempo en el que el cultivo llega a la cosecha y planificar la oferta en función de la demanda del mercado. Durante los periodos de alta demanda, a través de los modelos, los agricultores pueden asegurar que la cosecha esté lista en el momento justo, aprovechando los precios más altos y aumento en sus ingresos (Fu et al., 2012).

Se contribuye prestigio y reconocimiento a la Universidad Nacional Abierta y a distancia (UNAD), al abordar e incentivar nuevas investigaciones y tecnologías como observaciones climáticas disponible en el invernadero, pues el modelo fenológico va a requerir registros de temperaturas en un tiempo por hora que aporten nuevos conocimientos a los estudiantes y al sector agrícola con el fin de mejorar la sostenibilidad de sistemas de producción de los cultivos.

El proyecto contribuirá a la línea de investigación en desarrollo rural en la obtención de modelos para el crecimiento y desarrollo que permita a los profesionales del agro a tomar decisiones técnicas para el manejo del cultivo.

Marco Teórico

Familia pasifloracea

La familia de las pasifloras está constituida aproximadamente por 600 especies, las cuales se encuentran distribuidas entre zonas tropicales y subtropicales. El término Pasifloras fue otorgado por misioneros españoles debido a la morfología de las flores, por su parecido con la imagen de la pasión de Cristo (Medina y Galindo, 2019), el género Pasiflora consta de más de 600 especies y es el más grande de la familia passifloracea (Shahbani et al., 2020).

De acuerdo con Medina y Galindo (2019) la gulupa es una fruta originaria del continente americano, específicamente de Brasil el siglo XIX de donde se distribuyó hacia otros países del continente, y de allí hasta Asia, el Caribe, África, India y Australia. De igual forma, aunque las especies de pasiflora se distribuyen por todo el planeta la región pantropical de las Américas sigue siendo la de mayor abundancia y diversidad, siendo Brasil y Colombia son particularmente ricas con una estimación de 150 y 170 especies, respectivamente (Ángel-Coca et al., 2011)

Gulupa (*Passiflora edulis f. edulis* Sims)

La gulupa, También conocida como fruta de la pasión púrpura (*purple passion fruit*), cuyo nombre científico es *Passiflora edulis f. edulis* Sims, es parte de la familia passifloracea del género passiflora, tiene una forma esférica con una cáscara lisa y firme en el exterior con colores verdes claros o púrpuras oscuro así mismo el interior es blanco y de textura medulosa o porosa negras ovaladas recubiertas (De-Armas-Acosta et al., 2022). Son lianas enredaderas que trepan por medio de zarcillos, sus hojas son alternas y con estipulas (Figura 1). Las flores tienen un androginóforo prominente, con menos frecuencia solamente ginóforo, y en pocas especies el ovario es sésil. Poseen una corona extraestaminal bien desarrollada, que facilita la atracción de polinizadores,

aunque en ciertas especies se reduce a una fila de pequeños tubérculos o dientecillos. Los frutos son bayas u ocasionalmente cápsulas (Hernández & Bernal, 2000).

Figura 1

Crecimiento vegetativo y reproductivo de la gulupa.



Fuente. *Autoría Propia*

La gulupa es originaria de Sudamérica, pero actualmente se encuentra en todos los continentes (Pereira et al., 2023). Su centro principal de diversificación se localiza en los Andes colombianos. Esta fruta se caracteriza por su sabor intenso y agridulce, siendo altamente demandada en los mercados internacionales debido a su versatilidad. La gulupa es utilizada en diferentes industrias incluyendo la alta cocina, la perfumería, cosmetología y fines medicinales

(De-Armas-Acosta et al., 2022). Tiene un alto valor alimenticio por sus características organolépticas y nutricionales, como su alto contenido en ácidos orgánicos, provitamina A, niacina, riboflavina y ácido ascórbico(Cárdenas-Pira et al., 2021).

A pesar de la información previamente expuesta, es importante resaltar que el cultivo de gulupa presenta un gran potencial para su industrialización y aprovechamiento. Este potencial ha generado un creciente interés por parte de investigadores de diferentes lugares del mundo, quienes han dirigido su atención hacia esta planta, debido a sus propiedades nutricionales, organolépticas, fitoterapéuticas, así como sus usos tradicionales y etnobotánicos, no solo del fruto, sino además de subproductos de la cascara, semillas, hojas, flores y tallos, ya que a partir de estos se obtienen fuentes de moléculas naturales de relevancia para las industrias farmacéuticas, cosméticas y alimentarias (Bermeo, 2021).

Características Morfológicas

La gulupa es una planta de crecimiento indeterminado, lo que significa que su desarrollo vegetativo y reproductivo se lleva a cabo simultáneamente, presentando estados de desarrollo (Figura 1). De acuerdo con Miranda et al. (2009), indica que es una planta perenne, semileñosa y trepadora de gran vigor vegetativo.

Flores

Las flores son solitarias, entomófilas lo que significa que dependen de la polinización realizada por insectos para su reproducción así mismo de caracterizan por ser actinomorfas, hermafroditas (ya que poseen tanto órganos masculinos como femeninos en la misma flor) (Ontivero et al., 2022). Con pecíolos cilíndricos, verdes, glabros acompañados de tres brácteas soldadas en la base (Figura 2a). Las brácteas son persistentes, con bordes aserrulados, ovaladas con ápices acuminados de 2 a 4 cm de largo y 1 a 3 cm de ancho (Miranda et al., 2009).

Tallo

El tallo es verde, trepador mediante zarcillos axilares, sin pubescencia. Estriado, herbáceo y leñoso hacia la base el pecíolo de las hojas es glauco (Figura 2b), con canales de 2 a 7 cm de largo en la parte superior (Miranda et al., 2009).

Hojas

Las hojas son glabras, alternas y tienen una forma trilobulada, lustrosas al haz, con dos pares de glándulas sésiles de forma circular, con venación actinódroma lo que significa que las venas principales parten desde la base y se extienden hacia los bordes de manera curvada, con estomas anomocitos, con ocho nervaduras secundarias, con un limbo entre 12 y 19 cm de largo y 9 y 16 cm de ancho (Figura 2c), (Miranda et al., 2009).

Raíz

El sistema radicular de la gulupa se caracteriza por ser fasciculado, fibroso y ramificado. Asimismo, presenta raíces secundarias con una profundidad limitada de 40 a 60 cm, las cuales se derivan de la raíz primaria de poco crecimiento (Ocampo & Wyckhuys, 2012).

Zarcillos

Son redondos en forma de espiral, presentan una longitud entre 30 y 40 cm y se originan en las axilas de las hijas que están junto a las flores, se enredan en cualquier superficie y son los responsables de que la planta se pueda trepar (Ocampo & Wyckhuys, 2012).

El cáliz está compuesto por cinco sépalos apediculados que terminan en un apéndice filiforme. Estos sépalos se alternan con los pétalos que son algo menores, pero de forma semejante, oblonga y ovada, presentando un color blanco en su cara superior: además de la corona es

estampera de origen axial, con bandas transversales de color púrpura en la parte basal y blanca en la parte distal mientras que en su parte exterior se encuentra encrespada (Miranda et al., 2009).

El androginóforo que es la parte que sostiene los órganos reproductivos es glabro y verde con puntos de color púrpura. El androceo, que es el conjunto de estambres masculinos, está formado por cinco estambres alternos, insertos en el ovario, con anteras de color amarillento y situadas en la parte dorsal de los estambres (Miranda et al., 2009).

Por otro lado, en gineceo consta de tres estilos capitados y un ovario elipsoide con tres carpelos concrecentes. El ovario es uniloculado, lo que significa que tiene una sola cavidad, y contiene numerosos rudimentos seminales, bitegmentados de placentación parietal, colocados sobre un disco anular, verde, glabro, estilos manchados de púrpura y estigmas bicapitados de color verde (Miranda et al., 2009).

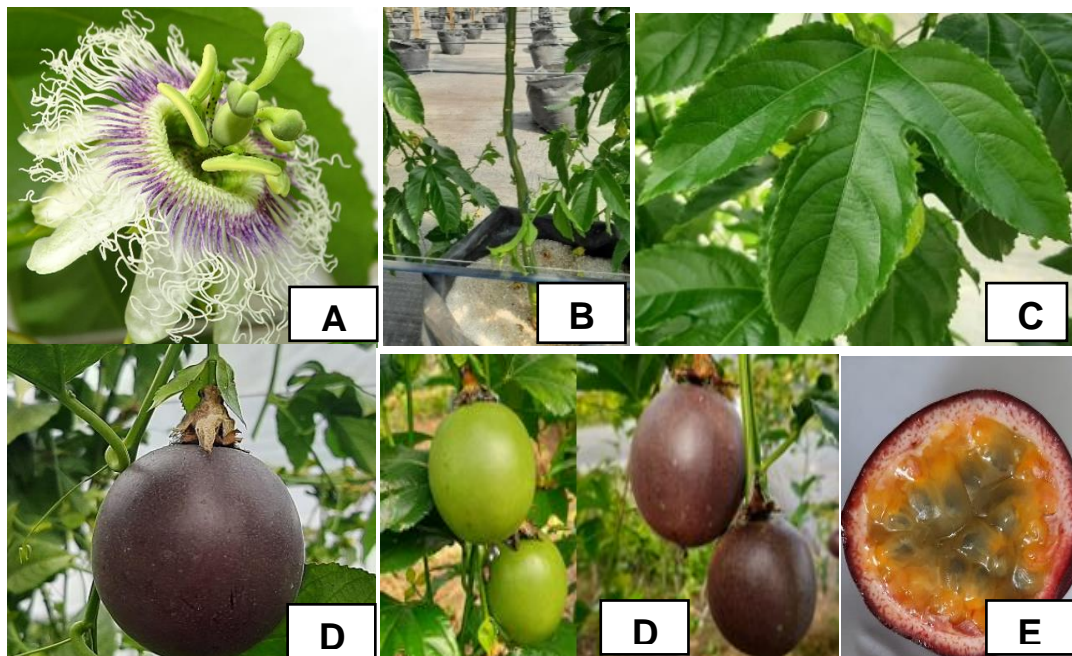
Frutos

El fruto de esta planta es una baya, redondo u ovalado con el pericarpio poco grueso y con arilo pulposo de color anaranjado. Tiene un diámetro que varía entre 4 a 8 cm de diámetro y un peso que oscila entre 50 y 60 g (Figura 2d). Su sabor ligeramente ácido ofreciendo excelentes cualidades organolépticas tanto en sabor como en aroma. El fruto en estado inmaduro tiene un color verde pálido que se intensifica a un púrpura oscuro cuando este maduro (Figura 2e) (Rodríguez et al., 2020).

El aroma de la pulpa y del pericarpio glauco se vuelve muy agradable. El fruto tiene un sabor refrescante y agridulce, recordando una mezcla de frambuesa, durazno y fresa, con un aroma intenso y exótico (Figura 2f), al llegar a la madurez fisiológica, el arilo adquiere su consistencia definitiva y las brácteas que lo acompañan se vuelven amarillenta (Miranda et al., 2009).

Figura 2

Principales órganos de la planta de *Passiflora edulis* Sims f. *edulis*. Flor (a), tallo (b), Hoja (c), y fruto(d), fruto en diferentes estados de madurez de la gulupa (e), Semillas(f).



Fuente. Autoria Propia

Plagas y enfermedades de la gulupa

Según Medina y Galindo (2019); Arévalo et al. (2011), las principales plagas y enfermedades que afectan los cultivos de gulupa se relacionan a continuación: trips (*Frankliniella* sp.) es una de las plagas más limitantes del cultivo de gulupa, se alimentan de estructuras florales y frutos, chisa (*Ancognata* sp.), nematodos (*Meloidogyne* spp., *Helicotylenchus* sp., *Pratylenchus* sp.), roña (*Cladosporium cladosporioides*, *C. lycoperdinum*), marchitez vascular o fusariosis (*Fusarium oxysporum*), mancha de aceite o bacteriosis (*Xanthomonas axonopodis*), nosca de las frutas (*Dasiops* spp.), babosas (*Milax gagates*), araña roja (*Tetranychus* sp.).

En los últimos años se han realizado importantes avances en el campo de la investigación fitopatológica. Se han identificado y profundizado los agentes causales de las enfermedades más relevantes que afectan al cultivo de gulupa en la región de Cundinamarca. Estas enfermedades incluyen la roña causada por el complejo *Cladosporium cladosporioides*, la fusariosis causada por *Fusarium oxysporum*, la mancha de aceite causada por *Xanthomonas axonopodis* y la virosis causada por un potyvirus.

Entre los factores que limitan la productividad, la alta incidencia de enfermedades es crucial debido a que en general no existen variedades de gulupa con resistencia satisfactoria. Entre las enfermedades se pueden destacar las causadas por el hongo *Fusarium oxysporum* f. sp. *passiflorae* y *Fusarium solani*. El primero provoca fusariosis o marchitez por *Fusarium*, caracterizada por la necrosis del sistema vascular provocando marchitez de los brotes, colapso y muerte de las plantas en cualquier estado de desarrollo, mientras que el segundo provoca la pudrición del tallo y del sistema radicular (Santos et al., 2016).

Algo importante por mencionar es que no existe ningún informe sobre la enfermedad de las flores del maracuyá causada por *Fusarium* spp. Por otro lado, la pudrición de las flores por *Rhizopus* es causada por *Rhizopus stolonifer*. Los síntomas de la pudrición de la flor por *Rhizopus* incluyen manchas de agua oscura empapadas en el interior del capullo de la flor, especialmente en los sépalos y pétalos. Con el tiempo, surgen manchas en todo el botón floral y se forman estructuras micelianas y esporangios de color gris oscuro como resultado, el botón floral se vuelve pútrido y hace abscisiones fácilmente (Liu et al., 2021).

Comercialización

Su fruto tiene alto interés en el sector productivo colombiano producto del incremento de sus exportaciones al mercado europeo en la última década (Muñoz-Ordoñez et al., 2023), demanda

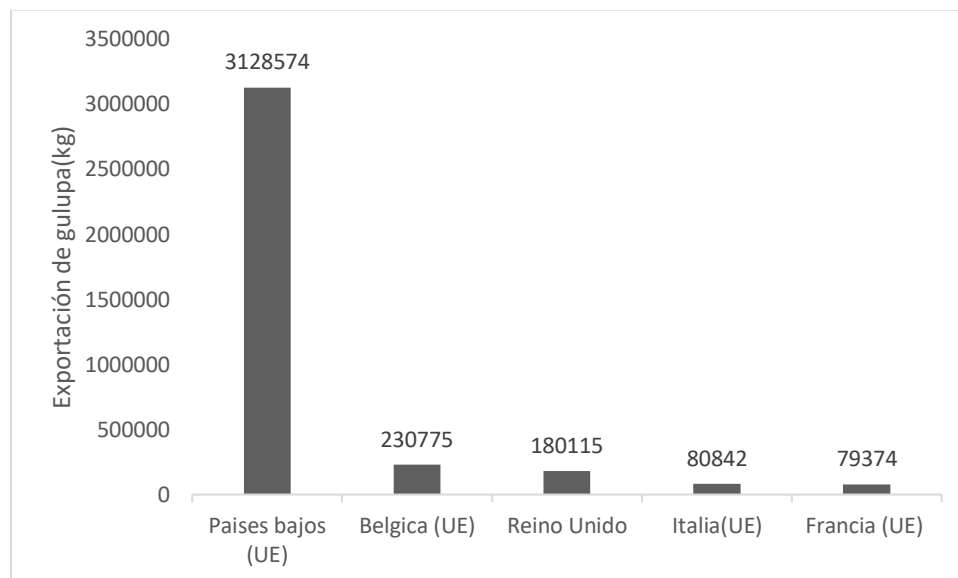
de los consumidores por la fruta de gulupa se debe a sus características organolépticas y nutricionales, además de los posibles beneficios medicinales (Fonseca et al., 2022). Cada nutriente mineral esencial cumple una función específica en el metabolismo de las plantas, y su carencia puede provocar alteraciones metabólicas que pueden amenazar la supervivencia de las plantas (Cárdenas-Pira et al., 2021).

La gulupa se encuentra entre los cultivos frutales de alta importancia en Colombia debido a que es muy apetecida en el mercado internacional por sus propiedades organolépticas y físicas, constituyendo una de las principales líneas de exportación de frutas en Colombia ubicándose en el sexto lugar de valor *Free On Board* (FOB USD) de compras realizadas a Colombia con un 3,99% de participación en el sector de hortalizas, frutas, cereales y semillas después de frutas como el banano, variedad Hass, limón Tahití, plátanos y uchucas. Los principales países de exportaciones y kilos netos de gulupa (Figura 3), se encuentra en primer lugar países bajos con 3.128.574 kg, Bélgica 230.775 kg, Reino Unido 180.115 kg, Italia 80.842 kg, Francia 79.374 kg netos exportados, teniendo en cuenta lo anterior el 88.57% de las exportaciones de gulupas colombianas tuvo como destino países bajos (LegisComex, 2023).

Realizando un comparativo de las exportaciones realizadas en el primer semestre del 2021 y el primer semestre del 2022 se encontró que de febrero a julio se exportaron USD (FOB) 25.793.714,97 valor equivalente a 5.300 t de fruta y para este año se presentó un aumento de 2.900 t, recibiendo así USD (FOB) 30.133.319,35 de 8.200 t exportadas reflejando así un aumento en los requerimientos de los mercados internacionales mientras que en los primeros cuatro meses del 2023 decrecieron con un -18,24% pues se pasó de exportar USD 4,15 millones en el mes de enero y un total de USD 3,39 millones en abril (LegisComex, 2023).

