Ecofisiología de dos Cultivares de Pimentón en Condiciones de Agricultura Protegida en Sevilla, Zona Bananera

Martha Liliana Montes Pérez

Universidad del Magdalena

Facultad de Ingeniería

Maestría en Ciencias Agrarias

Santa Marta D.T.C.H.

2021

Ecofisiología de dos Cultivares de Pimentón en Condiciones de Agricultura Protegida en Sevilla, Zona Bananera

Martha Liliana Montes Pérez

Trabajo presentado como requisito parcial para optar al título de:

Magister en Ciencias Agrarias

Directora

Ph.D. María Emma Morales

Codirector

Msc. Rommel Igor León

Línea de investigación:
Producción Sostenible De Cultivos

Universidad del Magdalena

Facultad de Ingeniería

Maestría en Ciencias Agrarias

Santa Marta D.T.C.H.

2021

Nota de Aceptación

_____

_____

_____

_____

_____

_____

_____

Firma Presidente del Jurado

_____

Firma del Jurado

_____

Firma del Jurado

Santa Marta

AGRADECIMIENTOS

Primero que todo a DIOS por la vida, desde lo espiritual nunca me ha abandonado, siempre ha sabido guiar cada uno de mis pasos.

A mi esposo y a mi hijo por el apoyo incondicional, por entender lo que este logro significa para mi vida, como familia se ha sacrificado tiempo valioso.

A mis tutores Maria Emma Morales y Rommel León Pacheco, quienes fueron una guía de conocimiento a lo largo de todo este proceso de aprendizaje. Gracias por sus consejos y apoyo incondicional.

A los docentes de la Universidad del Magdalena por compartir sus conocimientos y experiencias, los cuales fueron parte fundamental en el desarrollo de esta maestría.

Al equipo del proyecto Agrosavia - Fontagro por haberme brindado la oportunidad de realizar mi investigación, pero sobre todo por el apoyo, aprendizajes y experiencias adquiridas.

A Bancoomeva por la beca que me otorgó para la realización de mis estudios de Maestría en Ciencias Agrarias.

A mis familiares en especial a mi tía Vilma Montes por todo su apoyo y colaboración, usted ha sido pieza fundamental en cada una de las etapas de mi vida.

A mis suegros Emma Gutiérrez y José Antonio Chavarro por haber sido mi apoyo en el cuidado de mi hijo cada vez que lo he necesitado. Eternamente agradecida con ustedes.

A mis amigos que sacaron un poco de su tiempo para darme ánimo, apoyo en campo, leer el documento y entregarme sus apreciaciones.

DEDICATORIA

Primero que todo dedico este título a Dios quien fue, es y seguirá siendo mi guía en la cada uno de los propósitos de mi vida.

A mi esposo Edgar Chavarro por ser mi compañero de vida, mi amigo, mi apoyo, mi cómplice de una y mil batallas. Nunca me cansare de darle las gracias a Dios por haberte puesto en mi camino. Gracias amor de mi vida

A mi hijo Andrés Felipe por su amor incondicional, por ser mi motor diario, pero sobre todo por cada abrazo que me brindabas cuando veías mi cansancio, en medio de tu inocencia me decías que eran para darme fuerzas.

A mi papá Jorge Montes por su apoyo y sus consejos y a mi mamá Belinda Pérez (Q.E.P.D) que desde el cielo sé que me cuidas y me guías de la mano del todo poderoso.

A mis abuelos Rafael Montes y Alicia Espinosa por su crianza, amor y apoyo incondicional, la persona que soy hoy día es gracias a ustedes. A mi abuela Margarita Romero por su cariño, porque sé que en cada una de tus oraciones me tienes presente.

A mis hermanos por su apoyo, amor y cariño incondicional, cuando necesité fuerzas ustedes eran de los primeros en darme ánimo y elevar sus oraciones. *Sueñen en grande que todo es posible.*

A mis tías paternas por haber creído en mí, nunca olvidare todo lo que han hecho. Gracias y mil gracias por su apoyo, oraciones, amor y cariño incondicional.

Contenido

Resumen **15**

Introducción **19**

1 Motivación y Justificación **22**

2 Objetivos **24**

2.1 Objetivos General **24**

2.2 Objetivos Específicos **24**

3 Revisión de Literatura **25**

3.1 Origen **25**

3.2 Taxonomía **25**

3.3 Morfologia **26**

3.4 Tipos de Pimentón **29**

3.5 Plagas **30**

3.6 Enfermedades del cultivo de pimentón **32**

3.7 Fenología del pimentón **33**

3.7.1 Germinación y emergencia. 34
3.7.2 Crecimiento de la plántula. 35
3.7.3 Crecimiento vegetativo rápido. 35
3.7.4 Floración y fructificación. 36

3.8 Factores que determinan la adaptación del cultivo de pimentón **37**

3.8.1 Temperatura. 37
3.8.2 Humedad relativa. 38
3.8.3 Radiación. 39
3.8.4 Suelo. 39

3.9 Importancia del pimentón 40

3.10 Tipos de ambiente de siembra.....41

3.10.1 Campo abierto. 41
3.10.2 Estructuras protegidas. 42

4 Metodología.....46

4.1 Área de Estudio 46

4.2 Material Vegetal 46

4.2.1 Golazo 47
4.2.2 Campero 47

4.3 Diseño Experimental 47

4.4 Análisis Estadístico.....49

4.5 Variables evaluadas 49

4.5.1 Variables climáticas 49
4.5.2 Variables fisiológicas 50
4.5.3 Variables agronómicas asociadas a la fenología y crecimiento del cultivo 53
4.5.4 Variables asociadas a la calidad del fruto 54

4.6 Manejo del Experimento.....56

4.6.1 Siembra de los cultivares golazo y campero 57
4.6.2 Adecuación y preparación del suelo 57
4.6.3 Riego 58
4.6.4 Drenaje 59
4.6.5 Siembra 59
4.6.6 Control de maleza 59
4.6.7 Fertilización 60
4.6.8 Podas de formación y sanitarias 60
4.6.9 Tutorado 61
4.6.10 Manejo fitosanitario 62
4.6.11 Cosecha 62

5 Resultados y discusión 64

5.1 Variables asociadas al clima 64

5.2 Variables asociadas a la Fisiología del Cultivo 69

5.3 Variables Asociadas a la Agronomía del Cultivo 78

5.4 Variables Asociadas a la Calidad del Fruto 83

6 Conclusión 89

7 Bibliografía 93

Lista de Figuras

Figura 1. Producción de Pimentón en toneladas por departamento (EVA - MADR, 2019).....19

Figura 2. Evolución del género Capsicum (Eshbaugh, 2012). 26

Figura 3. Morfología de la Planta de Pimentón **a.** Planta (tallo y ramificaciones) **b.** Forma de la hoja **c. d.** Flores **e.** Fruto **f.** Sistema radicular 28

Figura 4. Tipos de frutos de pimentón. **a.** Cuadrado **b.** Lamuyo **c.** Italiano (Carmona, 2015). ..29

Figura 5. Fenología de la Planta de Pimentón (Nuez *et al.* 1996).....34

Figura 6. Proceso de germinación del pimentón **a.** 7 días después de la siembra **b.** 18 días después de la siembra. 34

Figura 7. Crecimiento Vegetativo del Cultivo de Pimentón. **a.** Un (1) día después de la siembra **b.** Siete (7) días después de la siembra **c.** 40 días después de la siembra.....35

Figura 8. Floración en el Cultivo de Pimentón. **a.** Antesis, **b.** inicio del cuaje del fruto y, **c.** Frutos formados.....36

Figura 9. Demanda de la producción en toneladas de pimentón en los Mercados Internacionales (FAO, 2019).....40

Figura 10. Producción en toneladas de las principales Hortalizas Cultivadas en Colombia**.** Adaptada de (EVA - MADR, 2019).....41

Figura 11. Siembra de Pimentón a Campo Abierto 42

Figura 12. Siembra de Pimentones en Invernadero 43

Figura 13. Siembra de Pimentones en Casa Malla.....44

Figura 14. Siembra de Pimentones en Túneles. **a.** (Informaciones Agronómicas, 2016). **b.** (Everhart, 2010). **c.** (ULMA Agrícola, 2015). 45

Figura 15. Vista aérea del área experimental de la investigación. 46

Figura 16. Equipos utilizados para la captura de las Variables Climáticas. **a**. Dataloger para toma de temperatura y humedad relativa, se encuentran distribuidos en cada ambiente evaluado. **b**. estación meteorológica ubicada en cercanías al área de estudio. **c.** Barra cuántica para toma de datos de radiación fotosintéticamente activa. 50

Figura 17. Equipos usados y forma de medición de algunas de las variables asociadas a la fisiología. **a.b.** Potencial hídrico xilemático. **c.d.** Fotosíntesis, Traspiración y conductancia estomática. **e.** Clorofila. **f.** Peso seco de raíz. 53

Figura 18. Variables asociadas a la calidad del fruto de pimentón. **a.** Solidos solubles totales **b.** Firmeza **c. d. e.** Acidez titulable **f.** Ph. 56

Figura 19. Material Inicial de Siembra 57

Figura 20. Adecuación y Preparación del Suelo. **a.** Preparación de terreno con maquinaria agrícola en campo abierto **b.** Incorporación de abono orgánico **c.** Elaboración y adecuación de surcos 58

Figura 21. Cinta de Riego. **a. b.** Instalación de la cinta de riego utilizada en los diferentes ambientes de siembra. 58

Figura 22. Drenaje. a. Elaboración de canales de drenaje externos, b. Elaboración de canales de drenajes interno 59

Figura 23. Poda sanitaria de hojas y ramas bajeras 61

Figura 24. Sistema de tutorado implementado con estacas de guadua 61

Figura 25. Insectos plagas identificados en el cultivo de pimentón durante el ciclo de evaluación. 62

Figura 26. Frutos de la cosecha 3 del cultivar campero en cada uno de los ambientes evaluados. **a.** Invernadero, **b.** Casa malla, y **c.** Campo abierto. 63

Figura 27. Frutos de la cosecha 3 del cultivar Golazo en cada uno de los ambientes evaluados. **a.** Invernadero, **b.** Casa malla, y **c.** Campo abierto 63

Figura 28. Distribución promedio de la temperatura en los ambientes de producción, durante el ciclo de evaluación.....65

Figura 29. Distribución promedio de la humedad relativa en los ambientes de producción, durante el ciclo de evaluación. 66

Figura 30. Cinética de la radiación fotosintéticamente activa en los ambientes de producción, durante el ciclo de evaluación. 66

Figura 31. Cinética de la radiación fotosintéticamente activa durante el día, en los ambientes de producción para un ciclo de evaluación 67

Figura 32. Variables asociadas a la fisiología del cultivo que no mostraron interacción genotipo por ambiente.....75

Figura 33. Variables asociadas a la fisiología del cultivo que no mostraron interacción genotipo por ambiente. Porcentaje de materia seca aérea (MSA), Porcentaje de materia seca de raíz (MSR), Porcentaje de materia seca del fruto (MSF), peso seco aéreo (BSA), peso seco de raíz (BSR) y peso seco del fruto (BSF). 76

Figura 34. Número de días a floración y cosecha en dos cultivares de pimentón en tres ambientes de siembra. 77

Figura 35. Rendimientos de frutos de primera categoría (PC) y tercera categoría (TC) de los cultivares Golazo y Campero en los tres ambientes de siembra 80

Figura 36. Variables asociadas al rendimiento en cada ambiente de siembra.....81

Figura 37. *Variables asociadas a la calidad del fruto que no dieron diferencias estadísticamente significativas en la segunda cosecha* 86

Figura 38. Variables asociadas a la calidad del fruto que no dieron diferencias estadísticamente 87

Figura 39. Análisis de componentes principales de las variables asociadas al clima, fisiología de la planta, agronomía del cultivo y calidad del fruto. 89

Lista de Tablas

Tabla 1. Plagas de importancia económica en el cultivo de pimentón. 30

Tabla 2. Enfermedades de importancia económica en el cultivo de pimentón. 32

Tabla 3. Temperaturas críticas asociadas con las fases de desarrollo del cultivo de pimentón 37

Tabla 4. Características de las estructuras de agricultura protegida usadas en la investigación. 48

Tabla 5. Descripción de las variables climáticas, forma de medición y equipo utilizado en cada uno de los ambientes de producción. 49

Tabla 6. Variables Asociadas a la Fisiología del Cultivo, Forma de Medición y Equipo Utilizado 51

Tabla 7. Variables asociadas a la agronomía del cultivo, equipo usado y forma de medición ...54

Tabla 8. Variables asociadas a la calidad del fruto, equipo utilizado y forma de medición 55

Tabla 9. Relación de productos y dosis usada (Kg) en cada una de las fertilizaciones realizadas durante el ciclo de producción del cultivo 60

Tabla 10. Fotosíntesis neta de pimentón producto de la interacción de los genotipos por el ambiente 70

Tabla 11. Efecto del ambiente de producción sobre la transpiración, diferencial térmico y clorofila en el cultivo de pimentón**.** 72

Tabla 12. Efecto de la interacción genotipo por ambiente de producción en las variables asociadas a la agronomía del cultivo. 79

Tabla 13: Altura de planta mensual de los cultivares en los tres ambientes de siembra. 82

Tabla 14: Diámetro de tallo mensual de los cultivares en los tres ambientes de siembra. 82

Tabla 15: Efectos de los tratamientos sobre las variables peso y largo del fruto.....84

Resumen

El pimentón (*Capsicum annuum* L.) es una planta herbácea anual fundamental en la alimentación por sus aportes nutricionales. En Colombia se agrupa entre las 10 hortalizas de mayor importancia económica, cultivándose en mayor proporción los de tipo Lamuyo y cuadrado en los departamentos de Antioquia, Valle del Cauca y Santander. El objetivo de esta investigación fue evaluar el comportamiento ecofisiológico de los cultivares de pimentón 'Golazo' y 'Campero' en los ambientes de producción de campo abierto, casa malla e invernadero, en el Centro de Investigación Caribia - Agrosavia, Zona Bananera en el departamento del Magdalena. Se utilizó un diseño en parcelas divididas 3 x 2, correspondiente a los tres (3) sistemas productivos y dos (2) cultivares de pimentón. Se evaluaron variables asociadas al clima (temperatura, humedad relativa y radiación fotosintéticamente activa), a la fisiología (fotosíntesis, conductancia estomática, traspiración, diferencial térmico, potencial hídrico xilemático, clorofila, número de días a floración, número de días a madurez, peso seco y porcentajes de materia seca), agronomía del cultivo (altura de planta, grosor de tallo, número de frutos de primera categoría, peso de frutos de primera categoría, número de frutos de tercera categoría, peso de frutos de tercera categoría y rendimiento) y calidad del fruto (largo del fruto, ancho del fruto, peso del fruto, firmeza, solidos solubles totales, acidez titulable y pH). Hubo significancia en la interacción genotipo por ambiente en las variables fotosíntesis ($p<0,01$), número y peso de frutos de primera categoría ($p<0,01$), y numero de frutos de tercera categoría ($p<0,05$). El cultivar Golazo sobresalió en las variables analizadas, siendo rendimiento una de las más importantes. Casa malla mostró ser el ambiente de siembra con los mayores rendimientos de frutos comerciales (38,49 t/ha) y totales (54,22 t/ha). Invernadero por su parte presento rendimientos entre 29,78 a 34,6 t/ha y en campo abierto oscilo de 27,76 a 40,30 t/ha, pero muchos de sus frutos no eran de óptima calidad, siendo una gran desventaja para este ambiente de producción. Esta es la primera

investigación en el departamento del Magdalena en cultivares de pimentón bajo agricultura protegida, contribuyendo con el fortalecimiento de estrategias diseñadas para afrontar los nuevos retos a raíz de la problemática del cambio climático, con un enfoque competitivo y productivo para el sector hortícola del departamento.

PALABRAS CLAVES: *Capsicum annuum*, invernadero, fotosíntesis, fisiología.

.

Abstract

The sweet pepper (Capsicum annuum L.) is an annual herbaceous plant important for its nutritional contributions. In Colombia it is among the 10 most economically important vegetables, the Lamuyo and square types are cultivated in a greater proportion in the departments of Antioquia, Valle del Cauca and Santander. The objective of this research was to evaluate the ecophysiological behavior of the paprika cultivars 'Golazo' and 'Campero' in the production environments of open field, mesh house and greenhouse, at the Caribia - Agrosavia Research Center, Banana Zone in the department of the Magdalena. In the methodology, a 3 x 2 divided plot design was used, corresponding to the three (3) productive systems and two (2) paprika cultivars. Variables associated with climate (temperature, relative humidity and photosynthetically active radiation), physiology (photosynthesis, stomatal conductance, transpiration, thermal differential, xylematic water potential, chlorophyll, number of days to flowering, number of days to maturity, weight were evaluated. dry and percentages of dry matter), crop agronomy (plant height, stem thickness, number of first category fruits, weight of first category fruits, number of third category fruits, weight of third category fruits and yield) and fruit quality (fruit length, fruit width, fruit weight, firmness, total soluble solids, titratable acidity and pH). There was significance in the genotype by environment interaction in the variables photosynthesis ($p < 0.01$), number and weight of first category fruits ($p < 0.01$), and number of third category fruits ($p < 0.05$) . The results of the variables analyzed for the Golazo cultivar showed a better performance, having one of the most important yields. Mesh house was shown to be the sowing environment with the highest yields of commercial fruits (38.49 t / ha) and total (54.22 t / ha). Greenhouse presented yields between 29.78 to 34.6 t / ha and in open field it ranged from 27.76 to 40.30 t / ha, but many of its fruits were not of optimum quality, being a great disadvantage for this environment of production. This is the first investigation in the department of Magdalena in paprika cultivars in protected agriculture, which contributes to the strengthening of strategies designed to face the new

challenges due to the problem of climate change, with a competitive and productive approach for the horticultural sector.

Keywords: *Capsicum annuum*, greenhouse, photosynthesis, physiology

Introducción

El pimentón (*Capsicum annuum* L.) es una planta herbácea anual perteneciente a la familia Solanaceae (Casilimas *et al.* 2012). Es una de las hortalizas que más se cultiva bajo sistemas protegidos y es parte integral de la alimentación del ser humano, debido a que proporciona vitaminas, tales como provitamina A, vitamina B, vitamina C, y minerales como calcio, fósforo, potasio y hierro (Elizondo y Monge, 2017a y Maboko *et al*., 2012)

En Colombia el pimentón se agrupa entre las 10 hortalizas de mayor importancia. En el año 2019 registró un área de siembra de 3479,5 ha, con una producción de 93431,8 t, y un rendimiento promedio de 26,85 $t.ha^{-1}$ (EVA - MADR, 2019) Su producción está concentrada principalmente en el interior del país, en los departamentos de Antioquia (48766,3 t), Valle del Cauca (11461,8 t), Santander (10480,3 t), Cundinamarca (7155,7 t) y Norte de Santander (661,4 t) (Figura1).

