



**Universidad  
de La Laguna**

**ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (EPSI)**

**SECCIÓN DE INGENIERÍA AGRARIA**

Grado en Ingeniería Agrícola y del Medio Rural

---

**EVALUACIÓN DE LA INFLUENCIA DE LA  
RELACIÓN FUENTE-SUMIDERO EN LA CALIDAD  
DEL FRUTO DE PAPAYA (*Carica papaya* L.)**

---

**David Florido Pulido**

**La Laguna, julio 2024**



**AUTORIZACIÓN DE PRESENTACIÓN DE TFG  
INGENIERÍA AGRÍCOLA Y DEL MEDIO RURAL  
CURSO: 2023/2024  
CONVOCATORIA: Junio 2**

**TUTOR – COORDINADOR:** Domingo José Ríos Mesa

**TUTOR:** Vanesa Raya Ramallo

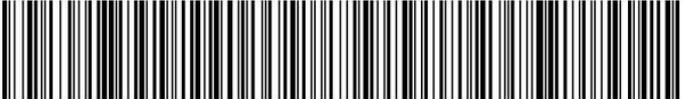
Como tutores del alumno/a David Florido Pulido en el TFG titulado: EVALUACIÓN DE LA INFLUENCIA DE LA RELACIÓN FUENTE-SUMIDERO EN LA CALIDAD DEL FRUTO DE Papaya (*Carica papaya* L.), doy/damos nuestra autorización para la presentación y defensa de dicho TFG, a la vez que confirmamos que el alumno/a ha cumplido con los objetivos generales y particulares que lleva consigo la elaboración del mismo y las normas del Reglamento de Trabajo Fin de Grado de la Escuela Politécnica Superior de Ingeniería.

En San Cristóbal de La Laguna y en la fecha señalada, firman este documento las personas que autorizan el TFG

**PRESIDENTE DE LA COMISIÓN DE TRABAJO DE FIN DE GRADO**

IMPRESO P03

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. <i>La autenticidad de este documento puede ser comprobada en la dirección: <a href="http://sede.ull.es/validacion">http://sede.ull.es/validacion</a></i>	
Identificador del documento: 6557692	Código de verificación: vFBj+FTv
Firmado por: Domingo José Ríos Mesa UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Fecha: 25/06/2024 23:58:16

Este documento ha sido firmado electrónicamente por:	
VANESA RAYA RAMALLO - COLABORADOR CIENTIFICO	Fecha: 26/06/2024 - 07:32:09
En la dirección <a href="https://sede.gobiernodecanarias.org/sede/verifica_doc?codigo_nde=0_iBUDS6A5SXhf6H_C0BOBEF-kDrMIHLi">https://sede.gobiernodecanarias.org/sede/verifica_doc?codigo_nde=0_iBUDS6A5SXhf6H_C0BOBEF-kDrMIHLi</a> puede ser comprobada la autenticidad de esta copia, mediante el número de documento electrónico siguiente:	 
El presente documento ha sido descargado el 26/06/2024 - 07:32:20	



## Agradecimientos

Al Instituto de Investigaciones Agrarias, por abrirme las puertas de sus instalaciones permitiéndome la realización del presente trabajo, y a sus grandes profesionales Paulo Cesar Hernández Cazorla y Alejandro García Talavera, por la ayuda y los conocimientos prestados.

A Vanesa Raya Ramallo, mi tutora, a quien le concedo mención especial por compartir conmigo sus conocimientos y apoyo incondicional en todas las facetas del trabajo y por ser una referente profesional para mí.

A Domingo José Ríos Mesa, por ser mi tutor académico y transmitirme siempre sus valiosos conocimientos y su entusiasmo por esta profesión, ayudándome en todo momento de forma cercana y sincera a lo largo del trabajo, al cual he tenido la suerte de tener también como docente en La Universidad de La Laguna y al que admiro como profesional.

A Jorge Hernández Rivero, que me demostró ser un gran amigo y compañero en el grado, así como un gran profesional durante su estancia en el ICIA.

A mis padres y hermana, quienes realmente conocen la dureza del camino recorrido, motivándome y apoyándome en todo momento para dedicarme a aquello que me hiciese feliz y sin los cuales llegar aquí habría sido muy difícil.

A mi pareja y amistades, por su apoyo y comprensión durante estos años de duro trabajo.



## Abreviaturas y símbolos

A	Tasa de fotosíntesis o tasa de asimilación de carbono
a+b	Suma del contenido de clorofila tipo a y tipo b
ABA	Ácido abscísico
AM	Hongos micorrízicos arbusculares
ATP	Adenosín trifosfato
B	Boro
C3	Tipo de metabolismo fotosintético (3-fosfoglicerato se forman en el ciclo de Calvin)
°C	Grados Celsius
c	cambium
C	Carbono
CA	Calcio
C <sub>4</sub> H <sub>7</sub> NO <sub>2</sub>	Ácido aminoácido alanina
Cl	Cloro
cm	Centímetro/s
CO <sub>2</sub>	Dióxido de carbono
Cu	Cobre
et al.	Y otros
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (del inglés <i>Food and Agriculture Organization</i> )
FAOSTAT	Base de datos estadísticos corporativos de la FAO (del inglés <i>Food and Agriculture Organization Corporate Statistical Database</i> )
Fe	Hierro
Fm	Fluorescencia máxima
FS	Baja calidad espectral alterada mediante pintura en aerosol



fs	Revestimiento de fibras
Fv	Fluorescencia variable
Fv/Fm	Relación que mide la eficiencia máxima potencial del Fotosistema II
g	Gramo/s
gs	Conductancia estomática
H	Hidrógeno
Ha	Hectárea/s
HL	Luz solar intensa
IA	Invertasa ácida
ICCA	Instituto Canario de Calidad Agroalimentaria
ICIA	Instituto Canario de Investigaciones Agrarias
ISTAC	Instituto Canario de Estadística
K	Potasio
Kg	Kilogramo/s
L	Litros
m	Metro
M	María
Mg	Magnesio
Mn	Manganeso
Mo	Molibdeno
N	Nitrógeno
NS	Sombra neutra
O	Oxígeno
P	Fósforo
p	Médula



PDR	Plan de Desarrollo Rural de Canarias
pe	Peridermis
ph	Floema
PDR	Plan de Desarrollo Rural
PPFD	Densidad de flujo fotosintético o densidad de fotones fotosintéticamente activo
PRSV	Virus de la Mancha Anular de la Papaya Papaya (Ring Spot Virus)
PSII	Fotosistema II
qN	Quencha no fotoquímica
qp	Quencha fotoquímica
R:FR	Relación rojo:rojo lejano
RWC	Contenido relativo de agua
S	Azufre
s	Segundo
SPAD	Medidor del índice de clorofila SPAD (Soil Plant Analysis Development)
SST	Sólidos solubles totales
T1	Tratamiento 1
t	Tonelada/s
UE	Unión Europea
ULL	Universidad de La Laguna
DPV	Déficit de presión de vapor
VPDH	Déficit de presión de vapor entre la hoja y el aire
xr	Rayos del xilema
Zn	Zinc
μmol	Micromoles



## Índice

Resumen .....	9
Abstract.....	10
1. Introducción.....	11
2. Objetivos .....	12
3. Revisión bibliográfica .....	13
3.1. Origen y distribución .....	13
3.2. Importancia.....	13
3.2.1. Situación del cultivo en el mundo.....	13
3.2.2. Situación del cultivo en España .....	14
3.2.3. Situación del cultivo en Canarias .....	14
3.4. Características botánicas .....	17
3.4.1. Tallo.....	17
3.4.2. Sistema radical .....	18
3.4.3. Hojas.....	19
3.4.4. Flores.....	19
3.4.5. Frutos .....	21
3.4.6. Semilla .....	23
3.5. Ecofisiología del cultivo .....	23
3.5.1. Factores medioambientales alteradores de la fotosíntesis que afectan la fisiología y la productividad.....	23
- Efectos de la luz, la temperatura y el déficit de presión de vapor.....	24
- Efectos del viento .....	25
- Efectos del déficit hídrico .....	26
- Efectos de la compactación del suelo y la restricción de raíces.....	26
- Efectos de los hongos micorrízicos en la productividad de la papaya .....	26
3.5.2. Expresión sexual y los efectos ambientales sobre la determinación del género.....	26
3.5.3. Equilibrio fuente-sumidero, formación natural y defoliación artificial.....	27
3.6. Cultivo de la papaya en Canarias.....	28
3.6.1 Material vegetal de mayor importancia en Canarias: tipos y cultivares .....	28
3.6.2. Técnicas de cultivo.....	29
- Propagación y trasplante .....	29
- Aclareo de flores y frutos .....	30
- Marcos y densidades de plantación .....	30
3.6.3. Requerimientos hídricos y nutritivos .....	30
3.6.4. Tipos de invernaderos.....	31
3.6.5. Plagas y enfermedades .....	32
4. Material y métodos .....	35
4.1. Descripción del ensayo .....	35
4.1.1 Ubicación del ensayo y características del invernadero .....	34
4.1.2. Material vegetal .....	34
4.1.3. Condiciones de cultivo .....	34



4.1.4. Tratamientos.....	36
4.2. Diseño experimental.....	38
4.3. Parámetros medidos .....	39
4.3.1. Parámetros climáticos .....	39
4.3.2. Parámetros de crecimiento cultivo .....	39
- Tasa de crecimiento del cultivo .....	39
- Número de hojas presentes y tasa de emisión .....	39
- Conteo y clasificación de flores.....	40
- Relación entre el número de hojas y frutos en planta (Carga de frutos por planta) .....	41
- Parámetros fisiológicos (medida de fotosíntesis, contenido en clorofila y pigmentos) .....	41
4.3.4. Parámetros de producción y calidad de fruta .....	42
- Producción .....	43
- Calibre.....	43
- Análisis de los sólidos solubles totales, acidez titulable y pH .....	43
4.3.5. Análisis físico-químico de suelos .....	45
5. Resultados y discusión.....	46
5.1. Parámetros climáticos en el interior del invernadero .....	46
5.1.1. Temperatura (°C) .....	46
5.1.2. Humedad relativa (%) .....	47
5.1.3. Déficit de presión de vapor (kPa).....	47
5.1.4. Radiación (W/m <sup>2</sup> ) .....	48
5.2. Parámetros de crecimiento cultivo .....	49
5.2.1. Tasa crecimiento del cultivo .....	49
5.2.2. Número de hojas presentes y tasa de emisión de hojas.....	50
5.2.3. Conteo y clasificación de flores .....	51
5.2.4. Frutos cuajados presentes .....	53
5.2.5. Relación entre el número de frutos y de hojas presentes en la planta .....	54
5.2.6. Parámetros fisiológicos .....	54
- Fotosíntesis .....	54
- Clorofila .....	55
- Pigmentos fotosintéticos .....	56
5.3. Parámetros de producción y calidad de la fruta .....	58
5.3.1. Producción .....	57
5.3.2. Calibre .....	59
5.3.3. Análisis de los sólidos solubles totales, acidez titulable y pH .....	60
5.4. Análisis químico de suelos .....	62
6. Conclusiones .....	63
Conclusions .....	65
7. Referencias Bibliográficas .....	66



**Título:** EVALUACIÓN DE LA INFLUENCIA DE LA RELACIÓN FUENTE-SUMIDERO EN LA CALIDAD DEL FRUTO DE Papaya (*Carica papaya* L.).

**Autores:** David Florido Pulido, Domingo José Ríos Mesa, Vanesa Raya Ramallo.

**Palabras clave:** calidad organoléptica; defoliación; fisiología vegetal; fotosíntesis; producción; relación hoja/fruto.

## Resumen

La calidad de la fruta de papaya sufre oscilaciones a lo largo del ciclo de cultivo, influenciado principalmente por las condiciones climáticas y por la relación entre el número de hojas y frutos presentes en la planta. El control de las condiciones climáticas en los invernaderos donde se cultiva papaya en Canarias es muy limitado, ya que se trata de invernaderos sencillos sin control climático activo. Se podría intervenir de forma muy limitada en el clima de estos invernaderos realizando inversiones como la instalación de sistemas de nebulización o la mejora de la ventilación pasiva. Las condiciones climáticas adversas, pueden provocar problemas de productividad por malformaciones florales, y favorecer la incidencia de plagas y enfermedades que pueden dar lugar a la defoliación de la planta. Estos eventos de reducción del área foliar influyen en la productividad y en la calidad de la fruta presente en la planta que se encuentra en fase de engorde.

El conocimiento de la relación óptima entre el número de hojas y frutos en la planta que evite una reducción de la calidad, proporcionará una información necesaria para determinar la necesidad o no de realizar algunas prácticas de cultivo (p.e. el aclareo de flores o frutos). En este trabajo se aplicaron dos métodos de defoliación que se compararon con un testigo sin defoliar. Los métodos de defoliación aplicados mostraron efectos adversos en los parámetros de crecimiento, disminuyendo la altura de la planta, el número de flores, y afectaron significativamente la relación entre el número de hojas y frutos, produciendo un desequilibrio en la relación fuente/sumidero. Esto resultó en una disminución de los sólidos solubles totales y en la producción total. Sin embargo, la defoliación no afectó significativamente a la tasa fotosintética y el contenido en clorofila de las hojas que quedan tras un deshojado, el pH y la acidez titulable de los frutos.

Con este trabajo se pretende determinar si es eficiente aplicar técnicas de cultivo eficientes, para mantener la calidad de los frutos producidos a lo largo de todo el ciclo de cultivo.



**Title:** EVALUATION OF THE INFLUENCE OF THE SOURCE-SINK RELATIONSHIP ON THE FRUIT QUALITY OF Papaya (*Carica papaya* L.).

**Authors:** David Florido Pulido, Domingo José Ríos Mesa, Vanesa Raya Ramallo.

**Key words:** organoleptic quality; plant physiology; photosynthesis; production; leaf/fruit ratio.

## **Abstract**

The quality of papaya fruit fluctuates throughout the cultivation cycle, mainly influenced by climatic conditions and the relationship between the number of leaves and fruits present on the plant. The control of climatic conditions in the greenhouses where papayas are cultivated in the Canary Islands is very limited, as they are simple greenhouses without active climate control. Limited interventions can be made in the climate of these greenhouses through investments such as the installation of misting systems or improvements in passive ventilation. Adverse climatic conditions can cause productivity issues due to floral malformations and promote the incidence of pests and diseases that can lead to plant defoliation. These events of leaf area reduction influence the productivity and quality of the fruit on the plant during the fruit swelling stage..

Understanding the optimal relationship between the leaf and fruit numbers on the plant, which prevents a reduction in quality, will provide necessary information to determine whether certain cultivation practices (e.g., thinning of flowers or fruits) are needed. In this study, two defoliation methods were applied and compared to an untreated control. The applied defoliation methods showed adverse effects on growth parameters, reducing plant height, the flower numbers, and significantly affecting the leaf-to-fruit ratio, creating an imbalance in the source-sink relationship. This resulted in a decrease in total soluble solids and overall production. However, defoliation did not significantly affect the photosynthetic rate and chlorophyll content of the remaining leaves after the defoliation process, nor did it affect the pH and titratable acidity of the fruits.

This study aims to determine the efficiency of applying effective cultivation techniques to maintain the quality of the fruits produced throughout the entire cultivation cycle.



## 1. Introducción

*Carica papaya* es uno de los frutales más importantes y ampliamente distribuidos en los países tropicales y subtropicales (Hueso et al., 2020). Las Islas Canarias poseen en sus zonas de baja altitud el clima idóneo para un gran número de frutales tropicales entre los que se encuentra la papaya (*Carica papaya* L.), donde se ha cultivado desde hace más de 200 años, destacando su expansión en las últimas décadas gracias a la introducción de nuevos cultivares y para su cultivo bajo condiciones de invernadero (Rodríguez et al., 1995; Rodríguez, 2002).

Pese a los pocos estudios previos sobre la influencia de la defoliación en *Carica Papaya*, algunos autores aseguran que podría facilitar la realización de prácticas culturales, mantener el equilibrio fisiológico de las plantas, mejorar la calidad y el rendimiento, aunque dependiendo del momento y la intensidad de la defoliación (Upreti, et al., 2019) o de las condiciones climáticas, de crecimiento de las plantas y el cultivar (Zhou et al., 2000). En estudios realizados sobre otros cultivos, como los del kiwi, el mango, el pomelo, la cereza o la manzana se ha determinado un número de hojas y un área óptima para el desarrollo de estos frutos. La relación hoja-fruto (relación fuente-sumidero) también afecta el tamaño final del fruto y la calidad de manzanas, ciruelas, tomate, melón, uva, melocotón y frutos de pepita (Zhou et al., 2000).

En este trabajo se pretende determinar el efecto de diferentes tratamientos de defoliación en papaya sobre la calidad y producción de los frutos.



## **2. Objetivos**

Con este trabajo se pretende obtener información de la influencia en la productividad del cultivo y la calidad de los frutos obtenidos en el cultivo de papaya de la relación fuente-sumidero, expresada como el número de hojas y la cantidad de frutos presentes en la planta.



## 3. Revisión bibliográfica

### 3.1. Origen y distribución

Determinar el origen de la papaya es complejo debido a la considerable distribución realizada por los españoles tras el descubrimiento de América y a su gran adaptabilidad, que en conjunto ha provocado que actualmente se encuentre ampliamente distribuida por la mayoría de las regiones tropicales y subtropicales del mundo (Fuentes y Santamaría, 2014). Sin embargo, tanto la presencia de poblaciones no domesticadas en México y Centroamérica, y su cultivo en la región anterior a la conquista española apoyan la hipótesis mesoamericana (Carvalho y Renner, 2014; Fuentes y Santamaría, 2014).

Dada la inexistencia de evidencias arqueológicas directas, es bastante difícil definir un origen preciso para la *C. papaya* L. (Fuentes y Santamaría, 2014). Una de las razones de la falta de datos arqueológicos es la dificultad para identificar dicho frutal a partir de fitolitos, además, apenas se han encontrado sus granos de polen (Carvalho y Renner, 2012). Sin embargo, gracias a los estudios realizados por Carvalho y Renner en 2012, se ha logrado determinar la filogenia completa de la familia Caricaceae, revelando que el pariente más cercano de la papaya es un grupo de cuatro especies herbáceas distribuidas en México, Guatemala y El Salvador.

Hoy en día, la papaya también se conoce como fruta bomba, lechosa (Venezuela, Puerto Rico, Filipinas y República Dominicana), mamão, papaw (Sri Lanka), Papol\Guslabu (melón de árbol) en cingalés, papaya o melón de árbol; lo cual refleja su amplia distribución a lo largo de diversas áreas tropicales del mundo (Fuentes y Santamaría, 2014).

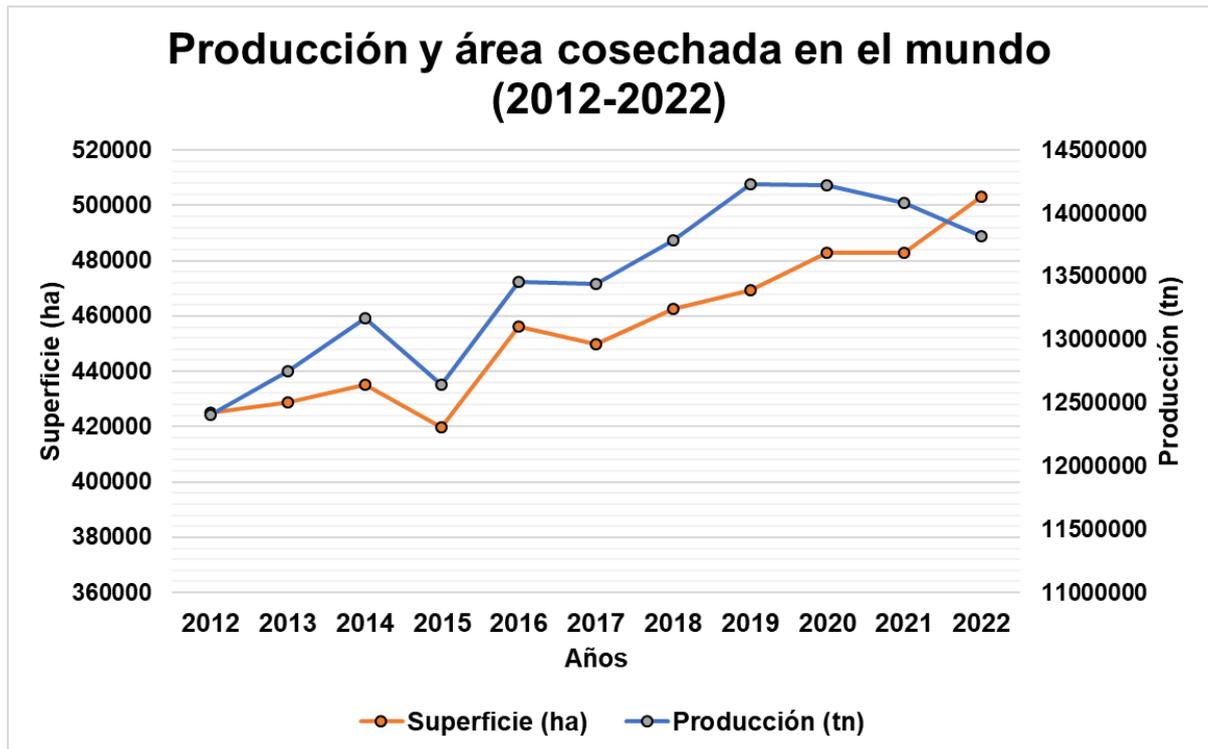
### 3.2. Importancia

El cultivo de la papaya (*Carica papaya* L.) es de gran importancia económica y alimentaria. Económicamente, destaca por la extracción de enzimas y péptidos de la papaína, un látex que se obtiene principalmente del fruto y el tallo. Además, la industrialización del fruto permite la producción de cosméticos como cremas, productos medicinales y alimentos como dulces de almíbar, mermeladas, compotas, batidos y helados (Pérez, 2001). Alimentariamente, la papaya es muy apreciada por su alto valor nutritivo y digestivo, y es ampliamente utilizada en dietas alimenticias, gozando de gran aceptación a nivel internacional (Esquivel et al., 2006).

#### 3.2.1. Situación del cultivo en el mundo

La papaya (*Carica papaya* L.) es la tercera fruta tropical más producida y consumida en el mundo después del mango y la piña, siendo por ello una de las más importantes social y económicamente (Hueso et al., 2020). Considerando la base de datos estadísticos de la FAO, en el año 2023, la producción mundial alcanzó las 14,1 toneladas y se superaron las 486.000 ha cultivadas, experimentando un ligero descenso respecto a años anteriores en producción, que contrasta con un aumento de la superficie cultivada, que no ha parado de crecer desde el año 2017 y que actualmente es de unas 503 255 hectáreas, tal y como se observa en la **Figura 1**.

Su cultivo tiene gran desarrollo en zonas tropicales y subtropicales del mundo, destacando India y Brasil como principales productores de papaya, seguidos de México, Nigeria e Indonesia. México domina el mercado internacional, el cual exporta más de 130.000 toneladas al principal consumidor de papaya en el mundo que es Estados Unidos (Hueso et al., 2020; Salinas et al., 2017).



**Figura 1:** Comparativa entre producción mundial de papaya (t) y superficie cultivada (ha). Fuente: FAOSTAT, 2024.

En 2013, Rojop señaló que el consumo de papaya no solo proporciona propiedades terapéuticas para aliviar los síntomas de la diabetes, sino que también se utiliza como laxante, antibiótico y agente antibacteriano. Estas cualidades han contribuido a convertirla en una fruta atractiva para su producción y consumo a nivel mundial.

### 3.2.2. Situación del cultivo en España

En España, la producción de papaya se enfoca principalmente en Canarias y en las regiones del sureste peninsular, como Almería y Murcia. La superficie dedicada a su cultivo abarca alrededor de 500 hectáreas, con una producción total de aproximadamente 15.000 toneladas al año, de las cuales se exportan unas 5.000 toneladas anuales (Hueso et al., 2023). Dentro del marco de la Unión Europea, España ocupa el cuarto lugar en volumen de exportaciones de papaya, solo detrás de Reino Unido, Holanda y Alemania, que exportan alrededor de 8.000 toneladas cada uno (Hueso et al., 2020).

El aumento en la extensión del cultivo de la papaya en España ha sido impulsado por la búsqueda de alternativas para diversificar la producción agrícola y ampliar la oferta de productos hacia la Unión Europea, así como por el incremento en la demanda de frutas tropicales. Este crecimiento también se debe a los resultados positivos obtenidos con la introducción de nuevas variedades híbridas de papaya, adaptadas a las condiciones locales, y que muestran una mayor productividad (Almodóvar et al., 2014; Galán, 2014).

### 3.2.3. Situación del cultivo en Canarias

Durante más de dos siglos, la papaya ha sido parte integral de la vida agrícola en las Islas Canarias. Los agricultores canarios tradicionalmente la han plantado en los límites de las parcelas de platanera, asociada a otros cultivos, y es común verla también en los jardines de muchas viviendas. En tiempos



recientes, su producción ha experimentado un notable crecimiento, impulsado principalmente por la creciente demanda de esta fruta en el mercado (Rodríguez et al., 1995).

De acuerdo con los datos aportados por la Consejería de Agricultura del Gobierno de Canarias (2021), la papaya es el cuarto frutal tropical por superficie cultivada de Canarias, tras la platanera, el aguacate y el mango, con unas 322 hectáreas (**Figura 2**). Según el Instituto Canario de Estadística (ISTAC, 2024), solo se cultiva bajo riego, y casi en su totalidad bajo invernadero, ya que de otro modo sería inviable, debido a las condiciones climáticas del archipiélago (Hueso, 2015). Cabe destacar el papel dominante de Gran Canaria y Tenerife, tanto en superficie cultivada como en producción sobre el resto de islas, (**Figura 3 y 4**), siendo Tenerife la isla de mayor relevancia.

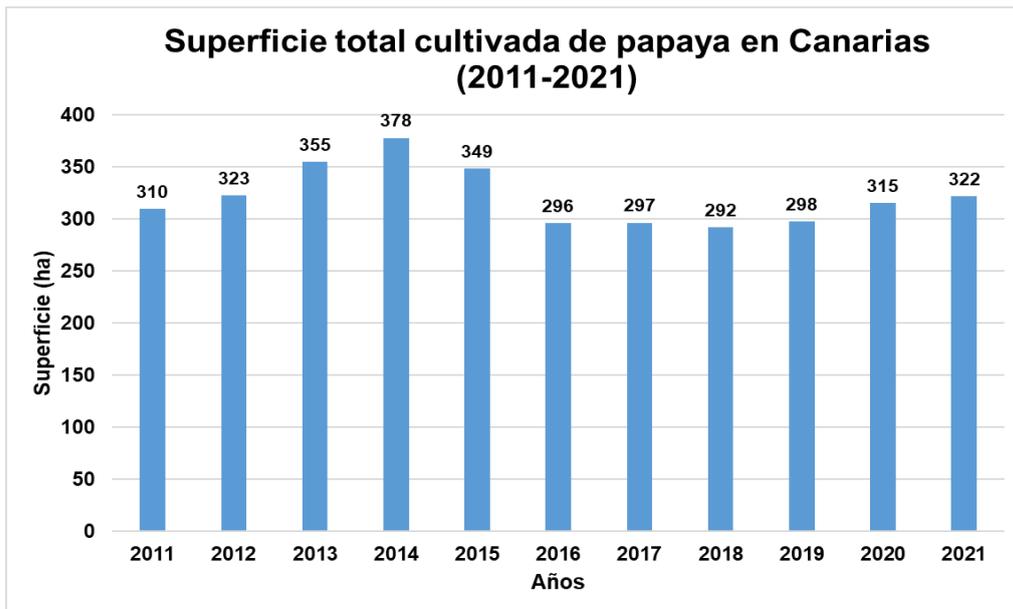


Figura 2: Superficie total (ha) cultivada en Canarias. Fuente: ISTAC, 2024.