Figura 3

Principales países exportaciones de gulupa (mayo 2023 - octubre 2023)

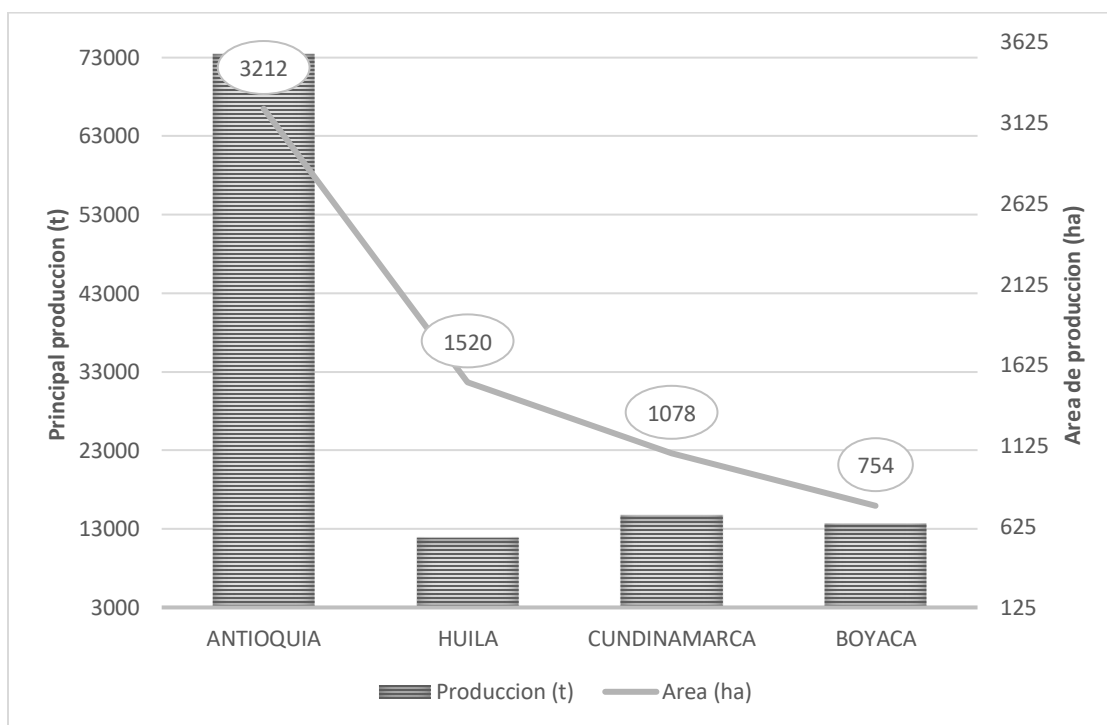


Nota. datos tomados de Legiscomex (2023). *Fuente.* Autoría

En Colombia según lo reportado por Agronet (2023), para el 2022 se registró un área sembrada de 2.059 ha con una producción promedio de 32.353 t de fruta siendo los departamentos de Antioquia, Huila, Cundinamarca, Tolima y Boyacá (Figura 4), los principales productores, presentando a su vez un crecimiento tanto en las áreas como en producción. Así mismo para este mismo año en el departamento de Cundinamarca se cultiva gulupa en los siguientes municipios, pasca tiene un área sembrada de 75 ha y una producción de 750 t, así mismo Junín representa 50 ha de área sembrada y una producción de 640 t, Gama tiene un área sembrada de 21 ha y una producción de 250 t, Silvania 30 ha y una producción de 540 t, Macheta 48,20 ha y una producción de 530,20 t, Granada 28 ha y una producción de 345 t, Gacheta 19 ha y una producción de 360 t.

Figura 4

Área y producción de gulupa en Colombia 2017- 2022



Nota. Autoría Propia, Datos tomados de Agronet (2022).

Para la exportación de gulupa se requiere cumplir con parámetros de calidad fundamentales para evitar problemas con los clientes. Es crucial que el productor se adhiera a las normas vigente en el país destino, incluyendo el cumplimiento de los Límites Máximos de Residualidad (LMR), los cuales varían entre países (De-Armas-Acosta et al., 2022). Para gulupa no se ha establecido el LMR específico, para exportación se aplica un LMR general (un nivel por defecto de 0,01 mg/kg) (Unión Europea, 2005).

En pasifloras de Colombia los compuestos activos que han sobrepasado con mayor frecuencia los LMR son los ditocarbamatos, piretroides y organoclorados como el clorotalonil (Bastidas et al., 2013).

Además, se debe cumplir con requisitos como encontrarse registrado ante el ICA, obtener registro del predio para la producción de frutas, solicitar el certificado fitosanitario, y el certificado de inspección sanitaria (CIS) (Osorio Bermudez, 2019).

El cultivo de gulupa en Colombia ha experimentado un notable crecimiento en los últimos años, con la Unión Europea como su principal mercado. No obstante, la presencia elevada de residuos químicos en las frutas constituye un obstáculo significativo para su exportación, dado que representa un riesgo para la salud de los consumidores, los agricultores y el medio ambiente (Osorio Bermudez, 2019).

A nivel nacional, aunque no existan límites máximos de residuos (LMR) exigidos y el producto pueda ser comercializado sin restricciones, la competitividad en términos de precios no siempre es óptima. Desde una perspectiva de rentabilidad, se observa que algunos países ofrecen precios más favorables que permiten a los productores cubrir tanto la inversión inicial como los costos asociados al mantenimiento del cultivo. Entre los principales destinos de exportación de la gulupa, destacan, en orden descendente de importancia: Países Bajos, Alemania, Bélgica, Reino Unido y Canadá, entre otros (Legiscomex, 2023).

Las pérdidas de cosecha en la agricultura generalmente exceden el 40% de los costos totales de producción debido a una gestión deficiente durante la cosecha y la etapa posterior a la cosecha, lo que resulta en la falta de prácticas de fertilización que garanticen rendimientos óptimos y frutos de alta calidad (Cárdenas-Pira et al., 2021).

Para mantener un alto nivel de producción del cultivo, es necesario suministrar nutrientes minerales en cantidades adecuadas, y así asegurar la expresión del potencial genético del cultivo, en ausencia de esto la deficiencia de nutrientes minerales pueden dar lugar a desordenes metabólicos que interrumpen el desarrollo de los cultivos, disminuyen los rendimientos y afectan

parámetros de calidad de los frutos, como la apariencia, tamaño, color y textura de la piel. En *Passiflora* sp., la deficiencia de N reduce el rendimiento en un 44% y disminuye la acidez titulable total en los frutos, en comparación con plantas que reciben una dosis mayor de N (350 g planta⁻¹ año⁻¹) (Cárdenas-Pira et al., 2021).

Para obtener productos frutales tipo exportación se recomienda sembrar la gulupa a una altitud de 1.800 a 2.400 m.s.n.m, temperaturas entre los 16 y 20°C y requerimiento hídrico al año bien distribuidos entre los 900 y 1.200 mm, humedad relativa 70%, el suelo debe tener una textura franco-arenosa a franco arcillosa con pendientes moderadas con rango PH 6,5 y 7,5. Este cultivo es muy sensible al exceso de agua y encharcamiento (De-Armas-Acosta et al., 2022).

Ecofisiología de la gulupa

La ecofisiología vegetal es el estudio de las adaptaciones fisiológicas de las plantas al medio ambiente, tiene en cuenta las condiciones climáticas como temperatura, viento, radiación, precipitación y humedad relativa, así como las condiciones de suelo y la presencia de organismos cercanos que puedan generar relaciones de competencia y patogenicidad (Fischer & Miranda, 2021).

La ecofisiología estudia las variables fisiológicas de una planta (tasa de fotosíntesis y potencial hídrico) para conocer su potencialidad de crecimiento en determinados ambientes o su habilidad como competidora de otro individuo (Fernández et al., 2008).

La ecofisiología de las plantas se enfoca en considerar diversos factores climáticos como la temperatura, viento, radiación, precipitación y humedad relativa, así como también las condiciones del suelo y la presencia de otros organismos cercanos que puedan afectar su desarrollo. Dado que las plantas no pueden moverse, deben adaptarse a los cambios climáticos diarios y estacionales para lograr completar su ciclo de vida de manera exitosa.

El impacto de la temperatura en los rasgos fisiológicos juega un papel importante en el desarrollo general de la planta del cultivo, en general, las plantas muestran respuestas fisiológicas y ecofisiológicas más amplias en condiciones ambientales subóptimas (Pérez, 2013).

El estado hídrico de los vegetales es una variable ecofisiológica de gran importancia que esta influenciada por la temperatura y la humedad relativa. Otro factor importante es la radiación fotosintéticamente activa (PAR) que es la radiación que se encuentra entre los 400 y 700 nm e influye directamente en la fotosíntesis, ya que es la porción de luz que la planta utiliza como fuente de energía, Las condiciones óptimas de crecimiento de la gulupa se desarrolla en altitudes desde los 1.700 a 2.200 msnm (Pérez, 2013).

Fischer et al., (2009) indica que para las condiciones de Colombia la temperatura apropiada para establecer el cultivo de gulupa está entre 15 y 20°C la humedad relativa entre 80 y 94%, precipitación entre 1.300 y 1.800 mm anuales bien distribuidos, radiación solar entre 3.285 y 4.745 horas anuales (entre 9 a 13 horas/día, prefiere suelos franco arcilloso, buen drenaje, profundidad efectiva mayor a 60 cm, pH entre 6 a 7 y finalmente pendientes no mayores a 45°.

Las pasifloras tienen altos requerimientos de radiación solar, necesitando al menos 7 h de luz solar al día, lo que favorece especialmente la floración y la calidad de los frutos, los días nublados reducen el crecimiento, la inducción de los brotes y la apertura de las flores. La temperatura y la radiación fotosintéticamente activa son los factores climáticos que más influyen en el desarrollo de las plantas sobre el desarrollo de la planta y una humedad relativa entre el 60 y el 80% favorece la polinización y la fecundación (Fischer & Miranda, 2021).

Fotomorfogénesis

La fotomorfogénesis es un proceso por el cual las plantas crecen y se desarrollan en respuesta a señales luminosas. Este proceso está mediado por una sofisticada red de fotorreceptores, entre los cuales los fitocromos desempeñan un papel fundamental. Las respuestas fotomorfogénicas mediadas por fitocromos se caracterizan por la compleja variedad de relaciones entre la entrada de luz y los resultados fisiológicos, que incluyen la germinación, la desmetilación, la evitación de la sombra, el ritmo circadiano y la floración. Estudios recientes han dado como resultado varios avances importantes y han revelado las principales consecuencias de la actividad de los fitocromos en términos de control de la localización subcelular de proteínas, la transcripción, la estabilidad de las proteínas y la fosforilación de las proteínas (Dai et al., 2024)

La luz es el factor ambiental más importante para las plantas porque proporciona energía para la fotosíntesis y actúa como una señal moduladora ambiental para muchos aspectos del crecimiento y la reproducción de las plantas. Sin embargo, la calidad de la luz afecta fuertemente la morfogénesis de las plantas. Las plantas detectan señales de luz a través de diferentes fotorreceptores y monitoreando los productos fotosintéticos. Por lo tanto, la luz funciona tanto como un indicador ambiental como una fuente de energía. Por ejemplo, los días cortos y las temperaturas reducidas posteriormente implican el inicio del invierno, y el espectro de la luz solar se enriquece en la región azul al amanecer y al anochecer en comparación con el mediodía. Aunque las clorofilas a y b absorben principalmente luz en las regiones azul y roja del espectro, y este rango del espectro de luz es el más importante para los cultivos (Wang et al., 2022)

Fenología

El análisis del desarrollo o fenología es una aproximación cualitativa que implica seguimiento de la aparición transformación o desaparición de los diferentes órganos de la planta durante todo su ciclo de vida, por otro lado, el análisis de crecimiento es una aproximación cuantitativa que usa diversos datos para describir e interpretar como crecen las plantas en ambientes naturales o contralados (altura de tallo, aparición de nudos, hojas) (Vanegas, 2021).

A pesar de su importancia la fenología es un aspecto que a menudo se pasa por alto en la evaluación de los rasgos de las plantas, Sin embargo, en las últimas décadas, los ecólogos han mostrado un interés creciente en los patrones fenológicos debido a las preocupaciones sobre cómo el cambio climático puede afectar el momento de los ciclos de vida de las plantas (Palacio et al., 2021).

La fenología se describe comúnmente como los cambios que se producen en las plantas desde su emergencia hasta la madurez, la brotación, floración (Figura 5), desarrollo del fruto, y cómo estos cambios son influenciados por las condiciones ambientales locales (Parra-Coronado et al., 2015). En el caso específico de la gulupa, Hincapié & Mejía (2019) mencionan la falta de descripciones detalladas de los estados reproductivos de esta especie.

Figura 5

Estados de crecimiento de botones florales de gulupa.



Fuente. Autoría Propia

Las propiedades fenológicas de los cultivos de gulupa determinan su potencial de rendimiento y predicción de los acontecimientos de las diferentes etapas de desarrollo de la planta (Parent et al., 2010), desde la germinación hasta la cosecha, estas se dividen en 4 fases principales: Germinación, crecimiento vegetativo, floración y fructificación. Estos cambios están influenciados por factores ambientales, como lo es temperatura, luz humedad y así mismos factores genéticos de la misma planta (Osborne et al., 2000).

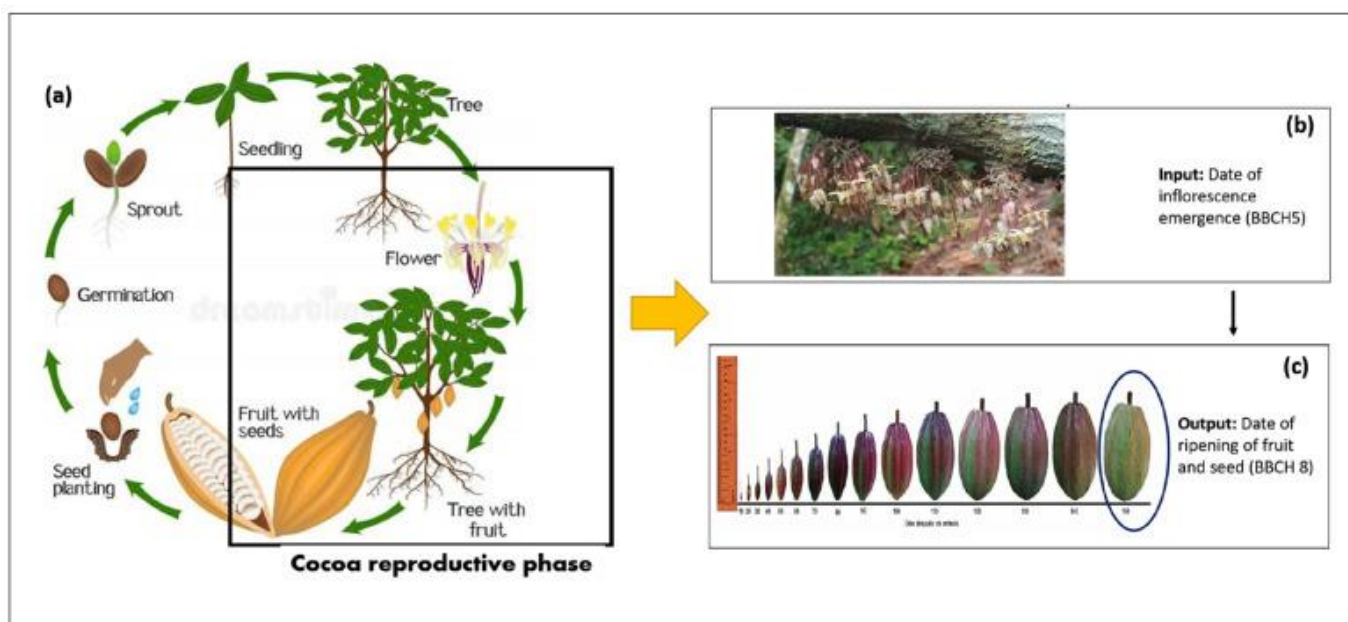
Según Mayorga et al., (2020) la fenología se define como el estudio de los momentos en que ocurren fenómenos cíclicos en la historia vital de las plantas considerando la relación con las

condiciones climáticas; Las observaciones fenológicas desempeñan un papel crucial en la agricultura ya que permiten evaluar el buen desarrollo de las plantas y tomar decisiones de gestión agronómica relacionadas con la fecha de programación de tareas del cultivo.

Por ejemplo, el estado fenológico de la planta de cacao se divide en dos fases principales: Vegetativa y reproductiva. La fase vegetativa se centra desde la siembra y germinación (Figura 6 a) y la fase reproductiva está representada por la floración (Figura 6 b) y fructificación (Figura 6 c) (Romero et al., 2022.)

Figura 6

Fenología floral del cacao.



Nota. La figura muestra la fenología del cacao en Colombia para modelamiento de cultivos estado vegetativo (a) floración (b) y desarrollo del fruto del cacao (c). *Fuente.* (Romero et al., 2022).

Las observaciones fenológicas son fundamentales en la agricultura para evaluar el buen desarrollo de las plantas y tomar decisiones de gestión agronómica relacionadas con la fecha de realización de las tareas del cultivo. También se utilizan en estudios agrometeorológicos para analizar las relaciones entre el desarrollo del cultivo y el clima (Mayorga et al., 2020).

La temperatura ambiente afecta el crecimiento, el desarrollo y la producción de los cultivos, ya que existen requerimientos específicos de temperatura para completar cada etapa del ciclo de vida (Criollo-Escobar et al., 2020).

Predecir cuándo una especie experimentará una transición fenológica en un lugar particular por ejemplo la transición de botones florales cerrados a flores abiertas tiene un gran valor para una amplia gama de aplicaciones de gestión de recursos naturales a corto plazo. Momento óptimo para las actividades de gestión, como la detección o el tratamiento de plagas, patógenos (Crimmins et al., 2017).

Un método muy utilizado para predecir el crecimiento y el desarrollo de las plantas son los días-grado de crecimiento (GDD), que expresan la cantidad de energía que necesita una especie para completar con éxito una determinada fenológica o ciclo de cultivo y consisten en la diferencia acumulada entre la temperatura ambiente media y la temperatura base, por debajo de la cual la planta no puede desarrollarse. Por esta razón, la temperatura base de cada estado fenológico de una especie es una herramienta que permite un mejor manejo y control de un cultivo (Nunes et al., 2016). Así mismo, los factores físicos (luz, fotoperiodo, temperatura, precipitaciones), edáficos y bióticos afectan continuamente a la fisiología de las plantas y son determinantes del crecimiento de las plantas

Si bien el desarrollo de una planta se refiere a la secuencia ordenada de cambios en su forma y fenología de la planta que ocurre en el tiempo, resulta útil considerar las tasas de desarrollo

como funciones influenciadas por factores ambientales, por ejemplo, el número de días transcurridos de una etapa específica (Porter & Delecolle, 1988).

Concluimos que la temperatura es el factor más importante que rige las diferencias en las tasas de desarrollo entre sitios y fechas de siembra, principalmente para etapas posteriores de desarrollo.

Las plantas dan fruto entre los 7 y 8 meses en condiciones de campo después de su siembra, desde cuajado de fruto se tarda en madurar aproximadamente 90 días, en todo el año la planta tiene producción, pero cada mes varía el rendimiento, para poner un ejemplo Brasil, los picos de producción ocurren en octubre y noviembre, y nuevamente en abril, En Colombia, la principal temporada de recolección es en junio y julio, y también en enero (Carr, 2013).

De acuerdo con Salazar (2006), la velocidad de crecimiento en la gulupa se puede calcular midiendo el tiempo que transcurre entre la aparición de un nudo hasta que aparece el siguiente, mediante el conteo semanal del número de nudos. En este contexto, se considera un nudo como cada una de las desviaciones del tallo principal, incluyendo hojas, tallos y frutos.

Escala BBCH

Así mismo para analizar la fenología es necesario identificar distintos estadios de estructuras reproductivas como vegetativas, usando la escala ampliada de Biologische Bundesantalt, Bundessortenamt y Chemische Industrie (BBCH), surgió como respuesta a la necesidad de crear un vocabulario común que permite unificar diferentes especies vegetales bajo un único código, basado únicamente en características fenológicas. Este código es aplicable tanto a las plantas monocotiledóneas como dicotiledóneas (Rodríguez-castillo & Melgarejo, 2015). Esta herramienta describe tanto el crecimiento vegetativo como el reproductivo (Meier, 2018).

La fenología es una herramienta útil para comprender mejor los ciclos de vida de las plantas y ha sido estudiada en numerosas plantas herbáceas, como arroz, maíz, girasol, frijoles y guisantes, entre otras (Liu et al., 2015).

Las etapas de crecimiento fenológicamente similares en las plantas se pueden describir usando la escala BBCH representa un sistema de codificación unificado para describir etapas de crecimiento fenológico similares en plantas mono y dicotiledóneas, es una herramienta útil para indicar la etapa de crecimiento fenológico de los cultivos en la práctica agrícola, gestión agrícola o los estudios científicos y otros campos (Chu & Chang, 2022). La escala básica BBCH, que utiliza un código de dos dígitos, está diseñada con diez etapas de crecimiento principales distinguibles utilizando números del 0 al 9, cada una subdividida en diez etapas de crecimiento secundarias numeradas del 0 al 9 en orden ascendente (Qian et al., 2023).