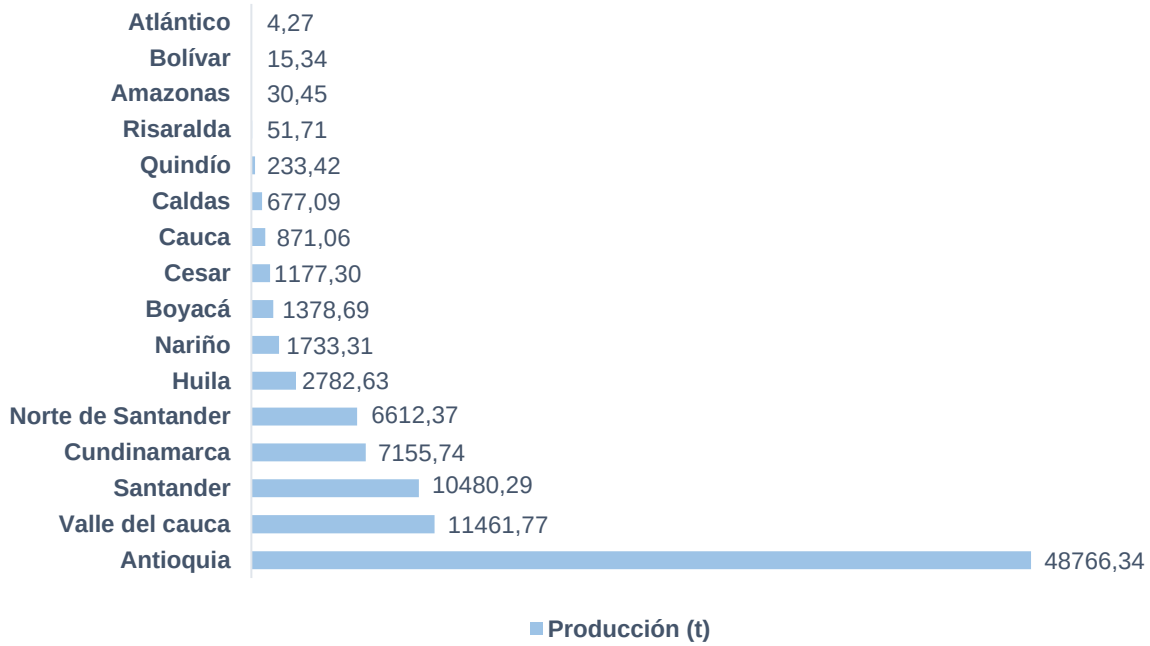


Figura 1. Producción de Pimentón en toneladas por departamento (EVA - MADR, 2019).

En la región Caribe Colombiana, la producción en el año 2019 fue de 1196,9 t con un rendimiento de 2,8 $t.ha^{-1}$, reportada en los departamentos de Cesar (1177,3 t), Bolívar (15,3 t) y Atlántico (4,3 t) (EVA - MADR, 2019) (Figura1); tanto la producción como el rendimiento de la región se ubican debajo del promedio nacional, por lo que es posible inferir que la mayoría de la fruta de pimentón que se consume en la región proviene del interior del país.

La producción de cultivos protegidos es de suma importancia para reducir la brecha en rendimiento y producción en el territorio Colombiano, debido a que se evidencian ventajas sobre la producción a campo abierto, tales como: crear una barrera entre el ambiente externo y el cultivo, un microclima que permite su protección de condiciones adversas (viento, granizo, plagas, etc.), y el control de factores como la temperatura, radiación, concentración de CO_2, humedad relativa y otras (Ocaña-Romo, 2008 y Juárez Maldonado, 2015). Adicionalmente, favorece la sostenibilidad mediante el uso eficiente del agua y la reducción en la incidencia de plagas, permitiendo la comercialización de productos de mejor calidad (Ramírez-Vargas y Nienhuis, 2012).

Según Shi *et al*., (2019), la agricultura protegida es una técnica moderna muy eficiente, la cual utiliza tecnologías de infraestructuras y materiales capaces de cambiar los factores climáticos como temperatura y crear ambientes propicios para el desarrollo de los cultivos. Dentro de los sistemas de agricultura protegida se destacan los invernaderos, los cuales permiten modificar las condiciones ambientales, en parámetros del clima cercanos a las magnitudes que favorecen el crecimiento de las plantas, de manera que el incremento de la producción se refleje en beneficio económico para el productor (Elizondo y Monge, 2017a).

El aumento de la población y la alta demanda de alimentos potencian a la agricultura protegida como una importante alternativa en dos vías: para la productividad de los cultivos y para la producción en cualquier época del año (Iddio *et al.* 2020). Teniendo en cuenta lo anterior, este

tipo de agricultura permite cambiar las prácticas de manejo convencional que afectan al medio ambiente, la salud y limitan la economía (Sánchez *et al*. 2011).

En el Magdalena no existen reportes acerca de siembras de cultivares de pimentón y producción bajo condiciones de agricultura protegida, por tal motivo la presente investigación pretende evaluar las variables ecofisiológicas responsables de los rendimientos en tres ambientes de siembra (campo abierto, casa malla e invernadero), esperando contribuir de manera satisfactoria a los nuevos retos que están surgiendo a raíz de la problemática del cambio climático, además de apoyar a la competitividad y productividad del sector hortícola.

1 Motivación y Justificación

La Región Caribe Colombiana, se caracteriza por ser de vocación agrícola en gran parte de su territorio, ocupando un área de 994482,2 ha (EVA - MADR, 2019), sin embargo, la siembra de hortalizas, específicamente para el cultivo de pimentón, es muy escasa (421,14 ha) (Figura1), debido a que cada año los cultivos hortícolas son afectados por una serie de factores bióticos (plagas y enfermedades) y abióticos (sequias, inundaciones, altas temperaturas, fotoinhibición, etc.) que amenazan su sostenibilidad. Estos factores negativos son cada vez más frecuentes como consecuencia de la variabilidad climática y el cambio climático. Otros factores de naturaleza socioeconómica como la globalización de los mercados, los cambios en las preferencias en los consumidores y la continua exigencia en calidad e inocuidad de los alimentos, se constituyen como los grandes desafíos para la agricultura del presente y el futuro (Aguilera *et al*. 2013; Jarma Orozco *et al*. 2012; Ortiz, 2012).

Teniendo en cuenta lo anterior, dentro de las tecnologías promisorias para abordar y solucionar holísticamente estas limitantes se destaca la agricultura protegida, la cual tiene muchos enfoques, pero la más implementada es el uso de infraestructuras capaces de aislar y modificar las condiciones ambientales que lo rodean. Esta alternativa es sostenible siempre que se obtenga una alta productividad que permita la comercialización de productos de calidad (Ramírez-Vargas y Nienhuis, 2012).

En Colombia el uso de invernaderos para la producción de hortalizas se ha incrementado durante los últimos años, pasando de 10 ha en el año 1996 (Cooman, 2002) a 4549,61 ha en el año 2020 (EVA - MADR, 2020), sin embargo, corresponden a registros en cultivos de tomate.

Teniendo en cuenta lo descrito anteriormente, esta propuesta tiene la intención de contribuir al mejoramiento de la competitividad del sistema hortícola del Pimentón en la Región Caribe a

través de innovaciones tecnológicas para su intensificación y diversificación sostenible de la producción bajo condiciones protegidas.

2 Objetivos

2.1 Objetivos General

El objetivo general de este proyecto fue:

- Evaluar el comportamiento ecofisiológico de los genotipos de pimentón ‘Golazo’ y ‘Campero’ en los ambientes de producción de campo abierto, casa malla e invernadero, en el Centro de Investigación Caribia - Agrosavia, Zona Bananera en el departamento del Magdalena, durante un ciclo de producción.

2.2 Objetivos Específicos

A continuación, se relacionan los objetivos específicos de este trabajo:

- Evaluar el comportamiento microclimático en tres sistemas productivos de pimentón.
- Evaluar la respuesta fisiológica de dos cultivares de pimentón en tres sistemas productivos.
- Evaluar la respuesta agronómica de dos cultivares de pimentón en tres sistemas productivos.
- Evaluar la respuesta en variables asociadas a la calidad del fruto en dos cultivares de pimentón en tres sistemas productivos.

3 Revisión de Literatura

El pimentón es la especie dulce más cultivada del género *Capsicum* y hace parte de la familia botánica de las solanáceas. Se consume en fresco o como una especia. Tiene un tallo frágil, verde y erecto; su altura varía de acuerdo con el ambiente cultivado, particularmente en función de la luminosidad: si es baja los entrenudos de los tallos se alargan resultando en mayor altura de la planta (Collantes Cevallos, 2015; Alemán Pérez *et al.* 2018). Esta especie es de interés por su elevado aporte de antioxidantes tales como vitamina C, carotenoides y componentes fenólicos (Loor Dominguez, 2020 y Collahuazo Ramos, 2017) y variedad de colores (Verdes, rojos, amarillos, anaranjados, etcétera).

3.1 Origen

Las investigaciones establecen su origen en el continente americano, probablemente en lo que hoy comprende la parte sur de Brasil y de Colombia (Corpoica, 2014). Otros autores refieren su origen botánico específicamente al área entre Perú y Bolivia, desde donde se propagó al resto de América Central y Meridional. Se extendió a otros países de Europa, Asia y África durante el siglo XVI, cuando fue descubierto por los españoles en el año 1493 (Casilimas *et al.* 2012).

3.2 Taxonomía

Botánicamente el pimentón pertenece al orden Solanales, siendo una planta herbácea autótrofa, de hojas alternas y espiraladas o subopuestas, sin estípulas y con margen entero o lobulado, de flores perfectas actinomorfas, solitarias, con cáliz y corola pentámeras, estambres usualmente en igual número que los pétalos, dispuestos en la base de la corola y alternando con los lóbulos de ésta. Dentro de este orden pertenece a la familia Solanaceae con una marcada susceptibilidad

al daño por heladas y por enfriamiento. En las flores los pétalos forman una corola tubular en la base. Los frutos son unas bayas huecas, semicartilaginosas y deprimidas (Corpoica, 2014).

A su vez, dentro de esa familia, hace parte del género Solanum, que tiene flores hermafroditas, actinomorfas formadas por cuatro ciclos de piezas de cinco miembros. El cáliz es acampanado. La corola es estrellada. Los estambres pueden ser iguales o desiguales, los filamentos son en general cortos e insertos en la base de la corola. El fruto es una baya seca, con muchas semillas chatas. Las semillas se hallan rodeadas de una sustancia mucilaginosa que impide la germinación. El ovario es bi-carpelar, con numerosos óvulos. (Corpoica, 2014). La ubicación taxonómica es:

Reino: Plantae
División: Magnoliophyta
Clase: Magnoliopsida
Subclase: Asteridae
Orden: Solanales
Familia: Solanaceae
Subfamilia: Solanoideae
Tribu: Capsiceae
Género: *Capsicum*
Especie: C. *annuum*

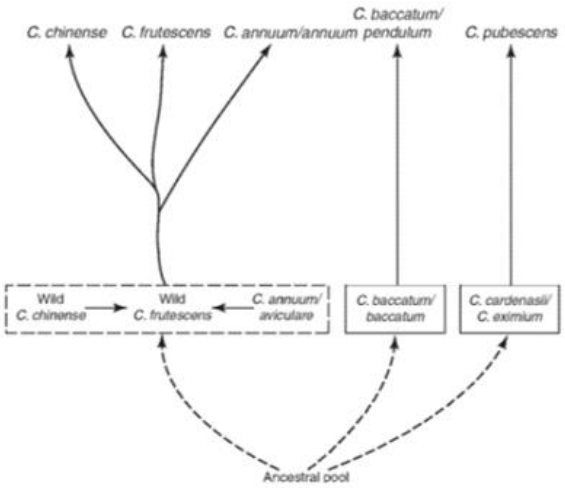


Figura 2. Evolución del género Capsicum (Eshbaugh, 2012).

3.3 Morfologia

Planta. Es una herbácea perenne, no obstante, su cultivo es de ciclo anual (Infoagro, 2020). Presenta crecimiento variable entre los 0.5 m, en condiciones a campo abierto en determinadas variedades, y más de 2 m en gran parte de los híbridos cultivados en condiciones protegidas, especialmente en invernaderos (Orellana Benavides *et al.* 2000) (Figura 3a).

Tallo. Según Sobrino Illescas y Sobrino Vesperinas (1992), la planta de pimentón presenta crecimiento determinado o limitado, erecto, frágil de epidermis brillante, con estrías marcadas longitudinalmente en algunas variedades. Posee ramificaciones de 1.5 cm de grosor, de consistencia tierna al principio, lignificándose conforme el desarrollo de la planta, pero no lo suficiente para mantenerla erguida siendo necesario el tutorado para evitar la ruptura de las ramas, ya que en condiciones óptimas de invernadero pueden crecer más de dos metros.

Todas las ramificaciones parten del tallo principal. La altura de la primera bifurcación coincide con 10-12 hojas verdaderas en la planta (20-25 días después del trasplante), se ramifica en 2-3 brazos, y éstos a su vez lo hacen en forma dicotómica, dependiendo de la variedad y tipo de crecimiento. En algunas variedades los brotes laterales emergen muy rápido, antes de la formación de la cruz, aproximadamente al mes del trasplante, conformándose una planta con un tallo principal y ramificaciones laterales de igual grosor; aunque este tipo de pimientos no son de interés desde el punto de vista productivo (Góngora, 2012) (Figura 3a).

Hoja. La hoja es entera, glabra y lanceolada, con un ápice muy pronunciado (acuminado) y un pecíolo largo y poco aparente. El haz es liso y suave al tacto y de color verde brillante que varía de intensidad con la variedad. La nervadura principal parte de la base de la hoja, proyectándose desde el pecíolo; las nervaduras secundarias son pronunciadas y llegan casi al borde de la hoja. Las hojas se insertan en el tallo de forma alternada y su tamaño varía según la variedad. Se presenta relación entre el tamaño de la hoja adulta y el peso medio del fruto (Corpoica, 2014) (Figura 3b).

Flores. Son pequeñas y tienen corola blanca, brotan insertadas en las axilas de las hojas. La polinización es autógama, aunque puede haber alogamia inferior al 10% (Corpoica, 2014) (Figura 3c y 3d).

Fruto. Es una baya hueca y semicartilaginosa. Presenta coloración verde, rojo, amarillo, naranja, violeta o blanco; incluso hay variación a través de la maduración, pasando de verde a amarillo,

anaranjado o rojo. El tamaño de fruto es voluble, puede alcanzar más de 500 g (Corpoica, 2014) (Figura 3e).

Sistema radicular. Acorde con la profundidad y textura del suelo, su raíz puede ser pivotante y profunda; presenta numerosas raíces adventicias que horizontalmente pueden alcanzar una longitud entre 50 cm y 1 m. (Infoagro, 2020) (Figura 3f).

Semilla. Se encuentra adherida a una placenta cónica en el centro del fruto; es de color blanco crema, forma aplanada, lisa, reniforme o redondeada, el diámetro oscila entre 2.5 y 5 mm. En ambientes cálidos y húmedos pierde rápidamente su viabilidad para la germinación sino se almacena adecuadamente (Corpoica, 2014)



Figura 3. Morfología de la Planta de Pimentón **a.** Planta (tallo y ramificaciones) **b.** Forma de la hoja **c. d.** Flores **e.** Fruto **f.** Sistema radicular

3.4 Tipos de Pimentón

Dependiendo de la forma del fruto los agrupan de distintas maneras, sin embargo, para Colombia Corpoica, (2014) en su modelo productivo de pimentón lo clasificó el pimentón de la siguiente manera:

Tipo cuadrado o blocoso (Blocky): los frutos tienen paredes rectangulares o cuadradas, ligeramente redondeadas, con una tasa de inserción peduncular profunda. Son de peso y calibre alto (>100 g/fruto), con numerosas semillas (100-180/fruto). Este tipo es el que predomina en el mercado internacional por su presentación y firmeza (Vallejo y Estrada, 2004) (Figura 4a).

Tipo lamuyo o tres puntas: corresponde con frutos de peso variado con tendencia cónica, pero que el extremo distal termina en tres puntas (Vallejo y Estrada, 2004). La característica principal es su sabor dulce, baja acidez, pericarpio grueso y turgente (permite pelarlo) (Corpoica, 2014) y su gran tamaño, pudiendo alcanzar pesos cercanos a los 300gr (Rodríguez Pérez, 2017) (Figura 4b).

Tipo dulce italiano: Según Nuez *et al*., (1996), los frutos tipo italiano son de forma alargada, estrechos, puntiagudos y de sección triangular. Presentan color verde brillante que cambia ligeramente a rojo al madurar, de superficie irregular con pericarpio fino, utilizados generalmente para freír. Tienen resistencia al transporte y son tolerantes al frio, con producciones de 6-7 kg / m^2. Estos frutos tienen un peso promedio de 75-125 g y una longitud de 15-25 cm (Figura 4c).



Figura 4. Tipos de frutos de pimentón. **a.** Cuadrado **b.** Lamuyo **c.** Italiano (Carmona, 2015).

3.5 Plagas

Las plagas reportadas como causantes de daño económico en el cultivo de pimentón, así como la descripción del daño y su manejo, se describen en el Tabla 1.

Tabla 1. Plagas de importancia económica en el cultivo de pimentón.

