



UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA
GESTIÓN DE BIBLIOTECAS

CARTA DE AUTORIZACIÓN



CÓDIGO

AP-BIB-FO-06

VERSIÓN

1

VIGENCIA

2014

PÁGINA

1 de 1

Neiva, 23 de enero de 2024

Señores

CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA

Ciudad

El (Los) suscrito(s):

Francisco José Muñoz Ordoñez, con C.C. No. 97472583,

Autor(es) de la tesis titulada EFECTO DE LA FERTILIZACIÓN INTEGRADA SOBRE EL CULTIVO DE GULUPA (*Passiflora edulis* Sims f. *edulis*) EN DOS CICLOS PRODUCTIVOS presentada y aprobada en el año 2023 como requisito para optar al título de Doctor en Agroindustria y Desarrollo Agrícola Sostenible;

Autorizo (amos) al CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN de la Universidad Surcolombiana para que, con fines académicos, muestre al país y el exterior la producción intelectual de la Universidad Surcolombiana, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera:

- Los usuarios puedan consultar el contenido de este trabajo de grado en los sitios web que administra la Universidad, en bases de datos, repositorio digital, catálogos y en otros sitios web, redes y sistemas de información nacionales e internacionales “open access” y en las redes de información con las cuales tenga convenio la Institución.
- Permite la consulta, la reproducción y préstamo a los usuarios interesados en el contenido de este trabajo, para todos los usos que tengan finalidad académica, ya sea en formato Cd-Rom o digital desde internet, intranet, etc., y en general para cualquier formato conocido o por conocer, dentro de los términos establecidos en la Ley 23 de 1982, Ley 44 de 1993, Decisión Andina 351 de 1993, Decreto 460 de 1995 y demás normas generales sobre la materia.
- Continúo conservando los correspondientes derechos sin modificación o restricción alguna; puesto que, de acuerdo con la legislación colombiana aplicable, el presente es un acuerdo jurídico que en ningún caso conlleva la enajenación del derecho de autor y sus conexos.

De conformidad con lo establecido en el artículo 30 de la Ley 23 de 1982 y el artículo 11 de la Decisión Andina 351 de 1993, “Los derechos morales sobre el trabajo son propiedad de los autores”, los cuales son irrenunciables, imprescriptibles, inembargables e inalienables.

FRANCISCO JOSE MUÑOZ ORDOÑEZ

Vigilada Mineducación

La versión vigente y controlada de este documento, solo podrá ser consultada a través del sitio web Institucional www.usco.edu.co, link Sistema Gestión de Calidad. La copia o impresión diferente a la publicada, será considerada como documento no controlado y su uso indebido no es de responsabilidad de la Universidad Surcolombiana.



DESCRIPCIÓN DE LA TESIS Y/O TRABAJOS DE GRADO



CÓDIGO

AP-BIB-FO-07

VERSIÓN

1

VIGENCIA

2014

PÁGINA

1 de 4

TÍTULO COMPLETO DEL TRABAJO: EFECTO DE LA FERTILIZACIÓN INTEGRADA SOBRE EL CULTIVO DE GULUPA (*Passiflora edulis* Sims f. *edulis*) EN DOS CICLOS PRODUCTIVOS

AUTOR O AUTORES:

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
MUÑOZ ORDOÑEZ	FRANCISCO JOSE

DIRECTOR Y CODIRECTOR TESIS:

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
HERNÁNDEZ GÓMEZ	MARIA SOLEDAD
GUTIÉRREZ GUZMÁN	NELSON

ASESOR (ES):

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre

PARA OPTAR AL TÍTULO DE: DOCTOR EN AGROINDUSTRIA Y DESARROLLO AGRÍCOLA SOSTENIBLE

FACULTAD: INGENIERÍA

PROGRAMA O POSGRADO: DOCTORADO EN AGROINDUSTRIA Y DESARROLLO AGRÍCOLA SOSTENIBLE

CIUDAD: NEIVA **AÑO DE PRESENTACIÓN:** 2023 **NÚMERO DE PÁGINAS:** 160

TIPO DE ILUSTRACIONES (Marcar con una X):

Diagramas Fotografías Grabaciones en discos Ilustraciones en general Grabados
Láminas Litografías Mapas Música impresa Planos Retratos Sin ilustraciones Tablas o Cuadros

SOFTWARE requerido y/o especializado para la lectura del documento:

MATERIAL ANEXO:

PREMIO O DISTINCIÓN (En caso de ser LAUREADAS o Meritoria):

Vigilada Mineducación

La versión vigente y controlada de este documento, solo podrá ser consultada a través del sitio web Institucional www.usco.edu.co, link Sistema Gestión de Calidad. La copia o impresión diferente a la publicada, será considerada como documento no controlado y su uso indebido no es de responsabilidad de la Universidad Surcolombiana.



DESCRIPCIÓN DE LA TESIS Y/O TRABAJOS DE GRADO



CÓDIGO

AP-BIB-FO-07

VERSIÓN

1

VIGENCIA

2014

PÁGINA

2 de 4

PALABRAS CLAVES EN ESPAÑOL E INGLÉS:

<u>Español</u>	<u>Inglés</u>
1. Calidad poscosecha	1. Postharvest quality
2. Vermicompost	2. Vermicompost
3. Relación beneficio costo	3. Benefit-cost ratio
4. Radiación	4. Radiation
5. Nutrición organomineral	5. Organo-mineral nutrition

RESUMEN DEL CONTENIDO: (Máximo 250 palabras)

La gulupa (*Passiflora edulis* Sims. f. *edulis*) es una de las principales frutas que hacen parte de la oferta exportadora de Colombia. Su cultivo conlleva una cantidad considerable de gastos que se ven representados en labores culturales como la fertilización convencional. La fertilización integrada se constituye como una alternativa de transición entre la agricultura tradicional y la producción orgánica. El objetivo fue evaluar el efecto de la fertilización integrada sobre el rendimiento y la calidad poscosecha del fruto de gulupa (*Passiflora edulis* Sims f. *edulis*), en dos ciclos productivos. La investigación fue desarrollada en dos etapas: i) producción, se estableció un cultivo de gulupa en el municipio de Sibundoy (Putumayo) bajo semitechado y sistema de espaldera sencilla, utilizando tres tratamientos de fertilización (T1, Fertilización de síntesis química (FSQ); T2, Fertilización con sustancias húmicas más FSQ; Fertilización con vermicompost más FSQ) para evaluar los parámetros agronómicos y productivos durante dos ciclos productivos; ii) sobre los frutos de gulupa obtenidos mediante fertilización integrada, se evaluó el comportamiento y la calidad poscosecha, en condiciones ambientales y modificadas (uso de empaques, control de temperatura y humedad relativa). La investigación tuvo una duración aproximada de 41 meses, desde el trasplante del material vegetal hasta la recolección de datos en el último ciclo observado. Cuatro grupos de variables fueron registradas durante el experimento: i) condiciones climáticas en relación con los estados fenológicos de la planta; ii) características químicas de las plantas (foliar) y del suelo (edáfico) durante dos ciclos productivos; iii) comportamiento fisiológico poscosecha de la fruta en condiciones ambientales y modificadas; iv) parámetros de calidad poscosecha de la fruta en condiciones ambientales y modificadas. Los resultados mostraron que la fertilización integrada y en particular el tratamiento con adición de vermicompost (T3), ofreció los mejores resultados para los parámetros productivos (peso fresco, número de frutos y diámetro ecuatorial), agronómicos (materia orgánica, rendimiento y relación beneficio/ costo) y fisiológicos (pérdida de peso y tasa de respiración). Las condiciones climáticas (radiación, precipitación y humedad relativa) afectaron significativamente los parámetros productivos del cultivo y de calidad poscosecha del fruto durante uno de los ciclos, así como las características foliares y edáficas del cultivo de gulupa, demostrando el alto grado de influencia que ejerce el clima sobre los atributos evaluados, por lo cual resultan decisivos en la producción y comercialización de la fruta. En conclusión, la fertilización integrada se consolida como un esquema de producción viable para ser



DESCRIPCIÓN DE LA TESIS Y/O TRABAJOS DE GRADO



CÓDIGO

AP-BIB-FO-07

VERSIÓN

1

VIGENCIA

2014

PÁGINA

3 de 4

implementado en los cultivos de gulupa, ya que permite optimizar los insumos que se utilizan en la producción y así aumentar el beneficio económico del cultivo.

ABSTRACT: (Máximo 250 palabras)

The gulupa is one of the main fruits that are part of Colombia's export offer. Its cultivation entails a considerable amount of expenses that are represented in cultural work such as conventionally fertilization. Integrated fertilization is constituted as a transition alternative between traditional agriculture and organic production. The objective was to evaluate the effect of integrated fertilization on the yield and postharvest quality of gulupa fruit (*Passiflora edulis* Sims f. *edulis*), in two production cycles. The research was developed in two stages: i) production, a gulupa crop was developed in the municipality of Sibundoy (Putumayo) under a semi-roof and simple trellis system, using three fertilization treatments (T1, Chemical Synthesis Fertilization (FSQ); T2, Fertilization with humic substances plus FSQ; Fertilization with vermicompost plus FSQ) to evaluate the agronomic and productive parameters during two production cycles; ii) on the gulupa fruits obtained through integrated fertilization, the post-harvest behavior and quality were evaluated, under environmental and modified conditions (use of packaging, temperature and relative humidity control). The research lasted approximately 41 months, from the transplant of the plant material to the collection of data in the last observed cycle. Four groups of variables were recorded during the experiment: i) climatic conditions in relation to the phenological states of the plant; ii) chemical characteristics of the plants (foliar) and soil (edaphic) during two production cycles; iii) postharvest physiological behavior of the fruit under environmental and modified conditions; iv) postharvest quality parameters of the fruit under environmental and modified conditions. The results showed that integrated fertilization and in particular the treatment with the addition of vermicompost (T3), offered the best results for the productive parameters (fresh weight, number of fruits and equatorial diameter), agronomic (organic matter, yield and benefit/cost ratio) and physiological parameters (weight loss and respiration rate). Climatic conditions (radiation, precipitation and relative humidity) will significantly affect the productive parameters of the crop and post-harvest quality of the fruit during one of the cycles, as well as the foliar and edaphic characteristics of the gulupa crop, demonstrating the high degree of influence it exerts the climate on the attributes evaluated, which is why they are decisive in the production and marketing of the fruit. In conclusion, integrated fertilization is consolidated as a viable production scheme to be implemented in gulupa crops, since it allows optimizing the inputs used in production and thus increasing the economic benefit of the crop.



DESCRIPCIÓN DE LA TESIS Y/O TRABAJOS DE GRADO



CÓDIGO	AP-BIB-FO-07	VERSIÓN	1	VIGENCIA	2014	PÁGINA	4 de 4
--------	--------------	---------	---	----------	------	--------	--------

APROBACION DE LA TESIS

Jurado Internacional:

FERNANDEZ
TRUJILLO JUAN
PABLO - 77562286F

Firmado digitalmente por FERNANDEZ
TRUJILLO JUAN PABLO - 77562286F
Nombre de reconocimiento (CN): c-E5
serialNumber: IDCE5-77562286F
givenName: JUAN PABLO m-FERNANDEZ
surname: TRUJILLO s-FERNANDEZ TRUJILLO JUAN
PABLO - 77562286F
Fecha: 2023/10/27 11:16:49 +02'00'

JUAN PABLO FERNANDEZ TRUJILLO

Nombre y Firma del jurado evaluador

Jurado Nacional:

* JESÚS HERNÁN CAMACHO TAMAYO

Nombre y Firma del jurado evaluador:

Jurado Nacional:

* EDUARDO PASTRANA BONILLA

Nombre y Firma del jurado evaluador

Vigilada Mineducación

La versión vigente y controlada de este documento, solo podrá ser consultada a través del sitio web Institucional www.usco.edu.co, link Sistema Gestión de Calidad. La copia o impresión diferente a la publicada, será considerada como documento no controlado y su uso indebido no es de responsabilidad de la Universidad Surcolombiana.

**Efecto de la fertilización integrada sobre el cultivo de gulupa
(*Passiflora edulis* Sims f. *edulis*), en dos ciclos productivos**

FRANCISCO JOSÉ MUÑOZ ORDOÑEZ

Universidad Surcolombiana

Facultad de Ingeniería

Doctorado en Agroindustria y Desarrollo Agrícola Sostenible

Neiva, Colombia

2023

**Efecto de la fertilización integrada sobre el cultivo de gulupa
(*Passiflora edulis* Sims f. *edulis*), en dos ciclos productivos**

FRANCISCO JOSÉ MUÑOZ ORDOÑEZ

Tesis presentada como requisito parcial para optar al título de:
Doctor en Agroindustria y Desarrollo Agrícola Sostenible

Directora:

Ph.D. María Soledad Hernández Gómez

Codirector:

Ph.D. Nelson Gutiérrez Guzmán

Línea de investigación:

Agroindustria

Universidad Surcolombiana

Facultad de Ingeniería

Doctorado en Agroindustria y Desarrollo Agrícola Sostenible

Neiva, Colombia

2023

*A Dios, Jesús, María y José por todas las bendiciones recibidas
A mi madre Martha Elena por el amor y mi padre José Lucio por el ejemplo
A mi esposa Lina, mis hijos José David y Celeste que han sido mi inspiración
A mis hermanas Judith y Milena por el cariño y apoyo constante en mi vida
A mis sobrinos Juan José, Angelita y Gabriela que han motivado este esfuerzo
A todos los amo con infinita franqueza y devoción
Esto es por ustedes y para ustedes, mi familia*

Agradecimientos

A Dios y la Virgen María, por su divina intercesión que me ha permitido cumplir cada una de las metas que me he propuesto a lo largo de mi vida, otorgandome los dones que he necesitado para salir adelante.

A la Universidad Surcolombiana por todo el apoyo y las oportunidades que me ha brindado desde el primer momento en que llegué a ser parte de su comunidad académica, así mismo a la Universidad Nacional de Colombia por las facilidades que me ha otorgado en mi formación.

A mi directora de tesis, la profesora María Soledad Hernández Gómez por haber depositado en mi su confianza y cariño para emprender esta cruzada sin vacilar un momento en que lo podíamos lograr, para ella por siempre mi respeto y admiración.

A mi codirector, el profesor Nelson Gutiérrez por haberme acompañado en cada una de las etapas del doctorado, siempre con un consejo certero y una voluntad inquebrantable para lograr los objetivos, para él mi gratitud y respeto.

A la profesora Deyanira Lobo Luján, por el apoyo desinteresado que recibí de su parte en una etapa crítica del proyecto, sin el cual no me hubiera sido posible encontrar los caminos para llegar a feliz término, a ella mi cariño y admiración.

Al profesor Juan Pablo Fernández Trujillo, por haber permitido mi estancia en la Universidad Politécnica de Cartagena (España) y además haber compartido conmigo sus experiencias y conocimientos para cumplir con efectividad los objetivos propuestos, me quedarán para siempre sus gratos recuerdos.

A Paula Uribe y Kimberly Lozano por el apoyo brindado en el procesamiento de la fruta y los análisis de laboratorio durante todo el período de investigación.

Al Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación de Colombia, por la financiación otorgada para mi sostenimiento, matrícula y estancia internacional durante mi proceso de formación doctoral mediante la Beca de Excelencia Doctoral del Bicentenario, Corte II.

Por último, pero no menos importante, a mi abuelo Alberto y mis abuelas Cleofe y Raquel, quienes con su inmenso cariño me demostraron la importancia de la familia y de los valores que en ella se adquieren.

Resumen

Efecto de la fertilización integrada sobre el cultivo de gulupa (*Passiflora edulis* Sims. f. *edulis*), en dos ciclos productivos

La gulupa (*Passiflora edulis* Sims. f. *edulis*) es una de las principales frutas que hacen parte de la oferta exportadora de Colombia. Su cultivo conlleva una cantidad considerable de gastos que se ven representados en labores culturales como la fertilización convencional. La fertilización integrada se constituye como una alternativa de transición entre la agricultura tradicional y la producción orgánica. El objetivo fue evaluar el efecto de la fertilización integrada sobre el rendimiento y la calidad poscosecha del fruto de gulupa (*Passiflora edulis* Sims f. *edulis*), en dos ciclos productivos. La investigación fue desarrollada en dos etapas: i) producción, se estableció un cultivo de gulupa en el municipio de Sibundoy (Putumayo) bajo semitecho y sistema de espaldera sencilla, utilizando tres tratamientos de fertilización (T1, Fertilización de síntesis química (FSQ); T2, Fertilización con sustancias húmicas más FSQ; Fertilización con vermicompost más FSQ) para evaluar los parámetros agronómicos y productivos durante dos ciclos productivos; ii) sobre los frutos de gulupa obtenidos mediante fertilización integrada, se evaluó el comportamiento y la calidad poscosecha, en condiciones ambientales y modificadas (uso de empaques, control de temperatura y humedad relativa). La investigación tuvo una duración aproximada de 41 meses, desde el trasplante del material vegetal hasta la recolección de datos en el último ciclo observado. Cuatro grupos de variables fueron registradas durante el experimento: i) condiciones climáticas en relación con los estados fenológicos de la planta; ii) características químicas de las plantas (foliar) y del suelo (edáfico) durante dos ciclos productivos; iii) comportamiento fisiológico poscosecha de la fruta en condiciones ambientales y modificadas; iv) parámetros de calidad poscosecha de la fruta en condiciones ambientales y modificadas. Los resultados mostraron que la fertilización integrada y en particular el tratamiento con adición de vermicompost (T3), ofreció los mejores resultados para los parámetros productivos (peso fresco, número de frutos y diámetro ecuatorial), agronómicos (materia orgánica, rendimiento y relación beneficio/ costo) y fisiológicos (pérdida de peso y tasa de respiración). Las condiciones climáticas (radiación, precipitación y humedad relativa) afectaron significativamente los parámetros productivos del cultivo y de calidad poscosecha del fruto durante uno de los ciclos, así como las características foliares y edáficas del cultivo de gulupa, demostrando el alto grado de influencia que ejerce el clima sobre los atributos evaluados, por lo cual resultan decisivos en la producción y comercialización de la fruta. En conclusión, la fertilización integrada se consolida como un esquema de producción viable para ser implementado en los cultivos de gulupa, ya que permite optimizar los insumos que se utilizan en la producción y así aumentar el beneficio económico del cultivo.

Palabras clave: Calidad poscosecha, Vermicompost, Relación beneficio costo, Radiación, Nutrición organomineral.

Abstract

Effect of integrated fertilization on the gulupa crop (*Passiflora edulis* Sims. f. *edulis*), in two production cycles.

The gulupa is one of the main fruits that are part of Colombia's export offer. Its cultivation entails a considerable amount of expenses that are represented in cultural work such as conventionally fertilization. Integrated fertilization is constituted as a transition alternative between traditional agriculture and organic production. The objective was to evaluate the effect of integrated fertilization on the yield and postharvest quality of gulupa fruit (*Passiflora edulis* Sims f. *edulis*), in two production cycles. The research was developed in two stages: i) production, a gulupa crop was developed in the municipality of Sibundoy (Putumayo) under a semi-roof and simple trellis system, using three fertilization treatments (T1, Chemical Synthesis Fertilization (FSQ) ; T2, Fertilization with humic substances plus FSQ; Fertilization with vermicompost plus FSQ) to evaluate the agronomic and productive parameters during two production cycles; ii) on the gulupa fruits obtained through integrated fertilization, the post-harvest behavior and quality were evaluated, under environmental and modified conditions (use of packaging, temperature and relative humidity control). The research lasted approximately 41 months, from the transplant of the plant material to the collection of data in the last observed cycle. Four groups of variables were recorded during the experiment: i) climatic conditions in relation to the phenological states of the plant; ii) chemical characteristics of the plants (foliar) and soil (edaphic) during two production cycles; iii) postharvest physiological behavior of the fruit under environmental and modified conditions; iv) postharvest quality parameters of the fruit under environmental and modified conditions. The results showed that integrated fertilization and in particular the treatment with the addition of vermicompost (T3), offered the best results for the productive parameters (fresh weight, number of fruits and equatorial diameter), agronomic (organic matter, yield and benefit/cost ratio) and physiological parameters (weight loss and respiration rate). Climatic conditions (radiation, precipitation and relative humidity) will significantly affect the productive parameters of the crop and post-harvest quality of the fruit during one of the cycles, as well as the foliar and edaphic characteristics of the gulupa crop, demonstrating the high degree of influence it exerts the climate on the attributes evaluated, which is why they are decisive in the production and marketing of the fruit. In conclusion, integrated fertilization is consolidated as a viable production scheme to be implemented in gulupa crops, since it allows optimizing the inputs used in production and thus increasing the economic benefit of the crop.

Keywords: Postharvest quality, Vermicompost, Benefit-cost ratio, Radiation, Organo-mineral nutrition.

Contenido

	Pág.
Resumen.....	IX
Abstract	X
Lista de figuras.....	XV
Lista de tablas	XVII
Lista de abreviaturas.....	XVIII
Introducción	1
Bibliografia.....	7
Capítulo 1. Marco conceptual.....	17
1.1 Generalidades del cultivo de gulupa (<i>Passiflora edulis</i> Sims. f. <i>edulis</i>)	17
1.2 Enfoques de fertilización	19
1.2.1 Fertilidad del suelo	19
1.2.2 Fertilización química.....	19
1.2.3 Fertilización orgánica.....	21
1.2.3.1 Vermicompostaje	22
1.2.3.2 Sustancias húmicas	23
1.2.4 Fertilización integrada	24
1.3 Concepto de calidad	25
1.3.1 Calidad en alimentos	25
1.3.2 Calidad en frutas frescas	26
1.3.3 Factores que determinan la calidad en frutas frescas.....	26
1.3.3.1 Apariencia.....	26
1.3.3.2 Textura	27
1.3.3.3 Sabor	28
1.3.3.4 Calidad nutricional	28
1.3.3.5 Seguridad	28
1.4 Factores precosecha que influyen en la calidad.....	29
1.4.1 Factores genéticos	29
1.4.1.1 Variedad	29
1.4.1.2 Portainjerto	29
1.4.1.3 Fitomejoramiento	30

1.4.2 Factores ambientales	30
1.4.2.1 Luz y radiación solar	30
1.4.2.2 Temperatura	31
1.4.2.3 Precipitaciones.....	31
1.4.2.4 Humedad relativa.....	32
1.4.2.5 La cosecha	32
1.4.3 Factores culturales	33
1.4.3.1 Nutrición.....	33
1.5 Factores poscosecha que afectan la calidad.....	33
1.5.1 Factores biológicos.....	34
1.5.1.1 Respiración.....	34
1.5.1.2 Transpiración	34
1.5.1.3 Etileno (C_2H_4)	34
1.5.1.4 Desórdenes fisiológicos	35
1.5.1.5 Daños mecánicos	35
1.5.1.6 Daños patológicos	35
1.5.1.7 Madurez fisiológica	35
1.5.2 Factores no biológicos.....	35
1.5.2.1 Temperatura	36
1.5.2.2 Humedad relativa	36
1.5.2.3 Atmósferas modificadas.....	37
1.5.2.4 Empaques.....	37
1.6 Bibliografía.....	38
Capítulo 2. Efecto de la fertilización integrada sobre la rentabilidad, eficiencia agronómica y económica del cultivo de gulupa (<i>Passiflora Sims f. edulis</i>) durante dos ciclos productivos.....	55
2.1 Introducción	56
2.2 Materiales y métodos	58
2.2.1 Sitio de estudio.....	58
2.2.2 Material vegetal y establecimiento de cultivos	58
2.2.3 Caracterización del agua de riego	59
2.2.4 Tratamientos de fertilización	59
2.2.5 Variables climáticas.....	62
2.2.6 Muestreo de suelos y tejidos vegetales	63
2.2.7 Cosecha, rentabilidad, eficiencia agronómica y económica	63

2.2.8 Análisis estadístico	64
2.3 Resultados.....	64
2.3.1 Variables climáticas.....	64
2.3.2 Evaluación de las características del suelo después del establecimiento del cultivo .	67
2.3.3 Concentración de nutrientes en el tejido vegetal	69
2.3.4 Variables productivas	71
2.4 Discusión	72
2.5 Conclusiones	74
2.6 Bibliografía.....	75
Capítulo 3. Efecto de la fertilización integrada sobre el rendimiento y la calidad poscosecha del fruto de gulupa (<i>Passiflora edulis Sims f. edulis</i>), durante dos ciclos productivos.....	80
3.1 Introducción	81
3.2 Materiales y métodos.....	82
3.2.1 Sitio de estudio.....	82
3.2.2 Material vegetal	83
3.2.3 Tratamientos de fertilización	83
3.2.4 Datos climatológicos.....	85
3.2.5 Muestreo de frutas.....	85
3.2.6 Atributos de calidad y frecuencia respiratoria	86
3.2.7 Análisis estadístico	87
3.3 Resultados.....	87
3.3.1 Parámetros climatológicos.....	87
3.3.2 Parámetros físicos y de producción del fruto en la cosecha	91
3.3.3 Atributos de calidad en la cosecha	91
3.4 Discusión	94
3.5 Conclusiones	97
3.6 Bibliografía.....	97
Capítulo 4. Efecto de la fertilización integrada sobre el comportamiento y la calidad en la postcosecha del fruto de gulupa (<i>Passiflora edulis Sims f. edulis</i>) destinado a exportación	106
4.1 Introducción	107
4.2 Materiales y métodos.....	108
4.2.1 Origen del material vegetal.....	108
4.2.2 Descripción de los tratamientos.....	109
4.2.3 Recolección y manejo de la fruta.....	111

4.2.4 Atributos fisicoquímicos	111
4.2.5 Atributos fisiológicos	111
4.2.6 Análisis estadístico	112
4.3 Resultados.....	112
4.4 Discusión	119
4.5 Conclusión.....	123
4.6 Bibliografía.....	123
Conclusiones generales	130
Recomendaciones.....	132
Anexos	133

Lista de figuras

	Pág.
Figura 1. Humedad relativa durante el segundo y el tercer ciclo productivo del cultivo de gulupa (media ± desviación estándar de cada mes)	65
Figura 2. Radiación solar durante el segundo y el tercer ciclo productivo del cultivo de gulupa (media ± desviación estándar de cada mes)	65
Figura 3. Precipitación mensual durante el segundo y el tercer ciclo productivo del cultivo de gulupa.....	66
Figura 4. Temperatura durante el segundo y el tercer ciclo productivo del cultivo de gulupa (media ± desviación estándar de cada mes)	66
Figura 5. Comportamiento de la precipitación mensual según los estados fenológicos del cultivo de gulupa en dos ciclos productivos consecutivos.....	88
Figura 6. Comportamiento de la humedad relativa relacionada con los estados fenológicos del cultivo de gulupa en dos ciclos productivos consecutivos (media ± desviación estándar)	88
Figura 7. Comportamiento de la radiación solar relacionada con los estados fenológicos del cultivo de gulupa en los dos ciclos productivos consecutivos (media ± desviación estándar)....	89
Figura 8. Figura 4. Comportamiento de la temperatura mínima respecto a los estados fenológicos del cultivo de gulupa en dos ciclos productivos consecutivos (media ± desviación estándar)....	89
Figura 9. Comportamiento de la temperatura máxima respecto a los estados fenológicos del cultivo de gulupa en dos ciclos productivos consecutivos (media ± error estándar).....	90
Figura 10. Comportamiento del déficit de presión de vapor respecto a los estados fenológicos del cultivo de gulupa en dos ciclos productivos consecutivos (media ± error estándar).....	90
Figura 11. Tasa de respiración en la poscosecha a 14 °C de frutos de gulupa cultivados bajo fertilización integrada y cosechados en dos ciclos productivos consecutivos (media ± error estándar, n = 6)	94
Figura 12. Pérdida de peso acumulada del fruto de gulupa almacenado durante 45 días a 8±2 °C y 85 ± 5 %HR, envasado en bolsas Xtend o sin envasar (control). Los valores son la media ± error estándar de tres replicaciones. T1, fertilizantes químicos (FQ); T2, ácidos húmicos más FQ; T3, Vermicompost más FQ.; T4, Control (Fruta con FQ).	113
Figura 13. Tasa de respiración del fruto de gulupa almacenado durante 45 días a 8±2 °C y 85 ± 5 %HR, envasado en bolsas Xtend o sin envasar (control). Los valores son la media ± error estándar de tres replicaciones. T1, fertilizantes químicos (FQ); T2, ácidos húmicos más FQ; T3, Vermicompost más FQ.; T4, Control (Fruta con FQ).	114
Figura 14. Producción de etileno del fruto de gulupa almacenado durante 45 días a 8±2 °C y 85 ± 5 %HR, envasado en bolsas Xtend o sin envasar (control). Los valores son la media ± error estándar de tres replicaciones. T1, fertilizantes químicos (FQ); T2, ácidos húmicos más FQ; T3, Vermicompost más FQ.; T4, Control (Fruta con FQ).	114
Figura 15. Índice de Luminosidad (L^*) del fruto de gulupa almacenado durante 45 días a 8±2 °C y 85 ± 5 %HR, envasado en bolsas Xtend o sin envasar (control). Los valores son la media ± error estándar de tres replicaciones. T1, fertilizantes químicos (FQ); T2, ácidos húmicos más FQ; T3, Vermicompost más FQ.; T4, Control (Fruta con FQ).	115
Figura 16. Índice Cromático (C^*) del fruto de gulupa almacenado durante 45 días a 8±2 °C y 85 ± 5 %HR, envasado en bolsas Xtend o sin envasar (control). Los valores son la media ± error	

estándar de tres repeticiones. T1, fertilizantes químicos (FQ); T2, ácidos húmicos más FQ; T3, Vermicompost más FQ.; T4, Control (Fruta con FQ).	116
Figura 17. Ángulo hue (h°) del fruto de gulupa almacenado durante 45 días a 8±2 °C y 85 ± 5 %HR, envasado en bolsas Xtend o sin envasar (control). Los valores son la media ± error estándar de tres repeticiones. T1, fertilizantes químicos (FQ); T2, ácidos húmicos más FQ; T3, Vermicompost más FQ.; T4, Control (Fruta con FQ).	116
Figura 18. Sólidos solubles totales (SST) del fruto de gulupa almacenado durante 45 días a 8±2 °C y 85 ± 5 %HR, envasado en bolsas Xtend o sin envasar (control). Los valores son la media ± error estándar de tres repeticiones. T1, fertilizantes químicos (FQ); T2, ácidos húmicos más FQ; T3, Vermicompost más FQ.; T4, Control (Fruta con FQ).	117
Figura 19. Acidez total titulable (ATT) del fruto de gulupa almacenado durante 45 días a 8±2 °C y 85 ± 5 %HR, envasado en bolsas Xtend o sin envasar (control). Los valores son la media ± error estándar de tres repeticiones. T1, fertilizantes químicos (FQ); T2, ácidos húmicos más FQ; T3, Vermicompost más FQ.; T4, Control (Fruta con FQ).	118
Figura 20. pH del fruto de gulupa almacenado durante 45 días a 8±2 °C y 85 ± 5 %HR, envasado en bolsas Xtend o sin envasar (control). Los valores son la media ± error estándar de tres repeticiones. T1, fertilizantes químicos (FQ); T2, ácidos húmicos más FQ; T3, Vermicompost más FQ.; T4, Control (Fruta con FQ).	118
Figura 21. Textura del fruto de gulupa almacenado durante 45 días a 8±2 °C y 85 ± 5 %HR, envasado en bolsas Xtend o sin envasar (control). Los valores son la media ± error estándar de tres repeticiones. T1, fertilizantes químicos (FQ); T2, ácidos húmicos más FQ; T3, Vermicompost más FQ.; T4, Control (Fruta con FQ).	119
Figura 22. Cambio tonalidad frutos de gulupa, estado madurez 4 (A) a estado de madurez 5 (B).	122

Lista de tablas

	Pág.
Tabla 1. Definiciones de calidad basadas en cinco enfoques (Garvin, 1984)	26
Tabla 2. Tabla de calidad en la poscosecha del fruto de gulupa (<i>Passiflora edulis</i> Sims f. <i>edulis</i>). Variables medidas en frutas recién cortadas de la planta. Los valores son la media ± error estándar (Flórez et al., 2012a).....	27
Tabla 3. Resultado del análisis químico del agua utilizada en riego. ^z RAS: Relación de absorción de sodio	59
Tabla 4. Planes mensuales de fertilización según las etapas fenológicas del cultivo de gulupa (Dosis por planta kg ha ⁻¹)	61
Tabla 5. Características de Humus Alfa 15®	62
Tabla 6. Características del vermicompost Los Andes®	62
Tabla 7. Variables de suelo para dos ciclos productivos consecutivos del cultivo de gulupa bajo diferentes tratamientos de fertilización. Los valores son la media ± error estándar de las repeticiones (n=3)	68
Tabla 8. Variables foliares del cultivo de gulupa con fertilización integrada para dos ciclos productivos. Los valores son la media ± error estándar de las repeticiones por triplicado.....	70
Tabla 9. Costos e ingresos en el cultivo de gulupa bajo diferentes tratamientos de fertilización.	71
Tabla 10. Indicadores productivos en el cultivo de gulupa bajo diferentes tratamientos de fertilización. Y: Rendimiento en Ton/ha; EA: Eficiencia agronómica; EE: eficiencia económica; B/C: Relación costo-beneficio. Los valores son la media ± error estándar de las repeticiones por triplicado.....	72
Tabla 11. Planes mensuales de fertilización según las etapas fenológicas del cultivo de gulupa (Dosis por planta kg ha ⁻¹)	84
Tabla 12. Categorización de los estados fenológicos (EF) del cultivo de gulupa (<i>Passiflora edulis</i> Sims f. <i>edulis</i>).....	85
Tabla 13. Valores medios de peso fresco, frutos por planta, diámetro ecuatorial y longitudinal en gulupa para los principales factores significativos del experimento.	91
Tabla 14. Valores medios de firmeza del fruto entero, sólidos solubles totales, acidez total titulable y materia seca en el fruto de gulupa al momento de la cosecha para el factor significativo del ciclo productivo del cultivo.....	91
Tabla 15. Valores medios de los índices de color de piel variables L, C* y h° en el fruto de gulupa en la cosecha para el factor significativo del ciclo productivo del cultivo.....	92
Tabla 16. Valores medios del contenido de compuestos de azúcar individuales (mg/100 g PF) en el jugo del fruto de gulupa en la cosecha para el factor significativo ciclo productivo	92
Tabla 17. Valores medios del contenido de ácido cítrico, málico, succínico y ascórbico en el jugo del fruto de gulupa en la cosecha para el ciclo productivo del cultivo factor significativo	93
Tabla 18. Capacidad antioxidante (μmol Trolox-Equivalente/100 g de jugo) evaluada por dos métodos en el jugo del fruto de gulupa en la cosecha para el factor significativo del ciclo productivo	93
Tabla 19. Planes mensuales de fertilización según las etapas fenológicas del cultivo de gulupa (Dosis por planta kg ha ⁻¹).	110

Lista de abreviaturas

Abreviatura	Término
T1	Tratamiento 1
T2	Tratamiento 2
T3	Tratamiento 3
T4	Tratamiento 4
FSQ	Fertilización de Síntesis Química
ha	Hectárea
CE	Conductividad Eléctrica
RAS	Relación de Absorción de Sodio
STD	Sólidos Totales Disueltos
EA	Eficiencia Agronómica
EE	Eficiencia Económica
B/C	Relación Beneficio Costo
MO	Material orgánico
CIC	Capacidad de Intercambio Catiónico
Y	Rendimiento
ENSO	El Niño Southern Oscillation
EF	Estado Fenológico
HR	Humedad Relativa
L*	Luminosidad
C*	Croma
h°	Ángulo de tono
SST	Sólidos Solubles Totales
ATT	Acidez Total Titulable
ANOVA	Analysis Of Variance
PF	Peso Fresco
NF	Número de Frutos

Abreviatura	Término
DE	Diámetro Ecuatorial
MAP	Modified Atmosphere Packaging
CWL	Pérdida de Peso Acumulado
PA	Poliamida
LDPE	Polietileno de baja densidad

Introducción

El género *Passiflora* L. cuenta con alrededor de 573 especies, la mayoría originarias de la región tropical de América (Aguirre *et al.*, 2016). Los Andes de Colombia y del Ecuador son el ámbito de mayor diversidad, pues la región concentra el 81 % de las especies, de las cuales Colombia tiene registradas 170 especies tanto silvestres como cultivadas, lo que hace que sea el país con el mayor número de especies de estas frutas, que han sido llamadas “frutas de la pasión” (Ocampo, 2013). Los departamentos con la mayor área sembrada de gulupa en Colombia en el 2021 fueron Antioquia con 699,5 ha, Huila con 405,3 ha, Tolima con 303 ha, Cundinamarca con 242,7 y Boyacá con 164,3 (Agronet, 2023).

La gulupa (*Passiflora edulis* Sims f. *edulis*) es originaria del sur de Brasil, Paraguay y el norte de Argentina. Actualmente es cultivada en cuatro continentes (Ocampo y Posada, 2012): África (Costa de Marfil, Kenia, isla Reunión, Sudáfrica y Zimbabue); América (Argentina, Brasil, Colombia, Chile, Ecuador, Paraguay, el sur de Estados Unidos y Hawái); Asia (India, Indonesia, Israel, Malasia y Vietnam), y Oceanía (Australia y Nueva Zelanda). La gulupa se ha adaptado exitosamente a las montañas de los Andes tropicales, desarrollándose por encima de los 1.500 msnm, de manera silvestre, la gulupa es cultivada en huertos caseros y en cultivos comerciales tecnificados de los departamentos de Cundinamarca, Antioquia, Tolima, Boyacá y Huila. En estos departamentos, el cultivo se ubica en la franja altitudinal que va de 1.500 a 2.700 msnm, con temperaturas medias entre 12 °C y 20 °C, y regímenes de lluvias entre 1.000 y 2.000 mm, condiciones de clima características del bosque húmedo premontano y montano bajo (Ocampo *et al.*, 2010).

Así mismo, esta especie se ha consolidado en la última década, como una de las principales frutas de exportación de Colombia hacia los mercados internacionales, al ubicarse después del banano, el aguacate, el plátano y el limón Tahití con una producción que pasa de 9.813 Tn. en el 2021 a 15.259 Tn. en el 2022, (aumento del 56%) de las cuales 14.600 (95,4 %) se exportaron a mercados europeos, entre los que se destacan Países Bajos, Reino Unido, Bélgica, Italia, Francia y Alemania (Analdex, 2023). El fruto es muy apetecido gracias a sus propiedades organolépticas, como color, aroma y sabor y, además, es rico en una amplia variedad de compuestos nutritivos, no nutritivos y bioactivos valiosos para la salud humana. Numerosos estudios han destacado su abundancia en compuestos bioactivos fenólicos como flavonoides, antocianinas, ácido fenólico, así como en vitamina C, que le confieren un alto potencial antioxidante, anticancerígeno, antimicrobiano y antinflamatorio (Corrêa *et al.*, 2016; Viera *et al.*, 2022; Fonseca *et al.*, 2022).

Dado que la relevancia económica del cultivo de gulupa obedece principalmente a la apetencia por la fruta en los mercados internacionales y con el fin de cumplir con los rigurosos controles que hay para su exportación, los productores involucrados en la cadena productiva han acogido diferentes sistemas de producción que les permitan cumplir a cabalidad con las condiciones fitosanitarias y los requerimientos técnicos exigidos por los países receptores,

buscando además reducir las pérdidas pre y postcosecha, incrementar la productividad de sus cultivos y mejorar la calidad de la fruta.

Sin embargo, aun cuando las expectativas comerciales de la gulupa resultan prometedoras, las exigencias de los países receptores de estas exportaciones son altas, por lo que los productores han tenido que asumir nuevos retos como la certificación de sus predios, la inclusión de nuevas tecnologías y la mejora de sus prácticas agrícolas. Esto último ha ocasionado el incremento de los costos de producción por lo que resulta necesario considerar varias alternativas de producción que permitan reducir dichos costos, sin que con ello se vean afectados la productividad del cultivo o la calidad de la fruta.

Una parte importante del costo de producción de este tipo de frutales está asociado a gastos relacionados con la fertilización y los tratamientos fitosanitarios necesarios para obtener rendimientos satisfactorios y frutos de alta calidad. Los fertilizantes por sí solos, en promedio, suman entre el 20 y el 30 % del costo total de producción, que es un gasto recurrente significativo en los que un productor debe invertir todos los años (Srivastava y Singh, 2008). La gulupa es demandante de nutrientes, y la fertilización de las plantas puede afectar tanto la producción como las características físicas del fruto como el peso, el tamaño y la textura, y las características químicas como el contenido de sólidos solubles, la acidez y la presencia de alteraciones fisiológicas (Aular *et al.*, 2014).

La fertilización mineral u orgánica puede interferir en la producción y en las características internas y externas del fruto, y estos efectos varían según las especies evaluadas, las cantidades y los tipos de fertilizantes utilizados (Dias *et al.*, 2017). Además de los fertilizantes orgánicos, los fertilizantes minerales también apoyan la producción de frutas de alta calidad. La fertilización con nitrógeno mejora las propiedades organolépticas de la fruta (Lorensini *et al.* 2015) debido a la función del nitrógeno en el metabolismo y la fisiología de las plantas (Taiz *et al.* 2017). Dada la importancia del suministro adecuado de nutrientes en el desarrollo de las plantas, se han llevado a cabo numerosas investigaciones sobre los efectos que la fertilización que puede ocasionar sobre la productividad y la calidad de algunas frutas como la piña (Sossa *et al.*, 2019), el limón (Hazarika y Aheibam, 2019), la papaya (Ruiz-Coutiño *et al.*, 2019), la granadilla (Galecio *et al.*, 2023); el maracuyá (de Oliveira *et al.*, 2017), la uva (Khalifezadeh *et al.*, 2019), la fresa (Mohamed *et al.*, 2021), el durazno (Nava *et al.*, 2022), la granada (Al-Saif *et al.*, 2022), la pitahaya (Marques *et al.*, 2022), la manzana (Sompouviset *et al.*, 2023) y la gulupa (Gil *et al.*, 2012; Flechas *et al.*, 2020; Cárdenas-Pira *et al.*, 2021).

El manejo nutricional que se le ha dado a los cultivos de pasifloras en Colombia obedece a esquemas tradicionales de fertilización de síntesis química que se han establecido con referencia a los requerimientos nutricionales del cultivo de maracuyá, dada la relevancia internacional de esta especie y el interés subyacente para establecer los balances nutricionales de la planta con el fin aumentar la rentabilidad y mejorar aspectos tales como la firmeza, el color y el sabor de la fruta, lo cual depende del manejo de los nutrientes nitrógeno, fósforo y potasio. Simultáneamente, en el caso de los elementos menores como boro, cobre, hierro y zinc, su aplicación se enfoca en mejorar la calidad del fruto (Guerrero *et al.*, 2012).

Por otra parte, el uso indiscriminado de fertilizantes deriva en la pérdida de los insumos aplicados, ya sea por la volatilización o la lixiviación de estos, ocasionando problemas ambientales y aumento de los costos de producción. Así mismo, el uso continuo de fertilizantes químicos causa serios problemas de deficiencia de nutrientes del suelo, contaminación de los

alimentos y daña las propiedades fisicoquímicas del suelo por el aumento de su acidez, lo que conduce a un deterioro de la salud, la productividad, la estabilidad y la sostenibilidad del suelo (Selim, 2018).

Lo anterior demuestra la importancia de un adecuado manejo de la fertilidad del suelo mediante el suministro de insumos que garanticen la disponibilidad de nutrientes, para lograr el incremento de la producción sin originar impactos indeseables en el ambiente. El uso de materiales orgánicos se considera una práctica clave en el sistema ecológico para garantizar una producción de alimentos segura mediante prácticas sostenibles como la reutilización de materiales que se encuentren disponibles en el entorno a un bajo costo (Rashid y Shahzad, 2021). Algunos de los materiales orgánicos son los abonos de corral, los fertilizantes naturales, las enmiendas del suelo, los residuos de cultivos y los desechos agrícolas, los abonos verdes y el compost (Shah y Wu, 2019).

El compostaje es un proceso de procesamiento de la materia orgánica bajo la acción de microorganismos (Zhang *et al.*, 2022), a través de los cuales, la materia orgánica se convierte en un fertilizante que puede usarse como nutriente para las plantas y como enmienda del suelo (Hoang *et al.*, 2022). La presencia de microorganismos beneficiosos ayuda a suprimir las enfermedades y las plagas de las plantas (Ahmad *et al.*, 2019). También se reporta que, a través del compostaje, se puede aprovechar el fósforo que se encuentra en una cantidad significativa en el estiércol de los bovinos (70 -80%), dado que solo entre un 13 y un 17 % de este elemento se asimila como alimento por el ganado (Vaccari *et al.*, 2019; Karunanthi *et al.*, 2015), que de ser aprovechado, reduciría el consumo de fósforo, favoreciendo la sostenibilidad de este nutriente y mejorando su incorporación en el suelo agrícola.

El efecto de la aplicación de compost en el suelo depende en gran medida de las propiedades intrínsecas del suelo y del compost (materia prima), junto con la tasa de aplicación de compost (Duong *et al.*, 2012). Sin embargo, conviene mencionar que los resultados de la aplicación de este tipo de fertilizantes pueden no percibirse en un corto tiempo, debido a la lenta liberación de los nutrientes (Tittarelli *et al.*, 2007).

Una de las alternativas para estos procesos es el vermicompost, que consiste en el uso de lombrices para descomponer materiales orgánicos, como residuos de cocina, desechos de jardín y otros materiales biodegradables, en abono rico en nutrientes (Mahapatra *et al.*, 2022). El vermicompost es una valiosa enmienda del suelo que puede mejorar la estructura, la fertilidad y el contenido de nutrientes del suelo (Ceritoğlu *et al.*, 2018). Tiene mayor porosidad, aireación, drenaje, capacidad de retención de agua y actividad microbiana en comparación con otros compost (Ghorbani *et al.*, 2023). Promueve el crecimiento de las raíces y la absorción de nutrientes, lo que aumenta el contenido de nutrientes en el suelo (Khan *et al.*, 2019). El contenido de nutrientes del vermicompost puede variar según la materia prima utilizada, las especies de lombrices y las condiciones del compostaje (Barthod *et al.*, 2018).

También se encuentran los bioestimulantes, que son formulaciones de materias primas naturales, que se pueden dividir en bioestimulantes microbianos y no microbianos, según su origen (Malik *et al.*, 2021). Las fuentes microbianas de bioestimulantes incluyen hongos, bacterias, materiales fermentados y desechos orgánicos (Madende y Hayes, 2020), mientras que los bioestimulantes no microbianos incluyen productos de origen vegetal, extractos de algas, aminoácidos, péptidos y sustancias húmicas (Buono, 2021). Estas últimas están compuestas principalmente por ácidos húmicos y fúlvicos, a los cuales se les atribuyen diversas funciones

agronómicas como la mejora del crecimiento de las plantas, la retención de agua, la absorción de nutrientes y la capacidad de supresión de enfermedades. Las sustancias húmicas como componente funcional más importante del compost, mejoran las propiedades físicas y biológicas del suelo y reducen los riesgos de eutrofización ambiental asociados con el uso excesivo de fertilizantes químicos (Guo *et al.*, 2019).

Aquí, son múltiples las alternativas que se pueden considerar para satisfacer los requerimientos nutricionales de cultivos como la gulupa, teniendo como propósitos fundamentales obtener mayores rendimientos, preservar los atributos que determinan la calidad de la fruta, incrementar la rentabilidad del ejercicio productivo, optimizar el uso de los recursos utilizados y reducir los impactos negativos de la producción sobre el entorno. Según los antecedentes, la fertilización bajo un solo esquema, ya sea orgánica o inorgánica, tiene ventajas y desventajas en el cultivo y en el entorno, de modo que la fertilización integrada surge como una alternativa que permite equilibrar los efectos favorables sin que se afecten aspectos tales como la calidad del suelo, la productividad de los cultivos, la sanidad vegetal, la calidad de los productos agrícolas, los impactos ambientales y la conveniencia económica.

En busca de ese equilibrio, se han realizado diferentes estudios para establecer los esquemas de fertilización integrada que resulten más adecuados de acuerdo con las variables de campo evaluadas, como es el caso de los estudios adelantados sobre la granada (Abdel-Sattar *et al.*, 2023), la uva (Rosado *et al.*, 2022), la manzana (Kumar *et al.*, 2018), la pitahaya (Marques *et al.*, 2022), el maracuyá (dos Santos *et al.*, 2020), la guayaba (Adak *et al.*, 2020), el limón (Hazarika y Aheibam *et al.*, 2019) y la papaya (Aguilar *et al.*, 2019), entre otros. Cabe resaltar que en varias investigaciones se evaluaron las propiedades fisicoquímicas, bioquímicas y sensoriales de los frutos, por el interés de los consumidores sobre la calidad de los productos.

Según Kader y Rolle (2004), la importancia relativa dada a un atributo de calidad específico varía de acuerdo con el producto y con las personas (productor, consumidor y manipulador) o el mercado interesado en la evaluación de la calidad. Para los productores, los altos rendimientos, la buena apariencia, la facilidad de la cosecha y la capacidad de soportar envíos de larga distancia a los mercados son atributos de calidad importantes. La apariencia, la firmeza y la vida útil son relevantes para los comercializadores mayoristas y minoristas. Los consumidores, además, juzgan la calidad de las frutas y las hortalizas frescas en función de su apariencia desde la compra inicial. Las compras posteriores dependen de la satisfacción del consumidor respecto al sabor del producto.

Los productos cosechados son metabólicamente activos, pasando por procesos de maduración y senescencia que deben ser controlados para prolongar la calidad en la postcosecha. Una gestión inadecuada de estos procesos puede provocar pérdidas importantes en los atributos nutricionales y de calidad, en los brotes de patógenos transmitidos por los alimentos y las pérdidas financieras para todos los actores de la cadena. Las frutas y las verduras frescas son productos vivos perecederos que requieren una actividad coordinada para mantener la calidad y reducir la pérdida y el desperdicio de alimentos (Mahajan *et al.*, 2016). Se han realizado algunos estudios para comprender los efectos y los resultados de la calidad durante la postcosecha, con relación al tiempo, la temperatura de almacenamiento y el empaque, entre otros factores, como lo demuestran los trabajos adelantados sobre la fresa (Pasha *et al.*, 2023), el limón (Nasrin *et al.*, 2020), la granada (Dorostkar y Moradinezhad, 2022), la frambuesa (Gimeno *et al.*, 2021), la ciruela (Shakil *et al.*, 2023), el mango (Wei *et al.*, 2021), la chirimoya (Medina-Santamaría *et al.*, 2023), el melocotón (Pan *et al.*, 2019), la naranja (Owoyemi *et al.*, 2022), el kiwi

(Kim *et al.*, 2023), la manzana (Tomala *et al.*, 2020), el banano (Yun *et al.*, 2022), y la gulupa (Sang y Hai, 2020; Nxumalo y Fawole, 2022), entre muchas otras frutas. Con el avance de la globalización alimentaria, la cantidad de productos agrícolas que se comercializan internacionalmente ha ido aumentando y se ha ampliado la distancia transportada y la duración (Fahmy y Nakano, 2016).

Un factor que altera la calidad de la fruta es el tiempo que permanece almacenada en el transporte. Este aspecto cobra especial relevancia en la gulupa dado que su transporte para la exportación se realiza principalmente por vía marítima, que lleva entre 15 y 20 días, dependiendo del puerto de origen y el de destino. Bajo estas condiciones, no es suficiente la refrigeración, y se requieren condiciones de almacenamiento que retarden la maduración o el deterioro, para lo cual habitualmente se usan empaques tales como el Xtend®, para mejorar la apariencia del fruto, hacerlo atractivo al consumidor y aumentar la eficiencia en el manejo (Cuevas, 2020).

Aunque se han realizado estudios comparativos sobre frutas producidas mediante sistemas de producción orgánica versus el manejo convencional, pocos son los trabajos que han evaluado el efecto de dichos sistemas durante el período de almacenamiento previo a la comercialización de la fruta. Esto es crítico puesto que muchas frutas suelen almacenarse durante períodos largos en cámaras frigoríficas antes de su consumo. Además, las frutas destinadas a mercados internacionales distantes y lucrativos a menudo desarrollan trastornos fisiológicos durante el envío. Por lo tanto, se justifica la investigación sobre el efecto de las condiciones de almacenamiento sobre la calidad del producto (Mditshwa *et al.*, 2017).

Después de la cosecha, frutas como la gulupa se vuelven altamente perecederas, lo que las predispone a una rápida deshidratación del pericarpio seguida de marchitez, reduciendo así su período de conservación y comercialización (Durigan *et al.*, 2004). Las características deseables dependen de las necesidades de cada segmento comercial o condiciones de mercado. Para la industria de jugos, las variedades deben presentar buen rendimiento de pulpa, alta acidez, jugo de color amarillo dorado y alto contenido de sólidos solubles. Para el mercado de fruta fresca, los consumidores prefieren las frutas grandes y ovaladas (Bruckner *et al.*, 2002).

De acuerdo con su comportamiento en los mercados internacionales, la gulupa es considerada como un producto relevante, pero, a pesar de esto, aún presenta vacíos en su nivel tecnológico, razón por la cual se han realizado investigaciones en precosecha y postcosecha sobre características fisicoquímicas del fruto (Carvajal *et al.*, 2012; Flórez *et al.*, 2012; Orjuela *et al.*, 2011; Osorio *et al.*, 2011), estados de madurez (Pinzón *et al.*, 2007), manejo en la postcosecha (Crespo, 2013; Orjuela *et al.*, 2011; Sierra *et al.*, 2011), almacenamiento en atmósferas controladas (Castellanos, 2010) y prácticas agrícolas (Guerrero *et al.*, 2012).

Teniendo en cuenta el interés de extender la producción de gulupa hacia nuevas zonas y dado que varios estudios establecen la presencia de accesiones de gulupa en diferentes localidades de la región andina de Colombia (Rodríguez, 2019), se estimó conveniente desarrollar la presente investigación en el Valle de Sibundoy ubicado en el suroccidente de Colombia. Esta zona cuenta con localidades que tienen las condiciones edafoclimáticas necesarias para el desarrollo de la especie. Ello se suma al deseo de algunos productores de establecer un cultivo comercial de gulupa, con el fin de ensayar cultivos diferentes a los que tradicionalmente se siembran en la región, para diversificar su producción con especies que les permitan acceder a nuevos mercados, con mayor poder adquisitivo y obtener así una mayor rentabilidad.

Dada la presencia de patógenos en los suelos donde se desarrollan los cultivos de gulupa como *Fusarium* sp., que afecta las raíces y causa la muerte de la planta (García-Jaramillo *et al.*, 2021), ha sido preciso implementar estrategias para mitigar los efectos negativos de dichos agentes, que en este caso son el uso de material vegetal injertado con patrones de cholupa (*Passiflora maliformis*) y el uso de estructuras como el semitecho.

Considerando el componente económico que resulta vital para el sostenimiento de cualquier negocio, es necesario evaluar los índices de rentabilidad como la relación costo/beneficio para establecer la viabilidad del cultivo y sostenibilidad económica, para de esa forma, facilitar la toma de decisiones por los productores que se encuentren interesados en extender los cultivos hacia nuevas áreas de producción. Así mismo, es importante determinar la eficiencia en el uso de los recursos agronómicos y económicos que son utilizados en un cultivo agrícola, con el fin de mejorar la productividad, la competitividad y la sostenibilidad del emprendimiento agrícola.

Aunque el análisis de suelos se considera una herramienta establecida en la agricultura (Rozane *et al.*, 2011), esta técnica solo es efectiva para corregir la fertilidad del suelo (Tonin *et al.*, 2009). Es así como el análisis de los tejidos vegetales aparece como un complemento al análisis químico de suelos para ajustar el aporte de nutrientes a la planta (Estefan *et al.*, 2013). En el análisis de tejidos vegetales el principal órgano utilizado es la hoja, puesto que es donde la fotosíntesis es más alta y donde se localiza la mayor cantidad de nutrientes absorbidos por las plantas (Lana *et al.*, 2010). Otros autores han reportado que el suministro adecuado de nutrientes a la planta junto al manejo apropiado de la fertilidad del suelo, mejora significativamente la productividad de los cultivos (Calheiros *et al.* 2018).

En el caso de la gulupa, los estudios en los que se ha indagado la influencia de la fertilización con fuentes orgánicas sobre la calidad del fruto son reducidos, así como aquellos en los que se ha abordado la fertilización integrada como esquema nutricional, de modo que esta investigación permitió responder la siguiente pregunta de investigación:

¿Cuál es el efecto de la fertilización integrada sobre las variables productivas del cultivo de gulupa y sobre la calidad en la postcosecha de sus frutos, durante dos ciclos de producción?

En consecuencia, este trabajo se planteó cumplir con los siguientes objetivos:

Objetivo General

Determinar el efecto de la fertilización integrada sobre el rendimiento del cultivo y la calidad en la postcosecha del fruto de gulupa (*Passiflora edulis* Sims f. *edulis*) para dos ciclos productivos en un andisol del Municipio de Sibundoy – Putumayo.

Objetivos específicos

- Determinar el efecto de la fertilización integrada sobre la disponibilidad y la absorción de nutrientes, así como en la eficiencia agronómica y económica en el cultivo de gulupa.
- Establecer el efecto de la fertilización integrada sobre el comportamiento y la calidad en la postcosecha del fruto de gulupa.
- Evaluar el efecto de la fertilización integrada sobre el comportamiento y la calidad en la postcosecha del fruto de gulupa destinado a su exportación.