La escala BBCH se ha utilizado ampliamente en diferentes especies de cultivos, entre los que se encuentran los cereales, colza, frijol, remolacha, plantas frutales como granada, vid, níspero, guayaba, kiwi, mango, aguacate, uchuva y lichi han sido descritos en detalle según la escala BBCH por tanto la escala apoya a la toma de decisiones (Mendes et al., 2017).

Tabla 1

Estadios principales de crecimiento

Estadio	Descripción
0	Germinación, brotación, desarrollo de la yema
1	Desarrollo de las hojas (brote o tallo principal)
2	Formación de brotes laterales / macollamiento (ahijamiento)
3	Crecimiento longitudinal del tallo o crecimiento en roseta, desarrollo de brotes (retoños)/ encañado (tallo principal)
4	Desarrollo de las partes vegetativas cosechables de la planta o de órganos vegetativos de propagación / embuchamiento
5	Emergencia de la inflorescencia (tallo principal) / espigamiento

6	Floración (tallo principal)
7	Desarrollo del fruto
8	Coloración o maduración de frutos y semillas
9	Senescencia, comienzo de la dormancia

Nota. Datos tomados de Enz & Dachler (1998). La escala extendida BBCH, esquema general.
Fuente. Autor

La escala general (Tabla 1), es la base para todos los cultivos, y a partir de ella se elaboran escalas individuales y se aplica para estas especies que no tienen su propia escala, es importante tener en cuenta que el mismo estadio fenológico de diversas especies van a tener el mismo código.

Modelos fenológicos

Los modelos fenológicos son herramientas utilizadas para analizar los cambios en el calendario y la duración de la temporada de crecimiento de las plantas (Fu et al., 2012). Estos modelos pueden aplicarse para estimar los tiempos de cosecha de ciertos cultivos, lo que sirve de ejemplo útil. Un modelo de aparición de nudos predice indirectamente la aparición de hojas. Cuando una planta alcanza un determinado nivel de crecimiento, produce estructuras reproductivas que determinan el momento de la cosecha. Conociendo la temperatura y su relación con la tasa de nodulación, es posible estimar los tiempos de cosecha utilizando supuestos de temperatura media diaria (López et al., 2010).

Un modelo es una representación (matemática) de un sistema y la modelación se refiere al proceso de desarrollo de dicha representación. Para que un modelo pueda simular de manera efectiva en el mundo real, es imprescindible llevar a cabo el proceso de simulación.

Estas representaciones son herramientas esenciales para validar hipótesis, integrar conocimientos, describir y comprender sistemas complejos, así como para comparar diferentes situaciones. También se utilizan como apoyo a la toma de decisiones en sistemas, control del clima en invernaderos, predicción de la producción y planificación (Salazar, 2006).

Los modelos fenológicos son muy importantes para predecir la fecha de ocurrencia de eventos claves como fechas de aparición de nudos, hojas, floración, cuajado de fruto y cosecha, así como para planificar las labores culturales los riegos, el control de plagas y enfermedades, Podas y momentos críticos del cultivo (Parra-Coronado et al., 2015). Así mismo, este modelo ayuda a los agricultores a optimizar el manejo de sus cultivos, reducir pérdidas e incrementar sus ingresos (Arista-Cortes et al., 2018).

Predecir los momentos críticos en el ciclo de un cultivo únicamente en el tiempo cronológico no es preciso, ya que la duración de las diferentes etapas fenológicas está regulada por factores ambientales, como la temperatura y el fotoperiodo. De este modo, la determinación de la fenología requiere el uso de modelos basados en el tiempo térmico, es decir, acumulación de grados día ($^{\circ}\text{Cd}$). Un modelo térmico basado en el tiempo es una herramienta sencilla porque puede ejecutarse con datos meteorológicos fácilmente accesibles (Davidenco et al., 2015).

Los estudios sobre los impactos climáticos y las estrategias de adaptación se están convirtiendo en áreas cada vez más importantes de interés científico una causa de esto es el calentamiento climático, que la temporada de crecimiento se acorta, por lo que los agricultores deben considerar las variedades de cultivos y cambiar las fechas de siembra, y las dosis de fertilizantes al realizar la plantación para obtener una mayor producción (Li et al., 2012).

La temperatura desempeña un papel fundamental en el crecimiento y el desarrollo de los cultivos y varios estados fenológicos se manifiestan a través de su desarrollo gracias a la acumulación de cierta cantidad de calor para pasar de un estado a otro; cada planta tiene un requerimiento específico de temperatura antes de que se alcancen ciertas etapas fenológicas (Salazar-Gutiérrez et al., 2013). Con frecuencia, se ha empleado el tiempo calendario como método

de predicción de las fases de crecimiento desarrollo de los cultivos. No obstante, se han propuesto diversos modelos con el fin de optimizar el uso del tiempo calendario en la predicción del desarrollo los cuales describen el efecto de la temperatura sobre el desarrollo fenológico (Parra-Coronado et al., 2015).

Modelos de regresión No lineal

Los modelos estadísticos más utilizados en aplicaciones agrícolas se pueden describir con la siguiente notación:

$$(1) Y = F(X, \theta) + \varepsilon$$

donde se indica que, Y es la variable de respuesta, f es el modelo o función, x son las entradas, θ denota los parámetros que se van a estimar y ε es el error. Una función dada en (F) puede tener mezcla de parámetros lineales y no lineales.

Entre los modelos más utilizados para el crecimiento en plantas es el Gompertz, Richard y logístico. La ecuación logística es la asintótica más comúnmente utilizada, en la versión de 3 parámetros; la asíntota horizontal inferior se fija en 0 y el punto de inflexión (el momento en el que se maximiza la AGR) cae rígidamente en $M = K / 2$. Este modelo además describe omnipresente curva de crecimiento en forma de S, el parámetro asintótico (Y_{asym}) tiene unidades iguales a la variable de respuesta (Y), el punto de inflexión (t_m) tiene unidades iguales a la variable independiente (t), y el parámetro que determina la inclinación de las curvas (k) tiene unidades iguales a t . Este último parámetro puede interpretarse como el tiempo (cuando t es tiempo) que se tarda en pasar del punto de inflexión a aproximadamente 0,73 del valor asintótico (Paine et al., 2012). Ecuación logística: $Y = Y_{\text{asimétrico}} / \{1 + \exp[-k(t - t_m)]\}$ (Archontoulis & Miguez, 2015).

La ecuación de Gompertz, $Y = Y_{\text{asym}} \exp\{-\exp[-k(t - t_m)]\}$ tiene un punto de inflexión que está

controlado por su valor asintótico y está en aproximadamente un tercio ($1/e = 0,3679$), mientras que otras como la de Richards $Y = Y_{\text{asimétrico}} / \{1 + v \exp[-k(t - t_m)]\}^{1/v}$ tienen más flexibilidad para tratar con el crecimiento asimétrico (el punto de inflexión puede estar en cualquier valor de x).

Tiempo térmico

La acumulación de temperatura media diaria por encima de una temperatura base (T_b), es uno de los métodos más utilizados para predecir el desarrollo fenológico de la planta. Este enfoque se conoce como tiempo térmico, grados día de crecimiento o desarrollo (GDC) Unidades de calor o tiempo fisiológico. El tiempo térmico se define como la cantidad de grados día requeridos para completar un proceso de desarrollo o fase fenológica, el cual se mide en grados día sobre la T_b (Parra-Coronado et al., 2015).

Los grados-día de crecimiento (GDD) son utilizados generalmente para incluir efectos de temperatura y tiempo de modo que la duración del desarrollo del ciclo de vida de la planta disminuye a medida que aumenta la temperatura, por ende se expresa como la cantidad de unidades de calor necesarias para completar el desarrollo (Salazar-Gutiérrez et al., 2013). Así mismo se acumula un grado día cuando la temperatura media diaria se sitúa un grado por encima de la T_b durante un periodo de 24 horas, para hacer seguimiento del crecimiento del desarrollo del cultivo es importante contar con la fecha de inicio en este caso es la fecha de siembra de cada cultivar individual para cada temporada y ubicación.

Por otro lado, el concepto de tiempo térmico o grados-día, derivado de la temperatura base de los cultivos, es un enfoque para caracterizar el ciclo vegetal bajo distintos regímenes térmicos en comparación con los días naturales. La duración de las etapas y del ciclo fenológico varía entre años y lugares, en función de las condiciones térmicas del entorno. Para una especie o

variedad determinada, el requisito térmico en grados-día tiende a permanecer constante para un genotipo dado, a través de diferentes entornos térmicos. Esto simplifica la caracterización de los patrones fenológicos de las plantas para distintas ubicaciones y periodos de tiempo, a menos que entren en juego otros factores (Anzanello & de Christo, 2019).

La suma de grados-día que necesita la planta para completar parte o todo el ciclo permite conocer las necesidades térmicas de los cultivos y contribuye a la definición anticipada de las fechas fenológicas, indicando el potencial climático de la región para la producción y permitiendo la planificación y gestión de las actividades agrícolas. La integral térmica es un concepto utilizado para establecer o predecir cómo se van a comportar los cultivos en función de las condiciones ambientales locales (Anzanello & de Christo, 2019).

La transición de las plantas a través de las etapas fenológicas y las variaciones en estas fases en el tiempo pueden ser interpretadas a través de los grados-día de crecimiento, especialmente si se establece la temperatura base mínima. El tiempo necesario para que un cultivo alcance los diferentes estados fenológicos disminuye a medida que se acumula más calor durante el día por encima de un umbral determinado o temperatura base del cultivo. Durante la fase de crecimiento vegetativo y reproductivo, la temperatura juega un papel esencial en el desarrollo de yemas (Bujdoso et al., 2022).

Según et al. (2017) la mayoría de los modelos fenológicos se basan en el concepto de tiempo térmico o grados días de crecimiento (GDC), que es la suma de las diferencias entre la temperatura media diaria y la temperatura base (T_b) acumulada en un periodo determinado del cultivo, que expresan la cantidad de energía que requiere una especie para completar con éxito una determinada etapa fenológica o ciclo de cultivo (Mayorga et al., 2020).

La agricultura ha hecho gran uso del concepto de grados día cuando se ha aplicado a

observaciones fenológicas. A continuación, se enumeran algunas de las aplicaciones más importantes (Rivas, 2021).

1. Programar fechas de siembra.
2. Pronóstico de fechas de cosecha.
3. Determinar el desarrollo esperado en diversos lugares.
4. Determinar el desarrollo esperado en diferentes fechas de siembra.
5. Pronóstico de plagas y enfermedades.

En las últimas décadas, los agricultores han dejado de utilizar fechas del calendario para las prácticas de manejo hasta el uso de etapas fenológicas de las plantas, que a su vez son predichas por modelos de grados día de crecimiento (Taghavi et al., 2022).

Temperatura Base

La temperatura base es la temperatura mínima que requiere la planta para su crecimiento, si existe una temperatura menor a esta existe la posibilidad que la planta no sobreviva o complete ciclo. Se supone que cada fase de desarrollo puede tener una temperatura base diferente y la temperatura base debe ser similar para una determinada etapa de desarrollo del cultivo para cualquier período de crecimiento, por encima de esta temperatura la planta crece hasta llegar a un pico, donde la velocidad del desarrollo es máxima (Salazar-Gutiérrez *et al.*, 2013).

La determinación de la temperatura base es un proceso costoso, ya que cada especie tiene una temperatura base que puede variar según el genotipo de la planta y la estación de crecimiento (Tabla 2). En las especies templadas, el crecimiento y la expansión de las hojas comienzan antes de alcanzar una temperatura de 10°C, mientras que, en las especies subtropicales, el crecimiento no se produce por debajo de 12 a 15°C (Höhn et al., 2023).

Conociendo la temperatura base más baja de los árboles frutales, los agricultores pueden planificar mejor su cultivo, asegurándose de que la planta crezca en condiciones térmicas que optimicen su crecimiento y producción. Esto también puede ayudar a prevenir los daños causados por las bajas temperaturas, que pueden dañar la planta, retrasar la floración y reducir el rendimiento del cultivo. Por tanto, determinar la temperatura base de la gulupa implica establecer las condiciones mínimas de temperatura necesarias para su crecimiento adecuado y su producción satisfactoria. Esto es crucial para la planificación agrícola, sobre todo al elegir el lugar de cultivo y ampliar la ventana de producción en distintas regiones (Höhn et al., 2023).

Es fundamental comprender que, además de conocer la (T_b) que corresponde a la temperatura a la que se activa el metabolismo de las plantas, también es importante determinar el límite superior (TB) que representa la temperatura máxima permitida para que las plantas realicen la fotosíntesis. Aunque el modelo grado-día tiene en cuenta ambos límites térmicos (T_b y TB), despreciando los periodos en los que la temperatura está por debajo de T_b y por encima de TB, la mayoría de los modelos sólo tienen en cuenta el límite inferior (T_b) a la hora de calcular el tiempo térmico, por lo tanto, es esencial considerar ambos límites para una evaluación térmica precisa (Anzanello & de Christo, 2019).

A pesar de que algunos investigadores evaluaron los requisitos de tiempo térmico (temperaturas base y constante térmica) para especies perennes como el café (*Coffea arabica* L.), el mango (*Mangifera indica* L.) y el eucalipto (*Eucalyptus urophylla* STBlake), estudios como estos aún son escasos, especialmente para especies nativas del Amazonas, porque es difícil evaluar la duración de cada etapa de crecimiento fenológico durante un largo período de tiempo. Sin embargo, determinar el requerimiento de tiempo térmico de un cultivo, así como su adaptación a las condiciones climáticas de un sitio de cultivo en particular, es importante para

respaldar el modelo agrometeorológico utilizado para estimar el crecimiento y el rendimiento de cada cultivo (de Pinho Sousa et al., 2022).

Se pueden utilizar varios métodos estadísticos para estimar la Tb; Algunos de los más comunes son: varianza más baja (VAR) en GDC, desviación estándar (SD) más baja en GDC, DE más baja en días, coeficiente de variación (CV) más bajo en GDC y regresión lineal utilizando el coeficiente de regresión y el método de intersección (Yang et al., (1995); Salazar-Gutiérrez et al., (2013).

Los modelos fenológicos tienen varias aplicaciones en la agricultura especialmente el cultivo como lo son el maíz, el trigo, la vid, el frijol, y el girasol. Algunos estudios relacionados con los modelos fenológicos son:

Tabla 2

Revisión de estudios relacionados Tb, grados acumulados y tiempo calendario de diferentes cultivos

No.	Cultivo	Etapa fenológica	Temperatura base (Tb)	Acumulación de grados día	Tiempo calendario (Días)	Referencia
1	Feijoa (<i>Acca sellowiana</i>) (O. Berg) Burret)	Botón floral a la cosecha del fruto	1,74 b – (0,00) *	2651	189	Parra-Coronado et al. (2015)
		Botón floral a Antesis	2,89 a – (2,67) *	72,48 a	15,25 ± 1,36 (desviación estándar)	
		Antesis a cuaje de fruto	3,04 a – (2,96) *	7,14 a	9,25 ± 0,63	

	Cuaje de fruto a cosecha	1,76 b – (0,00) *	16194,55 b	164,38 ± 9,02	
	Botón floral a cosecha	1,74 b – (0,00) *	13978,67 b	188,88 ± 7,53	
2	Berenjenas (<i>Solanum melongena</i> L.)	Desarrollo de las hojas	15,6°C	399,56±42,8	Rommel et al. (2019)
		Aparición del órgano floral		5	
		Floración		478,97±79,2	
		Formación de frutos		4	
				733,89±0	
				952,88±0	
3	Clavel (<i>Dianthus caryophyllus</i> L.)	Aparición de nudos	0,12°C		López et al. (2010)
		Pinch hasta cosecha	2.243,67°C		
		Aparición de botón floral		1.363,2	
				2.226,5	
		Despunte - Tallo floral			
4	<i>Passiflora tripartita</i> var. <i>mollissima</i>	Crecimiento ramas primarias	4,3 °C	1.204±69	Mayorga et al. (2020).
		Crecimiento ramas secundarias	1,5°C	1.449±253	
		Yema floral	3,1°C	532±11	
		Crecimiento del fruto	0,01°C	1.456±224	
5	Uchuva (<i>Physalis peruviana</i> L.)	aparición de Nudos	6,29°C,		(Salazar,2006)

	Trasplante a primer botón floral	10,83° C,			
	Primer Botón-Primera Flor	5,61°C			
	Primera Flor-Primer fruto(cuajado)	10,20° C	< 1039,5]	8 y 12 semanas después del trasplante	
	Aparición Primer fruto a maduro	1,89°C,			
6	Café	Siembra y primera floración	10°C	3250°C	
		Primera floración y cosecha		2500°C	
		Siembra y primera cosecha		5750°C	
7	La palma de acai (<i>Euterpe oleracea</i> Mart)	Emergencia de la inflorescencia	32,46°C	3.893,15° C	78
		floración	32.23°C		27
		Fruto verde	32.55°C		119
		Desarrollo del fruto	32.78°C		53

Nota. Esta tabla muestra los estudios que se han realizado para determinar la Temperatura Base y

Grados días de crecimiento en diferentes cultivos. *Fuente.* Autor

Objetivos

Objetivo General

Desarrollar un modelo fenológico utilizando la temperatura base para predecir el crecimiento y desarrollo del cultivo de la gulupa en condiciones de invernadero en la Sabana de Bogotá.

Objetivos Específicos

Establecer el crecimiento y desarrollo de acuerdo con la escala BBCH del cultivo de gulupa en condiciones de invernadero de la sabana de Bogotá

Determinar la temperaturas base, para aparición de botón floral, floración y fructificación en condiciones de invernadero de la sabana de Bogotá.

Estimar del tiempo térmico para tres etapas fenológicas reproductivas de la gulupa en condiciones de invernadero de la sabana de Bogotá.

Materiales y Métodos

Ubicación

La investigación se realizó durante los meses abril 2023 y enero del 2024, en los invernaderos de la Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá, situados a una altitud de 2.625 m.s.n.m. Estos invernaderos cuentan con una estructura metálica revestido en su techo y contorno con plástico de polietileno calibre 7 con cierta ventilación natural y tiene malla antitrips en los laterales.

Durante la fase experimental se registró una temperatura promedio exterior de 20°C, y la humedad relativa oscilo entre el 87 y 92%.

Material vegetal

Se utilizaron plántulas de gulupa con las siguientes características, edad 60 días, altura 24,5 cm, con 10 nudos y 8 hojas (Figura 7), que vienen provenientes de viveros del municipio de Silvania, Cundinamarca.

Los experimentos se realizaron en un invernadero plástico, con estructura metálica. Se trasplantaron 226 plántulas de gulupa en un área de 1200 m², con una densidad de siembra de 1,5 m entre plantas y 1,5 m entre surcos (2,25 m²), las plantas fueron tratadas antes de siembra con oxiclورو de cobre con el fin de prevenir la incidencia de enfermedades fungosas y bacterianas.