Plagas	Daños Causados	Manejo Preventivo y de Control
Áfidos o Pulgones *Aphisgossypii,* *Macrosiphumeu phorbiae, Myzuspersicae)*	❖ Daños directos causados al introducir el estilete en los tejidos para alimentarse. ❖ Absorben la savia de la planta produciendo un debilitamiento generalizado, reducción del crecimiento y amarilleamiento de la planta. ❖ *Aulacorthum solani* inyecta en la planta junto a la savia una toxina que provoca deformaciones y decoloraciones en las hojas nuevas (syngenta, 2021)	❖ Utilización de trampas cromáticas amarillas (de monitoreo y control) ❖ Hacer monitoreo de las malezas existentes alrededor del cultivo en especial las gramíneas, diente de león, correhuela (syngenta, 2021)
Minador de Hojas (Liriomyzatrifolii (Burgess)	❖ Producen picaduras en las hojas ❖ Las larvas, al alimentarse del parénquima foliar, realizan galerías que posteriormente se necrosan ❖ Reducción en la capacidad fotosintética de la planta (hortoinfo, s.f.)	❖ Eliminar las malas hierbas y restos de cultivos, ya que pueden actuar como reservorio de la plaga ❖ Utilizar material vegetal sano procedente de viveros o semilleros autorizados. El Pasaporte Fitosanitario debe conservarse durante un año ❖ Usar trampas cromotrópicas adhesivas amarillas desde el inicio del cultivo ❖ No asociar cultivos en la misma parcela Realizar rotaciones de cultivos (hortoinfo, s.f.)
Mosca blanca o palomilla *(Trialeurodes vaporariorum,* *Bemisia tabaci)*	❖ Clorosis o amarillamiento de las hojas al ser chupada la savia por las ninfas y la mosca en estado adulto	❖ Buen manejo de malezas dentro y en los alrededores Control biológico realizando paralelo, como la mejor

Plagas	Daños Causados	Manejo Preventivo y de Control
	❖ Formación del hongo fumagina (*Cladosporium sp*) sobre los líquidos azucarados depositados por el insecto en sus estados inmaduros y adulto. ❖ Transmisión de virus afectando los rendimientos del cultivo del pimentón (Corpoica, 2014)	alternativa, aplicando parasitoides, como *Encarsia Formosa, Amitus fuscipennis y Eretmocerus mundus*; depredadores, como *Chrysoperla carnea*, y entomopatógenos, como *Beauveria bassiana*. (Corpoica, 2014)
Araña blanca (Polyphagotar Sonemuslatus)	❖ Al introducir el estilete en los tejidos, extraen los jugos celulares y los órganos afectados sufren deformaciones. Las hojas se abomban y presentan nervios salientes de aspecto filiforme. Al principio del ataque presenta una coloración verde oscuro (hortoinfo, s.f.)	❖ Realizar eliminación de arvenses, la aspersión de insecticidas se debe realizar siguiendo el plan de manejo integrado.
Spodoptera sp. (Lepidoptera: Noctuidae)	Las larvas son fitófagas, se alimentan de hojas, flores o frutos de sus plantas hospederas, causando: ❖ Pérdida de follaje ❖ Perforación de frutos Disminución de la calidad del fruto	❖ Buen manejo de malezas dentro y en los alrededores de la plantación. ❖ Aplicación de productos biológicos ❖ Liberación de enemigos naturales ❖ aplicación de insecticidas, entre otros (ICA, 2003).
Naupactus sp. (Coleoptera: Curculionidae)	Las especies de este género pueden causar daño a las plantas en sus estados inmaduros y cómo adultos. Las larvas se desarrollan en el suelo alimentándose de raíces, por su parte los adultos se alimentan del follaje de sus plantas hospederas	❖ Para el manejo de larvas se hacen aplicaciones de entomopatógenos al suelo. Los adultos son manejados con el uso de insecticidas o bandas toxicas (Ripa, 1886; Ripa & Rodríguez, 1989; Ripa, 1992).

3.6 Enfermedades del cultivo de pimentón

Las enfermedades reportadas como causantes de daño económico en el cultivo de pimentón, así como la descripción del daño y su manejo, se describen en el Tabla 2:

Tabla 2. Enfermedades de importancia económica en el cultivo de pimentón.

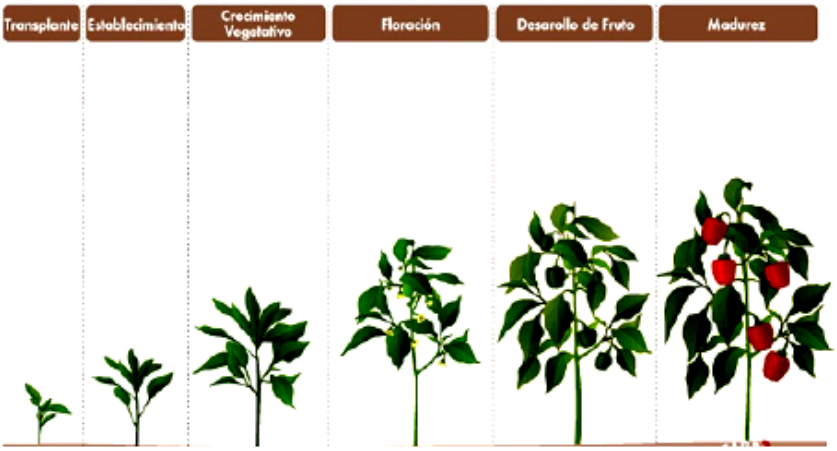
Enfermedad	Daños Causados	Manejo Preventivo y de Control
Antracnosis	❖ Manchas de color pardo oscuro sobre los tallos y las hojas ❖ Lesiones cóncavas limitadas por bordes rojizos y una masa gelatinosa de color rojizo a salmón ❖ El hongo se trasmite por semillas infectadas, agua de lluvia, suelo y plantas infectadas (DANE, 2015)	❖ Uso de semilla certificada ❖ Buen control de malezas ❖ Reducción de las densidades de siembra para favorecer una buena ventilación ❖ Rotación de cultivos ❖ Manejo químico, rotando ingredientes activos y modos de acción para evitar que el patógeno se vuelva resistente al ingrediente y cumpliendo los periodos de carencia (DANE, 2015)
***Botrytis* o Moho Gris**	❖ Manchas de color marrón sobre las que luego se forma una capa de moho de color gris que cubre los tejidos afectados ❖ El hongo ataca plántulas, raíces, flores, brotes y frutos, en los que causa una pudrición incluso durante el envío y el almacenamiento de la fruta. (DANE, 2015)	❖ Uso de semilla certificada ❖ Evitar la siembra en suelos arcillosos y la fertilización excesiva ❖ Eliminar las plantas infectadas y muertas y los residuos de cosecha ❖ Regular el uso del riego, controlar la humedad mediante la construcción de canales y zanjas de drenaje, manejar densidades de siembra que favorezcan la aireación del cultivo (DANE, 2015)
Gota o Tizón Tardío *(Phytophthora infestans)*	❖ Causa daños en las hojas, los peciolos, los frutos y los tallos. Las lesiones en las hojas inician con una mancha que rápidamente invade la hoja y toma coloración café; en los frutos comienza con manchas grasosas, oscuras y oliváceas que crecen	❖ Realizar monitoreos periódicos para su detección temprana ❖ Reducir la humedad del ambiente en el invernadero bajando las cortinas en la mañana y subiéndolas en la noche ❖ Eliminar alrededor del cultivo de pimentón plantas o

Enfermedad	Daños Causados	Manejo Preventivo y de Control
	hasta cubrir todo el fruto. (DANE, 2015)	cultivos hospederos de la enfermedad ❖ Adelantar podas sanitarias combinándolas con aplicaciones de fungicidas y eliminar los residuos (DANE, 2015)
Mancha Bacteriana *(Xanthomonas campestris* pv. vesicatoria)	❖ Manchas irregulares que pasan de color amarillo a negro o marrón oscuro, para luego producir la necrosis del tejido infectado ❖ En los frutos el ataque comienza con una macha acuosa amarillenta que luego toma un color gris oscuro (Corpoica, 2014)	❖ Rotación de cultivos ❖ Uso de semilla certificada ❖ Control adecuado de malezas ❖ Aplicando bactericidas a base de yodo como agrodyne (DANE, 2015) ❖ Uso de productos a base de cobre

3.7 Fenología del pimentón

El pimentón es una las hortalizas más comercializadas en los mercados. La siembra se puede hacer en campo abierto o en estructuras de agricultura protegida, con un ciclo de cultivo anual.

Las etapas de desarrollo de cultivos comerciales de pimentón se dividen en trasplante, establecimiento, crecimiento vegetativo, floración, desarrollo de fruto y madurez (Figura 5). Las variedades presentan tamaño y porte variable, entre los 0.5 m hasta los 2 m.



Fases	Fase Vegetativa	Fase Reproductiva	Fase Maduracion
Dias	10 - 45	46 - 109	110 - 180

Figura 5. Fenología de la Planta de Pimentón

3.7.1 Germinación y emergencia.

Según Orellana Benavides *et al*., (2000) el período de preemergencia varía entre 8 y 12 días, y se acelera en la medida que aumenta la temperatura. En esta etapa se presenta la tasa máxima de mortalidad de plántulas y los daños que ocurren tienen consecuencias letales (Figura 6).



Figura 6. Proceso de germinación del pimentón **a.** 7 días después de la siembra **b.** 18 días después de la siembra.

3.7.2 Crecimiento de la plántula.

Inicia con la brotación de los primordios o cotiledones, luego se desarrollan las primeras hojas verdaderas, que son alternas y más pequeñas que las hojas de una planta adulta. Continúa un crecimiento lento de la parte aérea, y del sistema radicular, es decir, crecimiento longitudinal de la raíz pivotante y emergencia de las raíces secundarias laterales. La tolerancia de la planta a los daños empieza a aumentarse, pero todavía se considera que es muy susceptible (Orellana Benavides et al., (2000).

3.7.3 Crecimiento vegetativo rápido.

En esta fase de crecimiento, la tolerancia de la planta se incrementa proporcionalmente siempre que no haya otros factores limitantes. La pérdida de follaje se compensa de forma rápida (CATIE, 1993).

A partir de la producción de la sexta a la octava hoja, la tasa de crecimiento del sistema radicular se reduce gradualmente; en contraste la del follaje y de los tallos se incrementa. Las hojas alcanzan el tamaño máximo, el tallo principal se bifurca y se ramifica con frecuencia (Orellana Benavides *et al.,* (2000) (Figura 7).



Figura 7. Crecimiento Vegetativo del Cultivo de Pimentón. **a.** Un (1) día después de la siembra **b.** Siete (7) días después de la siembra **c.** 40 días después de la siembra

3.7.4 Floración y fructificación.

El desarrollo reproductivo en pimentón se caracteriza por la brotación abundante de flores terminales, que da lugar a la fase de antesis y polinización, seguida del amarre y crecimiento de los primeros frutos, los cuales finalizan su desarrollo en la planta al alcanzar la madurez fisiológica (Figura 8). De forma alterna inician nuevas brotaciones vegetativas y reproductivas, constituyéndose nuevos ciclos de producción de frutos que se traslapan con ciclos de floración y crecimiento vegetativo (Orellana Benavides et al., (2000).

El mayor número y tamaño de fruto se obtienen durante el primer ciclo de fructificación. Los ciclos posteriores tienden a producir progresivamente menos frutos o frutos de menor tamaño, como resultado del deterioro y perdida del vigor de la planta. Esta etapa es muy susceptible a plagas y enfermedades pues estos afectan al producto a cosechar (Orellana Benavides *et al.,* (2000).



Figura 8. Floración en el Cultivo de Pimentón. **a.** Antesis, **b.** inicio del cuaje del fruto y, **c.** Frutos formados.

3.8 Factores que determinan la adaptación del cultivo de pimentón

El correcto manejo de los factores climáticos, tales como: temperatura diurna y nocturna, humedad relativa y radiación luminosa son aspectos fundamentales para el adecuado desarrollo fenológico del pimentón (Berríos Ugarte et al. 2007). Adicionalmente se debe conocer sus valores óptimos, críticos y sus interacciones; con base en ello, a continuación, se realiza la descripción de cada factor que potencia la productividad del cultivo.

3.8.1 Temperatura.

La temperatura ideal para el pimentón oscila entre 18 y 28 °C (Tabla 3). Por esta razón la mayoría de los cultivos al aire libre se producen en climas templados, entre los paralelos 30° y 40° en los hemisferios Norte y Sur (Berríos Ugarte *et al.* 2007).

Tabla 3. Temperaturas críticas asociadas con las fases de desarrollo del cultivo de pimentón

Fases del Cultivo	TEMPERATURA (ºC)		
	ÓPTIMA	MÍNIMA	MÁXIMA
Germinación	20-25	13	40
Crecimiento Vegetativo	20-25 (día) 16-18 (noche)	15	32
Floración y Fructificación	26-28 (día) 18-20 (noche)	18	35

Las temperaturas óptimas para la germinación y crecimiento vegetativo son similares. No obstante, durante la floración y la fructificación influye la interacción compleja entre las temperaturas diurna y nocturna y el nivel de luz. Se considera que las temperaturas altas son las

más dañinas al cultivo, ya que provocan aborto de botones florales y flores, sin embargo, las bajas temperaturas durante la noche pueden compensar parcialmente las altas temperaturas del día, y los altos niveles de luz durante el día, lo que permite que la planta se adapte a las mayores temperaturas (CATIE, 1993). Las temperaturas nocturnas mayores a 30 °C pueden causar el aborto de todas las flores y botones florales (CATIE, 1993 y Berríos Ugarte *et al*. 2007).

La coincidencia de bajas temperaturas durante el desarrollo del botón floral da lugar a la formación de flores con alguna de las siguientes anomalías: pétalos curvados y sin desarrollar, formación de múltiples ovarios que pueden evolucionar a frutos distribuidos alrededor del principal, acortamiento de estambres y de pistilo, engrosamiento de ovario y pistilo, fusión de anteras, entre otros. Las bajas temperaturas también inducen la formación de frutos de menor tamaño, que pueden presentar deformaciones, reducen la viabilidad del polen y favorecen la formación de frutos partenocárpicos (Berríos Ugarte *et al.* 2007)

Las temperaturas sobre 32 °C en combinación con baja humedad relativa provocan aborto floral, mientras que la viabilidad del polen será fuertemente reducida debido a la falta de humedad. Estas temperaturas cuando ocurren 15 días antes de la antesis son positivamente correlacionadas con el porcentaje de polen fértil. La polinización aumentará cuando la temperatura diaria baje de 20 °C, siendo ésta la temperatura óptima para el llenado del fruto. Las razones fisiológicas que pueden explicar el bajo llenado de los frutos en condiciones de altas temperaturas pueden ser debida a tasas altas de transpiración en la planta o en una insuficiente translocación de azúcar (Berríos Ugarte *et al.* 2007).

3.8.2 Humedad relativa.

Para el óptimo desarrollo del cultivo de pimentón, la humedad relativa debe oscilar entre el 50 % y el 70 %. Humedades relativas muy elevadas favorecen el desarrollo de enfermedades aéreas causadas por hongos y dificultan la fecundación; la coincidencia de altas temperaturas y baja

humedad relativa puede ocasionar la caída de flores y de frutos recién formados. El exceso de humedad se puede reducir mediante ventilación, aumento de la temperatura, regulación del riego y construcción de zanjas de drenaje. La falta de humedad se puede corregir con riegos, disposición de recipientes con agua y pulverizando agua en el ambiente. En el caso de cultivos bajo invernadero, las ventanas de ventilación cenital con longitud superior a 40 centímetros son muy recomendadas, tanto para el control de la temperatura como de la humedad relativa (Corpoica, 2014 y Dane, 2015).

3.8.3 Radiación.

La planta de pimentón es muy exigente en luminosidad, particularmente en los estados de pleno desarrollo del fruto; sin embargo, la exposición a radiación demasiado alta durante la etapa de madurez puede producir partiduras de fruta, golpes de sol y coloración irregular. El Golpe de Sol o “Sun calds” es bastante común particularmente en variedades más susceptibles, en las cuales ocurre una mancha por desecación del fruto como consecuencia de una exposición directa. En contraste, el sombreamiento debido a exceso de follaje puede provocar caída floral y, por ende, afectar negativamente el rendimiento. (Pino *et al.,* 2018).

3.8.4 Suelo.

Los suelos más adecuados para el cultivo del pimiento son los franco-arenosos, profundos, con contenido en materia orgánica del 3-4% y principalmente bien drenados. Los valores de pH óptimos oscilan entre 6.5 y 7, aunque puede tolerar condiciones de acidez hasta un pH de 5.5; en suelos arenosos puede cultivarse con valores de pH próximos a 8. En cuanto al agua de riego el pH óptimo es de 5.5 a 7. Es una especie de moderada tolerancia a la salinidad tanto del suelo como del agua de riego. En suelos con antecedentes de *Phytophthora sp*. es conveniente realizar una desinfección previa a la plantación. (Infoagro, 2020)

3.9 Importancia del pimentón

El pimentón se cultiva en más de 40 países (Hulse-Kemp *et al*., 2016), dentro del grupo de hortalizas ocupa el segundo puesto en consumo debido a su aporte en antioxidantes, vitaminas (A, B y C), minerales, fibra, carotenoides y componentes fenólicos (Collahuazo Ramos, 2017; García *et al*., 2019 y Corpoica, 2014).

El pimentón es una de las hortalizas que empieza a tener gran demanda en los mercados internacionales como el de los Estados Unidos, en el cual para el año 2019 ingresaron más de 1 millón de toneladas de fruto, como se evidencia en el Figura 9. Es un cultivo que se adapta bien en climas templados y cálidos. Es más rústico que otras hortalizas ya que tolera temperaturas más bajas, épocas de sequía y alta nubosidad (eltiempo, s.f.).

Según las EVA - MADR (2019) el cultivo de pimentón en Colombia tiene gran importancia, ubicándola entre las 10 hortalizas que más se producen en el país (Figura 10), siendo el tomate el de mayor producción con 782,400.16 t (campo abierto e invernadero), seguida de la cebolla de bulbo y la zanahoria; el pimentón ocupa el octavo puesto con una producción de 93,431.78 t.