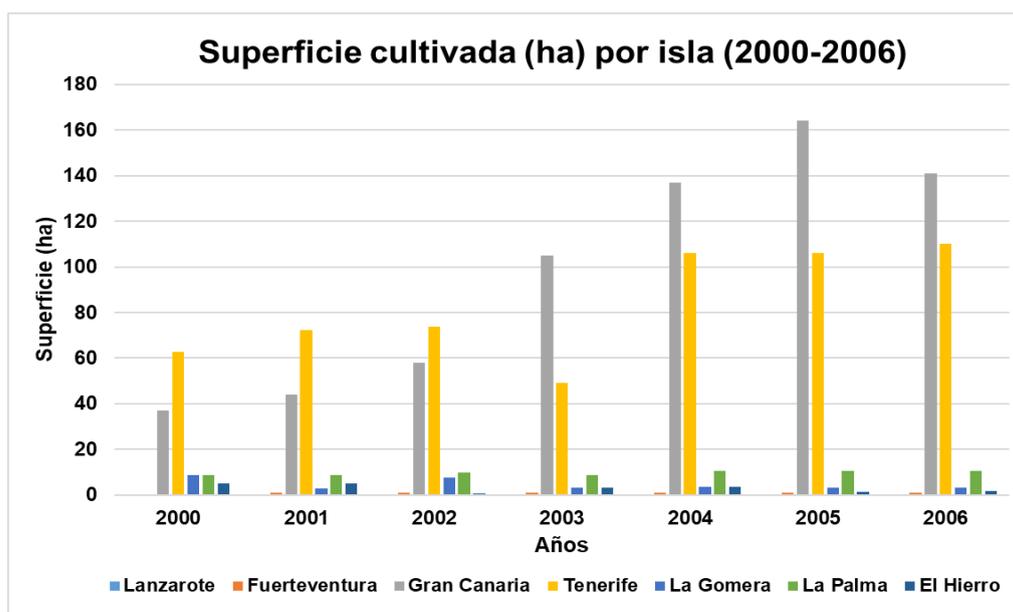


Figura 3: Superficie cultivada (ha) de papaya por islas. Fuente: Consejería de Agricultura del Gobierno de Canarias (2021).

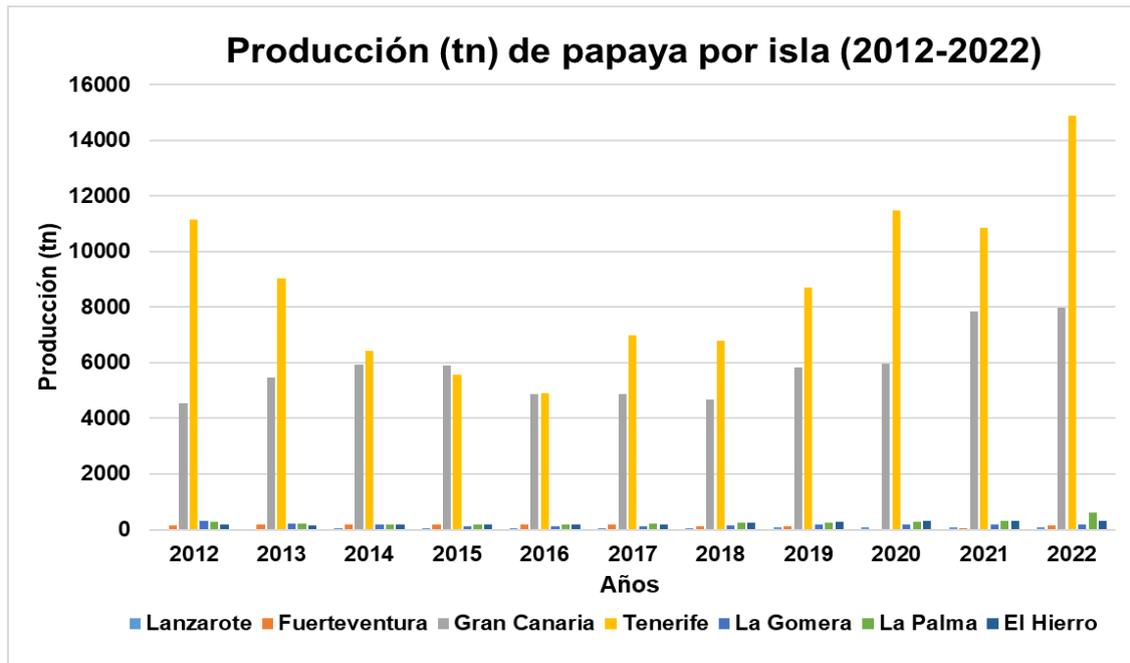


Figura 4: Producción de papaya por islas. Fuente: Consejería de Agricultura del Gobierno de Canarias (2021).

La producción de papaya no ha parado de incrementarse en el archipiélago desde 2016, alcanzando un máximo de 29.174,5 toneladas en 2022 (Figura 5). Por su parte, la superficie cultivada también ha ido en aumento en consonancia con la producción. Canarias ha logrado ser autosuficiente, evitando las importaciones gracias a la importante producción, que ha permitido exportar aproximadamente 9,942 toneladas en 2023, superando al resto de España, con unas 9,300 toneladas, representando más del 50 % del total de exportaciones del país (ISTAC, 2024). Sin embargo, la falta de adaptación de la papaya a los meses fríos de invierno ha limitado la exportación, destinándose la producción principalmente al mercado local, lo que ha provocado la caída de precios en ciertas épocas debido a la alta oferta (Pérez, 2016).

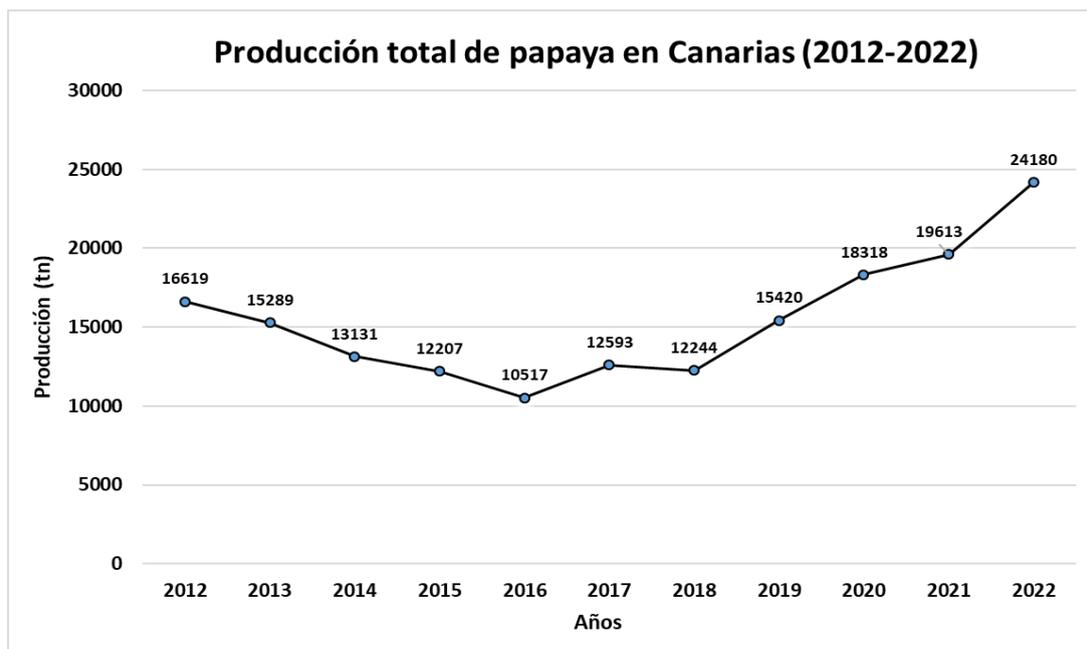


Figura 5: Producción total de papaya en Canarias. Fuente: ISTAC, 2024.



En las Islas Canarias, la gran mayoría de las plantaciones de papaya se sitúan a baja altitud y en la zona sur. El aumento del cultivo se debió principalmente a la necesidad de buscar alternativas ante la desaparición progresiva del sector tomatero y, en menor medida, del ornamental. Se aprovecharon los invernaderos existentes y se introdujeron nuevas variedades híbridas más productivas (Galán, 2014).

Según Hueso et al. (2015), el cultivo de papaya se adapta perfectamente a Canarias, logrando buenos rendimientos con una alta calidad. Desde el punto de vista económico, esto contribuye a una producción suficiente con bajos costes de producción en comparación con otros cultivos hortícolas, además de mantener precios adecuados y una demanda elevada. Todo esto se ve respaldado por una buena logística de transporte e infraestructura en la región. Sin embargo, la producción canaria no alcanza un volumen lo suficientemente elevado como para satisfacer la demanda del mercado europeo (Hueso et al., 2015).

### 3.3. Clasificación taxonómica

- Dominio: Eukarya
- Reino: Plantae
- Filo: Tracheophyta
- Clase: Magnoliopsida
- Orden: Brassicales
- Familia: Caricaceae
- Género: *Carica*
- Nombre botánico: *Carica papaya* L.

(GBIF 2021; Yogiraj et al., 2014)

### 3.4. Características botánicas

#### 3.4.1. Tallo

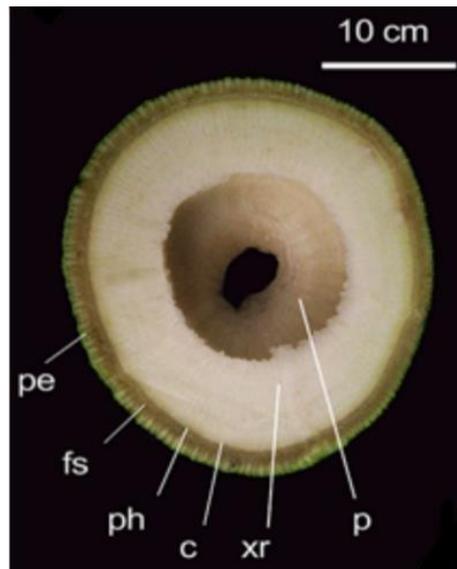
En las plantas de papaya, el tallo desempeña un papel crucial al proporcionar soporte estructural, volumen corporal y altura, además de servir como reservorio de almacenamiento, y aportar capacidad competitiva dentro del ecosistema. También facilita el flujo bidireccional de agua, nutrientes, diversos compuestos orgánicos, así como servir de conexión entre señales químicas y físicas que regulan las interacciones entre las raíces y los brotes (Reis et al., 2006).

La estructura del tallo se distingue por su forma hueca, recta y solitaria, con notables cicatrices foliares prominentes. La planta muestra una marcada dominancia apical y rara vez presenta ramificaciones, según señalan Silva et al. (2007). No obstante, en ocasiones, después de períodos de crecimiento vegetativo vigoroso, pueden surgir pequeñas ramificaciones en la parte inferior del tallo, que dan lugar a brotes axilares, como describe Jiménez et al. (2014).

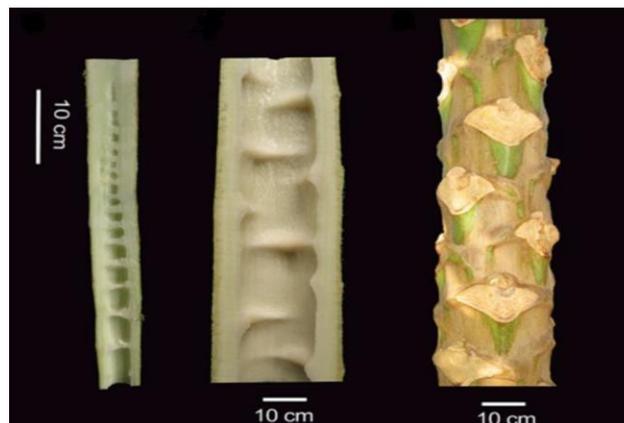


Cabe destacar que la altura y el diámetro dependen de la variedad. En los primeros estadios, el tallo está formado por una médula celular acuosa, que se diluye a medida que alcanza el estado adulto y se forma una cavidad interna, y la corteza de la base del tallo toma una constitución fibrosa, seguida de una capa de tejido suave (**Figura 6**). El centro del tallo es una porción hueca dividida por tabiques membranosos. Cuando es joven tiene un contenido alto en agua y su color es verde o morado, en tanto que cuando es más viejo toma una coloración grisácea. La corteza forma anillos, a intervalos a lo largo del tallo, y según variedad puede ser lisa o rugosa (**Figura 7**) (Pérez, 2001; Jiménez et al., 2014).

El diámetro del tallo de las plantas adultas varía de 10 a 30 cm, aunque cerca del dosel puede medir de 5 a 10 cm (Jiménez et al., 2014).



**Figura 6:** Corte transversal de un tallo de 1 año. Partes: peridermis (pe), revestimiento de fibras (fs), floema (ph), cambium (c), rayos del xilema (xr) médula (p). Adaptado de Jiménez et al. (2014).



**Figura 7:** De izquierda a derecha: corte longitudinal de un tallo joven; corte longitudinal y vista lateral adulto. Adaptado de Jiménez et al. (2014).

### 3.4.2. Sistema radical

El sistema radicular de la papaya está constituido por una raíz primaria y raíces secundarias, cuyo desarrollo varía según el tipo de suelo. Estas raíces pueden alcanzar profundidades entre 0,60 m y 1,00 m (Pérez, 2001). Las raíces secundarias, responsables de absorber los nutrientes del suelo,



permanecen poco profundas y muestran una notable plasticidad gravitrópica (Jiménez et al., 2014). Es importante destacar que son los únicos órganos de la planta que no presentan laticíferos y, por lo tanto, no segregan látex (Carneiro et al., 2009).

### 3.4.3. Hojas

Las hojas son grandes y anchas, simples, alternas, palmadamente lobuladas, organizadas en espiral hasta el tallo superior y agrupadas en la corona (Pérez, 2001; Koul et al., 2022).

Pueden llegar a tener un diámetro de 60 a 90 cm (Wadekar et al., 2021) lo que le permite a la planta, tener una gran actividad fotosintética que favorece tanto el crecimiento y desarrollo, como la calidad de la fructificación (Pérez, 2001).

El haz es de color verde oscuro a amarillo verdoso, brillante, visiblemente marcado por los nervios blanquecinos incrustados y venas reticuladas; la superficie inferior es de color amarillo verdoso pálido y opaco con estructuras vasculares visiblemente prominentes.

Sosteniendo las hojas se encuentran los pecíolos, caracterizados por ser largos y redondos, de color amarillo verdoso, con manchas esporádicas de color violeta o violáceo, de forma fistulosa, frágiles, de 25 a 100 cm de largo y de 0,5 a 1,5 cm de espesor (Wadekar et al., 2021). Además, estos siguen un patrón en espiral como se aprecia en las cicatrices dejadas al desprenderse del tallo (Jiménez et al., 2014).

Las variedades de papaya se pueden distinguir de acuerdo a la estructura de sus hojas, la forma de los estomas, el número de venas centrales, el número de lóbulos en los márgenes, la capa de cera en la superficie y el color del pecíolo (Koul et al., 2022).

### 3.4.4. Flores

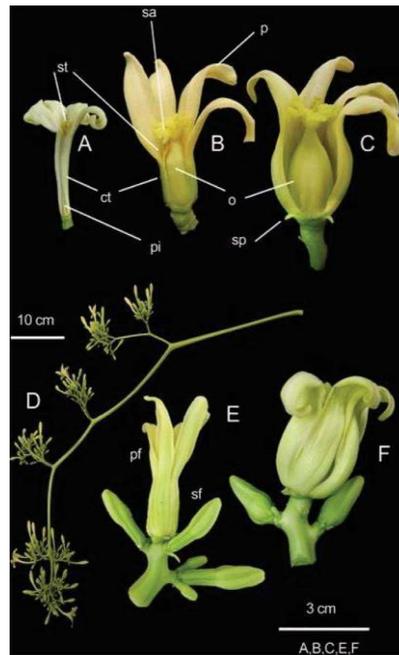
Este frutal se caracteriza por tener una gran diversidad de flores, lo que origina que dependiendo del tipo de inflorescencia varía el sexo de la planta (**Figura 8**). Su origen es caulinar y se agrupan alrededor del tallo. Solo produce flores bisexuales (hermafroditas), masculinas y femeninas, las cuales pueden estar en una misma planta (Pérez, 2001).

Las plantas masculinas se caracterizan por tener inflorescencias largas, colgantes y de muchas flores delgadas y carentes de pistilos, exceptuando algunas flores ocasionales con pistilo en el extremo distal. Los frutales femeninos tienen inflorescencias cortas con pocas flores de grandes pistilos funcionales sin estambres, mientras que los hermafroditas tienen inflorescencias cortas con flores bisexuales que pueden ser sexualmente variables (Ming, 2007).

La floración se inicia rápidamente, de 3 a 8 meses desde la germinación de la semilla (Jiménez et al., 2014), o después de dos o tres meses de ser plantada (Pérez, 2001). La longevidad de las flores individuales puede ser de 3 a 4 días, pero se desconoce el período real de receptividad del pistilo (Jiménez et al., 2014).

La polinización depende del tipo de flor. Las hermafroditas son autógamas, lo que significa que las anteras se abren y liberan el polen sobre su propio estigma, permitiendo la autopolinización. En el caso de las flores femeninas, el viento y algunas mariposas nocturnas (esfíngidos) pueden actuar como vectores (Hueso et al., 2015).

Aunque la morfología floral en las plantas de papaya sugiere polinización por insectos, varios autores han indicado que la polinización por el viento también puede ser importante (Naskasone y Paull 1998).



**Figura 8:** Flores de papaya a las que se les ha quitado un pétalo para mostrar las partes internas (a – c) y las inflorescencias (d – f). (a) Flor estaminada que muestra estambres (st), pistillodio (pi) y tubo de corola (ct). (b) Flor perfecta que muestra (st), ct, estigmas (sa), pétalo (p) y un ovario alargado (o). (C) Flores pistiladas que muestran sépalos (sp), pétalos y ovario redondo (o). (d) Inflorescencia masculina larga con decenas de flores estaminadas. (mi) Cima andromonoica que muestra una flor perfecta dominante (pf) y cinco flores estaminadas secundarias (sf). (f) Cima femenina con tres flores pistiladas. Adaptado de Jiménez et al. (2014).

Dada la importante diversidad de flores existentes en este cultivo, ha sido necesario agruparlas en 6 grupos (figura 9):

Tipo I, femenina o pistilada: esta destaca por su tamaño de hasta 7 cm de longitud y su color blanco crema. Carecen de estambres, presentan cinco pétalos libres, un ovario superior redondeado, formado por cinco carpelos y un estigma pentalobulado. Esta flor no produce polen, por lo que requiere de pies con flores hermafroditas o masculinas para su fecundación. Los frutos producidos por flores femeninas tienen potencial partenocárpico, pudiendo desarrollarse sin polinización ni fecundación, y suelen tener formas redondeadas, ovoides u oblongas. A diferencia de las hermafroditas, son completamente estables y no sufren inversión de sexo debido a cambios ambientales (Pérez, 2001; Jiménez et al., 2014; Hueso et al., 2015).

Tipo II, hermafrodita (pentandria): flor de forma cónica que se caracteriza por poseer cinco estambres funcionales, un ovario globoso con cinco surcos bien marcados, una antera grande adherida a la base de la corola que alterna con los pétalos. Los frutos originados suelen ser ovoides o globosos, y tienen lobulada la sección transversal, siendo poco apreciados comercialmente (Pérez, 2001; Hueso et al., 2015).

Tipo III, hermafrodita (intermedia): Se trata de una forma intermedia entre la tipo II y la IV, agrupadas en racimos y caracterizada por tener de seis a nueve estambres. Los pétalos están soldados hasta un tercio de su longitud, en ocasiones algo más, formando un tubo de longitud variable. Producen frutos grandes, aunque al igual que la tipo II, pierden muchos por problemas de fecundación y da lugar a frutos de forma irregular llamados carpeloides. Estas flores aparecen con mayor frecuencia cuando la temperatura ambiente es de 24,5 °C durante el día y 15,5 °C durante la noche (Pérez, 2001; Hueso et al., 2015).



**Tipo IV, hermafrodita (elongata):** Esta flor es la hermafrodita perfecta, constituida por cinco pares de anteras, cinco pétalos soldados en la parte inferior de la flor (connados) formando el tubo de una corola gamopétala regular. Tiene diez estambres funcionales situados en dos series, cinco de ellos subsésiles y opuestos a los lóbulos, mientras que los restantes presentan un filamento corto al margen del pétalo. El ovario es cilíndrico, liso y alargado, lo que resulta en flores tubulares de menor diámetro que el resto de hermafroditas, estrechadas en su zona media, de ahí el nombre de elongata. Se presentan siempre en racimos con pedúnculos cortos. Producen frutos regulares y piriformes, siendo los más deseados comercialmente y los que mejores rendimientos proporcionan (Pérez, 2001; Jiménez et al., 2014; Hueso et al., 2015).

**Tipo V, masculinas o estaminadas:** Se caracteriza por tener diez estambres funcionales y un ovario ausente agrupados en una inflorescencia, una corola gamopétala, así como un pistilo rudimentario sólido y unicarpelar, el cual no es funcional, dando lugar a flores que no producen frutos (Pérez, 2001; Jiménez et al., 2014; Hueso et al., 2015).

**Tipo VI, falsa hermafrodita:** Debido al engrosamiento de todos sus órganos, exteriormente parece hermafrodita. Esta flor carece de pistilo funcional, por lo tanto, no produce frutos (Pérez, 2001).

### EXPRESIÓN SEXUAL Y MALFORMACIONES FLORALES



**Figura 9:** Distintos tipos florales y frutos según expresión sexual.

#### 3.4.5. Frutos

El fruto de la *C. papaya* es una baya de gran tamaño con diferentes características morfológicas según el tipo de flor de la que provengan; siendo de manera general alargados en las plantas hermafroditas y redondeados en las plantas femeninas (**Figura 10**). El peso también varía ampliamente, desde menos de 100 g en algunas variedades silvestres hasta más de 9-10 kg en ciertas variedades locales (Morton, 1987; Jiménez et al., 2014; Pérez, 2001).

Los frutos pueden aparecer solitarios o en pequeños racimos y la cantidad por planta está determinada por el tipo de flor y por el contenido de reservas. Además, posee una cavidad central



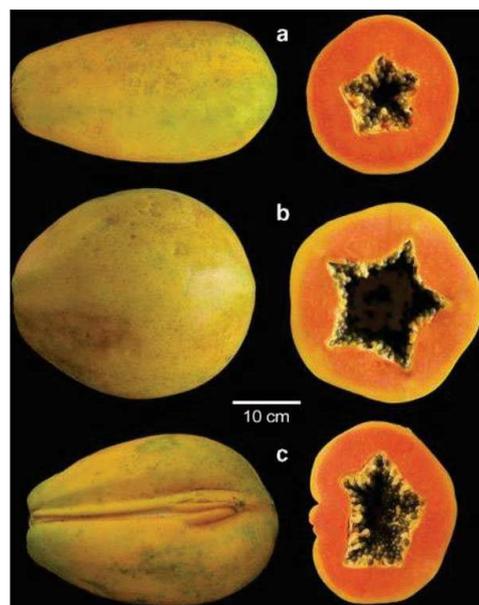
lobulada, que alberga las semillas y cuyo tamaño depende de la propia forma del fruto y del tipo de flor que le dio origen (Pérez, 2001).

La papaya inmadura se caracteriza por su alto contenido en látex blanco, piel dura y color verde, mientras que la madura exhibe tonos amarillo anaranjados claros o intensos, con una consistencia densa y succulenta. Su pulpa jugosa presenta tonalidades naranjas o rojas y un aroma dulce (Koul et al., 2022; Pérez, 2001).

La estructura de la fruta madura se caracteriza por la disposición de su tejido parenquimatoso en tres capas bien definidas: en la capa exterior, encontramos células más pequeñas, densamente pobladas de plastidios; en la zona intermedia, las células son más grandes y redondeadas, con espacios intercelulares notables; mientras que, en la región interna, el parénquima esponjoso se compone de células alargadas y ramificadas, entremezcladas con abundantes espacios aéreos. Cada fruto presenta la peculiaridad de ser atravesado por dos conjuntos de cinco haces vasculares, uno dorsal (externo) y otro ventral, situado en los anillos internos (Roth, 1977).

El desarrollo del fruto de la papaya dura aproximadamente unos cinco meses hasta alcanzar la madurez. Durante este proceso, es importante tener en cuenta que la maduración es climatérica, lo que significa que una vez que se alcanza un punto crítico en el desarrollo, la producción de etileno aumenta significativamente. En el caso de este frutal, este aumento en la producción de etileno puede comenzar tan solo unas horas después de la cosecha, particularmente cuando la fruta alcanza la etapa recomendada de madurez, marcada por la aparición de una o dos franjas amarillas en la superficie del fruto (Jiménez et al., 2014).

*C. papaya* es conocida por su sabor dulce y su aroma distintivo, atributos que se derivan de su compleja composición química. Los principales carotenoides presentes en la papaya incluyen el licopeno y la  $\beta$ -criptoxantina, como indicaron Schweiggert et al. (2011). Además, como señalaron Pino et al. (2003), existe una amplia variedad de más de 150 ésteres y alcoholes volátiles que contribuyen al distintivo aroma y sabor dulce de la fruta.



**Figura 10:** Frutos de papaya según tipo de sexo. (a) Fruto de una planta hermafrodita. (b) Fruto de una planta femenina. (c) Fruto deforme de una planta hermafrodita debido a carpelodía. Adaptado de Jiménez et al. (2014).



### 3.4.6. Semilla

Unidas ligeramente a la pared del fruto por un tejido fibroso, blanco y suave, se encuentran numerosas semillas de papaya, pequeñas, negras y redondas, formadas por el endospermo y una cubierta de masa mucilaginoso llamada sarcotesta. En los frutos bien polinizados, puede haber más de 600 semillas, cada una de aproximadamente 3/16 de pulgada (5 mm) de largo, representando alrededor del 16 % del peso del fruto fresco.

Se ha demostrado que los extractos de semillas de papaya poseen varias propiedades medicinales y nutricionales (Jiménez et al., 2014; Wadekar et al., 2021).

En condiciones apropiadas de disponibilidad de agua, luz, oxígeno, temperatura del aire y humedad, las semillas de papaya experimentan una germinación epígea. Este proceso ocurre entre 2 y 4 semanas después de la siembra (Silva et al., 2007).

## 3.5. Ecofisiología del cultivo

### 3.5.1. Factores medioambientales alteradores de la fotosíntesis que afectan la fisiología y la productividad

El conocimiento de la interacción de la *Carica Papaya* con los factores medioambientales proporciona una base científica para el desarrollo de estrategias de manejo, necesarias para minimizar los efectos negativos que producen sobre el proceso fotosintético, que conllevan a una disminución del rendimiento y de la calidad de la fruta (Campostrini et al., 2007)

*Carica papaya* es clasificada como una planta con un metabolismo fotosintético tipo C3 (Imai et al., 1982; Marler and Mickelbart, 1998; Jeyakumar et al., 2007). Las tasas máximas netas de asimilación de carbono rondan los 25 a 30  $\mu\text{mol s}^{-1} \text{m}^2$ , y se logran con una densidad de flujo fotosintético (PPFD) de 2000  $\mu\text{mol s}^{-1} \text{m}^2$  (Marler y Mickelbart, 1998; Campostrini and Yamanishi, 2001; Reis, 2007).

Por otro lado, cabe destacar que el crecimiento y desarrollo óptimos se logra a temperaturas del aire entre 21 y 33 °C. (Cabrera et al., 2021). Según Manica (1982), los campos de papaya situados en regiones con temperaturas medias en torno a 25 °C promueven un rápido crecimiento vegetativo, una alta productividad, frutos precoces, de gran calidad y con alto contenido en sólidos solubles.