Se sembraron en sustrato con arena cuarcítica calibre 1,5 y 3,0 mm, en bolsas tipo arándanos de 30 L, las cuales se llenaron 25 cm, se realizó una distribución de la arena de las siguientes capas, primera capa arena gruesa 6 cm, arena delgada 6 cm, arena gruesa 6 cm, arena delgada 7 cm (Apéndice A).

Se empleó un sistema de tutorado de espaldera sencilla, siendo este el más usado en el

ámbito nacional para el cultivo de gulupa (Miranda et al., 2009) el cual tiene un alambre a una sola línea para la conducción de las ramas primarias, ubicado a 154,8 cm del nivel del suelo (Apéndice B).

Se realizó un fertirriego con una solución nutritiva modificada de Hoagland y Arnon con elementos mayores y menores para su crecimiento y desarrollo con una aplicación de 100 ml de solución por planta durante la etapa de crecimiento y 200 mL en la etapa de desarrollo. Se realizó la determinación del tiempo y frecuencia de riego con el Venturi a través del volumen de agua retenida por el sustrato y el tiempo de drenaje. Se realizó un análisis de aguas para determinar su calidad y realizar las respectivas correcciones.

Figura 7

Almácigo de gulupa



Fuente. Autoría Propia

Estructuración de la toma de datos

Las plantas de gulupa establecidas se encontraron adaptadas a las condiciones climáticas

a los 30 días después del trasplante (DDT) se seleccionaron 51 plantas de tres meses de edad, se midió a cada una de las plantas el número de nudos, hojas y longitud de la planta con una cinta métrica con una frecuencia de 8 días (Apéndice C). Además, se utilizó un calibrador pie para medir diámetro polar y ecuatorial de los órganos reproductivos y observar su crecimiento (Apéndice E). Los datos se registraron en una hoja de cálculo.

Para la descripción visual de la escala de BBCH, se realizó en diferentes etapas del crecimiento, desarrollo, fructificación y cosecha de la gulupa, observaciones, captura de fotografías (Figura 10) y registro de los cambios de estado de vegetativo a reproductivo (botón floral), de botón floral hasta la apertura floral, antesis, cuaje de los frutos, crecimiento de los frutos y cosecha final del producto. Se realizaron dos visitas semanales durante la segunda fase estudiada (emergencia de las yemas florales hasta la floración) y una visita semanal durante la tercera fase estudiada (crecimiento y la maduración de los frutos).

En la parte central del invernadero se instaló una estación meteorológica de la marca Hunan Rika Electronic Tech Co., Ltd. Para el registro de datos de las variables climáticas que tienen incidencia en el estudio, tales como las temperaturas mínimas y máximas, la humedad relativa y la radiación fotosintéticamente activa (PAR). Estos registros abarcan un periodo desde el trasplante de las plántulas de gulupa el 30 de marzo hasta la maduración de los frutos.

Manejo del experimento

Las plantas de gulupa fueron conducidas a una sola rama hasta llegar a la altura del alambre, mediante las podas, y deshoje (Apéndice D)

Para un óptimo crecimiento radicular, se aplicó un bioestimulante en drench (Actiphyl Energy P[®]) es un fertilizante orgánico-mineral complejo N, P, K con Mg, S y micronutrientes con una dosis de 1,25 ml L⁻¹ con una frecuencia de aplicación de 3 días (Apéndice F).

Se realizó fertilización edáfica con macros y micronutrientes, 13-3-44[®] 250 g, Calcinit B[®], 200 g, sulfato de magnesio[®] 75 g, Fosfato monoamónico[®] 12,5g, 40 ml de EDTA Fe y 85 ml de micronutrientes disuelto en de 5.650 L de agua, con una frecuencia de aplicación de 2 días (Apéndice G).

Se realizó aplicación de fertilización foliar con Microfoliar[®] NPK 5 ml L⁻¹ con bomba de espalda y boquilla tipo abanico plana, con una frecuencia de aplicación de 3 días, para una rápida adaptación de la planta en el sustrato (Apéndice H).

Semanalmente se realizó monitoreo de plagas y enfermedades y se realizaron las respectivas aplicaciones de plaguicidas empleando una bomba de espalda y boquilla tipo abanico plana (Apéndice H).

En las labores culturales se quitaron los chupones con tijeras de podar y se realizó desinfección con Oxiclورو de cobre[®] 0,5 gr L⁻¹ agua para sellar poda.

Variables para analizar

Escala BBCH

Con las observaciones visuales y el registro de los tiempos en los cambios de estado, se organizaron las tablas de fenología para cada una de las etapas de crecimiento, desarrollo, fructificación y cosecha, se realizó los respectivos promedios de los tiempos, diámetro ecuatorial y polar de los botones florales y crecimiento del fruto.

Temperatura base botón floral

Con los datos registrados se organizó un conjunto de datos en Excel, se ubicaron las variables dependientes nudos e independientes los DDT y se cargaron en el software estadístico

InfoStat® para revisar las tendencias de los datos en la emisión de nudos hasta llegar al botón floral, de acuerdo con la tendencia de los datos se realizaron regresiones no lineales para estudios de crecimiento biológico representada en cuatro ecuaciones matemáticas (Tabla 3) para encontrar el modelo que más se ajuste en la tendencia de los datos, se utilizó el criterio del menor Cuadrado Medio del Error (CME).

Tabla 3
Modelos de regresión no lineal.

No.	Modelo	Ecuación
1	Logístico con crecimiento	$Nudos = \alpha / (1 + \beta * \exp(-\gamma * DDT)) + \Delta$
2	Gompertz	$Nudos = \alpha * \exp(-\beta * \exp(-\gamma * \exp DDT))$
3	Exponencial	$Nudos = \alpha \exp(\beta * DDT)$
4	Richards	$Nudos = \alpha * (1 + \beta * \exp(-\gamma * DDT)) \exp(\Delta)$

Nudos: (conteo de nudos); DDT: Días después del trasplante; α , β , γ , Δ : parámetros a ser estimados por medio del ajuste del modelo.

Con el modelo ajustado a la tendencia de los datos se determinó la tasa de emisión de nudos realizando la primera derivada de la función obtenida. Posteriormente se determinó la T_b de acuerdo con la metodología de (Ruiz-Corral et al., 2002) a través de una regresión lineal simple (ecuación 1).

$$(1) 1/t = \beta_0 + \beta_i T$$

Donde $1/t$ es la tasa diaria acumulada de emisión de nudos, T es la temperatura media del periodo y β_0 y β_i son parámetros de una ecuación de regresión lineal simple. El valor de T_b es obtenido mediante el cociente $-\beta_0/\beta_i$.

Temperatura base flores y cosecha

Para la determinación de la temperatura base se utilizó la metodología de minimización de la desviación estándar de la suma del tiempo térmico expresada en días (2):

$$(2) SDdia = SDgga \frac{SDgga}{X_t - T_b}$$

Dónde: Sddía = Desviación estándar en días; SD_{gga} = Desviación estándar en GDDs; X_t = Temperatura media promedio; T_b = Temperatura base.

Para la estimación de T_b de flor y fruto se parte de una serie de temperatura base propuesta, se asumieron valores de T_b entre 0°C y 14° para cada estado de desarrollo. Se utiliza el método de mínimos cuadrados a través de la herramienta de Solver en Excel®, se obtiene el valor mínimo entre la temperatura base (variable independiente) y la desviación estándar del día calculada en la ecuación (2) (variable dependiente) del resultado de una función cuadrática. Solver es un método iterativo no lineal que comienza con estimaciones iniciales del valor del parámetro y luego disminuye o aumenta el parámetro hasta encontrar el valor mínimo de la suma de los cuadrados de las desviaciones (Salazar-Gutiérrez et al., 2013).

Calculo tiempo térmico

Después de calcular la temperatura base para cada estado fenológico se procedió a determinar el TT requerido para cada etapa. Para ello, se considero el acumulado de la temperatura, los DDT y la T_b .

Siguiendo la metodología propuesta por Parra-Coronado et al. (2015), el tiempo térmico se calculó como la suma diaria de la diferencia entre la temperatura media y la temperatura base para cada etapa (Ecuación 3).

$$(3) \quad TT = \sum_{i=1}^n GDC_i = \sum_{i=1}^n (T_i - T_b) \quad \text{ó} \quad TT = \sum_{i=1}^n T_i - nT_b$$

TT es el tiempo térmico (°Cd) acumulado durante los n días hasta que aparezca el estado para las 3 fases estudiadas (Fase= 1, desde siembra hasta emisión botón floral: Fase= 2, emisión botón floral a antesis: fase = 3, desde antesis a cosecha), T_i es la temperatura media diaria (°C) para el día i y T_b es la temperatura base (°C).

Los GDC_i para la acumulación de TT se calculan utilizando las siguientes consideraciones:

$$T_i = \frac{T_{max} + T_{min}}{2}$$

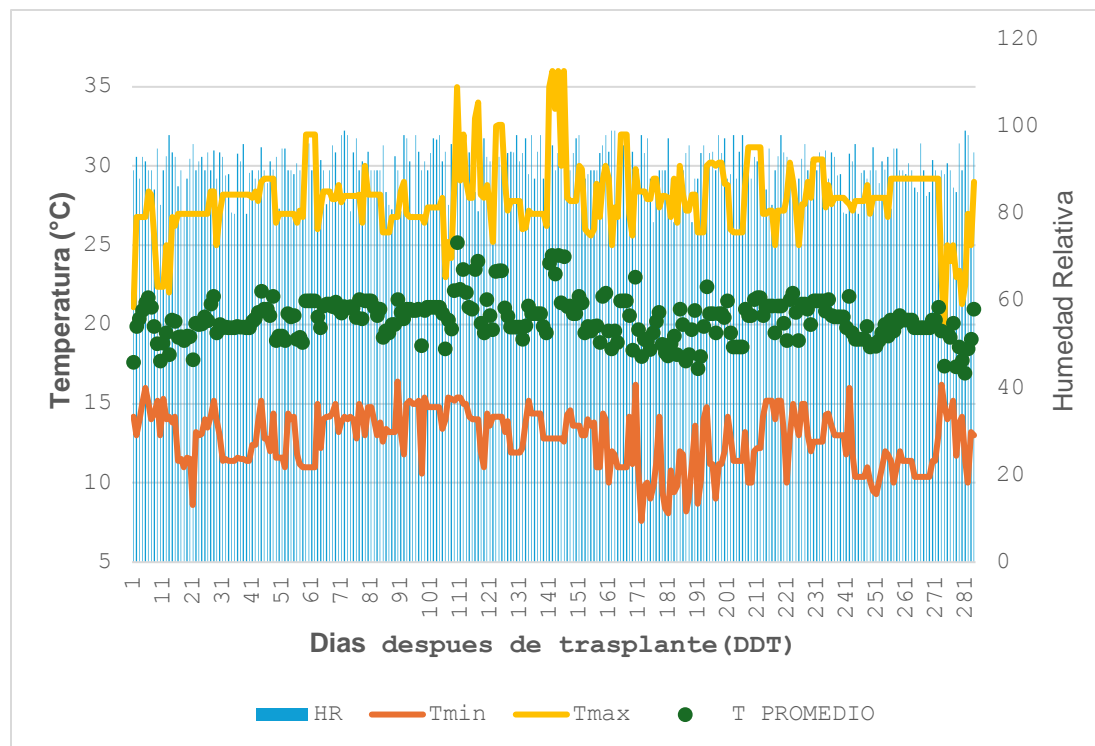
Resultados y Discusión

Teniendo en cuenta la (Figura 8) donde se muestra el comportamiento de la temperatura y la humedad relativa durante el estudio, desde el día 1 DDT hasta el día 280 DDT, se evidenciaron condiciones climáticas favorables bajo invernadero para la fase de desarrollo vegetativo, que probablemente incidieron de manera positiva en el desarrollo inicial de las planta, así como se muestran variaciones significativas con temperaturas y humedades relativas altas que coincidieron en el aborto de estructuras reproductivas afectado también los procesos de polinización por estos factores y falta de polinizadores.

En la gulupa, se ha evidenciado que temperaturas medias por encima de los 25°C obstaculizan el desarrollo de las yemas florales. Como resultado, se producen flores con ovarios más pequeños y una menor cantidad de óvulos, lo que finalmente se traduce en una disminución del cuajado de los frutos y aumento de aborto, así mismo como es el caso del maracuyá (*Passiflora edulis*), las elevadas temperaturas provocan la deshidratación del estigma, impidiendo así una adecuada fecundación de las flores (Chaves-Barrantes & Gutiérrez-Soto, 2017

Figura 8

Comportamiento de la temperatura y humedad relativa promedio en el invernadero



Fuente. Autoría Propia

Se realizó la comparación de la escala BBCH para cada una de las etapas fenológicas de crecimiento de la gulupa. Con el fin de describir los estados vegetativos y reproductivos de mayor relevancia para el agricultor, se llevó a cabo la elaboración de una escala fenológica teniendo en cuenta los códigos BBCH.

Se observa en la (Tabla 4) el código 16 que corresponde al desarrollo de la sexta hoja, la cual se registró 6 días antes después de trasplante (DDT) según la primera medición en campo y finalmente el código 19 que corresponde al desarrollo de la novena hoja, esta aparición se observó en campo durante los 33 días después de trasplante (DDT) (Figura 9).

Tabla 4

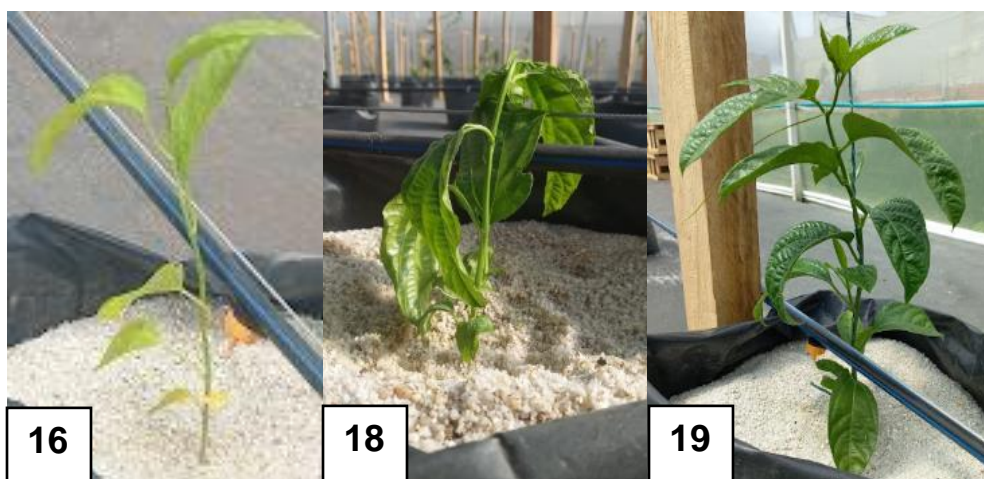
Estado 1: Desarrollo de hojas de gulupa

CÓDIGO BBCH	DDT	DESCRIPCIÓN
16	Almacigo 6-8	Desarrollo de la sexta hoja
17	22	Desarrollo de la séptima hoja
18	29	Desarrollo de la octava hoja
19	33	Desarrollo de la novena hoja o más hojas

Fuente. Autoría Propia

Figura 9

Estados fenológicos más importantes del desarrollo de la hoja



Fuente: Autoría Propia

En la (Tabla 5), se detalla el Estado 3: crecimiento del tallo principal. Se considero una longitud máxima del tallo principal de 308,2 cm, en esta altura que hizo despunte ya que se logró la maduración de los frutos bajo estudio.

El 40% del crecimiento del tallo principal se registró a los 101,5 días después de trasplante (DDT), la planta alcanzó el 50% de su crecimiento aproximadamente a los 126,5 DDT

con una altura promedio de 161,1 cm. Finalmente el 100% del crecimiento se alcanzó a los 253, 2 DDT con una altura de 308, 2 cm (Figura 10).

Tabla 5

Estado 3: Crecimiento longitudinal del tallo principal.

CÓDIGO BBCH	DDT	DESCRIPCIÓN
34	101,6	El tallo principal de la planta ha alcanzado el 40% de su longitud máxima.
35	126,5	El tallo principal ha alcanzado el 50% el cual llevo al sistema de tutorado.
39	253,2	El tallo principal de la planta ha alcanzado el 90% - 100% de su longitud máxima.

Fuente. el autor (2024)

Figura 10

Elongación del tallo principal.



Fuente. Autoría Propia

Importancia de conocer el estado vegetativo y reproductivo de la gulupa

La identificación del estado vegetativo y reproductivo de la gulupa según la escala BBCH es fundamental para determinar momentos oportunos para realizar el manejo del cultivo. Esto incluye actividades como la aplicación de nutrientes, podas, aplicación de fungicidas e insecticidas. Además, esta identificación permite a los agricultores comprender los diferentes estados fenológicos de la planta a través de códigos unificados (Ferrer-Blanco et al., 2022).

Fenología en estado reproductivo de gulupa

Información sobre crecimiento y desarrollo fenológico de gulupa es escaso, al igual que el conocimiento sobre efecto de factores climáticos en su desarrollo. Se han realizado estudios de interés económico como es el caso de granadilla (*Passiflora ligularis* Juss) (Mayorga et al., 2020).

La aparición y desarrollo del órgano floral según la escala BBCH es el estado 5. La descripción detallada se puede observar en la (Tabla 5) y los principales estados fenológicos se evidencian en la (Figura 11), es crucial destacar que estas yemas aparecen en la axila foliar y están acompañadas de tres sépalos del epicáliz, presentándose cerradas (BBCH 51), con un diámetro polar de 0,298cm y un diámetro ecuatorial de 0,246cm posteriormente el (Estado 52), se conoce como yema floral con un crecimiento del 20% el cual se presenta 8 días después de botón floral (DDB) con una medida de 1,57 cm de diámetro polar y 1,1 cm de diámetro ecuatorial, y continua su crecimiento hasta alcanzar el máximo tamaño de botón floral (Estado 58) a los 31 DDB, con una medida de 2,2 cm de diámetro polar y 1,5cm de diámetro ecuatorial

,después se inicia el proceso de apertura floral y se pueden ver los pétalos visibles (Estado 59) a los 33,1 DDB aproximadamente, con 2,6 cm de diámetro polar y 2,14 cm de diámetro ecuatorial.