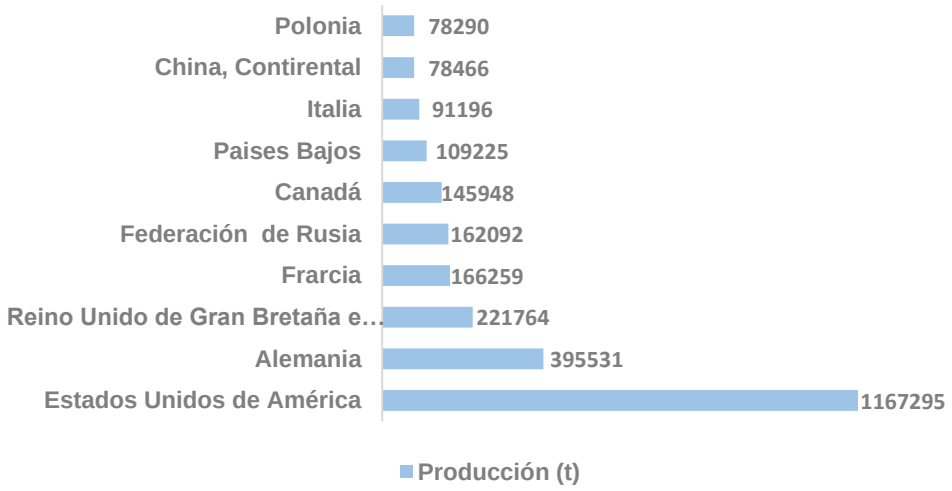


Figura 9. Demanda de la producción en toneladas de pimentón en los Mercados Internacionales (FAO, 2019)

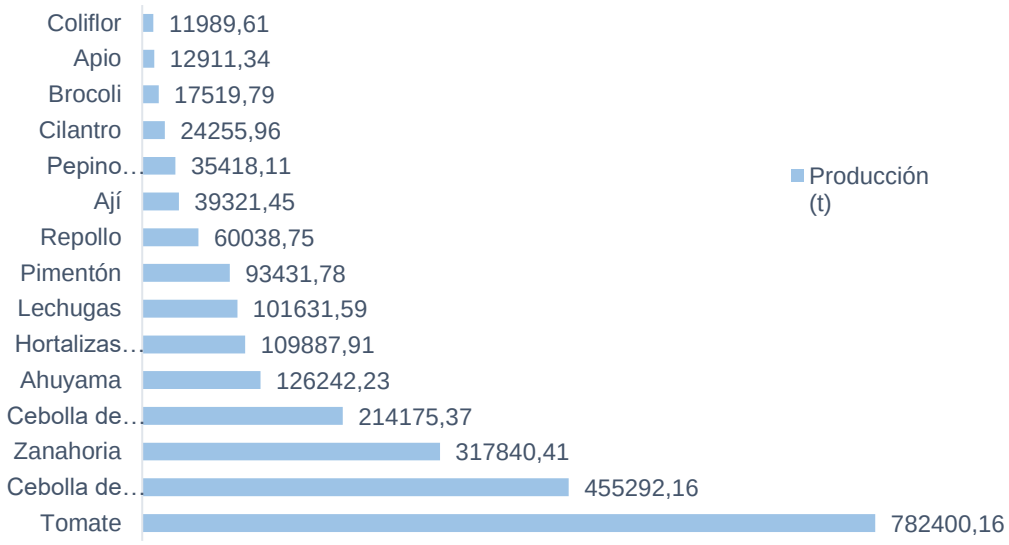


Figura 10. Producción en toneladas de las principales Hortalizas Cultivadas en Colombia**.** Adaptada de (EVA - MADR, 2019)

3.10 Tipos de ambiente de siembra

Se destacan dos tipos de ambiente, a campo abierto y bajo estructura protegida, esta última hace referencia a cualquier tipo de infraestructura o material que permita la modificación de las variables asociadas a la eco fisiología de los cultivos.

3.10.1 Campo abierto.

Son sistemas de cultivo establecidos al aire libre en pequeñas o grandes extensiones, los cuales no tienen algún tipo de protección física que impida el contacto directo de la planta con el ambiente que lo rodea, como por ejemplo radiación solar, lluvias, temperaturas, insectos, entre otros (Figura 11).



Figura 11. Siembra de Pimentón a Campo Abierto

3.10.2 Estructuras protegidas.

Santos *et al.,* (2010), comenta que los sistemas de agricultura protegida son construcciones altas, herméticamente cerradas con materiales transparentes, diseñadas para cultivar o proteger temporalmente las plantas. La parte superior puede constituirse de plástico, vidrio, fibra de vidrio, o láminas corrugadas de policarbonato, algunas con aberturas para una ventilación pasiva. A su vez, las paredes frontales y laterales pueden ser cubiertas con los materiales antes descritos o por mallas anti-insectos.

La agricultura protegida (AP) favorece la sostenibilidad mediante el uso más eficiente del agua y la reducción en la incidencia de plagas; esta alternativa es factible siempre que se obtenga una alta productividad que permita la comercialización de productos de calidad (Ramírez-Vargas y Nienhuis, 2012).

Invernadero*.* Los invernaderos difieren de las demás protecciones en que son de mayor solidez y suficientemente altos (4 m) y anchos para permitir el cultivo de especies de altura diversa, incluso árboles frutales (Santos *et al.* 2010).

Según varios autores citados por Elizondo y Monge, (2017a) la producción de hortalizas en invernadero satisface los compromisos de muchos mercados, haciendo uso de tecnologías que facilitan enfrentar los rigores del cambio climático y sus efectos; gran cantidad de variables

ambientales (temperatura, humedad relativa, lluvia, luminosidad) y agronómicas (medio de cultivo, fertilizantes, riego, tutorado, podas, uso de sustratos, plagas y enfermedades) pueden controlarse con mayor certeza.

La producción de cultivos en invernaderos es de suma importancia ya que nos da una ventaja sobre la producción a campo abierto, debido a que se establece una barrera entre el ambiente externo y el cultivo, creando un microclima interno que permite proteger el cultivo de condiciones adversas (viento, granizo, plagas, etc.) y controlar factores como la temperatura, radiación, concentración de CO2, humedad relativa, etc. En países como México, el uso de invernaderos para la producción de hortalizas ha aumentado rápidamente, de 721 ha en 1999 a 3,200 ha en 2005 (Ocaña-Romo, 2008 y Juárez Maldonado, 2015) (Figura 12).



Figura 12. Siembra de Pimentones en Invernadero

Casa sombra/malla. Según Juárez Lopez *et al.,* (2011) la casa sombra y la malla sombra son dos elementos que se emplean para disminuir la cantidad de energía radiante que llega a los cultivos. Las mallas no sólo se utilizan como elemento de sombreo, sino que se emplean en las ventanas de los invernaderos con el objetivo de impedir la entrada de insectos y reducir el uso de pesticidas. Las mallas empleadas para cubrir completamente estructuras de invernaderos o estructuras tipo cobertizos, conocidas comercialmente como casas sombra, consisten en una tela tejida de plásticos con entramados de Tablas de diferentes tamaños que sirve como cubierta protectora que regula la cantidad de luz que llega a las plantas y proteger los efectos del granizo,

insectos, aves y roedores. Mediante el empleo de mallas se puede reducir del 10 al 95% del total de la radiación solar. La cantidad de luz que se deja pasar al interior depende de la especie que se decida cultivar (Figura 13). Con las mallas no se evita el paso del agua de lluvia, además son permeables al viento. Generalmente las estructuras sobre las que se colocan las mallas sombra son metálicas, pero también pueden ser construidas con madera.



Figura 13. Siembra de Pimentones en Casa Malla

Túneles. Son estructuras que no tienen las características apropiadas en ancho y altura al canal para ser consideradas invernaderos, pero permiten que las labores se realicen en el interior. Tienen de 4 a 5 m de acho y 2 a 3 m de altura en la parte más elevada, con longitudes variables. Para facilitar su manejo se recomienda no sean mayores a 60 m. Este tipo de estructuras son ideales para semilleros o almácigos de especies hortícolas y ornamentales, como abrigo en la propagación vegetativa de especies de interés comercial y para la producción de hortalizas y plantas ornamentales. Tienen como ventaja su fácil construcción y como principal desventaja, con respecto a los invernaderos es que retienen menos calor en la noche, debido a su poco volumen. Otra desventaja es su elevada temperatura durante el día por carecer de ventilación natural (Juárez Lopez *et al.,* 2011) (Figura14).



Figura 14. Siembra de Pimentones en Túneles. **a.** (Informaciones Agronómicas, 2016). **b.** (Everhart, 2010). **c.** (ULMA Agrícola, 2015).

4 Metodología

4.1 Área de Estudio

La investigación se llevó a cabo en un lote experimental del Centro de Investigación (CI) Caribia de Agrosavia, localizado en el corregimiento de Sevilla, municipio Zona Bananera en el departamento del Magdalena (Colombia) durante el periodo de agosto a diciembre del 2020.

El CI Caribia (Figura 15) se encuentra localizado según coordenadas geográficas a 10° 47' latitud norte y 74° 10' longitud oeste; 18 m.s.n.m., temperatura media anual de 28°C, humedad relativa del 82% y precipitación media anual de 1.280 mm, lo que lo ubica en la zona de vida de Bosque seco Tropical (Bs-T) de acuerdo con la clasificación climática de Holdridge (1967).



Figura 15. Vista aérea del área experimental de la investigación.

4.2 Material Vegetal

Los cultivares de pimentón ‘Golazo’ y ‘Campero’, provenientes de la casa comercial *Impulsores Internacionales S.A.S,* se establecieron en los sistemas productivos de casa malla, invernadero

y campo abierto. Estos cultivares se caracterizan por su productividad y resistencia a enfermedades de importancia económica

4.2.1 Golazo

Es una planta compacta de crecimiento vigoroso con hojas verdes violáceas enteras, peciolo largo y de buena cobertura para los frutos, los cuales son de tipo lamuyo con tamaños uniformes que oscilan entre 8-10cm a 13-15cm de color rojo a verde. Reporta rendimientos entre 85 y 90 t/ha y buena postcosecha, presenta resistencias a: virus del mosaico amarillo del pimentón (pep YMV), virus Y de la papa (PVY) raza 0, 1, 1-2, virus del moteado del pimiento (PepMoV), y virus del mosaico del tomate (TMoV). (Impulsemillas, 2021(a))

4.2.2 Campero

Es una planta fuerte y vigorosa, los frutos se caracterizan por ser de tipo lamuyo verde/rojo, con buen tamaño en su etapa de madurez que varían entre 8-10 cm a 13-15 cm y pesos, entre 220 y 250 g. Es un material precoz, con excelente uniformidad con relación al tamaño y forma de frutos, alta vida post cosecha y resistencia a virus tales como: virus del mosaico amarillo del pimentón (pep YMV), virus Y de la papa (PVY) raza 0, 1, 1-2, virus del moteado del pimiento (PepMoV), *Xanthomonas campestris pv. Vesicatoria* raza 1, 2, 3 (Xcv:1,2,3), entre otros. (Impulsemillas, 2021(b))

4.3 Diseño Experimental

La investigación se realizó bajo un diseño en parcelas divididas 3 x 2, correspondiente a tres (3) sistemas productivos: campo abierto, casa malla e invernadero, y dos (2) cultivares de pimentón: ‘Golazo’ y ‘Campero’, con tres repeticiones.

La unidad experimental estuvo representada por 18 plantas, sembradas en tres surcos de 2,4 m cada uno con una densidad de siembra de 0,4 m entre plantas y 1 m entre surco.

Las estructuras de agricultura protegida utilizadas fueron diseñadas para las condiciones de clima local a partir del uso de herramientas de dinámica de fluidos computacional (CFD). Metodología que ha sido ampliamente utilizada para desarrollar el estudio de la ventilación natural en edificios agrícolas Bournet y Boulard. (2010). La descripción de las principales características arquitectónicas de las dos estructuras de agricultura protegida evaluadas en este trabajo de investigación se resume en la Tabla 4.

Tabla 4. Características de las estructuras de agricultura protegida usadas en la investigación**.**

Tipo de estructura	Descripción general.	Prototipo real.
Invernadero	Área cubierta: 500 m^2. Forma de la cubierta: Plana con alturas asimétricas. Tipo de material de la cubierta: polietileno y pantalla térmica con nivel de sombreamiento del 30%. Área de ventilación: 315 m^2. Ancho: 25,0 m. Largo: 20,0 m. Altura mínima: 2,5 m. Altura máxima: 8,5 m. Configuración de ventilación: Lateral, frontal y cenital. Tipo de malla anti-insectos utilizada: 40 mesh (16,1 hilos cm^{-1}× 10,1 hilos cm^{-1}).	
Casa malla	Área cubierta: 740 m^2. Forma de la cubierta: Techo plano en los costados y tipo capilla en la zona central, con alturas diferenciadas. Tipo del material de cubierta y de las fachadas y paredes laterales: malla anti-insectos de 40 mesh (16,1 hilos cm^{-1}× 10,1 hilos cm^{-1}). Ancho: 37,0 m. Largo: 20,0 m. Altura mínima: 3,0 m. Altura máxima: 8,0 m.	

4.4 Análisis Estadístico

Para las variables asociadas al clima y a la fenología del cultivo, se realizó análisis descriptivo de los datos y para las variables ecofisiológicas se realizó un ANAVAR previo al cumplimento de los supuestos del análisis de la varianza. Las variables que mostraron diferencias significativas se sometieron a una prueba de media de Tukey (α=0,05) con el paquete estadístico InfoStat versión 2020 y las interacciones que no dieron significancia estadística y en las variables que no cumplen con los supuestos de los análisis de varianza se realizó un heatmap con el program R studio.

4.5 Variables evaluadas

Para llevar a cabo la investigación, se tuvieron en cuenta cuatro (4) tipos de variables asociadas al clima, fisiología de la planta, agronomía del cultivo y calidad del fruto.

4.5.1 Variables climáticas

Las variables climáticas seleccionadas fueron temperatura, humedad relativa y radiación fotosintéticamente activa (Tabla 5).

Tabla 5. Descripción de las variables climáticas, forma de medición y equipo utilizado en cada uno de los ambientes de producción.

Variables	Equipo	Forma de Medición
Temperatura (°C) Humedad relativa (%)	Estación meteorológica y sensores (Datalogger)	En cada estructura se instalaron cuatro datalogger, los cuales registraron diario temperatura (°C) y humedad relativa (%) (Figura 16ab).

Radiación Fotosintéticamente Activa (PAR)	Barra cuántica MQ-306: Line Quantum with 6 Sensors and Handheld Meter	Las mediciones se realizaron de lunes a viernes en tres horas del día: 8:00, 12:00 y 15:00, en tres puntos de cada estructura (Figura 16c).



Figura 16. Equipos utilizados para la captura de las Variables Climáticas. **a**. Dataloger para toma de temperatura y humedad relativa, se encuentran distribuidos en cada ambiente evaluado. **b**. estación meteorológica ubicada en cercanías al área de estudio. **c.** Barra cuántica para toma de datos de radiación fotosintéticamente activa.

4.5.2 Variables fisiológicas

Se seleccionaron diez (10) parámetros fisiológicos entre ellos, fotosíntesis, conductancia estomática, transpiración, potencial hídrico xilemático, diferencial térmico, clorofila, número de días a floración, número de días a madurez, peso y porcentaje de materia seca. Los datos asociados con la materia seca se registraron al finalizar el ciclo de evaluación, mientras que el resto se tomaron a los 30 días después del trasplante (ddt) en tres plantas por unidad experimental de cada ambiente de siembra en el periodo de 10:00 a 13:00 para garantizar homogeneidad y calidad en la toma de los datos (Tabla 6).

Tabla 6. Variables Asociadas a la Fisiología del Cultivo, Forma de Medición y Equipo Utilizado

Variable/Unidades	Equipo	Forma de Medición
Fotosíntesis Pn ($\mu mol\ CO_2 \cdot m^2 \cdot s^1$) Conductancia Estomática C ($mmol\ CO_2 \cdot m^2 \cdot s^1$) Transpiración E ($mmol\ H_2O \cdot m^2 \cdot s^1$)	Analizador Infrarrojo de Gases LI-COR 6400.	Las mediciones se realizaron en la quinta hoja totalmente expandida de la planta, en sentido ápice base (Figura 17c 17d).
Potencial Hídrico Xilemático PHX (MPa)	Bomba Scholander PMS Instrument co o cámara de presión. (Scholander *et al*. 1965).	Las mediciones se realizaron en la quinta hoja totalmente expandida de la planta, en sentido ápice base. La hoja seleccionada fue cubierta con una bolsa de papel de aluminio durante 30 min previo a la medición, para luego ser llevada al equipo (Naor, 1999), (Figura 17a 17b).
Grado de Verdor CLORF (SPAD)	Medidor de clorofila SPAD 502 Konica Minolta	Las mediciones se realizaron en la quinta hoja totalmente expandida de la planta en sentido ápice base (Figura 17e).
Número de Días a Floración NDF	N/A	Se registró el número de días después del trasplante en que el 50% de las plantas tenía al menos una (1) flor abierta.
Número de Días a Madurez NDM	N/A	Se registró el número de días después del trasplante en que el 50% de las plantas tenía al menos un (1) fruto apto a cosecha.

Variable/Unidades	Equipo	Forma de Medición
Peso de Materia Seca Aérea BSA Peso de Materia Seca de Raíz BSR Peso de Materia Seca de Frutos BSF	Horno de secado y balanza digital	Se seccionaron raíz, fruto y follaje por planta, se pesaron y se colocaron en bolsas de papel kraf rotuladas, luego se introdujeron en un horno de secado durante 72 horas o hasta llegar a peso constante con una temperatura de 60 °C, finalmente se pesaron las partes de la planta individualmente (Figura 17f).
Porcentaje de Materia Seca Aérea %MSA Porcentaje de Materia Seca de Raíz %MSR Porcentaje de Materia Seca de Frutos %MSF	N/A	Esta variable se calculó a través de la siguiente ecuación: $\left(\frac{Peso\ fresco - peso\ seco\ (g)}{Peso\ total}\right) * 100$



Figura 17. Equipos usados y forma de medición de algunas de las variables asociadas a la fisiología. **a.b.** Potencial hídrico xilemático. **c.d.** Fotosíntesis, Traspiración y conductancia estomática. **e.** Clorofila. **f.** Peso seco de raíz.

4.5.3 Variables agronómicas asociadas a la fenología y crecimiento del cultivo

Se seleccionaron siete (7) parámetros agronómicos entre ellos, altura de planta, grosor de tallo, número de frutos de primera categoría, peso de frutos de primera categoría, número de frutos de tercera categoría, peso de frutos de tercera categoría y rendimiento. Las variables altura y diámetro de la planta se midieron mensualmente en tres (3) plantas de la línea central de cada parcela en los ambientes de siembra; el rendimiento se calculó al final de la evaluación, y el resto de las variables en cada una de las cosechas realizadas (Tabla 7).