La fotorrespiración reduce significativamente la eficiencia de la fotosíntesis en plantas C3, pudiendo disminuir la asimilación de carbono entre un 25% y un 30%. Sin embargo, la papaya, bajo condiciones de luz saturada (PPDF) y con buen riego, puede mantener altas tasas de asimilación de carbono. Esto sugiere que la papaya tiene mecanismos para minimizar la fotorrespiración, y está bien adaptada a intensidades de luz altas, lo que le permite ser más eficiente en la fotosíntesis y el crecimiento en comparación con otras plantas C3 que no tienen estas adaptaciones. Pero esto no quiere decir que a niveles altos de saturación luminosa no se vea mermada la asimilación de carbono, producto de la disminución de la conductancia estomática por la acción directa de la radiación y el calentamiento de las hojas (Campostrini et al., 2007).

La contribución de la fotosíntesis a la ganancia de carbono y por tanto al desarrollo del fruto es probablemente mínima y sólo notable durante las fases iniciales de crecimiento. Esto se debe a que, en estas fases iniciales, la relación superficie:volumen de los frutos verdes jóvenes es alta, lo que favorece la captación de luz solar para la fotosíntesis. Sin embargo, a medida que los frutos maduran, su capacidad fotosintética se ve limitada, principalmente debido a que se desarrollan a la sombra bajo el denso dosel de la papaya, lo que restringe aún más la cantidad de luz disponible para el proceso



fotosintético. La fotosíntesis en la fruta podría ser más importante en la fijación de  $CO_2$  respiratorio liberado en el interior de la fruta (Jiménez et al., 2014).

### **Efectos de la luz, la temperatura y el déficit de presión de vapor**

La respuesta fotosintética de la papaya está influenciada por las condiciones ambientales, especialmente a través del comportamiento estomático. Bajo estrés hídrico leve y cobertura de nubes, la papaya mantiene una mayor conductancia estomática y ganancia de carbono en comparación con la exposición a alta radiación solar (Clemente y Marler, 1996). Sin embargo, al mediodía, la alta radiación incidente y la temperatura elevada causan un alto déficit de presión de vapor (DPV), reduciendo la conductancia estomática, que, aunque es esencial para la supervivencia, regulando la pérdida de agua y previniendo el fotodaño, puede llegar a disminuir la productividad de los cultivos hasta en un 50% (Reis, 2007).

La papaya se adapta a la cantidad y calidad de luz. Buisson y Lee (1993) compararon el comportamiento de las plantas cultivadas bajo luz solar intensa (HL), sombra neutra (NS) en invernadero de plástico con una reducción del 60%, y baja calidad espectral alterada mediante pintura en aerosol (FS), con una reducción de la relación rojo:rojo lejano (R:FR = 0.26). Las plantas en sombra neutra y con calidad de luz alterada mostraron hojas más delgadas, pecíolos más cortos, menor peso específico y menor densidad de estomas, pero mayor contenido de clorofila y espacio aéreo. Por otro lado, las cultivadas bajo luz solar intensa desarrollaron tallos más gruesos, mientras que las situadas bajo luz alterada fueron las más altas, con lóbulos foliares más reducidos y entrenudos más largos. Concluyeron que la reducción de la relación R:FR en la sombra del follaje afecta el equilibrio de fitocromos, influyendo en la morfología y anatomía de las hojas.

Por otro lado, Reis et al. (2005) demostraron que el aparato fotosintético de la papaya puede adaptarse a cambios en la intensidad y calidad de la luz. Las plantas cultivadas en invernadero, en comparación con las cultivadas a plena luz del sol, mostraron mayor conductancia estomática y asimilación de carbono al mediodía, atribuible a reducciones en el déficit de presión de vapor ambiental. De manera similar, Galán y Rodríguez (2007) encontraron que, en las Islas Canarias, los hábitos de crecimiento y floración se beneficiaron de las modificaciones climáticas del invernadero, logrando mejores rendimientos tanto en cantidad como en calidad, y una reducción en el consumo de agua. Por lo tanto, se recomienda su cultivo en invernadero, ya que la papaya puede ajustarse a una reducción del 30% en la densidad de fotones fotosintéticamente activos (PPFD).

La papaya es sensible a las bajas temperaturas, afectando negativamente su desarrollo. Como respuesta a temperaturas inferiores a 20°C puede sufrir diferentes fenómenos. Comenzando por la carpoidia, que consiste en la transformación de los estambres en carpelos en las flores hermafroditas durante su formación, dando lugar a frutos deformados no comercializables. Otros de los cambios atribuibles a bajas temperaturas son los cambios de género, la reducción de la viabilidad del polen y el bajo contenido de azúcar en las frutas (Campostrini et al., 2007; Rodríguez et al., 1995).

Un alto déficit de presión de vapor (DPV) reduce la conductancia estomática y la asimilación de carbono, incluso con suficiente agua en el suelo, mientras que altos niveles de DPV cierran los estomas y disminuyen la asimilación de carbono (Machado Filho et al., 2006).

El color verde pálido de las hojas puede aumentar el reflejo de la luz y reducir la temperatura, permitiendo incrementos en la conductancia estomática y el contenido de clorofila (a+b) (Campostrini et al., 2007).

El tipo de cultivar también influye en la tasa máxima de asimilación de carbono (Rodríguez et al., 1995).



Reis (2007), junto con Allan y Jager (1979), demostraron que la microaspersión sobre las copas durante el verano es fundamental para reducir el estrés térmico en las hojas, ayudando a evitar la depresión de la fotosíntesis al mediodía. Esta técnica aumenta la conductancia estomática y la transpiración al disminuir la temperatura de las hojas y el  $DPV_{H-a}$ , incrementando la asimilación de carbono y, en última instancia, la cantidad de fruta por planta.

### **Efectos del viento**

La acción del viento redujo la altura de la planta y la materia seca de las hojas y tallos, pero no la de las raíces. En algunos cultivares se ha demostrado una reducción de la asimilación de carbono consecuencia de una disminución de la conductancia estomática (y en consecuencia de la transpiración) resultado del viento (Campostrini et al., 2007). Además, la caída de hojas produce el paso de un exceso de radiación que da lugar al llamado 'golpe de sol' en el fruto por lo que se recomienda el uso de cortavientos en zonas de vientos frecuentes para evitar la disminución de los rendimientos (Rodríguez, 2015).

### **Efectos del déficit hídrico.**

La papaya exhibe respuestas estomáticas y no estomáticas al déficit hídrico, con señales tanto hidráulicas como no hidráulicas. Marler et al. (1994) indicaron que es muy poco probable que los estomas se cierren debido a señales hidráulicas por deshidratación de las hojas, sugiriendo que otras señales no hidráulicas controlan este comportamiento. Aunque no demostraron ajuste osmótico, propusieron que la papaya retrasa la deshidratación como adaptación a la sequía. Sin embargo, Mahouachi et al. (2006) encontraron que el ajuste osmótico es un factor que contribuye en la adaptación a la sequía en el cultivar "Baixinho de Santa Amália".

Marler et al. (1994) y Torres-Netto (2005) observaron variabilidad genética en la respuesta a la sequía, con diferentes cultivares mostrando variaciones en el contenido relativo de agua (RWC) y el potencial osmótico del xilema bajo estrés. En cultivares como "Golden" y "Hybrid UENF/Caliman 01", el estrés hídrico moderado y severo redujo el RWC, el potencial osmótico, el contenido de clorofila (SPAD) y la conductancia estomática ( $g_s$ ). Además, se observó una disminución en el quenching fotoquímico ( $q_p$ ) y  $F_v/F_m$ , mientras que aumentó el quenching no fotoquímico ( $q_N$ ). 'Golden' mostró la mayor reducción en  $F_v/F_m$ .

Torres-Netto (2005) encontró que independientemente de los cultivares el estado de epoxidación aumentó con el estrés severo, y el peso específico de la hoja se redujo. El cultivar híbrido ensayado mostró mayores reducciones en la materia seca de la copa y raíces comparado con el cultivar "Golden". En contraste con los resultados de Torres-Netto (2005), Marler y Mickelbart (1998) observaron que 'Red Lady' mantuvo  $F_v/F_m$  bajo estrés, sugiriendo tolerancia del PSII.

Reis et al. (2005) demostraron que, tras suspender el riego, la asimilación de carbono (A) en el cultivar 'Golden' no se recuperó completamente al rehidratar, indicando daño bioquímico y fotoquímico. Campostrini et al. (2007) y Lawlor y Cornic (2002) indicaron que el estrés hídrico severo puede dañar el sistema fotoquímico y bioquímico, afectando la síntesis de ATP y la fotosíntesis.

Mahouachi et al. (2007) encontraron que 'Baixinho de Santa Amália' reanudó la asimilación de carbono tras la rehidratación, aunque el estrés causó caída de hojas. El ácido abscísico (ABA) aumentó continuamente bajo estrés, sugiriendo su papel como señal hormonal en la respuesta fisiológica a la sequía.



### **Efectos de la compactación del suelo y la restricción de raíces.**

Las raíces de las plantas de papaya exhiben una notable plasticidad fenotípica, lo que significa que su dirección de crecimiento, tamaño y número de ramificaciones se ven influenciados por una variedad de características físicas, químicas y biológicas del sustrato en el que se enraízan. Entre estas características, el grado de aireación del sustrato juega un papel crucial, ya que controla de manera significativa la fisiología y el crecimiento de las plantas de papaya.

La distribución del sistema radicular no solo afecta la capacidad de absorción de nutrientes y agua, sino que también es fundamental para determinar la ubicación óptima de los insumos culturales, como los fertilizantes, y la instalación de sensores para monitorear la humedad del suelo en el manejo del riego (Marler y Discekici, 1997).

En las plantaciones comerciales, el uso de equipo pesado en suelos húmedos da como resultado la compactación del suelo, la cual reduce el intercambio de gases, el contenido de clorofila, la Fv/Fm y el crecimiento (Campostrini & Yamanishi, 2001). En estudios realizados por Campostrini y Yamanishi (2001), al evaluar la adaptación de los cultivares a la compactación del suelo y la restricción de raíces, se observó que todos los cultivares redujeron el número total de hojas, el área foliar promedio, la longitud de la vena central de la hoja, el área foliar total, el diámetro del tronco y la altura del árbol en comparación con las plantas no restringidas. Concluyeron que la restricción del volumen de raíces induce la senescencia como una respuesta fisiológica general.

### **Efectos de los hongos micorrízicos en la productividad de la papaya**

Una sólida red de hongos micorrízicos arbusculares (AM) es esencial para mejorar la producción, ya que estos organismos mejoran la absorción de nutrientes, especialmente fósforo y nitrógeno, así como la captación de agua por parte de las raíces (Jiménez et al., 2014). Aunque los hongos micorrízicos colonizan naturalmente las raíces de la papaya, parece que estas muestran un crecimiento deficiente y una absorción inadecuada de fósforo en comparación con aquellas inoculadas con AM (Habte, 2000). Sin embargo, la simple inoculación no siempre garantiza un crecimiento óptimo. Mamatha et al. (2002) demostraron que las plantas de papaya del cultivar 'Solo', de 1.5 años de edad, incrementaron su rendimiento de frutos al ser inoculadas con *Glomus mosseae* y *G. caledonium*, junto con o sin la adición de *Bacillus coagulans*, que fomenta la colonización de AM. Además, se ha observado que los cultivos de cobertura y pastos como el Bahiagrass (*Paspalum notatum*) y el mijo (*Pennisetum glaucum*) también promueven la infección de AM en la papaya (Cruz et al., 2003).

Los hongos micorrízicos (AM) reducen el estrés hídrico, como demostraron Cruz et al. (2000). Durante un tratamiento de 20 días, las plantas con AM mostraron un menor descenso en el potencial hídrico de las hojas, indicando un menor déficit hídrico. Además, se observó una reducción en los niveles de etileno del suelo y la actividad de  $C_4H_7NO_2$  en las plantas con AM, lo que sugiere una mitigación del estrés hídrico. Este efecto se atribuye en gran medida al aumento significativo en la biomasa de raíces de las plantas con estos organismos, que mejoró su capacidad de absorción de agua.

### **3.5.2. Expresión sexual y los efectos ambientales sobre la determinación del género**

Jiménez et al. (2014) sostienen que la papaya presenta tres formas sexuales, clasificando las plantas como dioicas o andromonoicas, es decir, con flores masculinas y femeninas, o con flores hermafroditas y masculinas, respectivamente. Por otro lado, Rodríguez et al. (1995) y Hueso et al. (2015) describen a *C. papaya* como una especie trioica, que presenta plantas con tres tipos sexuales: femeninas (ginoicos), predominantemente masculinas (androicos) y bisexuales (hermafroditas). Finalmente, Guzmán (1998) y Agustí (2014) la categorizan como dioica, aunque reconocen la existencia de plantas



hermafroditas.

El sexo de la papaya está determinado genéticamente por los cromosomas X/Y, siendo el cromosoma Y el responsable del desarrollo de flores masculinas o bisexuales (Jiménez et al., 2014; Hueso et al., 2015). Sin embargo, variaciones ambientales pueden provocar cambios temporales en los caracteres sexuales de las flores, un fenómeno común en Canarias (Rodríguez, 2015).

El estrés hídrico y las altas temperaturas afectan la inflorescencia, transformando las flores bisexuales en flores masculinas con estambres portadores de polen y pistilos abortados y sin frutos (Chía, 2001; Ming, 2007). El aborto del pistilo podría deberse a una inadecuada transducción de señales hormonales, falta de expresión de genes relacionados con hormonas, factores transcripcionales o variaciones en los genes productores de auxinas entre flores (Liao, 2022). Con temperaturas a partir de 30 °C y un déficit hídrico severo se produce esterilidad, uniéndose a la falta de agua disponible en el suelo la caída de flores (Rodríguez, 2015).

Como respuesta a bajas temperaturas, específicamente inferiores a 20 °C durante la formación de flores hermafroditas, los estambres se transforman en carpelos, resultando en frutos deformados no comercializables, un fenómeno conocido como carpeloidía. Este fenómeno también ocurre por un exceso de agua en el suelo, que si se prolonga, produce asfixia radicular y la muerte de la planta (Rodríguez, 2015).

### **3.5.3. Equilibrio fuente-sumidero, formación natural y defoliación artificial**

El equilibrio fuente-sumidero es crítico para el cuajado, el desarrollo y la acumulación de azúcar en la papaya. Las hojas que proporcionan asimilados fotosintéticos como el carbono y el nitrógeno se denominan fuentes que favorecen el crecimiento vegetal, mientras que las hojas tiernas, las flores, los frutos, los tallos y las raíces, que importan estos asimilados, se definen como sumideros. En general, cada hoja madura puede proporcionar fotoasimilados para aproximadamente tres frutos (Zhou et al., 2000). Cabe destacar que la calidad de la fruta también varía según la capacidad fotosintética de la hoja, es decir, la eficiencia y efectividad con la que las hojas de la planta realizan la fotosíntesis impactan directamente en diversas características de la fruta (Salazar, 1978).

En estudios realizados por Zhou et al. (2000) se comprobó que la defoliación de aproximadamente un 75% redujo significativamente la producción de nuevas flores y el cuajado de frutos, además de disminuir los sólidos solubles totales (SST) de los frutos maduros. En contraste, la defoliación de un 50% no redujo la producción de frutos nuevos ni el SST de los frutos maduros. Además, la eliminación continua de hojas viejas redujo el cuajado de nuevos frutos, el peso de los frutos y el SST, mientras que el manejo adecuado de los frutos nuevos aumentó el cuajado de estos y mejoró el SST de los frutos maduros.

La planta de forma natural desarrolla un promedio semanal de 2 hojas nuevas, lo que suma aproximadamente 100 hojas en un año. Teniendo en cuenta una planta adulta, en su desarrollo normal, tiene un promedio de 30 hojas funcionales, considerándose que el mínimo necesario para un buen desarrollo es de 15 hojas (Alfonso, 2010), pues la poda de hojas de papaya a 15 hojas funcionales no afecta la producción de frutos ni los SST del fruto (Ito, 1976). En investigaciones realizadas por Mederos et al. (1983), se determinó que el ritmo de emisión es de uno a dos hojas por semana de vida de acuerdo al estado de desarrollo que tenga la planta (Pérez, 2001), mientras que Paul y Duarte (2011) aseguraron que el ritmo de emisión es de dos a tres hojas nuevas por semana en el ápice. Según expusieron Wadekar et al. (2021), la vida útil de cada hoja es de 4 a 6 meses.



## 3.6. Cultivo de la papaya en Canarias

### 3.6.1 Material vegetal de mayor importancia en Canarias: tipos y cultivares

La producción comercial de papayas en Canarias está en constante evolución, ya que aún no se ha identificado un cultivar que combine todas las características ideales buscadas por los mejoradores, como son un gran vigor de la planta ligado a la fructificación, esencial para una alta productividad, plantas de bajo porte con frutos tempranos y elevado contenido de azúcar, con mayor área foliar que permita aumentar el área fotosintética y proteger a los frutos de las quemaduras del sol, libres de virus y que tengan una tendencia a producir flores hermafroditas. Los cultivares utilizados son diversos y se pueden agrupar en cuatro categorías principales: líneas puras tipo Solo o Hawaiano, líneas puras tipo Formosa (cubano), híbridos tipo Solo e híbridos tipo Formosa (Pérez, 2021; Galán, 2014).

Las plantaciones comerciales de papayas en Canarias comenzaron a finales de 1970 con el cultivar 'Sunrise' de tipo Hawaiano, que según Galán (2014), solo lo comercializa un agricultor en Gran Canaria bajo el nombre de Papaya Mía.

Dentro de los tipos hawaianos que se cultivan que se continúan cultivando, destacan 'Baixinho de Santa Amalia', originado en Brasil y especialmente 'BH-65' de Sudáfrica, ambos adecuados para invernaderos de poca altura debido a su bajo porte. Cabe mencionar que el 'BH-65' tiene entrenudos más cortos, menos flores y un peso del fruto en torno a 450 g frente los 550 g del 'Baixinho de Santa Amalia'. En cuanto a las variedades de tipo Formosa, 'Maradol' es un cultivar de bajo porte y entrenudos cortos, con una fructificación que se inicia sobre los 50 cm sobre el nivel del suelo, frutos con peso promedio de 1,5 a 2,6 kg, destacable debido a su buen contenido de azúcar y alta productividad que oscila entre 120 y 200 t/ha. Esta variedad es apreciada en el mercado local por su sabor y aroma intensos, aunque no tiene la misma aceptación en el mercado peninsular (Rodríguez, 2015).

Los híbridos mexicanos F1 'Silhouette' (tipo Solo), 'Intenza' y 'Sensation' (tipo Formosa) representan gran parte de las plantaciones con un 80 % del total (Pérez, 2016), a pesar de sus frutos grandes (más de 1,5 kg), mayor altura de planta y menor contenido de sólidos solubles que los de tipo 'Solo' o 'Maradol' bajo condiciones de inferior temperatura, son preferidos por su alta productividad, encontrándose la 'Intenza' entorno a las 200 t/ha, la 'Sensation' 180 t/ha y la 'Siluet' sobre los 100 t/ha. Cabe destacar el apoyo de COPLACA para frutos de gran tamaño (Galán, 2014; Rodríguez, 2015).

Más recientemente se han introducido otros cultivares como Tainung-1 (Taiwan), Sweet Mary (Costa Rica), Eksotika II (Malasia) y Calimosa (Brasil), que no han demostrado una adaptación y comportamiento similar en respuesta a las condiciones climáticas, sensibilidad a plagas y enfermedades y contenido en azúcar, lo que dificulta el aumento de las superficies y la producción. (Pérez, 2016). Los únicos cultivares que presentan resistencia al virus de la mancha anular (PRSV) son los transgénicos desarrollados en Hawái, que actualmente no se cultivan en España (Galán, 2014).

Galán (2014) expuso que los híbridos que estaban ganando relevancia eran 'Eksotika II' de Malasia y 'Pococi' ('Golden Perfect') de Costa Rica, los cuales producen frutos de peso intermedio y presentan menos problemas de contenido de azúcar.

La corta vida útil de las plantaciones de papaya, que no supera los tres años, facilita un rápido cambio varietal. La tendencia es plantar híbridos que producen frutos de más de 1,2 kg, conocidos localmente como «papayón», y que son los únicos exportados al mercado peninsular (Galán, 2014).



### 3.6.2. Técnicas de cultivo

#### Propagación y trasplante

La papaya se propaga comercialmente por semilla, si bien su propagación vegetativa, incluso por cultivo in vitro, es viable. De hecho, algunos viveros en Canarias comercializan plantas injertadas que obvian los problemas de heterogeneidad de las semillas. En todos los casos, la propagación en viveros se realiza en estructuras aisladas de plantas hospedantes y de vectores de virus (Galán, 2007).

En el cultivo de la papaya sólo las plantas hermafroditas gozan de aceptación comercial, por lo que para su selección se realiza la técnica denominada como sexado. Teniendo en cuenta que ninguno de los cruces entre sexos dará lugar a semillas con un porcentaje superior a los  $\frac{3}{8}$  de plantas hermafroditas, el agricultor por lo general debe optar por incorporar entre 3 y 4 semillas por hoyo para aumentar las probabilidades de éxito (Galán, 2007).

Dichas semillas se deben seleccionar previamente, debiendo ser de color negro, proceder de frutos con una maduración entre  $\frac{1}{2}$  a  $\frac{3}{4}$  y lo más homogéneos posibles en su tamaño, además, la planta debe presentar vigor en altura y grosor, con producciones que comiencen desde baja altura, que las características predominantes sean las del cultivar plantado y que estén sanas, según la recomendación de Hidalgo Pérez (2001). Una vez se elimina la sarcotesta con agua no tratada se dejan secar al aire y se realiza una prueba de germinación para comprobar el número de semillas necesarias a utilizar. Por último, se someten a una sustancia bioestimulante (tiosulfato de sodio o tiurea) que aumente el poder germinativo y estimule el crecimiento y desarrollo posterior de la planta; aunque lo ideal es realizar la siembra con semillas recién extraídas (Pérez, 2001).

La siembra se puede realizar de tres formas: directamente en campo, en envase o en canteros. De esta última técnica mencionada cabe destacar, que una vez las plantas son obtenidas de los canteros se pasan a bolsas o envases al mes aproximadamente de la germinación, hasta que tengan el desarrollo necesario, o se espera para trasladarlas al campo a que tengan de 10 a 15 cm, que ocurrirá al segundo o tercer mes tras la siembra. Este sistema tiene como riesgo el daño radicular, y debemos mantener especial cuidado con el sustrato a utilizar y su contenido de humedad. Sin embargo, el método más utilizado es la siembra mediante envases, generalmente de polietileno, dado el fácil control de todas las condiciones y labores. Cabe destacar que la fase semillero-vivero durará de 4 a 7 semanas para evitar un mal desarrollo fisiológico y será de vital importancia el control de la luz mediante cobertores, que se irán retirando de forma paulatina hasta que las plántulas se adapten. La siembra directa en campo es menos utilizada, pues se ha demostrado que este método incrementa aún más los problemas germinativos al encontrarse las semillas en un medio hostil, además de derivar en plantaciones muy heterogéneas (Pérez, 2001).

Para realizar la elección de la plántula hermafrodita deseada, será necesario esperar varios meses hasta la floración (final de la etapa juvenil) para la determinación del sexo dada la inexistencia de marcadores morfológicos. De ahí el enorme interés de la propagación vegetativa de la papaya, que evita este problema.

Esta técnica de cultivo lleva consigo un encarecimiento en las plantas de vivero y por ende del establecimiento de las plantaciones comerciales, un aumento en los gastos de cultivo durante los primeros meses, relacionados con las labores de plantación, riego, abonado, manejo general del cultivo y posterior eliminación de las plantas no deseadas, y además aparecen problemas asociados a la competencia entre plantas dentro del hoyo, como el debilitamiento del sistema radical y la iniciación de la fructificación a mayor altura, lo que dificulta la posterior recolección de la fruta acortando la vida productiva de una plantación (Galán, 2007).



## Aclareo de flores y frutos

La papaya produce sus frutos en la axila de cada hoja, por lo que es necesario realizar un aclareo de flores y frutos para evitar deformaciones. Bajo condiciones adecuadas de temperatura, la papaya produce hojas y frutos durante todo el año, permitiendo una recolección continua. Sin embargo, en lugares con problemas de temperatura, incluso en invernadero en Canarias, pueden ocurrir fenómenos de carpeloidia, esterilidad femenina y bajo contenido de azúcar en los frutos, lo que impide su comercialización (Galán, 2005).

El aclareo de frutos o flores para mantener 1-2 frutos por nudo se realiza manualmente en las Islas Canarias en los cultivares 'Baixinho' y 'BH-65', que producen más de 10 flores por nudo (Galán, 2007). Este proceso aumenta el cuajado de frutos nuevos y el contenido de sólidos solubles totales (SST) en los frutos maduros. También se observan frutos de mayor tamaño, desarrollo más rápido, reducción en la tasa de respiración y mayor contenido de azúcar y actividad de invertasa ácida (IA) en frutos inmaduros cuando se eliminan los frutos viejos (Zhou et al., 2000). El raleo en el cultivo de la papaya a un fruto por nudo aumenta el tamaño del mismo sin modificar su contenido de azúcar (Martínez, 1988).

## Marcos y densidades de plantación

En el archipiélago canario, la densidad y el marco de plantación cambian según se cultive con líneas puras o híbridas. En el primer caso, se plantan a una densidad de 2.200 plantas/ha, en líneas sencillas, con pasillos de 3 m y distancia entre plantas de 1,5 m, mientras que en el caso de los híbridos se plantan a una densidad de 1.700 plantas/ha, también en líneas sencillas, con pasillos de 3 m, pero con distancia entre plantas de 2 m (Galán, 2014). En cualquier caso, se pueden alcanzar densidades de 2.666 plantas/ha, las cuales son capaces de producir hasta 200 t/ha durante el período de tres años antes de renovar la plantación. Es habitual que muchos agricultores vuelvan a plantar entre hileras al tercer año, para conseguir continuidad una vez que se ha eliminado el cultivo anterior (Galán, 2007). En esta línea Rodríguez et al. (1995) determinó que el ciclo comercial debe ser de tres años máximo, por una parte, debido a la dificultad para llegar a la fruta en la recolección por la excesiva altura de la planta, y por otra a la disminución en producción, por lo tanto, no es viable su mantenimiento.

Rodríguez (2002) realizó un estudio sobre cultivar "Baixinho de Santa Amalia" bajo invernadero con el objetivo de determinar la densidad de plantación más adecuada y obtener los mejores rendimientos. Obtuvo como conclusiones que en plantas hermafroditas el tratamiento de mayor densidad T1 (2.666 planta/ha) produce mayor rendimiento, pero mayor porcentaje de fruta no comercial. Por otra parte, desaconseja las plantas femeninas pues producen en general frutos con poco peso, mal polinizados y deformados en cualquier densidad, y especialmente en el segundo ciclo.

### 3.6.3. Requerimientos hídricos y nutritivos

La fertilización en la *Carica papaya* es un factor determinante para maximizar el crecimiento, desarrollo y producción (Hueso et al., 2020). Las recomendaciones nutricionales deben adaptarse a las condiciones ambientales, el tipo de suelo, la edad de las plantas y las prácticas de cultivo, y basarse en análisis foliares y de suelo (Agustí, 2014). Los nutrientes minerales son absorbidos por las plantas cultivadas a plena luz solar de la siguiente manera:  $K > N > Ca > P > S > Mg$  (para macronutrientes) y  $Cl > Fe > Mn > Zn > B > Cu > Mo$  (para micronutrientes) (Jiménez et al., 2014). En términos generales, la papaya requiere mayores cantidades de nitrógeno, potasio y calcio entre los macronutrientes, y de hierro, manganeso y azufre entre los micronutrientes (Alfonso, 2010). Además, requiere elevadas dosis de fertilización, así como de frecuencias cortas de aplicación para producir y desarrollarse de forma óptima (Alfonso, 2010) Las plantas eficientemente nutridas alcanzan un mayor grosor en su



tallo, lo que repercute de manera decisiva en el número de flores (Pérez, 2001).