Tabla 6

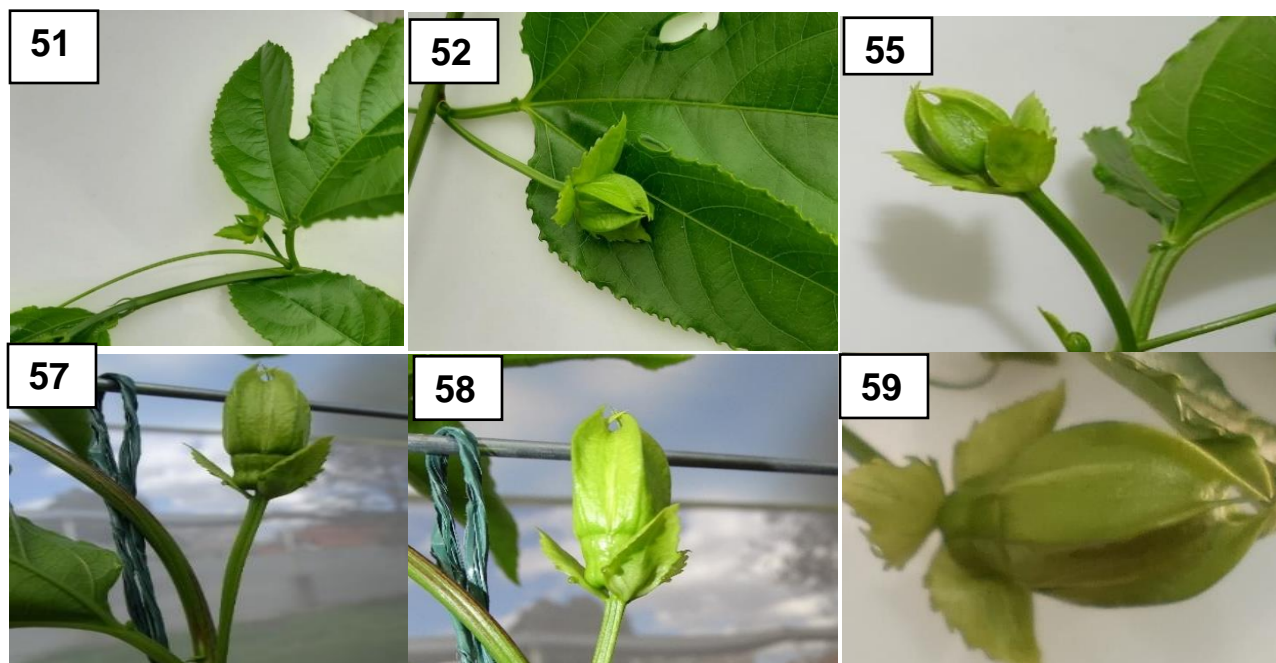
Estado 5: Aparición y desarrollo del órgano floral

CÓDIGO BBCH	DDB	DESCRIPCIÓN
51	1	Yema floral visible
52	8	Yema floral con un crecimiento del 20%
55	15	Botón floral con un crecimiento del 50%
57	22	Botón floral con un crecimiento del 70%
	31	Máximo tamaño del Botón floral.
58		
59	33	Primeros pétalos, filamentos blancos de la corona y estigmas empiezan a ser visibles.

Fuente. el autor (2024)

Figura 11

Estados fenológicos más importantes del desarrollo del órgano floral de acuerdo con la escala BBCH.



Fuente. Autoría Propia

La floración según la escala BBCH es el estado 6. La descripción detallada se puede observar en la (Tabla 7) y los estados principales en la (Figura 12), las primeras flores abiertas (Estado 60) se obtuvieron hacia el día 35,5 (DDB). Las flores permanecen abiertas por 25 horas, momento en el cual ocurre la polinización son fértiles en este periodo, luego los pétalos y sépalos regresan a la posición vertical hasta unirse en la parte superior de la flor (Estado 69) y el cuajado del fruto se da aproximadamente a los 2 días después de antesis (DDA).

Durante el desarrollo del ensayo se presentó un aumento en abortos de yemas, flores y frutos puede estar relacionado con altas temperaturas y alta humedad relativa, lo que ocasiono pudrición de estructuras florales y aborto de frutos (Figura 8).

Tabla 7*Estado 6: Floración*

CÓDIGO BBCH	DDB	DESCRIPCIÓN
60	35,5	Primera Flor completamente abierta: todas las estructuras reproductivas quedan completamente expuestas al medio externo.
69	37,1	Flor cerrándose luego de ser o no polinizada

*Fuente. Autoría Propia***Figura 12***Detalle de la flor de gulupa abierta y cerrándose.*

En la (Tabla 8) se presentan los códigos para el estado 7: Desarrollo del fruto y en la figura 12 se evidencian los principales estados. Luego de la polinización la flor cierra y el ovario crece de forma acelerada. El tamaño y peso del fruto es acelerado hasta aproximadamente 30 días después de antesis (DDA).

El (Estado 70) aparición de frutos cuajados se dio entre los 3 y 4 DDA que equivale a un fruto aproximadamente del 10%, seguidamente se presenta la escala BBCH del crecimiento del

fruto (Estado 72 – 78) donde se dice que el 40% del tamaño del fruto se alcanza en los primeros 46 días después de Botón (DDB), el 70% a los 64 días después de botón (DDB) y finalmente el máximo tamaño se da a los 276 días después de botón (DDB) (Figura 13).

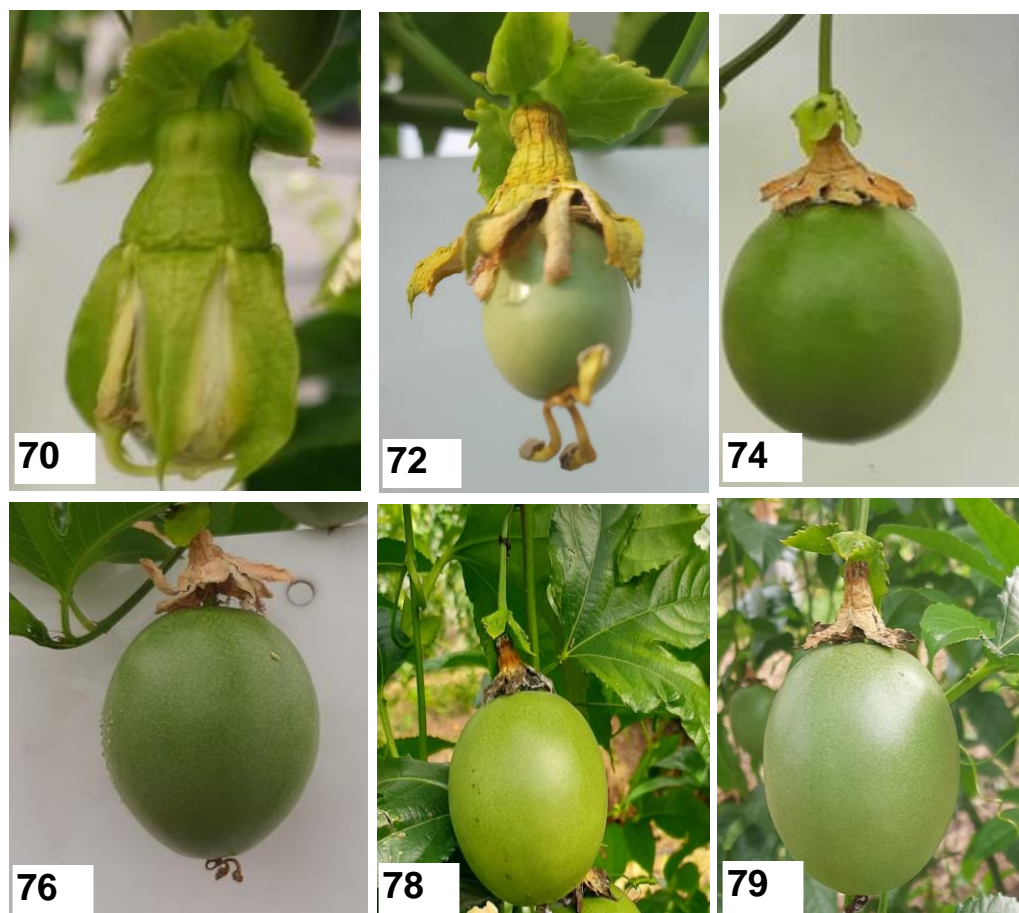
En cuanto a la maduración del fruto se evidencio a los 108 DDB aproximadamente (Tabla 9), indicando que hay un periodo de 30 días entre el momento que alcanza el máximo tamaño (estado 79) y el inicio de maduración (Estado 81). Además, se encontró que el (Estado 87) se alcanzó el día 117 DDB logrando el 70% de coloración del fruto y finalmente la madurez plena el día 253,2 DDT o a los 118,2 DDB con un diámetro polar de 5,6 cm y un diámetro ecuatorial de 4,6 cm (Figura14).

Estudio realizado por (Melgarejo (2012) describió por primera vez la escala fenológica en estado reproductivo de gulupa de acuerdo con la escala BBCH, en 3 municipios del departamento de Cundinamarca, Tena presenta % humedad relativa (HR) media de 84,6, granada 88,7%HR y granada 90,4HR así mismo las temperaturas para los 3 municipios son para Chía 15° C, granada 16°C y Tena 17°C. El ciclo reproductivo comienza con la aparición de yemas florales en la axila de la hoja que tardan en convertirse en flores de 30 a 40 días. Así mismo las flores experimentan la antesis en un periodo de 6 y 8 horas, manteniéndose abiertas durante 25 horas aproximadamente. Después de la polinización, se observa el cuajado del fruto, que se alcanza 7 días después de la antesis (DDA). Finalmente inicia el proceso de crecimiento del fruto que se detiene a los 90 días después de antesis momento donde se alcanza la madurez fisiológica del fruto.

Tabla 8*Estado 7: Desarrollo del fruto*

CÓDIGO BBCH	Días después de botón (DDB)	DESCRIPCIÓN
70	40	Aparición de frutos cuajados
72	46	Frutos en continuo crecimiento alcanzan el 20% del tamaño final
74	53	Frutos inmaduros: alcanzan el 40% de su tamaño final.
76	60	Frutos alcanzan el 60% de su tamaño final.
77	64	Frutos alcanzan el 70% de su tamaño final.
78	76	Frutos inmaduros: alcanzan su máximo diámetro polar (5,8) y ecuatorial (4,7cm)
79	78	Sépalos, pétalos, estilos y estigmas se cae Los frutos han alcanzado el tamaño propio de su especie

Fuente. Autoría Propia

Figura 13*Principales estados del desarrollo del fruto de gulupa**Fuente. Autoría Propia***Tabla 9***Estado 8: Maduración del fruto*

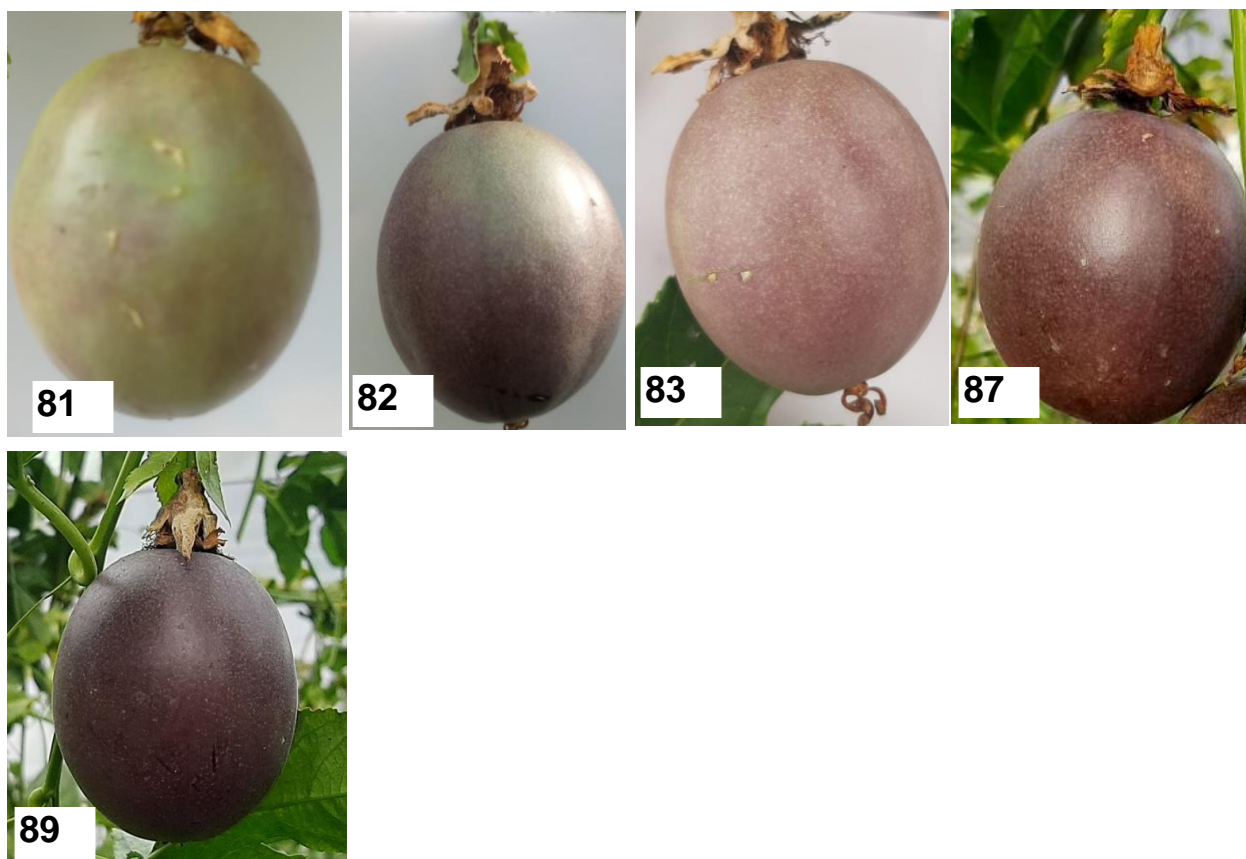
CÓDIGO BBCH	DDB	DESCRIPCIÓN
81	108	Los frutos comienzan a madurar: comienzo de la coloración del fruto.
82	110	El 20% del exocarpo es purpura.
83	113	El 30% del exocarpo es purpura.
87	115	Madurez de cosecha 70%.

89	118,2 (8 meses 17 días DDT)	Fruto maduro y apto para el consumo tiene su sabor y firmeza naturales.
----	-----------------------------	---

Fuente. Autoría Propia

Figura 14

Estado de maduración del fruto.



Fuente. Autoría Propia

De acuerdo con los resultados obtenidos por Flórez (2012), en el municipio de Granada (Cundinamarca) las plantas tardaron 7 meses en iniciar su ciclo reproductivo, en el municipio de Tena 10 meses y en el municipio de Chía 12 meses, esto teniendo en cuenta que la temperatura para cada municipio varía significativamente. En el municipio de Tena se presentó a los 30 días

después de la aparición de las primeras yemas florales se registró el inicio de floración y 90 DDF comenzó el fruto a madurar y a los 100-108 DDF se logró la madurez óptima de cosecha. Es decir, para esta localidad el crecimiento, desarrollo y maduración del fruto tarda entre 145 y 150 DDF (Flórez, 2012).

Los resultados del estudio mostraron que el desarrollo de las yemas florales varía según la localidad. En cuanto a los frutos, el crecimiento y tamaño se aceleran hasta 30 días después de la ocurrencia de la antesis y, al cabo de 9 a 10 meses después de trasplante, se obtiene la madurez fisiológica.

Según investigación realizada por Rodríguez-León et al., (2015) de los estados fenológicos determinados en cultivo de granadilla en condiciones de campo, se dice que se necesitan 290 días aproximadamente para producir la transición entre el estado vegetativo y reproductivo, en esta investigación se necesita 253 días. Un caso similar a la descripción de fenológica de gulupa es la granadilla y kiwi pues se identificaron los mismos estados de crecimiento.

Para la aparición y desarrollo del órgano floral correspondiente al estado 51 que se produce 8 DDB y crece durante 30 días hasta obtener el máximo tamaño de cartucho floral (Estado 58), entre los 365-370 DDT y floración (Estado 65) entre los 375-380 DDT. La flor dura abierta 24 horas situación similar a la flor de gulupa donde surge la polinización y el cuajado se da 2 DDA, y el máximo tamaño del fruto a las 42 DDA. Entre el momento que el fruto llega a su máximo tamaño e inicio de maduración se demora entre 27 y 30 días, y la madurez plena del fruto de granadilla se da a los 92 DDA, estado 89 según la escala BBCH.

Existen otros estudios realizados por García (2016), en cuanto a fenología en curuba, la elongación del tallo principal alcanza su máximo de longitud a los 297 DDT, a los 2 (m) (BBCH 39), el botón floral alcanza su tamaño óptimo a los 37 DDB, seguidamente a los 38 DDB aparecen las primeras flores abiertas y a los 52 DDB ocurre el fruto cuajado, a los 43 DDA el fruto alcanza el tamaño propio de su especie (BBCH 79).

Estimación de la temperatura base

Cosecha a emisión de Botón floral

1. Se emplearon cuatro modelos de regresión no lineal para la determinación del modelo que se ajustará al conteo de nudos en relación con el tiempo (DDT). Para la selección del modelo se utilizó el que presentó menor valor en el cuadrado medio del error de 7,56 (CME) (Tabla 10) de acuerdo con los resultados de los modelos se seleccionó el modelo logístico con crecimiento.

Tabla 10

Modelo ajustado análisis de regresión no lineal.

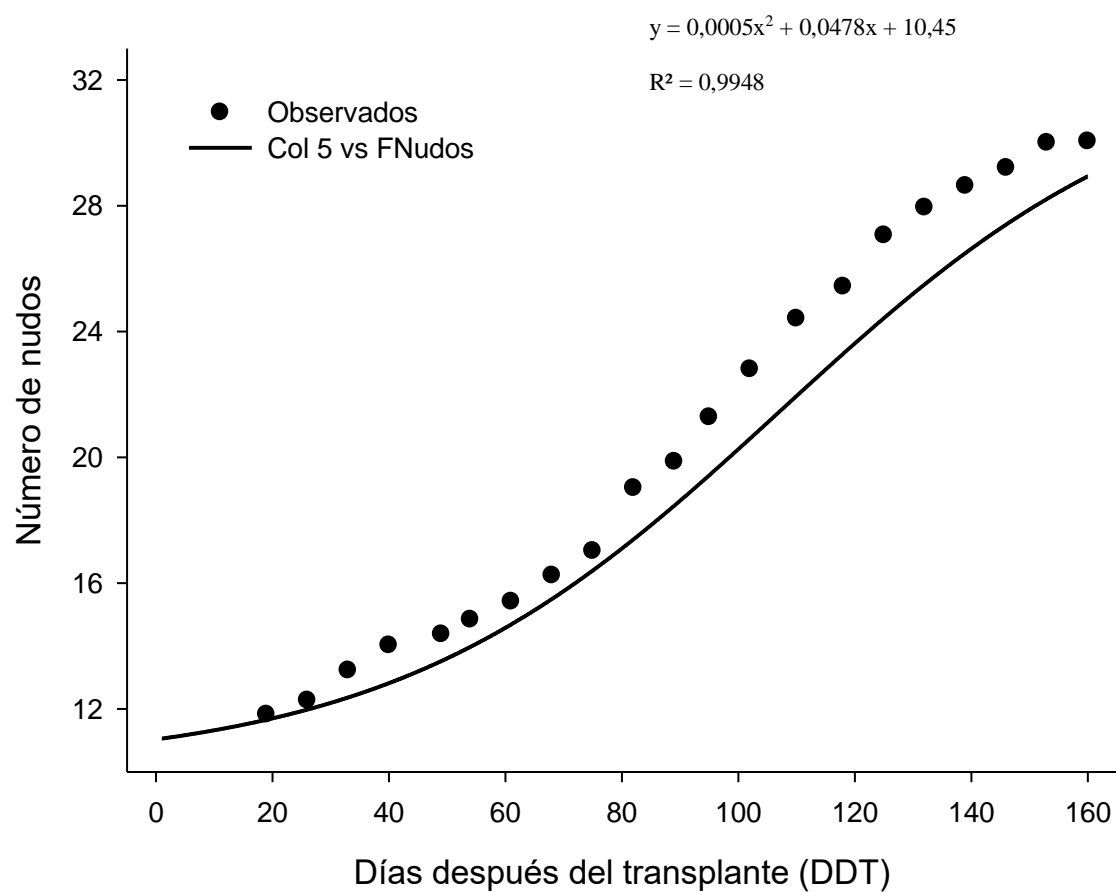
No.	Modelo	Ecuación	α	β	γ	Delta	CME
1	Logístico con crecimiento	$Nudos = \frac{\alpha}{(1 + \beta \cdot \exp(-\gamma \cdot DDT))} + \Delta$	22,62	24,89	0,03	10,16	7,56
2	Gompertz	$Nudos = \alpha \cdot \exp(-\beta \cdot \exp(-\gamma \cdot DDT))$	112,13	2,48	4,2E-03		8,00
3	Exponencial	$Nudos = \alpha \cdot \exp(\beta \cdot DDT)$	10,55	0,01			8,31
4	Richards	$Nudos = \alpha \cdot (1 + \beta \cdot \exp(-\gamma \cdot DDT))^{-\Delta}$	40,98	-0,02	0,01	82,07	8,78

Nota. Modelo ajustado por el software estadístico infoStat/L. *Fuente.* Autoría Propia

En la Figura 15, se relacionan los datos observados (conteo de nudos en el tiempo) y el modelo obtenido de la regresión no lineal (Modelo Logístico). Se puede evidenciar en el eje X los días después de trasplante (DDT) y en el eje Y la cantidad de nudos que se formaron en las plantas, mostrando un aumento progresivo del número de nudos en relación con el tiempo transcurrido.