Tabla 7. Variables asociadas a la agronomía del cultivo, equipo usado y forma de medición

Variable/Unidades	Equipo	Forma de medición
Altura de la planta AP (cm)	Cinta métrica	Se midió desde la base del suelo hasta la última intercepción del ápice de la planta.
Diámetro de tallo GT (cm)	Pie de rey	Se evaluó en la base del tallo aproximadamente a cinco (5) cm del suelo.
Número de frutos de primera categoría NFPC	N/A	Se seleccionaron frutos con características en tamaño, peso y color para el mercado de 1ª calidad.
Peso de frutos de primera PFPC (g)	Balanza digital	Se evaluó el peso en los frutos de primera categoría.
Número de frutos de tercera NFTC	N/A	Se separaron los frutos que presentaron algún tipo de daño, por ejemplo, golpe de sol, daño mecánico, por insecto o roedores.
Peso de frutos de tercera PFTC (g)	Balanza digital	Estuvo representado por el peso de los frutos de tercera categoría.
Rendimiento R (t/ha)	N/A	Se calculo con base al peso total de la planta y la densidad de siembra.

4.5.4 Variables asociadas a la calidad del fruto

Se seleccionaron siete (7) parámetros asociados a la calidad del fruto, entre ellos, largo del fruto, ancho del fruto, peso del fruto, firmeza, solidos solubles totales, acidez titulable y pH. Para la medición de cada variable se tomaron al azar tres (3) frutos de la cosecha número 3 de cada ambiente de siembra. (Tabla 8)

Tabla 8. Variables asociadas a la calidad del fruto, equipo utilizado y forma de medición

Variable/Unidades	Equipo	Forma de Medición
Largo del Fruto L (cm)	Pie de rey,	La medición se realizó desde el margen de cáliz, hasta la base del fruto.
Ancho del Fruto ANCH (cm)	Pie de rey,	La medición se realizó en la parte central del fruto.
Peso del Fruto PF (g)	Balanza digital	Con ayuda de la balanza se registró el peso.
Solidos Solubles Totales SST (° Brix)	Refractómetro digital de mano. Marca Atago, modelo 3810 PAL-1. Exprimidor manual de limón	Con ayuda de un exprimidor se extrajo jugo suficiente (5 a 7 gotas) para depositar en el prisma o superficie de muestreo del equipo (Figura 18a).
Firmeza del Fruto F (kgf)	Penetrómetro + durómetro para Frutas Digital. LT-FR5120	Se seleccionó la punta adecuada (8 mm) para el fruto y se imprimió una fuerza hasta que el puntal del penetrómetro perforara el fruto. (Figura 18b)
Acidez Titulable del Fruto AF (% de ácido málico)	Balanza, procesadora de alimentos, probetas, pipetas volumétricas, colador, beakers, soporte universal	En cada uno de los tres frutos se seccionaron fragmentos de 8 g y se depositaron en una procesadora de alimentos adicionando cada vez 40 ml de agua destilada. Obtenidas las mezclas se filtraron y separaron 5 ml. Se agregaron tres gotas de fenolftaleína y gotas de una solución de hidróxido de sodio al 1% hasta producir el cambio de color de cada mezcla. La cantidad registrada corresponde con el volumen del líquido desplazado en la pipeta volumétrica (Figura 18c, 18d y 18e). La acidez se obtuvo así: AT(%)=[V x NaOH (mL) x N NaOH (meq/mL) miliequivalentes de ácido

Variable/Unidades	Equipo	Forma de Medición
		cítrico (0.064 g/meq) /Volumen del jugo (mL)] x 100
pH	pH metro	En cada fruto se separó una porción de 8 g y se depositó en una procesadora de alimentos con 40 ml de agua destilada. Obtenida la mezcla se filtró y del líquido resultante se tomaron 20 ml, a esta solución se le midió el pH sumergiendo el electrodo hasta que registrara el dato en pantalla. (Figura 18f).



Figura 18. Variables asociadas a la calidad del fruto de pimentón. **a.** Solidos solubles totales **b.** Firmeza **c. d. e.** Acidez titulable **f.** Ph.

4.6 Manejo del Experimento

Para el desarrollo de la investigación se llevaron a cabo varias labores de campo, entre las cuales se citan las siguientes:

4.6.1 Siembra de los cultivares golazo y campero

En la siembra se utilizaron aproximadamente 200 semillas de cada uno de los cultivares. Los materiales se sembraron en bandejas de germinación en sustrato canadiense, previamente desinfectado con yodo, esta actividad se contrató con la empresa “Plantuladores nazy”. Transcurrido el tiempo de endurecimiento (30-35 días), las plántulas se enviaron al C.I. Caribia para su trasplante definitivo en los diferentes ambientes de siembra (Invernadero, casa malla y campo abierto). (Figura 19)



Figura 19. Material Inicial de Siembra

4.6.2 Adecuación y preparación del suelo

Se realizaron varios pases con el motocultor en invernadero y casa malla, y arado de disco en campo abierto, con el fin de remover e incorporar la materia orgánica al suelo (lombriabono de elaboración propia), antes de la siembra. Los surcos se elaboraron con la ayuda de herramientas manuales (pala y azadón) y la distancia entre ellos fue de 1 m (Figura 20).



Figura 20. Adecuación y Preparación del Suelo. **a.** Preparación de terreno con maquinaria agrícola en campo abierto **b.** Incorporación de abono orgánico **c.** Elaboración y adecuación de surcos

4.6.3 Riego

El sistema de riego utilizado en los ambientes de siembra evaluados fue por goteo. Para su mejor funcionamiento se instaló una bomba de 1 hp, se usaron mangueras de goteo con descarga de 0,8 l/h^1 y se aplicó el riego hasta mantener el suelo a capacidad de campo (10-20 centibares), acorde con la lectura de dos (2) tensiómetros marca Irrometer instalados en cada área evaluada. (Figura 21)



Figura 21. Cinta de Riego. **a. b.** Instalación de la cinta de riego utilizada en los diferentes ambientes de siembra.

4.6.4 Drenaje

Con el fin de evacuar de manera eficiente las aguas de lluvias, se elaboraron y recabaron canales internos y externos en cada área de evaluación (Figura 22).



Figura 22. Drenaje. a. Elaboración de canales de drenaje externos, b. Elaboración de canales de drenajes interno

4.6.5 Siembra

Para llevar a cabo esta labor, se realizó con anticipación el trazado y ahoyado del lote. En cada orificio se agregó trichoderma en drench al 95% de pureza a razón de 50 g por bomba de 20 litros. Las plantas fueron sembradas en horas de la mañana, 35 días posteriores a la etapa de germinación, procurando que el cespedón quedará al nivel del suelo para evitar posible pudrición del cuello de la raíz.

4.6.6 Control de maleza

Se realizó de manera manual entre plantas y con guadaña entre surcos. La frecuencia de la actividad fue semanal, procurando no causar daños mecánicos en las plantas.

4.6.7 Fertilización

Se realizó teniendo en cuenta el resultado de los análisis de suelo, los requerimientos del cultivo y la etapa fenológica. En todos los ambientes se aplicó fertirriego, con una frecuencia quincenal (Tabla 9).

Tabla 9. Relación de productos y dosis usada (Kg) en cada una de las fertilizaciones realizadas durante el ciclo de producción del cultivo

PRODUCTO	1	2	3	4	5	6	7	8
Cosmoquel zn	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,00
Cosmoquel Mn	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,00
Solutec Inicio	2,29	3,05	3,05	2,29	2,29	2,29	0,76	0,76
Solutec Desarrollo	1,44	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	0,67
Solutec Producción	0,48	0,48	0,96	1,44	2,40	2,40	1,92	1,44
Sulfato de Magnesio	0,46	0,46	0,92	1,39	1,39	1,39	1,39	1,39
Nitrax-S	0,80	0,80	1,60	2,40	2,40	2,40	2,40	2,40
Nitrabor	5,46	7,28	7,28	5,46	5,46	5,46	1,82	1,82
Nitrato de Potasio	0,84	0,84	1,68	2,52	4,20	4,20	3,36	2,52

4.6.8 Podas de formación y sanitarias

A lo largo del ciclo del cultivo se realizó la eliminación semanal de las hojas viejas que se encontraban en la parte inferior de la planta, y las ramas o brotes que impedían su adecuado crecimiento, permitiendo mejorar la aireación del cultivo, disminuir la posible incidencia de plagas y enfermedades. (Figura 23)



Figura 23. Poda sanitaria de hojas y ramas bajeras

4.6.9 Tutorado

Se instaló un sistema de tutorado, con fin de brindar apoyo a las plantas y evitar volcamiento, el cual consistió en enterrar estacas de guadua al lado de cada planta y amarrarla a diferentes alturas para mayor estabilidad. Esta práctica se realizó principalmente cuando inició la etapa de fructificación. (Figura 24)



Figura 24. Sistema de tutorado implementado con estacas de guadua

4.6.10 Manejo fitosanitario

Semanalmente se realizó el monitoreo de plagas y enfermedades, logrando identificar aquellas que estaban apareciendo o incidiendo en el desarrollo del cultivo (Figura 25). Teniendo en cuenta los resultados del monitoreo, se realizaba la recomendación pertinente para cada situación.



Figura 25. Insectos plagas identificados en el cultivo de pimentón durante el ciclo de evaluación.

a. Picudo y, b. Larva de *Spodoptera sp.*

4.6.11 Cosecha

Se realizó con una frecuencia quincenal durante tres meses aproximadamente. Los frutos se cortaron con tijeras de podar y se depositaron en una bolsa plástica rotulada con la información referente a cada cultivar, tratamiento y repetición. Todas las bolsas se trasladaron hacia el laboratorio de procesos para la evaluación respectiva de las variables asociadas con la agronomía y calidad del fruto (Figura 26 y 27).



Figura 26. Frutos de la cosecha 3 del cultivar campero en cada uno de los ambientes evaluados. **a.** Invernadero, **b.** Casa malla, y **c.** Campo abierto.

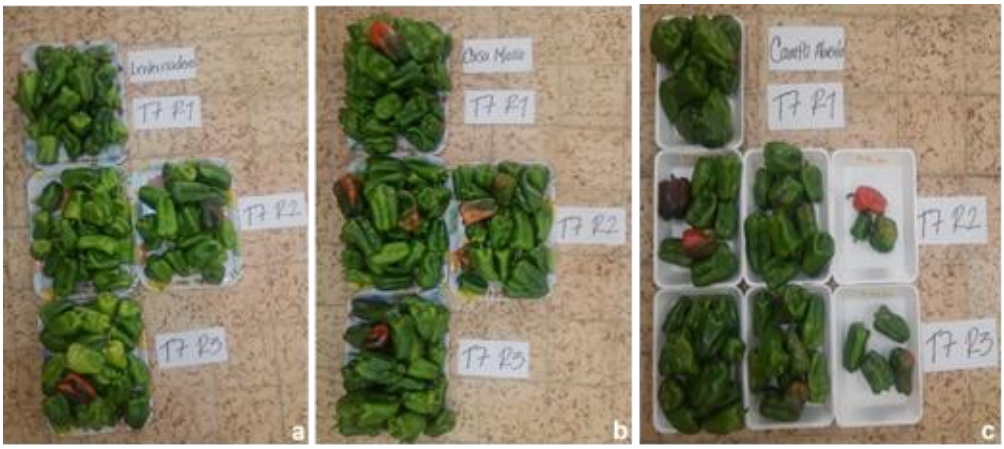


Figura 27. Frutos de la cosecha 3 del cultivar Golazo en cada uno de los ambientes evaluados. **a.** Invernadero, **b.** Casa malla, y **c.** Campo abierto

5 Resultados y discusión

Los resultados y discusión de la investigación se presentan a continuación.

5.1 Variables asociadas al clima

La dinámica de la temperatura en los ambientes evaluados fue la siguiente: campo abierto presentó rangos entre 24,5 y 28,6°C, invernadero entre 22,4 y 29 °C y casa malla entre 24 y 29,5 °C (Figura 28). Teniendo en cuenta los datos de la estación meteorológica del C. I. Caribia, los primeros meses de evaluación se registraron los picos más altos de temperatura, mientras que a finales del ciclo, los picos más bajos; estos datos coinciden con la temporada de lluvias.

Solís (2016) asegura que para pimentón la temperatura mínima óptima debe ser de 18°C y la máxima óptima de 25 °C, estos datos difieren con los reportados por Berríos Ugarte *et al.,* (2007) donde se indica que la temperatura máxima puede llegar hasta 28 °C; en comparación la presente investigación registra 4 °C y 1 °C adicionales a las temperaturas descritas por Solis (2016) y Berríos *et al.,* (2007), respectivamente. Estas variaciones podrían acelerar el metabolismo, la etapa fenológica en el cultivo y posiblemente modificar el comportamiento de las variables asociadas al intercambio gaseoso, especialmente las tasas de fotosíntesis y la transpiración.

Los datos de humedad relativa muestran una cinética inversamente proporcional a la temperatura (Figura 29). En los periodos de bajas temperaturas, los valores de la humedad relativa estuvieron por encima del 80% dentro de las estructuras; con respecto a los valores para campo abierto, durante el ciclo de evaluación se mantuvo una dinámica similar, entre 69 % y 76%, que difiere a los observados en casa malla e invernadero. Los picos más alto dentro de las estructuras se dieron entre los meses de octubre y noviembre que coinciden con la época de lluvias y las menores temperaturas registradas.

Según González *et al.,* (2019) para el desarrollo ideal del pimentón, la HR debe estar en el rango entre 65 y 85%, sin embargo Rodríguez Pérez, (2017) afirman que los rangos óptimos están entre 50 y 70%, son particularmente esenciales en las etapas de floración y cuajado del fruto. Con base en lo establecido por González *et al.* (2019), una alta HR puede afectar la liberación y distribución del polen en el estigma, creando un ambiente favorable para el desarrollo de enfermedades foliares, mientras que niveles bajos pueden ocasionar problemas de fertilización de la flor, incidiendo en la deshidratación del polen antes de su germinación en el estigma, y a su vez, resultando la producción de frutos pequeños, deformes o planos. Dado que los valores de humedad relativa en cada uno de los ambientes evaluados estuvieron dentro del rango, las plantas alcanzaron un buen desarrollo productivo.

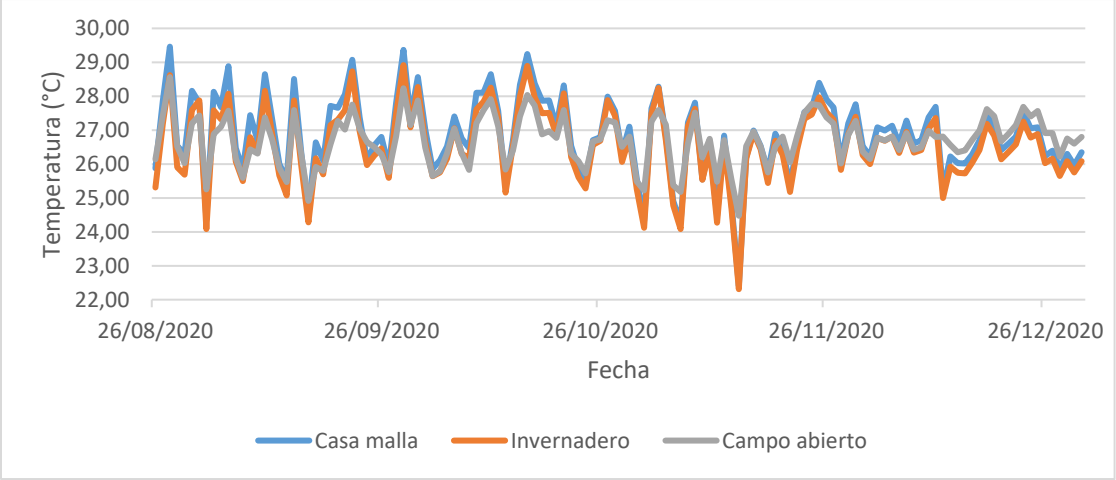


Figura 28. Distribución promedio de la temperatura en los ambientes de producción, durante el ciclo de evaluación.

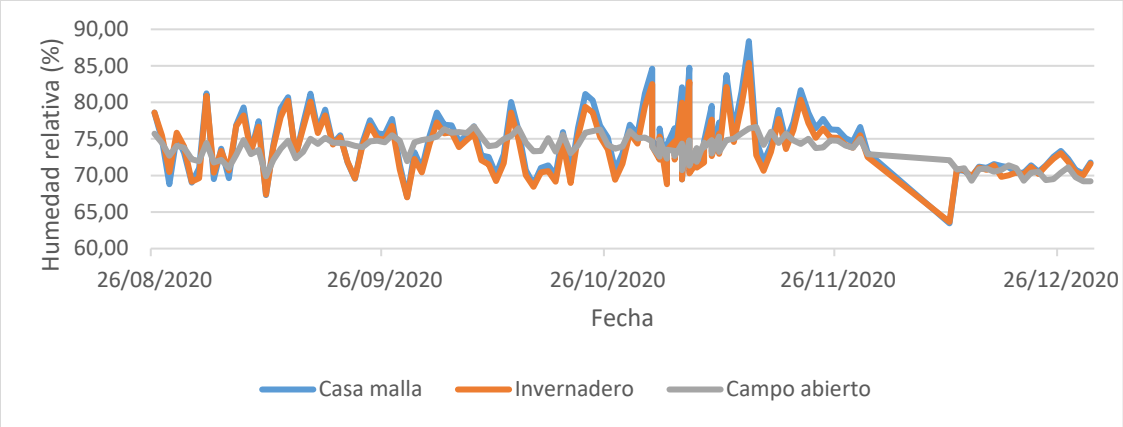


Figura 29. Distribución promedio de la humedad relativa en los ambientes de producción, durante el ciclo de evaluación.

Con respecto a la radiación fotosintéticamente activa (RFA), en campo abierto fue en promedio 1,162 µmol/m^2/s, alcanzando picos superiores a los 1500 µmol/m^2/s^1. Mientras que en casa malla el promedio estuvo alrededor de los 715 µmol/m^2/s^1, equivalente a una reducción promedio de la radiación del 48,5 % con respecto a los valores de campo abierto. En el caso de invernadero, este fue el ambiente en el cual se registraron los menores valores, se obtuvo un promedio de RFA de 467 µmol/m^2/s^1, representado en una reducción promedio del 59,8% con relación a la registrada en campo abierto (Figura 30).