En cuanto a las necesidades hídricas de riego, la papaya es un cultivo exigente, principalmente durante la floración, de forma que un estrés hídrico puede provocar caída de flores y hojas, clorosis y el cese de la emisión de nuevas hojas (Hueso et al., 2020). En Canarias, las papayas de invernadero regadas por goteo se fertilizan de la misma manera que las de plantaciones al aire libre, aplicando 150 g de N, 120 g de  $P_2O_5$ , 200 g de K y, en su caso, 37 g de bórax por planta y año (Rodríguez et al., 1995). Generalmente se incorpora materia orgánica, alrededor de 5 kg de estiércol/planta (Galán, 2007).

Las dosis de riego para papaya por goteo en Canarias comienzan con 4 L/planta/día hasta la floración y aumentan hasta 12 L una vez alcanzada la plena producción. (Rodríguez Pastor et al., 1995). Según Pérez (2001) valores de 4.000 a 6.000 metros cúbicos por hectárea al año satisfacen las necesidades hídricas de este cultivo, aunque cantidades menores bien distribuidas también permiten obtener producciones altas y de calidad.

#### **3.6.4. Tipos de invernaderos**

En Canarias, las plantaciones de papaya se realizan exclusivamente bajo invernadero. Esto permite mantener un contenido adecuado de sólidos solubles totales (SST), lo que garantiza una alta calidad comercial y permite la producción durante todo el año. Sin embargo, la principal razón para el cultivo en invernaderos es la protección contra el insecto transmisor del Virus de la Mancha Anular de la Papaya (Papaya Ring Spot Virus, PRSV), que reduce significativamente la vida útil de las plantaciones al aire libre (Cabrera et al., 2021; Galán, 2007).

Los invernaderos en Canarias para el cultivo de papaya varían en diseño y materiales de cobertura, pudiendo ser tanto similares a los de la platanera, con marcos de tubo de acero galvanizado ( $\varnothing 5$  a 10 cm y 6 a 7 m de longitud) embebidos en bases de hormigón, como de menor altura ( $3\varnothing 5$  a 10 cm y -4 m) derivados en su mayoría de las tradicionales estructuras ya existentes empleadas para cultivos de tomate y, en menor medida, de ornamentales, con estructuras similares. Como resultado de este cambio, las actuales parcelas son más grandes, lo que mejora la economía de escala y, por lo tanto, la viabilidad del cultivo. Generalmente, se utilizan estructuras simples sin sistemas de control climático como ventilación forzada, calefacción o refrigeración. Esta falta de ambiente controlado provoca condiciones extremas en el interior, con altas temperaturas al mediodía en verano y gran amplitud térmica en invierno, afectando el desarrollo y rendimiento de las plantas debido a la diferente respuesta fotosintética de la papaya (Galán, 2007; Cabrera et al., 2021)

Las cubiertas pueden ser de plástico o de malla, preferiblemente de malla por su durabilidad (Rodríguez, 2015).

Según Galán (2007), las cubiertas de polietileno son más favorables que las de malla para obtener frutos con mayor contenido de SST.

El revestimiento de los invernaderos suele ser una película de polietileno entretejida con una red de cables, utilizada con frecuencia en los laterales en las zonas más cálidas de las islas. Aunque la estructura de los invernaderos puede durar décadas, el reemplazo de la cubierta es un punto débil debido a daños por tormentas o envejecimiento. El Instituto Canario de Investigaciones Agrarias (ICIA) está evaluando diferentes tipos de cubiertas de invernadero, enfocándose en polietilenos de larga duración, que son preferibles a las cubiertas de malla para papaya, ya que los SST de la fruta aumentan con el calor (Galán, 2007). Sin embargo, es necesaria una ventilación adicional en verano para evitar que las altas temperaturas provoquen el desarrollo de flores masculinas no funcionales en cultivares bisexuales (Nakasone y Paul, 1998).



### 3.6.5. Plagas y enfermedades

Las principales limitaciones fitopatológicas de la papaya en Canarias son la polilla del plátano o taladro (*Opogona sacchari*), la araña roja (*Tetranychus urticae*), el oídio (*Oidium caricae*) y, ocasionalmente, la botritis (*Botrytis cinerea*). Todos se pueden controlar con diferentes productos, tanto convencionales como orgánicos, a excepción de la polilla del plátano, que suele requerir la aplicación de insecticidas sintéticos y fumigaciones con *Bacillus thuringiensis* (Galán, 2005; Galán, 2007).

La araña roja (*Tetranychus cinnabarinus*) es un ácaro que ataca las hojas, especialmente las más jóvenes, perforando y chupando el jugo de los tejidos, lo que produce una fuerte decoloración con pequeñas manchas redondas y amarillas (Rodríguez et al., 1995; Rodríguez, 2015). Estos daños se producen sobre todo en condiciones de sequedad ambiental (Pérez, 2001; Pastor, 2002), y causan la caída prematura de las hojas, reducen el vigor de la planta y provocan imperfecciones en la superficie de la fruta. Además, suelen manchar con látex las frutas verdes (Cepeda et al., 1996).

El Taladro (*Opogona sacchari*) se instala en las heridas producidas por la caída de las hojas una vez que se inicia la recolección de la fruta. Esta plaga representa un problema significativo en el cultivo de papaya en Canarias, ya que su control es complicado (Rodríguez, 2015). Los síntomas varían según el huésped. En el primer estadio larvario, el insecto crea túneles en heridas o tejidos blandos, siendo casi indetectable. Las larvas más maduras dejan masas de serrín y excrementos unidos por una especie de tela de araña en las aperturas de las galerías, además de causar heridas superficiales. Las exuvias vacías se encuentran en los agujeros de salida (Gmrcanarias.com, 2020; Rodríguez, 2002).

Oídio (*Oidium caricae*) es un problema grave y frecuente durante todo el año en las Islas Canarias, con una incidencia especialmente agresiva en épocas de alta humedad, como el invierno. Este hongo ataca las hojas, el tallo y los frutos de la planta de papaya. En las hojas, se manifiesta como un polvo blanco, que es en realidad el micelio del hongo. Aunque los climas secos pueden parecer menos propicios, en realidad favorecen la proliferación del oídio, complicando aún más su control y manejo (Hueso et al., 2020; Gmrcanarias.com, 2020; Pérez, 2001; Rodríguez, 2015; Rodríguez 2002).

Botritis (*Botrytis cinerea*) es un hongo que aparece de forma esporádica en las plantas de papaya, especialmente afectando los frutos durante el invierno. Su incidencia es mayor en las áreas más húmedas del invernadero, particularmente donde las plantas están más juntas debido a un marco de plantación más reducido. Este hongo provoca la podredumbre gris, que se manifiesta en manchas marrones y acuosas en los frutos, eventualmente cubriéndose de un moho grisáceo. Además de dañar los frutos, puede reducir significativamente la calidad y el rendimiento de la cosecha (Hueso et al., 2020).

Las enfermedades víricas son un desafío importante en el cultivo de *Carica papaya*, pudiendo causar pérdidas de hasta el 90% en las cosechas. Estas presentan manifestaciones diversas y, en ocasiones, pueden ser difíciles de detectar, especialmente en climas cálidos. Por lo tanto, es fundamental tomar precauciones adecuadas al planificar nuevas plantaciones para mitigar el riesgo de infección y proteger la salud de los cultivos (Rodríguez et al., 1995). La presencia de Papaya ringspot virus (PRSV) o mancha anular de la papaya es una seria amenaza comercial, contra la cual sólo los cultivares transgénicos de papaya obtenidos en Hawaii han mostrado una resistencia aceptable. Sin embargo, estos no son una opción en España, por lo que el cultivo en invernadero proporciona la mejor alternativa para la exclusión del vector PRSV en Canarias (Galán, 2014; Galán et al., 2007; Rodríguez, 2015; Hueso et al., 2015). Dicha enfermedad viral es transmitida en forma no persistente por varias especies de áfidos (Homóptera: Aphididae), entre las que destacan: *Aphis nerii*, *A. gossypii*, *Myzus persicae* y *Macrosiphum euphorbiae* (Valencia et al., 2003). Induce inclusiones en forma de molinillos (“pinwheels”) y de tubos (“scrolls”) en el citoplasma de las células de los ejemplares afectados.



El PRSV en papaya reduce el crecimiento y el área foliar, provoca la pérdida de hojas y facilita la quemadura de los frutos por el sol, formando manchas aceitosas y deformaciones que disminuyen severamente la producción, pudiendo incluso anularla. En las hojas, especialmente las más jóvenes, causa moteado, distorsión, un patrón de manchas (mosaico), abultamientos, deformaciones y filimorfismo. En el tallo, aparecen manchas alargadas de color más oscuro (Sociedad Española de Fitopatología, n.d.; Valencia et al., 2003).



## 4. Material y métodos

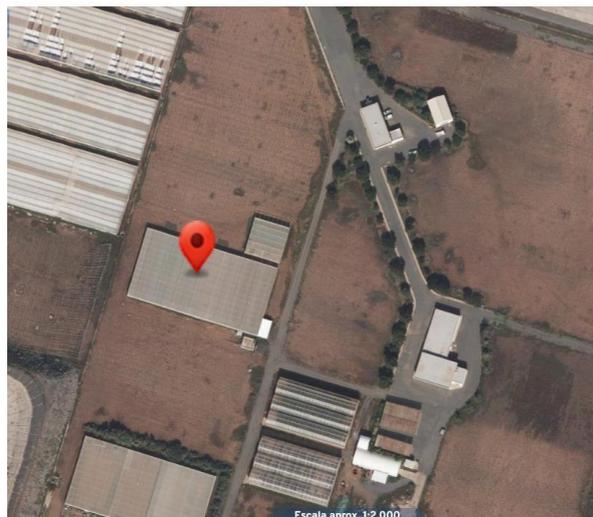
### 4.1. Descripción del ensayo

#### 4.1.1 Ubicación del ensayo y características del invernadero

El estudio experimental se llevó a cabo en un invernadero con cubierta de plástico (53.20 m s.n.m., Lat: 27° 50' 37.20" N Lon: 15° 25' 52.45" O) perteneciente a las instalaciones del Instituto Canario de Investigaciones Agrarias (ICIA), en La Finca La Estación, ubicada en la calle San Antonio, 3, municipio de Santa Lucía de Tirajana (Gran Canaria, Islas Canarias) (**Figura 10**).

El experimento se realizó en un invernadero de 1000 m<sup>2</sup>, tipo capilla, con cubierta de policarbonato y ventilación cenital y lateral automatizada, protegida por malla. Asimismo, estaba equipado con un sistema de nebulización automatizado que operaba según las condiciones climáticas. Estas características permitían controlar, hasta cierto grado, la temperatura y la humedad relativa dentro del invernadero.

Además, el invernadero estaba equipado con un sistema de doble acceso mediante puertas corredizas: una en la entrada de la antesala y otra que conducía al interior. Estas puertas, junto con las mallas de ventilación, ayudaban a prevenir la entrada de ciertos insectos.



**Figura 10:** Invernadero del ensayo. Fuente: visor Grafcan (03/6/2024).

#### 4.1.2. Material vegetal

Las plántulas de *Carica Papaya* L. de la variedad "Honey", utilizadas para el desarrollo del estudio, fueron suministradas por la empresa Cuplamol S.L. en macetas de 1L. Estas plántulas tenían una altura promedio de 25 cm y 6-7 hojas verdaderas, encontrándose en buen estado sanitario. Se procedió al trasplante el 26 de mayo de 2023.



#### 4.1.3. Condiciones de cultivo

Cada fila de cultivo constaba de dos líneas portagoteros, con goteros espaciados a 40 cm y un caudal de 3.7 L/h. El sistema de riego estaba completamente automatizado y controlado por tensiómetros, que activaban el riego cuando los valores de tensión superaban los niveles preestablecidos de 20 cb para el tipo específico de suelo utilizado. Este sistema permitía un suministro preciso y eficiente de agua, asegurando que las plantas recibieran la cantidad adecuada de riego según sus necesidades y las condiciones del suelo.

Se empleó mulching de pinocha en las líneas de cultivo, para mantener la humedad del suelo y disminuir el consumo hídrico, al reducir la evaporación, evitar la aparición de hierbas adventicias en la línea de cultivo y favorecer la vida de los microorganismos del suelo al proporcionar un hábitat más favorable.

El manejo del cultivo se ejecutó siguiendo la normativa de referencia para la producción ecológica en Canarias, principalmente el Reglamento (UE) 2018/848 del Parlamento Europeo y del Consejo (2018) junto con las directrices del Instituto Canario de Calidad Agroalimentaria (ICCA) y el Plan de Desarrollo Rural de Canarias (PDR) (2023). Se llevaron a cabo dos aplicaciones de compost: una antes del trasplante y otra al año del mismo, a razón de 10 L/m<sup>2</sup>. Además, semanalmente se realizaron aplicaciones de té de compost (**Tabla 1**) y otras materias orgánicas líquidas como Vitalgan a través del sistema de riego. El manejo de plagas se efectuó mediante la suelta de enemigos naturales, principalmente *Phytoseiulus persimilis* (**Foto 1**) para focos de araña roja (*Tetranychus urticae*) (**Foto 2**) cuando fue necesario, complementado con estructuras de vegetación (**Tabla 2**) dentro del invernadero para facilitar el control biológico por conservación.

El marco de plantación empleado fue de 3 metros entre pasillos y 2 metros entre plantas. El invernadero estaba compuesto por 11 filas, cada una con 10 plantas, lo que resultó en un total de 110 plantas de papaya.



**Foto 1:** Bote con *Phytoseiulus persimilis*



**Foto 2:** *Tetranychus urticae* en estado adulto y huevos.



Análisis químico té de compost		Análisis microbiológico té de compost		Valores promedios: ufc/g de suelo húmedo
Conductividad eléctrica (mS/cm)	2,51	Bacterias Totales		1,45E+06
pH (udes. pH)	8,88	Pseudomonas fluorescentes		1,07E+06
Fósforo (mg/l)	4,43	Bacillus mycoide		ND
Calcio (mg/l)	56,5	Hongos totales		1,09E+03
Magnesio (mg/l)	29	Trichoderma spp.		ND
Sodio (mg/l)	247	Actinobacterias (totales)		2,85E+02
Potasio (mg/l)	410	Streptomyces spp.		ND
Hierro (mg/l)	0,33			
Zinc (0,310 mg/l)	0,31			

**Tabla 1:** Análisis químico y microbiológico.

<b>Estructuras vegetales Canarias</b>
<i>Lavandula canariensis</i> Mill.
<i>Aeonium percanium</i> R.P. Murray
<i>Bupleurum salicifolium</i> R.Br. in Buch
<i>Crithmum maritimum</i> L.
<i>Teucrium heterophyllum</i> Gaisberg
<i>Artemisia ramosa</i> C. Sm. in Buch
<i>Polygonum maritimum</i> L.
<i>Gonospermum ferulaceum</i> (Webb) Febles
<i>Astydamia latifolia</i> (L.f.) Baill.
<i>Micromeria varia</i> Benth.
<i>Polycarpaea nivea</i> (Aiton) Webb
<i>Limonium pectinatum</i> (Aiton) Kuntze[
<i>Lobularia canariensis</i> (DC.) Borgen
<i>Paronychia canariensis</i> (L. f.) Juss.
<i>Allagopappus dichotomus</i> (Willd.) Greuter
<i>Argyranthemum frutescens</i> (L.) Sch. Bip.

**Tabla 2:** Estructuras vegetales canarias destinadas al control biológico por conservación dentro del invernadero con té de compost.

#### 4.1.4. Tratamientos

Para evaluar el efecto de la relación fuente/sumidero, es decir, carga de frutos por número de hojas, se realizaron tres niveles de deshojado:

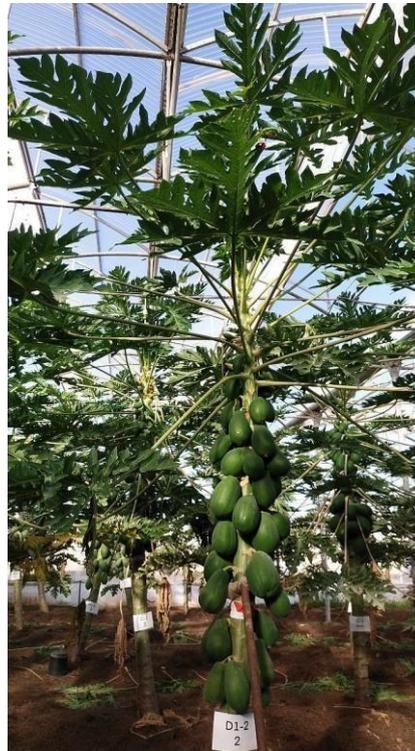
D1) manteniendo 30 hojas por planta contadas desde el ápice, siendo la primera hoja aquella cuya longitud estuviese en torno a 12-15 (**Foto 3**).

D2) manteniendo 15 hojas por planta contadas desde el ápice, siendo la primera hoja aquella cuya longitud estuviese en torno a 12-15 (**Foto 4**).

C) control, sin deshojar (**Foto 5**).



El deshojado comenzó el 29 de septiembre de 2023, cuando las plantas estaban en plena carga de frutos, antes de iniciar la recolección el 11 de diciembre del mismo año. Se realizaron deshojados mensuales desde noviembre de 2023 hasta enero de 2024, con una pausa hasta abril de 2024 para evaluar el efecto de este receso en el cultivo.



**Foto 3:** Tratamiento con deshojado D1 (30 hojas/planta).



**Foto 4:** Tratamiento con deshojado D2 (15 hojas/planta).



**Foto 5:** Tratamiento control (C) sin deshojado.



## 4.2. Diseño experimental

Para el estudio, la unidad experimental constaba de 5 plantas a las cuales se les aplicaban los tratamientos, tomando los datos y medidas de los 3 pies centrales, sirviendo las otras dos como borde (Figura 11).

Se aplicó un diseño experimental de bloques completos al azar con tres tratamientos y tres repeticiones, lo que involucró un total de 45 plantas, de las cuales se tomaron medidas en 27. El diseño experimental está representado en el esquema siguiente:

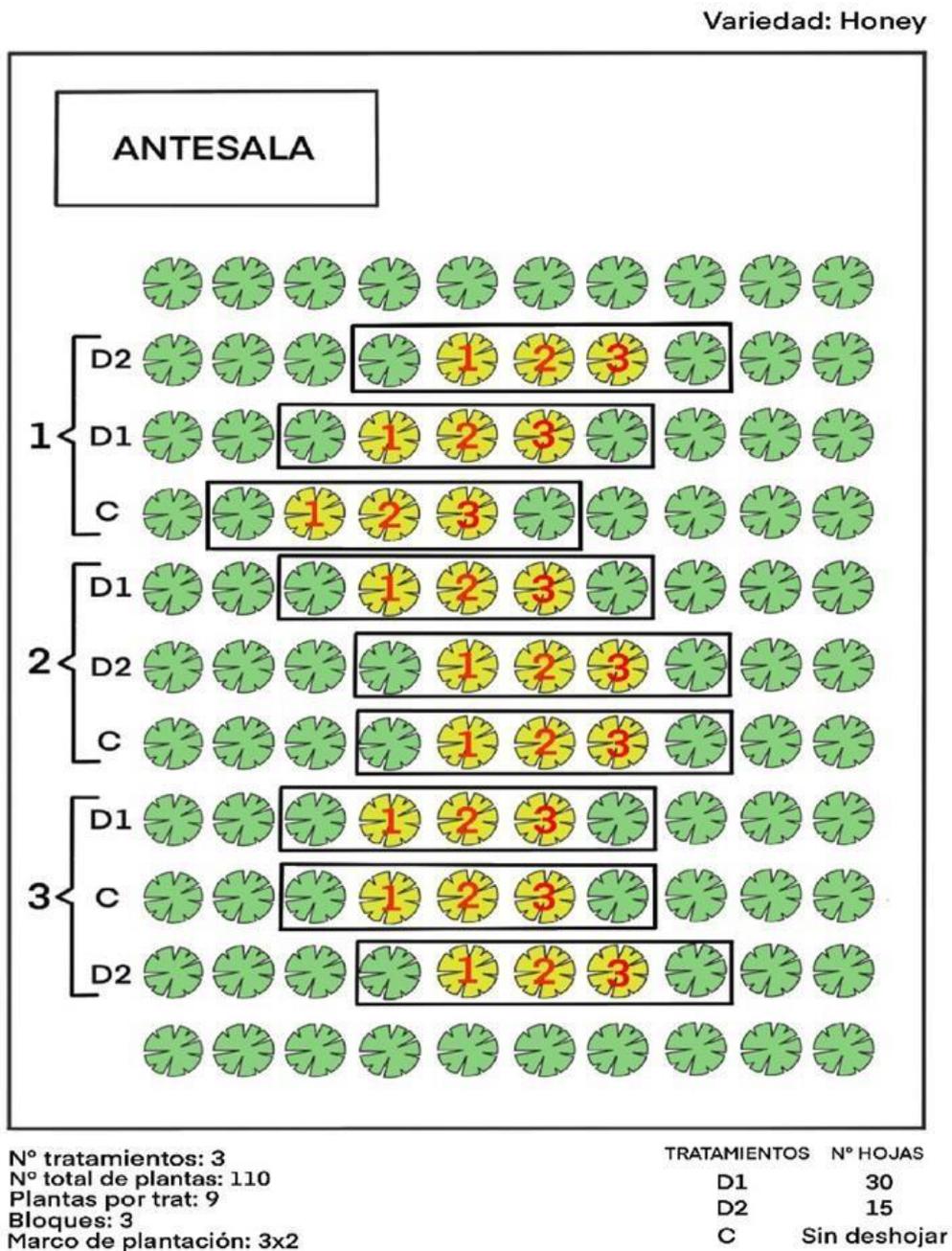


Figura 11: Diseño experimental del ensayo.



### 4.3. Parámetros medidos

Durante el desarrollo del ensayo, se recopilaban diversos datos que permitieron un monitoreo detallado y preciso del cultivo, y por ende, del efecto potencial de los tratamientos. Esta información ha sido crucial para realizar un seguimiento exhaustivo en todas las fases del proceso y asegurar la precisión en la evaluación de los resultados obtenidos.

#### 4.3.1. Parámetros climáticos

Los parámetros climáticos se midieron tanto dentro como fuera del invernadero, desde mayo de 2023 hasta el siguiente año de ese mismo mes. En el interior del invernadero, se registraron cada hora los datos de temperatura (°C), humedad relativa (%) y radiación solar global (W/m<sup>2</sup>) mediante una estación climática de la casa METOS modelo iMetos ECO D3 (**Foto 6**). Las condiciones exteriores se obtuvieron utilizando la estación meteorológica de la Red SIAR, concretamente una estación Campbell con datalogger CR10X (Santa Lucía - Vecindario (GC03) ubicada dentro de las instalaciones (**Foto 7**): temperatura (°C), humedad relativa (%), velocidad 3(m/s) y dirección del viento, precipitación (mm) y radiación solar global (W/m<sup>2</sup>).



**Foto 6:** Registrador de datos.



**Foto 7:** Estación meteorológica (GC03).

#### 4.3.2. Parámetros de crecimiento cultivo

##### Tasa de crecimiento del cultivo

Se registró la altura de las plantas en cada tratamiento cada 15 días, midiendo la distancia desde la base de la planta hasta el ápice (aproximadamente hasta la base de la primera hoja verdadera). Este procedimiento se llevó a cabo con el objetivo de monitorear el crecimiento de las plantas y obtener información detallada sobre su desarrollo a lo largo del tiempo.

##### Número de hojas presentes y tasa de emisión

El conteo de hojas presentes se realizó de forma mensual para mantener un control detallado del crecimiento de las plantas. En cada fecha de medición, se colocaba una etiqueta en la última hoja verdadera emitida de cada pie, con la información esencial, como el tratamiento, el bloque y la fecha correspondiente de la observación. Además, se contabilizaban todas las hojas presentes, y se



deshojaban las hojas más antiguas hasta alcanzar el número de hojas establecido para cada tratamiento, con la excepción del tratamiento "Control", en el cual no se efectuó deshojado alguno.

Este método permitió un seguimiento minucioso del desarrollo foliar. En cada momento de conteo se volvían a colocar las etiquetas superiores en la última hoja emitida, para obtener el número de nuevas hojas emitidas durante ese período. Este proceso no solo facilitó el monitoreo de la tasa de emisión de hojas, sino que también aseguró la precisión en la recopilación de datos, proporcionando una base sólida para el análisis y la evaluación de los resultados del ensayo.

### Conteo y clasificación de flores

Quincenalmente se llevó a cabo el conteo de las flores abiertas presentes en ese momento en cada planta, y diferenciando el tipo de flor según sus características en flores hermafroditas, masculinas y carpeloides.

Además, las flores hermafroditas en antesis se etiquetaron de manera individual (**Foto 8**) indicando en la etiqueta la semana del año, para poder establecer el periodo entre apertura de flores y fecha de recolección en cada tratamiento. Este etiquetado se comenzó a colocar en diciembre de 2023, por lo que los frutos etiquetados no se han comenzado a recolectar para la presentación de este trabajo.



**Foto 8:** Etiquetado y conteo.



### Relación entre el número de hojas y frutos en planta (Carga de frutos por planta)

Además del número de hojas presentes por planta, cada quince días se contabilizaba la cantidad de frutos presentes por planta en cada tratamiento, para obtener la relación entre el número de hojas y la carga de frutos por planta (**Foto 9**).



**Foto 9:** *Carica papaya* cargada de frutos (22/01/24).

### Parámetros fisiológicos (medida de fotosíntesis, contenido en clorofila y pigmentos)

Para evaluar si los deshojados influyen en la en la tasa fotosintética y otros parámetros relacionados con la eficiencia fotosintética, se midieron lo siguientes parámetros:

- La tasa de fotosíntesis (A), se utilizó un medidor de LI-6400XT, cuyo fundamento es el análisis de gases por infrarrojo (**Fotos 10 y 11**). Para las mediciones se fijaron las siguientes condiciones: i) Concentración de  $CO_2$  de referencia en 400 ppm; ii) Flujo de aire en  $500 \mu mol \cdot s^{-1}$ ; Radiación fotosintéticamente activa saturante, de  $1800 \mu mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$  (Ruíz et al., 2023; Zambrano., 2017; Wang et al., 2014).
- El contenido de clorofila, se valoró utilizando el medidor portátil SPAD-502, que toma lecturas adimensionales, instantáneas y sin necesidad de destruir la muestra de tejido vegetal. El medidor calcula el contenido de clorofila basándose en la cantidad de luz absorbida por la hoja (Torres et al., 2002).



- El contenido de clorofila, flavonoles, antocianinas y el índice NFI (Índice Nitrógeno Flavonol: Clorofila/Flavonol) se cuantificó simultáneamente en una única evaluación mediante el medidor de multipigmentos MPM-100. Este dispositivo utiliza la relación de fluorescencia para medir el contenido de antocianinas y flavonoles. Además, para determinar el contenido de clorofila, utiliza la transmisión de las hojas en el espectro del rojo lejano y el infrarrojo cercano (MPM-100, s/f, <https://www.optisci.com/mpm-100.html>). Finalmente, el indicador de nitrógeno-flavonol (NFI) se calcula utilizando la relación entre el contenido de clorofila y flavonoles.

Las mediciones se realizaron en dos momentos del ciclo de cultivo: la primera a mediados de febrero, después de un mes sin realizar deshojados, y la segunda a principios de abril, una semana después de haberlos efectuado.

Además, tuvieron lugar entre las 8:00 y las 10:00 a.m. para minimizar la influencia de la variación en las condiciones climáticas a lo largo del día en las medidas (Wang et al., 2014). La hoja de referencia para el muestreo fue la cuarta hoja por debajo de la más joven con 30 cm de longitud de peciolo (**Fotos 10 y 11**).

La tasa de fotosíntesis se midió en cuatro plantas por tratamiento, mientras que el resto de las medidas se realizaron en nueve plantas por tratamiento.