Figura 15

Relación número de nudos observados y simulados



Nota. Presenta número de nudos simulados y observados en función de días después de trasplante en condiciones bajo invernadero vs número de nudos. *Fuente.* Autoría Propia

Tasa de aparición de nudos

De acuerdo con la función encontrada en la (tabla 10), se realizó la derivada de la función siendo esta los datos de la tasa acumulada, utilizando el método regresión logístico con crecimiento

Se utilizó el procedimiento Infostat y programa estadístico Sigmaplot.

$$\frac{d}{dx}[f(x)] = f^1(x) =$$

$$x = \frac{abce^{-cx}}{(be^{-cx} + d + 1^2)}$$

Simplifica /reescribe

$$= \frac{abce^{cx}}{((d+1)e^{cx} + b^2)}$$

Al derivar la función, se determinó la tasa diaria de emisión de nudos. Seguidamente se calculó el acumulado de tasa diaria de nudos observado en la (Figura 15), lo cual es necesario para determinar la variable Tb."

Temperatura Base

Finalmente realizó una regresión lineal (Figura 16) para determinar la Tb mediante la siguiente ecuación despejada.

$$y = \beta_0 + \beta_1 T$$

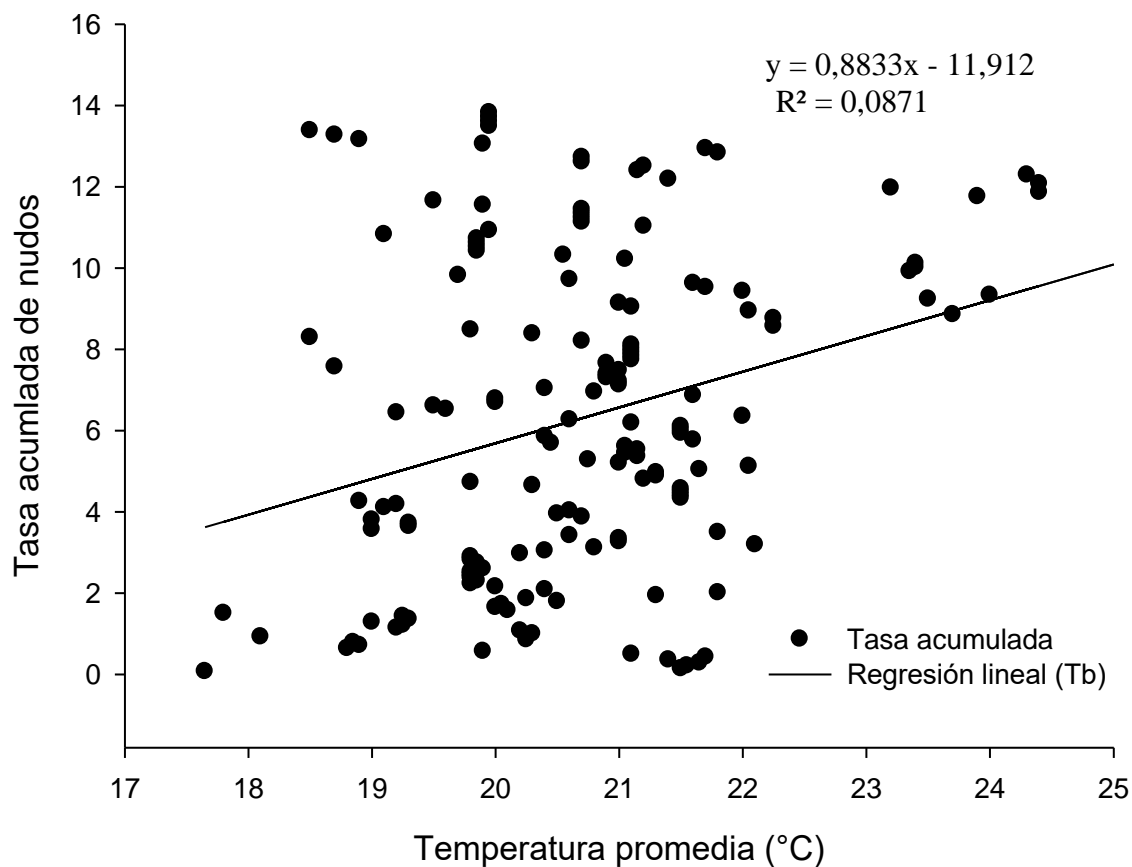
El valor de Tb es obtenido mediante el cociente $Tb = -\beta_0 / \beta_1$.

$$Tb = 11,91 / 0,88$$

$$Tb = 13.53$$

Figura 16

Relación Tasa acumulada de nudos vs. Temperatura promedio (°C).



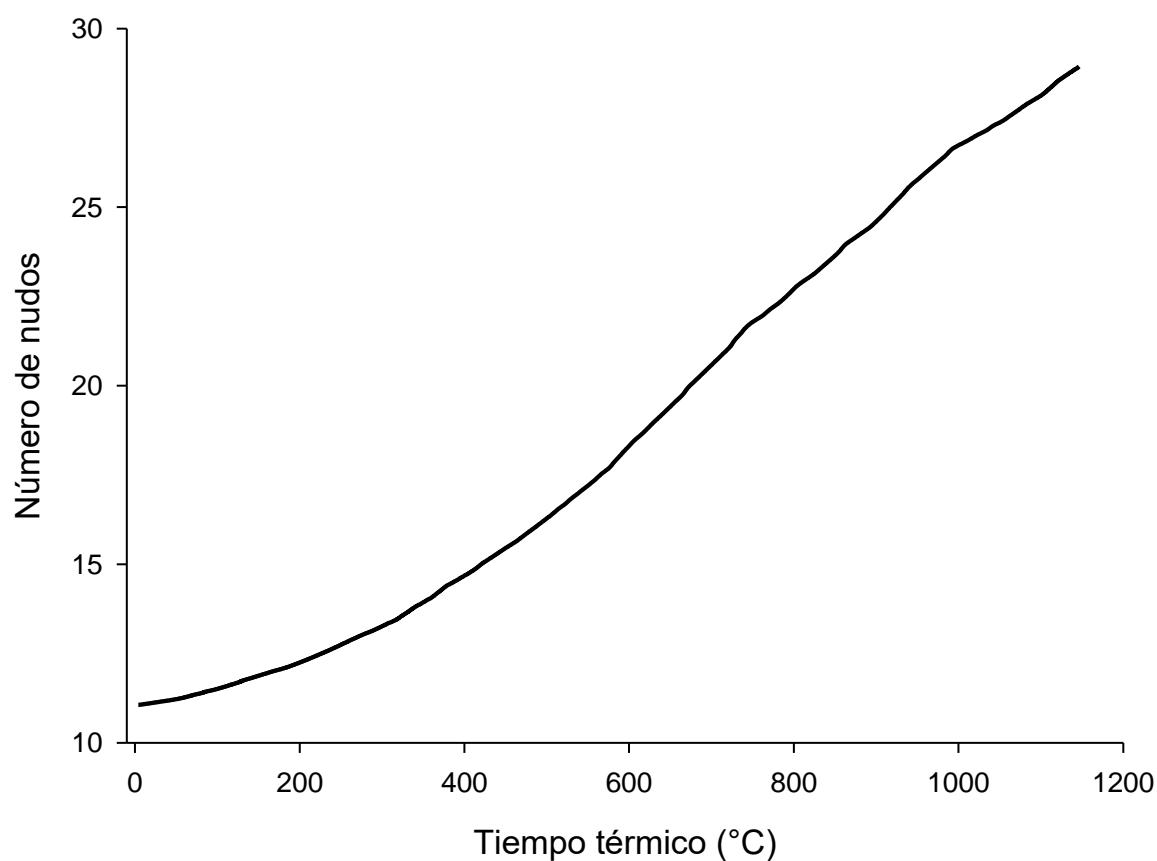
Fuente. Autoría Propia

La temperatura base (T_b) para aparición de nudos fue de $13,53^\circ\text{C}$ requeridos para precisar la acumulación del tiempo térmico (TT). La tasa promedio de aparición de nudos fue de 0,11 nudos diarios, y cada 7 días la planta emite promedio 5 nudos, lo que indica que hasta cierta acumulación de grados día el incremento de nudos es acelerado, ocho días después de trasplante el número de nudos por planta fue de 11 y hasta emisión de botón floral fue de 28,9 nudos por

planta. bajo condiciones de invernadero se produce mayor cantidad de nudos y su aparición fue constante en relación con el tiempo térmico (Figura 16).

Figura 17

Relación número de nudos vs. Tiempo térmico (°C) aparición de botón floral



Fuente. Autoría Propia

Considerando las T_b , la gulupa requiere 1.146 horas de calor desde el trasplante hasta llegar a emisión botón floral (Figura 17). Este resultado se determinó como la suma de la diferencia entre la temperatura promedio y la T_b , con la temperatura media calculada como la

media de las temperaturas mínimas y máximas diarias, lo cual concuerda con lo indicado por (Mayorga et al., 2020), donde se han determinado los tiempos térmicos para 4 estados fenológicos de la curubá y los grados días de crecimiento (GDC) bajo dos condiciones ambientales (2006 msnm), una zona alta (2498 msnm) en el municipio de Pasca Cundinamarca.

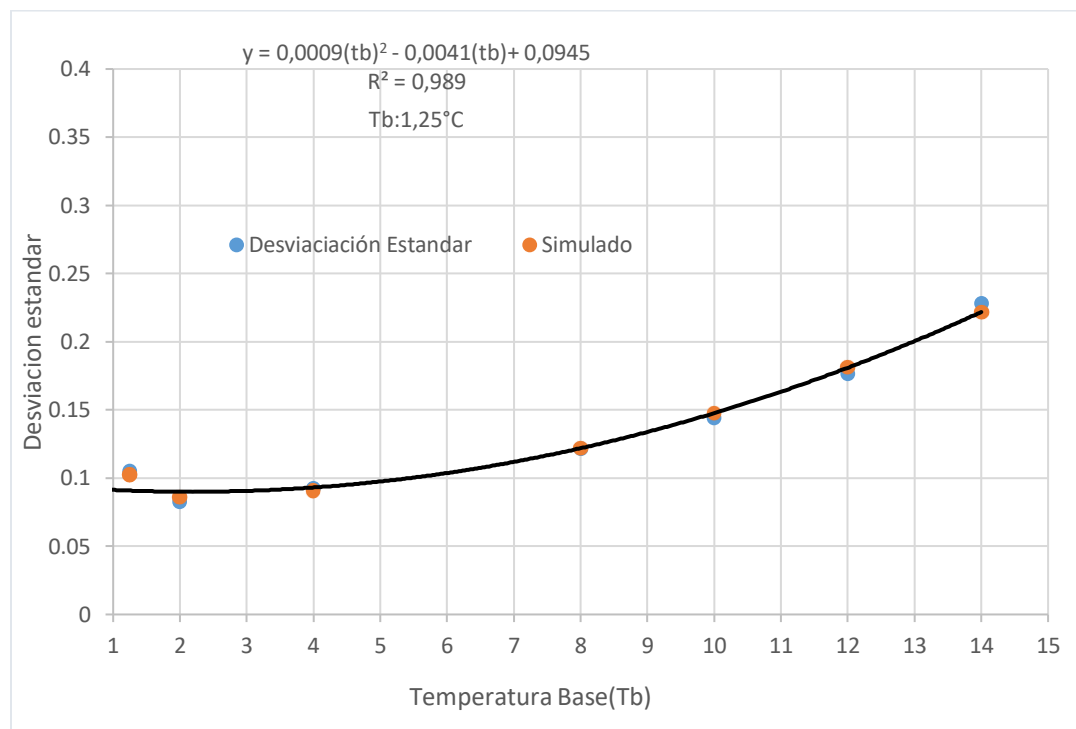
La temperatura base de crecimiento de las ramas primarias fue de $4,3^{\circ}\text{C}$, acumulando $1,204\pm 69$ (GDC) botones florales $3,1^{\circ}\text{C}$ acumulando 532 ± 11 GDC y frutos de $0,01^{\circ}\text{C}$, el tiempo térmico fue de $1,456\pm 224$ GDC. En la zona inferior las plantas acumularon más grados día de crecimiento. La temperatura promedio de la zona baja es de $16,4^{\circ}\text{C}$ y de la zona alta es de $19,4^{\circ}\text{C}$.

Emisión de Botón Floral a Floración

La determinación de la temperatura base se utilizó con la mínima desviación estándar de los datos de temperatura promedias con respecto a las temperaturas base asignadas en el tiempo entre el botón y la apertura florales, los resultados se presentan en la Figura 18.

Figura 18

Ajuste para la determinación de la temperatura base (Tb) para la aparición de floración.



Fuente. Autoría Propia

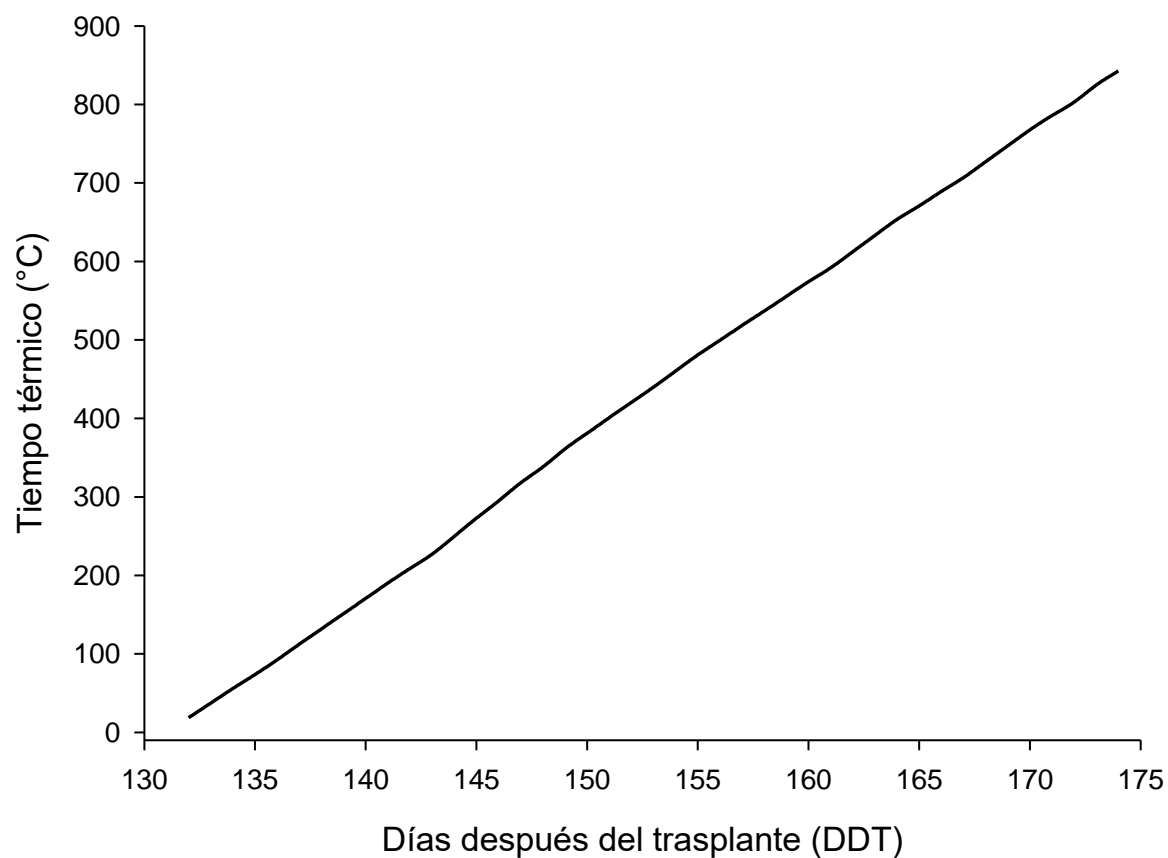
Según lo representando en la (Figura 18), se presenta una relación entre la desviación estándar y la Tb, la curva negra representa un modelo ajustado a los datos siguiendo una tendencia cuadrática y el coeficiente de determinación (R^2) indica que este modelo explica muy bien los datos (98.9%). La temperatura base determinada para floración es de 1,25 °C grados Celsius.

Un comportamiento similar fue citado por López et al., (2010), para la aparición de floración de botón floral a floración fue de 2,89°C y de flor ha cuajado de fruto 3,04°C. Así mismo para cada una de las diferentes fases del cultivo de feijoa se requiere 196 Grados días de

crecimiento (GDC) y para ir de anthesis ha cuajado de fruto se requiere 2307 grados días de crecimiento (GDC).

Figura 19

Tiempo térmico en función a los días después de trasplante (DDT) en floración.