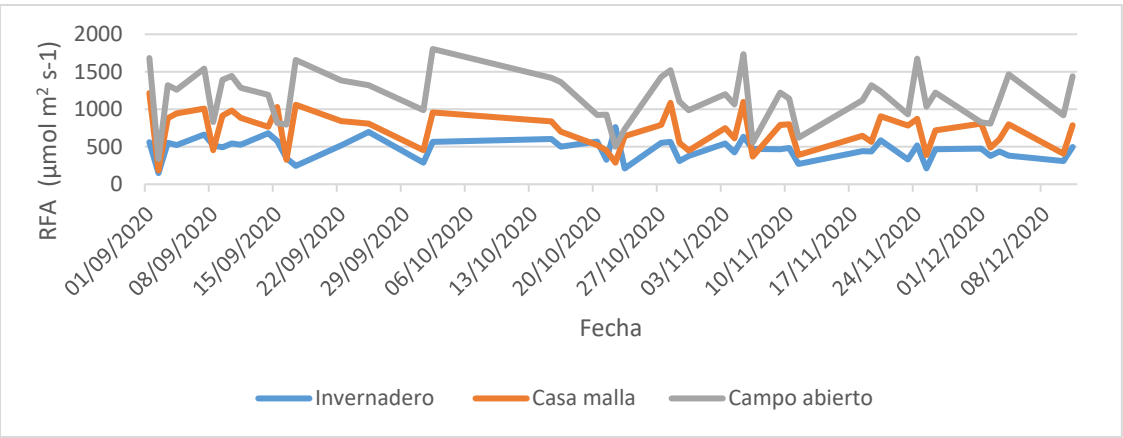


Figura 30. Cinética de la radiación fotosintéticamente activa en los ambientes de producción, durante el ciclo de evaluación.

La radiación es uno de los factores ambientales capaces de producir una mayor actividad fotosintética en las plantas; además, la calidad y distribución del espectro de luz pueden influir en la longitud de los entrenudos y el desarrollo de la floración (Runkle y Heins, 2006). La RFA por encima de 1000 µmol/m^2/s^1 tiene un efecto directo en la tasa de fotosíntesis, lo cual afecta negativamente la productividad, el crecimiento y el rendimiento (Kitta *et al.* 2014). La disminución de la disponibilidad de la RFA puede inducir respuestas morfogenéticas como incremento del área foliar, y alargamiento del tallo y entrenudos, debido a que las células se expanden más con bajas intensidades de radiación solar para captar la luz y llevar a cabo la fotosíntesis (Bastías *et al*., 2012).

El comportamiento de la RFA durante el día (Figura 31) evidencia que a las 13 horas es donde la radicación alcanza su mayor pico. Los valores más altos se registraron en campo abierto, alcanzando resultados superiores a 2000 µmol/m^2/s^1, seguido de casa malla con valores cercanos a los 1500 µmol/m^2/s^1y finalmente valores menores a 1000 µmol/m^2/s^1 fueron registrados en invernadero.

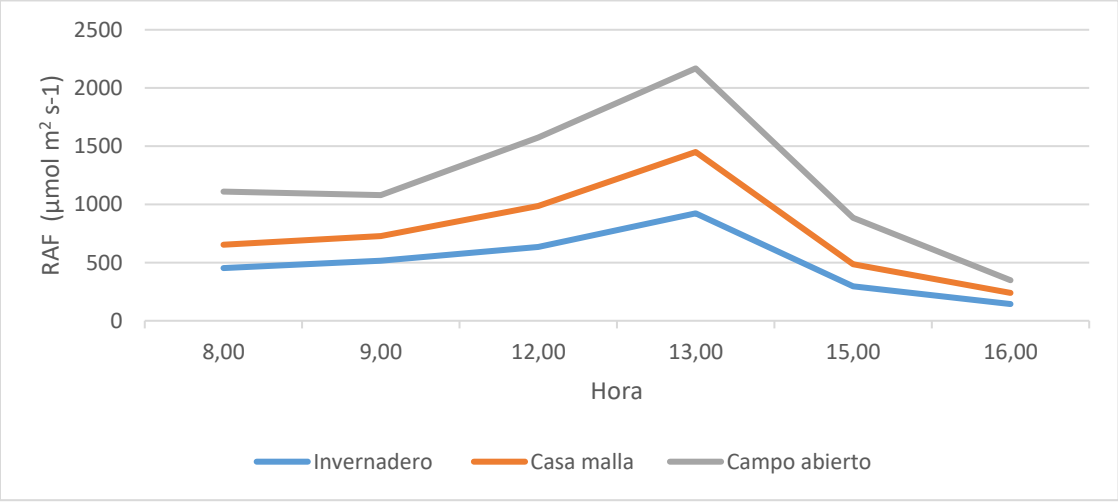


Figura 31. Cinética de la radiación fotosintéticamente activa durante el día, en los ambientes de producción para un ciclo de evaluación

Samaniego-Cruz *et al*. (2002) en su estudio acerca de la incidencia de la radiación y temperatura interna en invernaderos por el uso de cubiertas plásticas con aditivos reflejantes y absorbentes, sobre la producción de plántulas de tomate y pimiento, reportaron que la radiación fotosintéticamente activa (RFA) y la temperatura presentaron diferencias altamente significativas entre los tratamientos evaluados. Los valores de la RFA en las diferentes estructuras presentaron una reducción del 41 al 58% con respecto a los valores del promedio de campo abierto (1107,22 $\mu mol/m^2/s^1$). Con respecto a la temperatura en cada ambiente, los datos a 80 cm sobre el suelo presentaron variaciones de 27,9 a 32,5°C, y a 2,2 m sobre el suelo oscilaron de 29,5 a 35,8°C.

Cruz-Andrés *et al*. (2018) en su estudio de macrotúneles con diferentes cubiertas (malla blanca, plástico transparente y plástico verde) comparado con campo abierto, encontraron que la media de la temperatura diurna dentro de las estructuras estuvo entre 25,5 y 28,3 °C, mientras que a campo abierto estuvo en 22 °C. Con respecto a la media de la temperatura nocturna, la cual osciló entre 18,3 y 20,5 °C dentro de las estructuras y 17,7°C a campo abierto. La humedad relativa para campo abierto fue de 73,8%, mientras que adentro de las estructuras se registraron datos entre 62,6 y 74,2%. Con respecto a la RFA, dentro de las estructuras se registró una disminución entre 27,74 y 28,84% con relación a los datos de radiación registrados para campo abierto.

Mendoza-Villarreal *et al.* (2021) evaluaron la morfología y calidad de ecotipos de chile piquín, bajo cinco sistemas productivo: malla blanca, roja, azul, negra tipo raschel con 30% de sombreo y campo abierto, y reportaron que los valores promedios de la RFA en los macro túneles evidenciaban una reducción de 50 a 65% con relación a la radiación reportada para campo abierto. Con respecto a la humedad relativa y temperatura promedio dentro de las estructuras, estuvieron entre los rangos de 31,11% y 70,44% y 18,44 a 24,51°C; mientras que a campo abierto se mantuvieron entre 34,54% a 69,36% para HR y de 20,74 a 26,98°C de temperatura.

Paredes-Jácome *et al.,* (2019) en su investigación sobre el comportamiento agronómico de ecotipos de pimiento piquín bajo condiciones de campo abierto, invernadero, y cuatro casas de malla en colores variados (azul, rojo, blanco y negro), mostró que con respecto a campo abierto la RFA presentaba una reducción del 7,16% en invernadero y del 43,6 al 50,1% en las casas de malla.

Shahak *et al.* (2008) observó que con cualquier cubierta que se coloque sobre las plantas, además de los efectos sobre la intensidad y la calidad de la luz, se pueden modificar los elementos climáticos como radiación solar, velocidad del viento, temperatura y humedad relativa (Arthurs *et al.* 2013), alterando el metabolismo y el consumo de agua de las plantas, lo que repercute en el rendimiento y la calidad del fruto (Tanny, 2013). La temperatura y la humedad relativa juegan un papel importante en la conductancia estomática foliar y, por ende, en la tasa de transpiración y fotosíntesis de la planta (Righi *et al*., 2012).

5.2 Variables asociadas a la Fisiología del Cultivo

Fotosíntesis.

Concentraciones de fotosíntesis en los cultivares ‘Campero’ y ‘Golazo’ presentaron alta significancia (p=0,03) para la interacción genotipo por ambiente. En el cultivar Golazo se evidencia mayor concentración en campo abierto con 26,29 µmol $CO_2 \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$, y en Campero, los valores más altos se obtuvieron en campo abierto y casa malla con 24,02 y 24,19 µmol $CO_2 \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$, respectivamente. En ambos cultivares, hubo menores valores de fotosíntesis en invernadero (Tabla 10). Las tasas fotosintéticas varían de acuerdo con los valores de la radiación y la temperatura, debido a la relación de dependencia entre ellas, desencadenando otras respuestas fisiológicas como la apertura o cierre de estomas. Una baja luminosidad ocasiona alargamiento del ciclo vegetativo y en caso contrario tiende a acortarse (Orellana Benavides *et*

al., 2000), Adicionalmente, se puede presentar afectaciones a favor o en contra de la etapa fenológica del cultivo.

Tabla 10. Fotosíntesis neta de pimentón producto de la interacción de los genotipos por el ambiente

Genotipo / Cultivar	**Tratamiento/Ambiente de siembra**	**Fotosíntesis** ($\mu mol\ CO_2 \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$)	
Campero	Campo abierto	24,02±0,80	b
Campero	Casa malla	24,19±2,30	b
Campero	Invernadero	20,06±1,22	c
Golazo	Campo abierto	26,29±0,54	a
Golazo	Casa malla	23,74±1,75	b
Golazo	Invernadero	20,03±0,83	c
DMS		**1,38**	

Nota. Letras diferentes en columnas indican diferencias significativas (Tukey, p≤0,05).

Según Luna (2020), la fotosíntesis es un proceso fisiológico que depende de varios factores, como la intensidad de la radiación solar, el fotoperíodo (duración del día), la temperatura ambiental, el déficit de presión de vapor, la edad de la hoja y el estado fenológico de la planta.

Los datos de fotosíntesis en invernadero obtenidos en la investigación son similares a los reportados por Ou y Zou, (2012) en su evaluación sobre seis cultivares de pimientos *(*15,8 a 21,8 $\mu mol\ CO_2 \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$), y a los valores reportados por Rosado-Souza *et al*., (2015) en su investigación con accesiones de *C*. *chinense* (17 a 25 $\mu mol\ CO_2 \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$).

Otras investigaciones muestran valores de fotosíntesis menores a las obtenidas en el desarrollo de este estudio. Ridzuan *et al.* (2019), obtuvieron datos de Pn entre 11,5 y 19,1 µmol $CO_2 \cdot m^{-2} \cdot s^1$ en su evaluación con cultivares de *C*. *annuum*; así mismo Borisev *et al*. (2012) en nueve (9) variedades de pimentones bajo sistemas de agricultura protegida obtuvo Pn entre 14,5 y 16,6 µmol $CO_2 . m^{-2} . s^{-1}$, mientras que a campo abierto osciló entre 12,8 y 18,7 µmol $CO_2 \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$. Otros valores fueron reportados por Antony y Singandhupe, (2004) en su estudio sobre el efecto del riego en el crecimiento, rendimiento y uso eficiente del agua, con diferencias de Pn entre 8,10 y 19,10 µmol $\cdot cm^{-2} \cdot s^{-1}$. Por último, Erwin *et al*. (2019) en su investigacion sobre el comportamiento de las variables de intercambio gaseoso en variedades de pimentón, una especie silvestre, encontró en condiciones de invernadero concentraciones entre 3,6 y 16,3 µmol $CO_2 \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$.

Transpiración, diferencial térmico, clorofila y número de días a cosecha en pimentón.

Las variables transpiración (p=0,0476), diferencial térmico (p=0,0007) y clorofila (p=0,0111) asociadas con la fisiología de los materiales en los ambientes evaluados, mostraron significancia por tratamiento (Tabla 11). El ambiente de crecimiento a campo abierto presentó mayores valores en contenido de clorofila (97,92 SPAD), y hubo similitud en la transpiración registrada en casa malla (7,31 y 6,29 mmol $H_2Om^{-2}s^{-1}$, respectivamente). En invernadero se obtuvo la menor tasa de transpiración y clorofila con 5,98 mmol $H_2O \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$ y 54,78 SPAD.

La clorofila junto con la radiación son los principales responsables de los procesos fotosintéticos en las plantas. El contenido de clorofila es un buen indicador de la función de la fotosíntesis (Xu *et al*. 2008).

Los valores de clorofila reportados posiblemente se debieron en gran medida a que las plantas por las temperaturas más altas dentro de las estructuras y la adaptación de los cultivares de pimentón bajo estas condiciones de estrés, provocaron cierre parcial de los estomas para evitar

la pérdida por transpiración, aumentando la temperatura de la hoja y haciendo más negativos los diferenciales térmicos, afectando así las tasas de fotosíntesis.

En general cualquier alteración en el ambiente puede efectuar modificaciones a favor o en contra de las variables asociadas a la ecofisiología de los cultivos. Investigaciones indican que el contenido de clorofila, la tasa de fotosíntesis, la conductancia estomática, entre otras variables, varían cuando las plantas están expuestas a condiciones de estrés, como por ejemplo estrés por salinidad (Haghighi y Barzegar, (2018); Yasin *et al*. (2018); Giancarla *et al*. (2020) y Giancarla *et al*. 2017) y estrés por inundación (Aldana et al. 2014) originando en muchos casos la senescencia foliar prematura debido al cierre estomático.

Tabla 11. Efecto del ambiente de producción sobre la transpiración, diferencial térmico y clorofila en el cultivo de pimentón**.**

Tratamiento	**Traspiración**		**Diferencial Térmico**		**Clorofila**	
	(mmol $H_2Om^{-2}s^{-1}$)		°C		(SPAD)	
Campo abierto	7,31±0,58	a	-0,77±0,18	a	97,92±15,31	a
Casa malla	6,29±0,29	ab	-1,55±0,21	a	57,11±12,05	b
Invernadero	5,98±0,31	a	-0,94±0,26	b	54,78±9,03	b
DMS	**1,30**		**0,24**		**29,68**	

Nota. Letras diferentes en columnas indican diferencias significativas (Tukey, p≤0,05).

Los valores de transpiración (E) reportados en este estudio son similares a los obtenidos por Ridzuan *et al*. (2019) en su evaluación sobre variedades de *C* . *annuum* con 4,61 a 7,11 mmol $H_2Om^{-2}s^{-1}$*)* y los de Borisev *et al*. (2012) quienes evaluaron pimentones bajo dos sistemas productivos y encontraron que los valores de E para campo abierto estuvieron entre 4,4-6,1 mmol

$H_2Om^{-2}s^{-1}$ y en invernadero entre 4,7–5,0 mmol $H_2Om^{-2}s^{-1}$; pero difieren con los reportados por Ou y Zou, (2012), con 3,21–4,05 mmol $H_2Om^{-2}s^{-1}$ y por Erwin *et al*. (2019) con 4,14 – 4,20 mmol $H_2Om^{-2}s^{-1}$.

El diferencial térmico hace referencia a la diferencia entre la temperatura del ambiente evaluado menos la temperatura de la hoja. A medida que la temperatura de la hoja es más alta que la temperatura del ambiente, el valor del diferencial térmico (DT) es más negativo debido a que la planta cierra parcial o totalmente los estomas, lo que conlleva a que ésta reduzca o cese su transpiración. La regulación de los estomas determina el intercambio de agua entre la hoja y la atmósfera circundante; éstos cierran en circunstancias en que el suministro de agua en el suelo es deficiente (Basso *et al*. 2019). En la Tabla 11 se puede observar que los valores más negativos del DT se reportan para casa malla con -1,55°C, seguido de invernadero con -0,94°C y por último campo abierto con valores de -0,77°C.

Además, los valores de clorofila en invernadero y casa malla de la investigación (Tabla 11), coinciden dentro del rango de los valores reportados en un estudio con pimentón *C. annuum* cultivado hidropónicamente, el cual muestra que los valores de SPAD a una altura promedio de 0 cm a 125 cm en sentido ápice base, los cuales obtuvieron valores entre 48,5 y 72,2 SPAD (Jung *et al.* 2021). Datos reportados por García *et al.* (2019) muestran que a los 30 ddt los valores estimados del contenido de clorofila en las hojas de las plantas de pimentón estuvieron en el rango de 38,05 a 40,44 SPAD.

La variable de conductancia estomática exhibió una tendencia a mayor apertura de los estomas en plantas establecidas en el ambiente de casa malla, en menor grado para plantas en campo abierto, y por último, en plantas bajo invernadero. El cultivar Golazo registro los valores más altos en los ambientes de producción, consecuentemente una mayor apertura de estomas permite que la planta traspire y realice más eficientemente su proceso fotosintético (Figura 32).

De acuerdo con lo mencionado y las tendencias observadas en la Figura 32, a mayor conductancia y traspiración, el valor del DT se hace menos negativo a medida que el valor de la traspiración es más alto. En el caso de campo abierto los valores -0,8 a -1,0 fueron menos negativos que los evaluados en casa malla con -1,4 a -1,6 (más negativos). Esto también se relaciona con los valores de temperatura reportados para cada ambiente de siembra, en donde las mayores temperaturas se registraron en casa malla y las menores en campo abierto.

Con respecto al potencial hídrico xilemático, este es un indicador del estado hídrico de la planta, que permite determinar la presencia o ausencia del estrés por déficit hídrico. Los valores siempre son negativos y se interpretan de la siguiente manera: valores cercanos a -1 MPa representa a plantas en buenas condiciones de riego; valores entre -1 y -2 MPa, plantas con leves condiciones de estrés y valores superiores a -2 MPa indican alto grado de estrés o plantas de habitad desértico (Taiz and Zeiger, 2006). Condiciones similares de alto grado de estrés ocurren en nuestros agroecosistemas tropicales, donde temperaturas elevadas en combinación con radiaciones intensas y periodos secos prolongados, pueden ocasionar retención del agua en las células por cierre estomático y entre mayor retención del agua, más negativos serán los valores del potencial hídrico de la planta. Los valores obtenidos en la investigación indican que el cultivar Golazo en invernadero y el cultivar Campero en casa malla presentaron los valores menos negativos (-0,9 MPa), mientras que el cultivar Campero en campo abierto e invernadero y el Golazo en casa malla fueron más negativos con valores entre -1 y -1,3 MPa (Figura 32). Estos valores sugieren balances hídricos adecuados para el desarrollo de las plantas en los ambientes de evaluación.