El documento está presentado en capítulos según se relacionan a continuación: en el primero, se reúne el marco conceptual como estado del arte, orientado principalmente a describir las generalidades del cultivo de gulupa, los enfoques de fertilización, la calidad en la postcosecha y los factores determinantes para su cultivo. Posteriormente, se presentan tres capítulos (escritos a manera de artículo científico), de acuerdo con los objetivos específicos de la tesis. En la primera etapa se buscó determinar el efecto de la fertilización integrada en la rentabilidad, la eficiencia agronómica y económica del cultivo de gulupa durante dos ciclos de producción consecutivos. En la segunda etapa, se evaluó el comportamiento y la calidad en la postcosecha del fruto de gulupa obtenido mediante fertilización integrada, durante dos ciclos de producción. La tercera etapa estableció el efecto de la fertilización integrada sobre el comportamiento y la calidad en la postcosecha del fruto de gulupa destinado a su exportación.

Bibliografía

Abdel-Sattar, M., Al-Obeed, R. S., Aboukarima, A. M., Górnik, K., and Eshra, D. H. (2023). Improvement of the physico-chemical properties, nutritional and antioxidant compounds of pomegranate fruit cv. 'Wonderful' using integrated fertilization. *Horticulturae*, 9(2): 195. <http://dx.doi.org/10.3390/horticulturae9020195>

Adak, T., Kumar, K., Shukla, S. K., and Pandey, G. (2020). Improving sustainable yield index in guava (*Psidium guajava*) through organic and inorganic inputs. *Indian Journal of Agricultural Sciences* 90(7), 1267–1270. <https://doi.org/10.56093/ijas.v90i7.105577>

Agronet. (2023). Red de Información y Comunicación del Sector Agropecuario Colombiano. Reporte: Comparativo de área, producción, rendimiento y participación departamental por cultivo. <https://www.agronet.gov.co/estadistica/Paginas/home.aspx?cod=3>

Aguilar Carpio, C., Alcántara Jiménez, J. Á., Leyva Bautista, S., Ayvar Serna, S., y Díaz Villanueva, G. E. (2019). Rendimiento y rentabilidad de genotipos de papaya en función de la fertilización química, orgánica y biológica. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 10(3): 575-584. <https://doi.org/10.29312/remexca.v10i3.1498>

Aguirre, C., Bonilla, M., y Caetano, C. (2016). Evaluación de la diversidad y patrones de distribución de *Passiflora* subgénero *Astrophea* (*Passifloraceae*) en Colombia. Un reto para la investigación taxonómica, florística y de conservación de las especies. *Acta Agronómica*, 65(4): 422-430. <http://dx.doi.org/10.15446/acag.v65n4.51444>

Ahmad, G., Nishat, Y., Haris, M., Danish, M., and Hussain, T. (2019). Efficiency of soil, plant and microbes for healthy plant immunity and sustainable agricultural system. In: Varma, A., Tripathi, S., Prasad, R. (eds). *Plant Microbe Interface*, 325-346. https://doi.org/10.1007/978-3-030-19831-2_15

Al-Saif, A. M., Mosa, W. F., Saleh, A. A., Ali, M. M., Sas-Paszt, L., Abada, H. S., and Abdel-Sattar, M. (2022). Yield and fruit quality response of pomegranate (*Punica granatum*) to foliar spray of potassium, calcium and kaolin. *Horticulturae*, 8(10): 946. <https://doi.org/10.3390/horticulturae8100946>

Analdex. (2023). Informe de las exportaciones colombianas de frutas – 2022. Dirección de asuntos económicos. Asociación Nacional de Comercio Exterior (ANALDEX). <https://www.analdex.org/wp-content/uploads/2023/04/Informe-de-Exportaciones-de-Fruta-2022.pdf>

Aular, J., M. Casares, W. Natale. (2014). Nutrição mineral e qualidade do fruto do abacaxizeiro e domaracujazeiro. Revista Brasileira de Fruticultura, 36(4): 1046-1054. <https://doi.org/10.1590/0100-2945-269/14>

Barthod, J., Rumpel, C., and Dignac, M. F. (2018). Composting with additives to improve organic amendments. A review. Agronomy for Sustainable Development, 38(2): 17. <https://doi.org/10.1007/s13593-018-0491-9>

Bruckner, C.H., Meletti, L.M.M., Otoni, W.C., Zerbini Júnior, F.M. (2002). Maracujazeiro. In: Bruckner, C.H. (Ed.). Melhoramento de Fruteiras Tropicais. Viçosa, UFV. 373-410.

Buono, D.D., (2021). Can biostimulants be used to mitigate the effect of anthropogenic climate change on agriculture. It is time to respond. Science of the Total Environment, 751, 141763 <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141763>.

Calheiros, L. C. S., F. J. Freire, G. M. Filho, E. C. A. Oliveira, A. B. Moura, J. V. T. Costa, F. J. R. Cruz, A. S. Santos, and J. S. Resende, (2018). Different criteria for determining DRIS standards influencing the nutritional diagnosis and potential fertilization response. Australian Journal of Crop Science, 12(6): 995–1007. doi: 10.21475/ajcs.18.12.06.PNE1147.

Cardenas-Pira, W. T., Torres-Moya, E., Magnitskiy, S., and Melgarejo, L. M. (2021). Physiological responses of purple passion fruit (*Passiflora edulis* Sims f. *edulis*) plants to deficiencies of the macronutrients, Fe, Mn, and Zn during vegetative growth. International Journal of Fruit Science, 21(1): 344-358. <https://doi.org/10.1080/15538362.2021.1890673>

Carvajal S., V., Aristizábal L., M., y Vallejo S., A. (2012). Caracterización del crecimiento del fruto de la gulupa (*Passiflora edulis* f. *edulis* Sims.). Agronomía, 20(1): 77–88. <https://doi.org/issn 0568-3076>

Castellanos E., D. A. (2010). Caracterización de algunos parámetros bioquímicos de maduración de gulupa en atmósferas modificadas. [Tesis de Especialización]. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia. <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/70238/107417.2010.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Ceritoğlu, M., Şahin, S., and Erman, M. (2018). Effects of vermicompost on plant growth and soil structure. Selcuk Journal of Agriculture and Food Sciences, 32(3): 607-615. DOI: 10.15316/SJAFS.2018.143. <https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/3078333>

Corrêa, R. C., Peralta, R. M., Haminiuk, C. W., Maciel, G. M., Bracht, A., and Ferreira, I. C. (2016). The past decade findings related with nutritional composition, bioactive molecules and biotechnological applications of *Passiflora* spp. (Passion fruit). Trends in Food Science and Technology, 58: 79-95. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2016.10.006>

Crespo C., S. C. (2013). Análisis de aproximación proteómica en frutos de gulupa (*Passiflora edulis* Sims) sometidos a dos temperaturas poscosecha. [Tesis de Maestría]. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia.

<https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/53216/1032363359.2014.pdf?sequence=1yisAllowed=y>

Cuevas M., J. (2020). Influencia del tipo de empaque y aplicación de ácidos orgánicos sobre la estabilidad de un genotipo comercial de zapallo (*Cucurbita moschata* Duch. ex Poir.) mínimamente procesado. [Tesis de Maestría]. Universidad Nacional de Colombia - Sede Palmira. <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/79625/1113593198.2020.pdf?sequence=2yisAllowed=y>

de Oliveira, A. B., de Almeida, M.M., Moura, C.F., de Siqueira, L., Oliveira de Souza. K., Gomes, E., Urban, L., Alcântara de Miranda, M.R., (2017). Effects of organic vs. conventional farming systems on quality and antioxidant metabolism of passion fruit during maturation. *Scientia Horticulturae*, 222: 84-89. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.05.021>

Dias, D.G., Pegoraro, R.F., Maia, V.M., Medeiros, A.C. (2017). Production and postharvest quality of irrigated passion fruit after N-K fertilization. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 39(3): 1-12. <https://doi.org/10.1590/0100-29452017553>

Dorostkar, M., and Moradinezhad, F. (2022). Postharvest quality responses of pomegranate fruit (cv. Shishe-kab) to ethanol, sodium bicarbonate dips and modified atmosphere packaging. *Advances in Horticultural Science*, 36(2): 107-117. <https://doi.org/10.36253/ahsc-12041>

dos Santos Rufino, R., Bono, J. A. M., and de Assis, T. E. (2020). Productive potential of yellow passion fruit applying mineral and organic fertilization with worm compost. *Ensaio e Ciência Ciências Biológicas Agrárias e da Saúde*, 24(2): 137-142. <https://doi.org/10.17921/1415-6938.2020v24n2p137-142>

Duong, T. T., Penfold, C., and Marschner, P. (2012). Differential effects of composts on properties of soils with different textures. *Biology and Fertility of Soils*, 48: 699-707. <https://doi.org/10.1007/s00374-012-0667-4>

Durigan, J.F., Sigrist, J.M.M., Alves, R.E., Filgueiras, H.A.C., Vieira, G. (2004). Qualidade e tecnologia pós-colheita do maracujá. In: Lima, A. de A., Cunha, M.A.P. (Org.). Maracujá: produção e qualidade na passicultura. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura. p. 281-303.

Estefan, G., Sommer, R., and Ryan, J. (2013). Methods of soil, plant, and water analysis. A manual for the West Asia and North Africa region, Third Edition. Beirut, Lebanon: International Center for Agricultural Research in the Dry Areas (ICARDA), 3: 65-119. http://www.pgia.pdn.ac.lk/pgia_mis/uploads/lecturenotes/46/Soil_Plant_Water%20Analysis%20Methods.pdf

Fahmy, K., and Nakano, K. (2016). Effective transport and storage condition for preserving the quality of 'Jiro' persimmon in export market. *Agriculture and Agricultural Science Procedia*, 9: 279-290. <https://doi.org/10.1016/j.aaspro.2016.02.115>

Flechas, N.C., Melgarejo, L.M., Hernández, M.S., and Fernández-Trujillo, J.P. (2020). Postharvest response of purple passion fruits (*Passiflora edulis* f. *edulis* Sims) grown under controlled fertilization. *Acta Horticulturae*, 1275: 99-104. doi.org/10.17660/ActaHortic.2020.1275.14.

Flórez, L. M., Pérez, L. V., Melgarejo, L. M., y Hernández, S. (2012). Caracterización fisicoquímica, fisiológica y bioquímica del fruto de gulupa (*Passiflora edulis* Sims) como indicadores para el punto óptimo de cosecha. Cap. 3 En: Ecofisiología del cultivo de la gulupa. Melgarejo, L. M. (Ed) p. 53-79. https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/11145/05_Cap03.pdf?sequence=9&isAllowed=y.

Fonseca, A. M., Geraldí, M. V., Junior, M. R. M., Silvestre, A. J., and Rocha, S. M. (2022). Purple passion fruit (*Passiflora edulis* f. *edulis*): A comprehensive review on the nutritional value, phytochemical profile and associated health effects. *Food Research International*, 111665. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2022.111665>

Galecio Julca, M. A., Peña Seminario, T. A., Peña Castillo, R. A., y Rojas Pintado, B. (2020). Efecto de la fertilización orgánica y densidad para la producción de granadilla (*Passiflora ligularis* Juss) ecotipo colombiana en la comunidad campesina San Miguel de Tabaconas. *Revista Científica Pakamuros*, 8(3). <https://doi.org/10.37787/d8cgjt65>

García-Jaramillo, D., López-Zapata, S.P., Ceballos-Aguirre, N. y López, W. (2021). Genetics resources and breeding prospects in *Passiflora* species. In: *Grafting Applications in Passiflora Species*. Book, Chapter 4. Nova Science Publishers, inc. ISBN: 978-1-536-108-0 1-76

Ghorbani, M., Neugschwandtner, R. W., Konvalina, P., Asadi, H., Kopecký, M., and Amirahmadi, E. (2023). Comparative effects of biochar and compost applications on water holding capacity and crop yield of rice under evaporation stress: A two-years field study. *Paddy and Water Environment*, 21(1): 47-58. <https://doi.org/10.1007/s10333-022-00912-8>

Gil C., A. I., Marroquín M., M., Martínez C., L. (2012). Efecto del zinc sobre la inducción de ramas productivas en gulupa (*Passiflora edulis* Sims). *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 6(2): 152–160. <http://dx.doi.org/10.17584/rcch.2012v6i2.1973>

Gimeno, D., Gonzalez-Buesa, J., Oria, R., Venturini, M. E., and Arias, E. (2021). Effect of modified atmosphere packaging (MAP) and UV-C irradiation on postharvest quality of red raspberries. *Agriculture*, 12(1): 29-42. <https://doi.org/10.3390/agriculture12010029>

Guerrero L., E., Potosí G., C., Melgarejo, L. M., y Hoyos C., L. (2012). Manejo agronómico de gulupa (*Passiflora edulis* Sims) en el marco de las Buenas Prácticas Agrícolas (BPA). In: *Ecofisiología del cultivo de la gulupa (*Passiflora edulis* Sims)*. Melgarejo L.M. (Ed), p. 123–144. Universidad Nacional de Colombia. http://bdigital.unal.edu.co/8547/16/09_Cap07.pdf

Guo, X. X., Liu, H. T., and Wu, S. B. (2019). Humic substances developed during organic waste composting: Formation mechanisms, structural properties, and agronomic functions. *Science of the Total Environment*, 662: 501-510. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.01.137>

Hazarika, T. K., and Aheibam, B. (2019). Soil nutrient status, yield and quality of lemon (*Citrus limon* Burm.) cv. Assam lemon's influenced by bio-fertilizers, organics and inorganic fertilizers. *Journal of Plant Nutrition*, 42(8): 853-863. <https://doi.org/10.1080/01904167.2019.1584213>

Hoang, H. G., Thuy, B. T. P., Lin, C., Vo, D. V. N., Tran, H. T., Bahari, M. B., and Vu, C. T. (2022). The nitrogen cycle and mitigation strategies for nitrogen loss during organic waste

composting: A review. *Chemosphere*, 300: 134514.
<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.134514>

Kader, A. A., and Rolle, R. S. (2004). The role of post-harvest management in assuring the quality and safety of horticultural produce. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Agricultural Services Bulletin 152. FAO, Rome.

Karunanithi, R., Szogi, A.A., Bolan, N., Naidu, R., Loganathan, P., Hunt, P.G., Vanotti, M.B., Saint, C.P., Ok, Y., Krishnamoorthy, S. (2015). Phosphorus recovery and reuse from waste streams. *Advances in Agronomy*, 131: 173-250. <https://doi.org/10.1016/bs.agron.2014.12.005>

Khalifezadeh Koureh, O., Bakhshi, D., Pourghayoumi, M., and Majidian, M. (2019). Comparison of yield, fruit quality, antioxidant activity, and some phenolic compounds of white seedless grape obtained from organic, conventional, and integrated fertilization. *International Journal of Fruit Science*, 19(1): 1-12. <https://doi.org/10.1080/15538362.2018.1466757>

Khan, A., Singh, J., Upadhayay, V. K., Singh, A. V., and Shah, S. (2019). Microbial biofortification: a green technology through plant growth promoting microorganisms. In: Shah, S., Venkatramanan, V., Prasad, R. (eds). *Sustainable green technologies for environmental management*, p. 255-269. https://doi.org/10.1007/978-981-13-2772-8_13

Kim, J., Lee, J. G., Lim, S., and Lee, E. J. (2023). A comparison of physicochemical and ripening characteristics of golden-fleshed 'Haegeum' and green-fleshed 'Hayward' kiwifruit during storage at 0°C and ripening at 25°C. *Postharvest Biology and Technology*, 196: 112166. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2022.112166>

Kumar, S., Sharma, A., Sharma, V. K., Ahmed, N., Rosin, K. G., and Sharma, O. C. (2018). Integrated fertilization: An approach for higher apple (*Malus domestica*) productivity and ecological health of soil. *The Indian Journal of Agricultural Sciences*, 88(2), 222–227. <https://doi.org/10.56093/ijas.v88i2.79185>

Lana, R. M. Q., Oliveira, S. A. D., Lana, Â. M. Q., and Faria, M. V. D. (2010). Levantamento do estado nutricional de plantas de *Coffea arabica* L. pelo DRIS, na região do Alto Paranaíba-Minas Gerais. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 34: 1147-1156. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832010000400014>

Lorensini, F., C. A. Ceretta, C. R. Lourenzi, L. De Conti, T. L. Tiecher, G. Trentin, and G. Brunetto. (2015). Nitrogen fertilization of Cabernet Sauvignon grapevines: Yield, total nitrogen content in the leaves and must composition. *Acta Scientiarum. Agronomy*, 37(3): 321-329. <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v37i3.19354>

Madende, M., Hayes, M., (2020). Fish by-product use as biostimulants: an overview of the current state of the art, including relevant legislation and regulations within the EU and USA. *Molecules*, 25(5): 1122. <https://doi.org/10.3390/molecules25051122>

Mahajan, P. V., Caleb, O. J., Singh, Z., Watkins, C. B., and Geyer, M. (2014). Postharvest treatments of fresh produce. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 372: 20130309. <https://doi.org/10.1098/rsta.2013.0309>

Mahapatra, S., Ali, M. H., and Samal, K. (2022). Assessment of compost maturity-stability indices and recent development of composting bin. *Energy Nexus*, 6: 100062. <https://doi.org/10.1016/j.nexus.2022.100062>

Malik, A., Mor, V.S., Tokas, J., Punia, H., Malik, S., Malik, K., Sangwan, S., Tomar, S., Singh, P., Singh, N., Himangini, Vikram, Nidhi, Singh, G., Kumar, V., Sandhya, Karwasre, A., (2021). Biostimulant-treated seedlings under sustainable agriculture: a global perspective facing climate change. *Agronomy*, 11: 14. <https://doi.org/10.3390/agronomy11010014>

Marques de Jesus, L., Arkim Alves Souza, T., Ramos Souza, M., Vieira Castro, A., Batista Queiroz, R., and Martins, J. C. (2022). Effect of mixed organic and inorganic fertilizers on growth, leaf macronutrient contents and yield of pitaya (*Hylocereus undatus*) under field conditions. *Colloquium Agrariae*, 17(6): 22-37. DOI: 10.5747/ca.2021.v17.n6.a466

Mditshwa, A., Magwaza, L. S., Tesfay, S. Z., Mbili, N. (2017). Postharvest quality and composition of organically and conventionally produced fruits: A review. *Scientia Horticulturae*, 216: 148-159. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2016.12.033>

Medina-Santamarina, J., Guillén, F., Ilea, M. I. M., Ruiz-Aracil, M. C., Valero, D., Castillo, S., and Serrano, M. (2023). Melatonin treatments reduce chilling injury and delay ripening, leading to maintenance of quality in cherimoya fruit. *International Journal of Molecular Sciences*, 24(4): 3787. <https://doi.org/10.3390/ijms24043787>

Mohamed, M.H.M., Petropoulos, S.A., Ali, M.M.E. (2021). The application of nitrogen fertilization and foliar spraying with calcium and boron affects growth aspects, chemical composition, productivity and fruit quality of strawberry plants. *Horticulturae*, 7: 257. <https://doi.org/10.3390/horticulturae7080257>

Nasrin, T. A. A., Rahman, M. A., Arfin, M. S., Islam, M. N., and Ullah, M. A. (2020). Effect of novel coconut oil and beeswax edible coating on postharvest quality of lemon at ambient storage. *Journal of Agriculture and Food Research*, 2: 100019. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2019.100019>

Nava, G., Reisser Júnior, C., Parent, L.-É., Brunetto, G., Moura-Bueno, J.M., Navroski, R., Benati, J.A., Barreto, C.F. (2022). Esmeralda Peach (*Prunus persica*) fruit yield and quality response to nitrogen fertilization. *Plants*, 11: 352. <https://doi.org/10.3390/plants11030352>

Nxumalo, K. A., and Fawole, O. A. (2022). Effects of chitosan coatings fused with medicinal plant extracts on postharvest quality and storage stability of purple passion fruit (*Passiflora edulis* var. Ester). *Food Quality and Safety*, 6: fyac016. <https://doi.org/10.1093/fqsafe/fyac016>

Ocampo Pérez, J., y Posada Quintero, P. (2012). Ecología del cultivo de Gulupa. En: J. Ocampo Pérez, y K. Wyckhuys, *Tecnología para el cultivo de gulupa en Colombia*. Bogotá. Centro de Bio Sistemas de la Universidad Jorge Tadeo Lozano, Centro Internacional de Agricultura Tropical CIAT y Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural MADR. https://www.utadeo.edu.co/sites/tadeo/files/node/publication/field_attached_file/tecnologia_para_el_cultivo_de_la_gulupa.pdf

Ocampo, J. (2013). Diversidad y distribución de las Passifloraceae en el departamento del Huila en Colombia. *Acta Biológica Colombiana*, 18(3): 511-516. http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0120-548X2013000300010yscript=sci_arttext

Ocampo, J., Coppens, G., Jarvis, A. (2010). Distribution of the genus *Passiflora* L. diversity in Colombia and its potential as an indicator for biodiversity management in the coffee growing zone. *Diversity*, 2(11): 1158-1180 p. <https://doi.org/10.3390/d2111158>

Orjuela B., N. M., Campos A., S., Sánchez N., J., Melgarejo, L. M., Hernández, M. S. (2011). Manual de manejo poscosecha de la gulupa (*Passiflora edulis* Sims). In: Poscosecha de la gulupa (*Passiflora edulis* Sims). Melgarejo, L.M. and Hernández, M.S. (Eds). p. 7–22. Universidad Nacional de Colombia.

Osorio, C., Jiménez, A. M., Sierra, C. A., Rodríguez-Pulido, F. J., González-Miret, M. L., and Heredia, F. J. (2011). Physicochemical characterization of gulupa (*Passiflora edulis* Sims. f. *edulis*) fruit from Colombia during the ripening. *Food Research International*, 44(7): 1912–1918. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2010.11.007>

Owoyemi, A., Porat, R., Lichter, A., Doron-Faigenboim, A., Jovani, O., Koenigstein, N., and Salzer, Y. (2022). Evaluation of the storage performance of 'Valencia' Oranges and generation of shelf-Life prediction models. *Horticulturae*, 8(7): 570. <https://doi.org/10.3390/horticulturae8070570>

Pan, Y., Li, X., Jia, X., Zhao, Y., Li, H., and Zhang, L. (2019). Storage temperature without fluctuation enhances shelf-life and improves postharvest quality of peach. *Journal of Food Processing and Preservation*, 43(3): e13881. <https://doi.org/10.1111/jfpp.13881>

Pasha, H. Y., Mohtasebi, S. S., Tajeddin, B., Taherimehr, M., Tabatabaeekoloor, R., Firouz, M. S., and Javadi, A. (2023). The effect of a new bionanocomposite packaging film on postharvest quality of strawberry at modified atmosphere condition. *Food and Bioprocess Technology*, 16: 1246–1257. <https://doi.org/10.1007/s11947-022-02968-0>

Pinzón, I. M. del P., Fischer, G., y Corredor, G. (2007). Determinación de los estados de madurez del fruto de la gulupa. *Agronomía Colombiana*, 25 (1): 83–95. <https://doi.org/690-2>

Rashid, M. I., and Shahzad, K. (2021). Food waste recycling for compost production and its economic and environmental assessment as circular economy indicators of solid waste management. *Journal of Cleaner Production*, 317: 128467. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.128467>

Rodríguez C, N. (2019). Evaluación ecofisiológica, morfoagronómica y diversidad genética de *Passiflora edulis* Sims f. *edulis* (Gulupa) para la conformación de grupos heteróticos. [Tesis Doctoral]. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia. <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/76560/NohraRodriguezCastillo.2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Rosado, D., Lores, M., Ramos-Tapia, I., Crandall, K. A., Pérez-Losada, M., and Domínguez, J. (2022). Integrated fertilization with bagasse vermicompost changes the microbiome of Mencía must and wine. *Fermentation* 8(8): 357. <https://doi.org/10.3390/fermentation8080357>

Rozane, D. E., Romualdo, L. M., Centurion, J. F., and Barbosa, J. C. (2011). Dimensionamento do número de amostras para avaliação da fertilidade do solo. *Semina: Ciências Agrárias*, 32(1): 111-117. <https://www.redalyc.org/pdf/4457/445744100011.pdf>

Ruiz-Coutiño, P., Adriano-Anaya, L., Salvador-Figueroa, M., Gálvez-López, D., Rosas-Quijano, R., and Vázquez-Ovando, A. (2019). Organic management of 'Maradol' papaya (*Carica papaya* L.) crops: effects on the sensorial and physicochemical characteristics of fruits. *Agriculture*, 9(11): 234. <https://doi.org/10.3390/agriculture9110234>

Sang, N., and Hai, L. H. (2020). Effect of propionic acid on fruit decay and postharvest quality of Vietnamese purple passion fruit during low temperature storage. In III Asian Horticultural Congress-AHC2020. *Acta Horticulturae*, 1312: 463-470. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2021.1312.66>

Selim, M. (2018). Potential role of cropping system and integrated nutrient management on nutrients uptake and utilization by maize grown in calcareous soil. *Egyptian Journal of Agronomy*, 40(3): 297-312. <https://doi.org/10.21608/agro.2018.6277.1134>

Shah, F., and Wu, W. (2019). Soil and crop management strategies to ensure higher crop productivity within sustainable environments. *Sustainability*, 11(5): 1485. <http://dx.doi.org/10.3390/su11051485>

Shakil, M., Islam, S., Yasmin, S., Sarker, M. S. H., and Noor, F. (2023). Effectiveness of aloe vera gel coating and paraffin wax-coated paperboard packaging on post-harvest quality of hog plum (*Spondias mangifera* L.). *Helijon*, 9(7): e17738. <https://doi.org/10.1016/j.helijon.2023.e17738>

Sierra A., C. A., Gutiérrez C., L. A., M., M. S. (2011). Desarrollo de empaques poliméricos apropiados para la comercialización de gulupa en fresco (*Passiflora edulis* Sims). In: Poscosecha de la gulupa (*Passiflora edulis* Sims) p. 23–32. Universidad Nacional de Colombia.

Sompouiset, T., Ma, Y., Zhao, Z., Zhen, Z., Zheng, W., Li, Z., Zhai, B. (2023). Combined application of organic and inorganic fertilizers effects on the global warming potential and greenhouse gas emission in apple orchard in Loess plateau region of China. *Forests*, 14: 337. <https://doi.org/10.3390/f14020337>

Sossa, E. L., Agbangba, C. E., Dagbenonbakin, G., Tohoun, R., Tovihoudji, P. G., and Amadji, G. L. (2019). Organo-mineral fertilization enhances the acceptability of smooth Cayenne pineapple fruit (*Ananas comosus* (L.) merrill) for european export and domestic consumption in Benin. *Agriculture*, 9(3): 65. <https://doi.org/10.3390/agriculture9030065>

Srivastava, A.K., and S. Singh. (2008). Citrus nutrition research in India: problems and prospects. *Indian Journal of Agricultural Sciences*, 78: 3-16. https://www.researchgate.net/publication/277565648_Citrus_nutrition_research_in_India_Problems_and_prospects#fullTextFileContent

Taiz, L., E. Zeiger, I. Moller, A. Murphy. (2017). *Fisiología e desenvolvimento vegetal*. 6th ed. Porto Alegre: Artmed Editora Ltda. 888 p. https://grupos.moodle.ufsc.br/pluginfile.php/474835/mod_resource/content/0/Fisiologia%20e%20desenvolvimento%20vegetal%20-%20Zair%206%C2%AAed.pdf

Tittarelli, F., Petruzzelli, G., Pezzarossa, B., Civilini, M., Benedetti, A., and Sequi, P. (2007). Quality and agronomic use of compost. *Waste Management*, 8: 119-157. [https://doi.org/10.1016/S1478-7482\(07\)80010-8](https://doi.org/10.1016/S1478-7482(07)80010-8)

Tomala, K., Małachowska, M., Guzek, D., Głabska, D., and Gutkowska, K. (2020). The effects of 1-methylcyclopropene treatment on the fruit quality of 'Idared' apples during storage and transportation. *Agriculture* 10(11): 490. <https://doi.org/10.3390/agriculture10110490>

Tonin, T. A., Muniz, A. S., Scapim, C. A., Silva, M. A. G. D., Albrecht, L. P., and Conrado, T. V. (2009). Avaliação do estado nutricional das cultivares de uva itália e rubi no município de

Marialva, Estado do Paraná. Acta Scientiarum. Agronomy, 31: 63-69.
<https://doi.org/10.4025/actasciagron.v31i1.3698>

Vaccari, D. A., Powers, S. M., and Liu, X. (2019). Demand-driven model for global phosphate rock suggests paths for phosphorus sustainability. Environmental Science and Technology, 53(17): 10417-10425. <https://doi.org/10.1021/acs.est.9b02464>

Viera, W., Shinohara, T., Samaniego, I., Sanada, A., Terada, N., Ron, L., Suárez-Tapia, A., and Koshio, K. (2022). Phytochemical composition and antioxidant activity of *Passiflora* spp. germplasm grown in Ecuador. Plants, 11(3): 328. <https://doi.org/10.3390/plants11030328>

Wei, S., Mei, J., and Xie, J. (2021). Effects of edible coating and modified atmosphere technology on the physiology and quality of mangoes after low-temperature transportation at 13 °C in vibration mitigation packaging. Plants, 10(11): 2432. <https://doi.org/10.3390/plants10112432>

Yun, Z., Gao, H., Chen, X., Duan, X., and Jiang, Y. (2022). The role of hydrogen water in delaying ripening of banana fruit during postharvest storage. Food Chemistry, 373: 131590. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.131590>

Zhang T, Wu X, Shaheen SM, Abdelrahman H, Ali EF, Bolan NS, Ok YS, Li G, Tsang DCW, Rinklebe J. (2022). Improving the humification and phosphorus flow during swine manure composting: A trial for enhancing the beneficial applications of hazardous biowastes. Journal of Hazardous Materials, 425: 127906. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.127906>

Capítulo 1

Marco Conceptual

Capítulo 1. Marco conceptual

1.1 Generalidades del cultivo de gulupa (*Passiflora edulis* Sims. f. *edulis*)

La gulupa (*Passiflora edulis* Sims f. *edulis*) es una planta perenne, semileñosa, de tipo enredadera y de gran vigor vegetativo. Su estructura está determinada por el tallo principal del cual se derivan las ramas laterales. Su sistema de raíces laterales superficiales penetra hasta aproximadamente 45 cm del suelo; sus hojas pueden medir entre 4 y 11 cm de largo y entre 4 y 10 cm de ancho; con flores vistosas y que surgen de las axilas de las hojas, son hermafroditas y su fruto tiene un diámetro de 6 a 8 cm; los zarcillos auxiliares son verde-amarillos dispuestos en forma de espiral con una longitud entre 30 y 40 cm que le permiten a la planta trepar (Ortiz, 2010).

Es originaria de América del sur específicamente de Brasil, desde donde fue ampliamente distribuida en el siglo XIX a otros países del continente, Asia, el Caribe, África, India y Australia. Se adapta a las condiciones del trópico, entre los 1.800 y los 2.400 m.s.n.m. con temperaturas entre los 15 y los 20 °C, teniendo especial cuidado en las épocas de heladas, que pueden afectar el desarrollo vegetativo y consecuentemente la productividad del cultivo. La precipitación debe ser bien distribuida a lo largo del año (entre 900 a 1200 mm/año), ya que el déficit de agua en los períodos de brotación de yemas florales, fecundación, cuajado y llenado, deriva en un desarrollo inadecuado del fruto; caso contrario ocurre en la época de floración, cuando la aplicación de agua debe ser mínima, para no afectar el polen (Jiménez *et al.*, 2012). La humedad relativa (HR) debe estar entre 80 a 94%, dado que en este rango se favorece la polinización y la fecundación efectiva puesto que los estigmas pueden permanecer viscosos e hidratados, en cuanto a la radiación, la planta de gulupa requiere entre 3.285 y 4.745 anuales (9 a 13 horas/día) para obtener un fruto con calidad óptima en cuanto a sabor y aroma (Pérez y Melgarejo, 2012).

El fruto se caracteriza por ser redondo o ligeramente elíptico, con un diámetro de 4 a 6 centímetros, de cáscara fina y dura que pasa de verde a púrpura al madurar. Las semillas son numerosas, rodeadas por un arilo que forma la pulpa amarilla-naranja gelatinosa que es rica en vitaminas (vitamina A, tiamina, riboflavina, niacina y ácido ascórbico) (Osorio *et al.*, 2011) y exhala un intenso aroma que la hace muy apetecida por consumidores de las regiones asiáticas y europeas (Procolombia, 2011). Su pulpa ha sido empleada principalmente en la preparación de jugos y en diferentes aplicaciones alimenticias (Osorio *et al.*, 2011).

El fruto puede permanecer en la planta hasta 70 días después de la floración y alcanza las características óptimas para el consumo después de la cosecha. Se pueden distinguir tres etapas en el desarrollo: inmaduro, pintón y maduro. En general, se cosecha en estado pintón para alcanzar la madurez de consumo después de la cosecha. Los cambios durante la maduración están asociados a los cambios en el color de la cáscara. En la gulupa se han identificado seis estados de madurez, se recomienda cosechar en el estado 3 que representa un 50% de color verde y un 50% de color púrpura (Pinzón *et al.*, 2007).

Los suelos para el cultivo de gulupa deberían ser de textura liviana para su óptimo desarrollo, entre los que se tienen franco-arenosos a franco-arcillosos, con buen drenaje y profundidad efectiva entre 60 y 80 cm. La gulupa puede ser cultivada en terrenos con cualquier tipo de pendiente, considerando que este factor no es limitante para el desarrollo del cultivo (Ocampo y Posada, 2012). El suelo preferiblemente debe tener un pH entre 6,5 y 7,5 y el contenido de sales debe ser bajo (Jiménez *et al.*, 2012).

En el cultivo de gulupa se presentan diez estados fenológicos: yema floral, flor en antesis, fruto cuajado, fruto con estructuras florales cubriendolo, fruto inmaduro en crecimiento, fruto en madurez fisiológica, fruto con 30% de coloración púrpura, fruto con 50% de coloración púrpura, fruto con 70% de coloración púrpura y fruto con 100% de coloración. El tiempo transcurrido desde la aparición de la yema floral hasta la flor en antesis es de 30 días, mientras que desde la aparición de las flores en antesis hasta la madurez total del fruto transcurren entre 4 y 5 meses (Melgarejo, 2012).

La nutrición vegetal se define a partir del estudio de suelos en el cual se identifican los macro y micronutrientes presentes en el suelo en el que se va a establecer el cultivo. A partir de dicho estudio se pueden calcular las necesidades de fertilizantes que deban ser incorporados en el suelo. Lo ideal es fragmentar el suministro de los fertilizantes de manera que las dosis sean agregadas mensualmente. Sin embargo, si esta práctica se dificulta, la fertilización se ha de realizar mínimo cada tres meses (Angulo, 2009).

Los frutos de gulupa se han de cosechar directamente de la planta. No se deben recoger los frutos que se han caído para no contaminarlos con microorganismos edáficos; se debe procurar tener adecuadas condiciones de higiene al manipular el producto, empleando guantes para evitar lastimar su cáscara y minimizar la contaminación por manipulación (Hernández y Melgarejo, 2011). Los frutos se recolectan cuando presentan un 65 % de maduración. La cosecha debe ser constante. Se calcula que de un cultivo de gulupa en óptimas condiciones de riego, fertilización, poda, entre otras prácticas de manejo, se pueden obtener rendimientos del orden de 7 ton/ha en el primer año y de 20 ton/ha en los siguientes años (Angulo, 2009).

Una vez cosechados los frutos, es necesario preseleccionar los frutos para separar los que presenten daño por enfermedades, insectos u otros deterioros fisiológicos o físicos. Tras de esta actividad, se realizan las labores de conservación entre las cuales cabe mencionar el uso de bajas temperaturas y con atmósferas modificadas, métodos que, al ser combinados, proporcionan a la fruta una conservación superior al 70 %. Frutos sin este tratamiento no alcanzan una semana de conservación. Existen otros métodos como encerados, recubrimientos individuales y empaques inteligentes (Miranda *et al.*, 2009).

En Colombia, debido a su relevancia económica, la gulupa ha sido objeto de múltiples investigaciones sobre aspectos tales como la caracterización agromorfológica (Ocampo *et al.*, 2009), la caracterización ecofisiológica, la fenología, la fisicoquímica, la fisiológica y la bioquímica (Cruz *et al.*, 2012; Cruz, 2012; Flórez, 2012; Flórez *et al.*, 2012b; Flórez *et al.*, 2012a; Franco, 2013; Jiménez, 2010; Orjuela, 2012; Orjuela *et al.*, 2011; Pérez y Melgarejo, 2015; Pérez Pérez y Melgarejo, 2012), tratamientos en pregerminación de semillas (Gutiérrez, 2011; Velásquez *et al.*, 2012), buenas prácticas agrícolas (Guerrero *et al.*, 2012), biología floral (Ángel *et al.*, 2011; Nates *et al.*, 2012; Rendón *et al.*, 2013), identificación de virus (Camelo, 2010), sintomatología de la “roña” (Riascos *et al.*, 2011), manejo integrado de la bacteriosis causada por *Xanthomonas axonopodidis* (Pineda *et al.*, 2011), etiología de la “mancha de aceite” (Benítez *et al.*, 2011),

descripción de virus y hongos patógenos (Camelo, 2010; Gordillo, 2011; Molina, 2010), estudios sobre *Fusarium sp.* (Cruz et al., 2012; González y Bustos, 2017; Ortiz, 2012), caracterización bioquímica, procesos agroindustriales para la elaboración de néctares y pruebas de vida útil (Higuera, 2017; Ojasild, 2009; Parra, 2012; Rodríguez, 2010).

1.2 Enfoques de fertilización

1.2.1 Fertilidad del suelo

El suelo es una entidad viva distinta a los demás componentes básicos de la tierra. La tierra se compone de suelo, rocas, ríos y vegetación (Lana et al., 2010). El suelo tiene cinco funciones principales: i) ciclo de nutrientes; ii) retención de agua; iii) biodiversidad y hábitat; iv) almacenamiento, filtro, amortiguación y transformación de compuestos; y v) provisión de estabilidad física y de apoyo (Blum, 1993). El objetivo clave para proteger el suelo es mantener y optimizar su funcionalidad: sus diversos y complejos ecosistemas de biota del suelo, su capacidad de ciclo de nutrientes, sus funciones como sustrato para el cultivo de plantas, como regulador, filtro y retenedor de agua dulce, y como potencial mediador del cambio climático mediante el secuestro de CO₂ atmosférico (Koch et al., 2013).

La fertilidad del suelo se refiere a su capacidad para sustentar y sostener el crecimiento de las plantas, para que todos los nutrientes esenciales estén disponibles en la absorción de las raíces. Esto es facilitado por su almacenamiento en la materia orgánica del suelo, el reciclaje de nutrientes de formas orgánicas a minerales disponibles para las plantas y los procesos fisicoquímicos que controlan su fijación y liberación (Srivastava, 2013). En general, la fertilidad y el funcionamiento de los suelos dependen de las interacciones entre la matriz mineral del suelo, las plantas y los microbios. Estos son responsables de la formación y de la descomposición de la materia orgánica del suelo y, por lo tanto, para lograr la preservación y la disponibilidad de nutrientes, se debe preservar el ciclo de estos en el suelo (Srivastava y Ngullie, 2009).

1.2.2 Fertilización química

La fertilización química surgió en Europa central, con Alemania como centro de desarrollo, por las necesidades de resolver los problemas alimentarios de una población cada vez más numerosa, la existencia de una base teórica como respuesta del avance científico y la iniciativa de numerosos químicos agrícolas y agricultores dispuestos a resolver el problema (Navarro et al., 2013).

Un fertilizante es cualquier material natural o artificial, que contenga al menos cinco por ciento de uno o más de los tres nutrientes primarios (N, P₂O₅, K₂O). Los fertilizantes fabricados industrialmente son llamados fertilizantes minerales, (FAO, 2002). La presentación de los fertilizantes minerales es muy variada. Dependiendo del proceso de fabricación, las partículas de los fertilizantes minerales pueden ser de diferentes tamaños y formas: gránulos, píldoras, perlados, cristales, polvo de grano grueso compactado o fino. La mayoría de los fertilizantes es provista en forma granulada (Anchivilca, 2018).

Los fertilizantes inorgánicos se pueden clasificar en dos categorías básicas: los fertilizantes complejos y las mezclas físicas. Los fertilizantes complejos se obtienen a partir de la reacción química entre varias materias primas, lo que origina nuevos materiales fertilizantes con propiedades químicas distintas a las de las materias primas que la produjeron (Torres, 2007). Por

su parte, las mezclas físicas son fertilizantes que contienen dos o más nutrientes obtenidos a partir de la mezcla mecánica de dos o más fertilizantes simples, que no sean químicamente reactivos o que reaccionen en forma mínima (Duggan, 2007). Los principales requisitos que deben cumplir las mezclas físicas son: tener flujo libre, estar libres de polvo, garantizar la concentración de nutrientes consignada en la etiqueta del producto y presentar una adecuada homogeneidad física (Torres, 2007).

La mayoría de los fertilizantes minerales tienen una alta concentración de nutrientes, lo que significa que, por contenido, aportan más nutrientes que los fertilizantes orgánicos, en consecuencia, sus efectos pueden observarse rápidamente, son fáciles de aplicar por que vienen granulados, se ofrecen comercialmente en diferentes formulaciones, cada una para un tipo de suelo específico y para una necesidad particular de las plantas, además son fáciles de conseguir (Wightman *et al.*, 2006).

Como contraparte, los fertilizantes químicos se descomponen fácilmente en el suelo en comparación con los abonos orgánicos y, por lo tanto, contaminan fácilmente el suelo, el agua y el aire. La principal fuente de contaminación son los fertilizantes nitrogenados y fosfatados, que afectan las propiedades del suelo, los escurrimientos causan contaminación del agua y la eutrofización de los cuerpos acuáticos o, en ocasiones, escapan a la atmósfera y afectan la calidad del aire, lo que aumenta la contribución de gases de efecto invernadero que causan el cambio climático (Rashmi *et al.*, 2020).

La desnitrificación es una de las causas de contaminación ambiental ocasionada por la pérdida del nitrógeno utilizado en la agricultura, que devuelve este nutriente a la atmósfera mediante la respiración microbiana (Aristizábal y Cerón, 2012). El proceso de desnitrificación afecta la fertilidad del suelo y el rendimiento de los cultivos y puede crear daños severos al medio ambiente. La pérdida por lixiviación en lagos y ríos pueden causar eutrofización. La contaminación por nitratos en fuentes de agua fresca puede causar daño a la salud. Emisiones de óxido nitroso (N_2O) a la atmósfera contribuyen al desgaste de la capa de ozono y también contribuyen al cambio climático (Cameron *et al.*, 2013). Varias investigaciones demuestran que ambientes deficientes en O_2 (Suelos saturados y condiciones anóxicas), favorecen la desnitrificación (Yamada *et al.* 2007).

Una estrategia que debe tenerse en cuenta para el diseño de un plan de fertilización apropiado en un cultivo es un análisis del suelo que indica la cantidad de nutrientes que se deben utilizar en relación con la reserva del suelo y los nutrientes que requiere la planta para su óptimo crecimiento (Cerdas y Castro, 2003). Para comprender los procesos involucrados en la nutrición, es necesario conocer cada momento fenológico de la planta, para poder establecer las curvas de crecimiento y determinar los momentos en que las plantas tienen sus picos más altos de absorción (Castro., 2017).

En Colombia, se ha tenido como referencia para el manejo nutricional de pasifloráceas como la gulupa el manejo que tradicionalmente se le ha dado al maracuyá (*Passiflora edulis* f. *flavicarpa*), puesto que las pasifloras presentan similitudes morfológicas de modo que la respuesta al manejo del cultivo debe ser semejante, incluyendo la fertilización de las plantas en los diferentes estados de desarrollo, lo cual es una gran equivocación (Guerrero *et al.*, 2012).

A través del estudio realizado por Marín y Rengifo (2018), se determinaron las curvas de extracción del cultivo de gulupa en sus diferentes estados fenológicos, para establecer que la mayor demanda de nitrógeno ocurre durante el crecimiento activo vegetativo de las plantas,

mientras que el potasio, el fósforo y el calcio son requeridos para la floración y el desarrollo del fruto. Así mismo, se determinó que el mes cuarto es el de mayor absorción de nutrientes dado que en él empieza la floración con la formación de primordios florales. Por último, en los meses de mayor extracción para cada elemento nutritivo, que corresponden a 7,5 meses para el nitrógeno, el fósforo, el potasio y el azufre, 10,5 meses para el calcio, el magnesio y el manganeso, 11,5 meses para el hierro, 9,5 meses para el cobre y 7,5 y 11,5 meses para el boro y el zinc.

1.2.3 Fertilización orgánica

Por definición, la agricultura orgánica se refiere a un sistema de producción agrícola que prohíbe el uso de material genéticamente modificado, fertilizantes minerales sintéticos, fungicidas y pesticidas. La agricultura convencional, por otro lado, permite el uso de insumos agrícolas sintéticos. Aunque ambos son aceptables, los sistemas de producción tienen un efecto enorme en la calidad de los frutos en la pos cosecha y la composición física y química del producto. Por ejemplo, la fertilización con nitrógeno es crucial en las propiedades organolépticas y la calidad general del producto (Paoletti, 2015). Debido a los efectos del nitrógeno en el metabolismo y la fisiología de las plantas, la diferencia entre los suelos manejados de manera orgánica y convencional tiene efectos indirectos sobre la calidad de la fruta (Mditshwa *et al.*, 2017).

Algunos principios básicos sobre los que funciona la agricultura orgánica son los de minimizar la degradación y la erosión del suelo, disminuir su contaminación, conservar la fertilidad del suelo optimizando las condiciones para fomentar su actividad biológica, mantener la diversidad biológica en el sistema y reciclar materiales en la mayor medida posible en la producción (Lynch, 2009).

Conceptualmente, un abono orgánico se refiere a un material de origen orgánico que se aplica al suelo y que procede de una fuente natural no sintética, que debe garantizar el aporte de una mínima cantidad de nitrógeno, fósforo y potasio a los cultivos, así como favorecer las propiedades físicas y microbiológicas del suelo. No debe ser fuente de organismos patógenos, de metales pesados ni contener sustancias prohibidas (Card *et al.*, 2008; Organic Material Review Institute, 2019).

Se recomienda utilizar abonos orgánicos ya que aumentan las poblaciones de macro y microorganismos benéficos del suelo, incrementan el contenido de materia orgánica, disminuyen la erosión, retienen la humedad, mejoran la estructura, brindan aireación y ayudan a controlar la temperatura, incrementan la capacidad de intercambio catiónico mejorando la eficiencia de la fertilización y el rendimiento de los cultivos. Entre los abonos orgánicos más utilizados están los compost, el humus de lombriz, el bocashi, el biol, el te de estiércol y el abono de frutas (Yugsi, 2011).

Al usar fertilizantes orgánicos, la liberación de los elementos nutritivos a la solución del suelo y su incorporación a los procesos físicoquímicos del sistema suelo-planta, no es inmediata, ya que exige la previa mineralización de la materia orgánica. El aporte de elementos nutritivos en forma orgánica es un medio de incrementar su reserva de en el suelo. La liberación lenta y progresiva es una garantía de que los elementos móviles como el nitrógeno, permanezcan retenidos en el suelo de modo que no sean lavados fácilmente (Ruda *et al.*, 2004).

Dado que la principal desventaja de la fertilización orgánica es su efecto lento, se recomienda un sistema combinado (convencional y orgánico) con el fin de cambiar gradualmente,

y ayudarle al suelo a restablecer su equilibrio natural. Además, el período de transición para que un suelo sea orgánico oscila entre tres y cinco años, pero puede extenderse hasta ocho años dependiendo del manejo previo del suelo y de los factores medioambientales. Se debe tomar en cuenta que los costos en el manejo de suelos aumentan al hacerlo de manera orgánica (Félix *et al.*, 2008).

Teniendo en cuenta que los fertilizantes orgánicos se derivan de sustancias como las heces de animales o la materia vegetal, que podrían estar contaminadas con patógenos, su aplicación es un riesgo para los seres humanos y las plantas si los residuos no se procesan correctamente. Además, debido a la composición altamente variable de los fertilizantes orgánicos, es difícil la aplicación precisa de nutrientes para suprir las necesidades de la planta, por lo cual se limita la efectividad del fertilizante orgánico (Chen, 2006; Pender, 2009).

La utilización de fertilizantes orgánicos ha logrado resultados positivos en la calidad de los productos cultivados, en producción de biomasa, en el rendimiento (Doan *et al.*, 2015; Singh *et al.*, 2010; Singh *et al.*, 2008), el crecimiento, la floración y la fructificación (Ladan *et al.*, 2012). Esto se debe al incremento en el contenido de materia orgánica, macro y micro elementos (como N, P, C, Mg, Si), la liberación de ácidos húmicos y el incremento de la actividad biológica en la rizosfera, inclusive con efectos a corto plazo, como en los cultivos de ciclo corto (Cruz, 2015; Singh *et al.*, 2008). Sin embargo, las respuestas positivas observadas varían y están estrechamente vinculadas al contexto geográfico y ecológico donde se aplican estas prácticas agroecológicas.

La calidad del fruto en la postcosecha de las frutas producidas en sistemas de agricultura orgánica se ha comparado con las frutas de la agricultura convencional con lo que se obtienen, entre otros, los siguientes resultados. Se evaluó la calidad postcosecha del fruto de maracuyá, que estuvo influida por la fertilización orgánica, con mayor acumulación de azúcares en los frutos que recibieron mayor dosis de estiércol de cerdo (Damatto *et al.*, 2005). Sin embargo, cuando se compararon frutos de naranjas de huertos orgánicos y convencionales durante cinco años, no se encontraron diferencias en las características cualitativas, excepto en el contenido de sólidos solubles totales y vitamina C, que fueron mayores en frutos del huerto convencional (Petry *et al.*, 2012). Las fresas producidas bajo el sistema de producción orgánica exhibieron un mayor contenido de sólidos solubles y una pulpa más firme que las producidas bajo el sistema convencional. Los sistemas agrícolas no influyeron en la pérdida de peso, la acidez titulable y la concentración de ácido ascórbico. Cada sistema de producción es responsable de aportar diferentes atributos (Andrade *et al.*, 2017). Algunos materiales utilizados en los esquemas de fertilización orgánica se describen a continuación.

1.2.3.1 Vermicompostaje

Esta tecnología, también conocida como lombricultura, se refiere al uso de lombrices para descomponer los desechos orgánicos y producir abono rico en nutrientes. Esta práctica tiene varias funciones y beneficios en la agricultura, como gestionar los residuos, mejorar la salud y la fertilidad del suelo, reciclar nutrientes, controlar la erosión del suelo y ofrecer control biológico de plagas. Al aprovechar el poder de las lombrices, el vermicompostaje ofrece un enfoque sostenible y respetuoso con el medio ambiente para la agricultura, contribuyendo a una mayor productividad, un menor impacto ambiental y la sostenibilidad a largo plazo del suelo y los ecosistemas (Hajam *et al.*, 2023).

El vermicompost se define como un abono orgánico que resulta de la transformación de restos de cosechas, estiércol de animales, contenido del rumen y desechos de cocina, mediante la acción de lombrices que se alimentan de la materia orgánica, que es transformada en partículas más pequeñas y son expulsados al exterior como heces que contienen nutrientes listos para ser usado por la planta (Yugsi, 2011).

El vermicompost, es un sustrato rico en NPK benéfico para el crecimiento de las plantas y la salud del suelo. Mantiene la estructura del suelo y la capacidad de retención de agua y aumenta los microorganismos, promoviendo una simbiosis entre estos y las plantas (Sharma y Garg, 2018; Dhiman *et al.*, 2019). Las lombrices pueden descomponer varios tipos de materiales orgánicos como la basura doméstica, los desechos orgánicos, los residuos de cultivos y varios desechos industriales (Gupta y Garg, 2017; Raza *et al.*, 2022). Las lombrices convierten los desechos orgánicos en una sustancia similar al humus que mejora las tasas de mineralización de nutrientes y aumenta la diversidad microbiana (Zucco *et al.*, 2015).

Se ha demostrado que los sustratos de crecimiento a base de lombricompost promueven el crecimiento de las plantas, como lo informa Olle (2016) en plantas de tomate y Suthar (2009) en plantas de ajo, lo que deriva en un aumento del diámetro del tallo, la altura de la planta, el número de hojas y de flores. Esto podría atribuirse al mayor contenido de nutrientes, la diversa estructura y actividad microbiana, la mineralización, los factores enzimáticos del suelo y la presencia de fitohormonas (Suthar, 2009).

Los microorganismos, como bacterias, hongos y ciliados, desempeñan un papel crucial en el vermicompostaje al descomponer y mineralizar residuos orgánicos (Goswami *et al.*, 2021). Estos microorganismos secretan enzimas digestivas que ayudan a descomponer compuestos complejos como la celulosa y los compuestos fenólicos (Riaz *et al.*, 2020; Pathma y Sakthivel, 2012). Este proceso mesófilo producido por las lombrices entre 10 y 30 °C, es más rápido que el compostaje tradicional porque las lombrices ingieren materiales de desecho y los transforman en vermicompost. Los microbios desempeñan un papel importante en el proceso de degradación o compostaje, produciendo un agente modificador del suelo orgánico único y enriquecido, fortificado con características repelentes de plagas y reguladores del crecimiento de las plantas (Hajam *et al.*, 2023).

1.2.3.2 Sustancias húmicas

Son compuestos naturales presentes en la materia orgánica del suelo con masa molecular relativamente baja que resultan de la descomposición de microbios vegetales, animales y del suelo, que se pueden dividir en tres categorías principales: ácido húmico, ácido fulvico y húmina. Este tipo de compuestos también denominados bioestimulantes, pueden facilitar la adquisición de nutrientes al apoyar los procesos metabólicos en el suelo y las plantas, más no son fertilizantes debido a que no aportan nutrientes directamente a las plantas. Entre sus beneficios figuran servir como amortiguador para neutralizar la acidez y la alcalinidad excesiva del suelo, inducir una alta capacidad de intercambio catiónico CIC, mejora la absorción y la retención de nutrientes vitales, aumenta la capacidad de retención de agua (hasta 4 veces), incrementa la aireación del suelo, reduce la erosión, mejora la germinación de las semillas, estimula el desarrollo radicular y crea un medio ideal para la proliferación de organismos benéficos como las bacterias, hongos y otros impidiendo el desarrollo de patógenos y enfermedades (Sunitha *et al.*, 2022; Velasco *et al.*, 2016).

En la ciencia que estudia la naturaleza del suelo, el término humus se utiliza solo para las sustancias húmicas formado por sustancias complejas que permanecen en el suelo después de

la descomposición de los residuos orgánicos. Los ácidos fúlvicos están ligados a los macroagregados como los azúcares, los aminoácidos y los fosfolípidos, que son las fuentes de nitrógeno, fósforo y azufre para los microorganismos y el crecimiento de las plantas (Restrepo *et al.* 2014).

Los ácidos húmicos son una mezcla de ácidos orgánicos con cadenas de carbono débiles y compuestos anillados aromáticos que no son solubles en agua bajo condiciones de acidificación, pero sí son solubles en agua cuando se encuentran en condiciones alcalinas. Son la fracción de sustancias húmicas que se precipitan en soluciones acuosas cuyo pH se encuentra por debajo de dos. Además, son polidispersores térmicos por sus características químicas variables (Albert, 2015). Aproximadamente el 35 % de las moléculas de los ácidos húmicos son aromáticas, es decir, tienen anillos de carbono, mientras que el componente residual son moléculas alifáticas, pues son cadenas de carbono. Tienen un peso molecular entre 10.000 y 100.000 daltons. Los polímeros de estos ácidos se mezclan con arcillas para formar compuestos orgánicos de arcilla estables (Escobar, 2015).

Los ácidos fúlvicos son la mezcla de ácidos orgánicos alifáticos débiles y aromáticos solubles en todas las condiciones de pH ya sea ácido, neutro o alcalino. La composición y la forma es muy variable, en comparación con los ácidos húmicos, los ácidos fúlvicos son más pequeños, con un peso molecular que va desde 1.000 a 10.000 daltons (Angulo, 2010). Además, contienen una cantidad de oxígeno que es dos veces mayor que la de los ácidos húmicos, también contienen muchos más grupos hidroxilos (COH) y carboxílicos (COOH). En consecuencia, son compuestos químicamente más reactivos. La capacidad de intercambio aniónico y catiónico es el doble que la de los ácidos húmicos, la cual, se atribuye al número de grupos carboxilos presentes (Ron, 2004).

1.2.4 Fertilización integrada

Para mantener la fertilidad del suelo y aumentar la productividad mediante los recursos orgánicos se necesitaría una gran cantidad de fertilizante orgánico para mantener los niveles de fertilidad del suelo en todos los campos. Sin embargo, la estrategia opuesta, el uso exclusivo de fertilizantes inorgánicos puede conducir a altos rendimientos de cultivos en el corto plazo, pero afecta la estructura del suelo, lo que disminuye la materia orgánica y aumenta la contaminación ambiental (Chen, 2006; Pender, 2009).

Los problemas asociados con la aplicación de un solo enfoque de fertilizantes orgánicos o inorgánicos han sugerido una combinación de fertilizantes orgánicos e inorgánicos como una opción realista para mejorar la fertilidad y la productividad del suelo. Por lo tanto, las mejores formas para fertilizar el suelo son la integración de fertilizantes inorgánicos y orgánicos (Nyalemegbe *et al.*, 2009; Bodruzzaman *et al.*, 2010) por medio de métodos menos costosos (Mungai *et al.*, 2009) y disminuir el daño que pueden causar los fertilizantes químicos (Han *et al.*, 2016). Es así como la fertilización integrada es un modelo de transición entre la producción tradicional y la orgánica, dado que busca mantener los rendimientos de los cultivos y disminuye los residuos de productos químicos sintéticos en el producto y en el ambiente (Lososová *et al.*, 2011).