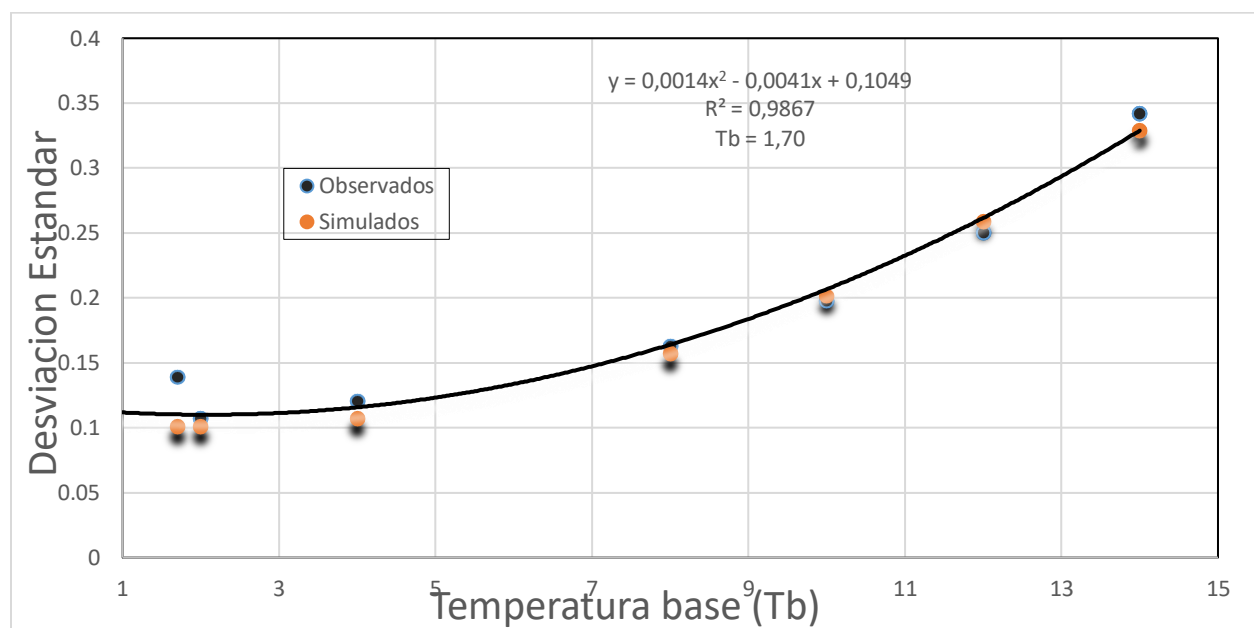
Fuente. Autoría Propia

En la figura 19 se observa un comportamiento lineal en la acumulación de los grados hasta alcanzar la floración con un TT de 842,45 grados día de calor.

Floración a Cosecha

Figura 20

Determinación de la temperatura base (Tb) flor hasta fruto cosecha.



Fuente. Autoría Propia

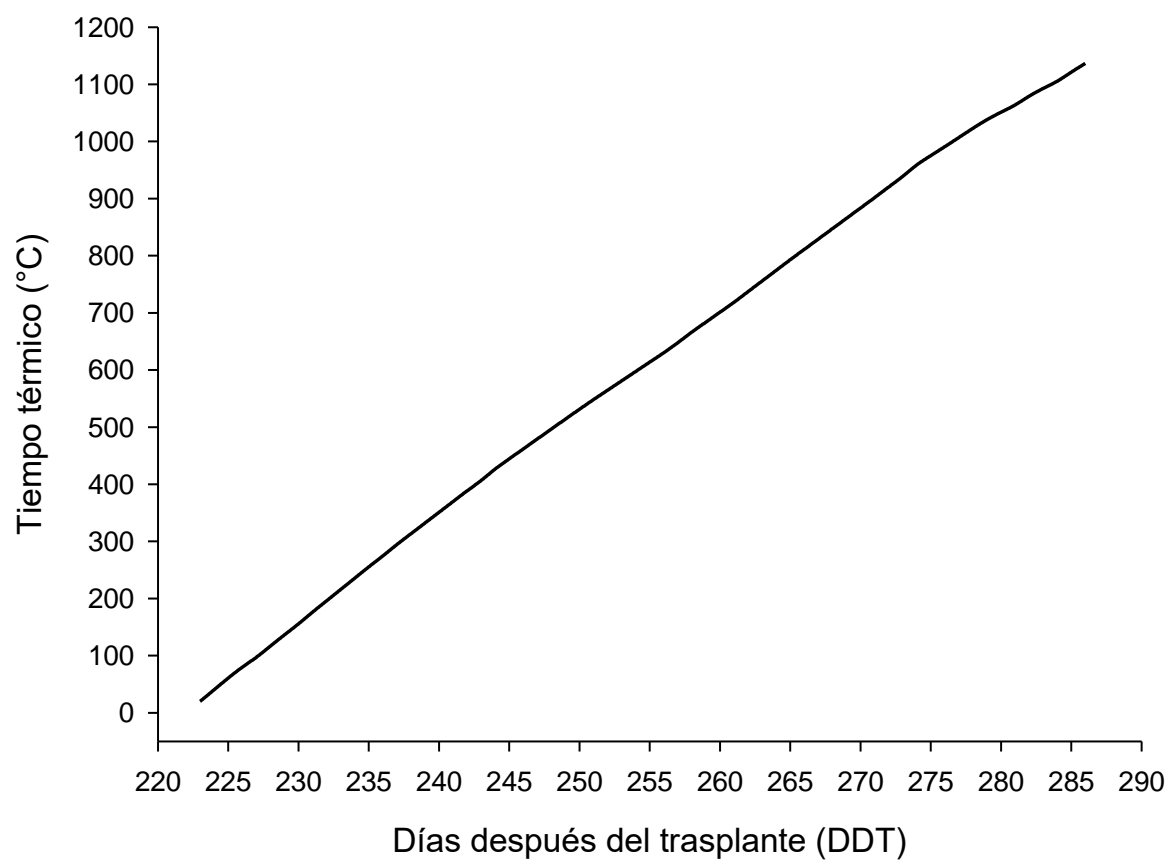
En la (Figura 20) la grafica muestra una relación entre la desviación estándar y la temperatura Base para la cosecha de los frutos, la curva tiene forma de u, lo que indica que la desviación estándar primero disminuye al aumentar la temperatura base, alcanza un mínimo y luego vuelve a aumentar. Se requiere una Tb de 1,7 ° C.

El TT de esta investigación es similar a la reportada por Salazar-Gutiérrez et al., (2013) en el cultivo de trigo, la Tb oscilo entre 3,1 y 8,1 ° C, 10,6 a 18,4 ° C y 1,6 a 8,4. Así mismo los GDC vario entre 1.675 y 2.936° C desde que se sembró el cultivo hasta el espigado, madurez de

cosecha y siembra hasta madurez de cosecha, sin embargo, en trigo se ha utilizado la Tb de 0 independientemente de la etapa fenológica.

Figura 21

Tiempo térmico en función a los días después de trasplante (DDT) para cosecha de gulupa



Fuente. Autoría propia

Para que la planta de gulupa llegue a cosecha se requiere la acumulación de 1.136 grados días de calor (Figura 20).

En tomate Scholberg et al. (2000) encontraron que la tasa máxima de desarrollo de nudos en el tallo principal fue de 0,5 nudos/día, al momento de hacer trasplante el número de nudos fue de 3,1 y 6,3, la floración ocurrió aproximadamente 4 semanas después de trasplante, cuando había un total de 8-10 nudos en el tallo principal. La tasa total de nudos para tomate se calculó graficando el número de nudos formados vs. tiempo térmico.

Bignami et al. (1999) estimó la temperatura base para dos cultivares de olivo para la fase de botón a aparición de la flor, los valores obtenidos fueron 3,5°C y 4,9°C. Las temperaturas base estimadas fueron utilizadas para calcular la adición del calor para florecer y el tiempo en el cual la acumulación del calor comenzó comparada con temperaturas de 7°C y 12,5°C. El coeficiente de variación observado para los cálculos de temperatura base fue bajo.

Recientemente, se ha considerado que las observaciones en campo son más confiables en la predicción de las respuestas fenológicas de las plantas al cambio climático, que los experimentos bajo condiciones controladas (Wolkovich et al., 2012), por lo que adelantar estudios como el presente, no solo es útil para aportar herramientas y optimizar el manejo del cultivo, sino también para aportar información necesaria para la realización de las predicciones sobre cambio climático.

En diferentes estudios sobre la fenología de especies frutales, como el maracuyá, se han establecido los tiempos térmicos utilizando una temperatura base estándar de 10°C. En un estudio realizado en Kenia los frutos de maracuyá alcanzaban su tamaño máximo y completa madurez a los 24 y 84 días después de la antesis, respectivamente (Carvajal et al.,

2012). Se empleó el método de mínima varianza, una técnica sencilla para estimar las temperaturas base (Yang et al., 1995).

En estudios realizados por otros autores en relación con la temperatura base utilizando la simulación de los nudos con el método de Euler y un modelo no lineal segmentado además utilizando diferentes valores de temperatura y minimizando el error de la varianza de los diferentes estados fenológicos para la uchuva, se estimó que la T_b para aparición de nudos es de $6,29^{\circ}\text{C}$. Asimismo se identificó que la T_b para aparición de botón floral fue de $10,83^{\circ}\text{C}$, mientras que la transición de botón a flor se registró un valor de $5,61^{\circ}\text{C}$. Así mismo se determinó que la temperatura base para el cambio de flor a fruto fue de $10,20^{\circ}\text{C}$, y para la fase de aparición del primer fruto hasta su madurez se estableció en $1,89^{\circ}\text{C}$ (Salazar, 2006)

Salazar et al. (2006), trabajando en uchuva en los trópicos de gran altitud, encontraron una tasa de aparición de nudos de $0,35$ nudos día^{-1} a $21,3^{\circ}\text{C}$. Un estudio local realizado por Angulo et al. (2006) encontró una tasa de aparición de nudos de $0,17$ nudos día^{-1} a 18 plantas de Lulo. Se han llevado a cabo estudios sobre las tasas de aparición de hojas en otros cultivos de solanáceas, como la patata (*Solanum tuberosum* L.) y manzana soda tropical (*Solanum viarum* Dunal). Por su parte, Fleisher et al. (2006) modelaron la tasa de aparición de hojas de la papa utilizando dos enfoques diferentes. La tasa de aparición de hojas fue de $0,71$ hojas el día^{-1} para las plantas en una cámara de crecimiento con una concentración de CO_2 de 370 mmolmol^{-1} y un régimen de temperatura de $20/15$ C (día/noche). (Pulido et al., 2008).

Conclusiones

Se evidencio un rápido crecimiento de las plantas en condiciones de invernadero a los 120,87 días, la planta alcanzó el sistema de tutorado con un estadio 3 en su desarrollo. Luego a los 9 meses después de trasplante (DDT) se obtuvo cosecha, la cual se encontraba en un estado 8 de desarrollo.

La temperatura base (Tb) determinada para aparición de nudos fue de 13,53°C, con un tiempo térmico (TT) de 1146°C. La Tb determinado para la floración fue de 1,25°C, con un tiempo térmico (TT) de 842.45°C y la Tb determinado para cosecha fue de 1,7°C con un tiempo térmico (TT) de 1. 136. Esta temperatura base es crucial, ya que indica que la planta requiere un cierto nivel de calor por encima de 1,7°C para alcanzar la madurez del fruto y estar lista para la cosecha.

Predecir los días de emisión botón floral, floración y cosecha basándose en la acumulación de los GDC acumulada por encima de una temperatura base particular de la diferente fase puede ser valioso para gestionar el cultivo, incluyendo decisiones sobre fertilización, riego, tratamientos foliares, planificación de la cosecha y otras prácticas relacionadas con las diferentes etapas fenológicas del cultivo.

Estos resultados implican que la fecha de cosecha se puede predecir con éxito utilizando GDC con base en la Tb estimado para cada etapa de desarrollo de la planta.

Recomendaciones

Mantener una comunicación constante con productores de gulupa en la sabana de Bogotá para recibir retroalimentación sobre el desempeño del modelo en condiciones reales de cultivo y adaptar el modelo a sus necesidades específicas.

Se sugiere desarrollar un modelo fenológico utilizando un lenguaje interactivo, amigable, flexible y fácil de comprender que incorpore información adicional como bases de datos con información climática, edáfica etc.

Referencias Bibliográficas

- Agronet. (2022). *Estadísticas*. Agronet.
<https://www.agronet.gov.co/estadistica/Paginas/home.aspx?cod=1#>
- Ángel-Coca, C., Nates-Parra, G., Ospina-Torres, R., Ortiz, C. D. M., & Amaya-Márquez, M. (2011). Floral and reproductive biology of the “gulupa” *Passiflora edulis* Sims f. *edulis*. *Caldasia*, 33(2), 433–451. http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0366-52322011000200009&script=sci_arttext
- Anzanello, R., & de Christo, M. C. (2019). Lower base temperature, thermal time and grapevine phenology and kiwi cultivars. *Revista de Ciencias Agroveterinarias*, 18(3), 313–322.
<https://doi.org/10.5965/223811711832019313>
- Archontoulis, S., & Miguez, F. (2015). Nonlinear regression models and applications in agricultural research. *Agronomy Journal*, 107(2), 786–798.
<https://doi.org/10.2134/agronj2012.0506>
- Arevalo, E., Diaz, A. L., Galindo, J. R., & Rivero, M. R. (2011). *Manejo de problemas fitosanitarios del cultivo de gulupa (Passiflora edulis Sims.)*.
<http://www.baansuantippawan.com/eng/catalog.php?idp=24>
- Arista-Cortes, J., Nolasco, A. Q., Bertha, S., Zamora Morales, P., Mengelberg, R. B., Sonder, K., & Lugo Espinosa, O. (2018). Temperaturas base y grados días desarrollo de 10 accesiones de maíz de México. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 9(5), 1023-1033.
https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2007-09342018000501023&script=sci_arttext
- Baker, J. T., Leskovar, D. I., Reddy, V. R., & Dainello, F. J. (2001). A simple phenological model of muskmelon development. *Annals of Botany*, 87(5), 615–621.
<https://doi.org/10.1006/anbo.2001.1382>

- Bastidas, D. A., Guerrero, J. A., & Wyckhuys, K. (2013). Pesticide residues in passifloras crops in regions of high production in Colombia. *Revista Colombiana de Química*, 42(2), 263–281.
http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0120-28042013000200005&script=sci_abstract&tlng=en
- Bermeo Escobar, L. P. (2021). Evaluación de la influencia del grado de madurez de la gulupa (*Passiflora edulis* Sims) sobre la aceptación sensorial en productos alimenticios. *Enfoque UTE*, 12(1), 29–43. <https://doi.org/10.29019/enfoqueute.554>
- Bujdoso, G., Soelimani, A., Illes, B., & Hassani, D. (2022). Base Temperature Comparisons for Leafing Date, Pistillate Flower Receptivity, and Pollen Shedding in Persian Walnut. *Erwerbs-Obstbau*, 64(4), 549–558. <https://doi.org/10.1007/s10341-022-00724-4>
- Cárdenas-Pira, W. T., Torres-Moya, E., Magnitskiy, S., & Melgarejo, L. M. (2021). Physiological Responses of Purple Passion Fruit (*Passiflora Edulis* Sims F. *Edulis*) Plants to Deficiencies of the Macronutrients, Fe, Mn, and Zn during Vegetative Growth. *International Journal of Fruit Science*, 21(1), 344–358.
<https://doi.org/10.1080/15538362.2021.1890673>
- Carr, M. K. V. (2013). The water relations and irrigation requirements of passion fruit (*passiflora edulis* Sims): A review. In *Agriculture Experimental: Vol. 49(4)*, (Issues 585-596.).
<https://doi.org/10.1017/S0014479713000240>
- Carvajal, V., Aristizábal L, M., & Vallejo, A. (2012). Caracterización del crecimiento del fruto de la gulupa (*Passiflora edulis* f. *edulis* SIMS.). *Agron. (Colombia)*, 20(1), 77–88.
[http://agronomia.ucaldas.edu.co/downloads/Agronomia20\(1\)_8.pdf](http://agronomia.ucaldas.edu.co/downloads/Agronomia20(1)_8.pdf)

- Chaves-Barrantes, N. F., & Gutiérrez-Soto, M. V. (2017). Respuestas al estrés por calor en los cultivos. II. Tolerancia y tratamiento agronómico. *Agronomía Mesoamericana*, *28*(1), 255–271. <https://doi.org/10.15517/am.v28i1.21904>
- Chu, Y.-C., & Chang, J.-C. (2022). Codification and description of the phenological growth stages of red-fleshed pitaya (*Hylocereus polyrhizus*) using the extended BBCH scale- with special reference to spines, areole, and flesh color development under field conditions. *Scientia Horticulturae*, *293*, 110752. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.110752>
- Crimmins, T. M., Crimmins, M. A., Gerst, K. L., Rosemartin, A. H., & Weltzin, J. F. (2017). USA National Phenology Network's volunteer-contributed observations yield predictive models of phenological transitions. *Plos One*, *12*(8), e0182919. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0182919>
- Criollo-Escobar, H., Moncayo-Palacios, M.-F., & Lagos-Burbano, T. C. (2020). Phenology and growth of lulo (*Solanum quitoense* Lam) plants grafted onto *Solanum hirtum* Vahl. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, *14*, (3) (291–300). <https://doi.org/10.17584/rcch.2020v14i3.11005>
- Dai, Y., Li, M., Li, H., Xia, L., & Zhang, S. (2024). Phytohormone-regulated UV-B photomorphogenesis and acclimation. *Environmental and Experimental Botany*, *224*. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2024.105830>
- Davidenco, V., Vega, C. R. C., Piccardi, M. B., & Argüello, J. A. (2015). Development in *Origanum* ssp.: A simple phenological scale to determine thermal time requirements to critical reproductive events. *Scientia Horticulturae*, *186*, 70–76. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.02.012>

- de Pinho Sousa, D., Frare, J. C. V., da Silva Farias, V. D., Nunes, H. G. G. C., Martins, M. S., de Lima, A. F. T., Tavares, L. B., Costa, D. L. P., de Lima, M. J. A., de Carvalho, C. J. R., de Carvalho, C. J. R., & de Oliveira Ponte, P. J. (2022). Acai palm base temperatures and thermal time requirements in eastern Amazon. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira*, 57. <https://doi.org/10.1590/S1678-3921.pab2022.v57.01667>
- De-Armas-Acosta, R. J., Martín Gómez, P. F., & Rangel Díaz, J. E. (2022). Gulupa (*Passiflora edulis* Sims), su potencial para exportación, su matriz y su firma de maduración: una revisión. *Ciencia y Agricultura*, 19(1), 15–27. <https://doi.org/10.19053/01228420.v19.n1.2022.13822>
- Elnesr, M. N., & Alazba, A. A. (2016). An integral model to calculate the growing degree-days and heat units, a spreadsheet application. *Computers and Electronics in Agriculture*, 124, 37–45. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2016.03.024>
- Fernández, M. E., Gyenge, J., & Reque, J. A. (2008). Una herramienta informática para la enseñanza integrada de conceptos de ecofisiología de especies leñosas y gestión forestal. *Interciencia*, 33(12), (897–902). https://ve.scielo.org/scielo.php?pid=S0378-18442008001200008&script=sci_abstract&tlng=en
- Ferrer-Blanco, C., Hormaza, J. I., & Lora, J. (2022). Phenological growth stages of “pawpaw” [*Asimina triloba* (L.) Dunal, Annonaceae] according to the BBCH scale. *Scientia Horticulturae*, 295, (110853). <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.110853>
- Fischer, G., Casierra-Posada, F., & Piedrahíta, W. (2009). *Ecofisiología de las especies pasifloráceas cultivadas en Colombia. Cultivo, poscosecha y comercialización de las*