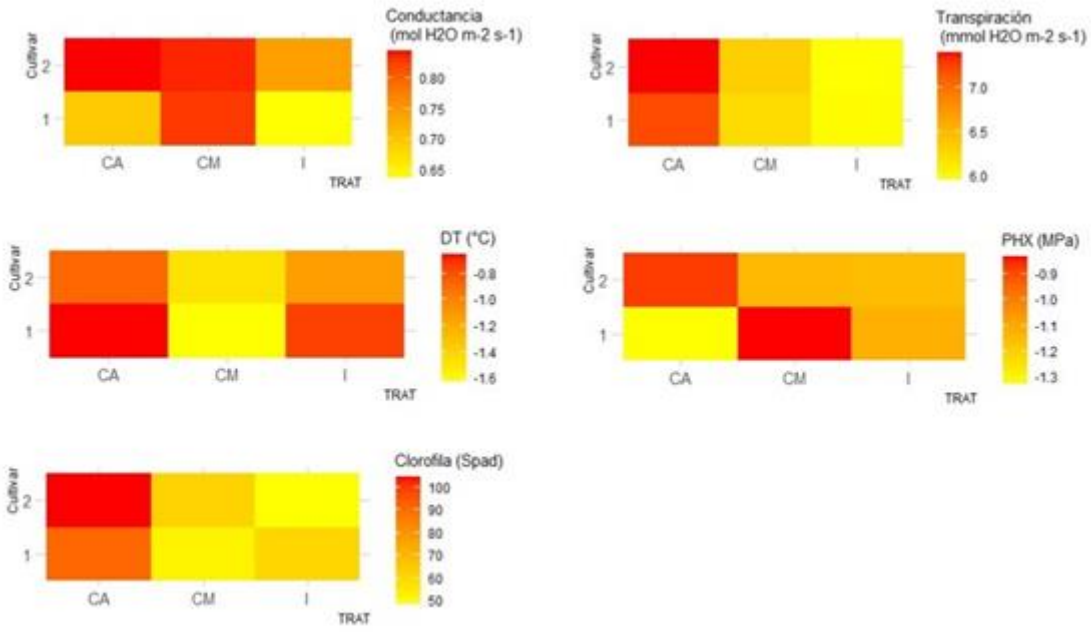


Figura 32. Variables asociadas a la fisiología del cultivo que no mostraron interacción genotipo por ambiente

Biomasa y Materia seca

Los valores asociados a la biomasa y porcentaje de materia seca en los diferentes cultivares, no mostraron diferencias significativas por tratamiento, cultivar e interacción con respecto al sistema productivo evaluado. En la Figura 33 a pesar de no haberse encontrado diferencias estadísticas, se pueden hacer algunas apreciaciones desde el punto de vista biológico del cultivo.

En la Figura 33 se observa la tendencia de mayor acumulación de fotoasimilados en el cultivar Golazo, presentando estabilidad en la variable peso seco en cada una de las partes de la planta evaluadas, sobresaliendo casa malla entre los ambientes de producción. En cuanto al porcentaje de materia seca, en raíz (18%) y parte aérea (40%) fue donde se presentaron los mayores valores y en frutos los menores entre 2 y 8%. Pero también se observa la tendencia que tiene el cultivar

Golazo en acumular los porcentajes más altos en los tres ambientes de siembra, destacándose casa malla con los mayores valores.

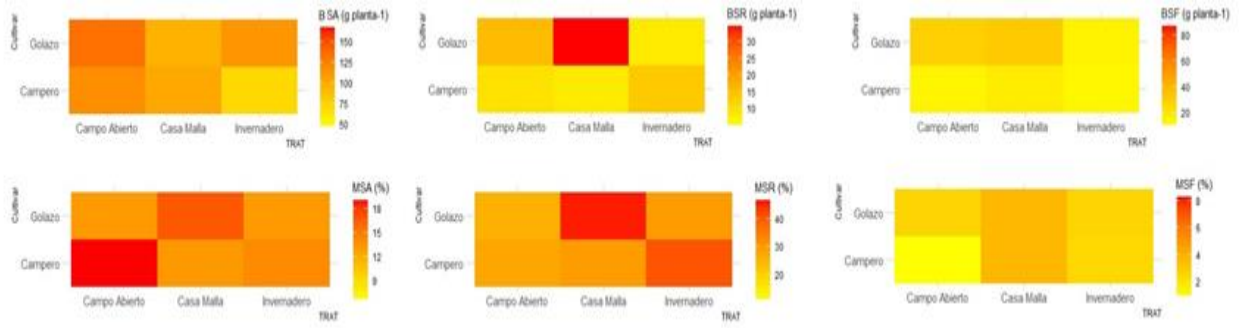


Figura 33. Variables asociadas a la fisiología del cultivo que no mostraron interacción genotipo por ambiente. Porcentaje de materia seca aérea (MSA), Porcentaje de materia seca de raíz (MSR), Porcentaje de materia seca del fruto (MSF), peso seco aéreo (BSA), peso seco de raíz (BSR) y peso seco del fruto (BSF).

Por otra parte, el número de días a cosecha del fruto estuvo en el rango de 65,50 a 75,65 ddt (Figura 34), en donde las plantas sembradas a campo abierto alcanzaron su mayor precocidad para esta variable reduciendo entre 5 y 10 días la cosecha con relación a los ambientes de casa malla e invernadero, lo que se puede inferir que no solamente la acumulación de temperatura afecta el desarrollo del cultivo, sino que también la acumulación de radiación, tal como ocurrió en la condición de campo abierto. Sin embargo, hay que destacar que esta alta radiación es negativa en las variables asociada a la calidad de los frutos motivado a que se presentaron los mayores deterioros por daños de golpe de sol.

Los datos anteriores son consistentes con los encontrados por Sharma *et al.* (2010), quienes evaluaron en campo abierto 23 genotipos de pimiento morrón, y observaron que el inicio de cosecha estuvo entre 58,0 y 77,3 ddt. De igual manera Elizondo y Monge, (2017b), evaluaron la calidad y rendimiento de 12 genotipos de chile dulce cultivados bajo invernadero, y señalaron que la variable días de inicios a cosecha se encontró entre 74 y 91 ddt. Otra investigación sobre

el comportamiento agronómico de siete genotipos de pimentón realizada por Mata y Ramos, (2012) reveló que la primera cosecha sucedió entre 75 y 75,75 ddt.

Una Investigación en Colombia, en donde se evaluaron 13 cultivares de pimentón divididos en dos ciclos de producción bajo condiciones de invernadero reportó, que el inicio a cosecha de los materiales estuvo en los rangos entre 175,7 y 239,3 ddt (Casilimas *et al.* 2012), estos resultados son muy contrastantes con los obtenidos en la presente investigación.

Se debe resaltar que entre los cultivares evaluados en esta investigación se evidenció diferencias biológicas en el número de días a cosecha (Figura 34). El cultivar Golazo mostró una tendencia menor en el número de días a cosecha (66,11 ddt), con respecto a Campero (75,56 ddt). Los registros obtenidos son similares con los reportados por Monsalve y Rosado, (2020), los cuales realizaron el estudio fenológico de tres (3) variedades de pimiento bajo polisombra, y encontraron que el día a cosecha osciló entre 60 y 68 ddt. Asimismo, Elizondo y Monge, (2017c), quienes evaluaron el rendimiento y calidad de 15 genotipos de pimiento cultivados bajo invernadero, demostraron que el día a cosecha varía entre 74 y 83 ddt.



Figura 34. Número de días a floración y cosecha en dos cultivares de pimentón en tres ambientes de siembra.

Existen otros autores que han reportado rangos más amplios entre el número de días a cosecha, como es el caso de Luna-García *et al*. (2018), quienes obtuvieron en su investigación sobre hibridación en diferentes tipos de chiles y estimación de la heterosis para rendimiento y calidad de fruto, rangos que varían de 88,5 a 132,9 ddt.

5.3 Variables Asociadas a la Agronomía del Cultivo

En las variables agronómicas hubo diferencias altamente significativas para la interacción genotipo por ambiente de las variables número de frutos de primera categoría NFPC (p=0,0019) y peso de frutos de primera categoría PFPC (p=0,0023), y significativa para la variable número de frutos de tercera categoría NFTC (0,022), dejando en evidencia que la mayor plasticidad la obtuvo el cultivar Golazo, al obtener los mejores resultados en cada uno de los ambientes evaluados (Tabla 12).

Los valores más bajos para las variables NFPC, PFPC y NFTC en el cultivar campero se presentaron en campo abierto, mientras que para el cultivar golazo fue en invernadero. La mayoría de los frutos de tercera categoría en campo abierto presentaron daños ocasionados por golpe de sol producto del contacto directo con la radiación solar; sin embargo, los frutos de tercera categoría para los ambientes de casa malla e invernadero fueron producto de incidencia por larvas perforadoras de fruto y por la finalización del ciclo de evaluación, lo cual impidió que muchos de los frutos cosechados alcanzaran su óptimo desarrollo.

Tabla 12. Efecto de la interacción genotipo por ambiente de producción en las variables asociadas a la agronomía del cultivo.

Tratamiento	Cultivar	No de Frutos 1ra Categoría		Peso del Fruto 1ra Categoría (g)		No de Frutos 3ra Categoría	
Casa Malla	Campero	8,71±0,91	bc	882,08±106,08	b	7,84±1,79	bc
Invernadero	Campero	10,52±1,49	bc	1191,11±172,44	b	2,87±0,65	d
Campo Abierto	Campero	10,23±2,11	c	1009,96±215,31	b	8,66±3,37	cd
Casa Malla	Golazo	16,32±1,49	a	1539,75±75,43	a	11,51±0,63	a
Invernadero	Golazo	11,28±2,42	bc	1156,85±31,69	b	3,40±0,98	d
Campo Abierto	Golazo	12,33±2,23	b	1110,40±187,86	b	11,51±1,03	ab
DMS		**56,43**		**6014,94**		**62,18**	

Nota. Letras diferentes en columnas indican diferencias significativas (Tukey, p≤0,05)

Quesada Roldán, (2015) en un estudio sobre la producción de chile dulce en invernadero bajo diferentes niveles de agotamiento en la humedad del sustrato, reportó valores de rendimiento en frutos comerciales entre 28,0 a 31,5 $t.ha^{-1}$para el tratamiento testigo, estos rangos concuerdan con los reportados en la presente investigación en donde los frutos de primera categoría sembrados en invernadero alcanzaron un rendimiento entre 28,92 a 29,78 $t.ha^{-1}$y un rendimiento total (frutos de primera y tercera categoría) de 34,6 $t.ha^{-1}$ (Figura 35). Otros autores reportan valores más altos, como es el caso de Elizondo y Monge, (2017c) en su investigación sobre evaluación de rendimiento y calidad de 15 genotipos de pimiento cultivados bajo invernadero, obtuvieron valores totales de rendimiento entre 55,18 a 90,45 $t.ha^{-1}$, los cuales 44,29 a 77,34

t.ha^{-1}correspondieron a frutos de tipo comercial. Otra evaluación de pimentón morrón bajo condiciones de invernadero dio como resultado rendimiento promedio de 58,8 t.ha^{-1} (Luna, 2020).

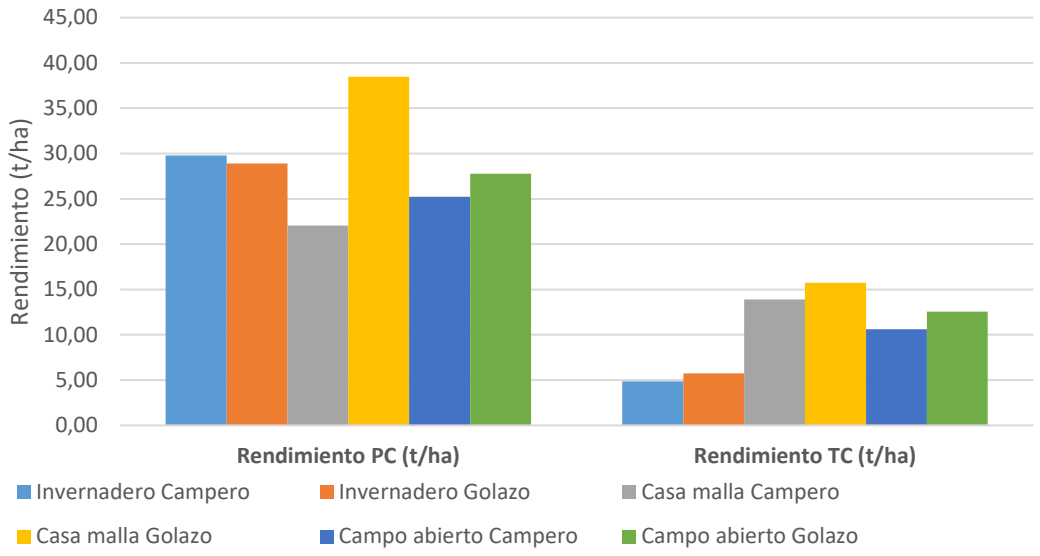


Figura 35. Rendimientos de frutos de primera categoría (PC) y tercera categoría (TC) de los cultivares Golazo y Campero en los tres ambientes de siembra

Según la Figura 36 la investigación arrojó que los valores promedios de rendimiento para campo abierto y casa malla en frutos de primera categoría o comerciales, los valores oscilaron entre 22,05 a 38,49 t.ha^{-1}, y rendimientos totales (frutos de primera categoría más frutos tercera categoría) de 35,93 a 54,22 t.ha^{-1}para el caso de casa malla, mientras que para campo abierto los valores promedios de frutos comerciales estuvieron entre 25,25 a 27,76 t.ha^{-1}y promedios totales entre 35,85 a 40,30 t.ha^{-1}, respectivamente. Los datos anteriores están dentro de los rangos reportados por Ayala Tafoya *et al*. (2015) en su estudio sobre producción de pimiento morrón con mallas sombra de colores, en donde se reportaron valores de rendimiento de frutos comerciales entre 33,6 a 50,4 t.ha^{-1}y de 35,8 a 53,35 t.ha^{-1}de rendimientos promedios totales;

mientras que para campo abierto el promedio de los valores reportados fueron 22,8 t.ha^{-1}para frutos comerciales y 33,3 t.ha^{-1}para rendimientos totales.

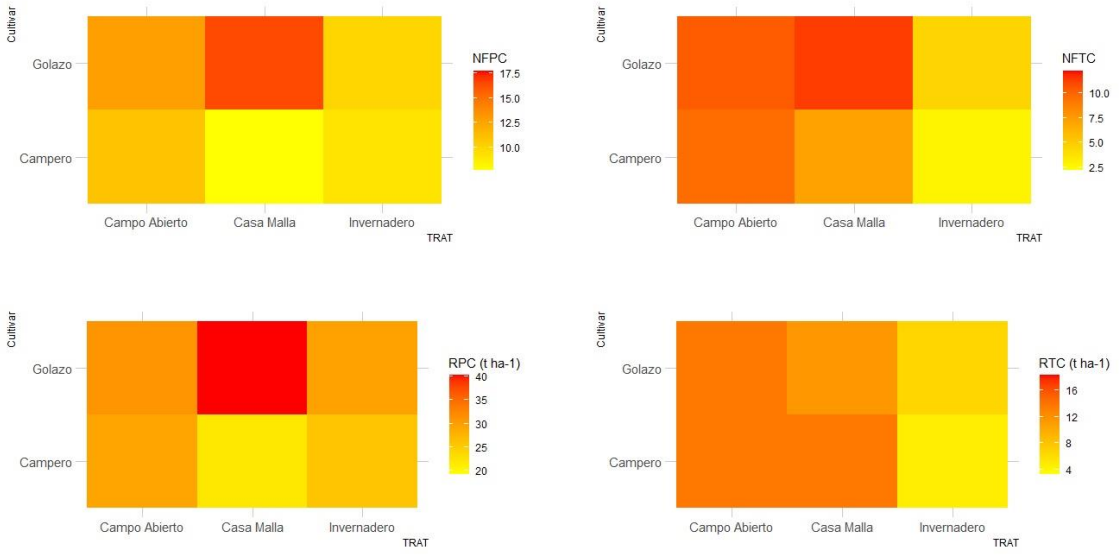


Figura 36. Variables asociadas al rendimiento en cada ambiente de siembra

Según la Figura 36 la tendencia del cultivar Golazo fue presentar el mayor número de frutos y los mayores rendimientos sin importar el ambiente de siembra, adicionalmente se observa que los valores más promisorios se obtuvieron en casa malla. Teniendo en cuenta los valores de RFA, las condiciones en casa malla fueron las más ideales para que la planta realizara con mayor eficiencia su proceso fotosintético, recordemos que valores por encima de 1000 µmol/m^2/s^1 afectan negativamente la productividad, el crecimiento y el rendimiento, y valores bajos puede inducir incremento del área foliar, y alargamiento del tallo y entrenudos. Una buena actividad fotosintética es el reflejo de una buena apertura estomática y traspiración por parte de la planta, que a la final se refleja en una adecuada asimilación de fotoasimilados, los cuales se dirigen hacia los órganos de interés, en el caso de la etapa de fructificación se acumula en los frutos, reflejándose en mayores pesos, por ende en altos rendimientos.

En las Tablas 13 y 14 los cultivares de pimentón en los tratamientos evaluados muestran que las variables altura de planta y diámetro de tallo presentan un crecimiento exponencial a medida que avanzaban las fases fenológicas del cultivo. Adicionalmente, se puede observar que los menores valores en ambas variables se muestran cuando los cultivares están sembrados a campo abierto. Estos datos son similares a los reportados por Ayala Tafoya *et al*. (2015) en su investigación sobre pimentón morrón a campo abierto y bajo mallas de colores.

Tabla 13: Altura de planta mensual de los cultivares en los tres ambientes de siembra.

Tratamiento	Cultivar	Altura de planta Mes 1 (cm)	Altura de planta Mes 2 (cm)	Altura de planta Mes 3 (cm)
Campo Abierto	6	14,06±0,79	33,00±1,76	37,56±8,64
Campo Abierto	7	14,53±1,11	34,11±3,72	37,33±1,76
Casa Malla	6	22,11±2,22	58,11±6,30	83,56±12,05
Casa Malla	7	28,07±6,35	69,28±2,93	80,89±9,34
Invernadero	6	18,87±0,89	65,44±2,41	98,56±16,00
Invernadero	7	21,17±2,80	67,89±5,68	93,67±6,17

Tabla 14: Diámetro de tallo mensual de los cultivares en los tres ambientes de siembra.