**Fotos 10 y 11:** Medida de la fotosíntesis con el medidor portátil LI-6400XT.

#### 4.3.4. Parámetros de producción y calidad de fruta

Durante la recolección semanal, los frutos se clasificaron en diferentes cajas marcadas según el tratamiento y el bloque correspondiente. Este procedimiento tenía como objetivo contabilizar, pesar (**Foto 12**) y medir largo y ancho de cada uno de los frutos de las 27 plantas del ensayo.



## Producción

Se pesaron individualmente los frutos recolectados en cada tratamiento y repetición, registrando los gramos obtenidos en su respectivo estadillo.



Foto 12: Pesaje en balanza de precisión.

## Calibre

Se utilizó una regla milimetrada para medir el largo y ancho de cada una de las frutas en los diferentes tratamientos, registrando los centímetros obtenidos en su respectivo estadillo.

## Análisis de los sólidos solubles totales, acidez titulable y pH

Para el análisis en laboratorio de la acidez titulable, pH y sólidos solubles totales, se realizó en primer lugar la recolección de los frutos y su selección según los criterios establecidos para la exportación. Mensualmente, se escogieron tres frutos de cada tratamiento y repetición, los cuales debían estar fisiológicamente maduros, en punto de recolección, con un 25% de color amarillo-anaranjado en su piel, un tamaño uniforme (800-1200 g), y no presentar deformaciones ni síntomas de daños mecánicos, enfermedades o plagas (Cabrera, 2016)

Después de la selección, los frutos se conservaron en una cámara de frío a 12°C, hasta el día siguiente, cuando se procedió a obtener las muestras. En el laboratorio, se extrajeron tres muestras de pulpa de la rodaja ecuatorial de cada fruto. Las dos muestras de mayor tamaño se guardaron en pequeños botes plásticos con su correspondiente identificación, y se almacenaron en un congelador para realizar posteriormente el análisis de la acidez titulable y el pH.

### - Sólidos Solubles Totales (SST)

Para medir los SST, se empleó un refractómetro digital de mano marca ATAGO (modelo PAL-BXACID F5) (Foto 13) (Magwaza, 2015). En primer lugar, se cortó un pequeño trozo de pulpa de papaya y se introdujo en una prensa metálica de ajos para comprimir la muestra que se colocaba sobre un trozo de papel de filtro. Una vez cerrada la muestra prensada en el papel de filtro, se exprimía para extraer unas gotas del jugo, que se disponían sobre el prisma del detector del refractómetro para realizar la medición.



Para garantizar la precisión de la medición, fue crucial que la muestra de jugo se distribuyera uniformemente sobre el prisma sin la formación de burbujas de aire, ya que pueden interferir con la lectura del refractómetro.

Después de cada medición, el prisma del refractómetro se limpió cuidadosamente con agua destilada y se secó completamente. Este paso fue esencial para asegurar que no quedaran restos de impurezas que pudieran sedimentarse y afectar la precisión de las mediciones subsecuentes. La limpieza y el secado minucioso del prisma entre cada medición garantiza la fiabilidad y la repetibilidad de los resultados obtenidos.



**Foto 13:** Refractómetro digital de mano ATAGO (modelo PAL-BXACID F5).

#### - **pH y acidez titulable**

Para determinar el pH y la acidez titulable, las muestras seleccionadas se dejaron descongelar completamente para posteriormente pesarse mediante una balanza de alta precisión. Se tomaron exactamente 10 gramos de pulpa de papaya y se colocaron cuidadosamente en un vaso de precipitados de vidrio, asegurando que no hubiera contaminaciones.

Con el objetivo de homogeneizar la muestra y garantizar una distribución uniforme de todos sus componentes, se añadieron 40 ml de agua destilada al vaso de precipitado y se trituró mediante un homogeneizador de varillas Polytron. Posteriormente, se añadieron 10 ml más de agua destilada para lavar el vástago.

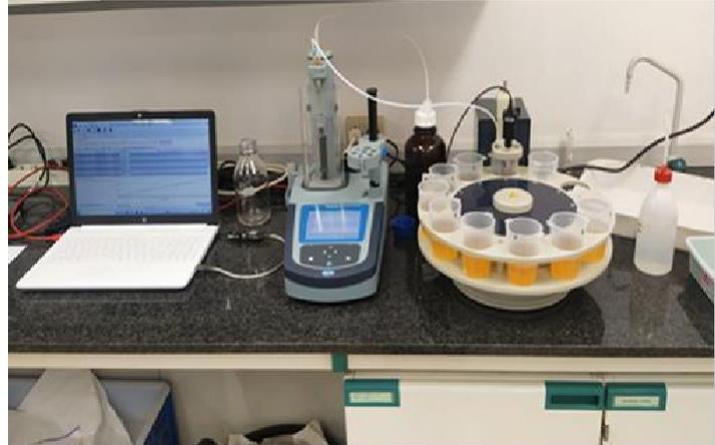
La mezcla se calentó hasta alcanzar el punto de ebullición utilizando un agitador magnético con calefacción (**Foto 14**). El agitador mantuvo la mezcla en constante movimiento, evitando la sedimentación de los sólidos y garantizando un calentamiento uniforme.

A continuación, la mezcla se dejó enfriar a temperatura equilibrada con el entorno, entre 20 y 25 °C. Este paso final es crucial para estabilizar la muestra y prepararla adecuadamente para las mediciones de pH y acidez titulable, asegurando que los resultados sean fiables y precisos.

La acidez titulable se determinó según el método de la AOAC 942.15 (AOAC, 2000) por neutralización del homogeneizado con NaOH 0,1 N, considerando un pH de 8,1 como punto final de la valoración.



Los resultados se expresaron en mg de ácido cítrico por 100 g de muestra fresca (mg AC/100 g p.f.). Para su determinación se utilizó un valorador TITRALAB AT1000 Series (**Foto 15**).



**Foto 14:** Calefactor con agitador magnético. **Foto 15:** Aparatos de medición del pH y la acidez titulable.

#### 4.3.5. Análisis físico-químico de suelos

Para el análisis químico inicial del suelo, se tomó una muestra de sustrato compuesta de 10 submuestras en la parcela de cultivo, específicamente en las zonas donde se ubicarían las filas de cultivo, a una profundidad de entre 15 y 25 cm. Tras un año de cultivo, se volvieron a tomar muestras de suelo, una por tratamiento y repetición, formadas por 4 submuestras escogidas en la zona del bulbo húmedo, también a una profundidad de entre 15 y 25 cm.

Las determinaciones se realizaron en el laboratorio del ICIA, analizando los siguientes parámetros: pH y conductividad eléctrica (CE) en extracto 1:5, nitrógeno total (N total), fósforo Olsen (P Olsen), cationes cambiabiles (K, Ca, Na y Mg) y materia orgánica total y oxidable.

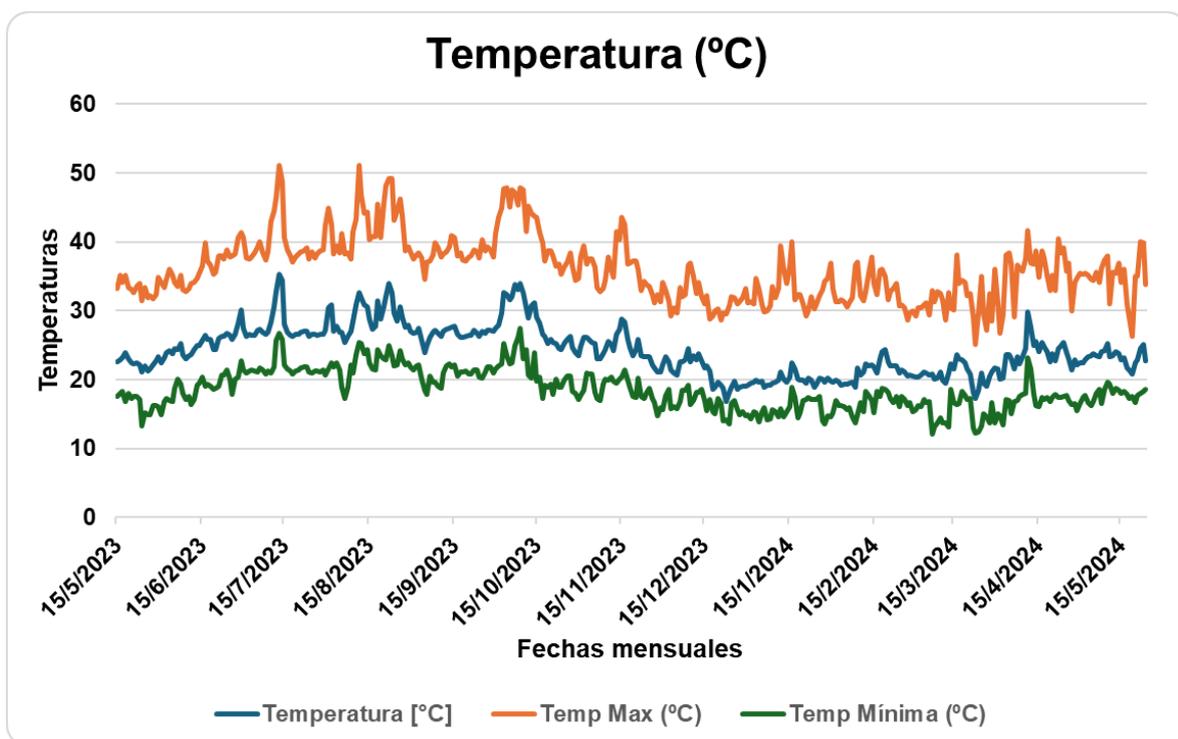


## 5. Resultados y discusión.

### 5.1. Parámetros climáticos en el interior del invernadero

#### 5.1.1. Temperatura (°C)

Teniendo en cuenta que la temperatura máxima limitante en papaya está por encima de 35°C, en la **Figura 12** se observa que, entre mediados de junio y octubre, las temperaturas máximas superaron este valor, con picos de hasta 51°C entre julio y agosto de 2023. Las temperaturas mínimas por debajo de 15°C se registraron durante algunos días en marzo de 2024, con valores en torno a los 13°C. Las diferencias significativas entre las temperaturas máximas y mínimas diarias en ciertos días sugieren fluctuaciones climáticas notables y posibles variaciones en la cobertura nubosa o eventos climáticos particulares.



**Figura 12:** Evolución de las temperaturas (°C) promedio, máxima y mínima a lo largo de todo el estudio.

#### 5.1.2. Humedad relativa (%)

Humedades relativas medias diarias por debajo del 60% (valor mínimo óptimo para el cultivo) se observaron principalmente entre mediados de noviembre y febrero de 2024, con mínimos entre el 20% y el 30% a lo largo de todo el año de cultivo, asociados a eventos de calima (ver datos de temperatura y DPV en la Tabla 3).

En resumen, como se observa en la **Figura 13**, los datos de humedad relativa mostraron variaciones significativas con picos frecuentes cercanos al 90% y mínimos alrededor del 20%. No hay una tendencia clara de estabilidad o cambio gradual, sino fluctuaciones dependientes de las condiciones climáticas específicas de cada día.

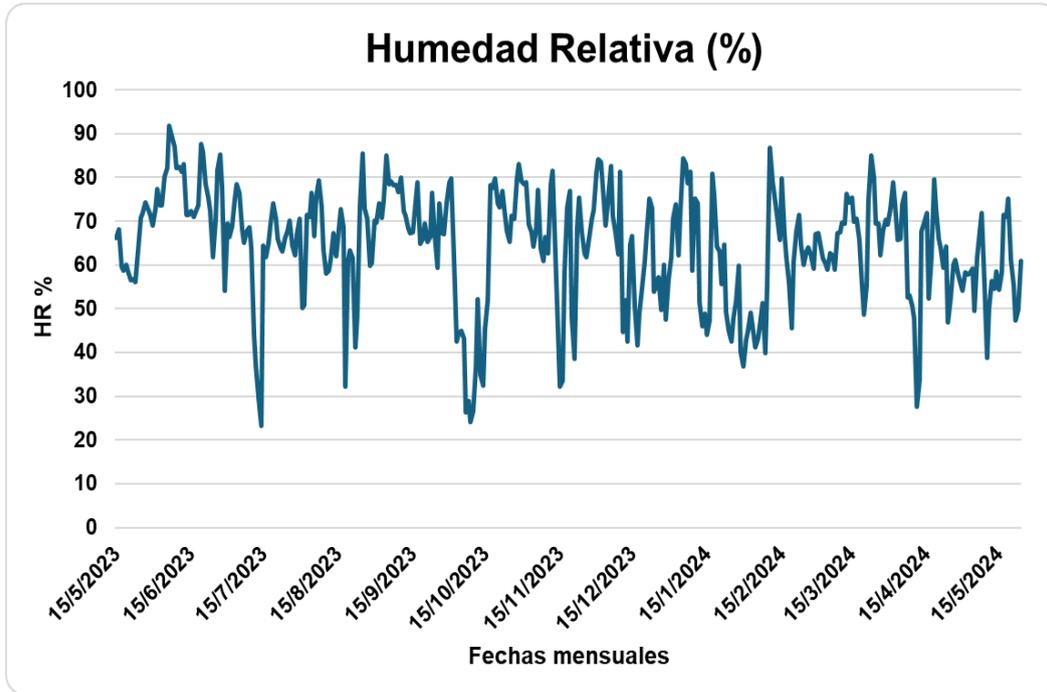


Figura 13: Evolución de la humedad relativa (%) a lo largo del periodo de estudio.

### 5.1.3. Déficit de presión de vapor (kPa)

Se alcanzaron valores de DPV por encima de 2.5 kPa en varias ocasiones a lo largo del año, con máximos alrededor de 4 kPa en julio y octubre, coincidiendo con eventos de calima (Figura 14). Los valores mínimos de DPV, se observaron en junio de 2023 con 0.25 kPa y entre diciembre y enero, en torno a 0.5 kPa.

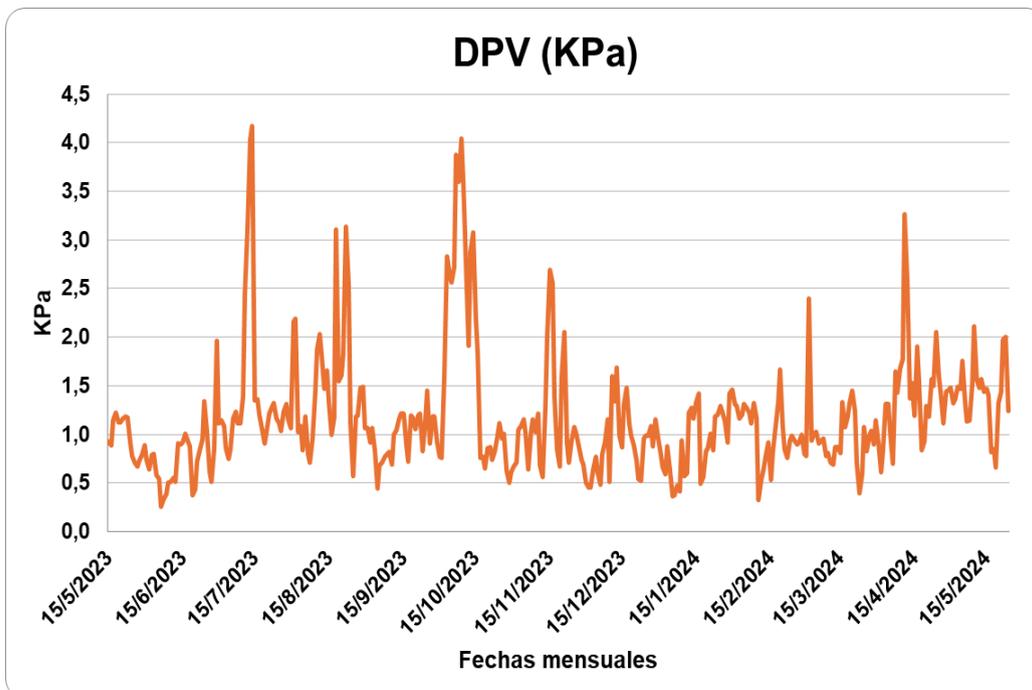


Figura 14: Evolución del déficit de presión de vapor (KPa) a lo largo del ensayo.

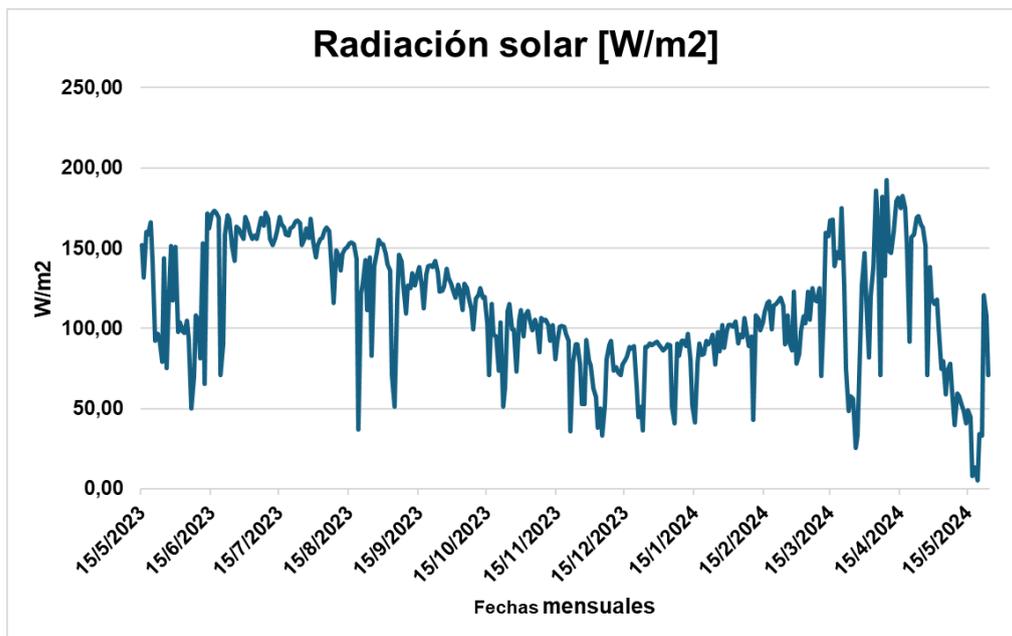


#### 5.1.4. Radiación (W/m<sup>2</sup>)

Esta **Figura 15** refleja las variaciones estacionales típicas de la radiación solar, con máximos durante el verano y mínimos durante el invierno, además de fluctuaciones diarias y semanales debidas a factores meteorológicos.

En los meses de mayo y junio de 2023, la radiación solar alcanzó valores por encima de los 150 W/m<sup>2</sup>, al igual que entre marzo y mayo del siguiente año.

En los meses invernales se registraron cifras bajas de radiación, en torno a los 50 W/m<sup>2</sup>, con algunas fluctuaciones menores. Destacar que, en mayo de 2024, al final del período de ensayo, se produjo una caída abrupta, con valores nuevamente cercanos a los 50 W/m<sup>2</sup> debido a periodos de alta nubosidad.



**Figura 15:** Evolución de la radiación solar a lo largo del ensayo.

Los promedios mensuales de los parámetros climáticos registrados durante el año de cultivo se presentan en la siguiente tabla:

	Temperatura media diaria (°C)	Humedad relativa media diaria (%)	Radiación global media diaria (W/m <sup>2</sup> )	DPV medio diario (kPa)
may-23	22,45	65,14	124,65	0,95
jun-23	25,33	77,18	130,29	0,76
jul-23	27,75	62,89	160,87	1,46
ago-23	29,16	64,92	140,26	1,47
sep-23	26,68	72,37	126,07	0,97
oct-23	28,26	58,18	104,72	1,77
nov-23	24,49	64,46	90,63	1,13
dic-23	20,82	62,43	73,10	0,92
ene-24	19,91	60,40	84,60	0,92
feb-24	21,19	60,71	101,08	0,98
mar-24	20,76	65,20	111,23	0,99
abr-24	23,72	60,58	147,92	1,45
may-24	23,28	58,48	59,53	1,41

**Tabla 3:** Datos medios mensuales de temperatura, humedad relativa, radiación global y déficit de presión de vapor en el interior del invernadero, donde se desarrolló el ensayo.



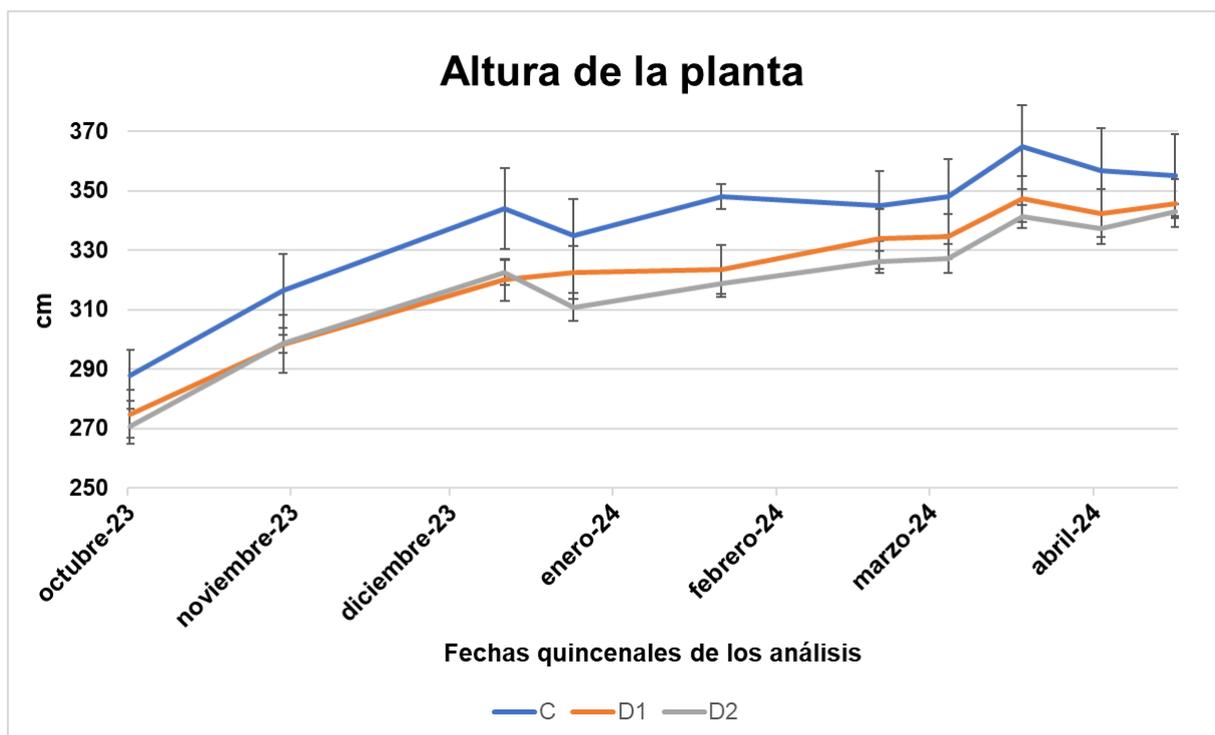
## 5.2. Parámetros de crecimiento cultivo

### 5.2.1. Tasa crecimiento del cultivo

La **Figura 16** muestra la evolución en altura de la planta en función de los tratamientos de deshojado aplicados.

En general se observó un rápido crecimiento de las plantas hasta el comienzo de la recolección, en diciembre de 2023, momento en el que la tasa de crecimiento se redujo, alcanzando índices bastante bajos a partir de abril.

Las plantas del grupo control mostraron una alta variabilidad en este parámetro, pero alcanzaron los mayores valores en relación al resto de tratamientos, con diferencias significativas entre en las medidas de diciembre (con 3.44 m en el control, frente a 3.20 en D1 y 3.10 en D2, respectivamente) y febrero (con 3.48 m en el control, frente a 3.24 en D1 y 3.19 en D2, respectivamente). La altura media en las plantas del tratamiento D1 se mantuvo por debajo del control y por encima del tratamiento D2, aunque sin diferencias significativas. Por tanto, la reducción en el número de hojas en las plantas parece que ha limitado el crecimiento en altura. Según Awada (1967) la defoliación disminuye el crecimiento del tronco, lo cual coincide con nuestro estudio.



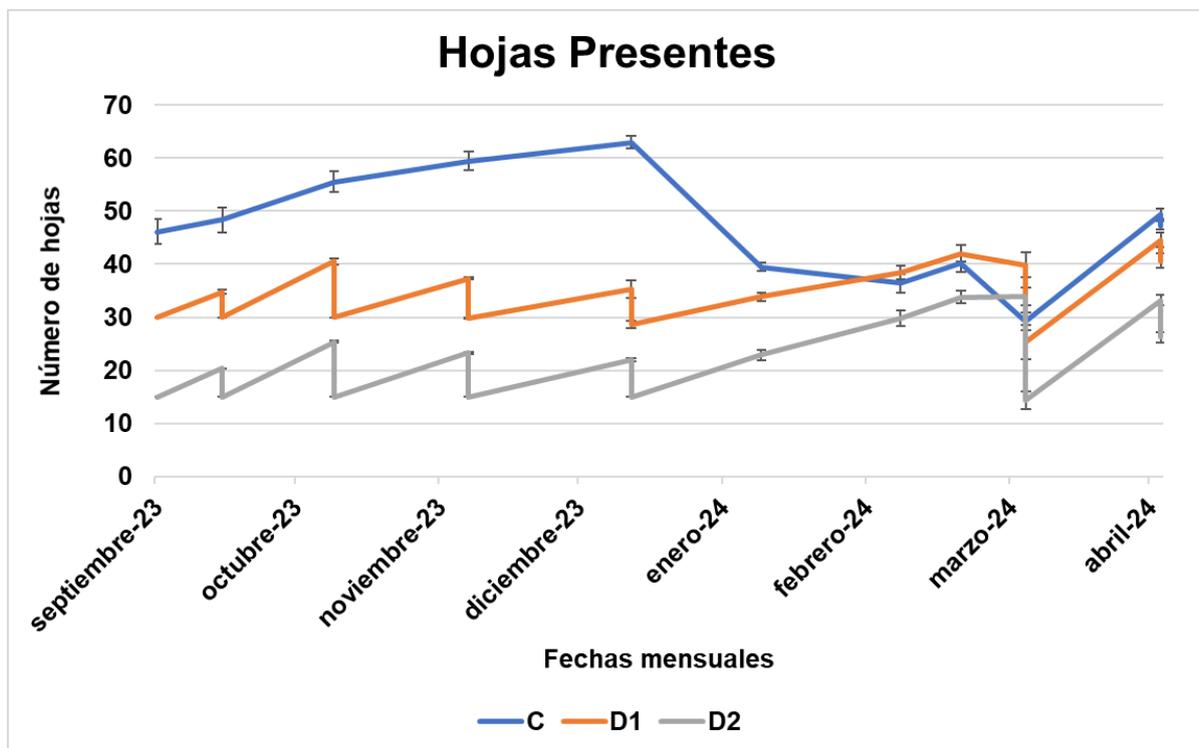
**Figura 16:** Altura media de planta en centímetros (cm) y error estándar a lo largo del periodo de estudio, según tratamiento: C: control sin deshojar, D1: deshojado manteniendo 30 hojas/planta, D2: deshojado manteniendo 15 hojas/plantas. Medidas tomadas cada 15 días (quincenal).



### 5.2.2. Número de hojas presentes y tasa de emisión de hojas

Los tratamientos de deshojado D1 y D2 mantuvieron una media de 15 y 30 hojas por planta, respectivamente, desde el comienzo del deshojado a finales de septiembre de 2023 hasta enero de 2024 cuando se deja de realizar el deshojado a las plantas de los tratamientos D1 y D2 (**Figura 17**).

El tratamiento control (C) mostró la mayor variabilidad en el número de hojas, observándose una reducción abrupta en el número de hojas en planta en febrero (de 63 a 40 hojas por planta), probablemente asociada a una caída de hojas por un foco de araña roja que afectó a las hojas más viejas de dicho tratamiento. Entre los meses de febrero y marzo, cuando se dejó de realizar el deshojado, el número de hojas en el control fue similar al del tratamiento D1, hasta el comienzo de los deshojados, en abril, alcanzando una media de 47 hojas por planta el control, 35 hojas el D1 y 21 el D2.