- pasifloráceas en Colombia: maracuyá, granadilla, gulupa y curuba. Sociedad Colombiana de Ciencias Hortícolas, Bogotá, 45-68.*
- Fischer, G., & Miranda, D. (2021). Review on the ecophysiology of important andean fruits: *Passiflora L. Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín, 74(2)*, 9471–9481.
<https://doi.org/10.15446/rfnam.v74n2.91828>
- Flórez, L. (2012). *Caracterización fisiológica y bioquímica del fruto de gulupa (Passiflora edulis Sims) bajo tres ambientes contrastantes [Tesis de maestría, Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá]. Repositorio Institucional UNAL.*
<https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/20158>
- Fonseca, A. M. A., Geraldí, M. V., Junior, M. R. M., Silvestre, A. J. D., & Rocha, S. M. (2022). Purple passion fruit (*Passiflora edulis f. edulis*): A comprehensive review on the nutritional value, phytochemical profile and associated health effects. *Food Research International, 160*, 111665. <https://doi.org/10.1016/J.FOODRES.2022.111665>
- Fu, Y. H., Campioli, M., Van Oijen, M., Deckmyn, G., & Janssens, I. A. (2012). Bayesian comparison of six different temperature-based budburst models for four temperate tree species. *Ecological Modelling, 230*, 92–100.
<https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2012.01.010>
- García, J. (2016). *Fenología y herbívoros plaga del cultivo de curuba en Pasca, Cundinamarca [tesis de doctorado dissertation, Universidad Nacional de Colombia]. Repositorio Institucional UNAL.* <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/56550>
- Hernández, A., & Bernal, Rodrigo. (2000). Lista de Especies de Passifloraceae de Colombia. revista de investigación. 1(3),320-335. In *Biota Colombiana* (Vol. 1, Issue 3).
<https://www.redalyc.org/pdf/491/49110302.pdf>

- Hincapié, J. J., & Mejía, P. A. (2019). Determinación de curvas de extracción en la gulupa (*Passiflora edulis* f. *edulis* Sims) en el municipio de Sonsón, Antioquia. *Encuentro SENNOVA Del Oriente Antioqueño*, *4*(1), 47–61.
<https://revistas.sena.edu.co/index.php/Encuentro/article/view/2056>
- Höhn, D., Peil, R. M. N., Marchi, P. M., Grolli, P. R., Trentin, R., & Shaun, W. S. (2023). Base temperature estimates for lisianthus cultivars grown in different planting seasons | Estimativa da temperatura base para cultivares de lisianto em diferentes épocas de plantio. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira*, *58*. <https://doi.org/10.1590/S1678-3921.pab2023.v58.03447>
- Jiménez, A. M., Sierra, C. A., Rodríguez-Pulido, F. J., González-Miret, M. L., Heredia, F. J., & Osorio, C. (2011). Physicochemical characterisation of gulupa (*Passiflora edulis* Sims. fo *edulis*) fruit from Colombia during the ripening. *Food Research International*, *44*(7), 1912–1918. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2010.11.007>
- Li, Q. Y., Yin, J., Liu, W. D., Zhou, S. M., Li, L., Niu, J. S., Niu, H. bin, & Ma, Y. (2012). Determination of Optimum Growing Degree-Days (GDD) Range Before Winter for Wheat Cultivars with Different Growth Characteristics in North China Plain. *Journal of Integrative Agriculture*, *11*(3), 405–415. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(12\)60025-2](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(12)60025-2)
- Liu, Li, H., Yuan, C., Huang, Y., Chen, Y., & Liu, J. (2015). Identification of phenological growth stages of sugar apple (*Annona squamosa* L.) using the extended BBCH-scale. *Scientia Horticulturae*, *181*, 76–80. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2014.10.046>
- Liu, Y., Tang, J., & Zhou, Y. (2021). Identification and description of a new pathogen causing flower dry rot on *passiflora edulis* in China. *Plant Disease*, *105*(7).
<https://doi.org/10.1094/PDIS-10-20-2130-RE>

- López, M. Á., Chaves, B., Flórez R, V. J., & Salazar, M. R. (2010). Modelo de aparición de nudos en clavel (*Dianthus caryophyllus* L.) cv. Delphi cultivado en sustratos. *Agronomía Colombiana*, 28(1), 47–54.
http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-99652010000100006&lng=en&nrm=iso&tlng=es
- Lozano-Montaña, P. A., Sarmiento, F., Mejía-Sequera, L. M., Álvarez-Flórez, F., & Melgarejo, L. M. (2021). Physiological, biochemical and transcriptional responses of *Passiflora edulis* Sims f. *edulis* under progressive drought stress. *Scientia Horticulturae*, 275.
<https://doi.org/10.1016/j.scienta.2020.109655>
- Mayorga, Fischer, G., Melgarejo, L. M., & Parra-Coronado, A. (2020). Growth, development and quality of *Passiflora tripartita* var. *Mollissima* fruits under two environmental tropical conditions. *Journal of Applied Botany and Food Quality*, 93, 66 – 75.
<https://doi.org/10.5073/JABFQ.2020.093.009>
- Mayorga, J. (2016). *Caracterización ecofisiológica de curuba (Passiflora tripartita var. mollissima) en dos condiciones ambientales. [Tesis de maestría, Universidad Nacional de Colombia]. Repositorio UNAL.* <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/59400>
- Medina, K., & Galindo, L. (2019). *Determinación del patógeno causante de “la secadera” en cultivos de pasifloras y su posible control biológico en fincas, municipio de pasca cundinamarca [Trabajo de grado, Universidad colegio mayor de cundinamarca]. Repositorio Unicolmayor.* <https://repositorio.unicolmayor.edu.co/handle/unicolmayor/3632>
- Meier, U. (2018). Estadios de las plantas mono- y dicotiledóneas, BBCH Monografía. *Centro Federal de Investigaciones Biológicas Para Agricultura y Silvicultura.*
<https://doi.org/10.5073/20180906-075743>

- Melgarejo, L. M. (2012). (Ed). *Caracterización ecofisiológica de la gulupa (Passiflora edulis Sims) bajo tres condiciones ambientales en el departamento de Cundinamarca*. Editorial Universidad Nacional de Colombia.
- Mendes, D. S., Pereira, M. C. T., Nietzsche, S., Silva, J. F., Rocha, J. S., Mendes, A. H., Xavier, H. R. A., & Dos Santos, R. C. (2017). Phenological characterization and temperature requirements of *annona squamosa* l. In the Brazilian semiarid region. *Anais Da Academia Brasileira de Ciencias*, 89(3), 2293–2304. <https://doi.org/10.1590/0001-3765201720170205>
- Miranda, D., Gerhard Fischer; Carranza, C., Magnitskiy, S., Casierra, F., Piedrahíta, W., & Flórez, L. E. (2009). (Ed). *Cultivo, poscosecha y comercialización de las pasifloráceas en Colombia maracuyá, granadilla, gulupa y curuba*. Editorial Sociedad Colombiana de Ciencias Hortícolas.
- Muñoz-Ordoñez, F. J., Gutiérrez-Guzmán, N., Hernández-Gómez, M. S., & Fernández-Trujillo, J. P. (2023). The climatic conditions limit fruit production and quality in gulupa (*Passiflora edulis* Sims f. *edulis*) under integrated fertilization. *South African Journal of Botany*, 153, 147–156. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2022.11.043>
- Nunes, N. A. S., Leitea, A. V., & Castrob, C. C. (2016). Fenologia, biologia reproductiva e graus-dias da videira “Isabel” (*Vitis labrusca*, Vitaceae) cultivada no nordeste do Brasil. *Brazilian Journal of Biology*, 76(4), 975–982. <https://doi.org/10.1590/1519-6984.05315>
- Ocampo, J., & Wyckhuys, K. (2012). (Ed). *Tecnología para el cultivo de la Gulupa en Colombia (Passiflora edulis f. edulis Sims)*. Editorial centro de Bio-sistemas de la Universidad Jorge Tadeo Lozano, CIAT y ministerio de agricultura y desarrollo Rural, República de Colombia. <http://hdl.handle.net/20.500.12010/1876>

- Ontivero, M., Rivata, R., Delfino, R., Pablo, P., Ramírez, F., Ortega, J., Mansilla, D., Ortega, M., Mansilla, D., Luciano, G., & Hiza, L. (2022). *Fruticultura: Principios fundamentales*. Universidad Nacional de Cordoba. <http://hdl.handle.net/11086/28580>
- Osborne, C. P., Chuine, I., Viner, D., & Woodward, F. I. (2000). Olive phenology as a sensitive indicator of future climatic warming in the Mediterranean. *Plant, Cell and Environment*, 23(7), 701 – 710. <https://doi.org/10.1046/j.1365-3040.2000.00584.x>
- Osorio Bermudez, J. M. (2019). *Evaluación de la residualidad de pesticidas en fruta y contaminación por metales pesados en suelo y pulpa de diferentes sistemas productivos de gulupa (Passiflora edulis sim) [Tesis de maestria, Universidad Nacional de Colombia]*. Repositorio institucional UNAL. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/81222>
- Paine, C. E. T., Marthews, T. R., Vogt, D. R., Purves, D., Rees, M., Hector, A., & Turnbull, L. A. (2012). How to fit nonlinear plant growth models and calculate growth rates: An update for ecologists. *Methods in Ecology and Evolution*, 3(2), 245–256. <https://doi.org/10.1111/j.2041-210X.2011.00155.x>
- Palacio, F. X., Cataudela, J. F., Montalti, D., & Ordano, M. (2021). Do frugivores exert selection on fruiting phenology? Potential scenarios across three plant populations of a Neotropical vine, *Passiflora caerulea*. *Evolutionary Ecology*, 35(4), 555–574. <https://doi.org/10.1007/s10682-021-10121-0>
- Parent, B., Turc, O., Gibon, Y., Stitt, M., & Tardieu, F. (2010). Modelling temperature-compensated physiological rates, based on the co-ordination of responses to temperature of developmental processes. *Journal of Experimental Botany*, 61(8), 2057–2069. <https://doi.org/10.1093/jxb/erq003>

- Parra-Coronado, A., Fischer, G., & Chaves-Cordoba, B. (2015). Tiempo térmico para estados fenológicos reproductivos de la freijoa (*Acca Sellowiana* (O. Berg) Burret. *Acta Biologica colombiana*, *20(1)* 163-173. <https://doi.org/doi: http://dx.doi.org/10.15446/abc.v20n1.43390>
- Pereira, Z. C., Cruz, J. M. D. A., Corrêa, R. F., Sanches, E. A., Campelo, P. H., & Bezerra, J. D. A. (2023). Passion fruit (*Passiflora* spp.) pulp: A review on bioactive properties, health benefits and technological potential. *Food Research International*, *166*. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2023.112626>
- Pérez, L. (2013). *Evaluación ecofisiológica de gulupa *Passiflora edulis* SIMS, bajo tres condiciones ambientales [tesis de maestría Universidad Nacional de Colombia]*. *Repositorio Institucional UNAL*. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/51075>
- Porter, J. R., & Delecolle, R. (1988). Interaction of temperature with other environmental factors in controlling the development of plants. *Symposia of the Society for Experimental Biology*, *42*, 133 – 156. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-0024153225&partnerID=40&md5=bf13428a0d70bc1ffda528a69a425216>
- Pulido, S., Bojacá, C. R., Salazar, M., & Chaves, B. (2008). Node appearance model for Lulo (*Solanum quitoense* Lam.) in the high-altitude tropics. *Biosystems Engineering*, *101(4)*, 383–387. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2008.09.009>
- Qian, W., Hu, Y., Lin, X., Yu, D., Jia, S., Ye, Y., Mao, Y., Yi, L., & Gao, S. (2023). Phenological Growth Stages of *Abelmoschus manihot*: Codification and Description According to the BBCH Scale. *Agronomy*, *13(5)*. <https://doi.org/10.3390/agronomy13051328>
- Rendón, J. S., Ocampo, J., & Urrea, R. (2013). Estudio sobre polinización y biología floral en *Passiflora edulis* f. *edulis* Sims, como base para el premejoramiento genético. *Acta*

Agronómica, 62(3), 232–241. http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0120-28122013000300006&script=sci_arttext

Rivas, R. (2021). *Descripción de las fases fenológicas iniciales del cultivo de Lupino (Lupinus mutabilis, Sweet), de las variedades INIAP-451 (Guaranguito), INIAP-450 (Andino) y su tiempo fisiológico. Salache – Cotopaxi 2021* [Tesis de pregrado, Universidad Técnica de cotopaxi]. *Repositorio digital Universidad Universidad Técnica de Cotopaxi (UTC)*.

<https://repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/8070/1/PC-002105.pdf>

Rocha-Arroyo, J. L., Salazar-García, S., Bárcenas-Ortega, A. E., González-Durán, I. J. L., & Cossio-Vargas, L. E. (2011). Fenología del aguacate “Hass” en Michoacán. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 2(3), 303–316.

http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342011000300001&lng=es&nrm=iso&tlng=es

Rodríguez, A., Gelape, F., Parra, M., & Costa, M. (2020). *Pasifloras especies cultivadas en el mundo. Editorial proImpress*.

<https://repositorio.unicolmayor.edu.co/handle/unicolmayor/3632>

Rodríguez-castillo, N., & Melgarejo, L. M. (2015). *Caracterización fenológica de granadilla (Passiflora ligularis Juss) crecida a diferentes altitudes en el departamento del Huila. Editorial Universidad Nacional de Colombia*.

Rodríguez-León, A. K., Rodríguez Carlosama, A., Melgarejo, L. M., Hernández, M. S., Miranda Lasprilla, D., Fischer, G., & Martínez, O. (2015). *Caracterización fenológica de granadilla (Passiflora ligularis Juss) crecida a diferentes altitudes en el departamento del huila*.

- Romero, A., Camargo, A., Ramirez, O. D., Arenas, P. A., & gallego, A. M. (2022). A Crop Modelling Strategy to Improve Cacao Quality and Productivity. *Plants*, *11*(2).
<https://doi.org/10.3390/plants11020157>
- Ruiz-Corral, J. A., Flores López, H. E., R. D. J. L., & González Eguiarte, D. R. (2002). *Temperaturas cardinales y duración del ciclo de madurez del híbrido de maíz h-311 en condiciones de temporal. Agrocienca*, *36*(5), 569-577.
<https://www.redalyc.org/pdf/302/30236508.pdf>
- Salazar, M. R. (2006). *Un modelo simple de producción potencial de uchuva (Physalis peruviana L.) [tesis de doctorado, Universidad Nacional de Colombia] Repositorio Institucional UNAL*. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/57128>
- Salazar-Gutierrez, M. R., Johnson, J., Chaves-Cordoba, B., & Hoogenboom, G. (2013). Relationship of base temperature to development of winter wheat. *International Journal of Plant Production*, *7*(4), 741-762. In *International Journal of Plant Production* (Vol. 7, Issue 4).
- Santos, C. H. B., De Oliveira, E. J., Laranjeira, F. F., De Jesus, O. N. D., & Girardi, E. A. (2016). Growth, fruit set, and fusariosis reaction of yellow passion fruit grafted onto passiflora spp | Crescimento, frutificação e reação a fusariose em maracujazeiro azedo enxertado em Passiflora spp. *Revista Brasileira de Fruticultura*, *38*(3). <https://doi.org/10.1590/0100-29452016711>
- Scholberg, J., McNeal, B. L., Jones, J. W., Boote, K. J., Stanley, C. D., & Obreza, T. A. (2000). Growth and canopy characteristics of field-grown tomato. *Agronomy Journal*, *92*(1), 152–159. <https://doi.org/10.2134/agronj2000.921152x>

- Shahbani, N. S., Ramaiya, S. D., Saupi, N., Bujang, J. S., & Zakaria, M. H. (2020). Reproductive biology and fruit setting of *Passiflora quadrangularis* L. (Giant Granadilla) in East Malaysia. *Pertanika Journal of Tropical Agricultural Science*, 43(4), 637–652.
<https://doi.org/10.47836/PJTAS.43.4.16>
- Steinmaus, S. J., Prather, T. S., & Holt, J. S. (2000). Estimation of base temperatures for nine weed species. *Journal of Experimental Botany*, 51(343), 275–286.
<https://doi.org/10.1093/jexbot/51.343.275>
- Taghavi, T., Rahemi, A., & Suarez, E. (2022). Development of a uniform phenology scale (BBCH) in hazelnuts. *Scientia Horticulturae*, 296.
<https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.110837>
- Unión Europea. (2005). Reglamento (CE) n° 396/2005 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de febrero de 2005 relativo a los límites máximos de residuos de plaguicidas en alimentos y piensos de origen vegetal y animal y que modifica la Directiva 91/414/CEE del Consejo Texto pertinente a efectos del EEE. *Diario Oficial de La Unión Europea*.
<http://data.europa.eu/eli/reg/2005/396/oj>
- Vanegas, M. V. (2021). *Estructura poblacional y fenología de espeletia argétea H. & B. en campos cultivados del páramo de cruz verde (Cundinamarca, Colombia)*.
- Wang, Abid, M. A., Qanmber, G., Askari, M., Zhou, L., Song, Y., Liang, C., Meng, Z., Malik, W., Wei, Y., Wang, Y., Cheng, H., & Zhang, R. (2022). Photomorphogenesis in plants: The central role of phytochrome interacting factors (PIFs). *Environmental and Experimental Botany*, 194, 104704. <https://doi.org/10.1016/J.ENVEXPBOT.2021.104704>
- Wang, Z.-B., Chen, J., Tong, W.-J., Xu, C.-C., & Chen, F. (2018). Impacts of Climate Change and Varietal Replacement on Winter Wheat Phenology in the North China Plain.

International Journal of Plant Production, 12(4), 251–263. <https://doi.org/10.1007/s42106-018-0024-0>

Yang, S., Logan, J., & Coffey, D. L. (1995). Mathematical formulae for calculating the base temperature for growing degree days. *Agricultural and Forest Meteorology*, 74(1–2), 61–74. [https://doi.org/10.1016/0168-1923\(94\)02185-M](https://doi.org/10.1016/0168-1923(94)02185-M)

Yun, K., Hsiao, J., Jung, M. P., Choi, I. T., Glenn, D. M., Shim, K. M., & Kim, S. H. (2017). Can a multi-model ensemble improve phenology predictions for climate change studies? *Ecological Modelling*, 362, 54–64. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2017.08.003>

Apéndice

Apéndice A

*Siembra de plántulas de Gulupa (*Passiflora edulis f. edulis*) en bolsas de 30 L en sustrato inerte*



Nota. Trasplante de gulupa. Fuente. Autoría Propia

Apéndice B

Sistema de tutorada espaldera sencilla



Nota. Se instaló un Sistema tutorado espaldera sencilla el cual presenta un alambre a una sola línea para conducción de ramas primarias. *Fuente.* Autoría Propia

Apéndice C

Toma de datos



Nota. Mediciones de plantas de gulupa (altura, # de hojas y # Nudos) se realiza semanalmente.

Apéndice D

Podas en Gulupa



Nota. Podas de formación, mantenimiento y producción. *Fuente.* Autoría propia

Apéndice E

Medición diámetro polar y ecuatorial



Nota. Medición diámetro polar y ecuatorial crecimiento botón floral y fruto con calibrador pie de rey. *Fuente.* Autor

Apéndice F

Fertilización foliar



Nota. Aplicación de fertilización foliar con Microfoliar NPK. *Fuente.* Autor

Apéndice G

Fertilización edáfica Manual con macro y micronutrientes



Nota. Aplicación manual de fertilización edáfica con macro y micronutrientes. *Fuente.* Autor

Apéndice H

Control de Fusarium, trips y araña roja



Nota. Aplicación de fungicida Amistar Top en drench y exalt foliar. *Fuente* Autor

Apéndice H

Participación congreso internacional CICCA 2023



Nota. Participación ponencia de proyecto titulado Determinación de las etapas de crecimiento fisiológico en el cultivo gulupa (*passiflora edulis* f. *Edulis*) en condiciones de invernadero de acuerdo con la escala **bbch**.