La agricultura integrada se define como un sistema agrícola que integra los recursos naturales y los mecanismos de regulación de las actividades agrícolas para alcanzar un máximo reemplazo de los insumos externos de la finca; asegura la producción sostenible de alimentos de alta calidad y otros productos a través de tecnologías preferiblemente ecológicas, mantiene los

ingresos de la finca, reduce o elimina las fuentes de contaminación ambiental ocasionadas por la agricultura y sostiene las múltiples funciones que esta desarrolla (García, 2002; Horno, 2006). Por otra parte, Uribe *et al.* (2009) indican que la agricultura integrada es ideal para obtener grandes rendimientos en los cultivos al cubrir los requerimientos nutricionales del cultivo con los insumos químicos y complementar con los abonos orgánicos. Además, estos estimulan el desarrollo de la planta y vuelven asimilables los nutrientes del suelo.

Un estudio realizado por Brar *et al.* (2015) señala que el uso integrado de fertilizantes inorgánicos junto con fertilizantes orgánicos como estiércol de corral (100% NPK + FYM) mejoró las condiciones físicas del suelo, como la CIC y el pH, produjo mayores rendimientos en maíz y trigo. Según Han *et al.*, (2016), el tratamiento con fertilizante NPK conduce a la acidificación del suelo, mientras que los tratamientos con abono orgánico + NPK aumentan significativamente el pH del suelo. Walia *et al.*, (2010) informan de hallazgos similares en los que el sistema de manejo de nutrientes incorporado da como resultado un aumento del contenido de carbono orgánico, nitrógeno, fósforo y potasio disponibles.

Varios estudios revelan que el uso integrado de fertilizantes inorgánicos con fertilizantes orgánicos como el estiércol aumenta significativamente ($P < 0.05$) el contenido de C orgánico del suelo, N total y los nutrientes del suelo disponibles (Ali *et al.*, 2009; Zhao *et al.*, 2014; Redda *et al.*, 2017), además de mejorar las propiedades generales del suelo (Mahmood *et al.*, 2017). Para una productividad sostenible, el uso mixto de fertilizantes químicos y orgánicos ha demostrado ser beneficioso en términos de suministro equilibrado de nutrientes (Chen, 2006; Ayeni *et al.*, 2010) y rendimientos significativamente más altos que que en la aplicación de fertilizantes orgánicos únicos (Efthimiadou, 2010). Además, se ha encontrado que el uso de fertilizantes orgánicos junto con fertilizantes químicos apropiados ha tenido efectos positivos sobre la biomasa microbiana y, por tanto, sobre la salud del suelo (Elkholy *et al.*, 2010; Abedi *et al.*, 2010; Salehi *et al.*, 2017).

1.3 Concepto de calidad

1.3.1 Calidad en alimentos

La calidad de los alimentos es un término subjetivo y objetivo (Grunert, 2005), que se puede definir como el nivel de las características de un alimento aceptable para el consumidor. Esto incluye factores externos como la apariencia (tamaño, forma, color, brillo, y consistencia), la textura, el aroma, el sabor, entre otros. También factores legales (Peri, 2006), es decir el cumplimiento de leyes y normas nacionales e internacionales, así como factores internos (químicos, físicos y microbiológicos).

En términos generales, la calidad de un producto se puede definir como la aptitud para el uso y, en los alimentos, como la aptitud para el consumo, de modo que la calidad se expresa como el cumplimiento de las necesidades y las expectativas de los consumidores, cumpliendo con las normas vigentes. Es por esto que algunos autores definen la calidad de los alimentos como el cumplimiento de un conjunto de requerimientos, de mercado, de producción y de consumo (Peri, 2006; Lawless, 1995).

La calidad de un producto es un término multívoco, que se define en función de las medidas aplicadas, el contexto en el cual es considerado y los enfoques teóricos que sean abordados para describirlo (Garvin, 1984), descritos en la Tabla 1.

Tabla 1. Definiciones de calidad basadas en cinco enfoques (Garvin, 1984)

Enfoque	Definición
Trascendente	La calidad es sinónimo de la excelencia de un bien o servicio, es absoluta y universalmente reconocible.
Basado en el producto	La calidad es una característica o atributo medible de un bien o servicio que diferencia a este de su competencia, haciéndolo más o menos atractivo para el cliente.
Basado en el consumidor	La calidad es el grado con el que se cumplen o exceden las expectativas de un consumidor hacia un bien o servicio determinado.
Basado en la manufactura y la producción	La calidad se define como el cumplimiento de las especificaciones y estándares internos de un bien o servicio con respecto a las expectativas de la empresa que lo fabrica, produce o provee.
Basado en el valor	La calidad es el desempeño de un bien o servicio con precio competitivo.

1.3.2 Calidad en frutas frescas

La calidad de las frutas incluye factores de apariencia como el tamaño, la forma, el color, el brillo y la ausencia de defectos en la piel (originados luego de la cosecha como resultado del daño de insectos, aves, granizo, lluvia ácida, etc.). Los factores texturales incluyen la firmeza, la crocancia, la jugosidad y la harinosidad. Los factores nutricionales incluyen el contenido de vitaminas, minerales, fibra dietética y fitoquímicos; así como factores de salubridad que incluyen toxicidad, contaminantes, microorganismos y buenas prácticas agrícolas (Kader, 2008). Los factores de sabor dependen del conjunto de sabores primarios junto con la sinergia de los compuestos volátiles que impresionan el olfato vía retronal. Los sabores primarios están definidos por cinco descriptores: amargo, dulce, ácido, salado y picante (en Japón, se ha agregado el sabor umami). La percepción sensorial se lleva a cabo en dos modalidades: el estímulo originado por los cinco sabores primarios y el estímulo al nervio trigémino que produce sensaciones de temperatura, pungencia y astringencia, entre otras (Prieto, 2016).

1.3.3 Factores que determinan la calidad en frutas frescas

1.3.3.1 Apariencia

La apariencia es el factor de calidad decisivo en la comercialización del producto (Chitarra y Chitarra, 2005). Esta pueden incluir tamaño, forma, color, brillo y ausencia de defectos y deterioro. Los defectos pueden originarse antes de la cosecha debido a daños por insectos, enfermedades, aves y granizo, lesiones químicas y diversas imperfecciones (como cicatrices, costras, oxidación, manchas en la corteza). Los defectos postcosecha pueden ser morfológicos, físicos, fisiológicos o patológicos (Kader y Rolle, 2004).

Teniendo en cuenta la relevancia de este factor en la comercialización de la gulupa, se han realizado diferentes estudios tendientes a establecer los valores óptimos de las características del fruto que son requeridos por los actores de la cadena, de acuerdo con el ámbito

de venta del producto, ya sea para destino nacional o para exportación. Algunas de dichas características se resumen en la Tabla 2.

Tabla 2. Tabla de calidad en la poscosecha del fruto de gulupa (*Passiflora edulis* Sims f. *edulis*). Variables medidas en frutas recién cortadas de la planta. Los valores son la media ± error estándar (Flórez et al., 2012a).

Estado de madurez	Color	Escala L*C h°	pH	°Brix	Acidez
1	10-20 % púrpura	L= 54.27 ± 1.24 C= 28.93 ± 1.68 h°= 110.46 ± 1.53	2.74±0.02	12.7±0.3	3.86±2.19
2	30-40 % púrpura	L= 46.71 ± 2.21 C= 23.13 ± 2.21 h°= 103.21 ± 1.53	2.49±0.01	12.1±0.4	4.60±1.24
3	50-60 % púrpura	L= 38.48 ± 2.10 C= 11.98 ± 1.89 h°= 77.35 ± 6.74	2.49±0.03	12.5±0.3	4.16±0.76
4	70-80 % púrpura	L= 34.81 ± 0.62 C= 6.90 ± 1.08 h°= 70.94 ± 6.58	2.51±0.01	12.6±0.3	4.94±1.30
5	100 % púrpura	L= 30.76 ± 1.00 C= 4.08 ± 0.70 h°= 61.00 ± 5.35	2.54±0.02	12.6±1.0	3.64±1.70

Entre los requisitos mínimos que deben cumplir los frutos de gulupa (Orjuela et al., 2011), se encuentran los siguientes:

- Presentarse enteros con la forma característica y con el pedúnculo cortado en la base.
- Estar frescos, con apariencia lisa y turgente de la cáscara, además de consistencia firme.
- Encontrarse limpios y libres de residuos, contaminantes, olores o sabores extraños y daños de origen mecánico, biológico o microbiológico.
- El contenido de pulpa en los frutos de gulupa debe ser de 35 % del peso total del fruto.
- El diámetro longitudinal entre 4.5 y 6.5 cm y el diámetro ecuatorial entre 3.5 y 6.0.

1.3.3.2 Textura

La calidad textural de los productos hortofrutícolas no solo es importante al comer y cocinar, sino también para establecer sus condiciones de envío (Kader y Rolle, 2004). En la gulupa, al ser una fruta climatérica, muchos cambios que se presentan durante la maduración se encuentran promovidos por procesos fisiológicos como la respiración y la producción de etileno,

los cuales terminan por reducir la firmeza de la fruta debido al ablandamiento de los tejidos, la pérdida de agua, la reducción de la turgencia celular y la degradación de la celulosa, hemicelulosa y la pectina (Viera *et al.*, 2023).

1.3.3.3 Sabor

El sabor incluye dulzor, acidez, astringencia, amargor, aroma y sabores desagradables. La calidad del sabor implica la percepción de los sabores y aromas de muchos compuestos. Una determinación analítica objetiva de los componentes críticos debe combinarse con evaluaciones subjetivas realizadas por un panel de degustación para producir información útil y significativa sobre la calidad del sabor de las frutas y las verduras frescas. Este enfoque puede utilizarse para definir un nivel mínimo de aceptabilidad. Para evaluar la preferencia de los consumidores por el sabor de un producto determinado, se requieren pruebas a gran escala de una muestra representativa de consumidores (Kader y Rolle, 2004).

Uno de los aspectos por los que el fruto de gulupa tiene apetencia en los mercados internacionales reside en sus características organolépticas y en particular el sabor dulce y ligeramente ácido que resulta del balance entre los azúcares y los ácidos que están presentes en la pulpa, lo que permite su consumo en fresco y su incorporación en jugos, esencias, jarabes, mermeladas, helados y postres, entre otros (Bermeo Escobar, 2021).

1.3.3.4 Calidad nutricional

La calidad nutricional es el factor de calidad que se toma en cuenta en la cadena de suministro de frutas y verduras (Chitarra y Chitarra, 2005). Las frutas y las verduras frescas desempeñan un papel importante en la nutrición humana, especialmente como fuente de vitaminas (vitamina C, vitamina A, vitaminas tipo B -eg. Ácido fólico como forma de vitamina B9-, tiamina y niacina), minerales y fibra dietética. Otro componente de las frutas y las verduras frescas es que pueden reducir el riesgo de cáncer y otras enfermedades puesto que incluyen carotenoides, flavonoides, isoflavonas, fitoesteroles y otros fitoquímicos (fitonutrientes) (Kader y Rolle, 2004).

En la gulupa, su fruto presenta un porcentaje de humedad cercano al 90%, así como compuestos antioxidantes, niacina (0.8 mg/100g), tiamina (0.1 mg/100g), riboflavina (0.17 mg/100g), fósforo (21 mg/100g), hierro (1.7 mg/100g), calcio (9 mg/100g), vitamina C (20 mg/100g) y fibra (0.4 mg/100g) (Orjuela *et al.*, 2011).

1.3.3.5 Seguridad

La seguridad es el factor de calidad más deseable y las frutas y las verduras deben estar libres de cualquier sustancia química que pueda causar daños a la salud humana (Chitarra y Chitarra, 2005). El deterioro de las frutas en la postcosecha es un factor clave que determina pérdidas y compromete la calidad de frutas y hortalizas. Tradicionalmente, el control de las pudriciones postcosecha se logra mediante fungicidas químicos. Sin embargo, las importantes preocupaciones relacionadas con la salud ambiental y humana requieren el desarrollo de métodos novedosos para el control del deterioro de los frutos en la postcosecha. Además, la demanda de los consumidores y el poder adquisitivo son mayores para los productos frescos libres de la aplicación de pesticidas (Mari *et al.*, 2016). Uno de dichos métodos es la resistencia inducida, que puede provocar niveles elevados de compuestos fenólicos en los tejidos de las plantas, que a menudo tienen propiedades antioxidantes, muy beneficiosas para los humanos. Además, la resistencia inducida preserva la microflora natural, rica en posibles agentes de

biocontrol, que proporciona un enfoque combinado en el control de la descomposición postcosecha que es sostenible y seguro tanto para los productores como para los consumidores (Oster, 2011; Romanazzi *et al.*, 2016).

1.4 Factores precosecha que influyen en la calidad

La calidad no se puede mejorar después de la cosecha, solo se puede mantener; por lo tanto, los factores previos a la cosecha son críticos para asegurar la producción de hortalizas y frutas de calidad. Los atributos de calidad postcosecha, la fisiología postcosecha y la vida de los productos hortofrutícolas frescos están altamente influidos por factores previos a la cosecha, incluidos factores climáticos y agronómicos, que influyen en el desarrollo de los cultivos en el campo. Aunque el material genético impulsa los atributos de calidad externos e internos, las condiciones agronómicas y de cultivo y las condiciones ambientales, la nutrición mineral, los tratamientos químicos y el manejo de plagas tienen impactos directos e indirectos sobre estos atributos (Yahia *et al.*, 2019).

1.4.1 Factores genéticos

1.4.1.1 Variedad

La especie es el primer factor que determina la prevalencia de algunos parámetros de calidad de la fruta, tales como el peso, el tamaño, el color, la forma, los atributos fisicoquímicos, el comportamiento fisiológico y la composición bioquímica. La selección de la variedad, el genotipo o las técnicas de cultivo pueden influir en la calidad postcosecha dado que algunos resultan más adecuados para el almacenamiento a largo plazo debido a su mayor firmeza, resistencia a infecciones fúngicas o de insectos, tolerancia a la refrigeración y capacidad de conservación de sus atributos de calidad por más tiempo. Los factores de calidad son más o menos controlados genéticamente, ya que el nivel y la composición química de los compuestos bioactivos varían según el cultivo (Scalzo y Mezzetti, 2010).

Algunos estudios que se han realizado en gulupa sobre las variedades existentes en Colombia se han enfocado en la variabilidad genética de los materiales comerciales de gulupa (Ortiz, 2010), la caracterización molecular de materiales cultivados de gulupa (Fonseca-Trujillo *et al.*, 2009), la identificación de los recursos genéticos de pasifloráceas en Colombia (Lobo and Medina, 2009), la variabilidad genética de la gulupa cultivada en ocho departamentos de Colombia (Quintero, 2011), la evaluación de la diversidad genética de gulupa para la conformación de grupos heteróticos (Rodríguez, 2019), la diversidad y la distribución de las pasifloráceas en el departamento del Huila (Ocampo, 2013), la caracterización de la diversidad genética de pasifloras en el departamento de Boyacá con fines de aprovechamiento y conservación (Martínez, 2020), entre muchos otros, lo que indica la relevancia de este factor en la producción.

1.4.1.2 Portainjerto

Esta es una técnica que permite unir partes de diferentes plantas para poder continuar su crecimiento juntas. La parte superior de la planta combinada se llama vástago, mientras que la parte inferior se llama patrón. Normalmente, el patrón ofrece resistencia a condiciones de exceso o déficit de agua, salinidad del suelo, enfermedades y condiciones adversas para el desarrollo de las plantas, mientras que el vástago, muestra un alto rendimiento y una alta calidad del fruto. Por

lo tanto, las plantas injertadas tienen muchas ventajas sobre las autoenraizadas (Yahia *et al.*, 2019).

En la gulupa, una de las principales limitantes en la producción es la presencia de patógenos en el suelo como el *Fusarium* sp, que causa la podredumbre del cuello del tallo, produce marchitez, defoliación y culmina en la muerte de la planta (Bueno *et al.*, 2014). Por eso, el uso de portainjertos es de especial relevancia para esta especie dado que brinda una alternativa para contar con material vegetal tolerante a este tipo de enfermedades, sin crear efectos negativos sobre el medio ambiente (Amorim-Pereira *et al.*, 2019).

Lopez *et al* (2022) demostraron que la combinación de accesiones de gulupa con diferentes patrones de Passifloráceas como la *Passiflora maliformis* mitigan las afectaciones causadas por plagas y enfermedades presentes en el suelo y pueden incrementar los rendimientos y la rentabilidad del cultivo, mantiene los estándares de calidad de la fruta y hace financieramente atractivas las inversiones en este tipo de negocios.

1.4.1.3 Fitomejoramiento

Es una técnica utilizada para transferir un atributo fenotípico de una planta a otra con el fin de mejorar sus características (Yahia *et al.*, 2019). Las mejoras de la calidad de los cultivos se basan en la selección de plantas con fenotipos deseables. Los sistemas de mejoramiento han dado como resultado variaciones genotípicas y cultivares con diferentes atributos. Muchos cultivares se han obtenido mediante el método clásico de hibridación. Sin embargo, la creación de características nuevas, especialmente cuando la diversidad genética es baja, implica la hibridación genética entre especies o mutantes relacionados.

El fitomejoramiento intenta incrementar los rasgos de una planta para que sean más deseables desde un punto de vista económico y agronómico. Por lo tanto, el objetivo principal del fitomejoramiento es crear variedades de plantas de cultivo superiores económicamente viables. Una variedad exitosa se define como la que tiene un equilibrio de características que la hacen más rentable para los productores que cualquier otra (Janghel *et al.*, 2023).

1.4.2 Factores ambientales

1.4.2.1 Luz y radiación solar

La luz es un factor del proceso fotosintético que permite a las plantas producir la energía química necesaria para su crecimiento (Ali *et al.*, 2021). La variación en exposición a la luz altera la fisiología de las plantas y, en consecuencia, la calidad de los frutos. La luz es captada por las plantas mediante fotorreceptores, que provocan una transducción de señales en los cambios morfológicos y fisiológicos necesarios para la adaptabilidad de las plantas al medio como la germinación de las semillas, la floración, el desarrollo de algunos compuestos aromáticos y el cambio de color en frutas y verduras, en función de la cantidad y la calidad de la luz. La altitud sobre el nivel del mar también juega un papel importante en la calidad del fruto porque a mayor altitud, mayor es la intensidad de la luz (Yahia *et al.*, 2019).

En muchos casos, las modificaciones en el nivel de composición nutricional y en la capacidad antioxidante de la fruta se han asociado con cambios en la intercepción de radiación

en el campo. Los lados de las frutas expuestos al sol tienen niveles más altos de fenoles y vitamina C que las regiones sombreadas (Lee y Kader, 2000). Así mismo, debido al aumento de la luz ultravioleta en una mayor altitud, los frutos jugosos, como en el caso de las pasifloráceas, son más propensos a las quemaduras solares; sin embargo, es importante que parte de la luz ultravioleta llegue a los frutos durante la maduración para estimular la producción de antioxidantes que mejoren su valor nutricional (Fischer *et al.*, 2016).

La gulupa es una planta que requiere luz solar directa por lo que esta variable incide directamente sobre la producción. Además, se ha observado que las plantas que crecen con demasiado sombrío debajo de un árbol grande y frondoso no producen frutos y originan gran cantidad de hojas grandes de color verde intenso. En una misma planta, las ramas situadas en el centro o cubiertas por otras desarrollan entrenudos muy largos y un diámetro delgado, y no forman frutos por falta de luz que estimule la producción de yemas reproductivas. Es preciso, entonces, podarlas permanentemente y peinar las ramas para que todas puedan recibir radiación solar y estimular la producción (Guerrero *et al.*, 2012).

Los cambios en la radiación solar influyen en la productividad del cultivo de gulupa y los días nublados reducen el crecimiento y el número de botones florales y la apertura de las flores. Los períodos cortos (1 a 4 semanas) de luz reducen significativamente la floración y la cosecha (Nakasone y Paull, 1998). El exceso de radiación solar causa daños en el fruto de gulupa (golpes del sol) y afectan el desarrollo de la planta (Jiménez *et al.*, 2009).

1.4.2.2 Temperatura

La temperatura atmosférica es un factor ambiental importante que influye en el crecimiento y la productividad (Léchaudel y Joas, 2007). Los cultivos frutales son particularmente sensibles a la temperatura, pues tienen requerimientos de temperatura específicos para el óptimo desarrollo de los parámetros de rendimiento y calidad. La temperatura influye en la absorción y el metabolismo de los minerales y la nutrición de la planta. El aumento de la temperatura aumenta la transpiración, mientras que las temperaturas más bajas influyen en el sexo de la flor y el cuaje de la fruta. Durante el desarrollo de la fruta, la variación de temperatura puede afectar la fotosíntesis, la respiración, las relaciones acuosas y la estabilidad de la membrana, así como los niveles de hormonas vegetales. Las altas temperaturas pueden aumentar la velocidad de las reacciones bioquímicas catalizadas por enzimas y afectar la acumulación de minerales. Las frutas como las uvas y las manzanas contienen más azúcar y menos ácido cuando se cultivan a altas temperaturas (Wurr *et al.*, 1996).

Jiménez *et al.* (2009) reportan que las temperaturas óptimas para el cultivo de gulupa están entre los 15 y los 20 °C. Las temperaturas menores a 15 °C en el día y 10 °C en la noche reducen el crecimiento y, por tanto la producción, las temperaturas mayores a 30 °C en el día y 25 °C en la noche, pueden disminuir la producción de flores (Nakasone y Paull, 1998).

1.4.2.3 Precipitaciones

Las precipitaciones son otro factor importante que puede causar la pérdida de frutos en la postcosecha de cultivos hortofrutícolas. Las lluvias prolongadas durante la época de la cosecha pueden provocar la susceptibilidad a daños mecánicos y a descomposición durante las operaciones posteriores de cosecha y manipulación (Thokar *et al.*, 2022). La humedad adecuada del suelo durante el período previo a la cosecha es esencial para el mantenimiento de la calidad posterior a la cosecha. El estrés hídrico durante la temporada de crecimiento puede afectar el tamaño del órgano de la planta cosechada y dar lugar a frutos blandos o deshidratados que son

más propensos a sufrir daños y pudrirse durante el almacenamiento. Por otro lado, los cultivos que experimentan un exceso de agua durante el crecimiento pueden mostrar una dilución de sólidos solubles y ácidos que afectan el sabor y la calidad nutricional (Ladaniya, 2008), mientras que la humedad del suelo puede afectar la postcosecha de los cultivos (Sams, 1999). El exceso de humedad en los frutos cosechados también puede aumentar la incidencia de enfermedades postcosecha (Benkeblia *et al.*, 2011).

En las especies frutícolas como la gulupa, en las que la floración y la fructificación se presenta todo el año, la precipitación debe estar bien distribuida en todos los meses, especialmente cuando hay dificultad para suministrar riego adicional. Cuando falta el agua en fases críticas, como la brotación de yemas florales, la fecundación, el cuajado y el llenado, los frutos se quedan pequeños o se caen (Jiménez *et al.*, 2009). Durante el período de floración, la lluvia debe ser mínima, puesto que cuando el polen se moja se revienta y pierde su función, y se presenta aborto de flores (Nakasone y Paull, 1998). Se ha observado que el exceso de humedad en el suelo causa estrés por inundación o anoxia, lo que produce la mortalidad de las plantas, por lo cual, se sugiere sembrar en ladera con suelos bien aireados. En zonas donde la precipitación es excesiva, los agricultores han optado por utilizar coberturas plásticas en cada surco con el fin de evitar que el follaje se moje y se aumente la caída de flores y la incidencia y severidad de problemas fitosanitarios (Guerrero *et al.*, 2012).

1.4.2.4 Humedad relativa

Las células y los tejidos de las frutas y las verduras suelen estar compuestos por un 90 % o más de agua. Las plantas requieren agua para brotar, florecer, cuajar y crecer, puesto que interviene en la división y la expansión celular. La humedad relativa (HR) del ambiente tiene un efecto drástico en la apariencia del fruto porque interviene en la turgencia del fruto en la cosecha, esta turgencia inicial determina la tolerancia del fruto a la exposición a humedades relativas adversas en la postcosecha. En algunos casos, cuando ocurren lluvias durante la maduración, la alta humedad relativa del ambiente aumenta, lo que favorece la producción de frutas y hortalizas de mayor tamaño y calidad (Yahia *et al.*, 2019). Sin embargo, este factor también puede resultar desfavorable debido al estrés hídrico, que ocurre en las plantas por exceso o escasez de agua. Es por ello que la disponibilidad de agua es el factor más limitante para la supervivencia y crecimiento de las plantas (Ali *et al.*, 2021).

Esta variable debe oscilar entre 60 y 70 %, puesto que zonas con HR superiores son de alto riesgo para la producción de gulupa por el aumento de la severidad de los problemas como la roña, la bacteriosis y la fusariose, además de un alto porcentaje de abortos florales por la persistencia de vestigios florales que se pudren en conjunto con el ovario fecundado (Guerrero *et al.*, 2012). No obstante, si se tienen óptimas condiciones de los demás factores ambientales, se puede intentar manejar las condiciones de HR en el cultivo, realizando algunas labores culturales como podas, peine o arreglo de ramas, diseño del tutorado, manejo de malezas, amplias distancias de siembra y orientación de los surcos para mejorar la circulación de aire, además de siembra en suelos inclinados (Galindo y Gómez, 2010).

1.4.2.5 Época de cosecha

La calidad de los productos es crucial en la cosecha. Por ejemplo, la cosecha de la temporada de invierno tiene una mayor vida útil en comparación con otras temporadas. Por otra parte, cuando las frutas se cosechan fuera de temporada, dan un precio más remunerativo al productor. Es importante mencionar que la cosecha durante o inmediatamente después de las

lluvias no debe llevarse a cabo, ya que crea las condiciones más favorables para la multiplicación de microorganismos. Las frutas deben cosecharse cuando la temperatura es templada porque una temperatura alta puede conducir a una respiración más rápida. En el caso de frutas climatéricas como la manzana, el mango, la papaya, la pera, el zapote, el durazno y la gulupa, que producen mayores cantidades de etileno, deben recolectarse en su etapa de madurez fisiológica completa (Tyagi *et al.*, 2017).

1.4.3 Factores culturales

1.4.3.1 Nutrición

Los nutrientes son componentes cruciales en la producción comercial de frutas. Estos tienen impactos significativos en la calidad de la fruta que incluyen efectos sobre el color, la textura, la susceptibilidad a enfermedades, la composición del jugo y el desarrollo de trastornos fisiológicos de la fruta (Singh *et al.*, 2013). La calidad de la fruta generalmente mejora a medida que la humedad y los nutrientes del suelo aumentan de deficientes a óptimos. Los niveles que producen el máximo rendimiento pueden corresponderse con los que resultan en la calidad de la fruta y la retención de calidad (Ritenour *et al.*, 2002). Un mal manejo de los fertilizantes podría aumentar los trastornos fisiológicos debido a deficiencias de algunos nutrientes o al aumento de otros que derivan en toxicidad (Tyagi *et al.*, 2017).

La absorción de nutrientes aumenta al principio de la fase reproductiva. Por ejemplo, en el caso de maracuyá, la demanda de fertilizante aumenta entre los 250 y los 280 días después del trasplante, cuando las plantas aceleran su crecimiento. En esta etapa fenológica, aumenta la absorción de nutrientes como nitrógeno, potasio y calcio y de los micronutrientes, especialmente hierro y manganeso (Borges y Lima, 2007). Así mismo, Freitas *et al.* (2006) estudian las deficiencias de macronutrientes y boro en el maracuyá, y encontraron que la falta de magnesio, nitrógeno, fósforo y azufre en la solución nutritiva provocó el menor número de frutos por planta en comparación con el control. Los autores también encontraron que los SST eran menores en frutos deficientes en nitrógeno, fósforo y potasio, y que el contenido de ácido ascórbico disminuía con la falta de nitrógeno, potasio y azufre en la solución nutritiva.

Algunos estudios adelantados para establecer el efecto de las deficiencias de macro y micronutrientes sobre el desarrollo vegetativo en plantas de gulupa demuestran que tales condiciones afectaron los procesos metabólicos, como la fotosíntesis y el crecimiento de la planta. La deficiencia de fósforo tuvo el mayor impacto al disminuir la producción de hojas y materia seca. Respecto a los micronutrientes, el mayor efecto sobre el crecimiento de las plantas lo presentó el hierro (Cárdenas-Pira *et al.*, 2021). Así mismo, Quiroga (2017) determinó que la deficiencia de boro durante la floración y la fructificación del cultivo de gulupa ocasionó una reducción en la emisión de botones florales, frutos y cuajado del fruto. Por otra parte, Malagón (2011) estableció que las deficiencias de elementos mayores (NPK) reducen el crecimiento general de la planta y producen clorosis, mientras que, en los elementos menores, el zinc es el nutriente más influyente en el crecimiento de la planta y en la distribución de materia seca.

1.5 Factores poscosecha que afectan la calidad

Para el adecuado manejo en la postcosecha, se debe tener en cuenta que los productos hortofrutícolas cosechados son organismos vivos y que, por tanto, presentan un metabolismo activo. Así, desde la cosecha hasta el destino final se produce una serie de cambios biológicos y

químicos que pueden ser manipulados para controlar la calidad del producto. Los principales cambios de composición durante la postcosecha se dan en compuestos fenólicos, ácidos orgánicos, pigmentos, sustancias volátiles, minerales, vitaminas y macromoléculas como carbohidratos, lípidos y proteínas. Estos están directamente relacionados con la calidad organoléptica y nutricional de las frutas y las hortalizas. Entre los cambios biológicos en la postcosecha, se encuentra la respiración, la producción de etileno, la transpiración (pérdida de agua), los desórdenes fisiológicos (daños por enfriamiento o congelamiento), los daños físicos y el ataque de patógenos (Kader, 1999; Kader *et al.*, 2005).

1.5.1 Factores biológicos

1.5.1.1 Respiración

Es un proceso metabólico central, tanto en el producto recolectado como en cualquier producto vegetal vivo, en el que ocurre la degradación oxidativa de los productos más complejos presentes en las células, como el almidón, los azúcares y los ácidos orgánicos a moléculas más simples, como el dióxido de carbono y el agua, con liberación de energía y otras moléculas que pueden ser utilizadas en las reacciones de síntesis (Wills *et al.*, 1999). La respiración es una reacción básica en toda materia vegetal tanto en los campos como después de la cosecha. En la planta en crecimiento, el proceso se prolonga sin interrupción mientras las hojas sigan fabricando hidratos de carbono, y no puede detenerse sin dañar la planta o el producto cosechado. Los productos frescos no pueden seguir reponiendo los hidratos de carbono ni el agua una vez recolectados, de modo que la respiración utiliza el almidón o los azúcares almacenados y se detiene cuando se agotan las reservas de esas sustancias, se inicia entonces un proceso de envejecimiento que conduce a la muerte y la putrefacción del producto (FAO, 1993).

1.5.1.2 Transpiración

La transpiración es la pérdida de agua por evaporación a través de la superficie de la fruta expuesta al aire, la cual se traduce en una reducción del peso y en la pérdida de turgencia del producto, demeritando su calidad y su valor comercial para el mercado de productos frescos (García y García, 2001). Los productos frescos siguen perdiendo agua después de la cosecha, pero, a diferencia de las plantas en crecimiento, ya no pueden reponer el agua proveniente del suelo y tienen que recurrir al contenido de agua que tienen en la recolección. Esta pérdida de agua de los productos después de la cosecha es un grave problema, que da lugar a la pérdida de peso. Cuando el producto recolectado pierde de un 5 a un 10 % de su peso original, empieza a secarse y pronto resulta inutilizable. Para prolongar su vida útil, el nivel de pérdida de agua debe ser lo más bajo posible (FAO, 1993).

1.5.1.3 Etileno (C_2H_4)

Este es un compuesto orgánico simple que afecta los procesos fisiológicos de las plantas, es un producto natural del metabolismo de las plantas y es producido por todos los tejidos de las plantas superiores como fitohormona, regula muchos aspectos del crecimiento, desarrollo y senescencia y es fisiológicamente activo en cantidades de menos de 0,1 ppm (Kader y Pelayo, 2011; acelera la maduración de muchas frutas, de modo que es considerado como exógeno capaz de promover la maduración (Wills *et al.* 1999). La velocidad de producción de C_2H_4 en las frutas se incrementa con el estado de madurez en la cosecha, los daños físicos, la incidencia de enfermedades, el incremento de la temperatura hasta 30 °C y el estrés por agua; y se reduce por el almacenamiento a bajas temperaturas y niveles reducidos de O_2 alrededor del producto (Kader y Pelayo, 2011).

1.5.1.4 Desórdenes fisiológicos

Los cambios fisiológicos se intensifican cuando intervienen condiciones que aceleran el proceso natural de deterioro, como temperaturas elevadas, baja humedad atmosférica, daños físicos y deficiencias nutritivas. Cuando el producto se expone a temperaturas extremas, a modificaciones de la composición de la atmósfera o a contaminación, sufre un deterioro fisiológico anormal, que puede causar sabores desagradables, la detención del proceso de maduración y otras modificaciones de los procesos vitales, y puede dejar de ser apto para el consumo (FAO 1993).

1.5.1.5 Daños mecánicos

El daño de la superficie, el magullamiento por impacto y por vibración son los principales causantes del deterioro. El oscurecimiento de los tejidos dañados es el resultado de la ruptura de las membranas, que expone los compuestos fenólicos a la acción de la polifenoloxidasa (Kader y Pelayo, 2011). Los daños mecánicos aceleran la pérdida de peso, por el incremento del flujo gaseoso a través del área dañada, estimulan la producción de CO₂ y C₂H₄ del fruto, facilita la germinación, el crecimiento y la esporulación fúngica (Wills *et al.* 1999; Kader y Pelayo, 2011).

1.5.5.6 Daños patológicos

Toda materia viva está expuesta a ataques de enfermedades. El producto fresco puede quedar infectado antes o después de la cosecha por enfermedades difundidas por el aire, el suelo o el agua. Algunas enfermedades pueden atravesar la piel intacta del fruto, mientras que otras solo pueden producir infecciones cuando ya se da la lesión. Estos daños son probablemente la causa principal de las pérdidas del producto fresco (FAO 1993).

1.5.5.7 Madurez fisiológica

Desde el punto de vista hortícola, la madurez fisiológica es la etapa de desarrollo en la que una planta (o parte de la planta) tiene los requisitos previos para su utilización por los consumidores para un fin particular. La madurez en la cosecha es el factor más importante que determina la vida útil en almacenamiento y la calidad final del producto. Las frutas inmaduras son más propensas a arrugarse y sufrir lesiones físicas, y tienen un sabor deficiente cuando están maduras. Las frutas demasiado maduras se vuelven suaves y harinosas con un sabor insípido poco después de la cosecha. Las frutas recolectadas demasiado pronto o demasiado tarde son más susceptibles a trastornos fisiológicos en la postcosecha que las frutas recolectadas en la etapa adecuada de madurez (Kader, 1999).

1.5.2 Factores no biológicos

Los esfuerzos productivos para obtener fruta de calidad pueden ser en vano si después de la cosecha no se manipula debidamente la fruta o no se brindan las condiciones necesarias para su conservación. Esta consideración es especialmente importante en países que se encuentran lejos de aquellos que exportan fruta fresca que requiere conservación bajo ambientes controlados y otras técnicas que permitan mantener la calidad (Wills *et al.*, 1998). A continuación, se describen algunos factores que normalmente son controlados para alargar la vida útil de productos perecederos.

1.5.2.1 Temperatura

Las altas temperaturas ($> 20^{\circ}\text{C}$) ocasionan una rápida degradación del fruto, al acelerar la tasa de respiración y de producción de etileno, así como el desarrollo de enfermedades (Kader, 2011). En consecuencia, el uso de bajas temperaturas de almacenamiento es considerada la principal técnica de conservación de la calidad de los productos agrícolas, dada su efectividad en retrasar la senescencia del producto (Zhao *et al.*, 2022). Sin embargo, los productos hortofrutícolas presentan diferentes límites de tolerancia a las bajas temperaturas y, por lo tanto, la presencia de fisiopatías o daños por frío durante el almacenamiento es uno de los parámetros que se debe considerar al seleccionar la temperatura de conservación (de Freitas y Pareek, 2016). La presencia de daño por frío depende del cultivo y puede presentarse a partir de los 0°C . Dependiendo del grado de daño los frutos y los vegetales se han catalogado en tres grupos: 1) resistentes al frío, los que a menor temperatura mayor será el tiempo de conservación y vida útil; 2) sensibles al frío, los que, al ser almacenados, deben estar por encima de la temperatura límite de tolerancia (generalmente entre 10°C y 13°C); fuera de este rango, se presenta una reducción de su vida útil conforme baja la temperatura; 3) ligeramente sensibles al frío son los frutos que resisten temperaturas entre 3°C y 4°C (Barman *et al.*, 2019).

El almacenamiento de los frutos de gulupa durante su comercialización debe realizarse bajo condiciones de refrigeración entre 8 y 12°C , con el fin de prolongar la vida útil del producto. Los frutos de gulupa pueden ser almacenados a temperatura ambiente por un máximo de nueve días. Bajo estas condiciones, la pérdida de masa puede encontrarse entre el 8 % y 13 % con respecto al peso del fruto durante el empacado, y como consecuencia, se observa deshidratación de la cáscara del fruto. Para la exportación de la gulupa, es recomendable almacenar los frutos refrigerados, dado que se ha encontrado que los frutos bajo estas condiciones pueden prolongar su vida útil en un 67 %, lo cual favorece su comercialización a destinos lejanos (Orjuela *et al.*, 2011).

1.5.2.2 Humedad relativa

La humedad relativa del aire alrededor del producto es importante tanto en el almacenamiento a corto como a largo plazo para evitar la descomposición del producto causada por los microorganismos asociados. La humedad relativa del aire afecta el logro del enfriamiento y la calidad del producto. El aire seco puede provocar la desecación del producto, lo que puede afectar la apariencia y ciertamente reduce el peso vendible. El aire muy húmedo puede provocar el crecimiento de moho y bacterias en muchas frutas y verduras. La humedad relativa debe ser lo suficientemente alta para evitar una pérdida excesiva de humedad del producto (Dincer, 2010). El contenido de agua de los productos frescos varía entre el 55 y el 95 %, y en general, la humedad relativa durante el almacenamiento debe ser del 85 al 90 % para las frutas, del 90 al 95 % para las hortalizas de hoja y los tubérculos, y aproximadamente del 85 al 90 % para otras hortalizas (Hall y Davis, 1979). Por encima de estos valores se fomentará el deterioro y la baja humedad aumentará la pérdida de peso. La humedad relativa del aire alrededor del producto depende de: i) la actividad del agua en la superficie del producto; ii) la tasa de ventilación del aire fresco; iii) la humedad relativa del aire fresco; iv) la temperatura del serpentín de refrigerante en relación con el punto de rocío del aire en el almacén (Dincer, 2010).

El almacenamiento de la gulupa debe hacerse en cuartos fríos y empaques que protejan el fruto de daños mecánicos (canastillas o cajas de cartón), de contaminación (envolturas o bolsas) y de daños por frío, fáciles de apilar y que faciliten la manipulación. Dado que la gulupa

es susceptible a la deshidratación, los cuartos de almacenamiento deben proporcionar una humedad relativa del 85 % al 90 % (Orjuela *et al.*, 2011).

1.5.2.3 Atmósferas modificadas

La tecnología de almacenamiento de atmósferas modificadas (AM) es comúnmente utilizada en la conservación de frutas y verduras para incrementar su tiempo de vida útil (Wood *et al.*, 2022). Para los productos conservados sin ningún tipo de procesamiento, según Castellanos *et al.*, (2016), se debe equilibrar la respiración y el paso de gases a través del empaque mediante la disminución de la concentración de O₂ y mantener la concentración de CO₂ en la parte superior del empaque de forma controlada. Para garantizar el equilibrio en la AM, los materiales más utilizados son películas poliméricas de diferentes calibres y tamaños, flexibles o semiflexibles, con o sin perforaciones (Castellanos y Herrera, 2017).

Entre los beneficios que presentan las AM se encuentran el retraso en la maduración del producto, la menor producción de etileno, la reducción de daños por frío y en el desarrollo de enfermedades fitopatógenas, entre otros (Barreiro y Sandoval 2006). Pese a los beneficios, también pueden presentarse afectaciones negativas durante el almacenamiento cuando se presentan procesos relacionados con el metabolismo anaerobio dando origen a alcoholes y aldehídos que desencadenan olores y sabores desagradables (De la Vega *et al.*, 2017).

Para la comercialización tipo exportación de la gulupa, lo más recomendable es el uso de envolturas acompañadas de refrigeración, que puedan prolongar la vida útil del producto hasta por 40 días (en empaque Makropol M) y por 30 días (en empaque Xtend). Las temperaturas recomendadas deben ser superiores a 8 °C para alcanzar los cambios de maduración asociados a los cambios físicos, químicos y fisiológicos, e inferiores a 12 °C para prolongar la vida útil del producto, retardando la maduración durante el transporte o el almacenamiento (Orjuela *et al.*, 2011).

1.5.2.4 Empaques

Un elemento efectivo de conservación de alimentos frescos o mínimamente procesados es el empaque. Durante el transporte, se pueden presentar riesgos a la calidad y la cantidad del alimento, no solo es suficiente la refrigeración, sino que requiere un empaque que modifique la atmósfera en su interior, de manera que retarde la maduración y el deterioro. Los materiales usados para el empaque de productos hortofrutícolas deben tener propiedades inertes para evitar la contaminación y la migración de sustancias o compuestos indeseables. El desarrollo de materiales para empaque se centra en propiedades como la permeabilidad al vapor de agua y, a los gases, así como la apariencia, para hacerlos atractivos al consumidor y altamente eficientes en el manejo del producto (Asohofrucol, 2013).

Al empacar un alimento, se modifica su atmósfera, de modo que la maduración se ve retrasada por los cambios en la composición del medio donde se encuentra el producto. Un alimento fresco, empacado, continúa respirando y consume oxígeno. Al reducir la cantidad de oxígeno disponible se reduce la respiración del alimento y en consecuencia su maduración. Las atmósferas modificadas se logran mediante materiales de empaque que permiten el intercambio de gases como el etileno, el amoniaco y el sulfuro de hidrógeno, que reducen las tasas respiratorias del alimento al concentrar el CO₂ (Asohofrucol, 2013).

El alimento consume el oxígeno que queda dentro del empaque y es remplazado por dióxido de carbono producto de la respiración aeróbica. El material usado para el empaque restringe el intercambio de gases que entran y salen de acuerdo con su permeabilidad selectiva al oxígeno y al dióxido de carbono. Con el tiempo, el sistema alcanza una atmósfera modificada en equilibrio con un porcentaje de oxígeno menor y una concentración de dióxido de carbono mayor al que se encuentra normalmente en el aire (20,9 y 0,045 %, respectivamente) (Denoya *et al.*, 2015).

Bureau (1995) menciona que la principal característica que se debe considerar cuando se seleccionan los materiales para el envasado de frutas y hortalizas son permeabilidad y selectividad para los gases, transparencia y brillo, peso ligero, no tóxicos, resistencia a la rotura y al estiramiento, facilidad para sellarse por calor a temperaturas relativamente bajas, que no reaccionen con el producto, buena resistencia térmica y reluctancia al ozono, buena transmisión del calor, adecuado para uso comercial y facilidad de manejo y etiquetado.

Un trabajo de investigación realizado por Orjuela *et al.* (2011) determinó que la pérdida de peso al cabo de 30 días de almacenamiento de frutos de gulupa (*Passiflora edulis* Sims f. *edulis*), almacenados a temperatura ambiente presentaron mayor porcentaje de pérdida de peso respecto a los refrigerados, siendo menor la pérdida de peso en los frutos empacados en Makropol M (3 %) con respecto a los empaques Xtend (10 %) y control (20 %). También se determinó que la temperatura de refrigeración de 10 °C retardó el proceso de maduración de los frutos, principalmente los que tuvieron entre el 75 y el 100 % de coloración púrpura, pero los frutos a temperaturas más bajas sufrieron lesiones asociadas al daño por frío.

1.6 Bibliografía

Abedi, T., Alemzadeh, A., Kazemeini, S. (2010). Effect of organic and inorganic fertilizers on grain yield and protein banding pattern of wheat. Australian Journal of Crop Science, 4: 384-389.

Albert, MO. (2015). Efectos fisiológicos de las sustancias húmicas sobre los mecanismos de toma de hierro en plántulas de tomate [Tesis Doctoral]. Universidad de Alicante. San Vicente del Raspeig (Alicante), España.

Ali, M. M., Yousef, A. F., Li, B., and Chen, F. (2021). Effect of environmental factors on growth and development of fruits. Tropical Plant Biology, 14: 226-238. <https://doi.org/10.1007/s12042-021-09291-6>

Ali, M.E., Islam, M.R. and Jahiruddin, M. (2009). Effect of integrated use of organic manures with chemical fertilizers in the rice-rice cropping system and its impact on soil health. Bangladesh Journal of Agricultural Sciences, 34(1): 81-90.

Anchivilca R., G. H. (2018). Abonamiento orgánico y fertilización NPK en arveja verde (*Pisum sativum* L.) Cv. Rondo, bajo riego por goteo en Tupicocha, Huarochirí. [Tesis de pregrado]. Universidad Nacional Agraria La Molina. Perú.

Andrade, C.A.W., Miguel, A.C.A., Spricigo, P.C., Dias, C.T.S., Jacomino, A.P. (2017). Comparison of quality between organic and conventional strawberries from multiple farms. Revista Brasileira de Fruticultura, 39(2): e-405. <https://doi.org/10.1590/0100-29452017045>

Ángel C., C., Nates P., G., Ospina T., R., y Melo O., C. D. (2011). Biología floral y reproductiva de la gulupa *Passiflora edulis* Sims f. *edulis*. Caldasia, 33(2): 433–451.

Angulo Rodríguez, F. R. (2010). Evaluación de cuatro bioestimulantes comerciales en el desarrollo de plantas injertadas de cacao (*Theobroma cacao* L.) cultivar Nacional. [Tesis de Pregrado]. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Ecuador. <http://dspace.espoch.edu.ec/bitstream/123456789/319/1/13T0621.pdf>

Angulo, R. (2009). Gulupa *Passiflora edulis* var. *edulis* Sims. Bayer CropScience S. A. <https://bit.ly/37OjW3s>

Amorim-Pereira, P. P., Silva-Lima, L. K., Soares, T. L., Ferraz-Laranjeira, F., Nunes de Jesus, O., & Girardi, E. A. (2019). Initial vegetative growth and survival analysis for the assessment of Fusarium wilt resistance in *Passiflora* spp. Crop Protection, 121: 195–203. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2019.03.018>

Aristizábal Gutiérrez, F. A. y Cerón Rincón, L. E. (2012). Dinámica del ciclo del nitrógeno y fósforo en suelos. Revista Colombiana de Biotecnología, 14(1): 285–295. <https://revistas.unal.edu.co/index.php/biotecnologia/article/view/32889>

Asohofrocol. (2013). Plan Hortícola Nacional. Canasta de Productos del Plan Hortícola Nacional, Bogotá, Colombia.

Ayeni, L.S., Adetunji, M.T. (2010). Integrated application of poultry manure and mineral fertilizer on soil chemical properties, nutrient uptake, yield and growth components of maize. Nature and Science, 8: 60-67.

Barman, K., Sharma, S and Siddiqui, M. (2019). Emerging postharvest treatment of fruits and vegetables. Postharvest Biology and Technology. Chapter 1. Postharvest treatments to alleviate chilling injury in fruits and vegetables. Apple Academic Press Inc.

Barreiro, J and Sandoval, J. (2006). Operaciones de Conservación de Alimentos por Bajas Temperaturas. Editorial Equinoccio, Caracas, Venezuela

Benítez, S., León, W. de, Farfán, L., Castillo, S., y Carvajal, L. H. (2011). Proceso infectivo de la mancha de aceite causada por *Xanthomonas axonopodis* en gulupa (*Passiflora edulis* Sims). Revista Fitopatología Colombiana, 35(2): 57–62.

Benkeblia, N., Tennant, D. P. F., Jawandha, S. K., and Gill, P. S. (2011). Preharvest and harvest factors influencing the postharvest quality of tropical and subtropical fruits. In: Postharvest biology and Technology of Tropical and Subtropical Fruits. p. 112-142e. Woodhead Publishing. <https://doi.org/10.1533/9780857093622.112> <https://doi.org/10.1533/9780857093622.112>

Bermeo Escobar, L. P. (2021). Evaluación de la influencia del grado de madurez de la gulupa (*Passiflora edulis* Sims) sobre la aceptación sensorial en productos alimenticios. Enfoque UTE: Facultad de Ciencias de La Ingeniería e Industrias - Universidad UTE. 12(1): 29–43. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8270439&info=resumenyidioma=ENG>

Blum, W.E.H. (1993). Soil protection concept of the council of Europe and integrated soil research. p. 37–47. In: Integrated soil and sediment research: A basis for proper protection, soil and environment. Conference Proceedings. H.J.P. Eijssackers and T. Hamer (eds.). Springer: Dordrecht, Netherland. https://doi.org/10.1007/978-94-011-2008-1_5

Bodruzzaman, M., Meisner, C.A., Sadat, M.A., Hossain, M.I. (2010). Long-term effects of applied organic manures and inorganic fertilizers on yield and soil fertility in a heat-rice cropping pattern. 19th World Congress of Soil Science, Soil Solutions for a Changing World 1 – 6 August 2010, Brisbane, Australia.

Borges, A.L. and A.A. Lima. (2007). Passion fruit. p. 163-178. In: Fertilizing for high yields and quality: Tropical fruits of Brazil. Johnston, A.E. (ed.). IPI Bulletin 18, International Potash Institute, Horgen, Switzerland.

Brar, B.S., Singh, J., Singh, G. and Kaur, G. (2015). Effects of long-term application of inorganic and organic fertilizers on soil organic carbon and physical properties in maize-wheat rotation. Agronomy, 5: 220-238.

Bueno, C. J., Fischer, I. H., Rosa, D. D., Firmino, A. C., Harakava, R., Oliveira, C. M. G., & Furtado, E. L. (2014). *Fusarium solani* f. sp. *passiflorae*: A new forma specialis causing collar rot in yellow passion fruit. Plant Pathology, 63(2): 382–389. <https://doi.org/10.1111/ppa.12098>

Bureau, G. (1995). Embalaje de los alimentos de gran consumo. Trad. MC Rebollar y E Sevillano. Zaragoza, España. Editorial Acribia S.A. p. 3-17

Camelo G., V. M. (2010). Detección e identificación de los virus patógenos de cultivos de gulupa (*Passiflora edulis* Sims) en la región del Sumapaz (Cundinamarca). [Tesis de Maestría]. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia. <http://www.bdigital.unal.edu.co/3095/1/790635.2010.pdf>

Cameron, K. C., Di, H. J., and Moir, J. L. (2013). Nitrogen losses from the soil/plant system: a review. Annals of Applied Biology, 162(2): 145-173. <https://doi.org/10.1111/aab.12014>

Card, A., Whiting, D., Wilson, C., and Reeder, J. (2008). Organic Fertilizers. Colorado Master Gardener. <https://cmg.extension.colostate.edu/Gardennotes/234.pdf>

Cárdenas-Pira, W.T., Torres-Moya, E, Magnitskiy, S., and Melgarejo, L.M. (2021). Physiological responses of purple passion fruit (*Passiflora edulis* Sims F. Edulis) plants to deficiencies of the macronutrients, Fe, Mn, and Zn during vegetative growth. International Journal of Fruit Science, 21(1): 344-358. doi.org/10.1080/15538362.2021.1890673.

Castellanos, D and Herrera, A. (2017). Postharvest Handling. Modified Atmosphere Packaging: Design and Optimization Strategies for Fresh Produce. Chapter 5. Ed. INTECH. 86-106p. doi: 10.5772/intechopen.68498

Castellanos, D. A., Herrera, D. R., and Herrera, A. O. (2016). Modelling water vapour transport, transpiration and weight loss in a perforated modified atmosphere packaging for feijoa fruits. Biosystems Engineering, 151: 218-230. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2016.08.015>

Castro S., P. (2017). Determinacion de las curvas y acumulacion de nutrientes en la variedad Abion de Fresa (*Fragaria x Ananassa*) para establecer los requerimientos nutricionales

de las plantaciones desarrolladas en la zona de Fraijanes, Canton Central de Alajuela. [Tesis de Pregrado]. Universidad de Costa Rica. San Pedro, Costa Rica. <http://repositorio.sibdi.ucr.ac.cr:8080/jspui/bitstream/123456789/4326/1/41647.pdf>

Cerdas, M., and Castro, J. (2003). Manual practico para la produccion, cosecha y manejo poscosecha del cultivo de granadilla (*Pasiflora logularis*, juss). http://www.mag.go.cr: http://www.mag.go.cr/biblioteca_virtual_ciencia/tec-granadilla.pdf

Chen, J.H. (2006). The combined use of chemical and organic fertilizers and/or biofertilizer for crop growth and soil fertility. In: International Workshop on Sustained Management of the Soil-Rhizosphere System for Efficient Crop Production and Fertilizer Use, Bangkok, p. 1-11.

Chitarra, M. I. F., and Chitarra, A. B. (2005). Pós-colheita de frutas e hortaliças: fisiologia e manuseio. Editora UFLA. Lavras: Universidade Federal de Lavras.

Cruz A., M., Hoyos C., L., y Melgarejo, L. M. (2012). Respuesta fisiológica de la gulupa (*Passiflora edulis* Sims) frente al ataque por fusarium spp. In: Ecofisiología del cultivo de la Gulupa (*Passiflora edulis* Sims) p. 91–113. Universidad Nacional de Colombia. http://bdigital.unal.edu.co/8547/13/07_Cap05.pdf

Cruz Aguilar, M. (2012). Respuesta fisiológica y bioquímica de gulupa (*Passiflora edulis* Sims) afectada por fusariosis (*Fusarium* sp.) Universidad Nacional de Colombia. <http://www.bdigital.unal.edu.co/9900/>

Cruz Koizumi, Y. P. (2015). Análisis comparativo de calidad suelo y productividad en dos sistemas de cultivo de tomate verde (*Physalis ixocarpa*) en Calakmul, Campeche. [Tesis de Maestría]. El Colegio de la Frontera Sur. Campeche, México. https://ecosur.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1017/1399/1/100000056324_document o.pdf

Damatto Junior, E.R., Leonel, S., Pedroso, C.J. (2005). Adubação orgânica na produção e qualidade de frutos de maracujá-doce. Revista Brasileira de Fruticultura, 27(1): 188-190. <https://doi.org/10.1590/S0100-29452005000100051>

de Freitas, S. T., and Pareek, S. (2008). Postharvest physiological disorders in fruits and vegetables. New Zealand Journal of Agricultural Research, 3: 169-178.

De la Vega, J. C., Cañarejo, M. A., y Pinto, N. S. (2017). Avances en tecnología de atmósferas controladas y sus aplicaciones en la industria. Una revisión. Información Tecnológica, 28(3): 75-86. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642017000300009>

Denoya, G. I., Vaudagna, S. R., Polenta, G. (2015). Effect of high-pressure processing and vacuum packaging on the preservation of fresh-cut peaches. LWT - Food Science and Technology, 62(1): p. 801–806. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2014.09.036>

Dhiman, D., Sharma, R., Sankhyan, N. K., Sepehya, S., Sharma, S. K., and Kumar, R. (2019). Effect of regular application of fertilizers, manure and lime on soil health and productivity of wheat in an acid Alfisol. Journal of Plant Nutrition, 42(19): 2507-2521. <https://doi.org/10.1080/01904167.2019.1659317>

Dincer, I. (2010). Food Refrigeration Aspects. In Mathematical Modeling of Food Processing, p. 399-452. CRC Press.

Doan, T. T., Henry-Des-Tureaux, T., Rumpel, C., Janeau, J. L., and Jouquet, P. (2015). Impact of compost, vermicompost and biochar on soil fertility, maize yield and soil erosion in Northern Vietnam: A three-year mesocosm experiment. *Science of the Total Environment*, 514: 147–154. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.02.005>

Efthimiadou, A., Bilalis, D., Karkanis, A. and Williams, B.F. (2010). Combined organic/inorganic fertilization enhances soil quality and increased yield, photosynthesis and sustainability of sweet maize crop. *Australian Journal of Crop Science*, 4: 722-729.

Elkholy, M.M., Samira, E., Mahrous and El-Tohamy, S.A. (2010). Integrated effect of mineral, compost and biofertilizers on soil fertility and tested crops productivity. *Research Journal of Agriculture and Biological Sciences*, 5: 453-465.

Escobar EF. (2015). Efecto de bioestimulantes foliares en el rendimiento del cultivo de berenjena. [Tesis de Pregrado]. Universidad Rafael Landívar, Ocós, San Marcos. Guatemala.

FAO (2002). Los fertilizantes y su uso. 4ta edición. FAO e IFA. Roma. 77 p.

FAO. (1993). Prevención de pérdidas de alimentos poscosecha: Frutas, hortalizas, raíces y tubérculos. Capacitación N°17. Roma, Italia. 183 p. http://books.google.com.pe/books?id=32e7Ezy76DYCyprintsec=frontcoverhl=esysource=gbs_ge_summary_rycad=0#v=onepageyqyf=false

Félix, J. A., R. R. Sañudo, G. E. Rojo, R. Martínez y V. Oalde. (2008). Importancia de los abonos orgánicos. Ra Ximhai, 4(1): 57-67.

Fischer, G., Ramírez, F., and Casierra-Posada, F. (2016). Ecophysiological aspects of fruit crops in the era of climate change. A review. *Agronomía Colombiana*, 34(2): 190-199. <https://doi.org/10.15446/agron.colomb.v34n2.56799>

Flórez G., L. M. (2012). Caracterización fisiológica y bioquímica del fruto de gulupa (*Passiflora edulis* Sims) bajo tres ambientes contrastantes. [Tesis de Maestría]. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia. <http://www.bdigital.unal.edu.co/10595/>

Flórez, L. M., Pérez, L. V., Melgarejo, L. M., y Hernández, S. (2012a). Caracterización fisicoquímica, fisiológica y bioquímica del fruto de gulupa (*Passiflora edulis* Sims) como indicadores para el punto óptimo de cosecha. Cap. 3 In: *Ecofisiología del cultivo de la gulupa*. Ed. Melgarejo, L. M. p. 53-79. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia. https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/11145/05_Cap03.pdf?sequence=9&isAllowed=y.