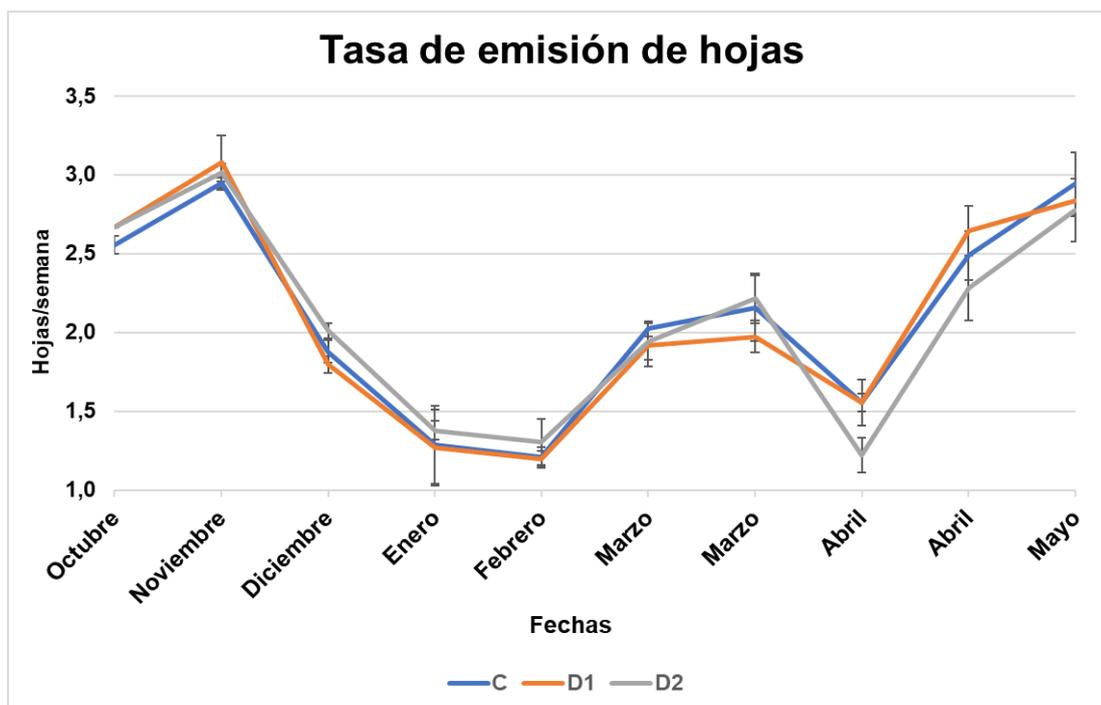
**Figura 17:** Promedio y error estándar del número de hojas presentes a lo largo del estudio, según tratamiento: C: control sin deshojar, D1: deshojado manteniendo 30 hojas/planta, D2: deshojado manteniendo 15 hojas/planta.

La tasa de emisión de hojas (**Figura 18**), osciló entre 1 y 3 hojas semanales a lo largo del ensayo en todos los tratamientos, influenciada principalmente por los factores climáticos, alcanzando los valores más altos en noviembre y mayo, con temperaturas medias diarias de 24,5 °C y 23,8 °C respectivamente y los más bajos en enero y febrero cuando las temperaturas mínimas diarias fueron las más bajas (**ver Figura 12 y Tabla 3**). Las máximas tasas coinciden con la época de temperaturas medias óptimas de desarrollo y crecimiento vegetativo del cultivo, entre 21 y 33 °C (Cabrera et al., 2021; Manica, 1982). En abril se produjo una caída en la tasa de emisión de hojas en todos los tratamientos, probablemente asociada al incremento del DPV en esa época (**ver Figura 14 y Tabla 3**).

La tasa de emisión de hojas mostró valores similares entre tratamientos de deshojado. Si bien, se observó entre diciembre y febrero una tendencia en el tratamiento D2 a tener una mayor tasa de



emisión semanal de hojas, aunque sólo se encontraron diferencias significativas con el tratamiento D1 en la medida de diciembre. Sin embargo, a partir del mes de abril se observó una tendencia en el tratamiento D2 a tener una menor tasa de emisión de hojas, aunque sin diferencias significativas con el resto de los tratamientos. Lo que parece indicar que, aunque inicialmente, el mantenimiento de 15 hojas por planta puede tener un efecto promotor en la tasa de emisión de hojas (quizás para intentar compensar la falta de las mismas), mantener un número reducido de hojas por planta puede afectar a dicho parámetro a largo plazo. Entre los tratamientos control y D1 no se observaron diferencias significativas en este parámetro.



**Figura 18:** Promedio y error estándar de la tasa de emisión de hojas a lo largo del periodo de estudio según meses de toma de medidas y tratamiento: C: control sin deshojar, D1: deshojado manteniendo 30 hojas/planta, D2: deshojado manteniendo 15 hojas/planta.

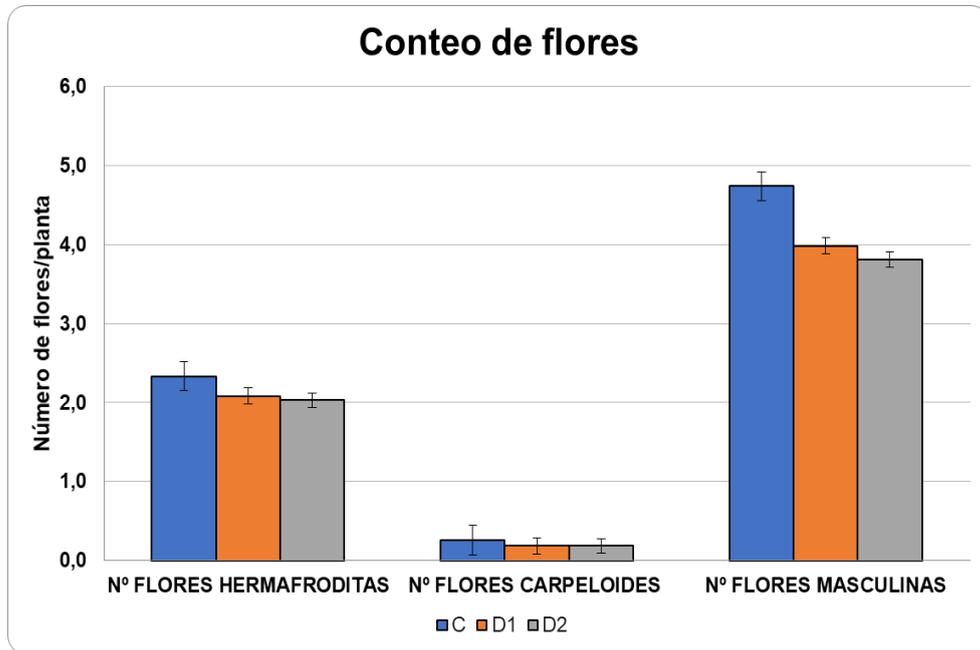
### 5.2.3. Cuento y clasificación de flores

En la **Figura 19** se muestra el promedio del número y tipo de flores observado en cada momento de medida durante el periodo de estudio en las plantas de cada tratamiento. En todos los casos, en el control sin deshojado, se contabilizó una mayor cantidad de flores por planta en relación con los tratamientos de deshojado D1 y D2. El método D2 fue el más desfavorecido en cuanto a número de flores contadas por planta, lo que coincide con los estudios realizados por Zhou et al. (2000), los cuales determinaron que la defoliación del 75% alteraba significativamente la producción de nuevas flores y la caída de las mismas. En la misma línea, Upreti et al. (2019) comprobó que una defoliación del 66% aumentaba la abscisión de flores en un 20% en *Carica papaya*.

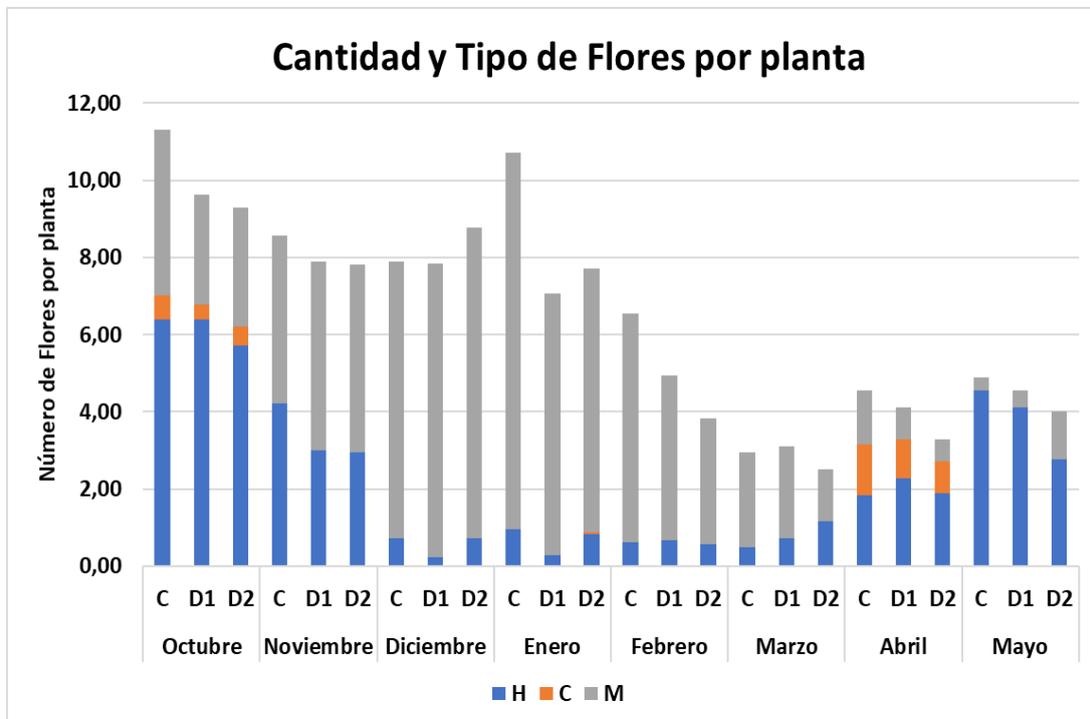
De acuerdo a la **Figura 20** el número total de flores emitidas se fue reduciendo, independientemente del tratamiento, desde octubre hasta marzo. A pesar de que el número y tipo de flores parece que está influenciado, en gran medida, por las condiciones ambientales, se observó una reducción en el número total de flores en mayor cantidad cuanto menor era el número de hojas presentes. Si bien,



esta alteración en el número de flores podría deberse tanto a un ajuste de la planta debido a la modificación de la relación fuente-sumidero o al efecto que tendría la falta de hojas en el incremento de la temperatura circundante al haber menos superficie foliar.



**Figura 19:** Promedio y error estándar del conteo de flores por planta, según tipo de flores, a lo largo de todo el periodo de estudio, en cada tratamiento: C: control sin deshojar, D1: deshojado manteniendo 30 hojas/planta, D2: deshojado manteniendo 15 hojas/planta.



**Figura 20:** Promedio de la cantidad y tipo de flores hermafroditas (H), masculinas (M), y carpeloides (C) por planta en los conteos mensuales realizados, durante el periodo de ensayo, en cada tratamiento: C: control sin deshojar, D1: deshojado manteniendo 30 hojas/planta, D2: deshojado manteniendo 15 hojas/planta.

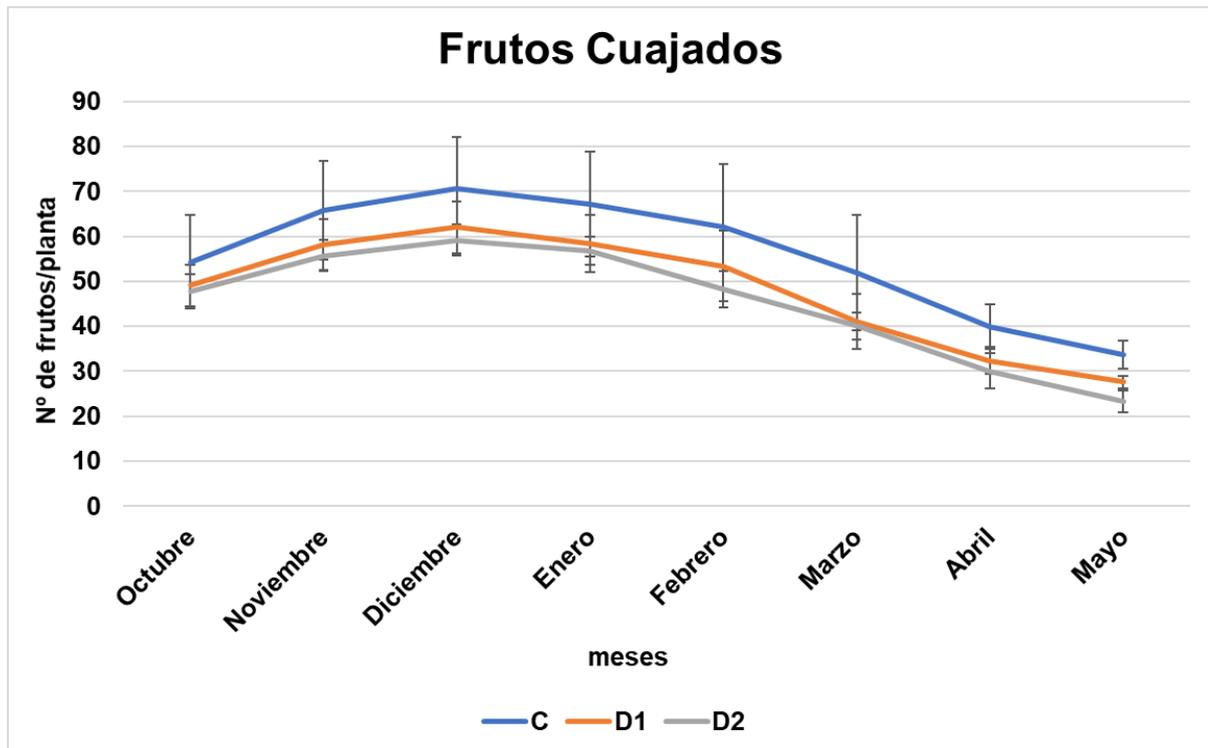


De acuerdo a la **Gráfica 20**, especialmente durante los meses invernales, diciembre, enero y febrero, hay un importante número de flores masculinas que contrasta con las pocas flores hermafroditas. Si atendemos a los datos de temperatura de estos meses (**ver Tabla 3 y Figura 12**) se observó un gradiente térmico diario alto superando los 30°C por el día y llegando a 15°C durante la noche. Esta variabilidad y especialmente las temperaturas superiores a 30°C pueden producir la transformación de las flores bisexuales en flores masculinas con estambres portadores de polen y pistilos abortados que no dan lugar a frutos. (Chía, 2001 et al.,; Ming, et al., 2007; Rodríguez, 2015). Según Awada (1967) la defoliación aumenta el número de flores estaminadas, sin embargo, dentro de nuestro estudio no hay diferencias significativas entre tratamientos que concuerden con lo expuesto.

#### 5.2.4. Frutos cuajados presentes

La tendencia general mostró un aumento en el número de frutos cuajados presentes en las plantas independientemente del tratamiento, desde octubre hasta un pico en diciembre, seguido por una disminución gradual hasta mayo, coincidiendo con el comienzo de la recolección a finales de diciembre (**Figura 21**).

Las papayas del grupo control (C) tendieron a un mayor número de frutos cuajados en comparación con los tratamientos D1 y D2 durante todo el período de estudio, aunque sólo se observaron diferencias significativas con los tratamientos de deshojado D1 y D2 en los meses de abril y mayo. Esto demuestra que la reducción en el número de hojas disminuye las flores por planta lo que se refleja en el menor número de frutos, obedeciendo a lo previamente comprobado por Zhou et al., (2000) y Heuvelink et al. (2004).



**Figura 21:** Evolución promedio mensual y error estándar a lo largo del ensayo de los frutos cuajados por planta, según tratamiento: C: control sin deshojar, D1: deshojado manteniendo 30 hojas/planta, D2: deshojado manteniendo 15 hojas/planta.



### 5.2.5. Relación entre el número de frutos y de hojas presentes en la planta

La **Tabla 4** muestra la cantidad de frutos por el número de hojas presentes por planta. Se ha decidido expresar de esta manera ya que se ha considerado como una opción en la que se visualiza de forma clara el número de frutos que dependen de una hoja para su desarrollo. Las prácticas de deshojado afectaron a la relación fuente/sumidero a lo largo del periodo de estudio. Se observaron diferencias significativas en este parámetro entre el control y los tratamientos de deshojado D1 y D2, y entre ambos tratamientos de deshojado, entre octubre y enero. Posteriormente, en mayo los tratamientos C y D1 alcanzaron valores significativamente más bajos en relación con el D2. La interrupción del deshojado entre febrero y marzo y su reanudación en abril proporciona una visión clara de la capacidad de las plantas deshojadas para equilibrar el número de hojas a los frutos presentes.

El control mostró unos valores relativamente estables entre 1 y 1,5 frutos por planta durante el periodo de ensayo, con un ligero aumento a partir de febrero asociado a la reducción en el número de frutos por planta (**Figura 21**). Estos valores podrían indicar que la presencia de un mayor número de hojas permitiría una producción y acumulación de asimilados equilibrado al número de frutos presentes en la planta.

La relación frutos/hojas en el tratamiento D1 (30 hojas por planta) aumentó hasta valores en torno a 2 en diciembre. En febrero, la interrupción del deshojado permitió una acumulación de hojas adicionales, lo que explica la reducción en esta relación a valores de 1 fruto por hoja en marzo. En el tratamiento D2 (15 hojas por planta) esta relación alcanzó valores muy elevados en los primeros meses de deshojado, llegando hasta 4 frutos por hoja en diciembre. Una vez cesó el deshojado en febrero y marzo, junto con el menor número de frutos por planta, la relación frutos/hojas se redujo hasta valores de 1,3 en marzo.

En todos los casos, al final del periodo de estudio, la relación cae en todos los tratamientos por debajo de 1, asociado a la poca cantidad de frutos por planta en esa época relacionado con la poca cantidad de flores producidas en los meses de invierno (**ver Figura 20**)

Tratamiento	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo
C	1.1±0.17 a	1.2±0.17 a	1.2±0.16 a	1.1±0.19 a	1.6±0.37 a	1.4±0.36 a	1.4±0.23 a	0.7±0.06 a
D1	1.6±0.15 b	1.9±0.19 b	2.1±0.20 b	2.0±0.23 b	1.6±0.23 a	1.0±0.15 a	1.3±0.21 a	0.7±0.04 a
D2	3.2±0.25 c	3.7±0.23 c	3.9±0.23 c	3.8±0.21 c	2.1±0.10 a	1.3±0.05 a	2.1±0.19 a	0.9±0.10 b

**Tabla 4:** promedio y error estándar de la relación entre el número de frutos y de hojas presentes por planta, a lo largo del periodo de estudio, en cada tratamiento: C: control sin deshojar, D1: deshojado manteniendo 30 hojas/planta, D2: deshojado manteniendo 15 hojas/planta. Letras diferentes entre tratamientos en cada mes indica que hay diferencias significativas según el test LSD con una probabilidad de error inferior al 5% ( $p < 0.05$ ).

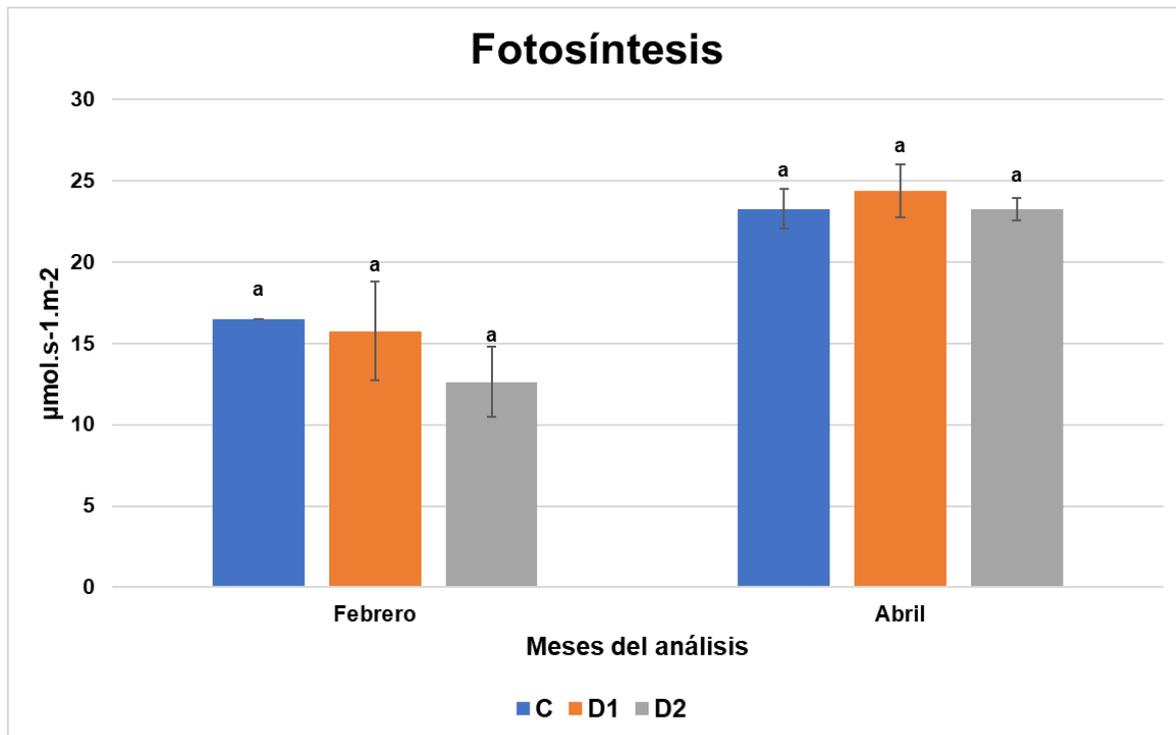
### 5.2.6. Parámetros fisiológicos

#### Fotosíntesis

Como se observa en la **Figura 22**, en la medida realizada en febrero (un mes y medio después del último deshojado), el tratamiento control (C) presentó la tasa de fotosíntesis más alta, seguido del D1, con un valor alrededor de  $16 \mu\text{mol} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$  y del D2 con, aproximadamente,  $12 \mu\text{mol} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$ , aunque sin encontrar diferencias significativas entre tratamientos. En la medida de abril (8 días después de un deshojado), todos los tratamientos exhibieron un aumento en la tasa de fotosíntesis.



Este incremento, está asociado a la mayor temperatura y radiación global en esa época en relación a febrero (**Tabla 3**), pero a un nivel en el que no se vio afectada la conductancia estomática por valores altos de DPV que pudieran afectar a la fotosíntesis (Machado et al., 2006). Además, todas las medidas se realizaron a la misma hora del día, de 8:00 a 10:00 a.m., evitando las horas centrales del día (Wang et al., 2014). Tampoco se encontraron diferencias significativas entre tratamientos en esta medida con valores similares en torno a  $23\text{-}24 \mu\text{mol} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$ . Algunos autores indican que la tasa fotosintética de las hojas que permanecen en la planta tras un deshojado aumenta. Sin embargo, este efecto sólo se observó en uno de los métodos de deshojado, por lo que no podemos afirmar este hecho.

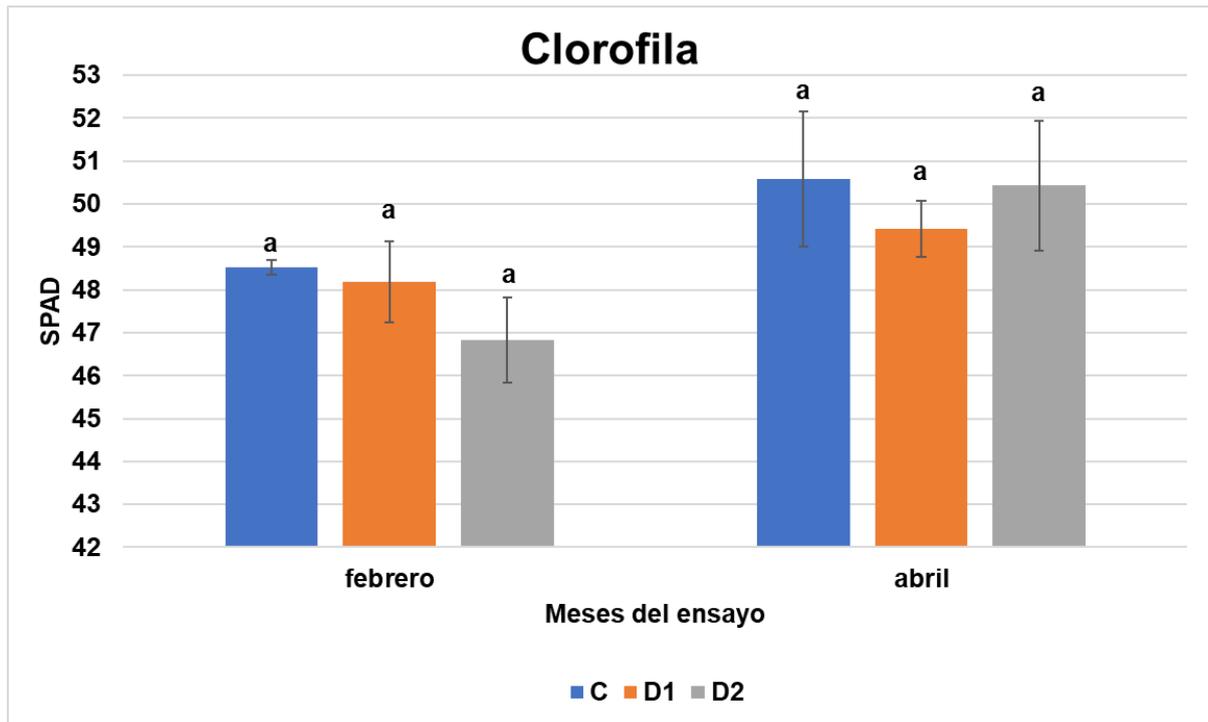


**Figura 22:** Promedio y error estándar de la fotosíntesis en dos mediciones, llevadas a cabo con el medidor LI-6400XT: la primera en febrero pasados 39 días del deshojado y la segunda en abril, 8 días tras un deshojado, en cada tratamiento: C: control sin deshojar, D1: deshojado manteniendo 30 hojas/planta, D2: deshojado manteniendo 15 hojas/planta. Letras diferentes entre tratamientos en cada medida indica que hay diferencias significativas según el test LSD con una probabilidad de error inferior al 5% ( $p < 0.05$ ).

## Clorofila

De acuerdo a la **Figura 23** tanto en la medida de febrero de 2024 como de abril, los valores promedio de clorofila fueron similares entre los tratamientos C, D1 y D2.

En abril, el contenido medio en clorofila fue superior en todos los tratamientos al medido en febrero lo que podría indicar una respuesta natural al crecimiento o cambios estacionales, pero no al efecto del deshojado.

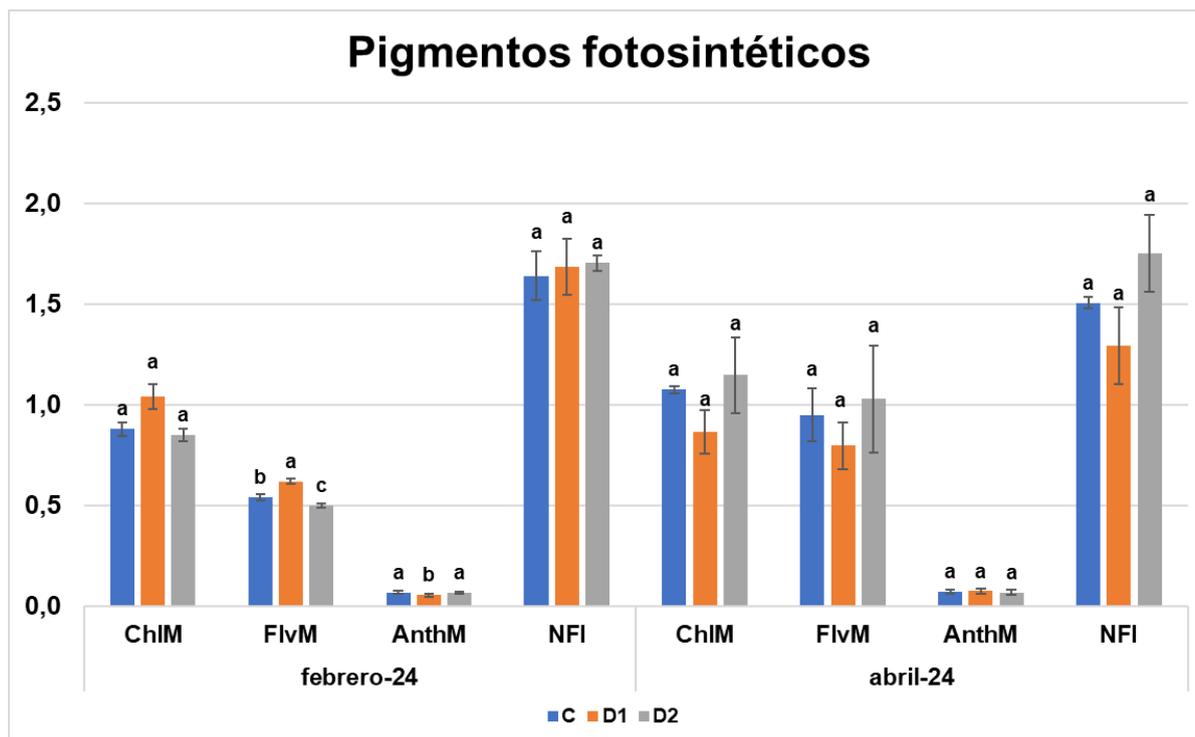


**Figura 23:** Medición promedio y error estándar de la clorofila en dos mediciones llevadas a cabo con medidor portátil SPAD-502: la primera pasados 39 días del deshojado (periodo de no deshojado de febrero) y la segunda 8 tras el deshojado (periodo de deshojado de abril), según tratamiento: C: control sin deshojar, D1: deshojado manteniendo 30 hojas/planta, D2: deshojado manteniendo 15 hojas/planta. Letras diferentes entre tratamientos en cada medida indica que hay diferencias significativas según el test LSD con una probabilidad de error inferior al 5% ( $p < 0.05$ ).

### Pigmentos fotosintéticos

No se observó un efecto claro del deshojado en las concentraciones de pigmentos fotosintéticos (**Figura 24**). En la medida realizada 39 días después del deshojado, en febrero, en el tratamiento D1 se midió un mayor contenido de clorofila (1.041) y flavonoles (0.62) en relación con el resto de tratamientos C y D2, indicando una respuesta al estrés por deshojado en ese tratamiento. Sin embargo, en la media realizada 8 días tras el deshojado, en abril, fue el tratamiento de deshojado D2 el que obtuvo mayores valores en clorofila (1.03), en el índice nitrógeno/flavonol y en la relación clorofila/flavonol (1.753) aunque sin diferencias significativas. Las concentraciones de antocianos fueron bajas en ambos periodos y tratamientos, sugiriendo poca influencia del deshojado o las condiciones ambientales.

En ese sentido, parece que el tratamiento D2 (15 hojas/planta) mostró respuestas adaptativas más fuertes, especialmente después del deshojado, lo que sugiere que las plantas pueden ajustarse en respuesta a cambios en la estructura de la planta.



**Figura 24:** Medición promedio y error estándar de los pigmentos fotosintéticos (ChlM: clorofila, FlvM: flavonoles, AnthM: antocianos y NFI (Índice Nitrógeno Flavonol: Clorofila/Flavonol)) mediante el medidor de multipigmentos MPM-100, en dos mediciones: la primera pasados 39 días del deshojado (periodo de no deshojado de febrero) y la segunda 8 tras el deshojado (periodo de deshojado de abril), según tratamiento: C: control sin deshojar, D1: deshojado manteniendo 30 hojas/planta, D2: deshojado manteniendo 15 hojas/planta.

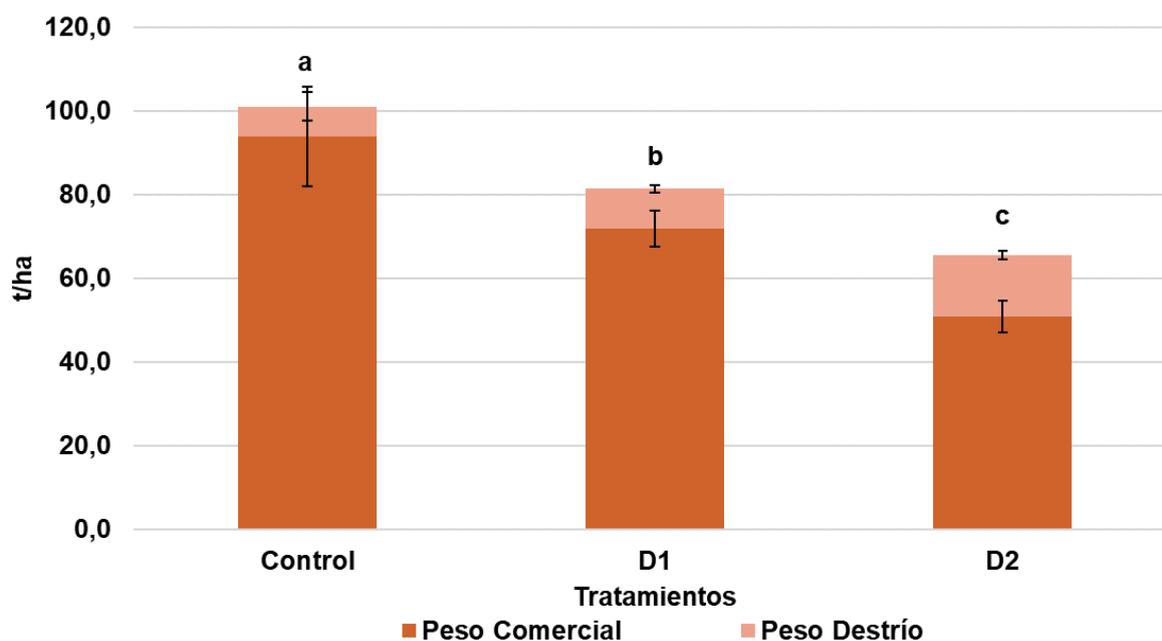
### 5.3. Parámetros de producción y calidad de la fruta

#### 5.3.1. Producción

Tal y como se observa en el **Gráfico 25** el tratamiento C (sin deshojado) no solo es el más productivo, con 93.8 t/ha de fruta comercial, sino también el más eficiente, con una menor proporción de producción de destrío (7.3 t/ha). Alcanzó diferencias significativas con los tratamientos de deshojado, que obtuvieron 72.0 y 50.9 t/ha de producción comercial en D1 y D2 respectivamente. Cabe destacar, que el tratamiento D2 alcanzó el menor peso comercial de fruta y el mayor peso de destrío. Dado lo dicho anteriormente parece evidente el efecto negativo de la reducción de hojas sobre la producción. Esto no coincide con lo expuesto por Ito (1976), pues aseguró que la poda de hojas de papaya a 15 hojas funcionales no afectaba a la producción de frutos.



## Producción

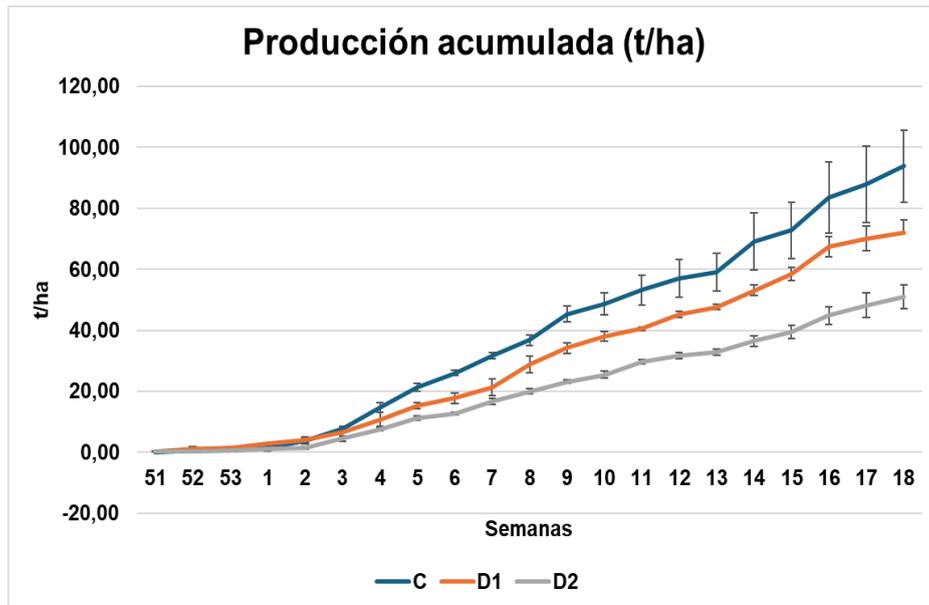


**Figura 25:** valores promedio y error estándar de la producción comercial y de destrío (t/ha) de *Carica papaya* L. en cada tratamiento: C: control sin deshojar, D1: deshojado manteniendo 30 hojas/planta, D2: deshojado manteniendo 15 hojas/planta. Letras diferentes entre tratamientos indican que hay diferencias significativas según el test LSD con una probabilidad de error inferior al 5% ( $p < 0.05$ ).

En la **Gráfica 26** puede observarse la evolución semanal de la producción acumulada (t/ha), estableciéndose diferencias a partir de la semana número 4 del año (6 semanas después del comienzo de la recolección) entre los tres tratamientos, teniendo el control (sin deshojado) una producción superior a los tratamientos D1 (manteniendo 30 hojas/planta) y D2 (manteniendo 15 hojas/planta). A partir de la semana 8 del año (10 semanas después del comienzo de la recolección), se apreció la reducción en la producción acumulada del tratamiento D2 en relación con el D1 y al control. Por tanto, mantener menos de 30 hojas por planta unos 3 meses antes de la recolección tuvo efectos negativos en la producción.

En investigaciones realizadas por Upreti et al. (2019) sobre *Carica Papaya*, demostraron que con un 33% de defoliación se alcanzó un 18% más de rendimientos frente al tratamiento del 66% de defoliación, que disminuye la producción asociada a la caída de frutos.

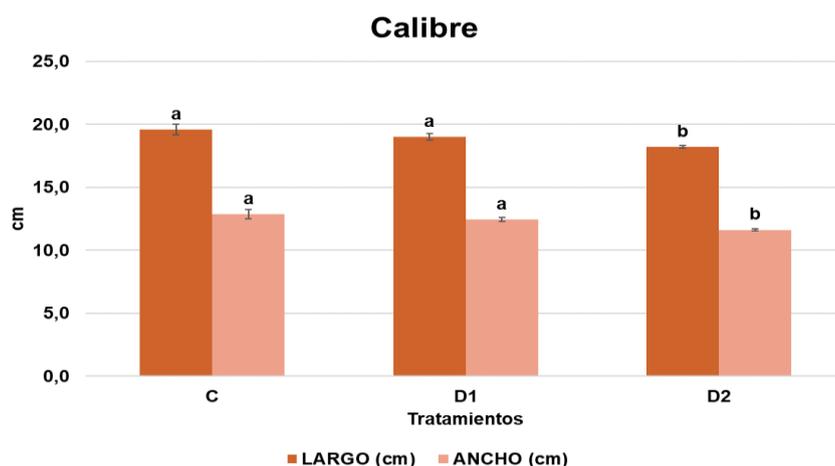
El efecto de la defoliación sobre los rendimientos de producción también fue estudiado en plantas de tomate por Heuvelink et al. (2004), alcanzando aumentos de producción podando una de cada dos hojas jóvenes para mejorar el reparto de los frutos y retrasando la eliminación de las hojas más viejas, pero siempre que se mantuviera un IAF lo suficientemente alto, en torno a 3. Esto se puede lograr retrasando la recolección de hojas o aumentando la densidad o tallos. En nuestro caso, se observó un menor rendimiento al dejar 30 hojas por planta de papaya, lo que podría indicar que con este número de hojas no se alcanza el mínimo IAF para mantener o mejorar la producción en relación a un control son deshojar.



**Figura 26:** Evolución semanal de la producción acumulada (t/ha) durante el periodo de estudio, observando el momento en el que comienza a diferenciarse la producción en los 3 tratamientos: C: control sin deshojar, D1: deshojado manteniendo 30 hojas/planta, D2: deshojado manteniendo 15 hojas/planta.

### 5.3.2. Calibre

Interpretando los valores que conforman la **Gráfica 27**, el tratamiento control (C) presentó los mayores calibres en términos de largo y ancho de la fruta. A medida que se aplicaron los tratamientos de deshojado (D1 y D2), se observó una disminución en ambos parámetros, alcanzando valores significativamente inferiores en el tratamiento D2 en relación al D1 y al control. Esto sugiere que el deshojado tuvo un efecto adverso en el tamaño de la fruta de papaya, siendo más notable en el tratamiento D2. Estos resultados confrontan con los obtenidos por Upreti et al. (2019), pues no observó diferencias significativas en el calibre del fruto realizando defoliación en dos tratamientos del 33% y 66% respectivamente.



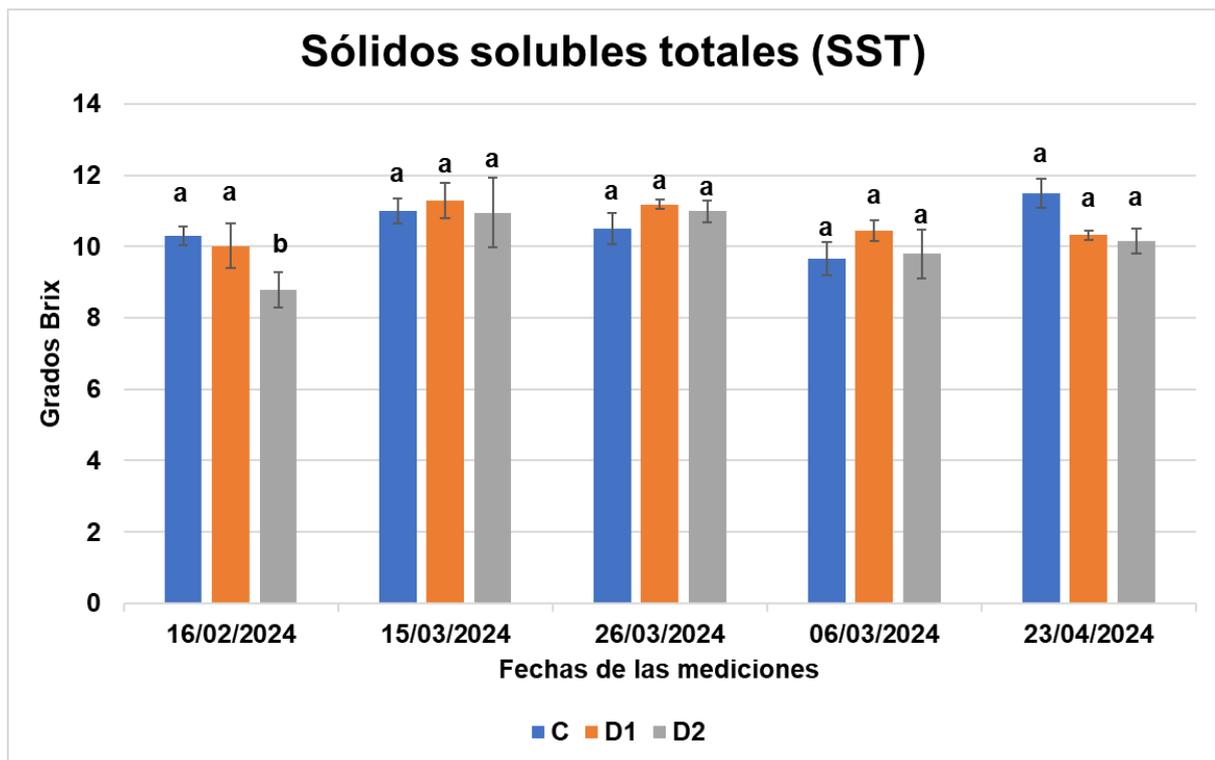
**Figura 27:** Valores promedio y error estándar del calibre (cm) de *Carica papaya* L., en base a las medidas de largo y ancho tomadas, en cada tratamiento: C: control sin deshojar, D1: deshojado manteniendo 30 hojas/planta, D2: deshojado manteniendo 15 hojas/plantas. Letras diferentes entre tratamientos en cada parámetro de medida (Largo y ancho) indica que hay diferencias significativas según el test LSD con una probabilidad de error inferior al 5% ( $p < 0.05$ ).



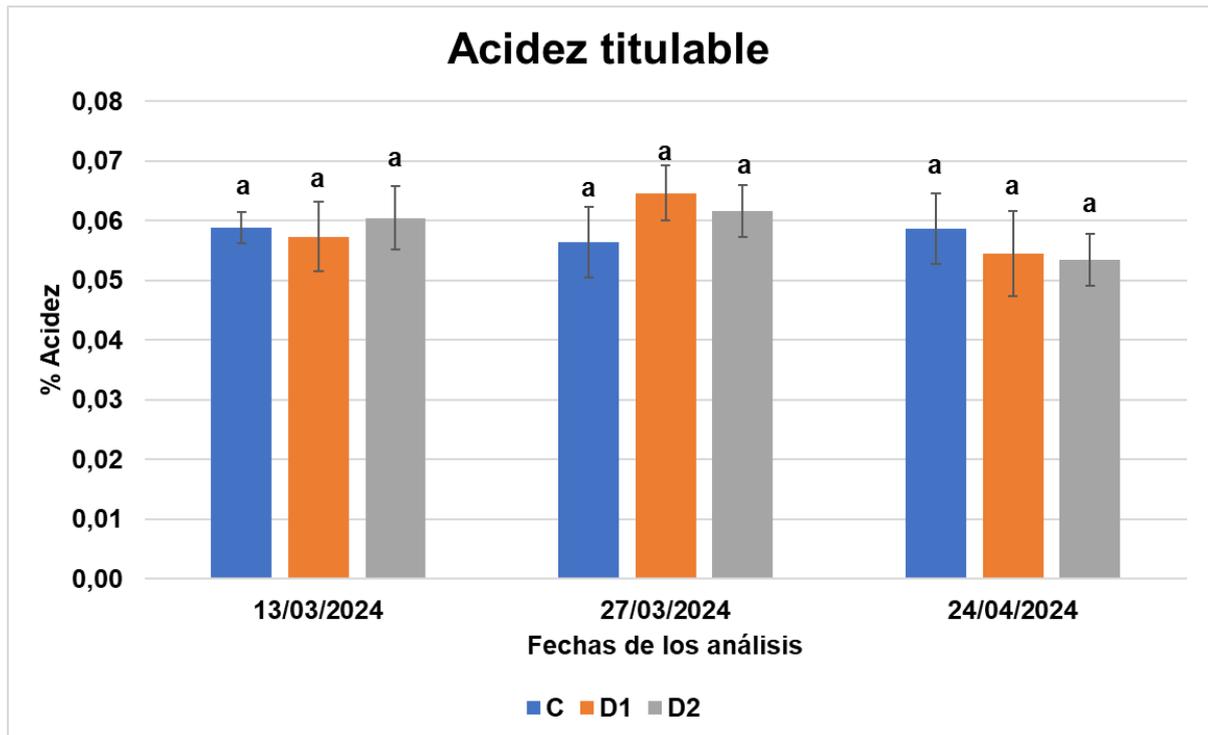
### 5.3.3. Análisis de los sólidos solubles totales, acidez titulable y pH

En los **gráficos (28, 29, 30)** sólo se encontraron diferencias significativas en la primera medida de sólidos solubles totales realizada el 16 de febrero entre el tratamiento D2 en relación con el C y D1. En el resto de medidas de Brix, pH y acidez titulable de los frutos no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos. Podríamos deducir que la afección de la falta de hojas se evidenció al comienzo de la recolección cuando la relación número de frutos/hojas se mantuvo en el tratamiento D2 con valores por encima de 3 desde el comienzo del deshojado en octubre hasta enero. Una vez que dicha relación se redujo por la descarga de frutos al comienzo de la recolección y la menor cantidad de frutos en los tratamientos de deshojado, no se encontraron diferencias en los SST entre tratamientos. Por lo que se deduce que estos parámetros se ven afectados por la relación fuente/sumidero cuando superamos un valor entre la relación frutos/hojas, que en nuestro caso podría ser de 3. Esto coincide con los estudios de Zhou et al. (2000) sobre los efectos de la defoliación y el aclareo de frutos en *Carica papaya*, determinando que la eliminación del 75% de las hojas de la planta disminuyó los sólidos solubles totales (SST) en los frutos maduros, mientras que la eliminación del 50% no tuvo este efecto.

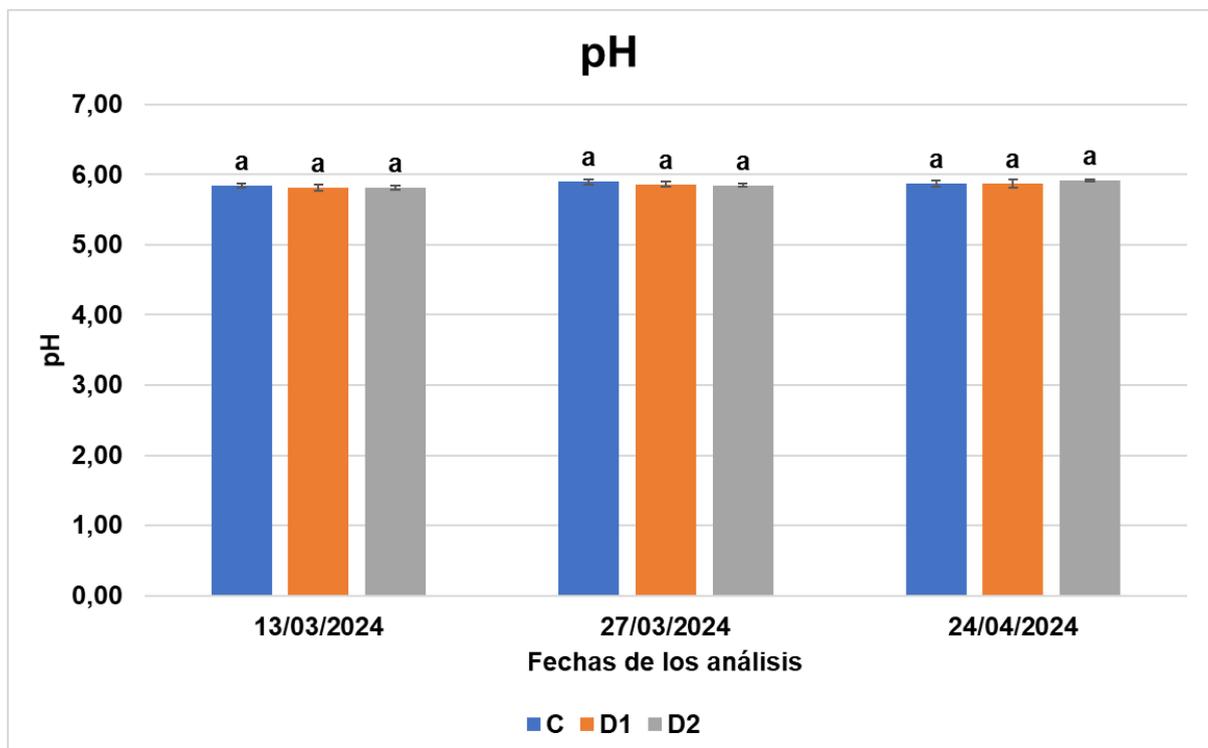
En cambio, Ito (1976) reflejó que la poda de hojas de papaya a 15 hojas funcionales no afectó a los SST del fruto. Asimismo, Upreti et al. (2019), no observó diferencias significativas en los sólidos solubles totales en sus ensayos, ni en la acidez titulable del fruto, entre una defoliación del 33% y otra del 66%.



**Figura 28:** Evolución promedio de los sólidos solubles totales (grados brix) de acuerdo a distintas fechas de análisis y según tratamientos: D1: deshojado manteniendo 30 hojas/planta, D2: deshojado manteniendo 15 hojas/planta, C: control sin deshojar.



**Figura 29:** Evolución promedio y error estándar de la acidez titulable (%) en distintas fechas de análisis y según tratamientos: D1: deshojado manteniendo 30 hojas/planta, D2: deshojado manteniendo 15 hojas/planta, C: control sin deshojar.



**Figura 30:** Evolución promedio y error estándar del pH en diferentes fechas de análisis y según tratamientos: D1: deshojado manteniendo 30 hojas/planta, D2: deshojado manteniendo 15 hojas/planta, C: control sin deshojar.



## 5.4. Análisis químico de suelos

Entre el análisis realizado en mayo de 2023, al inicio del cultivo, y el de abril de 2024, un año después del trasplante, se produjo un aumento en el pH, fósforo y potasio, y una disminución del resto de parámetros medidos como se observa en la **Tabla 5**.

No se encontraron diferencias importantes en los parámetros de suelo entre los tratamientos de deshojado en los análisis realizados al cabo de un año de cultivo (**Tabla 5**).

Fecha	31/05/2023	08/04/2024		
Tratamientos		C	D1	D2
pH agua 1:5	7,95	8,32	8,44	8,31
pH KCl 1:5	7,39	7,37	7,30	7,32
Conductividad eléctrica, agua 1:5 (mS/cm)	1,566	0,47	0,42	0,51
Materia orgánica oxidable (%)	1,67	1,41	1,60	1,47
Materia orgánica total (MOT) % (p:p)	11,63	10,81	11,16	10,94
Nitrógeno Total Kjeldahl % (p:p)	0,09	0,11	0,12	0,10
Fósforo Olsen (mg/kg)	32,6	132,17	109,67	116,90
Calcio (mEq/Kg)	245	209,33	198,00	212,00
Magnesio (mEq/Kg)	83,9	63,63	64,17	65,83
Sodio (mEq/Kg)	51,3	34,57	35,80	33,77
Potasio (mEq/Kg)	29,2	38,53	43,07	39,87

**Tabla 5:** Parámetros de suelo analizados en diferentes periodos: 31/05/2023 a inicio del cultivo y 8/04/2024 un año después del trasplante. La realizada el año 2024 incluye una comparativa entre tratamientos: C: control sin deshojar, D1: deshojado manteniendo 30 hojas/planta, D2: deshojado manteniendo 15 hojas/planta.



## 6. Conclusiones

Los resultados de este estudio sugieren que, bajo las condiciones de cultivo ensayadas, mantener un número inferior a 30 hojas por planta en *Carica papaya* L. redujo la altura de las plantas en relación a un control sin deshojar. La tasa de emisión de hojas semanales estuvo muy influenciada por los factores climáticos, especialmente la temperatura y mostró valores similares entre los diferentes deshojados. Sin embargo, el tratamiento con 15 hojas por planta mostró una tendencia inicial a aumentar la tasa de emisión de hojas a los pocos meses del deshojado, aunque a largo plazo redujo ligeramente dicha tasa en relación con el control sin deshojar.

En el control sin deshojado, se contabilizó una mayor cantidad de flores por planta, en comparación con los tratamientos de 30 y 15 hojas por planta, siendo este último el más desfavorecido. Las flores masculinas predominaron, especialmente en el periodo invernal, lo cual se atribuye a temperaturas superiores a 30°C y/o al elevado gradiente térmico dentro del invernadero durante esta época. Por tanto, las papayas no deshojadas presentaron un mayor número de frutos cuajados en comparación con los tratamientos (D1 y D2) a lo largo del período de estudio, aunque solo se observaron diferencias significativas en los meses de abril y mayo.