Flórez, L. M., Pérez, L. V., Melgarejo, L. M. (2012b). Manual calendario fenológico y fisiología del crecimiento y desarrollo del fruto de gulupa (*Passiflora edulis* Sims) de tres localidades del departamento de Cundinamarca. In: *Ecofisiología del Cultivo de la Gulupa* (*Passiflora edulis* Sims). Melgarejo L.M. (Ed), p. 33–51. Universidad Nacional de Colombia. http://bdigital.unal.edu.co/8547/7/04_Cap02.pdf

Fonseca-Trujillo, N., Márquez-Cardona, M. D. P., Moreno-Osorio, J. H., Terán-Pérez, W., and Schuler-García, I. (2009). Caracterización molecular de materiales cultivados de gulupa (*Passiflora edulis* f. *edulis*). *Universitas Scientiarum*, 14(2): 135-140.

Franco, G. (2013). Caracterización fisiológica del fruto de gulupa (*Passiflora edulis* Sims), en condiciones del Bosque Húmedo Montano Bajo de Colombia. [Tesis Doctoral]. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá. Colombia. <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/20467/10253852.2013.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Freitas, M.S.M., P.E. Monnerat, L.G.d.R. Pinho, and A.J.C. Carvalho. (2006). Deficiência de macronutrientes e boro em maracujázeiro doce: Qualidade dos frutos. Revista Brasileira de Fruticultura, 28(3): 492-496. <https://doi.org/10.1590/S0100-29452006000300033>

Galindo, J. R.; Gómez, S. (2010). Gulupa (*Passiflora edulis* Sims) producción y manejo poscosecha. Corredor tecnológico agroindustrial, Cámara de comercio de Bogotá. 110 p.

García L. (2002). Producción integrada: una alternativa en el tránsito a la agricultura sostenible. Centro de estudios de agricultura sostenible, Universidad Agraria de La Habana. Cuba.

García, M., García H. (2001). Manejo cosecha y postcosecha de mora, lulo y tomate de árbol. CORPOICA, Bogotá Colombia. 99 p.

Garvin D. A. (1984). What Does Product Quality Really Mean. *Sloan Management Review*, 26(1): 25–43. http://oqrm.org/English/What_does_product_quality_really_means.pdf

González R., G. C. y Bustos M., S. D. (2017). Evaluación de la actividad biológica de dos extractos vegetales de *Piper arthante* y *Piper eriopodon* para el control de *Fusarium oxysporum* en plántulas de gulupa (*Passiflora edulis* Sims). [Tesis de Pregrado]. Universidad de Cundinamarca. Fusagasugá, Colombia.

Gordillo Alarcón, L. A. (2011). Incidencia del *Soybean mosaic virus* en cultivos de gulupa (*Passiflora edulis* Sims.) en Cundinamarca y estudio de su diversidad en Colombia. [Tesis de Maestría]. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia. <http://www.bdigital.unal.edu.co/6937/>

Goswami, L., Gorai, P. S., and Mandal, N. C. (2021). Microbial fortification during vermicomposting: A brief review. *Recent Advancement in Microbial Biotechnology*, Academic Press, 99-122. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-822098-6.00011-2>

Grunert K. G. (2005). Food Quality and Safety: Consumer Perception and Demand. *European Review of Agricultural Economics*, 32(3): 369–391. <https://doi.org/10.1093/eurrag/jbi011>

Guerrero L., E., Potosí G., C., Melgarejo, L. M., y Hoyos C., L. (2012). Manejo agronómico de gulupa (*Passiflora edulis* Sims) en el marco de las Buenas Prácticas Agrícolas (BPA). In: *Ecofisiología del cultivo de la Gulupa (*Passiflora edulis* Sims)*. Melgarejo L.M. (Ed) p. 123–144. Universidad Nacional de Colombia. http://bdigital.unal.edu.co/8547/16/09_Cap07.pdf

Gupta, R., and Garg, V. K. (2017). Vermitechnology for organic waste recycling. In: *Current Developments in Biotechnology and Bioengineering*, p. 83-112. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63664-5.00005-8>

Gutiérrez, M. I., Miranda, D., Cárdenas H., J. F. (2011). Efecto de tratamientos pregerminativos sobre la germinación de semillas de gulupa (*Passiflora edulis* Sims.), granadilla

(*Passiflora ligularis* Juss.) y cholupa (*Passiflora maliformis* L.). Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas, 5(2): 209–219.

Hajam, Y. A., Kumar, R., and Kumar, A. (2023). Environmental waste management strategies and vermi transformation for sustainable development. Environmental Challenges, 13: 100747. <https://doi.org/10.1016/j.envc.2023.100747>

Hall, C. W., and Davis, D. C. (1979). Processing equipment for agricultural products. Second edition. AVI Publishing Co., Inc. Westport, Connecticut.

Han, S.H., Young, J., Hwang, J., Kima, S.B. and Parka, B. (2016). The effects of organic manure and chemical fertilizer on the growth and nutrient concentrations of yellow poplar (*Liriodendron tulipifera* Lin.) in a nursery system. Forest Science and Technology, 12: 137-143. <https://doi.org/10.1080/21580103.2015.1135827>

Hernández, M. S., y Melgarejo, M. S. (2011). Pos cosecha de la Gulupa. Bogotá. Universidad Nacional de Colombia.

Higuera M., M. C. (2017). Aprovechamiento de la cáscara de gulupa como fuente de pectina para la industria alimentaria. [Tesis de Pregrado]. Universidad de la Salle, Bogotá Colombia.

https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1052&context=ing_alimentos

Horno G. (2006). Sistema de calidad en el sector de aceitunas de mesa. I Jornada Internacional. España.

Janghel, D. K., Aware, S. A., Jondhale, A. S., and Ratilal, C. (2023). Genetic Revolution in Agriculture: Unleashing the Power of Plant Genetics. Elite Publishing House. New Delhi. 25 p.

Jiménez, Y., Carranza, C., and Rodríguez, M. (2009). Manejo integrado del cultivo de gulupa (*Passiflora edulis* Sims). In: Cultivo, poscosecha y comercialización de las pasifloráceas en Colombia: maracuyá, granadilla, Gulupa y Curuba. Miranda D., Fischer G. (Eds), p. 159-189. Sociedad Colombiana de Ciencias Hortícolas. Bogotá, Colombia.

Jiménez T., A. M. (2010). Estudio de los cambios físicos y químicos de la gulupa (*Passiflora edulis* Sims fo. *edulis*) durante la maduración. [Tesis de Maestría]. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá Colombia. <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/7600/197493.2011.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Jiménez, J., Carranza, C., and Rodríguez, M. (2012). Gulupa (*Passiflora edulis* Sims), in: Fischer G. (Ed.), Manual para el cultivo de frutales en el trópico. Produmedios, Bogotá, Colombia. p. 579–599.

Kader A. A. (2008). Flavor quality of fruits and vegetables. Journal of The Science of Food and Agriculture, 88: 1863–1868. <https://doi.org/10.1002/jsfa.3293>

Kader, A. A. (1999). Fruit maturity, ripening, and quality relationships. Acta Horticulturae, 485: 203–208. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.1999.485.27>

Kader, A. A., and Rolle, R. S. (2004). The role of post-harvest management in assuring the quality and safety of horticultural produce. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Services Bulletin 152. FAO, Rome.

Kader, A. A., Barrett, D. M. (2005). Classification, composition of fruits, and postharvest maintenance of quality. In: Processing fruits: Science and Technology. Barrett D. M., Somogyi L., and Ramaswamy H., CRC Press. 861 p.

Kader, A., Pelayo, C. (2011). Tecnología postcosecha de cultivos hortofrutícolas. Biología y tecnología postcosecha: un panorama. Trad. Edmundo Mercado. Universidad de California. 390 p.

Koch, A., M.C. Bratney, M. Adams, D. Field, R. Hill, J. Crawford, B. Minasny, R. Lal, L. Abbott, A.G. O'Donnell, et al. (2013). Soil security: solving the global soil crisis. Global Policy, 4(4): 434–441.

Ladan M., R. A., Ardebili, Z. O., Saidi, F. (2012). Vermicompost induced changes in growth and development of *Lilium Asiatic* hybrid var. Navona. African Journal of Agricultural Research, 7(17): 2609–2621. <https://doi.org/10.5897/AJAR11.1806>

Ladaniya, M.S. (2008). Preharvest factors affecting fruit quality and postharvest life. p. 79–102. In: Ladaniya, M.S. (ed.). Citrus fruit, biology, technology and evaluation. Elsevier, Oxford, U.K.

Lana, R. M. Q., Oliveira, S. A. D., Lana, Â. M. Q., and Faria, M. V. D. (2010). Levantamento do estado nutricional de plantas de *Coffea arabica* L. pelo DRIS, na região do Alto Paranaíba-Minas Gerais. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 34: 1147-1156. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832010000400014>

Lawless H. (1995). Dimensions of Sensory Quality: A Critique. Food Quality and Preference, 6: 191–199. [https://doi.org/10.1016/0950-3293\(94\)00023-O](https://doi.org/10.1016/0950-3293(94)00023-O)

Léchaudel M. and Joas J. (2007). An overview of preharvest factors influencing mango fruit growth, quality and postharvest behavior. Brazilian Journal of Plant Physiology, 19: 287–298. <https://doi.org/10.1590/S1677-04202007000400004>

Lee KS, Kader AA. (2000). Pre-harvest and postharvest factors influencing vitamin-C content of horticultural crops. Postharvest Biology and Technology, 20: 207–220. [https://doi.org/10.1016/S0925-5214\(00\)00133-2](https://doi.org/10.1016/S0925-5214(00)00133-2)

Lobo, M., and Medina, C. I. (2009). Recursos genéticos de pasifloráceas en Colombia. In: Cultivo, Poscosecha y Comercialización de las Pasifloráceas en Colombia: Maracuyá, Granadilla, Gulupa y Curuba, Miranda D., Fischer G. (Eds), p. 7-18. Sociedad Colombiana de Ciencias Hortícolas. Bogotá, Colombia.

Lopez, C., Salazar, A. H., Ocampo, J., Silva, D. F. P. da., & Ceballos, N. A. (2022). Economic and quality study of purple passion fruit grafted on a fusarium wilt tolerant rootstock. Bragantia, 81: e3522. <https://doi.org/10.1590/1678-4499.20220055>

Lososová, Z., Kolářová, M., Tyšer, L., and Lvončík, S. (2011). Organic, integrated and conventional management in apple orchards: effect on plant species composition, richness and

diversity. Acta Universitatis Agriculturae Et Silviculturae Mendelianae Brunensis, 59: 151-158. <https://actavia.mendelu.cz/pdfs/acu/2011/05/18.pdf>.

Lynch, D. (2009). Environmental impacts of organic agriculture: A Canadian perspective. Canadian Journal of Plant Science, 89(4): 621-628. <https://doi.org/10.4141/CJPS08165>

Mahmood, F., Khan, I., Ashraf, U., Shahzad, T., Hussain, S., Shahid, M., Abid, M. and Ullah, S. (2017). Effects of organic and inorganic manures on maize and their residual impact on soil physico-chemical properties. Journal of Soil Science and Plant Nutrition, 17: 22-32. <https://doi.org/10.4067/S0718-95162017005000002>

Malagón Pinzón, J. C., and Malagón Espitia, N. J. (2011). Determinación de deficiencia inducida de nutrientes en gulupa (*Passiflora edulis* var *edulis* Sims). [Tesis de Pregrado]. Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales UDCA. Bogotá, Colombia.

Mari, M., Bautista-Banos, S., and Sivakumar, D. (2016). Decay control in the postharvest system: Role of microbial and plant volatile organic compounds. Postharvest Biology and Technology, 122: 70-81. <https://doi.org/10.1016/j.postharbtech.2016.04.014>

Marín H., J.J. y Rengifo M., P.A. (2018). Determinación de curvas de extracción en la gulupa (*Passiflora edulis* f. *edulis* Sims) en el municipio de Sonsón, Antioquia. Encuentro Sennova Del Oriente Antioqueño, 4(1): 47–61. <https://revistas.sena.edu.co/index.php/Encuentro/article/view/2056>.

Martínez Camargo, M. A. (2020). Caracterización de la diversidad genética de passifloras en el departamento de Boyacá con fines de aprovechamiento y conservación. [Tesis de Maestría], Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Tunja, Colombia.

Mditshwa, A., Magwaza, L. S., Tesfay, S. Z., Mbili, N. (2017). Postharvest quality and composition of organically and conventionally produced fruits: A review. Scientia Horticulturae, 216: 148-159. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2016.12.033>.

Melgarejo, L. M. (2012). Ecofisiología del cultivo de Gulupa. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.

Miranda, D., Fischer, G., Carranza, C., Magnitskiy, S., Casierra, F., Piedrahita, W., y Florez, L. E. (2009). Ecofisiología de las especies pasifloráceas cultivadas en Colombia. In: Cultivo, poscosecha y comercialización de las pasifloráceas en Colombia: Maracuyá, Granadilla, Gulupa y Curuba. Miranda D., Fischer G., Carranza C., Fáñor S. M., Wilson C., Luis P., and Flórez E. (Eds.). Sociedad Colombiana de Ciencias Hortícolas, Bogotá, Colombia. p. 45-67 <https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/12824/56969.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Molina R., J. (2010). Aislamiento y caracterización de hongos patógenos presentes en lulo, tomate de árbol y mora de castilla potencialmente patógenos para los cultivos de gulupa (*Passiflora edulis* var. *edulis* Sims). [Tesis de Pregrado]. Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá, Colombia.

Mungai, N.W., Bationo, A. and Waswa, B. (2009). Soil properties as influenced by soil fertility management in small scale maize farms in Njoro, Kenya. Journal of Agronomy, 4: 131-136. <https://doi.org/10.3923/ja.2009.131.136>

Nakasone, H. y R.E. Paull. 1998. Tropical fruits. CAB International, Wallingford, UK. p. 270-291.

Nates-Parra, G., Amaya M., M., Ospina T., R., Ángel C., C., Medina G., J. (2012). Biología floral, reproductiva, polinización y polinizadores en gulupa (*Passiflora edulis* var. *edulis*). In: Ecofisiología del cultivo de la Gulupa (*Passiflora edulis* Sims) p. 115–121. Universidad Nacional de Colombia. <http://www.bdigital.unal.edu.co/8547/>

Navarro, G., S. Navarro. (2013). Química agrícola. Ediciones Mundi-Prensa.Madrid, España. 508 p.

Nyalemegbe, K.K., Oteng, J.W., Brempong, S.A. (2009). Integrated organic-inorganic fertilizer management for rice production on the vertisols of the Accra Plains of Ghana. West Africa Journal of Applied Ecology, 16: 23-33.

Ocampo P., J., Coppens d'Eeckenbrugge, G., Jaramillo, N. (2009). Caracterización agromorfológica del maracuyá (*Passiflora edulis* f. *flavicarpa*) y de la gulupa (*Passiflora edulis* Sims.). In: Cultivo, poscosecha y comercialización de las pasifloráceas en Colombia: maracuyá, granadilla, gulupa y curuba. G. Fischer, D. Miranda, C. Carranza, S. Magnitskiy, F. Casierra, W. Piedrahíta, y L. E. Flórez (Eds.). Sociedad Colombiana de Ciencias Hortícolas.

Ocampo Pérez, J., y Posada Quintero, P. (2012). Ecología del cultivo de Gulupa. In: Tecnología para el cultivo de Gulupa en Colombia. p. 72. Ocampo Pérez J. y Wyckhuys, K. Centro de Bio Sistemas de la Universidad Jorge Tadeo Lozano, Centro Internacional de Agricultura Tropical CIAT y Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural MADR. Bogotá. https://www.utadeo.edu.co/sites/tadeo/files/node/publication/field_attached_file/tecnologia_para_el_cultivo_de_la_gulupa.pdf

Ocampo J. (2013). Diversidad y distribución de las Passifloraceae en el departamento del Huila en Colombia. Acta Biológica Colombiana,18(3): 511-516.

Ojasild R., E. L. (2009). Elaboración de néctares de gulupa (*Passiflora edulis* f. *edulis*) y curuba (*Passiflora mollissima*). [Tesis de Pregrado]. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia. [http://www.bdigital.unal.edu.co/2449/1/107416.2009.pdf?](http://www.bdigital.unal.edu.co/2449/1/107416.2009.pdf)

Olle, M. (2016). The effect of vermicompost based growth substrates on tomato growth. Journal of Agricultural Science, 1(27): 38-41. https://agrt.emu.ee/pdf/2016_1_olle.pdf

Organic Material Review Institute. (2019). The New OMRI Generic Materials List. www.omri.org

Orjuela B., N. M. (2012). Caracterización fisiológica de frutos de gulupa (*Passiflora edulis* Sims) sometidos a bajas temperaturas. [Tesis de Maestría]. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia.

Orjuela B., N. M., Moreno Ch., L., Hernández, M. S., y Melgarejo, L. M. (2011). Caracterización fisicoquímica de frutos de gulupa (*Passiflora edulis* Sims) bajo condiciones de almacenamiento. In: Poscosecha de La Gulupa (*Passiflora edulis* Sims), Melgarejo, L.M. and Hernández, M.S.(Eds). p. 33–44. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia. <https://doi.org/10.11117/12.734839>

Orjuela B., N. M., Campos A., S., Sánchez N., J., Melgarejo, L. M., Hernández, M. S. (2011). Manual de manejo poscosecha de la gulupa (*Passiflora edulis* Sims). In: Poscosecha de la gulupa (*Passiflora edulis* Sims). Melgarejo, L.M. and Hernández, M.S.(Eds). p. 7–22. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia.

Orjuela Baquero, N. M., Pérez Martínez, L. V., Flórez, L. M., Hernández, M. S., and Melgarejo, L. M. (2011). Propuesta de norma técnica colombiana, frutas frescas, gulupa, especificaciones, In: Poscosecha de la gulupa (*Passiflora edulis* Sims). Melgarejo, L.M. and Hernández, M.S., (Eds). p. 45–58. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia. http://www.bdigital.unal.edu.co/8532/7/06_Cap04.pdf

Ortiz Caranguay, H. E. (2012). Etiología de enfermedades asociadas a fusariosis en el cultivo de gulupa (*Passiflora edulis* Sims.) en la región del Sumapaz. [Tesis de Maestría]. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia.

Ortiz Vallejo, D. (2010). Estudio de la variabilidad genética en materiales comerciales de gulupa (*Passiflora edulis* f. *edulis* Sims) en Colombia. [Tesis de Maestría]. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia.

Osorio, C., Jiménez, A. M., Sierra, C. A., Rodríguez-Pulido, F. J., González-Miret, M. L., and Heredia, F. J. (2011). Physicochemical characterization of gulupa (*Passiflora edulis* Sims. f. *edulis*) fruit from Colombia during the ripening. Food Research International, 44 (7): 1912–1918. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2010.11.007>

Oster, A.H., (2011). Ferramentas para a redução de perdas em pós-colheita de frutas. Jornal da Agapomi, 208: 10–20.

Paoletti, F. (2015). Chemical composition of organic food products. In: Handbook of food chemistry, ed. Mehta, B.M., p. 555–84. Berlin, Springer.

Parra H., R. A. (2012). Caracterización fisicoquímica y sensorial de una compota a partir de gulupa (*Passiflora edulis* Sims), almidón de sagú (*Canna edulis*) y stevia. Vitae, 19(1): 219–221. https://doi.org/10.1007/978-3-319-15057-4_19

Pathma, J., and Sakthivel, N. (2012). Microbial diversity of vermicompost bacteria that exhibit useful agricultural traits and waste management potential. SpringerPlus, 1(1): 1-19. <https://doi.org/10.1186/2193-1801-1-26>

Pender, J. (2009). Food Crisis & Land: The World Food Crisis, Land Degradation, and Sustainable Land Management: Linkages, Opportunities, and Constraints. International Food Policy Research Institute.

Pérez M., L. V. y Melgarejo, L. M. (2012). Caracterización ecofisiológica de la gulupa (*Passiflora edulis* Sims) bajo tres condiciones ambientales en el departamento de Cundinamarca. In: Ecofisiología del cultivo de la Gulupa (*Passiflora edulis* Sims) p. 11–32. Universidad Nacional de Colombia. <http://www.bdigital.unal.edu.co/8547/>

Pérez, L. V. y Melgarejo, L. M. (2015). Desempeño fotosintético y potencial hídrico foliar de gulupa (*Passiflora edulis* Sims, Passifloraceae) en estado reproductivo en tres localidades de los andes colombianos. Acta Biológica Colombiana, 20(1): 183–194. <https://doi.org/10.15446/abc.v20n1.42196>

Peri C., (2006). The Universe of Food Quality. *Food Quality and Preference*, 17(1): 3–8. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2005.03.002>

Petry, H.B., Koller, O.C., Bender, R.J., Schwarz, S.F. (2012). Qualidade de laranjas 'Valênciâ' produzidas sob sistemas de cultivo orgânico e convencional. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 34(1): 167-174. <https://doi.org/10.1590/S0100-29452012000100023>

Pineda L., B., Álvarez C., E., Morales G., F. J., Victoria K., J. I., Campo A., R. O. (2011). Manejo integrado de la bacteriosis causada por *Xanthomonas axonopodis* Starr en el cultivo de gulupa (*Passiflora edulis* Sims.). *Revista Fitopatología Colombiana*, 35(1): 21–26.

Pinzón, I. M. del P., Fischer, G., y Corredor, G. (2007). Determinación de los estados de madurez del fruto de la gulupa. *Agronomía Colombiana*, 25 (1): 83–95. <https://doi.org/690-2>

Prieto Pabon, L. J. (2016). Estudio de los compuestos bioactivos responsables del sabor del tomate de árbol Var. amarilla (*Solanum betaceum* Cav.). [Tesis de Pregrado]. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia.

Procolombia. (2011). ProColombia y Coca-Cola en alianza para promocionar fruta. Propexport. <https://procolombia.co/archivo/proexport-y-coca-cola-en-alianza-para-promocionar-frutas-colombianas-al-exterior>

Quintero Munevar, P. J. (2011). Variabilidad genética de la gulupa (*passiflora edulis* f. *edulis sims*) cultivada en ocho departamentos de Colombia utilizando marcadores microsatélites. <http://hdl.handle.net/20.500.12010/10280>

Quiroga Ramos, I. A. Efecto de la aplicación foliar de boro en el comportamiento fisiológico y calidad de frutos en plantas de gulupa (*Passiflora edulis* f. *edulis Sims*) crecidas bajo condiciones de campo [Tesis de Maestría], Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia.

Rashmi, I., Roy, T., Kartika, K. S., Pal, R., Coumar, V., Kala, S., & Shinoji, K. C. (2020). Organic and Inorganic Fertilizer Contaminants in Agriculture: Impact on Soil and Water Resources. In: Naeem, M., Ansari, A., Gill, S. (eds) *Contaminants in Agriculture*. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-41552-5_1

Raza, S. T., Wu, J., Rene, E. R., Ali, Z., and Chen, Z. (2022). Reuse of agricultural wastes, manure, and biochar as an organic amendment: A review on its implications for vermicomposting technology. *Journal of Cleaner Production*, 360: 132200. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.132200>

Redda, A. and Kebede, F. (2017). Effects of integrated use of organic and inorganic fertilizers on soil properties performance, using rice (*Oryza sativa* L.) as an indicator crop in Tselemti District of North-Western Tigray, Ethiopia. *International Research Journal of Agricultural Science and Technology*, 1: 6-14.

Rendón, J. S., Ocampo, J., Urrea, R. (2013). Estudio sobre polinización y biología floral en *Passiflora edulis* f. *edulis Sims*, como base para el premejoramiento genético. *Acta Agronomica*, 62(3): 232–241. <https://doi.org/10.15446/acag>

Restrepo JM, Gómez J, Escobar R. (2014). Utilización de los residuos orgánicos en la agricultura. Fundación para la Investigación y el Desarrollo Agrícola. Cali, Colombia. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) y Fundación para la Investigación y el Desarrollo

Agrícola (FIDAR).
https://cgospace.cgiar.org/bitstream/handle/10568/56825/Residuos_Organicos_Agricultura_FIDAR.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Riascos, D., Quiroga R., I. A., Hoyos C., L. M. (2011). Análisis de la sintomatología de la roña en gulupa (*Passiflora edulis* f. *edulis* Sims). *Agronomía*, 19(1): 20–30.

Riaz, U., Mehdi, S. M., Iqbal, S., Khalid, H. I., Qadir, A. A., Anum, W., Ahmad, M. and Murtaza, G. (2020). Bio-fertilizers: Eco-friendly approach for plant and soil environment. In: *Bioremediation and Biotechnology*. Hakeem, K., Bhat, R., Qadri, H. (eds). Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-35691-0_9

Ritenour, M., Wardowski, W. F., and Tucker, D. P. H. (2003). Effects of water and nutrients on the postharvest quality and shelf life of citrus. University of Florida Cooperative Extension Service, Institute of Food and Agricultural Sciences, EDIS.

Rodríguez Castaño, Sandra M. (2010). Pruebas de vida útil y diseño de etiqueta para néctares de curuba (*Passiflora tripartita* var. *mollissima*) y gulupa (*Passiflora edulis* var. *edulis*). [Tesis de Pregrado]. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia.

Rodriguez Castillo, N. (2019). Evaluación ecofisiológica, morfoagronómica y diversidad genética de *Passiflora edulis* Sims f. *edulis* (Gulupa) para la conformación de grupos heteróticos. [Tesis Doctoral]. Universidad Nacional de Colombia. Bogota, Colombia.

Romanazzi, G., Sanzani, S. M., Bi, Y., Tian, S., Martínez, P. G., and Alkan, N. (2016). Induced resistance to control postharvest decay of fruit and vegetables. *Postharvest Biology and Technology*, 122: 82-94. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2016.08.003>

Ron, A.P. (2004). Ácidos húmicos y fulvicos de origen orgánico en el crecimiento de plántula de tomate (*Lycopersicon esculentum* mill.) en invernadero [Tesis Pregrado]. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.

Ruda, E. E., A. Monguiello, A. Acosta. (2004). Contaminación y Salud en el Suelo. Ediciones UNL. Santa Fe, Argentina. 99p.

Salehi, A., Fallah, S. and Sourki, A. (2017). Organic and inorganic fertilizer effect on soil CO₂ flux, microbial biomass, and growth of *Nigella sativa* L. *International Agrophysics*, 31: 103-116. <https://doi.org/10.1515/intag-2016-0032>

Sams, C.E. (1999). Preharvest factors affecting postharvest texture. *Postharvest biology and Technology*, 15: 249-254. [https://doi.org/10.1016/S0925-5214\(98\)00098-2](https://doi.org/10.1016/S0925-5214(98)00098-2)

Scalzo, J., and Mezzetti, B. (2010). Biotechnology and breeding for enhancing the nutritional value of berry fruit. *Biotechnology in Functional Foods and Nutraceuticals*, 61. <https://doi.org/10.1201/9781420087123>

Sharma, K., and Garg, V. K. (2018). Solid-state fermentation for vermicomposting: A step toward sustainable and healthy soil. In: *Current developments in biotechnology and bioengineering*. p. 373-413. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63990-5.00017-7>

Singh SK, Singh RS, Awasthi OP. (2013). Influence of pre- and post-harvest treatments on shelf life and quality attributes of ber fruits. Indian Journal of Horticulture, 70 (4): 610-613. <https://krishi.icar.gov.in/jspui/bitstream/123456789/26917/1/11.pdf>

Singh, R., Gupta, R. K., Patil, R. T., Sharma, R. R., Asrey, R., Kumar, A., Jangra, K. K. (2010). Sequential foliar application of vermicompost leachates improves marketable fruit yield and quality of strawberry (*Fragaria x ananassa* Duch.). Scientia Horticulturae, 124: 34–39. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2009.12.002>

Singh, R., Sharma, R. R., Kumar, S., Gupta, R. K., and Patil, R. T. (2008). Vermicompost substitution influences growth, physiological disorders, fruit yield and quality of strawberry (*Fragaria x ananassa* Duch.). Bioresource Technology, 99(17): 8507-8511. <https://doi.org.ezproxy.unal.edu.co/10.1016/j.biortech.2008.03.034>.

Srivastava, A.K. (2013). Recent developments in diagnosis and management of nutrient constraints in acid lime. Scientific Journal of Agricultural, 2(3): 86–96.

Srivastava, A.K., and E. Ngullie. (2009). Integrated nutrient management: Theory and practice. Dynamic Soil, Dynamic Plant, 3(1): 1–30.

Sunitha, C., Madhavi, M., Sandhyarani, M., Jasmita, M., Srinivasulu, B., and Kumar, P. P. (2022). Role of biostimulants in fruit crops: A review. The Pharma Innovation Journal, 11(8): 2041-2048. <https://www.thepharmajournal.com/archives/2022/vol11issue8/PartY/11-7-436-63.pdf>

Suthar, S. (2009). Vermicomposting of vegetable-market solid waste using *Eisenia fetida*: Impact of bulking material on earthworm growth and decomposition rate. Ecological Engineering, 35(5): 914-920. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2008.12.019>

Thokar, N., Kattel, D., and Subedi, S. (2022). Effect of pre-harvest factors on postharvest quality of horticultural products. Food and Agri Economics Review, 2(2): 92-95. <http://doi.org/10.26480/faer.02.2022.92.95>

Torres D., M. (2007). Calidad de fertilizantes: Cuáles son las principales propiedades y atributos que determinan su valor agronómico. Simposio de Fertilidad. IPNI Cono Sur Fertilizar AC. Rosario, Argentina.

Tyagi, S., Sahay, S., Imran, M., Rashmi, K., and Mahesh, S. (2017). Pre-harvest factors influencing the postharvest quality of fruits: A review. Current Journal of Applied Science and Technology, 23(4): 1-12. DOI: 10.9734/CJAST/2017/32909.

Uribe J., Naranjo N., Herrera J., Almaraz N. y González L. (2009). Evaluación de la producción de pimiento morrón (*Capsicum annuum* L.) con aplicación de compostela, lixiviado de lombricomposta y fertilización mineral bajo invernadero en Durango. Instituto Politécnico Nacional. Centro de Investigación Interdisciplinaria para el Desarrollo Integral Regional. Unidad Durango. Informe Técnico Final. México. 14 p. https://sappi.ipn.mx/cgpi/archivos_anexo/20080625_6544.pdf

Velasco, J., Aguirre, G., y Ortuño, N. (2016). Humus líquido y microorganismos para favorecer la producción de lechuga (*Lactuca sativa* var. Crespa) en cultivo de hidroponía. Journal of the Selva Andina Biosphere, 4(2): 71-83. http://www.scielo.org.bo/scielo.php?pid=S2308-38592016000200004yscript=sci_arttext

Velásquez, J. D., Melgarejo, L. M., Magnitskiy, S. (2012). Tratamientos pregerminativos en semillas de gulupa (*Passiflora edulis* Sims). In: Ecofisiología del cultivo de la Gulupa (*Passiflora edulis* Sims). p. 81-89. Universidad Nacional de Colombia. http://bdigital.unal.edu.co/8547/11/06_Cap04.pdf

Viera, W., Shinozaki, T., Sanada, A., Terada, N., and Koshio, K. (2023). Influence of the hypobaric method in physicochemical fruit quality traits of yellow and purple passion fruit stored in cold temperature. The Horticulture Journal, 92(4): 402-411. <https://doi.org/10.2503/hortj.QH-081>.

Walia, M.K., Walia, S.S. and Dhaliwal, S.S. (2010). Long term effect of integrated nutrient management of properties of typic ustochrept after 23 cycles of irrigated rice (*Oriza sativa* L.) wheat (*Triticum aestivum* L.) system. Journal of Sustainable Agriculture, 34: 724-740. <https://doi.org/10.1080/10440046.2010.507519>

Wightman, K. E., Cornelius, J.P. y Ugarte, L. J. (2006). Plantemos madera. Manual técnico N° 4. ICRAF. Lima, Perú. 193 p.

Wills, R., B. McGlasson, D. Graham, D. Joyce. (1998). Postharvest. An introduction to the physiology and handling of fruit, vegetables and ornamentals. 262 p. Hyde Park Press, Adelaide, Australia.

Wills, R., Glasson, B. and Joys, D. (1999). Introducción a la fisiología y manipulación poscosecha de frutas y hortalizas y plantas ornamentales. Trad. J Burgos. Acribia, S. A. España.

Wood, R. M., Thewes, F. R., Reynaud, M., Kittemann, D., Sautter, C. K., Wünsche, J. N., and Neuwald, D. A. (2022). Apple fruit recovery from anoxia under controlled atmosphere storage. Food Chemistry, 371: 131152. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.131152>

Wurr DCE, Fellows JR, Phelps K. (1996). Investigating trends in vegetable crop response to increasing temperature associated with climate change. Scientia Horticulturae, 66(3): 255-26. [https://doi.org/10.1016/S0304-4238\(96\)00925-9](https://doi.org/10.1016/S0304-4238(96)00925-9)

Yahia, E. M., Gardea-Béjar, A., Ornelas-Paz, J. D. J., Maya-Meraz, I. O., Rodríguez-Roque, M. J., Ríos-Velasco, C., Ornelas-Paz, J., and Salas-Marina, M. A. (2019). Preharvest factors affecting postharvest quality, In: Postharvest Technology of Perishable Horticultural Commodities. Yahia, E.M.(Ed.), Woodhead Publishing, Cambridge, UK. p. 99–128. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813276-0.00004-3>

Yamada, T., Stripp, S., Godofredo, A. and Vitti, C. 2007. Nitrogenio e exofre na agricultura brasileira. Piracicaba (SP). Editorial IPNI (International Plant Nutriton Institute).

Yugsi, L. (2011). Elaboración y uso de abonos orgánicos: Módulos de capacitación para capacitadores. Módulo V. Sistema Nacional de Transferencia y Difusión de Tecnología. Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias (INIAP). Quito – Ecuador. <https://repositorio.iniap.gob.ec/bitstream/41000/95/1/iniapsc300cd.pdf>

Zhao, K., Song, H., Wang, Z., Xing, Z., Tian, X., Wang, Q., Meng, L and Xu, X. (2022). Knockdown of sly-mir164a by short tandem target mimic (Sttm) enhanced postharvest chilling tolerance of tomato fruit under low temperature storage. Postharvest Biology and Technology, 187: 111872. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2022.111872>

Zhao, Z., Yan, S., Liu, F., Ji, P., Wang, X. and Tong, Y. (2014). Effects of chemical fertilizer combined with organic manure on fuji apple quality, yield and soil fertility in apple orchard on the Loess Plateau of China. International Journal of Agriculture and Bioengineering, 7: 45-55.

Zucco, M. A., Walters, S. A., Chong, S. K., Klubek, B. P., and Masani, J. G. (2015). Effect of soil type and vermicompost applications on tomato growth. International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture, 4: 135-141. <https://doi.org/10.1007/s40093-015-0093-3>

Capítulo 2

Efecto de la fertilización integrada sobre la rentabilidad, eficiencia agronómica y económica del cultivo de gulupa (*Passiflora edulis* Sims f. *edulis*) durante dos ciclos productivos

Capítulo 2. Efecto de la fertilización integrada sobre la rentabilidad, eficiencia agronómica y económica del cultivo de gulupa (*Passiflora edulis Sims f. edulis*) durante dos ciclos productivos

Resumen

La gulupa hace parte de la canasta exportadora de frutas frescas de Colombia a mercados como la Unión Europea, debido a su calidad y disponibilidad durante todo el año. El objetivo de este estudio fue evaluar la rentabilidad y la eficiencia agronómica y económica de la fertilización integrada en un cultivo de gulupa (*Passiflora edulis Sims f. edulis*) durante dos ciclos productivos consecutivos en un andisol del piedemonte amazónico de Colombia. El experimento se llevó a cabo en un diseño de bloques completos aleatorizados, con tres tratamientos y seis réplicas. El primer tratamiento (T1) incluyó fertilizantes de síntesis química (FSQ); el segundo, fertilizante líquido con sustancias húmicas y se combinó con FSQ (T2) y el tercero incluyó vermicompost con FSQ (T3). Se llevó un registro de las variables climáticas (temperatura, humedad relativa, precipitación y radiación solar), que estaban vinculadas a las etapas fenológicas de la planta. También se realizaron análisis de suelos y foliares durante los ciclos productivos evaluados. Además, se registraron los rendimientos obtenidos por planta (peso y número de frutos) y los costos e ingresos de cada tratamiento. Las diferencias observadas en casi todas las variables evaluadas ocurrieron entre los ciclos de producción, debido a las variables climáticas, que fueron favorables durante el tercer ciclo, pero perjudiciales para el segundo. En cualquier caso, fue posible distinguir los efectos positivos de la fertilización integrada en la planta y el suelo. El tratamiento con vermicompost (T3) tuvo el mejor desempeño durante el estudio, con un índice beneficio-costo de 2.28.

Palabras clave: Relación costo-beneficio, Variables climáticas, Análisis foliar, Análisis de suelos, Vermicompost, Amazonia.

Abstract

The purple passion fruit is part of the export basket of fresh fruits from Colombia to markets such as the European Union, due to its quality and availability throughout the year. The objective of this study was to evaluate the profitability, agronomic and economic efficiency of integrated fertilization in a purple passion fruit (*Passiflora edulis* Sims f. *edulis*) crop during two consecutive productive cycles in an andisol of the Amazonian foothills of Colombia. The experiment was carried out in a randomized complete block design, with three treatments and six replicates. The first treatment (T1) included chemical synthesis fertilizers (FSQ); the second, liquid fertilizer with humic substances and it was combined with FSQ (T2) and the third included vermicompost with FSQ (T3). A record of the climatic variables (temperature, relative humidity, precipitation and solar radiation) was kept, which were linked to the phenological stages of the plant. Soil and foliar analyzes were also carried out during the evaluated productive cycles. Also, the yields obtained per plant (weight and number of fruits) and the costs and income for each treatment were recorded. The differences observed in almost all the variables evaluated occurred between the production cycles, due to climatic variables, which were favorable during the third cycle, but detrimental for the second. Regardless, it was possible to distinguish the positive effects of the integrated fertilization in the plant and the soil. The treatment with vermicompost (T3) had the best performance during the study, with a benefit-cost index of 2.28.

Key words: Cost benefit ratio, Climatic variables, Leaf analysis, Soil analysis, Vermicompost, Amazonia.

2.1 Introducción

Colombia cuenta con una amplia diversidad de Passifloraceae tanto silvestres como cultivadas, con más de 160 especies (Ocampo y Coppens, 2017), entre las que se pueden encontrar la *Passiflora edulis* f. *flavicarpa* (maracuyá amarillo), la *Passiflora edulis* Sims f. *edulis* (maracuyá morada o gulupa), la *Passiflora ligularis* (granadilla dulce o granada) y la *Passiflora mollissima* (maracuyá o plátano curuba), siendo algunas de las especies más populares en el mercado internacional (Calderón-Martínez *et al.*, 2021). La gulupa hace parte de la canasta exportadora de frutas frescas de Colombia y es una de las frutas más exportada en el país, con más de 9.000 toneladas vendidas y 42 millones de dólares de ganancias en 2021 (Forbes, 2023). La popularidad de esta fruta en el mercado internacional se debe, entre otros, a su calidad y al hecho de que está disponible durante todo el año debido a las condiciones tropicales de la región (Forbes, 2023).

Los cultivos de gulupa en Colombia se ubican principalmente entre 1.600 y 2.300 msnm en zonas con pendientes moderadas (Ocampo *et al.*, 2020). Las temperaturas óptimas para cultivarla oscilan entre 10 y 18 °C, con rangos óptimos entre 15 y 22 °C durante el día y entre 12 y 14 °C por la noche (Pérez y Melgarejo, 2012). La humedad relativa (HR) debe oscilar entre el 60 y el 70 %. En este rango de HR se favorece la polinización y la fertilización efectivas, dado que los estigmas pueden permanecer viscosos e hidratados (Ocampo *et al.*, 2020). La planta de gulupa requiere de 9 a 13 horas de radiación por día para obtener frutos de calidad (Pérez y Melgarejo, 2012). También necesita aproximadamente 1.800 a 2.300 mm de precipitación bien distribuida por año. Sin embargo, la lluvia durante el período de floración puede afectar la funcionalidad del polen y la actividad de los polinizadores disminuye considerablemente (Ocampo *et al.*, 2020).

El cultivo de gulupa requiere suelos con una textura ligera, desde franco arenoso hasta franco arcilloso, con buen drenaje (profundidad efectiva de ≥ 60 cm), buen contenido de materia orgánica ($\geq 5\%$) y minerales. El pH puede variar de 6 a 7 con un óptimo de 6,5 para un buen desarrollo de la planta (Ocampo *et al.*, 2020). Además, las condiciones de estrés hídrico, como un suelo con un contenido de agua inferior a -1,3 MPa, pueden reducir en gran medida el desarrollo del área foliar, la floración y el rendimiento de las plantas, lo que hace que los déficits hídricos sean uno de los factores ambientales responsables de las fluctuaciones en la producción (Paull y Duarte, 2011).

La nutrición mineral y la fertilización de la gulupa han sido tratadas de manera similar a otras especies de pasifloráceas como el maracuyá amarillo (Dos Santos, 2020) y la granadilla dulce (Miranda *et al.*, 2015). Algunos estudios de nutrición en la gulupa se han centrado en aspectos como el efecto del boro en el comportamiento fisiológico del fruto (Quiroga *et al.*, 2017), la determinación de las curvas de extracción para el municipio de Sonsón, Antioquia (Marín y Rengifo, 2018), la respuesta poscosecha de frutos cultivados bajo fertilización controlada (Flechas *et al.*, 2020), las respuestas fisiológicas de las plantas a las deficiencias de los micronutrientes hierro, manganeso y zinc durante el crecimiento vegetativo (Cárdenas-Pira *et al.*, 2021), entre otros.

Marín y Rengifo (2018) basaron sus planes de fertilización según los valores teóricos de extracción calculados para 550 plantas por ha al año, que incluyen elementos principales (en kg/ha) como nitrógeno (119.5), fósforo (37.5), potasio (224.5), azufre (31), calcio (215.5), magnesio (27.5) y elementos menores (en g/ha) como hierro (1980), cobre (106.5), manganeso (620), zinc (357) y boro (406.5).

Para aumentar la eficiencia de los fertilizantes aplicados y mejorar el rendimiento de los cultivos, se ha propuesto el manejo integrado de fertilizantes, también llamado fertilización integrada, la cual consiste en el uso juicioso de fertilizantes químicos y orgánicos, así como germoplasma resistente y combinarlo con una comprensión de las habilidades para utilizar tales prácticas en condiciones locales específicas. Esta es una alternativa para desarrollar planes de fertilización y enmiendas que garanticen un aporte adecuado, suficiente y oportuno de nutrientes a las plantas (Vanlauwe *et al.*, 2014). Algunos estudios muestran que el uso de la fertilización integrada puede aumentar los rendimientos (Zhao *et al.* 2016), mejorar el contenido de nutrientes del suelo (Sanyal *et al.*, 2019) y su fertilidad biológica (Zhao *et al.* 2016).

La eficiencia en el uso de nutrientes o fertilizantes es un término que describe la eficiencia con la que las plantas o un sistema de producción utilizan los nutrientes. Se pueden evaluar a corto o largo plazo y pueden basarse en el rendimiento, la eliminación o la recuperación de un nutriente específico. Es un concepto dinámico y complejo que incluye una gama de componentes que reflejan la recuperación de nutrientes, el equilibrio o el rendimiento producido por unidad de nutriente aplicado (Rakshit *et al.*, 2015). Uno de los índices más utilizados para evaluar el uso eficiente de los nutrientes es la eficiencia agronómica (EA), que muestra las unidades de aumento en el rendimiento por unidad de nutriente aplicado. También se puede derivar del conocimiento de la aparente eficiencia de recuperación de un nutriente y su eficiencia fisiológica (Rakshit *et al.*, 2015).

Considerando que hay pocos estudios para establecer indicadores de eficiencia en árboles, especialmente frutales para los cuales se ha determinado la evolución en el contenido de nutrientes disponibles en el suelo que luego son absorbidos por la planta, el objetivo de este

estudio fue determinar el efecto de la fertilización integrada sobre la rentabilidad, la eficiencia agronómica y económica en el cultivo de gulupa (*Passiflora edulis* Sims f. *edulis*), durante dos ciclos productivos consecutivos en un Andisol del municipio de Sibundoy - Putumayo.

2.2 Materiales y métodos

2.2.1 Sitio de estudio

El estudio se realizó en una finca del municipio de Sibundoy ($1^{\circ}12'41.425''$ N y $76^{\circ}54'32.654''$ W —altitud 2260 m), en el departamento de Putumayo, Colombia, ubicada en la zona de vida de bosque húmedo montano bajo, según Narváez *et al.*, (2021), con clima templado húmedo y veranos frescos (IDEAM, 2014). La región tiene una temperatura media anual de 15,6 °C, una precipitación media anual de 1529 mm, brillo solar anual 669,9 horas/año (el período de mayor expresión se presenta en el mes de enero 81,52 horas/mes, coincidiendo con la época de verano o de pocas lluvias y el menor registro en el mes de abril con 35.01 horas/mes, en la época de intensas lluvias), y una humedad relativa media anual de 81 % (Corpoamazonia, 2010).

El suelo del sitio es un Andisol, que pertenece a la Asociación conformada por suelos Hapludands éuricos (40%), Placudands acrodoxicos (25%), Fulvudands típicos (25%), y componentes menores de Placudands típicos y Haplohemists hídricos (10%) (IGAC, 2014).

El análisis preliminar del suelo que sirvió para establecer los tratamientos de fertilización a utilizar, fue el siguiente (en mg/kg): Fósforo: 5,7; Azufre: 1,09; Boro: 0,17; Hierro: 492,91; Manganeso: 6,45; Cobre: 3,55 y Zinc: 28,41. Los expresados en cmol(+)/kg: Capacidad de intercambio catiónico: 4,97; Calcio: 2,98; Magnesio: 0,89; Potasio: 0,27 y Sodio: 0,14; el pH (5,44) y la materia orgánica en g/100g: 14,27) (Anexo A). Además, es un suelo de clase textural franco (F) con 46,58% de arena, 10,84% de arcilla y 42,58% de limo. Tiene un pH de reacción fuertemente ácido, no salino, con un alto contenido de materia orgánica, lo que indicaría una disponibilidad adecuada de nitrógeno. Exhibe niveles medios de potasio y manganeso, por lo que se recomendó proporcionarlos con moderación. Los niveles de fósforo, azufre, magnesio, boro y calcio fueron bajos, por lo que se sugirió agregarlos al suelo, mientras que los elementos hierro, manganeso y zinc no se recomendaron según correspondiera. La capacidad de intercambio catiónico fue muy baja, con un porcentaje de saturación con bases de Ca (60%), Mg (18%), K (5%), Na (2%) y Al (10%).

2.2.2 Material vegetal y establecimiento de cultivos

Se utilizaron 282 plántulas de un vivero ubicado en el municipio de San Agustín (Huila). Se dispusieron a una densidad de 714 plantas ha^{-1} (3,5 m entre hiladas y 4,0 m entre plantas). Dado que la gulupa (*Passiflora edulis* Sims. f. *edulis*) es una planta susceptible a los ataques de hongos presentes en el suelo, se utilizó un portainjerto de cholupa (*Passiflora maliformis* L.) para reducir las plantas enfermas. El predio del cultivo está certificado por el Instituto Colombiano de Agricultura (ICA) para exportar frutas frescas, por lo que su manejo fitosanitario y otros procedimientos para el adecuado mantenimiento de la plantación cumplen con las regulaciones requeridas por dicha entidad para tales aspectos (ICA, 2022).

La investigación duró un total de 41 meses, desde febrero de 2020, cuando se realizó el trasplante, hasta junio de 2023, cuando se recopilaron los últimos datos climatológicos y de cultivos. Debido a dificultades administrativas del ente financiador del proyecto, no fue posible la

realización de los análisis foliares y edáficos durante el primer ciclo productivo, razón por la cual los resultados presentados corresponden al segundo y el tercer ciclo productivo cuando se logró superar esta dificultad.

El cultivo se estableció bajo un sistema de tutorado de espaldera sencilla a doble alambre simple con semitechado, siguiendo la descripción de Fischer y Miranda. (2021). Se utilizó un sistema de riego por goteo (un gotero de 4L h⁻¹ por planta) ubicado a 40 cm del tallo de la planta para garantizar el suministro de agua, de acuerdo con la evaluación diaria del volumen de agua en el suelo. Las plántulas tenían tres meses de edad en el momento del trasplante, el cual se llevó a cabo en febrero de 2020. En junio de 2021 y julio de 2022, se realizó una poda de renovación, siguiendo las recomendaciones de Ocampo *et al.* (2020) para distinguir el segundo y el tercer ciclo productivo. Las plantas se ubicaron en camas elevadas a 20 cm para proteger el tallo, y considerando la pendiente del terreno (12%), se dispusieron terrazas de banco para reducir los efectos erosivos de la escorrentía superficial.

2.2.3 Caracterización del agua de riego

Según los análisis realizados (Tabla 3), el agua no tiene limitaciones para el riego: tiene un pH ligeramente ácido, con una baja conductividad eléctrica (CE) y una baja relación de adsorción de sodio (RAS). En otras palabras, no es salino, ni está limitado por la sodicidad. Además, no tiene restricción debido a sólidos disueltos totales (SDT) y las probabilidades de toxicidad por cualquier elemento en particular son bajas. No parece verse afectado por la concentración de SO₄, la concentración de HCO₃ ni la concentración de cloruro para usarlo en un equipo de pulverización o gravedad. Por último, no parece verse afectado por el contenido de fósforo y boro, según Zaman *et al.*, (2018).

Tabla 3. Resultado del análisis químico del agua utilizada en riego. ^z RAS: Relación de absorción de sodio

pH	Conductividad eléctrica	Dureza	Total, de sólidos disueltos	Boro	Fosfatos	Hierro	RAS ^z
	(dS/m)						mg/L
6.48	0.02	7.17	14.93	0	0.1	< 0.50	0.29
Potasio	Sodio	Carbonatos	Bicarbonatos	Cloruros	Sulfatos	Calcio	Magnesio
meq/L							
0.02	0.08	0	0.08	0.06	0.18	0.14	< 0.008

2.2.4 Tratamientos de fertilización

Los tratamientos se establecieron de acuerdo con los análisis del suelo realizados por Agrosavia. y los requerimientos del cultivo, siguiendo los criterios de Marín y Rengifo, (2018) en cada etapa fenológica (Tabla 4).

Tratamiento 1: Testigo, se utilizaron fertilizantes de síntesis química (FSQ) de índole comercial, siguiendo la recomendación de Agrosavia.

Tratamiento 2: Se suministró un fertilizante líquido con sustancias húmicas (Chemie, 2019) con FSQ, cuyas características se muestran en la Tabla 5. Se utilizó Humus Alfa 15®, que

es un insumo líquido concentrado de asimilación inmediata que aporta ácidos húmicos y fúlvicos, lo cual le otorga diferentes propiedades como acondicionador del suelo, mejorando la fertilidad.

Tabla 4. Planes mensuales de fertilización según las etapas fenológicas del cultivo de gulupa (Dosis por planta kg ha⁻¹).

Tiempo (mes)	Etapa fenológica	Tratamiento 1		Tratamiento 2		Tratamiento 3	
		Producto	Dosis	Producto	Dosis	Producto	Dosis
0	Formación de brotes	10 20 20 ^v Bórax	37.5 kg 3 kg	Vermicompost ^z Urea	350 kg 22 kg	Humus ^x 10 20 20 Bórax	3.5 L 37.5 kg 3 kg
1	Crecimiento longitudinal del tallo	10 20 20 Urea	11.4 kg 5 kg	10 20 20 Urea	11.4 kg 5 kg	10 20 20 Urea	11.4 kg 5 kg
		KCl	5.7 kg	KCl	5.7 kg	KCl	5.7 kg
		Yeso ^y	7.1 kg	Yeso	7.1 kg	Yeso	7.1 kg
		Mg sulfato	7.1 kg	Mg sulfato	7.1 kg	Mg sulfato	7.1 kg
		10 20 20 Urea	11.4 kg 5 kg	10 20 20 Urea	11.4 kg 5 kg	10 20 20 Urea	11.4 kg 5 kg
2 – 5 ^w	Desarrollo vegetativo	KCl	5.7 kg	KCl	5.7 kg	KCl	5.7 kg
		Yeso	7.1 kg	Yeso	7.1 kg	Yeso	7.1 kg
		Mg sulfato	7.1 kg	Mg sulfato	7.1 kg	Mg sulfato	7.1 kg
		10 20 20 Urea	11.4 kg 5 kg	10 20 20 Urea	11.4 kg 5 kg	10 20 20 Urea	11.4 kg 5 kg
		KCl	5.7 kg	KCl	5.7 kg	KCl	5.7 kg
6	Aparición de botones florales	Yeso	7.1 kg	Yeso	7.1 kg	Yeso	7.1 kg
		Mg sulfato	7.1 kg	Mg sulfato	7.1 kg	Mg sulfato	7.1 kg
		10 20 20 Urea	11.4 kg 5 kg	Vermicompost	350 kg	Humus	3.5 L
		KCl	5.7 kg			Bórax	3 kg
		Yeso	7.1 kg				
7 - 10	Floración, desarrollo del fruto, maduración y senescencia (cosecha)	Mg sulfato	7.1 kg				
		10 20 20 Urea	11.4 kg 5 kg	10 20 20 Urea	11.4 kg 5 kg	10 20 20 Urea	11.4 kg 5 kg
		KCl	5.7 kg	KCl	5.7 kg	KCl	5.7 kg
		Yeso	7.1 kg	Yeso	7.1 kg	Yeso	7.1 kg
		Mg sulfato	7.1 kg	Mg sulfato	7.1 kg	Mg sulfato	7.1 kg

^z Vermicompost. Producto del compostaje utilizando varios gusanos para crear una mezcla heterogénea de residuos de alimentos en descomposición. ^y Yeso. Es un sulfato de calcio hidratado natural (CaSO₄ 2H₂O), utilizado para tratar suelos sódicos. ^x Humus. Es una enmienda orgánica líquida que proporciona una alta concentración de ácidos húmicos y ácidos fulvicos. ^w Se utilizan los mismos productos y dosis para cada uno de los meses que componen la etapa fenológica. ^vFertilizante granulado compuesto (NPK).

Tabla 5. Características de Humus Alfa 15®

Característica	Descripción	Característica	Valor
Ingrediente activo	Materia orgánica, ácidos húmicos, ácidos fulvicos, nitrógeno, potasio y carbono	pH	11
Grupo químico	Macroelementos, ácidos húmicos, ácidos fulvicos y carbono	Densidad	1.13 g/L
Concentración	Nitrógeno total 4.9 g/L, Potasio (K ₂ O) soluble en agua 40 g/L, Extracto húmico total 150 g/L, Carbono orgánico oxidable 93.4 g/L	Conductividad eléctrica	1.46 dS/m

Tratamiento 3: Incluyó el uso de un vermicompost (Los Andes, 2020) con FSQ. Su composición se muestra en la Tabla 6. La marca del vermicompost utilizado fue Los Andes®, que es un acondicionador orgánico para la aplicación en el suelo. Es un polvo de color marrón oscuro obtenido de los excrementos de la lombriz roja californiana, altamente estable bajo condiciones normales de temperatura y almacenamiento.

Tabla 6. Características del vermicompost Los Andes®

Componentes	Valor (%)	Características	Valor
Nitrógeno total	0.8	CEC	47.87 cmol ₍₊₎ /kg
Material orgánico	11.62	Conductividad eléctrica	1.8 dS/m
Carbono orgánico oxidable	6.74	pH	7.07
Cenizas	31		

La proporción de fertilizantes orgánicos en los tratamientos se fijó de acuerdo la forma como su composición permitió integrarlo con la FSQ para satisfacer las necesidades del cultivo. Su aplicación durante el experimento se dividió en dos dosis, una al inicio del crecimiento y la otra durante la inflorescencia en cada ciclo productivo (Tabla 4).

Los insumos se aplicaron en forma de medialuna en la parte superior de la planta considerando la pendiente del terreno, así mismo se procuró enterrarlos con el fin de reducir las pérdidas por volatilización y erosión hídrica.

2.2.5 Variables climáticas

Las variables climáticas se midieron en una estación climatológica marca METER (Coltein, Bogotá) instalada en la parcela. Se registraron humedad relativa (%), temperatura (°C), precipitación (mm) y radiación solar (μmoles de fotones * m⁻²s⁻¹). El intervalo de registro fue de 15 min. Los datos de precipitación fueron comparados con los registros históricos reportados por el IDEAM para esta variable (Anexo F). Para las demás variables climáticas no fue posible la comparación de registros históricos debido a la ausencia de información.

2.2.6 Muestreo de suelos y tejidos vegetales

El muestreo para análisis del suelo y de las hojas se llevó a cabo una vez alcanzada la floración completa. Esto correspondió en la segunda semana de noviembre de 2021 en el segundo ciclo, y en la tercera semana de noviembre de 2022 para el tercer ciclo. Para el análisis del suelo, se recolectaron doce submuestras a una profundidad de 30 cm, para mezclar y obtener 1 kg de muestra compuesta para su análisis. En el caso del análisis foliar, se recolectaron hojas sanas, tomando la cuarta hoja en dirección al ápice base para cada unidad experimental, con el fin de almacenarlas en bolsas y obtener una sola muestra por tratamiento. Tanto las muestras de suelo como de las hojas se analizaron en los laboratorios de Agrosavia.