Con el deshojado se modificó la relación entre el número de hojas y el número de frutos por planta, alcanzando desde el comienzo del deshojado (en octubre) hasta el comienzo de la recolección (en enero) valores por encima de 3 en el tratamiento con 15 hojas por planta, en torno a 2 en el tratamiento con 30 hojas por planta y alrededor de 1 en el tratamiento sin deshojar. Sin embargo, durante el periodo sin eliminación de hojas (entre febrero y marzo), dicha relación tendió a igualarse en todos los tratamientos.

Como consecuencia, mantener menos de 30 hojas por planta o una relación frutos/hojas por encima de 2, tres meses antes del comienzo de la recolección, tuvo efectos negativos en la producción en relación con un control sin deshojar, especialmente notable en el tratamiento con un deshojado más intenso en el que la relación frutos/hojas se mantuvo en ese periodo por encima de 3. Además, en este último tratamiento la reducción en la producción no sólo estuvo asociada al menor número de frutos sino también a una disminución en el calibre de la fruta.

Los deshojados no modificaron la tasa fotosintética ni el contenido en clorofila de las hojas que permanecían en la planta tras el mismo. Aunque el deshojar a 15 hojas por planta parece que mostró respuestas adaptativas más fuertes, en función de las concentraciones medidas de pigmentos fotosintéticos, no se encontraron diferencias significativas entre los diferentes tratamientos de deshojado.

La disminución foliar hasta alcanzar una relación número de frutos/número de hojas por encima de 3 afectó a los sólidos solubles totales (SST) de los frutos al inicio de la recolección, especialmente en el tratamiento con mayor deshojado (D2), donde la relación frutos/hojas fue alta (superior a 3) desde octubre hasta enero. Sin embargo, una vez que esta relación se redujo debido a la recolección y a la menor cantidad de frutos en los tratamientos con deshojado, las diferencias en los SST desaparecieron. Esto sugiere que la calidad de los frutos en términos de SST está influenciada por la relación fuente/sumidero, particularmente cuando la relación frutos/hojas es alta, alrededor de 3. Sin embargo, esto no se observó en la acidez titulable ni el pH, al no mostrar diferencias estadísticas entre tratamientos.



En el caso de producirse un deshojado en el cultivo por causas bióticas o abióticas, sería posible plantear un aclareo de frutos para alcanzar una relación número de frutos/número de hojas igual o inferior a 2, de manera que no se reduzcan los SST en los frutos presentes en la planta.



## Conclusions

The results of this study suggest that, under the tested cultivation conditions, maintaining fewer than 30 leaves per plant in *Carica papaya* L. reduced the height of the plants compared to a non-defoliated control. The weekly leaf production rate was highly influenced by climatic factors, especially temperature, and showed similar values across different defoliation treatments. However, the treatment with 15 leaves per plant initially tended to increase the leaf production rate a few months after defoliation, although it slightly reduced this rate in the long term compared to the non-defoliated control.

In the non-defoliated control, a higher number of flowers per plant was counted, compared to the treatments with 30 and 15 leaves per plant, with the latter reporting the lowest numbers of flowers. Male flowers predominated, especially in the cold season which can be attributed to temperatures exceeding 30°C and/or the high thermal gradient within the greenhouse during this time. Consequently, non-defoliated papayas had a higher number of set fruits compared to the treatments (D1 and D2) throughout the study period, with significant differences observed only during April and May.

Defoliation altered the relationship between the number of leaves and the number of fruits per plant, reaching values above 3 in the 15 leaves treatment from the beginning of defoliation (in October) until the start of harvesting (in January), around 2 in the 30 leaves treatment, and approximately 1 in the non-defoliated treatment. However, during the non-defoliation period (between February and March), this relationship tended to equalize across all treatments.

As a result, maintaining fewer than 30 leaves per plant or a fruit-to-leaf ratio above 2 three months before the start of the harvest had negative effects on production compared to a non-defoliated control. This was particularly notable in the more intense defoliation treatment, where the fruit-to-leaf ratio remained above 3 during that period. Moreover, in this latter treatment, the reduction in production was associated not only with a lower number of fruits but also with a decrease in fruit size.

The defoliation process did not modify the photosynthetic rate or the chlorophyll content of the remaining leaves on the plant. Although the 15-leaves treatment seemed to show stronger adaptive responses based on the measured concentrations of photosynthetic pigments, no significant differences were found between the different defoliation treatments.

The foliar reduction resulting in a fruit-to-leaf ratio above 3 affected the total-soluble-solids (TSS) of the fruits at the start of the harvest, notably in the treatment that underwent the most defoliation (D2), where the fruit-to-leaf ratio was high (above 3) from October to January. However, once this ratio was reduced due to harvesting and the lower number of fruits in the defoliation treatments, the differences in TSS disappeared. This suggests that fruit quality, in terms of TSS, is influenced by the source-sink relationship, especially when the fruit-to-leaf ratio is high, around 3. However, this was not observed in titratable acidity or pH, as no statistical differences were found between treatments.

In the event of defoliation occurring in the crop due to biotic or abiotic causes, it could be considered thinning the fruits, in order to achieve a fruit-to-leaf ratio equal to or less than 2, thus preventing a reduction in the TSS of the fruits present on the plant.



## 7. Referencias Bibliográficas

- Agustí, M. (2014). Frutales tropicales de mayor interés. En M. Agustí, *Fruticultura* (2ª ed.). Madrid: Ediciones Mu0002534-ADDOCGGndi-Prensa.
- Alfonso, M. A. (2010). *Guía técnica del cultivo de la papaya* [en línea]. El Salvador: Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal "Enrique Álvarez Córdova". Recuperado de: <https://webquery.ujmd.edu.sv/siab/bvirtual/BIBLIOTECA%20VIRTUAL/DOCUMENTOS%20WEB/0002534-ADDOCGG.pdf>
- Allan, P., & De Jager, J. (1979). Net photosynthesis in macadamia and papaw and the possible alleviation of heat stress. *California Macadamia Society Yearbook*, 25, 150-157.
- Almodóvar, A. F., Martín, J. J. H., & González, J. C. (2014). Crecimiento y fenología de cultivares de papaya en invernaderos en el Sureste español. Dialnet. Recuperado de: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4905575>
- AOAC. 2000. Official methods of analysis of the association of the analytical Chemists.
- Awada, M. (1967). Effects of defoliation and defloration on sex expression and growth (*Carica papaya* L.). In *Proceedings of the American Society of Horticulture Science* (pp. 138-143).
- Buisson, D., & Lee, D. W. (1993). The developmental responses of papaya leaves to simulated canopy shade. *American Journal of Botany*, 80(8), 947-952. Recuperado de: <https://doi.org/10.1002/j.1537-2197.1993.tb15316.x>
- Cabrera García, J. A. (2016). *Bases tecnológicas para una producción eficiente y sostenible de la papaya (Carica papaya L.) en climas subtropicales* (Tesis doctoral, Universidad de La Laguna).
- Cabrera García, J. A., Ritter, A., Raya, V., Pérez, E., & Lobo, M. G. (2021). Papaya (*Carica papaya* L.) phenology under different agronomic conditions in the subtropics. *Agriculture*, 11(2), 173. Recuperado de: <https://doi.org/10.3390/agriculture11020173>
- Campostrini, E., & Glenn, D. M. (2007). Ecophysiology of papaya: a review. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, 19, 413-424. Recuperado de: <https://doi.org/10.1590/S1677-04202007000400010>
- Campostrini, E., & Yamanishi, O. K. (2001). Influence of mechanical root restriction on gas-exchange of four papaya genotypes. *Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal*, 13, 129-138. Recuperado de: <https://doi.org/10.1590/S0103-31312001000200002>
- Carneiro, C. E., & Cruz, J. L. (2009). *Caracterização anatômica de órgãos vegetativos do mamoeiro* [en línea]. *Ciência Rural*, 39(3), 918-921. Recuperado de: <https://doi.org/10.1590/S0103-84782009005000011>



- Carvalho, F. A., & Renner, S. S. (2014). The phylogeny of the Caricaceae. In R. Ming & P. H. Moore (Eds.), *Genetics and genomics of papaya* (pp. 81-92). Nueva York Springer. Recuperado de: <https://link-springer-com.accedys2.bbtk.ull.es/content/pdf/10.1007%2F978-1-4614-8087-7.pdf>
- Cepeda, R., & Calderón, G. (1996). La papaya: control de plagas y enfermedades. ICA. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/20.500.12324/1684>
- Chía, C. L., & Manshardt, R. M. (2001). *Por qué algunas plantas de papaya no dan frutos* (Frutas y Nueces; F&N-5). Universidad de Hawaii: Honolulu, Hawaii, EE.UU. 2p. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/10125/12186>
- Clemente, H. S., & Marler, T. E. (1996). Drought stress influences gas-exchange responses of papaya leaves to rapid changes in irradiance. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 121(2), 292-295
- Comisión Europea. (2023). *Spain - Rural Development Programme (Regional) - Canarias*. Recuperado de: <http://www.pdrcanarias.es/2014/index.php/el-pdr-de-canarias-2014-2020>
- Consejería de Agricultura, Ganadería, Pesca y Soberanía Alimentaria. (s/f). *Gobiernodecanarias.org*. Recuperado en abril de 2024, de <https://www.gobiernodecanarias.org/agricultura/>
- Cruz, A. F., Ishii, T., & Kadoya, K. (2000). Effects of arbuscular mycorrhizal fungi on tree growth, leaf water potential, and levels of 1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid and ethylene in the roots of papaya under water-stress conditions. *Mycorrhiza*, 10(2), 121-123.
- Cruz, A. F., Ishii, T., Matsumoto, I., & Kadoya, K. (2003). Evaluation of the mycelial network formed by arbuscular mycorrhizal hyphae in the rhizosphere of papaya and other plants under intercropping system. *Brazilian Journal of Microbiology*, 34(Suppl. 1), 72-76. Recuperado de: <https://doi.org/10.1590/S1517-83822003000100015>
- Esquivel, M. A., Tornet Quintana, Y., Ramos Ramírez, R., Farrés Armenteros, E., Aranguren González, M., & Rodríguez Martínez, D. (2008). Caracterización y evaluación de dos híbridos de papaya en Cuba. *Agricultura técnica en México*, 34(3), 333-339. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=60811116008>
- FAO. *Food and agricultura data (FAOSTAT)* [en línea]. Recuperado de: <http://www.fao.org/faostat/en/#home>
- Fuentes, G., & Santamaría, J. M. (2014). Papaya (*Carica papaya* L.): Origin, domestication, and production. In R. Ming & P. H. Moore (Eds.), *Genetics and genomics of papaya* (pp.3-15). Nueva York Springer. Recuperado de: [https://doi.org/10.1007/978-1-4614-8087-7\\_1](https://doi.org/10.1007/978-1-4614-8087-7_1)
- Galán Saúco, V., & Farré Massip, J. M. (2005). Tropical and subtropical fruits in Spain. In *International Symposium on Harnessing the Potential of Horticulture in the Asian-Pacific Region 694* (pp. 259-264). Recuperado de: DOI: 10.17660/ActaHortic.2005.694.42



- Galán Saúco, V. (2014). Frutales tropicales y subtropicales: Platanera, papaya y piña tropical. En J. Cuevas & J. J. Hueso (Coords.), *La fruticultura del siglo XXI en España* (pp. 381-402). Cajamar Caja Rural: Serie Agricultura10. Recuperado de: [https://issuu.com/horticulturaposcosecha/docs/la\\_fruticultura\\_del\\_siglo\\_xxi\\_en\\_es](https://issuu.com/horticulturaposcosecha/docs/la_fruticultura_del_siglo_xxi_en_es)
- Galán Saúco, V., & Rodríguez Pastor, M. A. (2007). *Greenhouse cultivation of papaya*. In *International Symposium on Papaya* (Vol. 740, pp. 191-195). Recuperado de: <https://doi.org/10.17660/actahortic.2007.740.22>
- GLOBAL BIODIVERSITY INFORMATION FACILITY (GBIF). (2024). *Carica papaya L.* [en línea]. Recuperado de : <https://www.gbif.org/es/species/2874484>
- Gmrcanarias.com. (2020). *Opogona sacchari (Bojer): Lepidoptera: Tineidae*. Recuperado el 1 de mayo de 2024, de: [https://gmrcanarias.com/wp-content/uploads/2020/10/Opogona\\_sacchari.pdf](https://gmrcanarias.com/wp-content/uploads/2020/10/Opogona_sacchari.pdf)
- Gobiernodecanarias.org. (s/f). Sector primario. Recuperado en abril de 2024, de <https://www.gobiernodecanarias.org/istac/estadisticas/sectorprimario/>
- Guzmán Díaz, G. A. (1998). *Guía para el cultivo de la papaya (Carica papaya L.)* [en línea]. San José: Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG). Recuperado de <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/F01-0658papaya.pdf>
- Habte, M. (2000). Mycorrhizal fungi and plant nutrition. En *Plant nutrient management in Hawaii's soils: Approaches for tropical and subtropical agriculture* (pp. 127-131). University of Hawaii at Manoa.
- Heuvelink, E., Bakker, M. J., Elings, A., Kaarsemaker, R. C., & Marcelis, L. F. M. (2004, September). Effect of leaf area on tomato yield. In *Proceedings of the International Conference on Sustainable Greenhouse Systems-Greensys2004* (Vol. 691, pp. 43-50).
- Hueso, J. J., Salinas, I., Pinillos, V., & González, J. C. (2023). Claves para producir papaya con éxito en España. Recuperado de: <https://www.plataformatierra.es/innovacion/papaya-exito-espana-cultivo>
- Hueso Martín, J. J., Salinas Romero, I., & Cuevas González, J. (2015). El cultivo de la papaya. [Ficha de transferencia, Número 009, páginas 1-10]. Recuperado de: <https://www.cajamar.es/storage/documents/009-papaya-1441794549-6f9d7.pdf>
- Hueso, J. J., Salinas, I., Pinillos, V., & Ejido, E. (2020). El cultivo de papaya en el Sureste de España. *ResearchGate*. Recuperado de : <https://www.researchgate.net/publication/341269106>
- Imai, K., Ogura, N., & Murata, T. (1982). Photosynthesis and respiration of papaya (*Carica papaya L.*). *ResearchGate*. Recuperado de: <https://www.researchgate.net/publication/236634831>
- Ito, P. J. (1976). The effect of leaf pruning on yield and quality of 'Solo' papayas in Hawaii.



- Jeyakumar, P., Kavino, M., Kumar, N., & Soorianathasundaram, K. (2007). Physiological performance of papaya cultivars under abiotic stress conditions. *Acta Horticulturae*, 740, 209-215. <https://doi.org/10.17660/actahortic.2007.740.25>
- Jiménez, V. M., Mora-Newcomer, E., & Gutiérrez-Soto, M. V. (2014). Biology of the papaya plant. In R. Ming & P. H. Moore (Eds.), *Genetics and genomics of papaya*, (pp.17-33). Nueva York Springer. Recuperado de: <https://link-springer-com.accedys2.bbtk.ull.es/content/pdf/10.1007%2F978-1-4614-8087-7.pdf>
- Koul, B., Pudhuvai, B., Sharma, C., Kumar, A., Sharma, V., Yadav, D., & Jin, J.-O. (2022). *Carica papaya* L.: A tropical fruit with benefits beyond the tropics [en línea]. *Diversity*, 14(8), 683. Recuperado de: <https://doi.org/10.3390/d14080683>
- Lawlor, D. W., & Cornic, G. (2002). Photosynthetic carbon assimilation and associated metabolism in relation to water deficits in higher plants. *Plant, Cell & Environment*, 25(2), 275-294. Recuperado de: <https://doi.org/10.1046/j.0016-8025.2001.00814.x>
- Liao, Z., Dong, F., Liu, J., Xu, L., Marshall-Colon, A., & Ming, R. (2022). *Gene regulation network analyses of pistil development in papaya*. [en línea]. *BMC Genomics*, 23\*(8). <https://doi.org/10.1186/s12864-021-08197-7>
- Machado Filho, J. A., Campostrini, E., Yamanishi, O. K., & Fagundes, G. R. (2006). Variação sazonal das trocas gasosas em folhas de mamoeiro cultivado em condições de campo. *Bragantia*, 65, 185-196. Recuperado de: <https://doi.org/10.1590/S0006-87052006000200001ming>
- Mahouachi, J., Arbona, V., & Gómez-Cadenas, A. (2007). Hormonal changes in papaya seedlings subjected to progressive water stress and re-watering. *Plant Growth Regulation*, 53(1), 43-51. REcuperado de: <https://doi.org/10.1007/s10725-007-9202-2>
- Mahouachi, J., Socorro, A. R., & Talón, M. (2006). Responses of papaya seedlings (*Carica papaya* L.) to water stress and rehydration: Growth, photosynthesis and mineral nutrient imbalance. *Plant Soil*, 281, 137-147. <https://doi.org/10.1007/s11104-005-3935-3>
- Mamatha, G., Bagyaraj, D., & Jaganath, S. (2002). Inoculation of field-established mulberry and papaya with arbuscular mycorrhizal fungi and a mycorrhiza helper bacterium. *Mycorrhiza*, 12(5), 313-316. Recuperado de : <https://doi.org/10.1007/s00572-002-0200-y>
- Manica, I. (1982). *Fruticultura tropical: Mamão*. São Paulo, Brazil: Editora Agronômica Ceres LTDA. Recuperado de: <https://es.scribd.com/document/285886518/A-CULTURA-DO-MAMAO>
- Magwaza, L. S., & Opara, U. L. (2015). Analytical methods for determination of sugars and sweetness of horticultural products—A review. *Scientia Horticulturae*, 184, 179-192. Recuperado de: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.01.001>
- Marler, T. E., & Discekici, H. M. (1997). Root development of 'Red Lady' papaya plants grown on a hillside [en línea]. *Plant and soil*, 195(1), 37-42. <https://doi.org/10.1023/a:1004231009366>
- Marler, T. E., & Mickelbart, M. V. (1998). Drought, leaf gas exchange, and chlorophyll fluorescence of field-grown papaya. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 123(4), 714-718. <https://doi.org/10.21273/jashs.123.4.714>



- Marler, T. E., George, A. P., Nissen, R. J., & Anderssen, P. C. (1994). Miscellaneous tropical fruits. En B. Schaffer & P. C. Anderssen (Eds.), *Handbook of environmental physiology of fruit crops: Vol. II. Sub-tropical and tropical crops* (pp. 199-224). CRC Press.
- Martínez V., O. R. (1988). *Preliminary study on the effect of fruit thinning on yield of pawpaw, Carica papaya L. var. Sunrise Solo*.
- Ming, R., Yu, Q., & Moore, P. H. (2007). *Sex determination in papaya* [en línea]. *Seminars in Cell & Developmental Biology*, 18, 401–408. Recuperado de: <https://doi.org/10.1016/j.semcdb.2006.11.013>
- Morton, J. (1987). Papaya. En *Fruits of Warm Climates* (pp. 336–346). Miami, FL: Julia F. Morton. En Morton, J.F.D.C.F. *Fruits of Warm Climates*; Morton, J.F., Ed.; Distribuido por Creative Resources Systems: Miami, FL, EE. UU.; Winterville, NC, EE. UU. Recuperado de: [https://www.hort.purdue.edu/newcrop/morton/papaya\\_ars.html](https://www.hort.purdue.edu/newcrop/morton/papaya_ars.html)
- MPM-100. (s/f). Optisci.com. Recuperado el 20 de junio de 2024, de <https://www.optisci.com/mpm-100.html>
- Nakasone, H. Y., & Paull, R. E. (1998). *Tropical fruits* (pp. 239-269). CAB International.
- Parlamento Europeo y Consejo de la Unión Europea. (2018). *Reglamento (UE) 2018/848 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 30 de mayo de 2018, sobre producción ecológica y etiquetado de los productos ecológicos y por el que se deroga el Reglamento (CE) no 834/2007 del Consejo*. <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=DOUE-L-2018-80995>
- Paull, R. E., & Duarte, O. (2011). Papaya. En R. E. Paul & O. Duarte (Eds.), *Tropical fruits* (2ª ed., pp. 291-326). CABI. Recuperado de: <https://doi.org/10.1017/S0014479711000639>
- Pérez, E. (2016). *Ensayo de variedades de papaya*. Agrocabildo, Cabildo de Tenerife. Recuperado de: [https://www.agrocabildo.org/publica/Publicaciones/subt\\_599\\_Var%20papaya%20web.pdf](https://www.agrocabildo.org/publica/Publicaciones/subt_599_Var%20papaya%20web.pdf)
- Pérez, M. A. H. (2001). *La papaya, problemas y soluciones*.
- Pino, J. A., Almora, K., & Marbot, R. (2003). Volatile components of papaya (*Carica papaya* L., Maradol variety) fruit. *Flavour and Fragrance Journal*, 18, 492–496. Recuperado de: <https://doi.org/10.1002/ffj.1248>
- Reis, F.O, Campostrini, E., Fernandes de Sousa, E., & Gabetto Silva, M. (2006). Sap flow in papaya plants: Laboratory calibrations and relationships with gas exchanges under field conditions. *Scientia Horticulturae*, 110, 254–259. Recuperado de: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2006.07.010>
- Reis F. O, Campostrini E (2005) Otimização das trocas gasosas ao meio-dia, com aplicação de água na copa do mamoeiro. *Annals of the II Simpósio do Papaya Brasileiro*. Vitória, Brazil, pp. 385-389.
- Reis, F. O. (2007). *Microaspersão sobre copa em mamoeiro 'Golden': um estudo relacionado às trocas gasosas, à eficiência fotoquímica e ao fluxo de seiva xilemática* (Tesis doctoral). Universidade Estadual do Norte Fluminense, Campos do Goytacazes.



- Rodríguez Pastor, M. C., (2002). Consideraciones sobre la utilización de diferentes densidades en el cultivo de papaya (*Carica papaya* L.) "Baixinho de Santa Amalia" en islas Canarias. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 24(3), 707-710. Recuperado de: <https://doi.org/10.1590/S0100-29452002000300035>
- Rodríguez Pastor, M. C., Galán Saúco, V., & Espino, A. I. (1995). *Técnicas de cultivo de la papaya (Carica papaya L.) en Canarias* (2ª ed.). Consejería de Agricultura y Alimentación y Secretaría General Técnica del Gobierno de Canarias.
- Rodríguez, Pastor, M. C. (2015). *Situación actual y condiciones de cultivo de la papaya en Canarias*. Instituto Canario de Investigaciones Agrarias (ICIA). Recuperado de: [https://www.icia.es/icia/index.php?option=com\\_content&view=article&id=3726&Itemid=432](https://www.icia.es/icia/index.php?option=com_content&view=article&id=3726&Itemid=432)
- Rojop, I. E. J. (2013). *Carica papaya: una planta con efecto terapéutico*. Redalyc.org. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=457845144004>
- Roth, I. (1977). *Fruits of angiosperms*. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung.
- Ruíz-Romero, R., De la Peña, M., & Romero, H. M. (2023). Metodología para evaluar en etapa de vivero la respuesta al déficit hídrico y nutrición de plántulas de *Elaeis guineensis* y de híbridos interespecíficos OxG. *Ceniavances*, (196), 7. Recuperado de: <https://www.researchgate.net/publication/340845988>
- Salazar, R. (1978). Determination of photosynthesis in commercial varieties of papaw (*Carica papaya* L.) and its possible relationship with the production and quality of the fruits. *Revista ICA*, 13(3), 291-295.
- Salinas, I., et al. Comparación de los sistemas productivos de la papaya en España y Brasil [en línea]. *I+D+i (INNOVAGRI)*, 2017. Recuperado de: <https://www.innovagri.es/investigacion-desarrollo-inovacion/comparacion-de-los-sistemas-productivos-de-la-papaya-en-espana-y-brasil.html>
- Schweiggert, R. M., Steingass, C. B., Heller, A., Esquivel, P., & Carle, R. (2011). Characterization of chromoplasts and carotenoids of red- and yellow-fleshed papaya (*Carica papaya* L.). *Planta*, 234(5), 1031-1044. <https://doi.org/10.1007/s00425-011-1457-1>
- Silva, J., Rashid, Z., Nhựt, D., Sivakumar, D., Gera, A., Souza, M., & Tennant, P. (2007). Papaya (*Carica papaya* L.) biology and biotechnology. Recuperado de: <https://www.semanticscholar.org/paper/e2a9b0a8462fe19a1de844b7da3de311dbd3387b>
- Sociedad Española de Fitopatología. (n.d.). *Papaya ringspot virus (Virus de las manchas anulares de la papaya)*. Recuperado el 19 de junio de 2024, de [https://sef.es/sites/default/files/pathogen\\_documents/Papaya%20ringspot%20virus%20%28Virus%20de%20las%20manchas%20anulares%20de%20la%20papaya%29.pdf](https://sef.es/sites/default/files/pathogen_documents/Papaya%20ringspot%20virus%20%28Virus%20de%20las%20manchas%20anulares%20de%20la%20papaya%29.pdf)
- Torres-Netto, A. (2005). Atributos fisiológicos e relações hídricas em genótipos de mamoeiro (*Carica papaya* L.) na fase juvenil. *Campos dos Goytacazes, Universidade Estadual do Norte Fluminense. DSc thesis*.
- Torres Netto, A., Campostrini, E., Oliveira, J. G. D., & Yamanishi, O. K. (2002). Portable chlorophyll meter for the quantification of photosynthetic pigments, nitrogen, and the possible use for



- assessment of the photochemical process in *Carica papaya* L. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, 14(3), 203-210. Recuperado de: <https://doi.org/10.1590/S1677-04202002000300004>
- Upreti, R., Shrestha, A. K., Tripathi, K. M., Shrestha, B., Krakauer, N., Devkota, N. R., ... & Thapa, P. (2019). Effect of fruit thinning and defoliation on yield and quality of papaya (*Carica papaya*) cv. Red Lady in Chitwan. *Acta Sci Agric*, 3, 130-136. Recuperado de: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgiclfindmkaj/<https://ipmil.cired.vt.edu/wp-content/uploads/2019/03/Fruit-thinning.pdf>
- Valencia, P. R., Aguilera, G. M., Ortiz, D. T., & Aguilera, A. M. (2003). Influencia de variedades y densidades de plantación de papayo (*Carica papaya* L.) sobre las epidemias de mancha anular. *Revista Mexicana de Fitopatología*, 21(2), 109-116.
- Wadekar, A. B., Nimbawar, M. G., Panchale, W. A., Gudalwar, B. R., Manwar, J. V., & Bakal, R. L. (2021). Morphology, phytochemistry and pharmacological aspects of *Carica papaya*, an review [en línea]. *GSC biological and pharmaceutical sciences*, 14(03), 234–248. Recuperado de: <https://doi.org/10.30574/gscbps.2021.14.3.0073>
- Wang, R. H., Chang, J. C., Li, K. T., Lin, T. S., & Chang, L. S. (2014). Leaf age and light intensity affect gas exchange parameters and photosynthesis within the developing canopy of field net-house-grown papaya trees. *Scientia Horticulturae*, 165, 365-373. Recuperado de: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2013.11.035>
- Yogiraj, V., Goyal, P. K., Chauhan, C. S., Goyal, A., & Vyas, B. (2014). *Carica papaya* Linn: an overview. *International Journal of Herbal Medicine*, 2(5), 1-8. Recuperado de: <https://www.florajournal.com/vol2issue5/jan2015/2-4-12.1.pdf>
- Zambrano, A. F. C., Guataquira, S., Bayona, C., & Romero, H. M. (2017). Desarrollo de una metodología para la selección temprana de cultivares de *Elaeis guineensis* Jacq. Recuperado de: <https://www.researchgate.net/publication/340845988>
- Zhou, L., Christopher, D. A., & Paull, R. E. (2000). Defoliation and fruit removal effects on papaya fruit production, sugar accumulation, and sucrose metabolism. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 125(5), 644-652. Recuperado de: <https://doi.org/10.21273/JASHS.125.5.644>