2.2.7 Cosecha, rentabilidad, eficiencia agronómica y económica

La recolección de la fruta se realizó el año después del trasplante. Los frutos de gulupa se cosecharon en la etapa de madurez cuatro (Orjuela-Baquero *et al.*, 2011), que corresponde a frutos que tienen entre un 70 % y un 80 % de su superficie de color púrpura. La recolección y cuantificación de la fruta para este estudio se realizó durante el segundo y el tercer ciclo productivo (de abril a junio de 2022 y de marzo a mayo de 2023).

En el momento de la cosecha, se registró el peso de la fruta fresca (g) y el número de frutas recolectadas por planta, y se llevó un registro durante los períodos de producción.

El rendimiento (kg/ha) se estimó tomando los valores promedio del peso del fruto, el número de frutos por planta y la densidad de plantación por hectárea (714 plantas ha⁻¹), para cada tratamiento.

La eficiencia agronómica se calculó mediante la relación en la que el peso de la fruta producida (rendimiento) se dividen por el peso de los nutrientes aplicados en cada tratamiento por hectárea (Rakshit *et al.*, 2015), utilizando la ecuación 1:

$$\text{Eficiencia agronómica} = \frac{\text{kg de fruta ha}^{-1}}{\text{kg de fertilizante aplicado ha}^{-1}} \quad \text{Ecuación 1.}$$

La eficiencia económica se calculó dividiendo la cantidad de dinero recibido de la venta de la fruta obtenida en una hectárea de cultivo, entre el costo del fertilizante necesario para la producción de una hectárea de cultivo (Rakshit *et al.*, 2015). Para cada caso, se consideraron los costos de los fertilizantes químicos y orgánicos utilizados en cada tratamiento. Los costos se expresaron en dólares estadounidenses (USD). Lo anterior se resume en la ecuación 2:

$$\text{Eficiencia económica} = \frac{\text{USD venta de producción ha}^{-1}}{\text{USD costo de fertilizantes ha}^{-1}} \quad \text{Ecuación 2.}$$

Para el análisis de rentabilidad, se tomó como indicador de la rentabilidad del cultivo la relación costo-beneficio (Retes-López *et al.*, 2018), para lo cual fue necesario estimar los costos y los ingresos obtenidos en cada tratamiento mediante la ecuación 3:

$$\frac{B}{C} = \frac{IN}{CT} \quad \text{Ecuación 3.}$$

Donde B/C es beneficio/costo, IN es el ingreso neto y CT son los costos totales.

Es preciso aclarar que los costos directos son los que fluctúan según la cantidad de fruta producida, como los costos de fertilización y mano de obra, mientras que los costos indirectos permanecen constantes, como costos de administración, asistencia técnica, servicios, alquiler,

inversiones y otros, no relacionados con la producción. Por otro lado, se estimó el precio de venta, considerando factores como los porcentajes de exportación que se establecen según la calidad de la fruta y los precios promedio obtenidos durante la comercialización de la fruta. Todos los factores se calcularon para el año 2023 para comparar las campañas sin el efecto de la inflación.

2.2.8 Análisis estadístico

Las variables productivas del fruto y las variables derivadas del análisis del suelo y del tejido vegetal fueron sometidas a las pruebas de Kolmogorov-Smirnov y Levene para verificar los supuestos de normalidad y homocedasticidad de las varianzas, respectivamente. Se realizó un análisis exploratorio para confirmar la normalidad de los datos a través del gráfico de probabilidad normal. Para identificar los valores atípicos se utilizaron diagramas de caja y bigote (Boxplot). Se estableció un diseño de bloques aleatorizados con seis repeticiones para evaluar el efecto de los tratamientos y los ciclos de producción mediante un análisis ANOVA bifactorial con su interacción (Anexo B). Se aplicó una prueba de Tukey de comparación media del 5 % a las variables que presentaron diferencias estadísticas significativas. El modelo lineal utilizado para el diseño de bloques aleatorizados con disposición bifactorial fue el siguiente:

$$Y_{ijk} = \mu \text{ (Media)} + \beta_k \text{ (Efecto de bloqueo)} + \alpha_i \text{ (Efecto de tratamiento)} + \gamma_j \text{ (Efecto de ciclo)} \\ + (\alpha\gamma)_{ij} \text{ (Efecto de interacción)} + \varepsilon_{ijk} \text{ (Error experimental)}$$

Se establecieron coeficientes de correlación de Spearman ($\alpha=0,05$) entre las variables climáticas evaluadas durante los estados fenológicos del cultivo (Anexo C). Todos los análisis se realizaron utilizando el software estadístico Statgraphics Centurion XVIII (Maryland, EUA). Los datos se presentan como valores medios \pm error estándar ($n = 6$).

2.3 Resultados

2.3.1 Variables climáticas

La gulupa, como cualquier cultivo, responde a las condiciones agroecológicas donde se siembra, por lo cual, teniendo en cuenta que durante el desarrollo del experimento ocurrieron condiciones climáticas atípicas debido al fenómeno de La Niña, se presentan los registros de las variables que se midieron en campo con el fin de identificar los efectos que las variaciones en las condiciones climáticas pudieron afectar los ciclos de producción y particularmente en las etapas fenológicas de la planta.

Respecto a la humedad relativa (Fig. 1), se observa que las mayores diferencias entre los ciclos ocurren en las etapas fenológicas de floración y el primer mes de formación del fruto (meses de octubre a diciembre), siendo estos valores mayores durante el segundo ciclo. Al final de la etapa de formación y madurez del fruto, los valores de humedad relativa fueron ligeramente superiores en el tercer ciclo.

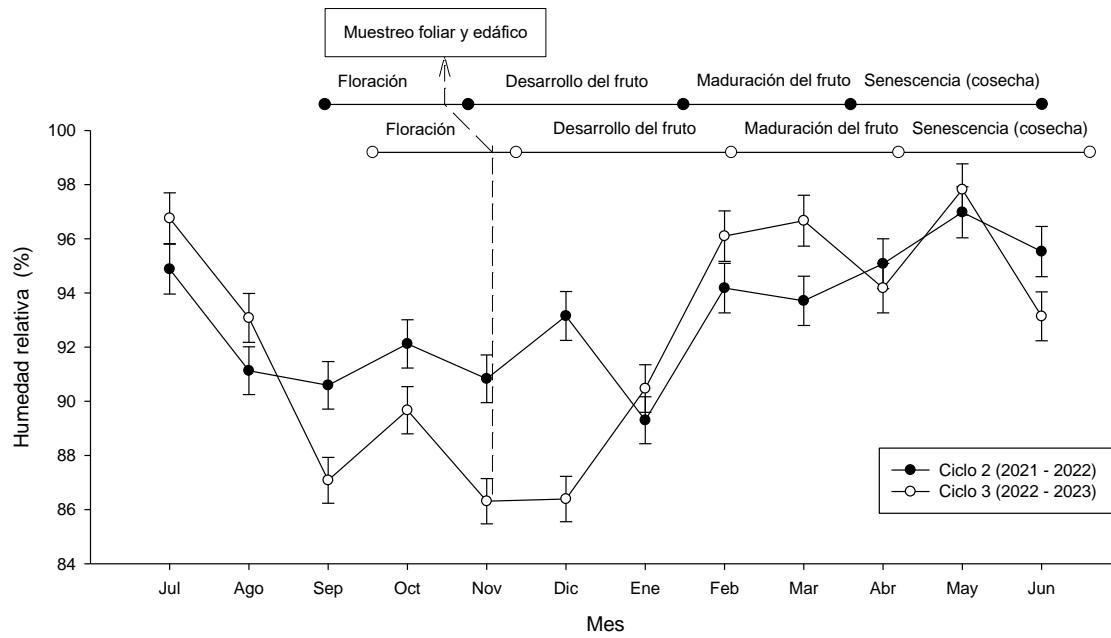


Figura 1. Humedad relativa durante el segundo y el tercer ciclo productivo del cultivo de gulupa (media ± desviación estándar de cada mes).

Al mismo tiempo, los picos de radiación más altos (Fig. 2) coincidieron con los períodos de floración y formación de frutos en los dos ciclos, siendo los valores registrados durante el tercer ciclo más altos en la mayoría de los meses.

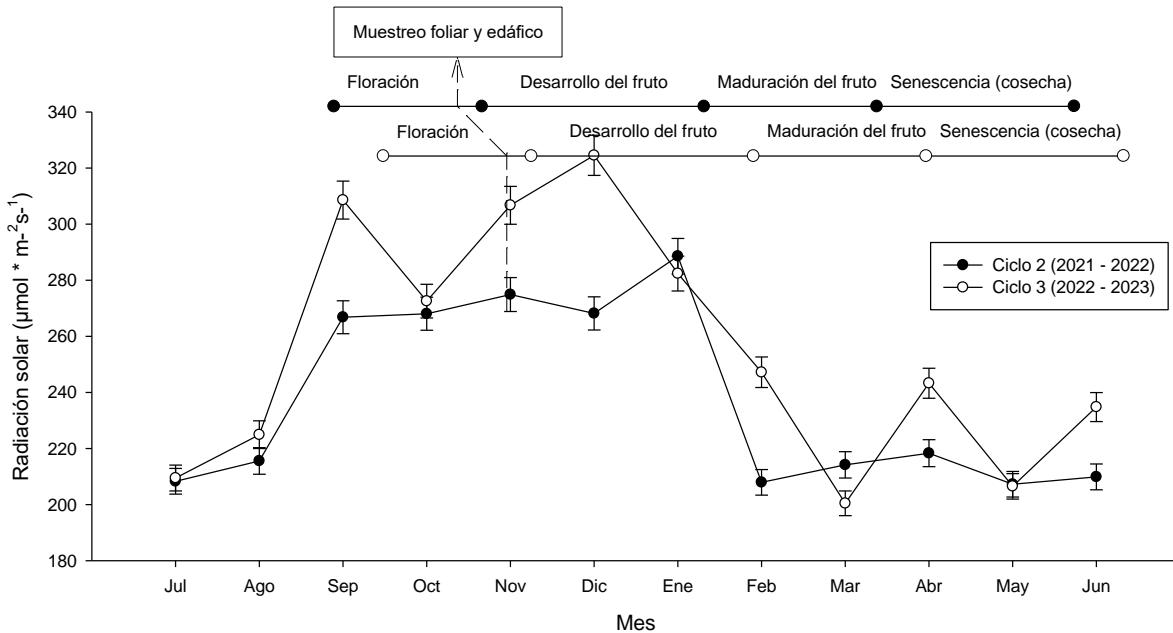


Figura 2. Radiación solar durante el segundo y el tercer ciclo productivo del cultivo de gulupa (media ± desviación estándar de cada mes).

Respecto a la precipitación (Fig. 3), se observó un aumento significativo de la precipitación durante las etapas de floración y formación de frutos en el segundo ciclo, también durante el período de cosecha.

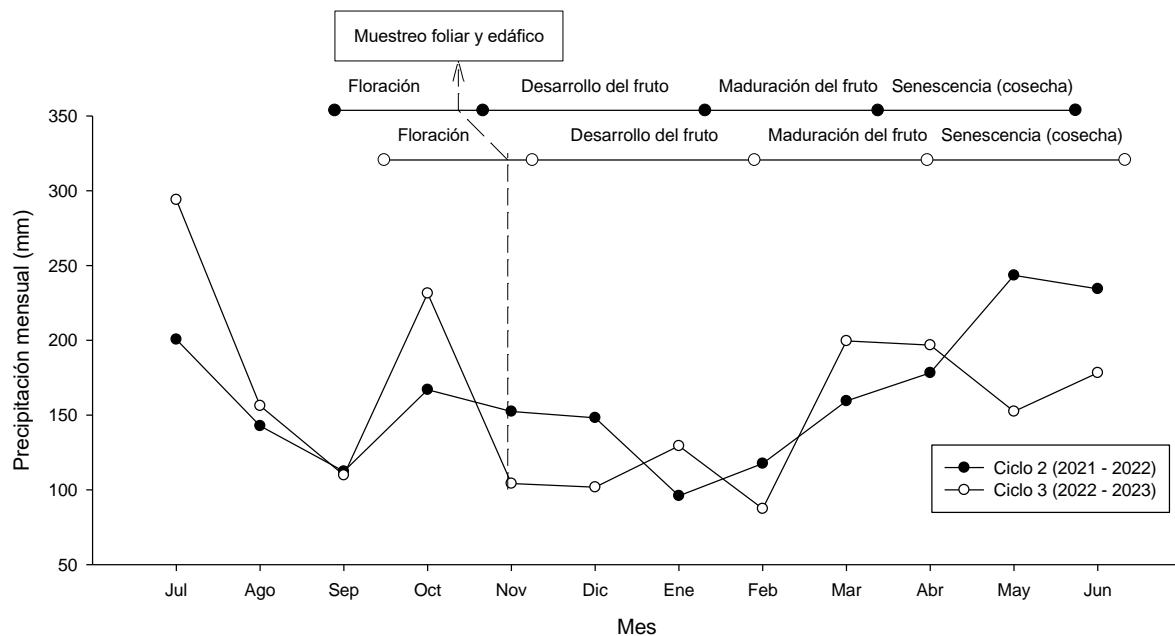


Figura 3. Precipitación mensual durante el segundo y el tercer ciclo productivo del cultivo de gulupa.

Los valores de temperatura no difirieron mucho en los dos ciclos; sin embargo, los registros más altos se observaron en el período de formación y madurez de los frutos en el segundo ciclo (Fig. 4).

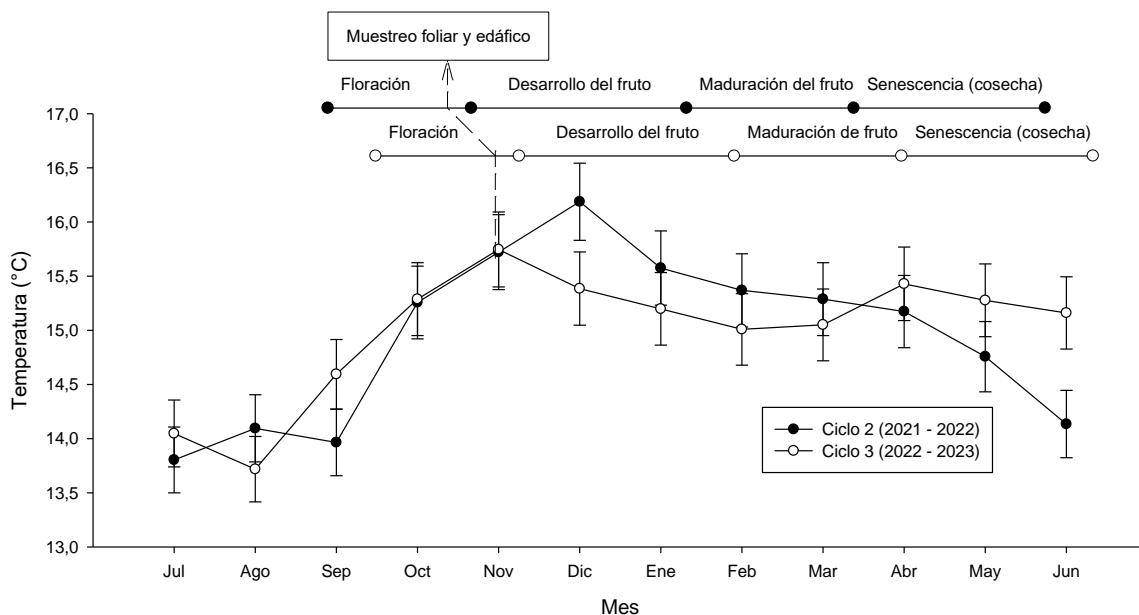


Figura 4. Temperatura durante el segundo y el tercer ciclo productivo del cultivo de gulupa (media \pm desviación estándar de cada mes).

Cabe destacar que, durante el segundo ciclo, el desarrollo de la planta se vio afectado por la presencia de enfermedades fúngicas que afectaron principalmente las ramas, las hojas y los

primordios florales del cultivo, lo que podría ser causado por el aumento de la humedad relativa y la temperatura en los períodos de floración y formación de frutos (Fig. 1).

2.3.2 Evaluación de las características del suelo después del establecimiento del cultivo

El análisis de varianza y las pruebas de comparación de medias aplicadas a los resultados de los análisis de suelos (Anexo B) muestran diferencias significativas en materia orgánica, azufre, hierro y cobre (Tabla 7). Para las demás variables, no se encontraron diferencias entre los ciclos, los tratamientos o sus interacciones. Aunque no hubo aumentos significativos en el contenido de fósforo y materia orgánica en el suelo, con respecto a los valores del suelo original (Anexo A), hubo ligeros aumentos que favorecerían la fertilidad química del suelo.

Tabla 7. Variables de suelo para dos ciclos productivos consecutivos del cultivo de gulupa bajo diferentes tratamientos de fertilización. Los valores son la media ± error estándar de las repeticiones (n=3)

Determinación analítica	Unidades	Tratamientos			Ciclos		Valores óptimos ^z
		1	2	3	2	3	
Materia orgánica	g/100g	14.83 ± 0.30 a ^y	16.50 ± 0.36 b	17.88 ± 0.39 b	17.55 ± 0.33 A	15.26 ± 0.29 B	2.5 – 5
Azufre	mg/kg	17.64 ± 1.08 a	21.71 ± 1.17 ab	26.04 ± 1.52 b	23.10 ± 1.24 A	20.49 ± 1.22 A	10 – 15
Hierro	mg/kg	129.3 ± 10.5 a	129.5 ± 10.1 a	166.4 ± 12.3 b	158.1 ± 8.7 A	125.35 ± 7.5 B	40 – 50
Cobre	mg/kg	2.12 ± 0.13 a	2.30 ± 0.16 a	2.43 ± 0.18 a	2.06 ± 0.08 A	2.51 ± 0.10 B	1 – 1.5
pH (1:2.5)		5.34 ± 0.09 a	5.43 ± 0.07 a	5.43 ± 0.05 a	5.39 ± 0.05 A	5.41 ± 0.06 A	5.5 – 6.5
Conductividad eléctrica	dS/m	1.85 ± 0.11 a	2.07 ± 0.12 a	1.95 ± 0.10 a	1.93 ± 0.39 A	1.98 ± 0.41 A	1.5 – 4
Fósforo	mg/kg	35.10 ± 3.61 a	39.38 ± 3.17 a	41.70 ± 3.67 a	38.46 ± 2.46 A	41.66 ± 2.57 A	20 – 30
Capacidad de intercambio catiónico	cmol(+)/kg	6.89 ± 0.50 a	7.40 ± 0.56 a	7.90 ± 0.75 a	7.18 ± 0.33 A	7.61 ± 0.38 A	
Boro	mg/kg	0.25 ± 0.13 a	0.32 ± 0.16 a	0.36 ± 0.19 a	0.31 ± 0.12 A	0.32 ± 0.16 A	0.2 – 0.4
Calcio	cmol(+)/kg	4.94 ± 0.61 a	5.50 ± 0.58 a	5.78 ± 0.36 a	5.28 ± 0.29 A	5.46 ± 0.62 A	4 – 6
Magnesio	cmol(+)/kg	1.37 ± 0.05 a	1.40 ± 0.07 a	1.49 ± 0.08 a	1.39 ± 0.05 A	1.41 ± 0.06 A	1.5 – 2.5
Potasio	cmol(+)/kg	0.76 ± 0.05 a	0.83 ± 0.06 a	0.89 ± 0.08 a	0.88 ± 0.07 A	0.84 ± 0.05 A	0.4 – 0.6
Sodio	cmol(+)/kg	< 0.14	< 0.14	< 0.14	< 0.14	< 0.14	0 – 3
Manganese	mg/kg	12.48 ± 1.33 a	14.59 ± 1.37 a	16.24 ± 1.39 a	14.05 ± 1.10 A	14.16 ± 1.12 A	5 – 10
Zinc	mg/kg	7.14 ± 0.61 a	7.54 ± 0.73 a	8.13 ± 0.83 a	7.18 ± 0.72 A	7.09 ± 0.68 A	3 – 5

^z Valores óptimos para Granadilla (Miranda *et al.*, 2015); ^y La media seguida de diferentes letras dentro de la misma columna fue significativamente diferente, de acuerdo con una prueba de Tukey (p = 0,05).

Dado que no han sido reportados niveles adecuados de concentración de nutrientes para la gulupa, la comparación se realizó con los rangos óptimos establecidos por Miranda *et al.* (2015) para la granadilla (*Passiflora ligularis* Juss). Fue posible identificar valores aceptables en variables como materia orgánica, conductividad eléctrica, boro, calcio, magnesio y sodio, mientras que en variables como azufre, hierro, cobre, fósforo, potasio, manganeso y zinc se encontraron valores ligeramente altos con respecto a los óptimos, especialmente el hierro.

Los valores de pH encontrados fueron ligeramente inferiores al óptimo, lo que corresponde a un suelo fuertemente ácido. No hubo cambios significativos con los tratamientos de fertilización ni en los ciclos de cultivo evaluados. Se destaca además, que el Humus Alfa 15® no afectó el pH del suelo, a pesar de los altos valores del producto.

2.3.3 Concentración de nutrientes en el tejido vegetal

En relación con la concentración de nutrientes en el tejido foliar, y después de aplicar el análisis de varianza (Anexo B) con las pruebas de comparación de medias, se encontró que solo el nitrógeno, el calcio, el hierro y el cobre presentaron diferencias significativas. No se identificaron diferencias entre los ciclos, los tratamientos o sus interacciones sobre los otros elementos analizados.

Dado que no hay niveles de concentración apropiados para la gulupa, la comparación se realizó con los rangos óptimos establecidos para la granadilla, según Miranda *et al.* (2015). Se pudo inferir una concentración aceptable para el nitrógeno, el calcio, el cobre, el fósforo, el potasio, el magnesio, el azufre, el manganeso, el zinc y el boro, y no hubo presencia de hierro (Tabla 8).

Tabla 8. Variables foliares del cultivo de gulupa con fertilización integrada para dos ciclos productivos. Los valores son la media ± error estándar de las repeticiones por triplicado.

Determinación analítica	Unidades	Tratamientos			Ciclos		Valores óptimos ^z
		1	2	3	1	2	
Nitrógeno	%	4.43 ± 0.07 a ^y	4.24 ± 0.05 a	4.14 ± 0.04 a	4.56 ± 0.06 A	3.98 ± 0.04 B	2.0 – 5.0
Calcio	%	0.90 ± 0.06 a	0.77 ± 0.04 ab	0.69 ± 0.03 b	0.75 ± 0.03 A	0.82 ± 0.06 A	1.0 – 5.0
Hierro	mg*kg ⁻¹	53.57 ± 3.54 a	45.24 ± 3.49 a	51.44 ± 3.51 a	55.30 ± 3.69 A	44.86 ± 2.89 B	150 – 300
Cobre	mg*kg ⁻¹	6.41 ± 0.34 a	5.71 ± 0.30 a	5.84 ± 0.31 a	5.37 ± 0.28 A	6.60 ± 0.35 B	30 – 100
Fósforo	%	0.32 ± 0.03 a	0.30 ± 0.02 a	0.28 ± 0.02 a	0.29 ± 0.02 A	0.32 ± 0.03 A	0.3 – 0.8
Potasio	%	1.65 ± 0.15 a	1.50 ± 0.13 a	1.39 ± 0.12 a	1.45 ± 0.10 A	1.51 ± 0.16 A	2.0 – 5.0
Magnesio	%	0.19 ± 0.01 a	0.19 ± 0.02 a	0.18 ± 0.01 a	0.18 ± 0.01 A	0.19 ± 0.02 A	0.15 – 0.35
Sodio	%	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	
Azufre	%	0.31 ± 0.02 a	0.29 ± 0.02 a	0.27 ± 0.02 a	0.30 ± 0.02 A	0.28 ± 0.01 A	0.1 – 0.5
Manganese	mg*kg ⁻¹	60.63 ± 7.75 a	57.60 ± 7.58 a	49.31 ± 7.27 a	49.94 ± 5.82 A	61.75 ± 6.32 A	50 – 150
Zinc	mg*kg ⁻¹	27.80 ± 3.04 a	22.71 ± 2.84 a	24.16 ± 2.96 a	25.49 ± 2.98 A	24.95 ± 2.72 A	20 – 200
Boro	mg*kg ⁻¹	28.25 ± 3.34 a	22.31 ± 3.09 a	22.60 ± 3.12 a	22.60 ± 2.23 A	26.17 ± 2.54 A	20 – 100

^z Valores óptimos para Granadilla (Miranda *et al.*, 2015). ^y La media seguida de diferentes letras dentro de la misma columna fue significativamente diferente, de acuerdo con una prueba de Tukey ($p = 0.05$).

Como puede observarse, el contenido foliar de nitrógeno disminuyó durante el tercer ciclo. Esta disminución fue más pronunciada en el tratamiento 3 seguido del tratamiento 2. Un aumento de calcio fue evidente durante el tercer ciclo y particularmente en el tratamiento 1, seguido por el tratamiento 2, mientras que para el tratamiento 3 hubo una ligera disminución. Hubo una disminución del hierro en el tercer ciclo, siendo este más pronunciado en el tratamiento 2. El contenido de cobre aumentó durante el tercer ciclo en los tres tratamientos, y particularmente en el tratamiento 1.

2.3.4 Variables productivas

Los costos de fertilización aumentaron entre ciclos debido a la incorporación de materiales orgánicos (Tabla 9). Respecto a la mano de obra, se percibió una diferencia entre los tratamientos causados por la aplicación de materiales orgánicos dos veces al año y entre los ciclos originados por el aumento de la producción. El precio de venta se fijó teniendo en cuenta los porcentajes de clasificación de la fruta durante los dos períodos de producción y el precio de comercialización.

Tabla 9. Costos e ingresos en el cultivo de gulupa bajo diferentes tratamientos de fertilización.

Factores	Ciclo 2			Ciclo 3		
	1	2	3	Tratamientos	1	2
Costos de fertilización	512 ^z	561	599	512	561	599
Trabajo	2538	2555	2555	3098	3115	3115
Costes directos	3050	3116	3154	3610	3676	3714
Costes indirectos	1335	1335	1335	1335	1335	1335
Precio de venta por kilo	0.941	0.941	0.941	0.941	0.941	0.941
Ingresos brutos	2790	2844	2970	9698	9823	10245

^zLos costos se expresaron en dólares de los EE.UU. (USD).

De acuerdo con el análisis de varianza (Anexo B), se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos y los ciclos evaluados. Sin embargo, el tercer ciclo mostró los mejores resultados para todos los indicadores (Tabla 10).

Con respecto al rendimiento, se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos en ambos ciclos de producción, destacando los tratamientos con fertilización integrada con respecto al tratamiento con fertilizantes de síntesis química, especialmente con el tratamiento 3, el cual incorporó vermicompost en la fertilización integrada.

Respecto a la eficiencia agronómica (EA), el tratamiento 3 resultó con la menor eficiencia, mientras que los otros dos tratamientos tuvieron valores más altos, en ambos ciclos de producción. En el caso de la eficiencia económica, el mejor resultado se obtuvo con el tratamiento 1 (control), seguido del tratamiento 2 y 3, respectivamente. Sin embargo, el tratamiento 3 obtuvo la mejor relación costo-beneficio (2.28) en comparación con los otros tratamientos.

Tabla 10. Indicadores productivos en el cultivo de gulupa bajo diferentes tratamientos de fertilización. Y: Rendimiento en Ton/ha; EA: Eficiencia agronómica; EE: eficiencia económica; B/C: Relación costo-beneficio. Los valores son la media ± error estándar de las repeticiones por triplicado.

Indicador	Ciclo 2			Ciclo 3		
	Tratamientos			Tratamientos		
	1	2	3	1	2	3
Y	2.96 ± 0.013 a ^z	3.02 ± 0.013 b	3.15 ± 0.014 c	10.31 ± 0.023 A	10.44 ± 0.024 B	10.89 ± 0.024 C
AE	6.65 ± 0.021 a	6.68 ± 0.024 a	2.84 ± 0.017 b	23.14 ± 0.043 A	23.09 ± 0.038 A	9.82 ± 0.032 B
ES	5.44 ± 0.023 a	5.06 ± 0.020 b	4.96 ± 0.016 b	18.92 ± 0.031 A	17.51 ± 0.027 B	17.11 ± 0.029B
B/C	0.636 ± 0.002 a	0.638 ± 0.002 a	0.661 ± 0.002 b	2.21 ± 0.005 A	2.20 ± 0.005 A	2.28 ± 0.005 B

^z La media seguida de diferentes letras dentro de la misma columna fue significativamente diferente, según una prueba de Tukey ($p = 0,05$).

2.4 Discusión

Los tratamientos de fertilización en los que se incorporaron materiales orgánicos (compost de lombriz Los Andes® y Humus Alfa 15®), tratamientos 2 y 3, respectivamente, mostraron un aumento significativo en el contenido de materia orgánica, como se esperaba, y de algunos nutrientes, en comparación con el tratamiento de síntesis química (T1). Sin embargo, en el ciclo 3, se observó una disminución de la materia orgánica que puede atribuirse a las pérdidas debidas a la erosión causada por el aumento de las precipitaciones en ese tiempo, junto con las pendientes del terreno que alcanzan el 12%, lo que a su vez podría afectar la disponibilidad de nutrientes de esta, especialmente nitrógeno.

En relación con algunos nutrientes, su disponibilidad aumentó, con respecto a los valores antes de la fertilización (Anexo A) no solo por la incorporación de fertilización química, sino también por la fertilización orgánica (Tablas 5 y 6), con algunas concentraciones de elementos (S, Fe, Cu, Mn y Zn) consideradas excesivas dadas las concentraciones adecuadas para la granadilla (Tabla 7).

Estos resultados coinciden con los hallazgos de Warman (1998) en cuanto a que la fertilización convencional produce aumentos en los contenidos de P y K, mientras que la fertilización orgánica genera aumentos en C, Ca, Mg, Mn, Cu, Zn; aunque en este caso tales incrementos fueron no significativos.

No obstante, este mejoramiento de la fertilidad química del suelo, aunque no siempre significativo, pone en evidencia que la fertilización orgánica complementa a la convencional, tal como lo encontrado por Añez y Espinoza (2002) en cultivo de zanahoria, quienes destacan además la disponibilidad de sustrato orgánico para los microorganismos del suelo.

Respecto a las concentraciones óptimas en los tejidos de gulupa, se pudo observar que, a pesar de tener una alta disponibilidad de hierro y cobre en el suelo, la planta no alcanzó los valores óptimos, lo cual puede atribuirse a los antagonismos que ocurren entre estos nutrientes, dependiendo principalmente de las especies catiónicas y, en algunos casos, de la permeabilidad específica de la membrana celular a una especie catiónica particular (Gárate y Bonilla, 2016). En este caso la absorción de Fe y Cu pudo haber sido afectada por las altas concentraciones de Mn en el suelo. Este antagonismo entre Mn y Fe puede ser atribuido que estos dos nutrientes tienen un transportador de membrana plasmática en común, por lo que se presenta un efecto negativo del Mn en la absorción de Fe (Kobraee y Shamsi 2011).

Aun cuando fue escasa la diferencia, el calcio y el potasio no alcanzaron los valores óptimos en los tejidos, a pesar de que los valores estaban dentro del rango aceptable en el suelo, lo cual podría obedecer a la alta absorción del Mg aún cuando se encontraba en niveles por debajo del óptimo en el suelo, pero en los tejidos, se encontró dentro de valores óptimos, lo cual también puede deberse al comportamiento antagónico de estos elementos, a pesar de que el mecanismo molecular de la absorción de Mg no se conoce bien y, por lo tanto, no existen transportadores de Mg en la membrana plasmática (Rietra *et al.*, 2017).

Se encontró que el fósforo en el suelo estuvo por encima del rango aceptable; sin embargo, en los tejidos apenas alcanzó el rango óptimo. Esto puede explicarse por las características andinas del suelo que le confieren una alta retención específica de este elemento, que es consecuencia de las reacciones de adsorción y precipitación, en las que el fósforo puede convertirse en formas poco solubles o insolubles, dependiendo de las características del suelo, la profundidad de enraizamiento del cultivo, las condiciones climáticas, el suministro de otros nutrientes y el manejo de agroecosistemas (Manschadi *et al.*, 2014; Velázquez *et al.*, 2016; Schneider, *et al.*, 2019). La concentración aceptable de N en los tejidos de gulupa es un indicativo de que la aplicación de los fertilizantes cubrió los requerimientos del elemento.

Las diferencias en los rendimientos entre los dos ciclos evaluados pusieron al tercer ciclo en ventaja, ya que estos fueron más del triple de los logrados durante el segundo ciclo. Estas diferencias pueden atribuirse, en primer lugar, al aumento de la precipitación en el segundo ciclo (Fig. 3; Anexo F), durante las etapas de floración y formación de frutos, que además pueden haber creado condiciones anaeróbicas en el suelo, y las pasifloráceas, especialmente la gulupa son muy sensibles al exceso de humedad en el suelo (Fisher y Miranda, 2021), ya que el exceso de agua puede ocasionar una falta de oxígeno que implica respiración anaeróbica en las raíces y reduce el suministro de ATP. Los productos finales de este proceso, así como la presencia de otros iones tóxicos en el ambiente reductor que rodea la raíz, tienden a dañar las células de la raíz y aumentar su resistencia hidráulica (Sánchez-Díaz y Aguirreolea, 2013).

Además, durante el segundo ciclo, las plantas se vieron afectadas por el aumento de la humedad relativa (HR) que aparentemente favoreció el desarrollo de enfermedades fúngicas que prevalecieron durante la floración y el cuajado de frutos que redujeron sustancialmente la cantidad de fruto esperada. Se ha comprobado que la alta HR dificulta la adecuada transpiración de esta planta, provocando una deficiente absorción de los nutrientes que son tomados por el flujo másico. La planta se vuelve sensible al desarrollo de enfermedades y disminuye la efectividad en el uso de agroquímicos aplicados en forma de aspersión (Romero *et al.*, 2022). Por otro lado, debido a que es un cultivo que no es tolerante a condiciones de alta humedad en el suelo, su desarrollo reproductivo también podría verse seriamente afectado, por lo que, para esta especie, es importante que la humedad relativa se mantenga entre 60 y 70 %, lo que sostiene una

polinización y una fecundación efectivas y permite que los estigmas permanezcan hidratados y adhesivos (Ocampo *et al.*, 2020).

Por otro lado, las condiciones climáticas y en particular la radiación solar que acompañó la producción durante el tercer ciclo fue bastante favorable durante la floración y la formación de frutos, lo que resultó en una mayor producción.

Todo esto sugiere el efecto positivo de variables climáticas como la radiación solar en aspectos productivos vitales como el rendimiento, mientras que variables como la humedad relativa pueden tener efectos negativos en estados fenológicos clave para la producción. Sánchez *et al.*, (2013) encontraron que la fruta de gulupa tenía el comportamiento típico de una planta C3 tanto en las hojas como en los frutos. Además, se encontró una correlación positiva entre la apertura estomática, la radiación y la temperatura, junto con una correlación negativa entre la apertura estomática y la humedad relativa.

Considerando el escenario económico, se observó el comportamiento de los indicadores productivos. Mostró diferencias significativas tanto entre los tratamientos como en los ciclos, siendo los parámetros climáticos que se han mencionado de antemano la causa de estos últimos.

Los rendimientos sobresalientes obtenidos por el tratamiento 3 (vermicompost) podrían deberse al equilibrio nutricional que ofrece este material que mejora la productividad del cultivo. Estos resultados coinciden con investigaciones donde se reportan efectos positivos significativos de la fertilización integrada, tanto en la disponibilidad de nutrientes en el suelo, como en los rendimientos de los cultivos y variables asociadas (Jácome, 2011; Flores *et al.*, 2012; Alvarado, 2016; Milicia *et al.*, 2020; Lozano *et al.*, 2015).

En el caso de la eficiencia agronómica, se observó que, cuando se utilizó una mayor cantidad de fertilizante en el tratamiento 3, la eficiencia agronómica quedó en último lugar en comparación con los otros tratamientos. En relación con la eficiencia económica, aunque el rango de diferencias entre los tratamientos es estrecho, sitúa el tratamiento 1 como el mejor ya que no incurre en los costes adicionales por la incorporación de fertilizantes como en los otros tratamientos. En la relación costo-beneficio, este indicador ubica el tratamiento 3 en primer lugar porque ofrece una mayor utilidad derivada de los rendimientos obtenidos.

2.5 Conclusiones

Los principales cambios entre las variables se deben a factores incontrolables durante el experimento, como las condiciones climáticas, que resultaron favorables para los indicadores evaluados durante el tercer ciclo y perjudiciales para el segundo. Sin embargo, los valores obtenidos entre los tratamientos resaltan los efectos positivos de los tratamientos de fertilización integrada, tanto en la planta como en el suelo. El tratamiento con incorporación de vermicompost tuvo mejor desempeño durante el estudio con una relación costo-beneficio de 2.28. De acuerdo con estos resultados, la fertilización integrada puede considerarse como una alternativa viable ya que permite optimizar los insumos que se utilizan en la producción de gulupa y aumenta el beneficio económico del cultivo.

2.6 Bibliografía

Alvarado C. (2016). Efecto de la fertilización orgánica e inorgánica, en el rendimiento de un clon de cacao (*Theobroma cacao*, L) y en la fertilidad del suelo. [Tesis de Pregrado]. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Cartago, Costa Rica. https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/9843/efecto_fertilizaci%C3%B3n_org%C3%A1nica_inorg%C3%A1nica_rendimiento_clon_cacao_%28theobroma%20cacao%2C%20l%29%20_en_la_fertilidad_del_suelo.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Añez, B., Espinoza, W. (2002). Fertilización química y orgánica. ¿Efectos interactivos o independientes sobre la producción de zanahoria? Revista Forestal Venezolana, 46(2): 47-54. <http://bdigital.ulav.ve/storage/pdf/fores/v46n2/art5.pdf>

Calderón-Martínez, V., Delgado-Ospina, J., Ramírez-Navas, J.S., Flórez-López, E., Valdés-Restrepo, M.P., Grande-Tovar, C.D., and Chaves-López, C. (2021). Effect of pretreatment with low-frequency ultrasound on quality parameters in gulupa (*Passiflora edulis* Sims) pulp. Applied Sciences, 11(4): 1734. doi.org/10.3390/app11041734.

Cárdenas-Pira, W.T., Torres-Moya, E., Magnitskiy, S., and Melgarejo, L.M. (2021). Physiological responses of purple passion fruit (*Passiflora edulis* Sims f. Edulis) plants to deficiencies of the macronutrients, Fe, Mn, and Zn during vegetative growth. International Journal of Fruit Science, 21(1): 344-358. doi.org/10.1080/15538362.2021.1890673.

Chemie. (2019). Ficha técnica producto Humichem®. <https://chemiesa.com/wp-content/uploads/2019/04/Humichem-FT-OK.pdf>

Corpoamazonia, WWF, and Asociación Ampora. (2010). Plan de ordenación y manejo de la cuenca alta del río Putumayo. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. <https://repositorio.gestiondelriesgo.gov.co/handle/20.500.11762/22579>

Dos Santos, R., Maior B., J.A., and De Assis, T.E. (2020). Productive potential of yellow passion fruit applying mineral and organic fertilization with worm compost. Ensaio e Ciência C Biológicas Agrárias e da Saúde, 24(2): 137–142. doi.org/10.17921/1415-6938.2020v24n2p137-142.

Fischer, G., y Miranda, D. (2021). Review on the ecophysiology of important andean fruits: *Passiflora* L. Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín, 74(2): 9471-9481. doi.org/10.15446/rfnam.v74n2.91828.

Flechas, N.C., Melgarejo, L.M., Hernández, M.S., and Fernández-Trujillo, J.P. (2020). Postharvest response of purple passion fruits (*Passiflora edulis* f. *edulis* Sims) grown under controlled fertilization. Acta Horticulturae, 1275: 99-104. doi.org/10.17660/ActaHortic.2020.1275.14.

Flores-Aguilar, J. J., Vázquez-Rosales, R., Solano-Vergara, J. J., Aguirre-Flores, V., Flores-Pérez, F. I., Bahena-Galindo, M. E., Oliver-Guadarrama, R., Granjeno-Colín, A. E., Orihuela-Trujillo, A. (2012). Efecto de fertilizante orgánico, inorgánico y su combinación en la producción de alfalfa y propiedades químicas del suelo. Terra Latinoamericana, 30(3): 213-220. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-57792012000300213&lng=es&tlang=es

Forbes. (2023). Gulupa, entre las cinco frutas más exportadas por Colombia en 2022. <https://forbes.co/2023/04/24/economia-y-finanzas/gulupa-entre-las-cinco-frutas-mas-exportadas-por-colombia-en-2022>.

Gárate, A., y Bonilla., I. (2013). Nutrición mineral y producción vegetal. p. 143 – 164. In: Fundamentos de Fisiología Vegetal. McGraw-Hill - Interamericana de España. Azcón-Bieto J. y Talón M. (Ed). Madrid, España.

ICA. (2022). Resolución 824 de 2022 “Por la cual se establecen los requisitos para el registro ante el ICA de los lugares de producción, exportadores y empacadoras de vegetales para la exportación en fresco. Rev. - Inst. Colomb. Agropecu. <https://www.ica.gov.co/normatividad/normas-ica/resoluciones-oficinas-nacionales/2022/2022r0000824>.

IDEAM. (2014). Clasificación climática de Koppen 1982 - 2010. <http://atlas.ideam.gov.co/basefiles/Koppen.pdf>

IGAC. (2014). Estudio general de suelos y zonificación de tierras departamento de Putumayo escala 1:100.000. Instituto Geográfico Agustín Codazzi. Subdirección de Agrología. Bogotá. Imprenta Nacional de Colombia. 382 p.

Jácome V., A. R., Peñarete M., W.; Daza T., M. C. (2013). Efecto de la fertilización orgánica e inorgánica en el cultivo de fríjol (*Phaseolus vulgaris* L.) en un inceptisol con propiedades andicas. Ingeniería de Recursos Naturales y del Ambiente, 12: 59-67 <https://www.redalyc.org/pdf/2311/231130851006.pdf>

Kobraee, S., and K. Shamsi. 2011. Effects of Zn, Fe and Mn on soybean production. Ecology, Environment and Conservation, 17(2):191–96.

Los Andes. (2020). Lombricomposto los Andes. Ficha Técnica. Colombia. <https://actiweb.one/agoorganicoslosandes/productos.html>

Lozano Z., Ramírez H., Rodríguez G., Correa P., Adolfo M., Lobo D. 2015. Total and partial replacement of inorganic fertilizers by an organic fertilizer and its effect on soil properties and banana cultivation. In Borges De-Campos A., Gabriels D. and Lobo D. (Eds) Impacts of Agrosystems on the Environment, pp 83-90 UNESCO Chair of Eremology, Ghent University, Belgium. International Centre of Eremology (ICE), Ghent University, Belgium.

Manschadi, A.M., Hans-Peter, K., Vollman, J., Eitzinger, J., and Wenzel, W. (2014). Developing phosphorus-efficient crop varieties: An interdisciplinary research framework. Field Crops Research, 162: 87–98. doi.org/10.1016/j.fcr.2013.12.01.

Marín H., J.J. y Rengifo M., P.A. (2018). Determinación de curvas de extracción en la gulupa (*Passiflora edulis* f. *edulis* Sims) en el municipio de Sonsón, Antioquia. Encuentro Sennova Del Oriente Antioqueño, 4(1): 47–61. <https://revistas.sena.edu.co/index.php/Encuentro/article/view/2056>.

Milicia V.J., López C.J., Pezzi J.I., Montiel K.A., Lovisolo M.R., Rodríguez M.F. (2020). Efecto de la fertilización orgánica e inorgánica en un cultivo a campo de alelí (*Matthiola incana* (L.) R. Br.). Revista de Divulgación Técnica Agropecuaria, Agroindustrial y Ambiental. Facultad de Ciencias Agrarias. UNLZ, 7 (3), 9-18. <https://revistafcaunlz.gramaweb.com.ar/wp-content/uploads/2020/09/Milicia-et-al.pdf>

Miranda, D., Moreno, N., y Carranza, C. (2015). Un modelo para el manejo de la nutrición en el cultivo de la granadilla (*Passiflora ligularis* Juss). p. 119–152. In: Granadilla (*Passiflora ligularis* Juss): caracterización ecofisiológica del cultivo. Melgarejo L. (Ed). Universidad Nacional de Colombia (Sede Bogotá). Facultad de Ciencias. Corporación Centro de Desarrollo Tecnológico de las Pasifloras de Colombia – CEPASS.

Narváez H., J.P., Riascos V., A.R., y Cisneros M., J.M. (2021). Efecto de la suplementación con *Saccharomyces cerevisiae* en la producción y calidad de leche en bovinos del Valle de Sibundoy, Putumayo, Colombia. Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú, 32(6): e19977. doi.org/10.15381/rivep.v32i6.19977.

Ocampo J., Rodríguez A., y Parra, M. (2020). Gulupa: *Passiflora edulis* f. *edulis* Sims. p. 139-157. In: Pasifloras - especies cultivadas en el mundo. Rodríguez, A., Faleiro, F.G., Parra, M. y Costa, A.M. (Eds). ProImpress-Brasilia, Brasil, DF, Brazil and Cepass, Neiva, Colombia.

Ocampo P., J., and Coppens d., G. (2017). Morphological characterization in the genus *Passiflora* L.: an approach to understanding its complex variability. Plant Systematics and Evolution, 303: 531–558. doi.org/10.1007/s00606-017-1390-2.

Orjuela Baquero, N. M., Pérez Martínez, L. V., Flórez, L. M., Hernández, M. S., and Melgarejo, L. M. (2011). Propuesta de norma técnica colombiana, frutas frescas, gulupa, especificaciones, p. 45–58. In: Pos cosecha de la gulupa (*Passiflora edulis* Sims). Melgarejo, L.M. and Hernández, M.S., Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia. http://www.bdigital.unal.edu.co/8532/7/06_Cap04.pdf

Paull R. y Duarte O. (2011). Tropical fruits. p. 18-30. In: Production Science in Horticulture. C.A.B. International, (Ed). Crop, CABI, Wallingford, Cambridge.

Pérez M., L. V. y Melgarejo, L. M. (2012). Caracterización ecofisiológica de la gulupa (*Passiflora edulis* Sims) bajo tres condiciones ambientales en el departamento de Cundinamarca. p. 11–32. In: Ecofisiología del cultivo de la Gulupa (*Passiflora edulis* Sims) Universidad Nacional de Colombia. <http://www.bdigital.unal.edu.co/8547/>

Quiroga-Ramos, I.A., Fischer, G., y Melgarejo, L.M. (2018). Efecto de la aplicación foliar de boro en el desarrollo fenológico y cuajado de fruto de gulupa (*Passiflora edulis* f. *edulis* Sims). Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas, 12(1): 20-30. doi.org/10.17584/rcch.2018v12i1.7457.

Rakshit, A., Singh, H.B., and Sen, A. (2015). Nutrient use efficiency: from basics to advances. New Delhi: Springer India. doi:10.1007/978-81-322-2169-2.

Retes-López, R., Moreno-Medina, S., Ibarra-Flores, F.A., Martín-Rivera, M.H., y Ibarra-Martín, F.A. (2018). Análisis de rentabilidad del garbanzo en Sonora, ciclos 2012-2013 al 2016-2017. Revista Mexicana de Agronegocios, 43: 89-98. doi10.22004/ag.econ.281300.

Rietra, R.P.J., Heinen, M., Dimkpa, C.O., and Bindraban, P.S. (2017). Effects of nutrient antagonism and synergism on yield and fertilizer use efficiency. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 48 (16): 1895–1920. doi.org/10.1080/00103624.2017.1407429.

Romero, F., Cazzato, S., Walder, F., Vogelsgang, S., Franz S., and van der Heijden, M. (2022). Humidity and high temperature are important for predicting fungal disease outbreaks worldwide. New Phytologist, 234: 1553–1556. doi/pdf/10.1111/nph.17340.

Sánchez, C., Fischer, G., and Wilson S., D. (2013). Stomatal behavior in fruits and leaves of the purple passion fruit (*Passiflora edulis* Sims) and fruits and cladodes of the yellow pitaya [*Hylocereus megalanthus* (K. Schum. ex Vaupel) Ralf Bauer]. *Agronomía Colombiana*, 31 (1): 38-47. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-99652013000100005&andIngl=en&andIngl=en.

Sánchez-Díaz M. y Aguirreolea J. (2013). Absorción de agua por la raíz y transporte por el xilema. Balance hídrico de la planta. p. 57-80. In: Fundamentos de Fisiología Vegetal. Azcón-Bieto, J. y Talón, M. (Eds). McGraw-Hill - Interamericana de España, Madrid, España.

Sanyal, D., Brar, B.S., and Dheri G.S. (2019). Organic and inorganic integrated fertilization improves non-exchangeable potassium release and potassium availability in soil. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 50(16): 2013-2022. doi:10.1080/00103624.2019.1648660.

Schneider, K.D., Thiessen M., J.R., Zvomuya, F., Reid, D.K., Fraser, T.D., Lynch, D.H., O'Halloran, I.P., and Wilson, H.F. (2019). Options for improved phosphorus cycling and use in agriculture at the field and regional scales. *Journal of Environmental Quality*, 48: 1247-1264. doi.org/10.2134/jeq2019.02.0070.

Vanlauwe, B., Coyne, D., Gockowski, J., Hauser, S., Huisng, J., Masso, C., Nziguheba G., and Van Asten P. (2014). Sustainable intensification and the African smallholder farmer. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 8: 15–22. doi.org/10.1016/j.cosust.2014.06.001.

Velásquez, G., Calabi-Floody, M., Poblete-Grant, P., Rumpel, C., Demanet, R., Condron, L., and Mora, M.L. (2016). Fertilizer effects on phosphorus fractions and organic matter in Andisols. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 16(2): 294-304. doi.org/10.4067/S0718-95162016005000024.

Warman, P.R. (1998). Results of the long-term vegetable crop production trials: conventional vs compost-amended soils. *Acta Horticultae*. 469: 333-342 <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.1998.469.36>

Zaman, M., Shahid, S.A., and Heng, L. (2018). Irrigation water quality. In: Guideline for Salinity Assessment, Mitigation and Adaptation Using Nuclear and Related Techniques. Springer, Cham. doi.org/10.1007/978-3-319-96190-3_5

Zhao J, Ni, T., Li, J., Lu, Q., Fang, Z., Huang, Q., and Shen, Q. (2016). Effects of organic-inorganic compound fertilizer with reduced chemical fertilizer application on crop yield, soil biological activity and bacterial community structure in a rice-wheat cropping system. *Applied Soil Ecology*, 99: 1–12. doi:10.1016/j.apsoil.2015.11.006.

Capítulo 3

Efecto de la fertilización integrada sobre el rendimiento y la calidad del fruto de gulupa en la postcosecha (*Passiflora edulis* Sims f. *edulis*), en dos ciclos productivos

Capítulo 3. Efecto de la fertilización integrada sobre el rendimiento y la calidad poscosecha del fruto de gulupa (*Passiflora edulis* Sims f. *edulis*), durante dos ciclos productivos

Resumen

La gulupa (*Passiflora edulis* Sims f. *edulis*) es uno de los principales frutales que hacen parte de la oferta exportadora de Colombia. El objetivo de esta investigación fue determinar el efecto de los fertilizantes químicos solos (control) o junto con otros en fertilización integrada (ácidos húmicos o vermicompost; dos tratamientos separados), sobre el rendimiento y la calidad de la gulupa durante dos ciclos de producción consecutivos en el piedemonte amazónico colombiano. Se monitorearon las condiciones climáticas y el estado fenológico de la planta se relacionó con la temperatura media, la humedad relativa, la precipitación, la radiación solar y el déficit de presión de vapor. La fertilización integrada con vermicompost ofreció mejores valores en los parámetros productivos (peso fresco, número de frutos y diámetro ecuatorial) independientemente del ciclo considerado, pero los atributos de calidad del fruto fueron similares independientemente del tratamiento de fertilización ensayado. Las fluctuaciones de las variables climáticas de precipitación, humedad relativa y radiación solar en ambos ciclos (el segundo más lluvioso y afectado por el fenómeno ENSO) redujeron la calidad del fruto (firmeza del fruto entero en un 19 %, acidez total titulable de materia seca y pulpa en un 24 %, sólidos solubles totales en un 8 %, azúcares individuales en un 49 %, ácidos orgánicos en un 63 % y capacidad antioxidante en un 67 %), así como los parámetros productivos durante el segundo ciclo. Estos resultados demuestran el alto grado de influencia que ejerce el clima sobre los atributos productivos y de calidad de la fruta que son decisivos en la producción y comercialización de la fruta.

Palabras clave: Ciclo productivo, Amazonía, Precipitación, Radiación Solar, Humedad Relativa, Ácidos Orgánicos, azúcares, Capacidad Antioxidante, Fenómeno ENSO.

Abstract

The gulupa (*Passiflora edulis* Sims f. *edulis*) is one of the main fruit trees that are part of Colombia's export supply. The objective of this research was to determine the effect of chemical fertilizers alone (control) or together with integrated fertilization (humic acids or vermicompost; two separate treatments), on the yield and quality of gulupa fruit during two consecutive production cycles in the Colombian Amazon foothills. The climatic conditions were monitored and the phenological state of the plant was related to the average temperature, relative humidity, precipitation, solar radiation, and vapor pressure deficit. The integrated fertilization with vermicompost offered better values in productive parameters (fresh weight, number of fruits and equatorial diameter) irrespective of the cycle considered, but the fruit quality attributes were similar irrespective of the fertilization treatment tested. The fluctuations of the climatic variables of precipitation, relative humidity and solar radiation in both cycles (the second rainiest and affected by the ENSO phenomenon) reduced the quality of the fruit (whole fruit firmness by 19%, dry matter and pulp total titratable acidity by 24%, total soluble solids by 8%, individual sugars by 49%, organic acids by 63% and antioxidant capacity by 67%) as well as the productive parameters during the second cycle. These results demonstrate the high degree of influence exerted by the climate on productive and fruit quality attributes that are decisive in the production and marketing of the fruit.

Keywords: Productive Cycle, Amazon, Precipitation, Solar Radiation, Relative Humidity, Organic Acids, Sugars, Antioxidant Capacity, ENSO Phenomenon.

3.1 Introducción

La gulupa (*Passiflora edulis* Sims f. *edulis*), también conocida como maracuyá púrpura, es una especie nativa del sur de Brasil, Paraguay y norte de Argentina (Ocampo y Morales, 2012). Su fruta tiene un alto interés en el sector productivo colombiano como resultado del aumento de sus exportaciones al mercado europeo en la última década (ANALDEX, 2020). La demanda de los consumidores de gulupa se debe a sus características organolépticas y nutricionales, además de los posibles beneficios medicinales (Fonseca *et al.*, 2022). Este auge ha motivado la expansión de esta especie a otras zonas del país. Sin embargo, no todas las localizaciones son adecuadas para el desarrollo de estos cultivos, dados los requisitos específicos que deben cumplirse para obtener los mejores rendimientos y maximizar el potencial genético de la especie (Pérez y Melgarejo, 2015). La ubicación del cultivo es esencial para el desarrollo de cultivos comerciales en una región. En otras especies, los metabolitos de los frutos y su calidad pueden verse considerablemente afectados por las condiciones climáticas del sitio y la variabilidad de estas entre estaciones, además de la interacción entre el genotipo y el medio ambiente (Fischer y Orduz-Rodríguez, 2012; Zeng *et al.*, 2020). En la gulupa, varios estudios han establecido la presencia de accesiones nativas bien adaptadas en diversas zonas de los Andes colombianos (Castillo *et al.*, 2020), como es el caso de la región del valle de Sibundoy, que se encuentra en el piedemonte amazónico del sur de Colombia. Las condiciones ideales para el desarrollo de gulupa son altitudes entre 1.800 y 2.400 msnm, temperaturas promedio entre 15 y 20 °C, humedad relativa promedio de 80 % y precipitaciones anuales promedio bien distribuidas de 900 a 1.200 mm (Jiménez *et al.*, 2012).

El cambio climático se ha convertido en un factor determinante en los sistemas de producción agrícola, dado que el comportamiento de variables como la precipitación, la

temperatura, la radiación solar y el contenido de dióxido de carbono terminan causando impactos significativos en la fisiología vegetal en etapas previas a la cosecha, lo que afecta los rendimientos, la calidad y el uso potencial de los productos vegetales comestibles (Ali *et al.*, 2020). El fenómeno climático afecta la calidad de la fruta y el comportamiento fisiológico, lo que a su vez influye en la presencia de metabolitos secundarios y componentes nutricionales (Ali *et al.*, 2021; Srivastava, 2019). Por ejemplo, la radiación solar aumenta los compuestos fitoquímicos en la manzana (Mignard *et al.*, 2021) o polifenoles en la ciruela china (Liu *et al.*, 2022), o la firmeza determinada de la fruta entera según la posición en el dosel (Lobos *et al.*, 2018). Además, la radiación solar mejoró los atributos deseables, como el color en el litchi (Purbey *et al.*, 2019). Por otro lado, los registros de precipitación más altos aumentaron el contenido de antocianinas y una mejora en la calidad de la fruta de grosella y granada, respectivamente (Pott *et al.*, 2023; Boussaa *et al.*, 2020). En la fresa, la precipitación excesiva causó una caída en el pH, la acidez y el TSS (Agehara y Nunes, 2021), y en manzana causó la proliferación de *Botrytis* Sp (Tuyet *et al.*, 2012). El aumento de la humedad relativa también favoreció el desarrollo de enfermedades de las plantas en mandarinas (Nawaz *et al.*, 2021).

Una parte importante de los costos de este cultivo está asociada al consumo de fertilizantes y otros insumos necesarios para obtener fruta de excelente calidad, y evitar desencadenar trastornos nutricionales de las plantas para la exportación (Aular *et al.*, 2014). En las Pasifloráceas, se ha encontrado que los macroelementos con mayor extracción son el nitrógeno, seguido de K, el Ca, el P, el Mg y el S. Respecto a los microelementos, se encuentra el hierro, seguido del B, el Mn, el Zn, el Cu y el Mo (Primavesi y Malavolta, 1980). El uso de fertilizantes orgánicos es una alternativa para desarrollar planes de enmienda que garanticen un suministro adecuado, suficiente y oportuno de nutrientes a la planta. El manejo integrado de fertilizantes implica el uso juicioso de fertilizantes químicos y orgánicos, así como germoplasma resistente, junto con una comprensión de las habilidades para emplear tales prácticas en condiciones locales, con el objetivo de aumentar la eficiencia del uso de fertilizantes agronómicos aplicados y mejorar el rendimiento de los cultivos (Vanlauwe *et al.*, 2010). En general, un suministro inadecuado de nutrientes redujo el rendimiento y la calidad de la gulupa, como lo demuestran los estudios previos a la cosecha cuando se utilizan aplicaciones foliares de boro (Quiroga-Ramos *et al.*, 2018) o con aplicación de micronutrientes (Fe, Mn y Zn) (Cárdenas-Pira *et al.*, 2021). Además, los estudios postcosecha de frutas cultivadas bajo fertilización controlada mostraron que las deficiencias afectaron negativamente los procesos metabólicos en las plantas (Flechas *et al.*, 2020).

En gulupa, los estudios bajo ciclos productivos consecutivos del cultivo sometidos a fertilización integrada son escasos. Por lo tanto, el objetivo de este trabajo fue determinar el efecto de los esquemas integrados de fertilización sobre la calidad del fruto de gulupa en la cosecha, comparando dos ciclos productivos consecutivos con notables diferencias climáticas.

3.2 Materiales y métodos

3.2.1 Sitio de estudio

El estudio se realizó en una finca del municipio de Sibundoy ($1^{\circ}12'41.425''$ N y $76^{\circ}54'32.654''$ W —altitud 2.260 m), en el piedemonte amazónico del sur de Colombia. El suelo en el sitio fue clasificado como Andisol, de acuerdo con la Taxonomía de Suelos de los Estados Unidos (USDA, 2014). El clima de la región es de tipo Cfb, según la clasificación de Köppen, con

un clima templado húmedo y veranos frescos (IDEAM, 2014). La región tiene una temperatura media anual de 15,6 °C, una precipitación media anual de 1.529 mm y una humedad relativa media del 81 % (Corpoamazonia, 2010).

3.2.2 Material vegetal

La gulupa (*Passiflora edulis* Sims f. *edulis*) es una planta susceptible al ataque de hongos presentes en el suelo, por lo que se utilizó un portainjerto de cholupa (*Passiflora maliformis* L.) para reducir la posibilidad de daños.

La finca está certificada por el Instituto Colombiano de Agricultura (ICA) para exportar fruta fresca, por lo que su manejo fitosanitario y otros procedimientos para el adecuado sostenimiento del cultivo se ajustan a la norma de dicha entidad para tales aspectos (ICA, 2022).

3.2.3 Tratamientos de fertilización

Los tratamientos de fertilización se establecieron de acuerdo con los análisis de suelo realizados por Agrosavia (Bogotá, Colombia) y los requerimientos del cultivo (Marín y Rengifo, 2018) en cada etapa fenológica, estableciendo el N como elemento limitante (Tabla 11). Los resultados reportaron un suelo con una reacción fuertemente ácida (pH 5,44), un alto porcentaje de materia orgánica, lo que indica una disponibilidad adecuada de nitrógeno. Los contenidos de fósforo y azufre se encuentran en bajas cantidades, así como las bases de intercambio de calcio, magnesio y potasio. La concentración de contenido nativo de boro fue baja, mientras que otros microelementos (hierro, manganeso y zinc) no se incluyeron en el plan de fertilización porque los valores encontrados inicialmente fueron altos (Anexo A). En el tratamiento 1 (control) se utilizaron fertilizantes comerciales de síntesis química (FSQ) de liberación lenta, descritos por Jiménez *et al.*, (2012). En el tratamiento 2, se usó un fertilizante líquido con ácidos húmicos y fulvicos de 15,5 % (p/v) cada uno (Chemie, 2019) junto con FSQ. El tratamiento 3 incluyó el uso de vermicompost (Los Andes, 2020) junto con FSQ. La proporción de fertilizantes orgánicos en los tratamientos se fijó de acuerdo con la forma como su composición permitía integrarlo con el FSQ para satisfacer las necesidades del cultivo. Posteriormente su aplicación se dividió en dos porciones, una al inicio del crecimiento y la otra durante la aparición de la inflorescencia en cada ciclo productivo (Tabla 12). Los insumos se aplicaron en una medialuna por encima de la planta considerando la pendiente del terreno, y se procuró enterrarlos para reducir las pérdidas por volatilización.

Tabla 11. Planes mensuales de fertilización según las etapas fenológicas del cultivo de gulupa (Dosis por planta kg ha⁻¹).

Tiempo (mes)	Etapa fenológica	Tratamiento 1		Tratamiento 2		Tratamiento 3	
		Producto	Dosis	Producto	Dosis	Producto	Dosis
0	Formación de brotes	10 20 20 ^v Bórax	37.5 kg 3 kg	Vermicompost ^z Urea	350 kg 22 kg	Humus ^x 10 20 20 Bórax	3.5 L 37.5 kg 3 kg
1	Crecimiento longitudinal del tallo	10 20 20 Urea	11.4 kg 5 kg	10 20 20 Urea	11.4 kg 5 kg	10 20 20 Urea	11.4 kg 5 kg
		KCl	5.7 kg	KCl	5.7 kg	KCl	5.7 kg
		Yeso ^y	7.1 kg	Yeso	7.1 kg	Yeso	7.1 kg
		Mg sulfato	7.1 kg	Mg sulfato	7.1 kg	Mg sulfato	7.1 kg
		10 20 20 Urea	11.4 kg 5 kg	10 20 20 Urea	11.4 kg 5 kg	10 20 20 Urea	11.4 kg 5 kg
2 – 5 ^w	Desarrollo vegetativo	KCl	5.7 kg	KCl	5.7 kg	KCl	5.7 kg
		Yeso	7.1 kg	Yeso	7.1 kg	Yeso	7.1 kg
		Mg sulfato	7.1 kg	Mg sulfato	7.1 kg	Mg sulfato	7.1 kg
		10 20 20 Urea	11.4 kg 5 kg	10 20 20 Urea	11.4 kg 5 kg	10 20 20 Urea	11.4 kg 5 kg
		KCl	5.7 kg	KCl	5.7 kg	KCl	5.7 kg
6	Aparición de botones florales	Yeso	7.1 kg	Yeso	7.1 kg	Yeso	7.1 kg
		Mg sulfato	7.1 kg	Mg sulfato	7.1 kg	Mg sulfato	7.1 kg
		10 20 20 Urea	11.4 kg 5 kg	Vermicompost	350 kg	Humus	3.5 L
		KCl	5.7 kg			Bórax	3 kg
		Yeso	7.1 kg				
7 - 10	Floración, desarrollo del fruto, maduración y senescencia (cosecha)	Mg sulfato	7.1 kg				
		10 20 20 Urea	11.4 kg 5 kg	10 20 20 Urea	11.4 kg 5 kg	10 20 20 Urea	11.4 kg 5 kg
		KCl	5.7 kg	KCl	5.7 kg	KCl	5.7 kg
		Yeso	7.1 kg	Yeso	7.1 kg	Yeso	7.1 kg
		Mg sulfato	7.1 kg	Mg sulfato	7.1 kg	Mg sulfato	7.1 kg

^z Vermicompost. Producto del compostaje utilizando varios gusanos para crear una mezcla heterogénea de residuos de alimentos en descomposición. ^y Yeso. Es un sulfato de calcio hidratado natural ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), utilizado para tratar suelos sódicos. ^x Humus. Es una enmienda orgánica líquida que proporciona una alta concentración de ácidos húmicos y ácidos fúlvicos. ^w Se utilizan los mismos productos y dosis para cada uno de los meses que componen la etapa fenológica. ^vFertilizante granulado compuesto (NPK).

Tabla 12. Categorización de los estados fenológicos (EF) del cultivo de gulupa (*Passiflora edulis* Sims f. *edulis*).

EF4	EF5	EF6	EF7	EF8	EF9
Desarrollo vegetativo	Botón floral	Floración y antesis	Desarrollo del fruto	Maduración del fruto	Senescencia (cosecha)

Los bloques experimentales (seis bloques por ciclo productivo del cultivo) comprendieron doce plantas, dispuestas con un espacio de 3,5 m entre hileras y 4,0 m entre plantas para una densidad de 714 plantas por ha⁻². Plantas de Salvia (*Salvia corrugata*) se sembraron en el perímetro del cultivo, como barrera viva y atrayente de polinizadores. El cultivo se estableció bajo un sistema de espaldera simple a doble alambre con semitecho, recomendado por Fischer *et al.* (2021) por ofrecer buenos resultados para reducir el impacto de la lluvia en las plantas, especialmente en las flores y la incidencia de enfermedades. Se utilizó un sistema de riego por goteo (un gotero de 4L h⁻¹ por planta) ubicado a 40 cm del tallo de la planta para garantizar el suministro de agua de acuerdo con la evaluación diaria del contenido de agua en el suelo (Rocha, 2004). Las plántulas tenían tres meses de edad en el momento del trasplante, que se llevó a cabo en febrero de 2020 y en julio de 2021 se realizó una poda de renovación, siguiendo las recomendaciones reportadas por Jiménez *et al.*, (2012) para distinguir el segundo ciclo productivo. Las plantas se ubicaron en camas elevadas a 20 cm para proteger el tallo y considerando la pendiente del terreno (12%), se dispusieron terrazas de banco con el fin de reducir los procesos de erosión por la escorrentía.

3.2.4 Datos climatológicos

Los datos climatológicos se midieron a través de una estación climatológica marca METER (Coltein, Bogotá) instalada en la finca. Se registraron humedad relativa (%), temperatura (°C), precipitación (mm/mes), radiación solar (μmol * m⁻²s⁻¹) y déficit de presión de vapor (VPD, en kPa). El intervalo de registro fue de 15 min. La floración completa se observó en la tercera semana de septiembre de 2020 para el primer ciclo y la segunda semana de noviembre de 2021 para el segundo ciclo. Los frutos se recolectaron en la última semana de abril de 2020 para el primer ciclo, y la primera semana de junio de 2022 para el segundo ciclo. Los registros se establecieron de acuerdo con las etapas fenológicas del cultivo (Flórez *et al.*, 2012). A partir de las mediciones anteriores, se calcularon los datos medios sobre precipitación, humedad relativa, radiación fotosintéticamente activa, temperatura (mínima y máxima) y déficit medio de presión de vapor. Los datos de precipitación fueron comparados con los registros históricos reportados por el IDEAM para esta variable (Anexo F). Para las demás variables climáticas no fue posible la comparación de registros históricos debido a la ausencia de información.

3.2.5 Muestreo de frutas

La primera cosecha de la fruta se obtuvo un año después del trasplante. Los frutos de gulupa se cosecharon en la etapa de madurez cuatro (Orjuela Baquero *et al.*, 2011), que corresponde a frutos morados entre el 70 % y el 80 % de su superficie. Los frutos fueron seleccionados de acuerdo con su apariencia y sus características físicas (color homogéneo, tamaño, sin moretones ni arrugas). La cosecha se realizó durante los picos de producción de cada ciclo (abril-2021 y junio-2022), recolectando 12 frutos por planta en cada bloque o repetición. Los frutos se recolectaron de tres plantas centrales para evitar el efecto borde.

En el momento de la cosecha, se registró el diámetro ecuatorial y longitudinal de la fruta (mm) junto con el peso de la fruta fresca (g). El número de frutos se registró solo para las plantas que fueron seleccionadas, manteniendo el registro durante los dos períodos de producción. Después de la cosecha, la fruta fue protegida individualmente con papel Kraft para ser almacenada en neveras de espuma de poliestireno a una temperatura de 12 °C, y luego enviada en avión al Laboratorio de Postcosecha del Instituto de Ciencia y Tecnología de Alimentos, ICTA en la Universidad Nacional (Bogotá), donde se almacenaron en refrigeración a 8 ± 2 °C hasta su procesamiento (aproximadamente 48 horas), siendo una situación que podría afectar la identificación de los picos de frecuencia respiratoria.

Para el análisis de materia seca, se utilizaron tres frutos por réplica (n=3) siguiendo el procedimiento de la literatura (Hernández *et al.*, 2007). Para el análisis de jugo, seis frutas por réplica se cortaron por la mitad para obtener la pulpa con semillas utilizando una cuchara estéril de acuerdo con el procedimiento descrito por la norma técnica colombiana (NTC 5468: 2012) (ICONTEC, 2012). El jugo se extrajo de la pulpa con una cuchara y las semillas se separaron del jugo con un colador manual. El rendimiento promedio de jugo fue del 42 % (p/p). Se almacenaron dos tubos de 15 ml de jugo a -80 °C para el análisis de la composición en azúcares, ácidos orgánicos y actividad antioxidante. El resto del jugo se utilizó para la medición de la acidez total titulable y sólidos solubles totales.

3.2.6 Atributos de calidad y frecuencia respiratoria

Para la determinación de los atributos de calidad se utilizaron tres frutos por réplica (n=3). La firmeza de la fruta entera se evaluó en Newton (N) utilizando un analizador de textura (CT3 Brookfield) con una punta de 2 mm y una velocidad de 1 mm s⁻¹ (Osorio *et al.*, 2011), realizando dos mediciones opuestas de la zona ecuatorial del fruto. El color de la fruta se determinó con un colorímetro Chroma Meter CR-400 Konica Minolta® con iluminante D65 y un ángulo de visión de 0° en el espacio de color CIE L*, a* y b*. Las mediciones siempre se tomaron en dos puntos opuestos de la zona ecuatorial de los frutos. Posteriormente, se calcularon los valores de C* (croma) y h° (ángulo de matiz o tono) (Hernández *et al.*, 2007).

En el jugo extraído de la pulpa, se determinó el contenido de SST (°Brix) utilizando un refractómetro digital portátil (HI 96801 Hanna Instruments) con ajuste de temperatura. La acidez total titulable ATT (mg de ácido cítrico por 100 mL) y el pH del jugo se midieron utilizando un mini valorador HI 84532-01 (Hanna Instruments) (Hernández *et al.*, 2007).

El jugo de fruta obtenido de la pulpa se analizó para ácidos orgánicos (mg / 100 g) y azúcares (mg / 100 g), de acuerdo con Hernández *et al.* (2007); carotenoides (mg / 100 g), según Biswas *et al.* (2011); y capacidad antioxidante (μmol Trolox-Equivalent / 100 g de zumo), por el método DPPH según Grande-Tovar *et al.* (2019) y ABTS según Villa-Rodríguez *et al.* (2011).

Para conocer el comportamiento fisiológico de los frutos sometidos a fertilización integrada, se evaluó su tasa de respiración después de la cosecha. Se tomaron tres frutos con madurez y peso similares por réplica. Los frutos se colocaron en una cámara hermética de 2 L durante 20 minutos a 14 °C. La producción de dióxido de carbono se midió por triplicado utilizando sensores infrarrojos de CO₂ (Vernier, Beaverton, OR, EUA) acoplados a un sistema de captura de datos (Labquest, Vernier Software and Technology, Beaverton, OR, EUA). El peso de los frutos se registró diariamente para obtener la tasa de respiración en mL kg⁻¹ h⁻¹ de CO₂ (Balaguera-López *et al.*, 2017). Se determinó la densidad media del fruto (594 kg/m³) siguiendo

el método de Pinzón *et al.* (2007), para calcular el volumen de espacio de cabeza en el que se acumuló el CO₂.

3.2.7 Análisis estadístico

Las variables fisicoquímicas, bioquímicas y fisiológicas del fruto medidas en la cosecha se sometieron a las pruebas de Kolmogorov-Smirnov y Levene para verificar los supuestos de normalidad y homocedasticidad de las varianzas, respectivamente. Para la identificación de valores atípicos se utilizaron diagramas de caja y bigote (Boxplot). Se estableció un diseño de bloques aleatorizados con seis repeticiones. El modelo lineal utilizado para el diseño de bloques aleatorizados con disposición bifactorial fue el siguiente:

$$Y_{ijk(l)} = \mu + \alpha_i + \gamma_j + (\alpha \cdot \gamma)_{ij} + \beta_k + \varepsilon_{ijk(l)}$$

En el que $Y_{ijk(l)}$, representa la i-ésima muestra de una variable dependiente; μ , es la media global; α_i , es el efecto del tratamiento ($i = 3$); γ_j , es el efecto ciclo ($j = 2$); $\alpha \cdot \gamma_{ij}$ = es la interacción entre el tratamiento y el ciclo; β_k , es el efecto de los bloques y ε_{ijk} es el error aleatorio asociado con el i-tratamiento, j-ciclo y k-bloque.

El efecto de los tratamientos junto con los ciclos de producción se evaluó mediante análisis de varianza (ANOVA). Se aplicó una prueba de comparación de Tukey de medias al 5 % a aquellas variables que presentaron diferencias estadísticamente significativas. Cuando el bloqueo no fue significativo, el ANOVA se realizó nuevamente solo con los principales factores e interacciones para aumentar el poder del análisis por el mayor número de réplicas por factor significativo (Anexo D). También se realizó mediante ANOVA univariado la comparación de los datos de la tasa de respiración entre los ciclos productivos del cultivo bajo fertilización integrada. Todos los análisis se realizaron con el software estadístico Statgraphics Centurion XVIII (Maryland, USA). Los datos se presentan como valores medios ± error estándar (n=6).

3.3 Resultados

3.3.1 Parámetros climatológicos

Durante el estudio, se registró una variación climática típica, representada principalmente por el aumento de las precipitaciones durante el desarrollo del segundo ciclo productivo. Todo esto podría influir en el desarrollo de la planta y la calidad del fruto, para lo cual se estudió cada parámetro en relación con la etapa fenológica de la planta (Tabla 11).

En el segundo ciclo, la precipitación aumentó significativamente durante las etapas de botón floral, floración y el primer mes de desarrollo del fruto (Fig. 5). Sin embargo, esta variable tuvo un efecto valle para el mismo período del primer ciclo. Durante las etapas fenológicas posteriores, la precipitación aumentó en ambos ciclos.

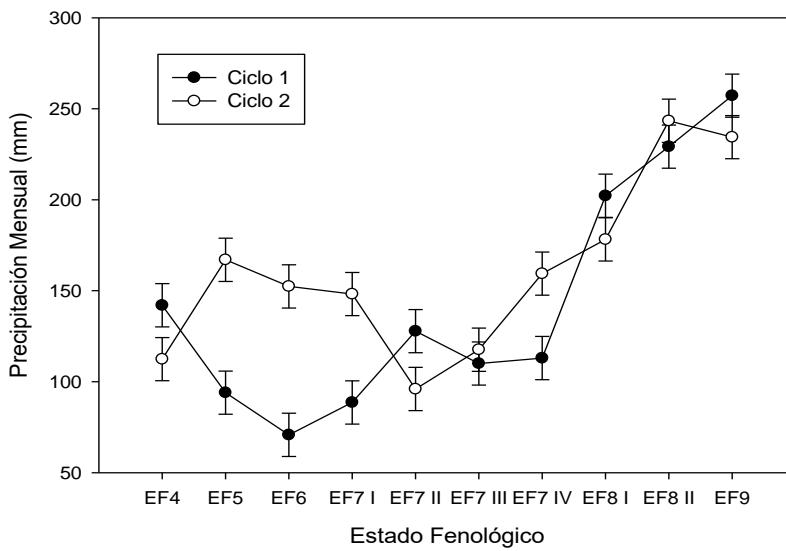


Figura 5. Comportamiento de la precipitación mensual según los estados fenológicos del cultivo de gulupa en dos ciclos productivos consecutivos.

Las diferencias en la humedad relativa entre ciclos fueron notables en las etapas de botón floral, floración y desarrollo del fruto (EF5, EF6 y EF7), porque la HR fue mayor durante el segundo ciclo y solo disminuyó durante la floración en el primer ciclo (Fig. 6).

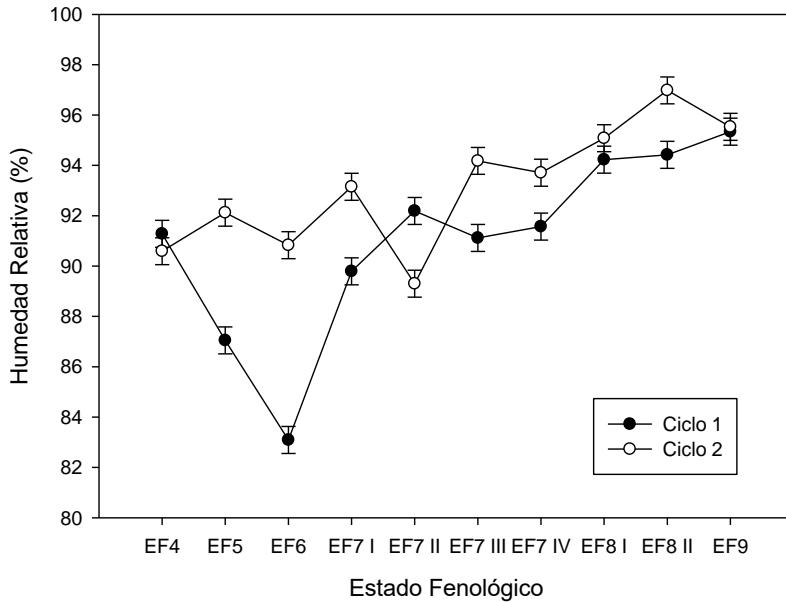


Figura 6. Comportamiento de la humedad relativa relacionada con los estados fenológicos del cultivo de gulupa en dos ciclos productivos consecutivos (media ± desviación estándar).

La radiación solar presentó valores más altos durante el primer ciclo productivo (Fig. 7), y un ejemplo de ello fue el pico que se registró en ese ciclo entre la etapa de floración (EF6) y el primer mes de desarrollo del fruto (EF7). También hubo una disminución de EF7 en su tercer mes

a EF9 para los dos ciclos, observándose una mayor radiación recibida por la planta durante este período en el primer ciclo.

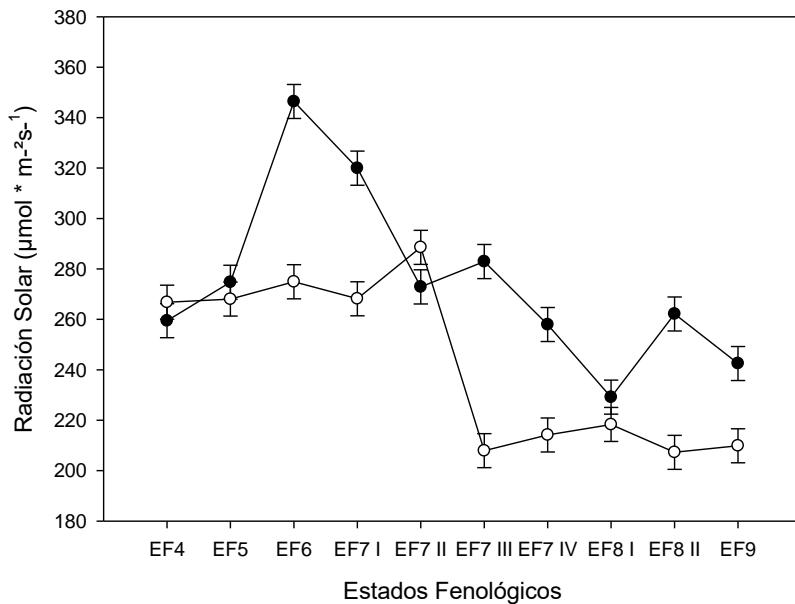


Figura 7. Comportamiento de la radiación solar relacionada con los estados fenológicos del cultivo de gulupa en los dos ciclos productivos consecutivos (media ± desviación estándar).

Los valores de temperatura mínima fluctuaron entre 6 y 10 °C (por la noche y hasta el amanecer) (Fig. 8). Los registros de las temperaturas mínimas siguieron un patrón similar para los dos ciclos.

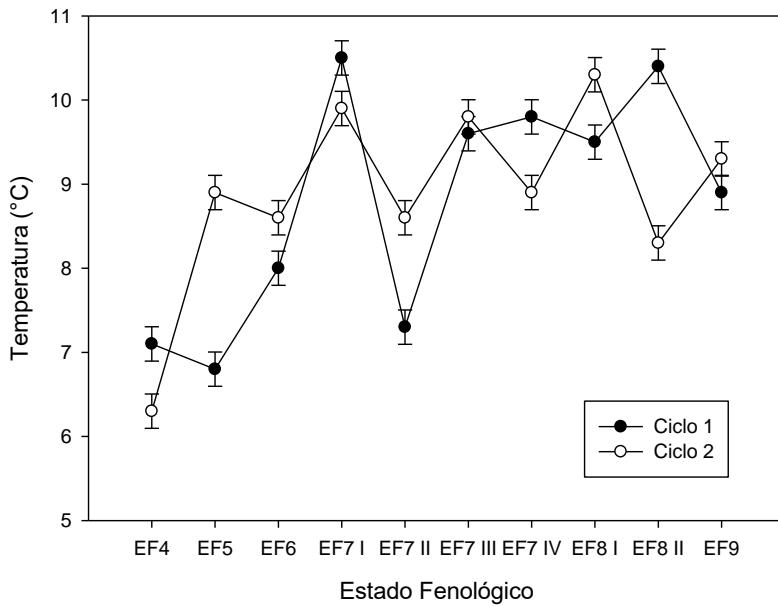


Figura 8. Figura 1. Comportamiento de la temperatura mínima respecto a los estados fenológicos del cultivo de gulupa en dos ciclos productivos consecutivos (media ± desviación estándar).

Los valores máximos de temperatura oscilaron entre 23 y 30 °C (entre las 10:00 am y las 3:00 pm) (Fig. 9). Los registros más altos de temperaturas máximas se alcanzaron en el primer ciclo, y particularmente en las etapas de botón floral, floración y primer mes de desarrollo del fruto.

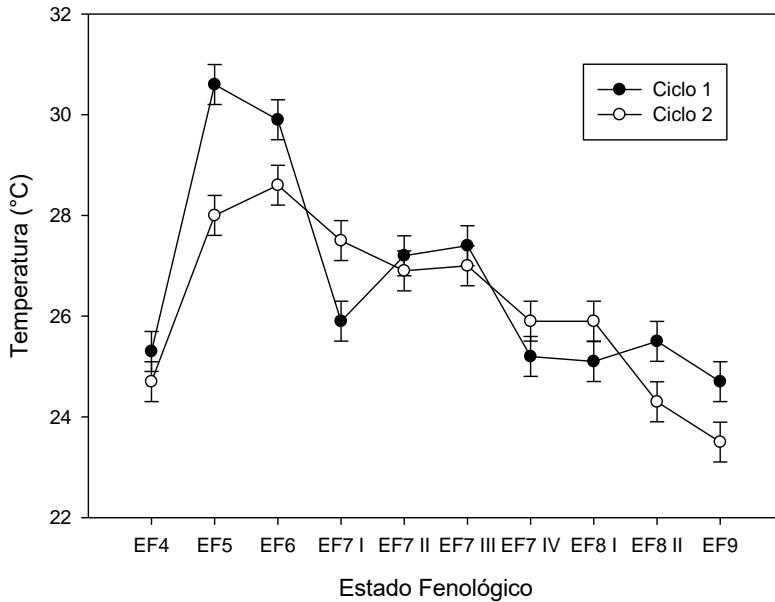


Figura 9. Comportamiento de la temperatura máxima respecto a los estados fenológicos del cultivo de gulupa en dos ciclos productivos consecutivos (media ± error estándar).

Por otro lado, no fue posible distinguir ninguna influencia del déficit de presión de vapor en ninguna de las etapas fenológicas analizadas durante los dos ciclos

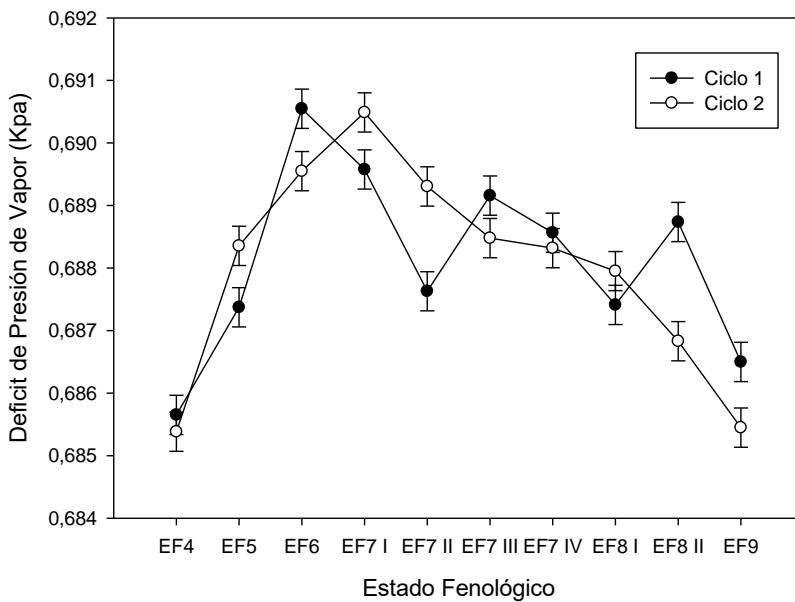


Figura 10. Comportamiento del déficit de presión de vapor respecto a los estados fenológicos del cultivo de gulupa en dos ciclos productivos consecutivos (media ± error estándar).

3.3.2 Parámetros físicos y de producción del fruto en la cosecha

Las plantas que se desarrollaron durante el primer ciclo obtuvieron mayor producción, frutos de mayor peso y tamaño, que los obtenidos durante el segundo ciclo. El efecto del ciclo en el cultivo sobre estos parámetros fue notablemente mayor que el de la fertilización y con diferencias significativas (valores más altos en el ciclo 1, Tabla 13), con ausencia de interacción entre ciclo, fertilización o efecto de bloque (Anexo B). Respecto a los tratamientos de fertilización, su efecto solo se pudo notar en los parámetros de peso fresco (PF), número de frutos (NF) y diámetro ecuatorial (DE), obteniendo los valores más altos con el uso de vermicompost (Tabla 13). De hecho, fueron las principales diferencias entre los tratamientos de fertilización de esta experiencia.

Tabla 13. Valores medios de peso fresco, frutos por planta, diámetro ecuatorial y longitudinal en gulupa para los principales factores significativos del experimento.

Factores	Peso fresco (g)	Frutos por planta	Diámetro ecuatorial de la fruta (mm)	Diámetro longitudinal de la fruta (mm)
Tratamiento^z				
Tratamiento 1	43.57 ± 0.48 a ^y	104.42 ± 1.57 a	46.46 ± 0.52 a	53.10 ± 0.59 a
Tratamiento 2	44.42 ± 0.49 a	105.83 ± 1.18 ab	46.95 ± 0.53 ab	53.61 ± 0.61 a
Tratamiento 3	45.97 ± 0.51 b	106.66 ± 1.19 b	47.39 ± 0.53 b	53.84 ± 0.61 a
Ciclos del cultivo				
Ciclo 1	48.55 ± 0.54 A	106.91 ± 1.21 A	51.51 ± 0.57 A	58.71 ± 0.65 A
Ciclo 2	40.47 ± 0.45 B	104.20 ± 1.16 B	42.26 ± 0.47 B	48.34 ± 0.54 B

^z Los tratamientos de fertilización fueron: 1, fertilizantes químicos; 2, ácidos húmicos más fertilizantes químicos; 3, vermicompost más fertilizantes químicos. ^y Los valores son la media ± error estándar de replicaciones por triplicado; Las medias seguidas de letras diferentes dentro de un mismo factor en una columna fueron significativamente diferentes según la prueba de Tukey (p=0,05).

3.3.3 Atributos de calidad en la cosecha

El primer ciclo productivo presentó frutos con mayores niveles de firmeza en la fruta entera, sólidos solubles totales, acidez total titulable y materia seca en relación con el segundo ciclo de cultivo. Sin embargo, no se obtuvieron diferencias en estos atributos de calidad de la gulupa asociados al bloque, la fertilización o la interacción entre la fertilización y el ciclo del cultivo (Tabla 14 y Anexo D).

Tabla 14. Valores medios de firmeza del fruto entero, sólidos solubles totales, acidez total titulable y materia seca en el fruto de gulupa al momento de la cosecha para el factor significativo del ciclo productivo del cultivo.

Ciclo productivo	Firmeza del fruto entero (N)	SST (°Brix)	ATT (% Ácido Cítrico)	Materia Seca (%w/w)
Ciclo 1	13.34 ± 0.15 a ^z	12.38 ± 0.14 a	3.87 ± 0.04 a	27.90% ± 0.31 a
Ciclo 2	10.86 ± 0.12 b	11.39 ± 0.13 b	2.93 ± 0.03 b	21.20% ± 0.24 b

^z Los valores son la media ± error estándar de replicaciones por triplicado. Las medias seguidas de letras diferentes dentro de una misma columna fueron diferentes significativamente, según prueba de Tukey (p=0,05).

En la evaluación del pH, no hubo diferencias significativas entre los tratamientos de fertilización y tampoco entre ciclos, con un valor medio a la cosecha de 2.969 unidades (Anexo D).

Las coordenadas colorimétricas L*C*h no mostraron diferencias significativas entre los tratamientos de fertilización evaluados. Sin embargo, el color se vio afectado por los ciclos productivos (Tablas 15). También se obtuvieron concentraciones más bajas para el segundo ciclo en azúcares solubles (Tabla 16), ácidos orgánicos (Tabla 17) y actividad antioxidante evaluada por dos métodos diferentes (Tabla 18), nuevamente sin efecto significativo de los tratamientos de fertilización o la interacción tratamiento de fertilización con el ciclo productivo (Anexo D).

Tabla 15. Valores medios de los índices de color de piel variables L, C* y h° en el fruto de gulupa en la cosecha para el factor significativo del ciclo productivo del cultivo

Ciclo productivo	L* (Luminosidad)	C* (Chroma)	h° (Ángulo Hue)
Ciclo 1	28.13 ± 0.31 b ^z	6.39 ± 0.07 b	48.27 ± 0.54 b
Ciclo 2	26.40 ± 0.29 a	5.21 ± 0.06 a	38.62 ± 0.43 a

^z Los valores son la media ± error estándar de replicaciones por triplicado. Las medias seguidas de letras diferentes dentro de una misma columna fueron significativamente diferentes, según la prueba de Tukey (p=0,05).

La sacarosa fue el azúcar predominante en el jugo de la gulupa, seguido de la fructosa y la glucosa. Paralelamente, se observó la misma reducción en el comportamiento de los azúcares en el ciclo 2 frente al ciclo 1 determinado en la titulación de ácidos, aunque no tan pronunciado (Tabla 15). La reducción del segundo ciclo frente al primero en sacarosa, fructosa, glucosa, glicerol y rafinosa fue de 46 %, 50%, 37 %, 72 % y 41 %, respectivamente.

Tabla 16. Valores medios del contenido de compuestos de azúcar individuales (mg/100 g PF) en el jugo del fruto de gulupa en la cosecha para el factor significativo ciclo productivo

Ciclo productivo	Sacarosa	Fructosa	Glucosa	Glicerol	Rafinosa
Ciclo 1	2324 ± 26a ^z	2198 ± 24a	1646 ± 18a	117 ± 1.3 a	228 ± 2.55 a
Ciclo 2	1259 ± 14b	1093 ± 12b	1030 ± 11b	32 ± 0.3 b	134 ± 1.51 b

^zLos valores son la media ± error estándar de replicaciones por triplicado; Las medias seguidas de letras diferentes dentro de una misma columna fueron significativamente diferentes, según la prueba de Tukey (p=0,05).

El ácido cítrico fue el principal ácido orgánico en la gulupa, aunque el contenido cítrico disminuyó en una sexta parte en el ciclo 2 frente al ciclo 1 (Tabla 17). Se observó una tendencia similar en los ácidos málico, succínico y ascórbico (reducción del 75%, 65% y 28%, respectivamente, para el segundo ciclo).

Tabla 17. Valores medios del contenido de ácido cítrico, málico, succínico y ascórbico en el jugo del fruto de gulupa en la cosecha para el ciclo productivo del cultivo factor significativo

Ciclo productivo	Ácido cítrico (mg/100g FW)	Ácido málico (mg/100g FW)	Ácido succínico (mg/100g FW)	Ácido ascórbico (mg/100g FW)
Ciclo 1	3064.27 ± 34.31 a ^z	424.61 ± 4.75 a	213.72 ± 2.39 a	53.32 ± 0.61 a
Ciclo 2	518.72 ± 5.81 b	106.05 ± 1.18 b	76.46 ± 0.85 b	38.53 ± 0.43 b

^zLos valores son la media ± error estándar de replicaciones por triplicado. Las medias seguidas de letras diferentes dentro de una misma columna fueron significativamente diferentes, según la prueba de Tukey ($p=0,05$).

Los valores de actividad antioxidante obtenidos del método DPPH fueron superiores a los obtenidos con el método ABTS. Los niveles de actividad antioxidante total disminuyeron en el ciclo 2 en comparación con el ciclo 1 y, esta disminución fue más pronunciada en el método ABTS que en el método DPPH (Tabla 18).

Tabla 18. Capacidad antioxidante ($\mu\text{mol Trolox-Equivalente}/100 \text{ g de jugo}$) evaluada por dos métodos en el jugo del fruto de gulupa en la cosecha para el factor significativo del ciclo productivo

Ciclo productivo	DPPH	ABTS
Ciclo 1	141.523 ± 1.58 a ^z	78.31 ± 0.87 a
Ciclo 2	60.414 ± 0.67 b	17.75 ± 0.21 b

^zLos valores son la media ± error estándar de replicaciones por triplicado. Las medias seguidas de letras diferentes dentro de una misma columna fueron significativamente diferentes, según la prueba de Tukey ($p=0,05$).

El contenido de carotenoides totales en el jugo del fruto en la cosecha fue de 3.081 mg/100g FW, sin que se observaran diferencias en los factores analizados (Anexo B).

En la tasa de respiración durante la postcosecha, se estableció preliminarmente que no hubo diferencias significativas entre los tres tratamientos de fertilización probados en la experimentación. Un pico respiratorio en la fruta cultivada bajo fertilización integrada se encontró el día 2 (4 días después de la cosecha). Después de este evento, otro pico menos pronunciado aparece nuevamente hacia el sexto día de evaluación, para continuar un comportamiento ascendente en los dos ciclos productivos. La diferencia media entre ciclos en la tasa respiratoria media desde el día 6 fue de $1,3 \text{ ml kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1} \text{ CO}_2$, mayor en el segundo ciclo frente al primer ciclo (Figura 11).

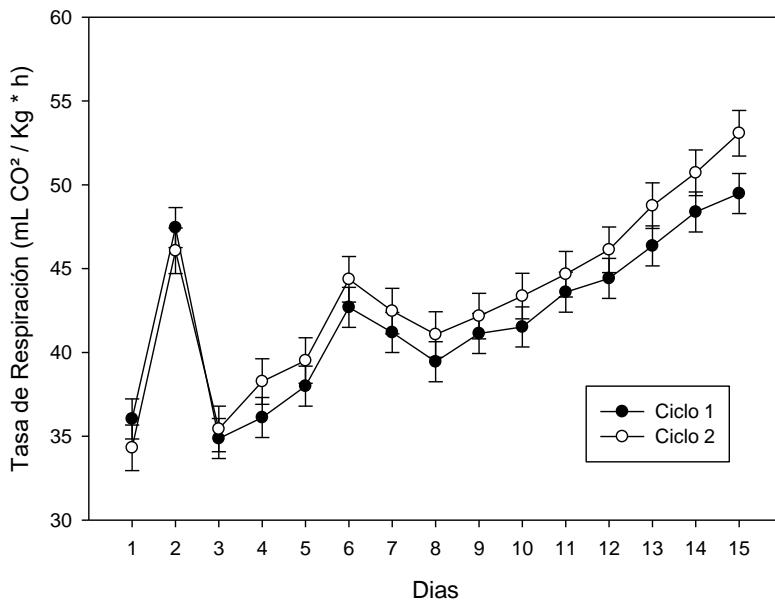


Figura 11. Tasa de respiración en la poscosecha a 14 °C de frutos de gulupa cultivados bajo fertilización integrada y cosechados en dos ciclos productivos consecutivos (media ± error estándar, n = 6)

3.4 Discusión

La consolidación de los resultados reveló que la mayoría de los cambios significativos en la gulupa se debieron a los ciclos productivos dadas las diferencias en las condiciones climáticas, seguidas de los tratamientos de fertilización, que originaron cambios solo en las variables productivas. El efecto de las condiciones climatológicas (temperatura, radiación solar, altitud, lluvia, viento y composición atmosférica) sobre el crecimiento y la madurez de los frutos en la cosecha y en la postcosecha también ha sido esbozado por varios autores en otras frutas tropicales y subtropicales (Fischer y Melgarejo, 2020; Restrepo-Díaz y Sánchez-Reinoso, 2020; Yahia et al., 2019). Este estudio determinó que el efecto de estas condiciones climatológicas fue notable en algunas etapas fenológicas de la gulupa.

La precipitación mostró una gran variación durante el desarrollo del experimento con gulupa (Fig. 5). Este comportamiento fue un efecto típico del fenómeno ENSO (El Niño Oscilación del Sur) que comenzó a partir del segundo semestre de 2020 y transcurrió hasta finales de 2022, convirtiéndose en el primer episodio triple de este fenómeno registrado en este siglo según la Organización Meteorológica Mundial (OMM) (ONU, 2022). En condiciones tropicales, la temperatura y el fotoperíodo son relativamente uniformes durante todo el año, siendo las precipitaciones la variable climatológica con mayor impacto en el crecimiento, desarrollo y producción (Ramírez et al., 2021). Su distribución bimodal en la región andina define el volumen, la cantidad y la calidad de los frutos, así como las épocas de floración y cosecha (Cleves-Leguizamo et al., 2021). Por lo tanto, se podría deducir que los picos de precipitación registrados durante el segundo ciclo podrían ser una de las principales causas climáticas de las alteraciones sufridas por los frutos en ese período (Anexo F). El color de la fruta se habría visto afectado por la menor intercepción de la luz debido a mayores períodos de precipitación y cielos nublados, lo que posiblemente limitó el desarrollo completo de estas cualidades en la fruta. A este respecto,

Azari *et al.* (2010) demostraron en frutas de tomate que la luz es un componente importante que afecta la expresión de genes relacionados con la síntesis de pigmentos y también regula su acumulación mediante el control del aparato de señalización de luz. Por otro lado, la materia seca y la textura podían disminuir como resultado de largos períodos de lluvia, lo que resulta en un aumento de la humedad de la fruta. Según Fischer y Melgarejo (2021), el exceso de lluvias durante el desarrollo de las frutas andinas las hace más acuosas, más suaves y con contenido reducido de azúcar, un patrón que coincide con los resultados encontrados en este trabajo.

En el mismo sentido, se observó una fluctuación en la humedad relativa (Fig. 6), que estuvo directamente relacionada con las precipitaciones y tiene un marcado impacto en aspectos como la actividad de los polinizadores, la temperatura del aire, la presencia de vientos, niebla y llovizna, la fisiología vegetal, la distribución de patógenos, la calidad de los frutos y la productividad de los cultivos (Cleves-Leguizamo and Jarma Orozco, 2009; Miranda *et al.*, 2009). Esta condición habría influido en el aumento de la tasa de respiración de los frutos durante el segundo ciclo. Un comportamiento similar ocurrió en mango, en el que la tasa de respiración, la producción de etileno y la calidad de la fruta estaban relacionadas con el balance hídrico de la planta (Nordey *et al.*, 2016). Es bien sabido que la alta humedad relativa dificulta la transpiración adecuada del árbol frutal, causando una mala absorción de los nutrientes que son tomados por el flujo másico (Miranda *et al.*, 2009).

La reducción de la radiación recibida por la planta durante el segundo ciclo (Fig. 7), fue otra causa de devaluación significativa en sus propiedades de calidad. La radiación solar es una fuente fundamental de energía para la actividad fotosintética de las plantas (Koyama *et al.*, 2012), que es su papel principal para la producción de biomasa y para el rendimiento de los cultivos frutales (Fischer *et al.*, 2016). Por otro lado, la exposición a la luz del área foliar de las plantas está directamente relacionada con la calidad del fruto (Amaya, 2009) y particularmente con la concentración de sólidos solubles (Arias *et al.*, 2016). En el presente estudio, los SST disminuyeron durante el segundo ciclo debido a estas condiciones climáticas, lo que corresponde a lo encontrado en otros frutales andinos, donde las condiciones de radiación y precipitación no favorecieron un mayor desarrollo de esta característica (Fischer *et al.*, 2019; Fischer y Melgarejo, 2021; Martínez-Vega *et al.*, 2008). Esto se relaciona con atributos como los azúcares solubles, dado que su concentración es el resultado de la compleja contribución de varias etapas que van desde la síntesis fotoasimilada en las hojas hasta la acumulación de azúcar en el fruto, pasando por la fotosíntesis, la síntesis de azúcares de translocación, la carga de azúcar por translocación, la translocación, la descarga, el transporte de membranas y la conversión metabólica (Yamaki, 2010).

Los estudios en diferentes frutas demuestran las tendencias crecientes en la acumulación de azúcares en frutas que se desarrollan con una radiación solar adecuada (Choi *et al.*, 2014; Mikulic-Petkovsek *et al.*, 2015; Sim *et al.*, 2017). Esto explicaría las diferencias entre el ciclo uno y el dos, puesto que este último mostró los valores más bajos. Otro efecto concatenado es la reducción de ácidos orgánicos, acidez titulable total y capacidad antioxidante durante el segundo periodo (Tablas 13, 16 y 17) y, en particular, la relación del primero con los dos restantes. Al reducirse la cantidad de ácidos se disminuye la acidez total titulable y del ácido ascórbico al mismo tiempo, lo que, dadas sus propiedades antioxidantes, provocaría la afectación de la capacidad antioxidante del fruto. En un cultivo diferente (fresa), se encontró una correlación positiva entre la radiación global y las horas de luz solar en el contenido total de ácido (Davik *et al.*, 2006). Las fluctuaciones observadas en los registros de temperatura (Fig. 8 y 9),

principalmente en los valores máximos, reforzarían los hallazgos que se han discutido sobre cada uno de los parámetros de producción y calidad.

Los resultados para el pH y el contenido de carotenoides son estables entre los dos ciclos, lo que contrasta con las diferencias en el contenido de ácidos orgánicos. Según lo reportado en la literatura para maracuyá (Menéndez Aguirre *et al.*, 2006), esto significa que hay un sistema de autorregulación, que podría ser el resultado de un efecto amortiguador del ácido cítrico, que tiende a convertirse en la sal correspondiente, por lo que este atributo tiende a permanecer constante. Otra explicación es que el estrés biótico o abiótico podría haber ocurrido en el segundo ciclo debido a condiciones climáticas, aumentando su necesidad de sustratos de azúcar y ácidos para la tasa de respiración homeostática y frutal de la planta (como se observó en la pos cosecha; Fig. 6).

Actualmente, muchas alternativas que buscan aumentar la fertilidad del suelo y la productividad de los cultivos, y la reducción de los impactos ambientales negativos de la agricultura tradicional, se centran en el uso de recursos renovables. Estos incluyen materiales orgánicos compostados, y el uso racional de insumos que logran la armonización de los recursos disponibles a través de nuevos sistemas como la gestión integrada de fertilización (Darjee *et al.*, 2022), que se utiliza para llevar a cabo este trabajo.

Los resultados positivos de la integración del vermicompost en los tratamientos de fertilización indican que esta es una opción para mejorar la eficiencia del cultivo y potencialmente reducir el uso de fertilizantes químicos sintéticos (más caros), dada la reducción que implica la sustitución parcial. También hay ventajas ambientales, porque se utilizan recursos renovables y se reducen los efectos contaminantes sobre el medio ambiente (volatilización y lixiviación), y los efectos de deterioro de la calidad del agua y posible eutrofización de los cauces de los ríos y lagos o embalses asociados) (Rashmi *et al.*, 2022). Resultados similares a la presente investigación se encontraron en fresa, en la que el uso de vermicompost aumentó características como el área foliar, el número de flores, los frutos por planta y se produjeron frutos con mayor peso y tamaño (Changotra *et al.*, 2017). Otros estudios demuestran que la enmienda de vermicompost puede aumentar la producción de plantas al aumentar los nutrientes disponibles para las plantas e indirectamente promover la calidad del suelo al mejorar su estructura y estimular las actividades microbianas, en relación con la fertilización química convencional (Kashem *et al.*, 2015; Song *et al.*, 2016).

Teniendo en cuenta el desempeño de los períodos de cosecha en términos de atributos productivos, se encuentra que los frutos obtenidos durante el primer ciclo serían clasificados como calibre 2, mientras que los frutos del segundo ciclo serían calibre 4 según la Propuesta de Norma Técnica Colombiana para frutas frescas (Orjuela Baquero *et al.*, 2011) con base en peso fresco y diámetro ecuatorial. Dicha clasificación permite calcular el grado de influencia de las condiciones climáticas en la productividad y la calidad de la gulupa.

Respecto a la calidad de la fruta, los resultados cuantitativos encontrados en este estudio durante el primer ciclo concuerdan con los reportados por otros autores (Bermeo Escobar, 2021; Diaz *et al.*, 2012; Flórez *et al.*, 2012; Osorio *et al.*, 2011), aunque no con las del segundo ciclo, debido a las fluctuaciones de las variables climáticas que reducen la calidad de la fruta (firmeza de la fruta entera en un 19 %, materia seca y acidez total titulable de la pulpa en un 24 %, sólidos solubles totales en un 8 %, azúcares individuales en un 49 %, ácidos orgánicos en un 63 % y capacidad antioxidante en un 67 %) y parámetros de producción. Sin embargo, las diferencias

encontradas en algunos resultados comparados con los reportados por otros autores, podrían atribuirse a la diversidad del material genético utilizado, las prácticas de manejo agronómico, las instalaciones tecnológicas disponibles y las condiciones edafoclimáticas que prevalecieron en las ubicaciones de los experimentos, siendo estas últimas el factor determinante para este trabajo. A este respecto, Fonseca *et al.* (2022) identificaron la falta de consenso taxonómico en algunos estudios sobre gulupa, lo que puede contribuir a estimaciones inexactas sobre las propiedades de diferentes variedades de esta especie o quizás intraespecies por la falta de propagación clonal de material vegetal.

Estos resultados pueden ser útiles para los productores al elegir el esquema de producción que mejor se adapte a ellos, pero, sobre todo, podría ayudar a identificar medidas de contingencia en condiciones climáticas adversas que puedan limitar el potencial productivo y nutracéutico de la fruta.

3.5 Conclusiones

El ciclo productivo de gulupa tuvo una gran influencia en parámetros clave de producción para los productores como tamaño y peso (y categoría comercial), y otros parámetros de calidad en la cosecha (firmeza de la fruta entera, sólidos solubles totales, materia seca, acidez total titulable, ácidos orgánicos o azúcares). Esto se debió a las diferencias climatológicas entre ambos ciclos, especialmente en las mayores precipitaciones, humedad relativa y radiación solar en las primeras etapas de formación de flores y frutos del ciclo 2 (sometido al fenómeno ENSO) en comparación con el ciclo 1. Se recomienda la fertilización integrada con vermicompost como un esquema de producción viable y sostenible para el cultivo de gulupa. Sin embargo, la influencia de la fertilización en la producción y la calidad del fruto fue menos notable que el ciclo productivo.

3.6 Bibliografía

Agehara, S., and Nunes, M. C. D. N. (2021). Season and nitrogen fertilization effects on yield and physicochemical attributes of strawberry under subtropical climate conditions. *Agronomy*. 11(7): 1391. <https://doi.org/10.3390/AGRONOMY11071391>

Ali, M. M., Yousef, A. F., Li, B., and Chen, F. (2021). Effect of environmental factors on growth and development of fruits. *Tropical Plant Biology*, 14: 226-238. <https://doi.org/10.1007/s12042-021-09291-6>

Ali, S., Ejaz, S., Anjum, M. A., Nawaz, A., and Ahmad, S. (2020). Impact of climate change on postharvest physiology of edible plant products, In: *Plant Ecophysiology and Adaptation under Climate Change: Mechanisms and Perspectives I: General Consequences and Plant Responses*. Hasanuzzaman, M. (Ed.), Springer, Singapore. 4: 87–115. https://doi.org/10.1007/978-981-15-2156-0_4/TABLES/3

Amaya R., J. (2009). Cultivo de Maracuyá (*Passiflora edulis* Sims f. *flavicarpa* Deg), p. 30. Gerencia Regional Agraria La Libertad, Colombia. http://www.agrolalibertad.gob.pe/sites/default/files/MANUAL%20CULTIVO%20DE%20MARACUYA_0.pdf

ANALDEX. (2020). Exportación de gulupa en 2020 - Colombia. Asociación Nacional de Comercio Exterior. <https://www.analdex.org/2021/02/25/exportacion-de-gulupa-en-2020/>

Arias S., J. C., Ocampo P., J., and Urrea G., R. (2016). Sistemas de polinización en granadilla (*Passiflora ligularis* Juss.) como base para estudios genéticos y de conservación. Acta Agronómica. 65(2): 197–203. <https://doi.org/10.15446/ACAG.V65N2.49278>

Aular, J., M. Casares, W. Natale. (2014). Nutrição mineral e qualidade do fruto do abacaxizeiro e domaracujazeiro. Revista Brasileira de Fruticultura, 36(4): 1046-1054. <https://doi.org/10.1590/0100-2945-269/14>

Azari, R., Tadmor, Y., Meir, A., Reuveni, M., Evenor, D., Nahon, S., Shlomo, H., Chen, L., and Levin, I. (2010). Light signaling genes and their manipulation towards modulation of phytonutrient content in tomato fruits. Biotechnology Advances, 28(1): 108–118. <https://doi.org/10.1016/J.BIOTECHADV.2009.10.003>

Balaguera-López, H. E., Espinal-Ruiz, M., Zacarías, L., and Herrera, A. O. (2017). Effect of ethylene and 1-methylcyclopropene on the postharvest behavior of cape gooseberry fruits (*Physalis peruviana* L.). Food Science and Technology International, 23(1): 86–96. https://doi.org/10.1177/1082013216658581/ASSET/IMAGES/LARGE/10.1177_1082013216658581-FIG2.JPG

Bermeo Escobar, L. P. (2021). Evaluación de la influencia del grado de madurez de la gulupa (*Passiflora edulis* Sims) sobre la aceptación sensorial en productos alimenticios. Enfoque UTE: Facultad de Ciencias de La Ingeniería e Industrias - Universidad UTE, 12(1): 29–43. <https://doi.org/10.29019/enfoqueute.554>

Biswas, A. K., Sahoo, J., and Chatli, M. K. (2011). A simple UV-Vis spectrophotometric method for determination of β-carotene content in raw carrot, sweet potato and supplemented chicken meat nuggets. LWT - Food Science and Technology, 44(8): 1809–1813. <https://doi.org/10.1016/J.LWT.2011.03.017>

Boussaa, F., Zaouay, F., Burlo-Carbonell, F., Noguera-Artiaga, L., Carbonell-Barrachina, A., Melgarejo, P., Hernandez, F., and Mars, M. (2020). Growing location affects physical properties, bioactive compounds, and antioxidant activity of pomegranate fruit (*Punica granatum* L. var. Gabsi). International Journal of Fruit Science, 20(2): 508–523. <https://doi.org/10.1080/15538362.2020.1741058>

Cárdenas-Pira, W. T., Torres-Moya, E., Magnitskiy, S., and Melgarejo, L. M. (2021). Physiological responses of purple passion fruit (*Passiflora edulis* Sims f. *edulis*) plants to deficiencies of the macronutrients, Fe, Mn, and Zn during vegetative growth. International Journal of Fruit Science, 21(1): 344–358. <https://doi.org/10.1080/15538362.2021.1890673>

Castillo, N. R., Ambachew, D., Melgarejo, L. M., and Blair, M. W. (2020). Morphological and agronomic variability among cultivars, landraces, and genebank accessions of purple passion fruit, (*Passiflora edulis* f. *edulis*). HortScience, 55(6): 768–777. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI14553-19>

Changotra, P., Bashir, D., Hussain, S., and Kaur, A. (2017). Cultivation of strawberry (*Fragaria X ananassa* Duch.) cv. Chandler as affected by bio and inorganic fertilizers and under open conditions. Global Journal of Biochemistry and Biotechnology, 6(2): 332–343.

Chemie. (2019). Ficha técnica producto Humichem®. <https://chemiesa.com/wp-content/uploads/2019/04/Humichem-FT-OK.pdf>

Choi, H. G., Moon, B. Y., Kang, N. J., Kwon, J. K., Bekhzod, K., Park, K. S., and Lee, S. Y. (2014). Yield loss and quality degradation of strawberry fruits cultivated under the deficient insolation conditions by shading. *Horticulture, Environment, and Biotechnology*, 55(4): 263–270. <https://doi.org/10.1007/S13580-014-0039-0>

Cleves-Leguizamo, J. A., and Jarma Orozco, A. de J. (2009). Manejo integrado del cultivo de maracuya (*Passiflora edulis f. flavicarpa*), In: Cultivo, poscosecha y comercialización de las pasifloráceas en Colombia: maracuyá, granadilla, gulupa y curuba. Miranda, D., Fischer, G., Carranza, C., Magnitskiy, S., Casierra, F., Piedrahita, W., and Flórez, L. E. (Eds.), Sociedad Colombiana de Ciencias Hortícolas, Bogotá Colombia. p. 97–119.

Cleves-Leguizamo, J. A., Ramírez-Castañeda, L. N., and Díaz, E. D. (2021). Proposal of an empirical model to estimate the productivity of 'Valencia' orange (*Citrus sinensis* L. Osbeck) in the Colombian low tropics. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 15(3): e10860–e10860. <https://doi.org/10.17584/RCCCH.2021V15I3.10860>

Corpoamazonia, WWF, and Asociación Ampora. (2010). Plan de ordenación y manejo de la cuenca alta del río Putumayo. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. <https://repositorio.gestiondelriesgo.gov.co/handle/20.500.11762/22579>

Darjee, S., Shrivastava, M., Langyan, S., Singh, G., Pandey, R., Sharma, A., Khandelwal, A., and Singh, R. (2022). Integrated nutrient management reduced the nutrient losses and increased crop yield in irrigated wheat. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 68: 1–12. <https://doi.org/10.1080/03650340.2022.2084535>

Davik, J., Bakken, A. K., Holte, K., and Blomhoff, R. (2006). Effects of genotype and environment on total anti-oxidant capacity and the content of sugars and acids in strawberries (*Fragaria X ananassa* Duch.). *Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 81(6): 1057–1063. <https://doi.org/10.1080/14620316.2006.11512171>

Díaz, R. O., Moreno, L., Pinilla, R., Carrillo, W., Melgarejo, L. M., Martínez, O., Fernández-Trujillo, J. P., and Hernández, M. S. (2012). Postharvest behavior of purple passion fruit in Xtend® bags during low temperature storage. *Acta Horticulturae*, 934: 727–732. <https://doi.org/10.17660/ACTAHORTIC.2012.934.95>

Fischer, G., and Melgarejo, L. M. (2020). La ecofisiología de uchuva (*Physalis peruviana* L.) - un frutal andino. Una revisión. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 14(1): 76–89. <https://doi.org/10.17584/RCCCH.2020V14I1.10893>

Fischer, G., and Melgarejo, L. M. (2021). Ecophysiological aspects of guava (*Psidium guajava* L.). A review. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 15(2): e12355. <https://doi.org/10.17584/rccch.2021v15i2.12355>

Fischer, G., Camacho Tamayo, J. H., and Parra Coronado, A. (2019). Influencia de las condiciones climáticas de cultivo en la calidad en cosecha y en el comportamiento poscosecha de frutos de Feijoa. *Tecnología En Marcha*, 32(8): 86–92. <https://doi.org/10.18845/tm.v32i7.4264>

Fischer, G., Miranda, D., Fischer, G., and Miranda, D. (2021). Review on the ecophysiology of important Andean fruits: *Passiflora* L. Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín, 74(2): 9471–9481. <https://doi.org/10.15446/RFNAM.V74N2.91828>

Fischer, G., Orduz-Rodríguez, J.O., (2012). Ecofisiología en frutales. In: Manual para el cultivo de frutales en el trópico. Fischer, G. (Ed.), Produmedios, Bogotá, Colombia, p. 54–72.

Fischer, G., Ramírez, F., and Casierra-Posada, F. (2016). Ecophysiological aspects of fruit crops in the era of climate change. A review. Agronomía Colombiana, 34(2): 190-199. <https://doi.org/10.15446/agron.colomb.v34n2.56799>

Flechas, N.C., Melgarejo, L.M., Hernández, M.S., and Fernández-Trujillo, J.P. (2020). Postharvest response of purple passion fruits (*Passiflora edulis* f. *edulis* Sims) grown under controlled fertilization. Acta Horticulturae, 1275: 99-104. doi.org/10.17660/ActaHortic.2020.1275.14.

Flórez, L. M., Pérez, L. V., and Melgarejo, L. M. (2012). Caracterización fisicoquímica, fisiológica y bioquímica del fruto de gulupa (*Passiflora edulis* Sims) como indicadores para el punto óptimo de cosecha, In: Ecofisiología del cultivo de la Gulupa (*Passiflora edulis* Sims). Melgarejo, L.M. (Ed), Produmedios Bogota, Colombia. p. 53–79.

Fonseca, A. M., Geraldí, M. V., Junior, M. R. M., Silvestre, A. J., and Rocha, S. M. (2022). Purple passion fruit (*Passiflora edulis* f. *edulis*): A comprehensive review on the nutritional value, phytochemical profile and associated health effects. Food Research International, 111665. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2022.111665>

Grande-Tovar, C. D., Delgado-Ospina, J., Puerta, L. F., Rodríguez, G. C., Sacchetti, G., Paparella, A., and Chaves-López, C. (2019). Bioactive micro-constituents of ackee arilli (*Blighia sapida* K.D. Koenig). Anais Da Academia Brasileira de Ciências, 91(3): e20180140. <https://doi.org/10.1590/0001-3765201920180140>

Hernández, M. S., Martínez, O., and Fernández-Trujillo, J. P. (2007). Behavior of arazá (*Eugenia stipitata* Mc Vaugh) fruit quality traits during growth, development and ripening. Scientia Horticulturae, 111(3): 220–227. <https://doi.org/10.1016/J.SCIENTA.2006.10.029>

ICA. (2022). Resolución 824 de 2022 “Por la cual se establecen los requisitos para el registro ante el ICA de los lugares de producción, exportadores y empacadoras de vegetales para la exportación en fresco. Revista Instituto Colombiano Agropecuario <https://www.ica.gov.co/normatividad/normas-ica/resoluciones-oficinas-nacionales/2022/2022r0000824>.

ICONTEC. (2012). Jugo (zumo), pulpa, néctar de frutas y sus concentrados. Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. <https://tienda.icontec.org/gp-jugo-zumo-pulpa-nectar-de-frutas-y-sus-concentrados-ntc5468-2012.html>

IDEAM. (2014). Clasificación climática de Koppen 1982 - 2010. <http://atlas.ideam.gov.co/basefiles/Koppen.pdf>

Jiménez, J., Carranza, C., and Rodríguez, M. (2012). Gulupa (*Passiflora edulis* Sims), In: Manual para el cultivo de frutales en el trópico. Fischer G. (Ed.). Produmedios, Bogotá, Colombia. p. 579–599.

Kashem, M. A., Sarker, A., Hossain, I., Islam, M. S., Kashem, M. A., Sarker, A., Hossain, I., and Islam, M. S. (2015). Comparison of the effect of vermicompost and inorganic fertilizers on vegetative growth and fruit production of tomato (*Solanum lycopersicum* L.). Open Journal of Soil Science, 5(2): 53–58. <https://doi.org/10.4236/OJSS.2015.52006>

Koyama, K., Ikeda, H., Poudel, P. R., and Goto-Yamamoto, N. (2012). Light quality affects flavonoid biosynthesis in young berries of Cabernet Sauvignon grape. *Phytochemistry*, 78: 54–64. <https://doi.org/10.1016/J.PHYTOCHEM.2012.02.026>

Liu, C., Liu, M., Yang, L., and Zhang, X. (2022). Influence of ripening stage and meteorological parameters on the accumulation pattern of polyphenols in greengages (*Prunus mume* Sieb. Et Zucc) by widely targeted metabolomic. *Current Research in Food Science*, 5: 1837–1844. <https://doi.org/10.1016/J.CRFS.2022.10.013>

Lobos, G. A., Bravo, C., Valdés, M., Graell, J., Lara Ayala, I., Beaudry, R. M., and Moggia, C. (2018). Within-plant variability in blueberry (*Vaccinium corymbosum* L.): maturity at harvest and position within the canopy influence fruit firmness at harvest and postharvest. *Postharvest Biology and Technology*, 146: 26–35. <https://doi.org/10.1016/J.POSTHARVBIO.2018.08.004>

Los Andes. (2020). Lombricomposto los Andes. Ficha Técnica. Colombia. <https://actiweb.one/agroorganicoslosandes/productos.html>

Marín H., J.J. y Rengifo M., P.A. (2018). Determinación de curvas de extracción en la gulupa (*Passiflora edulis* f. *edulis* Sims) en el municipio de Sonsón, Antioquia. Encuentro Sennova Del Oriente Antioqueño, 4(1): 47–61. <https://revistas.sena.edu.co/index.php/Encuentro/article/view/2056>.

Martínez-Vega, R. R., Fischer, G., Herrera, A., Chaves, B., and Quintero, O. C. (2008). Características físico-químicas de frutos de feijoa influenciados por la posición en el canopi. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 2(1): 21–32. <https://doi.org/10.17584/RCCH.2008V2I1.1170>

Menéndez Aguirre, O., Evangelista Lozano, S., Arenas Ocampo, M., Bermúdez Torres, K., Martínez, A. del V., and Jiménez Aparicio, A. (2006). Cambios en la actividad de a-amilasa, pectinmetilesterasa y poligalacturonasa durante la maduración del Maracuyá Amarillo (*Passiflora edulis* var. Flavicarpa degener). *Interciencia*, 31(10): 728–733. http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&id=S0378-1844200600100007yIngr=esynrm=isoytIngr=es

Mignard, P., Beguería, S., Reig, G., Font i Forcada, C., and Moreno, M. A. (2021). Genetic origin and climate determine fruit quality and antioxidant traits on apple (*Malus x domestica* Borkh). *Scientia Horticulturae*, 285: 110142. <https://doi.org/10.1016/J.SCIENTA.2021.110142>

Mikulic-Petkovsek, M., Schmitzer, V., Slatnar, A., Stampar, F., and Veberic, R. (2015). A comparison of fruit quality parameters of wild bilberry (*Vaccinium myrtillus* L.) growing at different locations. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 95(4): 776–785. <https://doi.org/10.1002/JSFA.6897>

Miranda, D., Fischer, G., Carranza, C., Magnitskiy, S., Casierra, F., Piedrahita, W., y Florez, L. E. (2009). Ecofisiología de las especies pasifloráceas cultivadas en Colombia, In: Cultivo, poscosecha y comercialización de las pasifloráceas en Colombia: Maracuyá, Granadilla, Gulupa

y Curuba. p. 45-67. Miranda D., Fischer G., Carranza C., Fáñor S. M., Wilson C., Luis P., and Flórez E. (Eds.), Sociedad Colombiana de Ciencias Hortícolas, Bogotá, Colombia. <https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/12824/56969.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Nawaz, R., Khan, M. A., Hafiz, I. A., Khan, M. F., and Khalid, A. (2021). Climate variables effect on fruiting pattern of Kinnow mandarin (*Citrus nobilis* Lour × *C. deliciosa* Tenora) grown at different agro-climatic regions. *Scientific Reports*, 11(1): 1–16. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-97653-1>

Nordey, T., Léchaudel, M., Génard, M., and Joas, J. (2016). Factors affecting ethylene and carbon dioxide concentrations during ripening: Incidence on final dry matter, total soluble solids content and acidity of mango fruit. *Journal of Plant Physiology*, 196–197: 70–78. <https://doi.org/10.1016/J.JPLPH.2016.03.008>

Ocampo, J., and Morales, G. (2012). Aspectos generales de la Gulupa, p. 7-12. In: *Tecnología para el cultivo de la Gulupa en Colombia* (*Passiflora edulis* f. *edulis* Sims). Ocampo, J. and Wyckhuys, K. A. G. (Eds.) Centro de Bio-Sistemas de la Universidad Jorge Tadeo Lozano, Centro Internacional de Agricultura Tropical - CIAT y Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, Bogotá, Colombia. https://expeditiorepositorio.utadeo.edu.co/bitstream/handle/20.500.12010/1876/tecnologia_para_el_cultivo_de_la_gulupa.pdf?sequence=1&isAllowed=y

ONU. (2022). El fenómeno La Niña registraría su primer “episodio triple” del siglo este año | Noticias ONU. <https://news.un.org/es/story/2022/08/1513812>

Orjuela Baquero, N. M., Pérez Martínez, L. V., Flórez, L. M., Hernández, M. S., and Melgarejo, L. M. (2011). Propuesta de norma técnica colombiana, frutas frescas, gulupa, especificaciones, p. 45–58. In: *Poscosecha de la gulupa* (*Passiflora edulis* Sims). Melgarejo, L.M. and Hernández, M.S., Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia. http://www.bdigital.unal.edu.co/8532/7/06_Cap04.pdf

Osorio, C., Jiménez, A. M., Sierra, C. A., Rodríguez-Pulido, F. J., González-Miret, M. L., and Heredia, F. J. (2011). Physicochemical characterization of gulupa (*Passiflora edulis* Sims. f. *edulis*) fruit from Colombia during the ripening. *Food Research International*, 44(7): 1912–1918. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2010.11.007>

Pérez, L. V. y Melgarejo, L. M. (2015). Desempeño fotosintético y potencial hídrico foliar de gulupa (*Passiflora edulis* Sims, Passifloraceae) en estado reproductivo en tres localidades de los Andes colombianos. *Acta Biológica Colombiana*, 20(1): 183–194. <https://doi.org/10.15446/abc.v20n1.42196>

Pinzón, I. M. del P., Fischer, G., y Corredor, G. (2007). Determinación de los estados de madurez del fruto de la gulupa. *Agronomía Colombiana*, 25(1): 83–95. <https://doi.org/690-2>

Pott, D.M., Durán-Soria, S., Alwood, J.W., Pont, S., Gordon, S.L., Jennings, N., Austin, C., et al., (2023). Dissecting the impact of environment, season and genotype on blackcurrant fruit quality traits. *Food Chemistry*, 402: 134360. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2022.134360>.

Primavesi, A. C. P. A., and Malavolta, E. (1980). Estudos sobre a nutrição mineral do maracujá amarelo: VIII. extração de nutrientes e exigências nutricionais para o desenvolvimento

vegetativo. Anais Da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 37(2): 603–607. <https://doi.org/10.1590/S0071-12761980000200003>

Purbey, S. K., Singh, S. K., and Pongener, A. (2019). Management of light for quality production of litchi. International Journal of Bio-Resource and Stress Management, 10(5): 529–538. <https://doi.org/10.23910/IJBSM/2019.10.5.2034>

Quiroga-Ramos, I. A., Fischer, G., and Melgarejo, L. M. (2018). Effect of foliar applications of boron on the phenological development and fruit set of purple passion fruits (*Passiflora edulis* f. *edulis* Sims). Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas, 12(1): 20–30. <https://doi.org/10.17584/RCCH.2018V12I1.7457>

Ramírez C., L. N., González A., G. P., and Cleves-Leguizamo, J. A. (2021). Mathematical modeling of climatological data to estimate passion fruit crop yield (*Passiflora edulis* L. f. *flavicarpa* y *purpurea*). Revista Brasileira de Fruticultura, 43(3): e182. <https://doi.org/10.1590/0100-29452021182>

Rashmi, I., Karthika, K. S., Roy, T., Shinoji, K. C., Kumawat, A., Kala, S., and Pal, R. (2022). Soil Erosion and sediments: A source of contamination and impact on agriculture productivity, p. 313–345. In: Agrochemicals in Soil and Environment. Naeem, M., Bremont, J. F. J., Ansari, A. A., and Gill, S. S. (Eds.), Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-16-9310-6_14

Restrepo-Diaz, H., and Sánchez-Reinoso, A. D. (2020). Ecophysiology of fruit crops: A glance at its impact on fruit crop productivity, p. 59–66. In: Fruit Crops: Diagnosis and Management of Nutrient Constraints. Srivastava, A.K. and Chengxiao, H., Elsevier, Amsterdam. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818732-6.00005-8>

Rocha L, R. F. (2004). Guía de medición de humedad del suelo: Método del tacto. Centro andino para la gestión y uso del agua. <https://www.tecnoriegovalley.com.ar/uploads/guia-para-el-calculo-de-humedad-de-suelo-al-tacto-2996.pdf>

Sim, I., Suh, D. H., Singh, D., Do, S. G., Moon, K. H., Lee, J. H., Ku, K. M., and Lee, C. H. (2017). Unraveling metabolic variation for blueberry and chokeberry cultivars harvested from different geo-climatic regions in Korea. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 65(41): 9031–9040. https://doi.org/10.1021/ACS.JAFC.7B04065/ASSET/IMAGES/LARGE/JF-2017-040656_0004.JPG

Song, X., Liu, M., Wu, D., Griffiths, B. S., Jiao, J., Li, H., and Hu, F. (2016). Interaction matters: synergy between vermicompost and PGPR agents improves soil quality, crop quality and crop yield in the field. Applied Soil Ecology, 89: 25–34. <https://doi.org/10.1016/J.APSOIL.2015.01.005>

Srivastava, Y. (2019). Climate change: a challenge for postharvest management, food loss, food quality, and food security, p. 355–377. In: Climate Change and Agricultural Ecosystems: Current Challenges and Adaptation. Choudhary, K. K., Kumar, A., and Singh, A. K. (Eds.), Woodhead Publishing, Cambridge, UK. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816483-9.00019-0>

Tuyet, B. T. A., Vanwalleghem, T., Vorstmans, B., Creemers, P., Hertog, M., Nicolaï, B., Keulemans, J., and Davey, M. W. (2012). Cross-tolerance and antioxidant metabolism as determinants of the resistance of apple fruit to postharvest botrytis decay. Acta Horticulturae, 934: 319–326. <https://doi.org/10.17660/ACTAHORTIC.2012.934.40>

USDA. (2014). Claves para la taxonomía de suelos. Servicio de Conservación de Recursos Naturales. Washington, USA. https://www.nrcs.usda.gov/sites/default/files/2022-06/Illustrated_Guide_to_Soil_Taxonomy_Spanish.pdf

Vanlauwe, B., Bationo, A., Chianu, J., Giller, K. E., Merckx, R., Mokwunye, U., Ohiokpehai, O., Pypers, P., Tabo, R., Shepherd, K. D., Smaling, E. M. A., Woomer, P. L., and Sanginga, N. (2010). Integrated soil fertility management: Operational definition and consequences for implementation and dissemination. *Outlook on Agriculture*, 39(1): 17–24. <https://doi.org/10.5367/000000010791169998>

Villa-Rodríguez, J. A., Molina-Corral, F. J., Ayala-Zavala, J. F., Olivas, G. I., and González-Aguilar, G. A. (2011). Effect of maturity stage on the content of fatty acids and antioxidant activity of 'Hass' avocado. *Food Research International*, 44(5): 1231–1237. <https://doi.org/10.1016/J.FOODRES.2010.11.012>

Yahia, E. M., Gardea-Béjar, A., Ornelas-Paz, J. D. J., Maya-Meraz, I. O., Rodríguez-Roque, M. J., Rios-Velasco, C., Ornelas-Paz, J., and Salas-Marina, M. A. (2019). Preharvest factors affecting postharvest quality, p. 99–128. In: *Postharvest Technology of Perishable Horticultural Commodities*. Yahia, E.M.(Ed.), Woodhead Publishing, Cambridge, UK. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813276-0.00004-3>

Yamaki, S. (2010). Metabolism and accumulation of sugars translocated to fruit and their regulation. *Journal of the Japanese Society for Horticultural Science*, 79(1): 1–15. <https://doi.org/10.2503/JJSHS1.79.1>

Zeng, Q., Dong, G., Tian, L., Wu, H., Ren, Y., Tamir, G., Huang, W., and Yu, H. (2020). High altitude is beneficial for antioxidant components and sweetness accumulation of rabbiteye blueberry. *Frontiers in Plant Science*, 11: 1492. <https://doi.org/10.3389/FPLS.2020.573531/BIBTEX>

Capítulo 4

Efecto de la fertilización integrada sobre el comportamiento y la calidad en la postcosecha del fruto de gulupa (*Passiflora edulis* Sims f. *edulis*) destinado a exportación

Capítulo 4. Efecto de la fertilización integrada sobre el comportamiento y la calidad en la postcosecha del fruto de gulupa (*Passiflora edulis* Sims f. *edulis*) destinado a exportación

Resumen

La gulupa (*Passiflora edulis* Sims. f. *edulis*) ha logrado diseminarse de manera exitosa en los Andes colombianos aprovechando las condiciones favorables de las que dispone el país para su cultivo. El objetivo de esta investigación fue determinar el efecto de la fertilización integrada sobre el comportamiento y la calidad postcosecha del fruto de gulupa sometido a condiciones de almacenamiento para su exportación. Se evaluaron las frutas provenientes de un cultivo bajo fertilización integrada con cuatro tratamientos (vermicompost, sustancias húmicas, fertilización sintética y un control sin uso de empaque Xtend®). Se evaluó la pérdida acumulada de peso, la tasa de respiración, la producción de etileno, los índices de color (L*, C* y h°), los sólidos solubles totales, la acidez total titulable y el pH, bajo condiciones controladas para exportación (8 ± 2 °C y 85 ± 5 %HR). Se utilizó un diseño de bloques aleatorizado con tres repeticiones. La fertilización integrada tuvo efectos positivos sobre el comportamiento fisiológico de los frutos (pérdida de peso y tasa de respiración) obtenidos del tratamiento con vermicompost. El uso de empaques y condiciones controladas de almacenamiento mantuvieron la calidad de la fruta. Se considera viable la fertilización integrada como esquema de producción en el cultivo de gulupa.

Palabras clave: Pérdida de peso, Tasa de respiración, Vermicompost, MAP, Empaque Xtend®.

Abstract

The gulupa (*Passiflora edulis* Sims. f. *edulis*), has managed to spread successfully in the Colombian Andes, taking advantage of the favorable conditions that the country has for its cultivation. The objective of this research was to determine the effect of integrated fertilization on the post-harvest behavior and quality of gulupa fruit subjected to storage conditions for export. Fruits from a crop under integrated fertilization with four treatments (vermicompost, humic substances, synthetic fertilization and a control without the use of Xtend® packaging) were evaluated. The cumulative weight loss, respiration rate, ethylene production, color indices (L^* , C^* and h^*), total soluble solids, total titratable acidity and pH were evaluated under controlled conditions for export. ($8 \pm 2^\circ\text{C}$ and $85 \pm 5\% \text{RH}$). A randomized block design with three repetitions was used. Integrated fertilization generated positive effects on the physiological behavior of the fruits obtained from the vermicompost treatment. The use of packaging and controlled storage conditions maintained the quality of the fruit. Integrated fertilization is considered viable as a production scheme in gulupa cultivation.

Keywords: Weight loss, Respiration rate, Vermicompost, MAP, Xtend® Packaging.

4.1 Introducción

La gulupa (*Passiflora edulis* Sims f. *edulis*) es una fruta originaria del sur de Brasil (Biswas *et al.*, 2021) que ha logrado diseminarse de manera exitosa en los Andes colombianos aprovechando las condiciones edafoclimáticas favorables de las que dispone el país para su cultivo, de tal forma que su producción ascendió de las 7.800 toneladas obtenidas en el 2015 a las 33.231 toneladas cosechadas en el 2020 (Agronet, 2023). Una de las principales especies que compone la canasta exportadora de frutas frescas colombianas es la gulupa, que registró un crecimiento del 15,8 % entre los años 2021 y 2022 (las ventas pasaron de 42 millones de dólares en 2021 a 48,7 millones de dólares en 2022). La Unión Europea es el principal destino de las exportaciones (Analdex, 2023). Dada la importancia de la cadena de la gulupa, los productores buscan a través de diferentes estrategias, mejorar los rendimientos del cultivo y disminuir las pérdidas que se presentan a lo largo de la cadena de producción, sin que con ello se vea comprometida la calidad de la fruta. Algunas estrategias se enfocan al manejo postcosecha como el uso de empaques, el recubrimientos o las tecnologías que alarguen la vida útil de la fruta (Ballesteros *et al.*, 2021; Zhong *et al.*, 2022); otras procuran ampliar la base de conocimiento existente como los estudios de diversidad genética de la especie (Martínez *et al.*, 2020; Rodríguez *et al.*, 2021); y por último se encuentran los trabajos encaminados a determinar la influencia de algunos insumos necesarios para la producción, como son los fertilizantes y su adecuado manejo sobre los cultivos (Flechas *et al.*, 2018; Muñoz-Ordoñez *et al.*, 2023).

Teniendo en cuenta el acelerado crecimiento demográfico que registra el mundo en la actualidad y la disminución de las tierras agrícolas aptas para la producción, se evidencia una presión sobre los recursos naturales disponibles para satisfacer la demanda creciente por alimentos (Okole *et al.*, 2021). Una de las primeras acciones frente a este desafío, fue acudir al uso de fertilizantes de síntesis química con los cuales se buscó incrementar los rendimientos de los cultivos. Sin embargo, este tipo de prácticas tiene efectos nocivos como la degradación del suelo, la contaminación del agua y la atmósfera, la afectación de los organismos que viven en ellos (Massri *et al.*, 2014) y el aumento en los costos de producción. Adicionalmente, el uso indiscriminado de fertilizantes puede incrementar la residualidad de la fruta, lo cual termina por

limitar su comercialización (Jiao *et al.*, 2018). En consecuencia, la fertilización orgánica surgió como una alternativa para mitigar los efectos adversos de la fertilización química en el medio ambiente (Döring *et al.*, 2015), porque mejora las características del suelo y ayuda a incrementar la eficiencia de los fertilizantes químicos (Ibrahim *et al.*, 2013), que representan hasta el 35% de los costos de producción (Abdel-Sattar *et al.*, 2023). En este escenario, surge la fertilización integrada como un modelo de transición entre la producción tradicional y la orgánica, que busca mantener los rendimientos de los cultivos y disminuir los residuos de productos químicos sintéticos en el producto y en el ambiente (Lososová *et al.*, 2011).

Recientemente, Muñoz-Ordoñez *et al.* (2023) reportaron que la fertilización integrada afectó la producción y la calidad en la cosecha de frutos de gulupa. La fertilización integrada con vermicompost mejoró la respuesta en parámetros de producción como peso fresco, número de frutos y diámetro ecuatorial, mientras que los atributos de calidad fueron similares entre los tratamientos de fertilización evaluados. Sin embargo, se desconoce el efecto que pueda tener la fertilización integrada sobre las características fisicoquímicas del fruto de gulupa durante el almacenamiento poscosecha. Al respecto, se sabe que para aumentar la calidad y alargar el período de almacenamiento de los frutos se han desarrollado tecnologías pre y postcosecha (Mele *et al.*, 2018; Shin *et al.*, 2023). Un tratamiento pre-cosecha es un método realizado antes de cosechar para mejorar la calidad de las frutas cosechadas y extender su vida útil durante el almacenamiento posterior a la cosecha, entre los cuales se encuentra la fertilización (Musachi *et al.*, 2018; Fischer *et al.*, 2018; Shin *et al.*, 2023). En frutos de frambuesa (*Rubus idaeus*), la fertilización afectó positivamente la pérdida de peso, el índice de color y extendió el período de vida útil (Valentinuzzi *et al.*, 2018). Por su parte, la fertilización orgánica produjo una respuesta favorable en la postcosecha de frutos de tomate (Ceglie *et al.*, 2015).

Por lo anterior, el objetivo de esta investigación fue determinar el efecto de la fertilización integrada sobre el comportamiento y la calidad de los frutos en la postcosecha del fruto de gulupa destinado a su exportación, con el fin de reducir los impactos ambientales y económicos de la fertilización tradicional y, a la vez, garantizar los mejores atributos de calidad del fruto hasta llegar al consumidor final.

4.2 Materiales y métodos

4.2.1 Origen del material vegetal

Las muestras de gulupa observadas en la investigación (*Passiflora edulis* Sims f. *edulis*) provienen de una finca del municipio de Sibundoy (1°12'41.425" N y 76°54'032.654" W —altitud 2260 m), departamento del Putumayo, Colombia, ubicado en la zona de vida de bosque húmedo montano bajo (bh-MB), según Narváez *et al.*, (2021). El suelo del sitio fue clasificado como Andisol, según la Taxonomía de Suelos de EE. UU. (USDA, 2014). El clima de la región es del tipo Cfb, según la clasificación de Köppen, con clima templado húmedo y veranos frescos (IDEAM, 2014). La región tiene una temperatura media anual de 15.6 °C, una precipitación promedio anual de 1.529 mm y una humedad relativa promedio de 81 % (Corpoamazonia, 2010).

Se utilizó un portainjerto de cholupa (*Passiflora maliformis* L.) para reducir el daño de patógenos de suelo. La finca se encuentra certificada por el Instituto Colombiano de Agricultura (ICA) para exportar fruta fresca, por lo que su manejo fitosanitario y demás procedimientos para el adecuado sustento del cultivo se ajustan a la norma (ICA, 2022).

4.2.2 Descripción de los tratamientos

Para conocer el comportamiento postcosecha de los frutos obtenidos mediante el uso de esquemas de fertilización integrada, estos fueron sometidos a un protocolo que simulara la etapa de almacenamiento que debe cumplir la fruta para su exportación, y consistió en el uso de bolsas Xtend® con una dimensión de 15 x 22 cm y 20 µm de espesor (StePac L.A. Ltd., Tefen, Israel) compuestas por un material multicapa a base de poliamida (PA) y polietileno de baja densidad (LDPE). La permeabilidad al O₂ y al CO₂ se sitúan entre 180 y 250 y 1.000 y 1.300 cm³ mm⁻² atm⁻¹ día⁻¹, para el LDPE, y de 1 a 5 y 3 a 15 cm³ mm⁻² atm⁻¹. 1 día⁻¹, para la PA. El almacenamiento se realizó bajo condiciones controladas de temperatura (8 ± 2 °C) y humedad relativa (85 ± 5 %), por un período de hasta 45 días. Los tratamientos correspondieron a los esquemas de fertilización aplicados durante la pre-cosecha (Tabla 19), y se establecieron de acuerdo con los análisis de suelo realizados por Agrosavia (Bogotá, Colombia) y los requerimientos del cultivo (Marín y Rengifo, 2018) en cada etapa fenológica, fijando al N como elemento limitante. En el tratamiento 1 se utilizaron fertilizantes comerciales de síntesis química (FSQ) descritos por Jiménez *et al.* (2012). En el tratamiento 2, se utilizó un fertilizante líquido con ácidos húmicos y fulvicos al 15.5 % (p/v) cada uno (Chemie, 2019) en conjunto con FSQ. El tratamiento 3 incluyó el uso de vermicompost (Los Andes, 2020) junto con FSQ. En el tratamiento 4 (Control) se utilizaron muestras producidas con FSQ, pero sin el uso del empaque durante el período de almacenamiento.

Tabla 19. Planes mensuales de fertilización según las etapas fenológicas del cultivo de gulupa (Dosis por planta kg ha⁻¹).

Tiempo (mes)	Etapa fenológica	Tratamiento 1		Tratamiento 2		Tratamiento 3	
		Producto	Dosis	Producto	Dosis	Producto	Dosis
0	Formación de brotes	10 20 20 ^v Bórax	37.5 kg 3 kg	Vermicompost ^z Urea	350 kg 22 kg	Humus ^x 10 20 20 Bórax	3.5 L 37.5 kg 3 kg
1	Crecimiento longitudinal del tallo	10 20 20 Urea KCl Yeso ^y Mg sulfato	11.4 kg 5 kg 5.7 kg 7.1 kg 7.1 kg	10 20 20 Urea KCl Yeso	11.4 kg 5 kg 5.7 kg 7.1 kg 7.1 kg	10 20 20 Urea KCl Yeso	11.4 kg 5 kg 5.7 kg 7.1 kg 7.1 kg
2 – 5 ^w	Desarrollo vegetativo	10 20 20 Urea KCl Yeso Mg sulfato	11.4 kg 5 kg 5.7 kg 7.1 kg 7.1 kg	10 20 20 Urea KCl Yeso	11.4 kg 5 kg 5.7 kg 7.1 kg 7.1 kg	10 20 20 Urea KCl Yeso	11.4 kg 5 kg 5.7 kg 7.1 kg 7.1 kg
6	Aparición de botones florales	10 20 20 Urea KCl Yeso Mg sulfato	11.4 kg 5 kg 5.7 kg 7.1 kg 7.1 kg	Vermicompost Urea	350 kg 22 kg	Humus 10 20 20 Bórax	3.5 L 37.5 kg 3 kg
7 - 10	Floración, desarrollo del fruto, maduración y senescencia (cosecha)	10 20 20 Urea KCl Yeso Mg sulfato	11.4 kg 5 kg 5.7 kg 7.1 kg 7.1 kg	10 20 20 Urea KCl Yeso	11.4 kg 5 kg 5.7 kg 7.1 kg 7.1 kg	10 20 20 Urea KCl Yeso	11.4 kg 5 kg 5.7 kg 7.1 kg 7.1 kg

^z Vermicompost. Producto del compostaje utilizando varios gusanos para crear una mezcla heterogénea de residuos de alimentos en descomposición. ^y Yeso. Es un sulfato de calcio hidratado natural ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), utilizado para tratar suelos sódicos. ^x Humus. Es una enmienda orgánica líquida que proporciona una alta concentración de ácidos húmicos y ácidos fúlvicos. ^w Se utilizan los mismos productos y dosis para cada uno de los meses que componen la etapa fenológica. ^vFertilizante granulado compuesto (NPK).

4.2.3 Recolección y manejo de la fruta

Los frutos de gulupa se cosecharon en el estado de madurez cuatro (Orjuela-Baquero *et al.*, 2011), lo que corresponde a frutos de color morado entre el 70 y el 80 % de su superficie. Los frutos fueron seleccionados según su apariencia y características físicas (color homogéneo, tamaño, sin magulladuras ni arrugas). La recolección de la fruta para este estudio se efectuó durante el tercer ciclo de producción (de marzo a mayo de 2023). Luego de la cosecha, el fruto fue protegido individualmente con papel Kraft para ser almacenado en neveras de poliestireno a una temperatura de 12 °C, y luego enviado por avión al Laboratorio de Postcosecha del Instituto de Ciencia y Tecnología de Alimentos, ICTA de la Universidad Nacional (Bogotá), procurando manejar cuidadosamente el material para evitar cualquier deterioro de los frutos hasta realizar su evaluación. Inmediatamente, se inició el almacenamiento refrigerado como se explicó arriba.

4.2.4 Atributos fisicoquímicos

La firmeza del fruto entero se evaluó en Newton (N) utilizando un analizador de textura (CT3 Brookfield) con punta de 2 mm y velocidad de 1 mm s⁻¹ (Osorio *et al.*, 2011), realizando dos mediciones opuestas de la zona ecuatorial del fruto. Las pruebas se realizaron en cada intervalo utilizando tres frutos por réplica.

El color del fruto se determinó con un colorímetro Chroma Meter CR-400 Konica Minolta con iluminante D65 y un ángulo de visión de 0° en el espacio de color CIE L*, a* y b*. Las medidas siempre se tomaron en dos puntos opuestos de la zona ecuatorial de los frutos. Posteriormente se calcularon los valores de C* (croma) y h° (ángulo de matiz o tono) (Hernández *et al.*, 2007).

Para el análisis químico, se cortaron por la mitad los frutos para obtener la pulpa con semillas utilizando una cuchara estéril según el procedimiento descrito por la norma técnica colombiana, NTC 5468: 2012 (ICONTEC, 2012). El jugo se extrajo de la pulpa con una cuchara y las semillas se separaron del jugo mediante un colador manual. Para la determinación de los atributos se utilizaron tres frutos por réplica (n = 3).

Sobre el jugo extraído de la pulpa, se determinó el contenido de SST (°Brix) utilizando un refractómetro digital portátil (HI 96,801 Hanna Instruments) calibrado con agua destilada y con ajuste de temperatura.

La acidez titulable total -TTA- (mg de ácido cítrico por 100 mL) y el pH del jugo se midió utilizando un mini titulador HI 84,532 01 (Hanna Instruments) (Hernández *et al.*, 2007).

4.2.5 Atributos fisiológicos

La pérdida de peso de las muestras sometidas a protocolo de exportación, se evaluó mediante el seguimiento del cambio de peso de la fruta fresca en intervalos de tres días utilizando una balanza electrónica (Mettler, Toledo, Suiza, precisión de 0,0001 g) con una muestra aproximada de 170 g (González *et al.*, 2021). La pérdida de peso acumulada de cada fruto se calculó con la ecuación 4:

$$CWL (\%) = \frac{(W_i - W_f)}{W_i \times 100} \quad \text{Ecuación 4.}$$

Donde CWL es la pérdida de peso acumulada (%) del fruto; Wi (g) es el peso del fruto al empezar el almacenamiento; Wf (g) es el peso del fruto al medir.

Para la medición de la tasa de respiración, se procedió a abrir la bolsa con los frutos y se dejaron en reposo por 30 minutos hasta asegurar la difusión de los gases acumulados en el interior. Luego, estos se colocaron en una cámara hermética de 2 L durante 20 min a 14 °C. La producción de dióxido de carbono se midió por triplicado utilizando sensores infrarrojos de CO₂ (Vernier, Beaverton, OR, EE. UU.) acoplados a un sistema de captura de datos (Labquest, Vernier Software and Technology, Beaverton, OR, EE. UU.). Se registró el peso de los frutos para expresar la tasa de respiración en mL de CO₂ kg⁻¹ h⁻¹ (Jaime-Guerrero *et al.*, 2022). Se determinó la densidad promedio del fruto (594 kg/m³) siguiendo el método de Pinzón *et al* (2007), con el fin de calcular el volumen del espacio de cabeza sobre el cual se acumuló el CO₂.

La producción de etileno se analizó por cromatografía de gases siguiendo el mismo procedimiento realizado para dióxido de carbono con el fin de asegurar la difusión de gases. Luego se colocó un fruto de peso y volumen conocido en el interior de un recipiente de volumen conocido, durante 20 min a 14 °C. Posteriormente con una jeringa, se extrajeron 3 mL del aire contenido en el espacio de cabeza del recipiente y se inyectaron en un recipiente cerrado al vacío, y se guardaron en un congelador a -20 °C hasta su evaluación, que se realizó en un cromatógrafo de gases (Agilent Technologies-6890N®) usando un detector de ionización de flama (DIF). Se utilizó nitrógeno como gas portador. La columna se utilizó a 100 °C, el detector DIF se utilizó a una temperatura de 150 °C. Se hicieron curvas de calibración con estándares comerciales para obtener las concentraciones de C₂H₄ en las muestras analizadas (Hernández *et al.*, 2007).

4.2.6 Análisis estadístico

Las variables productivas del fruto junto a las variables derivadas del análisis de suelo y de tejido vegetal fueron sometidas a las pruebas de Kolmogorov-Smirnov y Levene para verificar los supuestos de normalidad y homocedasticidad de las varianzas, respectivamente. Se hizo un análisis exploratorio con el fin de confirmar la normalidad de los datos a través de Normal Probability Plot. Para la identificación de valores atípicos, se utilizaron diagramas de caja y bigote (Boxplot). Se estableció un diseño de bloques aleatorizado con tres repeticiones, en el que se evaluó el efecto de los tratamientos más el control junto al tiempo de almacenamiento por medio de un análisis ANOVA bifactorial con su interacción (Anexo E). A las variables que presentaron diferencias estadísticas significativas se les aplicó una prueba Tukey de comparación de medias al 5 %. El modelo lineal utilizado para el diseño bloques aleatorizado con arreglo bifactorial fue:

$$Y_{ij} = \mu \text{ (Media)} + c_i \text{ (Efecto tratamiento)} + y_j \text{ (Efecto tiempo)} + (ay)_{ij} \text{ (Efecto interacción)} + \varepsilon_{ij} \text{ (Error experimental)}$$

Todos los análisis se realizaron en el software estadístico Statgraphics Centurion XVIII (Maryland, EEUU). Los datos son presentados como valores medios ± el error estándar (n=3).

4.3 Resultados

La pérdida de peso acumulado presentó un incremento continuo en los cuatro tratamientos en función del tiempo (Fig. 12), siendo el tratamiento 3 (Vermicompost) el que obtuvo las menores pérdidas en el último día (8,43%), registrando diferencias significativas con los demás tratamientos durante la mayor parte del tiempo de evaluación. Para los tratamientos 1 y 2 al final del experimento (día 45), se obtuvieron valores del 9,49 y 9,07 % respectivamente, sin que se evidencien diferencias significativas entre ellos. Como era de esperarse, el tratamiento 4 (Control) al no disponer de un empaque, presentó la mayor pérdida de peso acumulada, llegando

a valores superiores al 10% en el día 30 de evaluación. Esto último sumado al deterioro acumulado en la fruta hizo que solo se hiciera la evaluación de las demás variables hasta ese día.

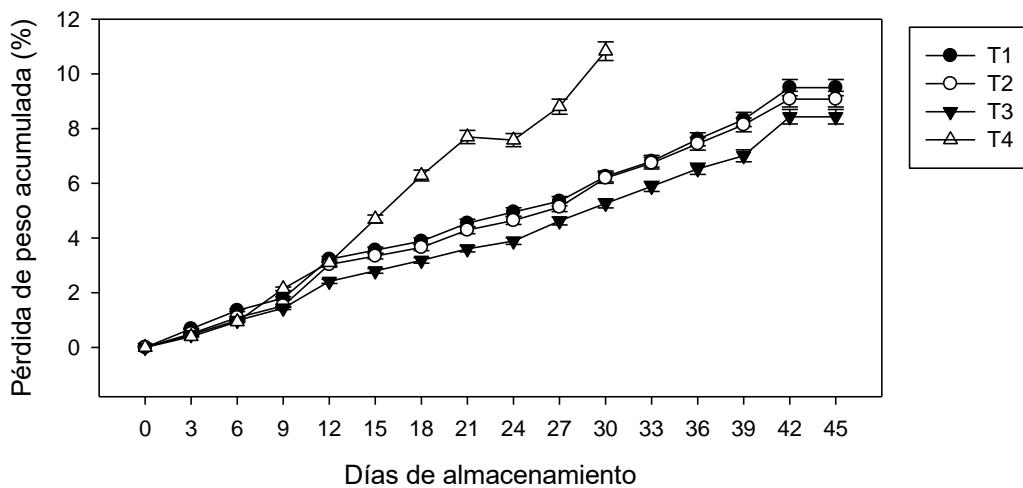


Figura 12. Pérdida de peso acumulada del fruto de gulupa almacenado durante 45 días a 8 ± 2 °C y 85 ± 5 %HR, envasado en bolsas Xtend o sin envasar (control). Los valores son la media \pm error estándar de tres repeticiones. T1, fertilizantes químicos (FQ); T2, ácidos húmicos más FQ; T3, Vermicompost más FQ.; T4, Control (Fruta con FQ).

Los valores iniciales (día 0) de la tasa de respiración (Fig. 13), oscilaron entre 20 y 22 mL de $\text{CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$. Desde ese momento, se observa una tendencia decreciente con algunos picos a lo largo del período de almacenamiento. Así mismo, fue posible identificar que el tratamiento 3 presentó los menores valores, registrando diferencias significativas con los demás tratamientos en la mayoría de las mediciones realizadas. Por otra parte, los tratamientos 1 y 2 mostraron una tendencia similar, con diferencias significativas sólo en cinco ocasiones. Los mayores (32,25 mL de $\text{CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$) y menores (6,14 mL de $\text{CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$) valores fueron registrados por el tratamiento 4 en los días 12 y 30 respectivamente. Al final del experimento (día 45) se obtuvieron valores entre tratamientos, en el rango de 14 a 16 mL de $\text{CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$.

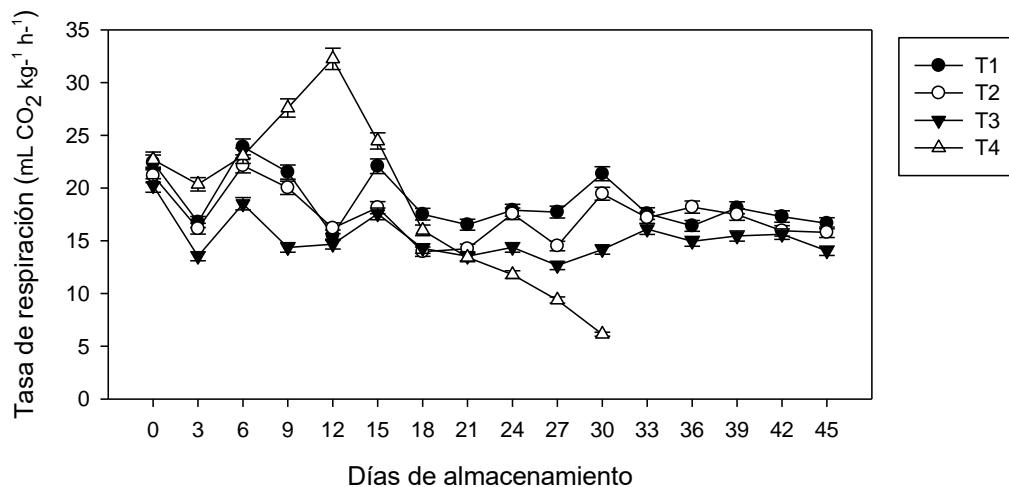


Figura 13. Tasa de respiración del fruto de gulupa almacenado durante 45 días a 8 ± 2 °C y 85 ± 5 %HR, envasado en bolsas Xtend o sin envasar (control). Los valores son la media ± error estándar de tres repeticiones. T1, fertilizantes químicos (FQ); T2, ácidos húmicos más FQ; T3, Vermicompost más FQ.; T4, Control (Fruta con FQ).

En la producción de etileno (Fig. 14), los tratamientos describieron una curva creciente hasta el día 33 de evaluación, momento en el que se presenta el mayor pico ($73 \mu\text{L de C}_2\text{H}_4 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$) y empieza el declive de la producción. Cabe destacar que los tratamientos 1 al 3 no presentaron diferencias significativas entre ellos, cosa contraria al tratamiento 4, cuyo comportamiento exhibió el mayor pico en el día 18 con $78.5 \mu\text{L de C}_2\text{H}_4 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$ y el menor valor el día 30 con $28.7 \mu\text{L de C}_2\text{H}_4 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$. La producción de etileno en los demás tratamientos culminó en el día 45 con valores entre 35 a $41 \mu\text{L de C}_2\text{H}_4 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$.

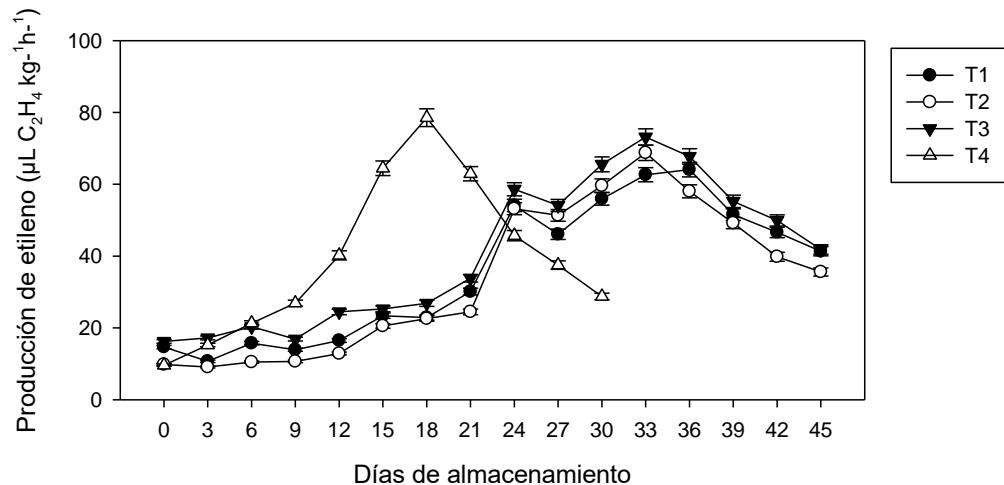


Figura 14. Producción de etileno del fruto de gulupa almacenado durante 45 días a 8 ± 2 °C y 85 ± 5 %HR, envasado en bolsas Xtend o sin envasar (control). Los valores son la media ± error estándar de tres repeticiones. T1, fertilizantes químicos (FQ); T2, ácidos húmicos más FQ; T3, Vermicompost más FQ.; T4, Control (Fruta con FQ).

Respecto a la luminosidad (Fig. 15), se observó que, a pesar de presentar diferentes altibajos durante el período de almacenamiento, los frutos de los tratamientos 1 al 3 culminaron

la evaluación sin presentar diferencias significativas en la mayoría de las mediciones y con valores que fluctuaron entre 29 y 30, los cuales resultan ser muy similares a los valores iniciales (promedio 29,1). Por lo demás, el comportamiento fue similar entre los tratamientos, con un pico que promedio de 31,2 en el día 12. Situación diferente tuvo el tratamiento 4, que llegó al menor valor (27,9) el día 30 de medición.

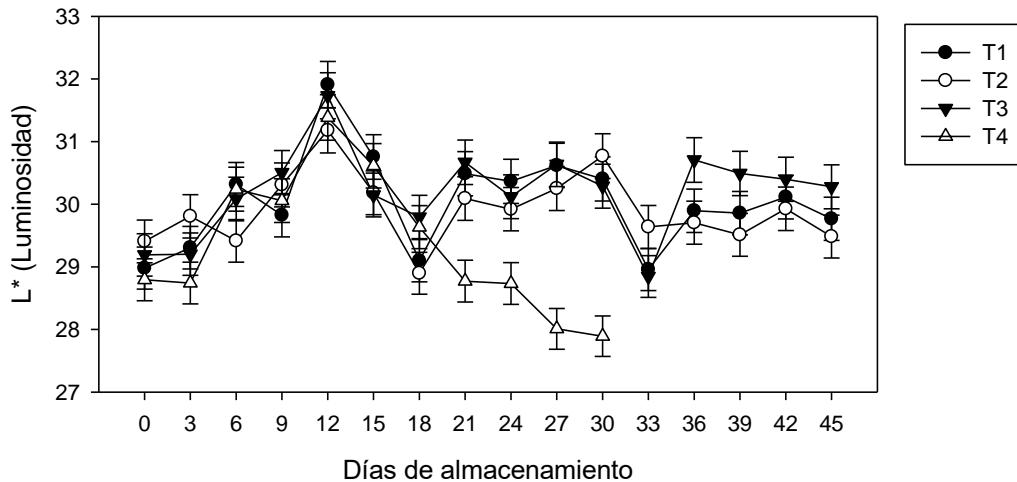


Figura 15. Índice de Luminosidad (L^*) del fruto de gulupa almacenado durante 45 días a 8 ± 2 °C y 85 ± 5 %HR, envasado en bolsas Xtend o sin envasar (control). Los valores son la media \pm error estándar de tres repeticiones. T1, fertilizantes químicos (FQ); T2, ácidos húmicos más FQ; T3, Vermicompost más FQ.; T4, Control (Fruta con FQ).

El índice Chroma (Fig. 16), es uno de los atributos que mayor homogeneidad presentó durante el periodo de almacenamiento, al no registrar diferencias significativas entre los tratamientos 1 al 3, pero sí un detrimiento del índice a través del tiempo que se ve reflejado en la reducción del valor inicial (media 6,6) hasta llegar a un valor final promedio de 5,3. No sucedió lo mismo con el tratamiento 4, dado el descenso pronunciado que perduró hasta el día 30, alcanzando el menor valor registrado para esta variable (3,1).

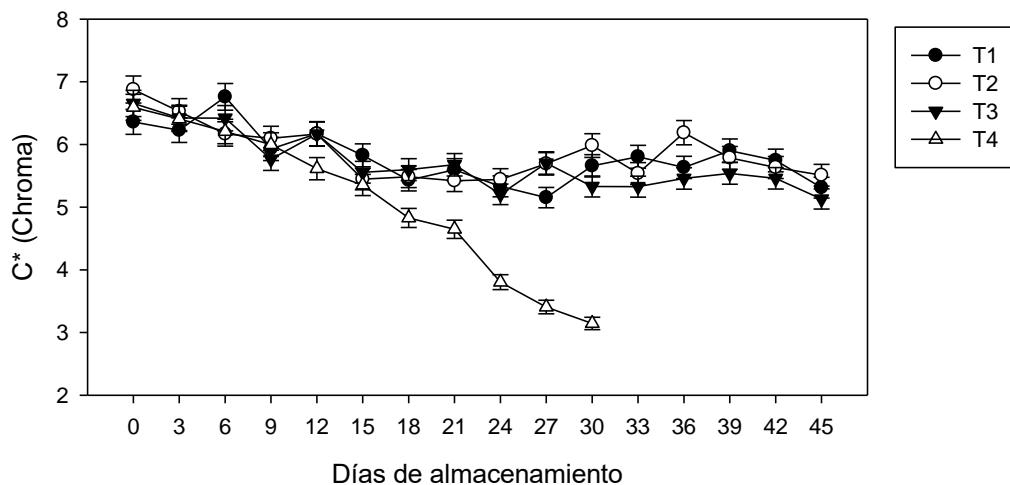


Figura 16. Índice Cromático (C^*) del fruto de gulupa almacenado durante 45 días a 8 ± 2 °C y 85 ± 5 %HR, envasado en bolsas Xtend o sin envasar (control). Los valores son la media ± error estándar de tres repeticiones. T1, fertilizantes químicos (FQ); T2, ácidos húmicos más FQ; T3, Vermicompost más FQ.; T4, Control (Fruta con FQ).

Por su parte, el ángulo hue (Fig. 17) tuvo una tendencia creciente para los tratamientos 1 al 3, que presentaron diferencias significativas en casi todas las mediciones, pero con un mayor grado de oscilación comparado con los otros índices colorimétricos, de modo que no fue posible identificar un patrón que indicara la influencia de un tratamiento en el establecimiento del índice. Los valores comenzaron con un valor promedio de 39.7 y culminaron el experimento con un valor promedio de 56.5, lo que representa un cambio notable determinado por el tiempo de almacenamiento para esta variable. El tratamiento 4 presentó un descenso de este indicador hasta alcanzar un valor de 33.3 el día 30.

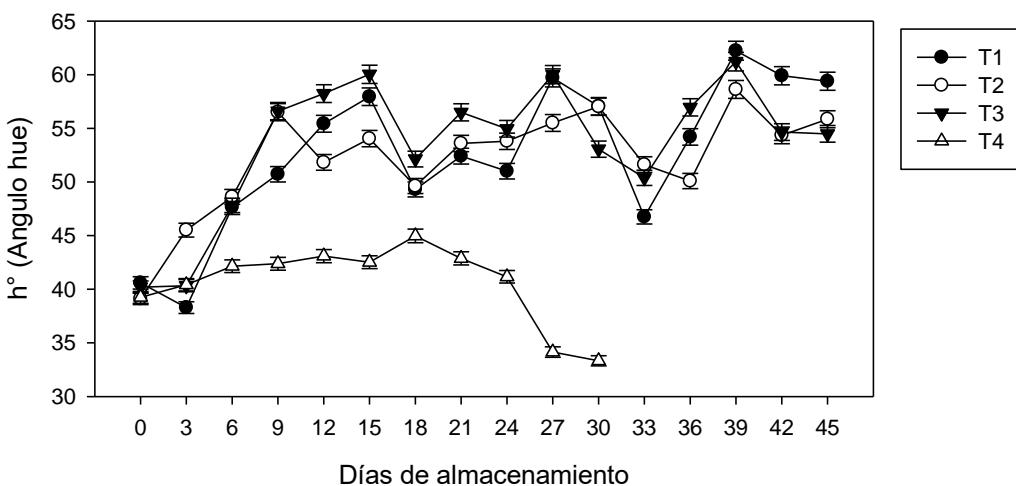


Figura 17. Ángulo hue (h°) del fruto de gulupa almacenado durante 45 días a 8 ± 2 °C y 85 ± 5 %HR, envasado en bolsas Xtend o sin envasar (control). Los valores son la media ± error estándar de tres repeticiones. T1, fertilizantes químicos (FQ); T2, ácidos húmicos más FQ; T3, Vermicompost más FQ.; T4, Control (Fruta con FQ).

Como se observa en la Figura 18, los valores iniciales de sólidos solubles totales fueron similares en los cuatro tratamientos, con un valor de 13,7 °Brix promedio. Sin embargo, el comportamiento de todos ellos fue diferente hasta el final del experimento, lo cual refleja las diferencias entre ellos en buena parte del experimento. Dado el comportamiento errático de los tratamientos, no fue posible establecer una influencia notable de la fertilización sobre esta variable, más si del tiempo de almacenamiento, dada la reducción de esta variable que al final obtiene un valor promedio de 12.8 °Brix. En el tratamiento 4, se observó el menor valor (12.3 °Brix) el día 30 de la medición.

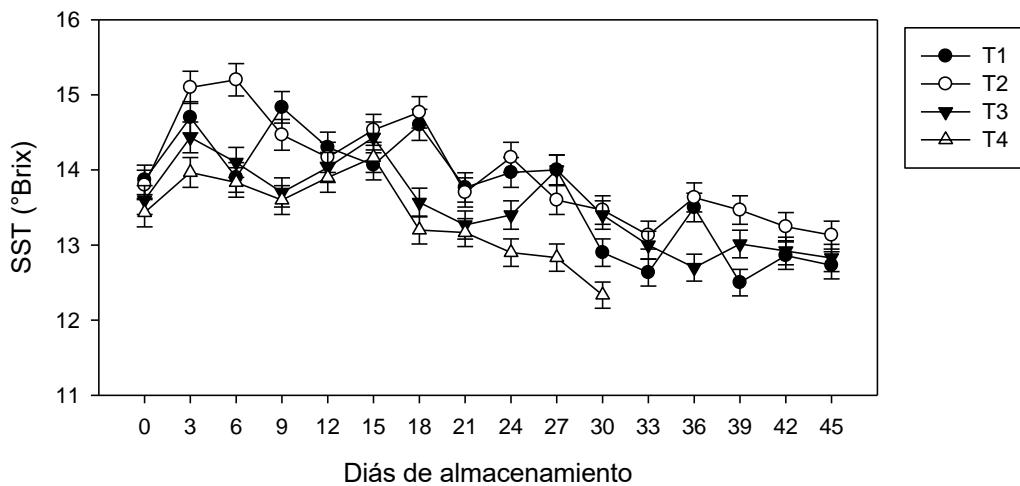


Figura 18. Sólidos solubles totales (SST) del fruto de gulupa almacenado durante 45 días a 8 ± 2 °C y 85 ± 5 %HR, envasado en bolsas Xtend o sin envasar (control). Los valores son la media \pm error estándar de tres replicaciones. T1, fertilizantes químicos (FQ); T2, ácidos húmicos más FQ; T3, Vermicompost más FQ.; T4, Control (Fruta con FQ).

Las curvas que expresan la medición de la acidez total titulable (Fig. 19) indican un comportamiento decreciente de esta variable, dado que los valores en promedio empezaron con un 4.7 % y culminaron con 3.7 %, lo que indica una reducción significativa de este atributo. Lo anterior significa que el tiempo de almacenamiento es determinante sobre la acidez. Respecto al efecto de los tratamientos de fertilización, no fue posible distinguir un protagonismo de alguno de los tratamientos que pudiese haber influido la determinación de la acidez, aunque sí se presentaron diferencias significativas entre ellos. Por su parte, el tratamiento 4 obtuvo el menor valor durante la medición con un registro del 2,8%.

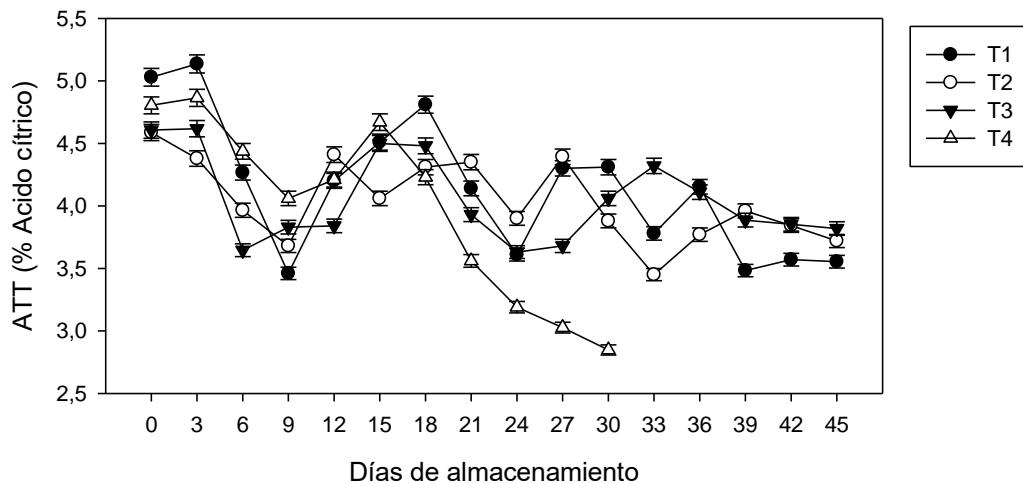


Figura 19. Acidez total titulable (ATT) del fruto de gulupa almacenado durante 45 días a $8\pm 2^{\circ}\text{C}$ y $85\pm 5\%$ HR, envasado en bolsas Xtend o sin envasar (control). Los valores son la media \pm error estándar de tres repeticiones. T1, fertilizantes químicos (FQ); T2, ácidos húmicos más FQ; T3, Vermicompost más FQ.; T4, Control (Fruta con FQ).

El pH evaluado muestra un patrón ascendente respecto al tiempo, lo que señala la influencia de este último sobre su definición (Fig. 20). Dado que el comportamiento de los tratamientos de fertilización muestra un patrón similar, no fue posible identificar una influencia relevante de ellos en la determinación de esta variable. El tratamiento 4 presenta un comportamiento similar a los demás, que resulta diferente al deterioro habitual observado en las otras variables.

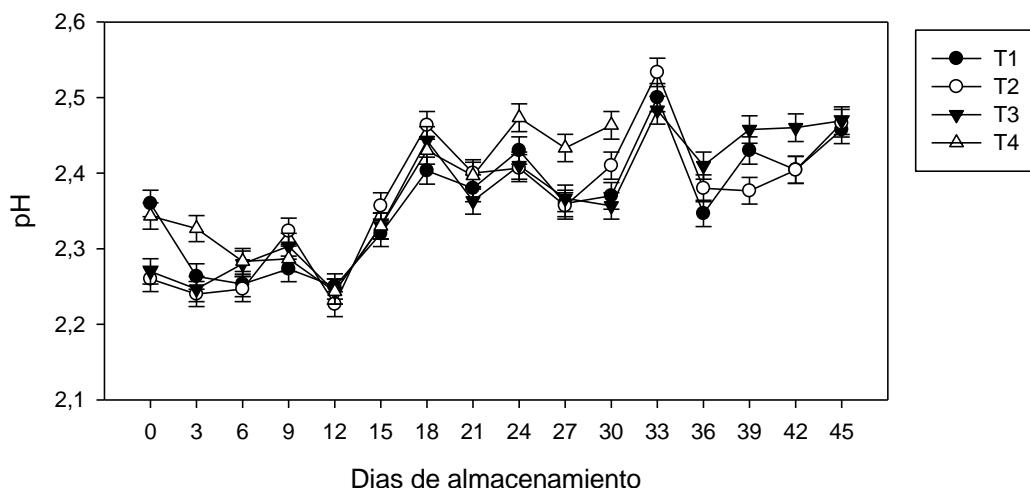


Figura 20. pH del fruto de gulupa almacenado durante 45 días a $8\pm 2^{\circ}\text{C}$ y $85\pm 5\%$ HR, envasado en bolsas Xtend o sin envasar (control). Los valores son la media \pm error estándar de tres repeticiones. T1, fertilizantes químicos (FQ); T2, ácidos húmicos más FQ; T3, Vermicompost más FQ.; T4, Control (Fruta con FQ).

No se presentan diferencias significativas entre los tratamientos evaluados para la variable textura, durante el período de almacenamiento, con excepción del tratamiento 4 que descendió hasta los 12.1 N en el día 30 de medición (Fig. 21). En general los valores de firmeza presentan una reducción desde los 14.8 N (media) obtenidos en el día 0, hasta llegar a los 14.1 N (media) en el final del experimento, lo cual refleja la incidencia del tiempo de almacenamiento sobre esta variable.

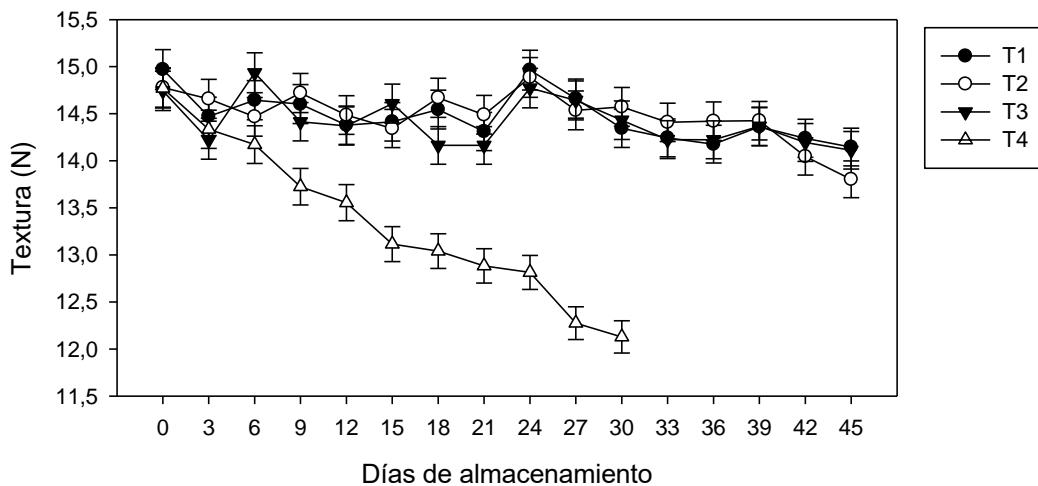


Figura 21. Textura del fruto de gulupa almacenado durante 45 días a 8 ± 2 °C y 85 ± 5 %HR, envasado en bolsas Xtend o sin envasar (control). Los valores son la media \pm error estándar de tres repeticiones. T1, fertilizantes químicos (FQ); T2, ácidos húmicos más FQ; T3, Vermicompost más FQ.; T4, Control (Fruta con FQ).

4.4 Discusión

Un efecto favorable de la incorporación de materiales orgánicos y del uso del vermicompost como fertilizante en frutales, ha sido el incremento de la materia seca en frutos como tomate (Yang *et al.*, 2023) y fresa (Singh *et al.*, 2008), siendo esta una situación que termina reduciendo el contenido de agua en los frutos, que es el principal componente de este tipo de productos (Ahmad *et al.*, 2015). Teniendo en cuenta que, durante los procesos de almacenamiento de frutas y verduras, el componente que presenta mayores pérdidas es el agua (Balaguera-López y Palacio, 2018), es de esperarse un comportamiento diferente en la pérdida de peso de los frutos producidos mediante fertilización orgánica o integrada.

Esto ocurre en el fruto que fue objeto de fertilización integrada con vermicompost (T3) en esta investigación, que presentó la menor pérdida de peso acumulado entre los demás tratamientos, en el tiempo del almacenamiento (Fig. 12). Resultados similares han sido encontrados en fresa (Reganold *et al.*, 2010) y papaya (Tandel *et al.*, 2017), donde se hizo uso de materiales orgánicos para la fertilización. Por lo demás, se observa que la pérdida de peso se incrementó conforme transcurrió el almacenamiento, lo que indica los cambios originados en los procesos de la fruta y que en este caso son mitigados por el empaque.

Los porcentajes de perdida encontrados son similares a los reportados por Owino *et al.* (2014), pero difieren con los encontrados por Viera *et al.* (2023), ambos en gulupa. El aumento de la pérdida de peso durante una etapa prolongada de almacenamiento podría estar relacionado

con los procesos de transpiración continua y evaporación directa a través de las células epidérmicas del fruto (Kritzinger *et al.*, 2018). Dado el comportamiento del tratamiento 4 (sin empaque), es posible atribuir el efecto positivo del uso de empaques al aumento de la humedad relativa alrededor de las frutas, lo que lleva a tasas de transpiración reducidas ya que los paquetes sirven como barreras para el movimiento del agua desde el interior (Yumbya *et al.*, 2014).

Un comportamiento similar se presenta durante la evaluación de la tasa de respiración, que presenta los menores valores en el tratamiento 3, lo que señala una calidad de los frutos producidos mediante fertilización orgánica o integrada respecto a estas variables fisiológicas (Fig. 13). En algunos estudios se dice que hay una relación entre la pérdida de peso, la tasa de respiración y la composición de la cutícula de los frutos (Lara *et al.*, 2014; Zahedipour *et al.*, 2019), que, este caso, podría ser la responsable de la reducción en la difusión de ciertos compuestos como el agua y el dióxido de carbono.

Esto es posible debido al aumento en la biosíntesis de ácidos grasos que componen la cutícula, que son promovidos por la presencia de hormonas vegetales que se encuentran presentes en cultivos gestionados mediante materiales orgánicos (Ziv *et al.*, 2018). En los demás tratamientos, se distinguen altibajos ocasionados posiblemente por efecto de la refrigeración y de las propiedades singulares de las muestras de fruta utilizadas que, al no provenir de la misma planta, tienen diferente composición y comportamiento de acuerdo con los factores bióticos y abióticos que acompañaron su formación (Flórez *et al.*, 2012).

Respecto a la influencia del tiempo en la variable, todo parece indicar que, al realizar el cerrado de las bolsas, se crea un microambiente originado por el empaque, en el cual se inicia un proceso de saturación de CO₂ y reducción del contenido de O₂, lo cual induce a una disminución en el ritmo de respiración del fruto hasta alcanzar un equilibrio entre los gases disponibles (Moradinezhad y Dorostkar, 2021). Los valores de CO₂ obtenidos en el experimento son semejantes a los informados por Owino *et al.*, 2014, pero difieren de los reportados por Nxumalo y Fawole (2022).

El comportamiento observado en la producción de etileno, así como en la respiración es característico para una fruta climática como la gulupa, dados los picos que presentan estas variables (Respiración retrasado) durante el tiempo de evaluación. El pico se presenta de manera anticipada en el tratamiento 4 debido a la ausencia del empaque (Fig. 14). Con excepción de este último, los valores obtenidos en la evaluación fueron similares a los reportados por Nxumalo y Fawole (2022), pero difieren de los datos encontrados por Pongener *et al.* (2014).

El etileno es una fitohormona responsable de la regulación de los procesos de crecimiento y senescencia en las plantas, por lo que gobierna el desarrollo de hojas, flores y frutos, y promueve, induce o inhibe la senescencia de los órganos (Iqbal *et al.*, 2017). Está bien documentado que algunas alteraciones en el comportamiento fisiológico de las plantas y en la producción de etileno, son ocasionadas por el estrés al que se puede ver sometida la planta por el déficit o el exceso de nutrientes como el nitrógeno, primordial para el adecuado desarrollo de las plantas (Khan *et al.*, 2015; Zhang *et al.*, 2018; Iqbal *et al.*, 2013).

Por tanto, si se considera el comportamiento homogéneo que presentaron los tratamientos a lo largo del tiempo de almacenamiento, se puede inferir que el manejo de la fertilización integrada fue acertado y no se creó ningún tipo de estrés que derivara en alteraciones sobre la producción de etileno en la planta, razón por la cual los procesos de senescencia (maduración) no fueron afectados por los esquemas de fertilización utilizados.

Considerando las implicaciones del uso de empaques, se sabe que los niveles bajos de O₂ inhiben la oxidasa del ácido 1-aminociclopropano-1-carboxílico (ACO), una de las enzimas clave que regula la biosíntesis de etileno. Se ha informado que los niveles elevados de CO₂ inhiben la biosíntesis de etileno y, en consecuencia, retrasan la maduración de la fruta y el deterioro de varios productos (Yumbya *et al.*, 2014), de manera que es esta la razón por la que los tratamientos con empaque presentan una postergación en la evolución del pico de etileno, lo que permite alargar la vida útil del producto en unos quince días y en el mismo tiempo de vida comercial de la fruta.

Respecto a los demás indicadores de calidad evaluados (L*, C*, h°, TSS, TTA, pH y textura), no se observaron variaciones importantes que pudieran ser atribuidas al efecto de alguno de los tratamientos de fertilización evaluados. Esto debido a la ausencia de diferencias significativas en los valores de L*, C*, pH y firmeza, y en el caso de las variables h°, TSS y, TTA, a pesar de registrar diferencias significativas entre los tratamientos, los valores permanecieron en constante oscilación durante el experimento, de modo que no fue posible identificar una predominancia de alguno de ellos en la conformación de las variables.

De acuerdo con lo reportado por otros autores sobre el uso de fertilizantes orgánicos y sintéticos, indistintamente de la fuente de fertilización utilizada, los resultados obtenidos fueron similares, debido a que variables como el rendimiento, está determinada en cierto grado por el potencial genético de la variedad, que puede lograr un máximo siempre que la planta reciba un buen manejo agronómico y una buena nutrición (Vázquez *et al.*, 2015; Díaz *et al.*, 2016; Álvarez-Hernández *et al.*, 2011), como ocurre en este experimento, puesto que, a pesar de utilizar diferentes fuentes de fertilización, los esquemas fueron ajustados de acuerdo con la demanda de nutrientes del cultivo, con el inventario de elementos disponibles en el suelo y con la composición de los fertilizantes para suplir las necesidades del cultivo en cantidad y oportunidad apropiadas para todas las etapas fenológicas.

Los cambios en las variables evaluadas obedecieron principalmente al tiempo y a las condiciones de almacenamiento de la fruta durante el experimento, sumado a la variación propia de las muestras analizadas. Solo en el caso del tratamiento 4, los cambios fueron el resultado de la ausencia del empaque y los efectos negativos que ello tuvo en la fruta, lo que a su vez permite destacar la favorabilidad de este método (empaque) para preservar las características de calidad de frutas como la gulupa durante el almacenamiento refrigerado.

Una variable colorimétrica que desarrolló variaciones notables fue el ángulo hue (h°) o tono (Fig. 17), lo cual se atribuye al cambio del color de la cáscara del fruto que, al haber sido cosechado en un estado de madurez 4 (Orjuela-Baquero *et al.*, 2011), aún no desarrollaba por completo el cambio en la tonalidad de su cáscara, que normalmente pasa de tonos verdes claros a púrpura oscuro (Figura 22).

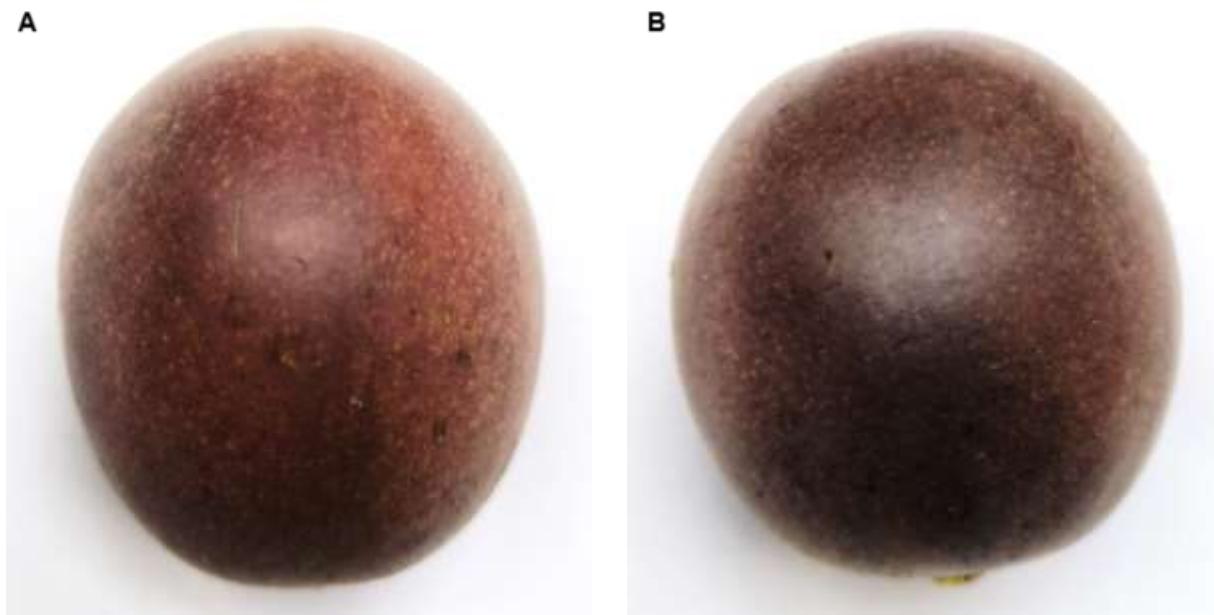


Figura 22. Cambio tonalidad frutos de gulupa, estado madurez 4 (A) a estado de madurez 5 (B).

Esta transición se asocia con la degradación de las clorofilas que ocurre durante la maduración y senescencia del fruto, lo cual permite visualizar los pigmentos tipo antocianinas que le confieren el color púrpura a la epidermis (Pareek, 2016). Respecto a los índices L^* y C^* (Fig. 15 y 16), se observaron cambios menos drásticos que pueden estar asociados con la estabilización de los procesos metabólicos luego del estrés ocasionado en el fruto al ser almacenado a bajas temperaturas (Velásquez-Barreto *et al.*, 2022).

En la evaluación, las variables de acidez total titulable (ATT) y los sólidos solubles totales (SST), tuvieron un comportamiento decreciente similar con presencia de picos a lo largo del almacenamiento, que en los dos casos terminó en un estrecho rango de valores entre los tratamientos (Fig. 18 y 19). Esta disminución se puede atribuir a que la fruta de la pasión morada completamente madura acumula sólidos solubles en la pulpa, principalmente ácidos orgánicos y moléculas de sacarosa. Sin embargo, una vez recolectada, la fruta puede convertir ciertos compuestos por respiración aeróbica o procesos anaeróbicos (Maniwara *et al.*, 2015). Como contraparte de la ATT, se encontró que el pH se incrementó como consecuencia de la menor presencia de ácidos orgánicos en la fruta (Fig. 20). Cabe destacar que los valores de estas variables se encuentran dentro del rango presentado por Araujo *et al.* (2017), pero no con los datos reportados por Jiménez (2010).

Respecto a la firmeza se observa que esta se reduce ligeramente sin que al parecer se afecte significativamente la calidad del producto (Fig. 21). Lo anterior se debe posiblemente al uso del empaque durante el almacenamiento, dado que en el tratamiento control (sin empaque) se percibió un detrimiento significativo de esta variable. El microambiente creado por los empaques genera una alta humedad dentro de las bolsas, lo cual ayuda a reducir la pérdida de peso ocasionada por la transpiración y la actividad respiratoria, y también ayuda a conservar la turgencia de las células y por tanto la firmeza de las frutas en su interior (Kaur *et al.*, 2013). Las cifras que se obtuvieron se asemejan a las informadas por Viera *et al.* (2023), pero no fue así con los valores reportados por Jiménez *et al.* (2011).

4.5 Conclusión

El uso de la fertilización integrada en el cultivo de gulupa tuvo efectos positivos sobre el comportamiento fisiológico de la fruta, al reducir las pérdidas de peso y la tasa de respiración de la fruta, siendo los frutos obtenidos del tratamiento con vermicompost los que ofrecen el mejor comportamiento para su exportación. El uso del empaque bajo atmósfera modificada (Xtend®), junto al manejo de la temperatura y la humedad relativa, favorecieron la conservación de las propiedades deseables en la fruta, alargando su vida útil por unos quince días. A pesar de los métodos de conservación aplicados en la fruta, se observa un comportamiento climatérico que se presenta de manera anticipada en la fruta sin empacar. El manejo integrado de la fertilización en el cultivo de gulupa no ocasionó ningún trastorno fisiológico o deterioro fisicoquímico de la fruta después de la cosecha, por lo cual resulta viable la implementación de este esquema de producción.

4.6 Bibliografía

Abdel-Sattar, M., Al-Obeed, R. S., Aboukarima, A. M., Górnik, K., and Eshra, D. H. (2023). Improvement of the physico-chemical properties, nutritional, and antioxidant compounds of pomegranate fruit cv. 'Wonderful' using integrated fertilization. Horticulturae, 9(2): 195. <http://dx.doi.org/10.3390/horticulturae9020195>

Agronet. (2023). Red de información y comunicación del sector agropecuario colombiano. Consultado el 19 de septiembre del 2023. <https://www.agronet.gov.co/Paginas/inicio.aspx>.

Ahmad, M.S., Siddiqui, M.W. (2015). Factors affecting postharvest quality of fresh fruits. p. 7-32. In: Postharvest quality assurance of fruits: practical approaches for developing countries, 7-32. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-21197-8_2

Álvarez-Hernández, J. C., Venegas-Flores, S., Soto-Ayala, C., Chávez-Vargas, A., y Zavala-Sánchez, L. (2011). Uso de fertilizantes químicos y orgánicos en cebolla (*Allium cepa* L.) en Apatzingán, Michoacán, México. Avances en Investigación Agropecuaria, 15(2): 29-43. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=83719236003>.

Analdex. (2023). Informe de las exportaciones colombianas de frutas – 2022. Dirección de asuntos económicos. <https://www.analdex.org/2023/04/20/informe-de-las-exportaciones-colombianas-de-frutas-2022/>.

Araújo, L. C. d. S., Costa, E. M., Soares, T. L., Santos, I. S. d., and Jesus, O. N. d. (2017). Effect of time and storage conditions on the physical and physico-chemical characteristics of the pulp of yellow and purple passion fruit. Food Science and Technology, 37(3): 500-506. <https://doi.org/10.1590/1678-457x.20616>.

Balaguera-López, H and Palacios, E. (2018). Comportamiento poscosecha de frutos de mandarina (*Citrus reticulata* Blanco) var. Arrayana: efecto de diferentes tratamientos térmicos. Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas, 12(2): 369-378. <http://doi.org/10.17584/rcch.2018v12i2.7702>.

Ballesteros, S., Salamanca, M. C., Sierra, C. A., Palomeque, L. A., and Castellanos, D. A. (2021). Determination of changes in physicochemical and sensory characteristics of purple passion fruit with the application of different packaging systems, including an ethylene scavenger additive. *Journal of Food Science*, 86(4): 1372-1383. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.15673>.

Biswas, S., Mishra, R., and Bist, A. S. (2021). Passion to profession: A review of passion fruit processing. *Aptisi Transactions on Technopreneurship (ATT)*, 3(1): 48–57. <https://doi.org/10.34306/att.v3i1.143>.

Ceglie, F.G., Muñoz, L., Piazzolla, F., Martínez-Hernández, G.B., Amodio, M.L., Colelli, G. (2015). Quality and postharvest performance of organically grown tomato (*Lycopersicon esculentum* L. "Marmande") under unheated tunnel in Mediterranean climate. *Acta Horticulturae*, 1079: 487–494. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2015.1079.64>.

Chemie. (2019). Ficha técnica producto Humichem®. <https://chemiesa.com/wp-content/uploads/2019/04/Humichem-FT-OK.pdf>

Corpoamazonia, WWF, and Asociación Ampora. (2010). Plan de ordenación y manejo de la cuenca alta del río Putumayo. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. <https://repositorio.gestiondelriesgo.gov.co/handle/20.500.11762/22579>

Díaz Franco, A., Alvarado Carrillo, M., Alejandro Allende, F., y Ortiz Cháirez, F. E. (2016). Crecimiento, nutrición y rendimiento de calabacita con fertilización biológica y mineral. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 32(4): 445-453. <https://doi.org/10.20937/RICA.2016.32.04.08>.

Döring, J., Frisch, M., Tittmann, S., Stoll, M., and Kauer, R. (2015). Growth, yield and fruit quality of grapevines under organic and biodynamic management. *PLoS One*, 10(10): e0138445. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0138445>.

Fischer, G., Melgarejo, L.M., Cutler, J. (2018). Pre-harvest factors that influence the quality of passion fruit: A review. *Agronomía Colombiana*, 36: 217–226. <https://doi.org/10.15446/agron.colomb.v36n3.71751>.

Flechas, N.C., Melgarejo, L.M., Hernández, M.S., and Fernández-Trujillo, J.P. (2020). Postharvest response of purple passion fruits (*Passiflora edulis* f. *edulis* Sims) grown under controlled fertilization. *Acta Horticulturae*, 1275: 99-104. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2020.1275.14>.

Flórez, L. M., Pérez, L. V., Melgarejo, L. M., y Hernández, S. (2012). Caracterización fisicoquímica, fisiológica y bioquímica del fruto de gulupa (*Passiflora edulis* Sims) como indicadores para el punto óptimo de cosecha. p. 53-79. In: *Ecofisiología del cultivo de la gulupa*. Ed. Melgarejo, L. M. Universidad Nacional de Colombia. Produmedios. Bogotá, Colombia. https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/11145/05_Cap03.pdf?sequence=9&isAllowed=y

González, AK, LF González-Martínez, LD Córdoba, A. Rincón y HE Balaguera-López. (2021). Regulating the postharvest life of *Campomanesia lineatifolia* R. and P. fruits through the interaction of ethylene, 1-methylcyclopropene and low temperatures. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 15(2): e12499. <https://doi.org/10.17584/rcch.2021v15i2.12499>.

Hernández, M. S., Martínez, O., and Fernández-Trujillo, J. P. (2007). Behavior of arazá (*Eugenia stipitata* Mc Vaugh) fruit quality traits during growth, development and ripening. *Scientia Horticulturae*. 111(3): 220–227. <https://doi.org/10.1016/J.SCIENTA.2006.10.029>

Ibrahim, M. H., Jaafar, H. Z., Karimi, E., and Ghasemzadeh, A. (2013). Impact of organic and inorganic fertilizers application on the phytochemical and antioxidant activity of Kacip Fatimah (*Labisia pumila* Benth.). *Molecules*, 18(9): 10973-10988. <https://doi.org/10.3390/molecules180910973>.

ICA. (2022). Resolución 00000824 de 2022 “Por la cual se establecen los requisitos para el registro ante el ICA de los lugares de producción, exportadores y empacadoras de vegetales para la exportación en fresco. Revista Instituto Colombiano Agropecuario. <https://www.ica.gov.co/getattachment/e64d5f98-d1c4-454a-b02a-aa5695adfb84/2022R0000824.aspx>

ICONTEC. (2012). Jugo (zumo), pulpa, néctar de frutas y sus concentrados. Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. <https://tienda.icontec.org/gp-jugo-zumo-pulpa-nectar-de-frutas-y-sus-concentrados-ntc5468-2012.html>

IDEAM. (2014). Clasificación climática de Koppen 1982 - 2010. <http://atlas.ideam.gov.co/basefiles/Koppen.pdf>

Iqbal, N., Khan, N. A., Ferrante, A., Trivellini, A., Francini, A., and Khan, M. I. R. (2017). Ethylene role in plant growth, development and senescence: interaction with other phytohormones. *Frontiers in plant science*, 8: 475. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00475>

Iqbal, N., Trivellini, A., Masood, A., Ferrante, A. y Khan, NA (2013). Conocimiento actual sobre la señalización del etileno en las plantas: la influencia de la disponibilidad de nutrientes. *Fisiología y Bioquímica Vegetal*, 73: 128-138. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2013.09.011>.

Jaime-Guerrero, M., Álvarez-Herrera, J.G. and Ruiz-Berrío, H.D. (2022). Postharvest application of acibenzolar-S-methyl and plant extracts affect physicochemical properties of blueberry (*Vaccinium corymbosum* L.) fruits. *Agronomía Colombiana*, 40(1): 58–68. <https://doi.org/10.15446/agron.colomb.v40n1.100044>.

Jiao, X. Q., Mongol, N., and Zhang, F. S. (2018). The transformation of agriculture in China: Looking back and looking forward. *Journal of Integrative Agriculture*, 17(4): 755-764. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(17\)61774-X](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(17)61774-X).

Jiménez T., A. M. (2010). Estudio de los cambios físicos y químicos de la gulupa (*Passiflora edulis* Sims fo. *edulis*) durante la maduración. [Tesis de Maestría]. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá Colombia. <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/7600/197493.2011.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Jiménez, A. M., Sierra, C. A., Rodríguez-Pulido, F. J., González-Miret, M. L., Heredia, F. J., and Osorio, C. (2011). Physicochemical characterisation of gulupa (*Passiflora edulis* Sims. fo *edulis*) fruit from Colombia during the ripening. *Food Research International*, 44(7): 1912–1918. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2010.11.007>.

Jiménez, J., Carranza, C., and Rodríguez, M. (2012). Gulupa (*Passiflora edulis* Sims), p. 579–599. In: Manual para el cultivo de frutales en el trópico. Fischer G. (Ed.), Produmedios, Bogotá, Colombia.

Kaur, K., Dhillon, W. S., and Mahajan, B. V. C. (2013). Effect of different packaging materials and storage intervals on physical and biochemical characteristics of pear. Journal of Food Science and Technology, 50: 147-152. <https://doi.org/10.1007/s13197-011-0317-0>.

Khan, M.I., Trivellini, A., Fatma, M., Masood, A., Francini, A., Iqbal, N., Ferrante, A., Khan, N.A. (2015). Role of ethylene in responses of plants to nitrogen availability. Frontiers in Plant Science, 6: 927. <https://doi.org/10.3389/fpls.2015.00927>.

Kritzinger, I., Theron, K. I., Lötze, G. F., and Lötze, E. (2018). Peel water vapour permeance of Japanese plums as indicator of susceptibility to postharvest shriveling. Scientia Horticulturae, 242: 188-194. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.07.033>.

Lara, I., Belge, B., and Goulao, L. F. (2014). The fruit cuticle as a modulator of postharvest quality. Postharvest Biology and Technology, 87: 103-112. <https://doi.org.ezproxy.unal.edu.co/10.1016/j.postharvbio.2013.08.012>.

Los Andes. (2020). Lombricomposto los Andes. Ficha Técnica. Colombia. <https://actiweb.one/agroorganicoslosandes/productos.html>

Lososová, Z., Kolářová, M., Tyšer, L., and Lvončík, S. (2011). Organic, integrated and conventional management in apple orchards: effect on plant species composition, richness and diversity. Acta Universitatis Agriculturae Et Silviculturae Mendelianae Brunensis, 59: 151-158. <https://actavia.mendelu.cz/pdfs/acu/2011/05/18.pdf>.

Maniwara, P., Boonyakiat, D., Poonlarp, P. B., Natwichai, J., and Nakano, K. (2015). Changes of postharvest quality in passion fruit (*Passiflora edulis* Sims) under modified atmosphere packaging conditions. International Food Research Journal, 22(4): 1596–1606.

Marín H., J.J. y Rengifo M., P.A. (2018). Determinación de curvas de extracción en la gulupa (*Passiflora edulis* f. *edulis* Sims) en el municipio de Sonsón, Antioquia. Encuentro Sennova Del Oriente Antioqueño, 4(1): 47–61. <https://revistas.sena.edu.co/index.php/Encuentro/article/view/2056>.

Martínez, M. A., Morillo, A. C., and Reyes-Ardila, W. (2020). Characterization of the genetic diversity in *Passiflora* spp. in the Boyacá Department, Colombia. Chilean Journal of Agricultural Research, 80(3): 342-351. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-58392020000300342>.

Massri, M. and Labban, L. (2014) Comparison of different types of fertilizers on growth, yield and quality properties of watermelon (*Citrullus lanatus*). Agricultural Sciences, 5: 475-482. doi: 10.4236/as.2014.56048.

Mele, M.A., Islam, M.Z., Kang, H.-M., Giuffrè, A.M. (2018). Pre-and post-harvest factors and their impact on oil composition and quality of olive fruit. Emirates Journal of Food and Agriculture, 30: 592–603.

Moradinezhad, F., and Dorostkar, M. (2021). Effect of vacuum and modified atmosphere packaging on the quality attributes and sensory evaluation of fresh jujube fruit. International Journal of Fruit Science, 21(1): 82-94. <https://doi.org/10.1080/15538362.2020.1858470>

Muñoz-Ordoñez, F. J., Gutiérrez-Guzmán, N., Hernández-Gómez, M. S., and Fernández-Trujillo, J. P. (2023). The climactic conditions limit fruit production and quality in gulupa (*Passiflora edulis* Sims f. *edulis*) under integrated fertilization. South African Journal of Botany, 153: 147-156. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2022.11.043>.

Musacchi, S., Serra, S. (2018). Apple fruit quality: Overview on pre-harvest factors. Scientia Horticulturae, 234: 409–430.

Narváez Herrera, Juan Pablo, Riascos Vallejos, Adrián Rolando, y Cisneros Montenegro, José Mauricio. (2021). Efecto de la suplementación con *Saccharomyces cerevisiae* en la producción y calidad de leche en bovinos del Valle de Sibundoy, Putumayo, Colombia. Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú, 32(6): e19977. Epub 05 de octubre de 2021.<https://dx.doi.org/10.15381/rivep.v32i6.19977>.

Nxumalo, K. A., and Fawole, O. A. (2022). Effects of chitosan coatings fused with medicinal plant extracts on postharvest quality and storage stability of purple passion fruit (*Passiflora edulis* var. Ester). Food Quality and Safety, 6: fyac016. <https://doi.org/10.1093/fqsafe/fyac016>

Okole, B., Gordon, G., Brown, B., Pillay, B., Schoeman, C., and Godfrey, L. (2021). Supporting food security and economic development through circular agriculture. In: The circular economy as development opportunity, Godfrey, L. (Ed),, p. 18-28. <https://www.csir.co.za/sites/default/files/Documents/CSIR%202021%20Circular%20Economy%20As%20Development%20Opportunity.pdf#page=28>.

Orjuela Baquero, N. M., Pérez Martínez, L. V., Flórez, L. M., Hernández, M. S., and Melgarejo, L. M. (2011). Propuesta de norma técnica colombiana, frutas frescas, gulupa, especificaciones, p. 45–58. In: Poscosecha de la gulupa (*Passiflora edulis* Sims), Melgarejo, L.M. and Hernández, M.S., (Ed). Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia. http://www.bdigital.unal.edu.co/8532/7/06_Cap04.pdf

Osorio, C., Jiménez, A. M., Sierra, C. A., Rodríguez-Pulido, F. J., González-Miret, M. L., and Heredia, F. J. (2011). Physicochemical characterization of gulupa (*Passiflora edulis* Sims. f. *edulis*) fruit from Colombia during the ripening. Food Research International, 44 (7): 1912–1918. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2010.11.007>

Owino, W. O., Yumba, P., Shibairo, S., and Ambuko, J. (2016). Efficacy of Activebag® packaging on postharvest quality of purple passion fruit (*Passiflora edulis* Sims). In XXIX International Horticultural Congress on Horticulture: Sustaining Lives, Livelihoods and Landscapes (IHC2014): 1120 (p. 85-90). https://www.actahort.org/books/1120/1120_12.htm.

Pareek, S. (2016). Ripening Physiology: An Overview. Postharvest Ripening Physiology of Crops. CRC Press, Taylor and Francis Group, p. 42-89.

Pinzón, I. M. del P., Fischer, G., y Corredor, G. (2007). Determinación de los estados de madurez del fruto de la gulupa. Agronomía Colombiana, 25(1): 83–95. <https://doi.org/690-2>

Pongener, A., Sagar, V., Pal, R. K., Asrey, R., Sharma, R. R., and Singh, S. K. (2014). Physiological and quality changes during postharvest ripening of purple passion fruit (*Passiflora edulis* Sims). Fruits, 69(1): 19-30. <https://doi.org/10.1051/fruits/2013097>.

Reganold, J.P., Andrews, P.K., Reeve, J.R., Carpenter-Boggs, L., Schadt, C.W., Alldredge, J.R., Ross, C.F., Davies, N.M., Zhou, J. (2010). Fruit and soil quality of organic and

conventional strawberry agroecosystems. PLoS ONE, 5 (9): e12346. <https://doi:10.1371/journal.pone.0012346>.

Rodriguez Castillo, N. C., Wu, X., Chacón, M. I., Melgarejo, L. M., and Blair, M. W. (2021). Genetic diversity of purple passion fruit, *Passiflora edulis* f. *edulis*, based on single-nucleotide polymorphism markers discovered through genotyping by sequencing. Diversity, 13(4): 144. <https://doi.org/10.3390/d13040144>.

Shin, J.S., Park, H.S., Lee, K.W., Song, J.S., Han, H.Y., Kim, H.W., Cho, T.J. (2023). Advances in the Strategic Approaches of Pre- and Post-Harvest Treatment Technologies for Peach Fruits (*Prunus persica*). Horticulturae, 9: 315. <https://doi.org/10.3390/horticulturae9030315>.

Singh, R., Sharma, R. R., Kumar, S., Gupta, R. K., and Patil, R. T. (2008). Vermicompost substitution influences growth, physiological disorders, fruit yield and quality of strawberry (*Fragaria x ananassa* Duch.). Bioresource Technology, 99(17): 8507-8511. <https://doi.org.ezproxy.unal.edu.co/10.1016/j.biortech.2008.03.034>.

Tandel, B. M., Patel, B. N., and Patel, B. B. (2014). Effect of Integrated Nutrient Management on Growth and Physiological Parameters on Papaya cv. Taiwan Red Lady. Biosciences, 2175.

USDA. (2014). Claves para la taxonomía de suelos. Servicio de Conservación de Recursos Naturales. Washington, USA. https://www.nrcs.usda.gov/sites/default/files/2022-06/Illustrated_Guide_to_Soil_Taxonomy_Spanish.pdf

Valentinuzzi, F., Pii, Y., Mimmo, T., Savini, G., Curzel, S., Cesco, S. (2018). Fertilization strategies as a tool to modify the organoleptic properties of raspberry (*Rubus idaeus* L.) fruits. Scientia Horticulturae, 240: 205–212.

Vázquez Vázquez, P., García López, M. Z., Navarro Cortez, M. C., y García Hernández, D. (2015). Efecto de la composta y té de compost en el crecimiento y producción de tomate (*Lycopersicon esculentum* mill.) en invernadero. Revista Mexicana de Agronegocios, 36: 1351-1356. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=14132408020>.

Velásquez-Barreto, F., Rafael-Delgado, D and Ramírez-Tixe1, E. (2022). Efecto del tiempo y temperatura de almacenamiento en los parámetros físico-químicos y de color de frutos de aguaymanto (*Physalis peruviana*). Revista de Investigación Agropecuaria Science and Biotechnology. 2(1): 29-38. <https://doi.org/10.25127/riagrop.20221.782>.

Viera, W., Shinohara, T., Sanada, A., Terada, N., and Koshio, K. (2023). Influence of the hypobaric method in physicochemical fruit quality traits of yellow and purple passion fruit stored in cold temperature. The Horticulture Journal, 92(4): 402-411. <https://doi.org/10.2503/hortj.QH-081>.

Yang, J., Mattoo, A. K., Liu, Y., Zvomuya, F., and He, H. (2023). Trade-offs of organic and organic-inorganic fertilizer combinations in tomato quality and yield: A global meta-analysis (1992–2021). European Journal of Agronomy, 151: 126985. <https://doi.org.ezproxy.unal.edu.co/10.1016/j.eja.2023.126985>.

Yumbya, P., Ambuko, J., Shibairo, S. I., and Owino, W. (2014). Effect of modified atmosphere packaging (map) on the shelf life and postharvest quality of purple passion fruit

(*Passiflora edulis* sims). Journal of Post-Harvest Technology, (2): 25–36. <http://41.89.175.45/handle/123456789/679>.

Zahedipour, P., Asghari, M., Abdollahi, B., Alizadeh, M., and Danesh, Y. R. (2019). A comparative study on quality attributes and physiological responses of organic and conventionally grown table grapes during cold storage. *Scientia horticulturae*, 247: 86-95. <https://doi-org.ezproxy.unal.edu.co/10.1016/j.scienta.2018.11.077>.

Zhang, G.-B., Meng, S., and Gong, J.-M. (2018). The expected and unexpected roles of nitrate transporters in plant abiotic stress resistance and their regulation. *International Journal of Molecular Sciences*, 19(11): 3535. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/ijms19113535>.

Zhong, Z., Zhou, L., Yu, K., Jiang, F., Xu, J., Zou, L., ... and Liu, W. (2022). Effects of microporous packaging combined with chitosan coating on the quality and physiological metabolism of passion fruit after harvest. *Food and Bioprocess Technology*, 15(8): 1836-1850. <https://doi.org/10.1007/s11947-022-02845-w>.

Ziv, C., Zhao, Z., Gao, Y. G., and Xia, Y. (2018). Multifunctional roles of plant cuticle during plant-pathogen interactions. *Frontiers in Plant Science*, 9: 1088. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01088>.

Conclusiones generales

Fue posible la sustitución parcial de los fertilizantes normalmente utilizados en la producción de gulupa sin producir trastornos o desequilibrios en la fruta o la planta, que hiciesen inviable la implementación de este esquema de producción en otros cultivos. Así mismo, fueron claves el montaje de espaldera sencilla con semitechado y el uso del material vegetal injertado, para disminuir los brotes de enfermedades foliares y edáficas que representaran una limitante para el cultivo en otras regiones. Entre las enfermedades, son particularmente nocivas las provocadas por hongos, que son fomentadas por el incremento de las precipitaciones y la humedad relativa del ambiente como las ocurridas en el desarrollo de este trabajo.

El uso de la fertilización integrada es una opción interesante para mejorar la eficiencia y la rentabilidad del cultivo de gulupa, dado que permite reducir el uso de fertilizantes químicos sintéticos, por la incorporación de materiales orgánicos como el vermicompost. También presenta ventajas ambientales, ya que se usan recursos renovables y se reducen los efectos contaminantes sobre el medio ambiente como la volatilización y la desnitrificación, además que reduce los efectos perniciosos de deterioro de la calidad del agua y la posible eutrofización de sus reservorios en el entorno.

El uso de vermicompost en la fertilización integrada representó resultados sobresalientes en todas las categorías de evaluación, dado el incremento que registró en variables productivas como el rendimiento, el peso y la cantidad de frutos por planta; la mejora en los indicadores agronómicos como el porcentaje de materia orgánica y la capacidad de intercambio catiónico del suelo. Los beneficios económicos, representados en una mayor rentabilidad establecida en la relación costo-beneficio y un mejor comportamiento fisiológico del fruto bajo condiciones de almacenamiento, al reducir la pérdida de peso y la tasa de respiración de los frutos.

Los resultados también muestran el efecto positivo de variables climáticas como la radiación solar en aspectos productivos vitales como el rendimiento y la síntesis de metabolitos, mientras que variables como la humedad relativa y la precipitación pueden tener efectos negativos en estados fenológicos clave para la producción como la floración y la polinización. Así mismo, los efectos del clima sobre el componente edáfico del cultivo pueden limitar la absorción de los nutrientes presentes en el suelo, debido a las condiciones anaeróbicas que pueden ocasionar el exceso de precipitaciones.

El manejo de la temperatura y la humedad relativa durante el almacenamiento, sumado al uso de un empaque apropiado de acuerdo con los requerimientos de la fruta, resultan indispensables para incrementar de la vida útil del producto y de esa manera poder llegar a nuevas fronteras conservando las propiedades organolépticas y nutricionales de un alimento como la gulupa.

A pesar de las condiciones climáticas adversas que se presentaron en el desarrollo del experimento y que terminaron impactando la calidad de la fruta, fue posible adaptar y sostener

un esquema de producción novedoso como el manejo de la fertilización integrada en una región que tiene todo el potencial para posicionarse como una zona exportadora de gulupa, dado que cumple con todos los requerimientos para ampliar las áreas de cultivo, motivado en los resultados productivos y económicos obtenidos en esta investigación.

La optimización de los procesos de fertilización y la comprensión de los procesos nutricionales de la planta son importantes en función de los beneficios económicos, agronómicos, productivos y ambientales que pueden generar en una cadena productiva como la gulupa, permitiendo además profundizar en los procesos metabólicos y fisiológicos de la planta para conocer en detalle los mecanismos de su funcionamiento y de esa forma plantear soluciones acertadas a sus requerimientos, sin ocasionar trastornos que luego se tradujeran en el deterioro de la fruta o la reducción de los compuestos bioactivos, que tanto interés despiertan en los consumidores de la actualidad.

Recomendaciones

Teniendo en cuenta la diversidad de fuentes de material orgánico que hay en el mercado, sería interesante evaluar los materiales en conjunto con la incorporación de microrganismos benéficos al suelo.

Una de las nuevas tecnologías que se ha posicionado como método de conservación postcosecha, es el uso de recubrimientos, por lo cual sería de utilidad aplicar los conocimientos alcanzados en esa área en el manejo postcosecha de la gulupa.

En muchas ocasiones, son insuficientes las variables consideradas en un experimento para parametrizar las variaciones que se presentan en la evaluación, por lo cual sería favorable la inclusión de parámetros como la evapotranspiración, que permitirían robustecer el análisis.

Dadas las limitaciones del recurso hídrico en varias zonas del país, sería conveniente evaluar el comportamiento de las plantas de gulupa bajo estrés hídrico.

Considerando la topografía del territorio y los estudios que se han adelantado sobre otros frutales andinos en el tema, convendría evaluar el efecto de la altitud sobre los indicadores de calidad y rendimiento en el cultivo de gulupa.

Anexos

Anexo A. Características químicas del suelo previas al establecimiento del cultivo de gulupa realizadas por Agrosavia e interpretadas por su servicio técnico, aceptándose sus recomendaciones.

Determinación analítica	Unidad	Valor	Interpretación
pH (1:2,5)		5.44	Fuertemente ácido
Conductividad eléctrica (CE) (1:5)	dS/m	0.35	No salino
Materia Orgánica (MO)	g/100g	14.27	Alto
Fósforo (P) disponible (Bray II)	mg/kg	5.70	Bajo
Azufre (S) disponible	mg/kg	1.09	Bajo
Capacidad de efecto de intercambio catiónico (CIC)	cmol(+)/kg	4.97	Bajo
Boro (B) disponible	mg/kg	0.17	Bajo
Acidez (Al+H)	cmol(+)/kg	0.74	No Indica
Aluminio (Al) intercambiable	cmol(+)/kg	0.52	Sin restricción
Calcio disponible (Ca)	cmol(+)/kg	2.98	Bajo
Magnesio (Mg) disponible	cmol(+)/kg	0.89	Bajo
Potasio (K) disponible	cmol(+)/kg	0.27	Medio
Sodio (Na) disponible	cmol(+)/kg	<0.14	Normal
Olsen de hierro (Fe) disponible	mg/kg	492.91	Alto
Cobre (Cu) olsen disponible	mg/kg	3.55	Alto
Manganoso (Mn) olsen disponible	mg/kg	6.45	Alto
Olsen de zinc (Zn) disponible	mg/kg	28.41	Alto
Saturación de calcio	%	60	Alto
Saturación de magnesio	%	18	Normal
Saturación de potasio	%	5	Normal
Saturación de sodio	%	2	Normal
Saturación de aluminio	%	10	Normal

Anexo B. Análisis de varianza para variables de rendimiento, eficiencia y rentabilidad en el cultivo de gulupa (*Passiflora edulis* Sims f. *edulis*) bajo tratamientos de fertilización integrada y cosechada durante dos ciclos productivos consecutivos. Df, grados de libertad. MS, media cuadrática y Valor P. Los grados de libertad fueron comunes en las variables estudiadas. El efecto de bloque no fue significativo para las variables estudiadas y se incorporó dentro de los residuos. Las probabilidades significativas están en negrita. Las variables de composición del fruto se midieron en jugo obtenido de la pulpa del fruto.

Variables	Factores				
		Tratamiento Fertilización	Ciclo Productivo	Interacción	Residuos
Rendimiento	Df	2	1	17	15
	MS	485.50	506.19	128.6	346.6
	Valor P	0.0000	0.0000	0.022	
Eficiencia agronómica	MS	292.89	1589.98	0.064	89.63
	Valor P	0.0000	0.0000	0.0594	
Eficiencia económica	MS	4.38	1449.87	0.042	1.47
	Valor P	0.0000	0.0000	0.124	
Relación beneficio/costo	MS	0.0094	22.69	0.00068	0.0024
	Valor P	0.0000	0.0000	0.22	

Anexo C. Correlaciones de Spearman entre variables climáticas evaluadas en un cultivo de gulupa (*Passiflora edulis* Sims f. *edulis*) bajo tratamientos de fertilización integrada y cosechada durante dos ciclos productivos consecutivos. Los valores presentados corresponden al r de cada prueba y a la probabilidad p>0,05 (Valor P). Las probabilidades significativas están en negrita. (n=96).

Variables climáticas y Valor P	HR C2	HR C3	Temperatura C2	Temperatura C3	Precipitación C2	Precipitación C3	Radiación solar C2	Radiación solar C3
HR C2	0,7343		-0,3123	0,1019	0,8392	0,3217	-0,7902	-0,6224
Valor-P		0,0149	0,3003	0,7353	0,0054	0,2860	0,0088	0,0390
HR C3	0,7343		-0,4597	-0,3726	0,5315	0,4476	-0,8601	-0,8811
Valor-P	0,0149		0,1274	0,2166	0,0780	0,1377	0,0043	0,0035
Temperatura C2	-0,3123	-0,4597		0,6561	-0,3579	-0,5404	0,5474	0,4912
Valor-P	0,3003	0,1274		0,0296	0,2352	0,0731	0,0695	0,1033
Temperatura C3	0,1019	-0,3726	0,6561		0,2601	-0,2074	0,4323	0,3796
Valor-P	0,7353	0,2166	0,0296		0,3883	0,4916	0,1516	0,2080
Precipitación C2	0,8392	0,5315	-0,3579	0,2601		0,5874	-0,5385	-0,5944
Valor-P	0,0054	0,0780	0,2352	0,3883		0,0514	0,0741	0,0487
Precipitación C3	0,3217	0,4476	-0,5404	-0,2074	0,5874		-0,2238	-0,6224
Valor-P	0,2860	0,1377	0,0731	0,4916	0,0514		0,4580	0,0390
Radiación solar C2	-0,7902	-0,8601	0,5474	0,4323	-0,5385	-0,2238		0,7483
Valor-P	0,0088	0,0043	0,0695	0,1516	0,0741	0,4580		0,0131
Radiación solar C3	-0,6224	-0,8811	0,4912	0,3796	-0,5944	-0,6224	0,7483	
Valor-P	0,0390	0,0035	0,1033	0,2080	0,0487	0,0390	0,0131	

HR: Humedad relativa; C2: Ciclo 2; C3: Ciclo 3

Anexo D. Análisis de varianza para variables de producción y calidad en gulupa (*Passiflora edulis* Sims f. *edulis*) bajo tratamientos de fertilización integrada y cosechada durante dos ciclos productivos consecutivos. Df, grados de libertad. MS, media cuadrática y Valor P. Los grados de libertad fueron comunes en las variables estudiadas. El efecto de bloque no fue significativo para las variables estudiadas y se incorporó dentro de los residuos. Las probabilidades significativas están en negrita. Las variables de composición del fruto se midieron en jugo obtenido de la pulpa del fruto.

Variables	Factores				
		Tratamiento Fertilización	Ciclo Productivo	Interacción	Residuos
Peso fresco	Df	2	1	17	15
	MS	12.86	784.76	0.028	3.01
	Valor P	0.0001	0.0000	0.99	
Producción (frutos por planta)	MS	10.63	88.02	0.57	3.21
	Valor P	0.0000	0.0000	0.44	
Diámetro ecuatorial del fruto.	MS	1.85	1023.1	0.15	2.42
	Valor P	0.0495	0.0000	0.85	
Diámetro longitudinal del fruto	MS	1.15	1289.43	0.50	3.75
	Valor P	0.23	0.0000	0.57	
Firmeza del fruto entero	MS	89.56	10655.1	3.63	402.09
	Valor P	0.43	0.0000	0.98	
Sólidos solubles totales (SST)	MS	0.52	2.49	0.027	1.40
	Valor P	0.22	0.0025	0.96	
Acidez titulable total (ATT)	MS	0.057	10.54	0.00039	0.27
	Valor P	0.38	0.0000	0.99	
pH	MS	0.00039	0.58	0.046	0.29
	Valor P	0.99	0.063	0.81	
Materia seca	MS	0.00014	0.053	0.000033	0.00071
	Valor P	0.56	0.0000	0.9155	
L* (Luminosidad)	MS	0.36	35.81	0.13	1.31
	Valor P	0.42	0.0000	0.78	
C* (croma)	MS	0.034	16.85	0.109	0.707
	Valor P	0.95	0.0000	0.82	
h° (ángulo de tono)	MS	0.0018	0.34	0.0053	0.0097
	Valor P	0.50	0.0000	0.108	
Sacarosa	MS	10.54	1362.69	7.42	58.86
	Valor P	0.52	0.0000	0.66	
Fructosa	MS	10.01	1465.53	7.47	28.11
	Valor P	0.38	0.0000	0.51	

Glucosa	MS	12.05	455.77	1.65	22.98
	Valor P	0.24	0.0000	0.88	
Glicerol	MS	0.026	8.54	0.026	0.066
	Valor P	0.38	0.0000	0.38	

Anexo D. (cont.).

Variables	Factores				
		Tratamiento de Fertilización	Ciclo Productivo	Interacción	Residuos
Rafinosa	Df	2	1	17	15
	MS	0.00045	0.103	0.00021	0.015
	Valor P	0.97	0.0008	0.99	
Ácido cítrico	MS	0.23	7775.79	0.28	30.27
	Valor P	0.98	0.0000	0.98	
Ácido málico	MS	0.12	121.77	0.073	0.62
	Valor P	0.42	0.0000	0.62	
ácido succínico	MS	0.047	22.60	0.0036	0.14
	Valor P	0.41	0.0000	0.97	
Ácido ascórbico	MS	0.00096	0.26	0.00032	0.0031
	Valor P	0.48	0.0000	0.82	
Actividad antioxidante. DPPH	MS	0.16	789.43	0.0908	11.21
	Valor P	0.98	0.0000	0.99	
Actividad antioxidante. ABTS	MS	0.58	440.15	0.45	3.47
	Valor P	0.71	0.0000	0.78	
Contenido total de carotenoides	MS	0.00092	0.0015	0.00094	0.0062
	Valor P	0.77	0.4444	0.77	

Anexo E. Análisis de varianza para variables de comportamiento y calidad en gulupa (*Passiflora edulis* Sims f. *edulis*) destinada a su exportación y producida bajo fertilización integrada. Df, grados de libertad. MS, media cuadrática y Valor P. Los grados de libertad fueron comunes en las variables estudiadas. El efecto de bloque no fue significativo para las variables estudiadas y se incorporó en los residuos. Las probabilidades significativas están en negrita. Las variables de composición del fruto se midieron en jugo obtenido de la pulpa del fruto.

Variables	Factores				
		Tratamiento Fertilización	Días almacenamiento	Interacción	Residuos
Tasa respiratoria	Df	3	15	56	92
	MS	111.58	118.74	7.49	47.58
	Valor P	0.0000	0.0000	0.79	
Producción de etileno	MS	1176.45	2888.18	92.23	501.93
	Valor P	0.0000	0.0000	0.90	
Pérdida de peso	MS	23.24	62.35	3.36	9.12
	Valor P	0.0000	0.0000	0.47	
L* (Luminosidad)	MS	5.38	5.34	1.10	2.88
	Valor P	0.0171	0.0008	0.58	
C* (croma)	MS	5.25	4.55	0.35	0.68
	Valor P	0.0000	0.0000	0.55	
h° (ángulo de tono)	MS	1034.8	251.66	25.22	55.78
	Valor P	0.0000	0.0000	0.14	
Firmeza del fruto entero	MS	12.14	0.94	0.56	1.49
	Valor P	0.0000	0.5728	0.17	
Sólidos solubles totales (SST)	MS	4.76	2.39	0.044	0.33
	Valor P	0.0000	0.0000	0.2449	
Acidez titulable total (ATT)	MS	0.75	1.96	0.0108	0.385
	Valor P	0.0000	0.0000	0.5683	
pH	MS	0.0088	0.057	0.0023	0.0093
	Valor P	0.4249	0.0000	0.69	

Anexo F. Valores comparados entre la precipitación mensual registrada en el predio y los datos de precipitación mensual históricos reportados por el IDEAM de la estación metereológica Michoacán (ubicada a 15 km del predio), para el primero (2020-2021), segundo (2021-2022) y tercer ciclo (2022-2023) productivo del cultivo de gulupa.