Tratamiento	Cultivar	Diámetro de tallo Mes 1 (cm)	Diámetro de tallo Mes 2 (cm)	Diámetro de tallo Mes 3 (cm)
Campo Abierto	6	0,40±0,04	1,00±0,15	1,40±0,22
Campo Abierto	7	0,40±0,06	0,89±0,18	1,15±0,03
Casa Malla	6	0,66±0,02	1,36±0,10	1,66±0,36
Casa Malla	7	0,60±0,12	1,26±0,16	1,46±0,02
Invernadero	6	0,39±0,03	1,05±0,15	1,39±0,33
Invernadero	7	0,44±0,04	1,03±0,18	1,46±0,34

Estudios realizados en pimentón muestran que entre las variables altura de planta y grosor de tallo existe correlación positiva a media que la planta avanza en su desarrollo (Elizondo y Monge, 2019; Pujar *et al.* 2017 y Bijalwan y Mishra, 2016). Pérez y Coto (2018), en su investigación sobre producción de pimentón en invernadero con diferentes densidades de siembra y poda, hacen referencia a que varios autores han reportado que la altura de la planta de pimentón puede variar entre 49,31 y 223,50 cm. García *et al.* (2019) en su investigación sobre la respuesta del pimiento a aplicaciones foliares de diferentes dosis y fuentes de lixiviados de vermicompost, obtuvieron que la altura de la planta a 45 ddt bajo condiciones semiprotegidas osciló entre 55,08 a 62,42 cm. Por su parte Luna, (2020) en su evaluación ecofisiológica determinó que la altura promedio que alcanzaron las plantas de pimentón morrón en invernadero al final del ciclo, como respuesta a ocho tratamientos definidos por dos frecuencias de fertirriego y cuatro medios de crecimiento, fluctuaron entre 51,7 a 63,3 cm. Valores de media para la variable altura de planta entre los rangos de 44,5 a 52,9 cm han sido reportadas en investigaciones sobre el valor agronómico del germoplasma de pimentón en 11 cultivares recolectados en México (Latournerie Moreno. 2013).

5.4 Variables Asociadas a la Calidad del Fruto

Las variables asociadas a la calidad del fruto no alcanzaron diferencias estadísticamente significativas en la interacción genotipo por ambiente, sin embargo, en la evaluación por tratamiento de las estructuras las variables peso y largo del fruto mostraron significancia con un $p \leq 0.05$. (Tabla 15).

Tabla 15: Efectos de los tratamientos sobre las variables peso y largo del fruto

Tratamiento	Peso del fruto(g)		Largo 3 (cm)		Largo 2 (cm)	
Casa malla	150,71±14,56	a	11,11±0,38	a	9,83±0,74	b
Campo abierto	138,88±10,95	ab	11,28±0,25	a	8,98±0,86	c
Invernadero	124,54±12,19	b	9,51±0,45	b	10,95±1,02	a

Letras diferentes en columnas indican diferencias significativas (Tukey, p≤0,05).

Para la variable peso del fruto (PF) la media estuvo entre 124,54 a 150,71 g, siendo casa malla la que reportó los valores más altos e invernadero los más bajos. Pérez y Coto, (2018) en su investigación mencionan que varios autores reportan que el peso del fruto de pimentón puede variar entre 25,5 a 323 g, estos resultados dependen de la implementación o no de técnicas de agricultura protegida, entre las que se destacan; tipo de ambiente, materiales e infraestructura, técnicas de poda, tipo de riego, fertilización, entre otros.

Los resultados de las variables LF y PF de la investigación son similares a los reportados por Llanes *et al.* (2015), los cuales evaluaron en campo abierto la calidad de nuevas variedades resistentes a potyvirus y obtuvieron que para el caso de largo del fruto los valores variaron entre 7,7 a 9,94 cm; y para la variable peso del fruto entre 138,5 a 160,12 g. Elizondo y Monge, (2017a) en su estudio sobre caracterización morfológica de 15 genotipos de pimentón bajo invernadero, lograron determinar que el largo de fruto varía de 7,78 a 13,17 cm. Otro investigador que evaluó el efecto de tres (3) niveles de humedad en el sustrato sobre el crecimiento y producción comercial de dos (2) híbridos de pimentón establecidos bajo condiciones de invernadero, reportó pesos de fruto que oscilaron entre 97,3 a 179,4 g (Quesada Roldán, 2015). Mientras que Elizondo y Monge (2017c) reportaron datos de pesos entre 171,15 a 243,45 g.

Uno de los parámetros de calidad más importantes es la firmeza, la cual está estrechamente relacionada con el tiempo de conservación, por lo cual, para productos que tienen que viajar largas distancias antes de llegar a los consumidores, son recomendados valores altos de esta variable (Urrestarazu *et al*., 2002).

La tendencia de la Figura 37 y 38 muestra que el cultivar Golazo en la mayoría de las variables presentó los mayores valores para las variables asociadas a la calidad del fruto, a diferencia de la variable SST, la cual en ambas cosechas evaluadas reportó los valores más elevados para el cultivar campero. Con respecto al promedio del pH, en la cosecha 2 los valores estuvieron entre 6 a 6,5, mientras que para la tercera cosecha aumentó alcanzando valores entre 8 a 8,5. La acidez titulable del fruto fue mayor en la cosecha 2 (4 a 7 % de ácido málico) que en la cosecha 3 (3 a 6,3 % de ácido málico). Con respecto a los sólidos solubles totales los rangos estuvieron entre 3,5 a 6,0 °Brix para la segunda cosecha y de 3,0 a 5,5 °Brix para la tercera cosecha. La firmeza del fruto se mantuvo entre los rangos de 1 a 2,5 kg.f en la cosecha dos y de 0,5 a 1,4 para la cosecha tres. El ancho del fruto fue más homogéneo en ambas cosechas con valores que oscilaron entre 6,5 a 8,0 cm. El largo del fruto evidenció leves variaciones, los valores estuvieron de 8 a 12 cm en frutos de la segunda cosecha y de 9 a 11,6 en los de la tercera cosecha. Para el peso de frutos los valores se oscilaron entre 120 a 165 g en la cosecha dos y entre 100 a 150 g para la cosecha tres.

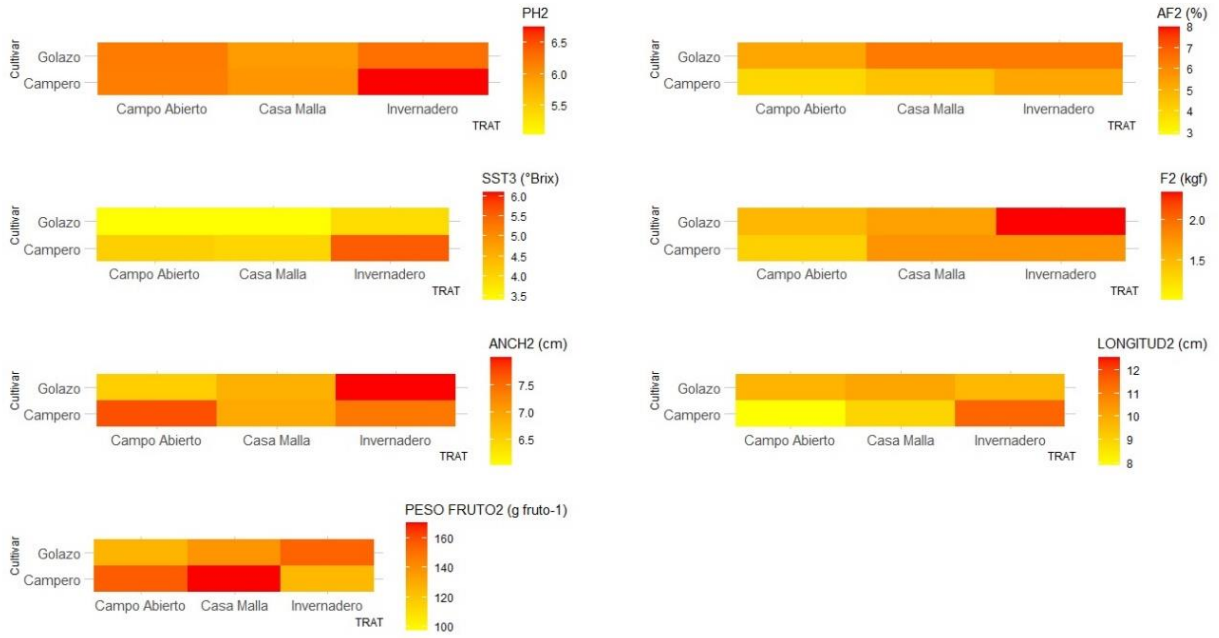


Figura 37. *Variables asociadas a la calidad del fruto que no dieron diferencias estadísticamente significativas en la segunda cosecha*

Teniendo en cuenta los datos reportados en la investigación, la mayoría de las variables están fuera de los rangos reportados por diferentes autores, como lo es el caso de Rathnayaka *et al.* (2021) en su estudio con cultivares de pimentón sometidos a estrés hídrico y estrés salino revelo que los valores de solidos solubles totales están entre 5,56 a 10,7 °Brix y 7,86 a 10,36 °Brix respectivamente. Por tota parte Urrestarazu *et al.* (2002) en su estudio sobre técnicas culturales y calidad del pimiento muestra que los valores de firmeza del fruto varían entre 4,7 a 5,4 kg y los de solidos solubles entre 6,1 a 6,4 °Brix.

Un trabajo sobre la influencia de la variedad, portainjerto y época de cosecha en la calidad e índices de madurez en pimiento morrón (Palacio Márquez y Sánchez Chávez, 2017), y resistencia a *Phytophthora capsici* Leonian (Sánchez Chávez *et al*. 2015) muestran que los valores asociados a la calidad del fruto son los siguientes; acidez titulable (0,18 a 0,28 % de ácido málico), firmeza (6,63 a 8,67 kg.f), solidos solubles totales (6 a 8,5 °Brix), largo (8,28 a 9,80 cm), diámetro (8,06 a 8,90 cm) y peso (172,4 a 211,6 g).

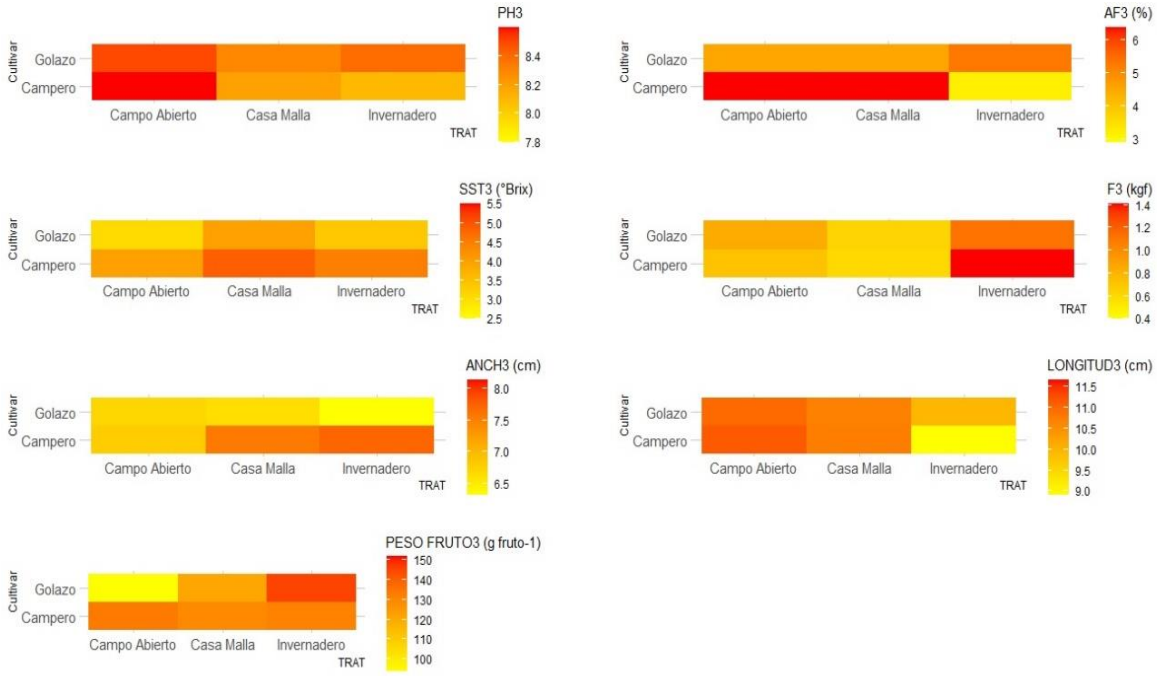


Figura 38. Variables asociadas a la calidad del fruto que no dieron diferencias estadísticamente

Con respecto a campo abierto Llanes *et al.* (2015) en un estudio de cultivares de pimentón resistentes a *Potyvirus* evaluó variables asociadas a la calidad y obtuvo los siguientes resultados, largo (7,70 a 9,92 cm), diámetro (5,92 a 9,35 cm), acidez titulable (0,06 a 0,16 % de ácido málico), solidos solubles totales (4,5 a 5,5 °Brix) y pH (5,57 a 6,31). Hernández-Fuentes *et al*. (2010) en su investigación sobre el comportamiento de pimentón en poscosecha por efecto de fertilización

química y orgánica también reporto valores de calidad para las variables pH (5,82 a 6,08), solidos solubles (3,90 a 5,73 °Brix) y acidez titulable (0,09 a 0,12 % de ácido málico).

Las variables asociadas a la calidad del fruto están influenciadas por factores adicionales que permiten o no un buen desarrollo del fruto, por ejemplo, una elevada temperatura (sin superar la máxima recomendada) repercute en la rapidez del desarrollo del fruto. La duración e intensidad de la radiación influyen de manera directa en la calidad, es decir una alta RFA puede ocasionar daños en frutos por golpe de sol, como fue el caso en la presente investigación, en donde campo abierto evidenció las mayores pérdidas. Por otro lado, una alta humedad relativa puede favorecer la aparición de patógenos causantes de enfermedades. Otro factor importante es el riego, debido a que un riego inadecuado puede generar reducción en la calidad organoléptica de los frutos (acidez, solidos solubles, pH, firmeza, forma, tamaño, color, olor, entre otros), riegos excesivos pueden generar agrietamientos, riegos escasos reducen el tamaño de los frutos y riegos abundantes, seguidos de riegos escasos pueden generar muerte celular en las hojas de la planta, reduciendo la tasa fotosintética y por ende la producción de frutos. (Casilimas *et al*., 2012)

A parte de los factores anteriormente mencionados existen otros que también influyen en la calidad del fruto, como lo son, el tipo de suelo, el material inicial de siembra, fertilización, control de malezas, edad de la planta, época de cosecha, entre otros. (Casilimas et *al*., 2012)

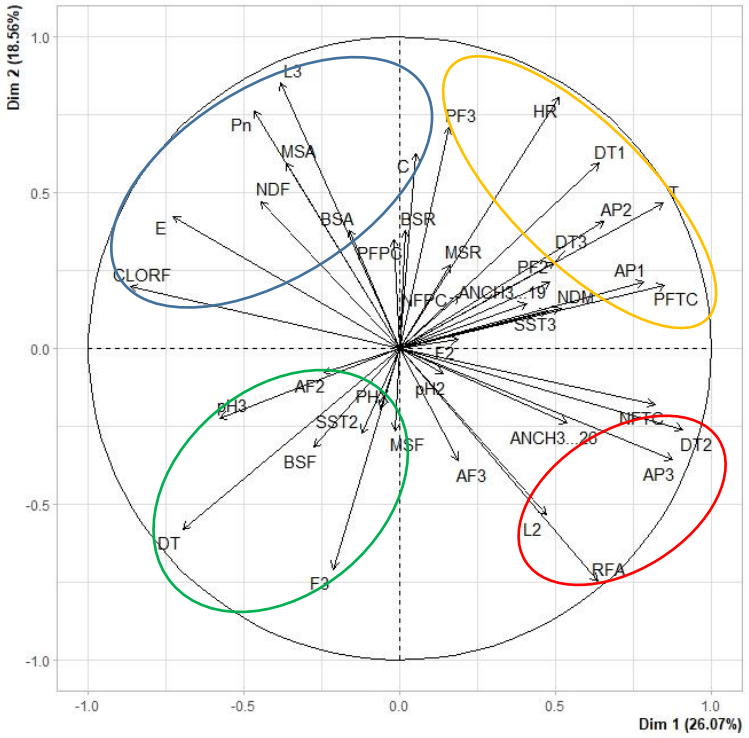


Figura 39. Análisis de componentes principales de las variables asociadas al clima, fisiología de la planta, agronomía del cultivo y calidad del fruto.

El análisis de los principales parámetros asociados al clima, fisiología de la planta, agronomía del cultivo y calidad del fruto, se analizaron mediante un análisis multivariado de componentes principales (ACP), permitiendo establecer la asociación de los parámetros en dos componentes principales (Dim1 y Dim2), los cuáles son capaces de explicar casi el 50% de la variacion obtenida (Figura 39).

El cuadrante superior derecho muestra correlación positiva entre las variables climáticas: temperatura (T) y humedad relativa (HR), y Agronómicas: diametro del tallo (DT1), peso del fruto (PF), altura de planta (AP1 Y AP2) y peso de frutos de tercera categoria (PFTC). Sin embargo, se evidencia correlación negativa de la T y la HR con respecto al diferencial termico (DT) y las variabless asociadas a la calidad del fruto. Estos resultados contrastan con los encontrados por

por Mendoza-Villarreal *et al.* (2021) en su análisis de componentes principales, en donde hace referencia que las variables asociadas a la calidad del fruto pueden verse afectadas por el tipo de malla y ambiente de siembra.

En el cuadrante superior izquierdo se observa relación directamente proporcional entre las variables asociadas a la Fisiologia, tales como: fotosintesis (Pn), traspiracion (E), clorofila (CLORF), conductancia estomatica (C), porcentaje de materia seca aerea (MSA), número de dias a floración (NDF) y peso seco aereo (BSA); pero también existió relacion inversa de la radiacion fosinteticamente activa (RFA) con estas variables, especialmente con la fotosintesis y la traspiracion, coincidiendo con lo dicho por Kitta *et al.* 2014 y Bastías *et al*. 2012, los cuales hacen referencia sobre la alteración en el desarrollo fisiológico de la planta de pimentón por tasas altas o bajas de RFA.

El cuadrante inferior izquierdo evidencia relación positiva entre el diferencial termico (DT) y las variables asociadas a la calidad organoléptica del fruto tales como pH, firmeza (F), sólidos solubles totales (SST) y acidez titulable (AF). Pero negativa con respecto a la temperatura (T).

Por último, en el cuadrante inferior derecho existe correlación positiva entre las variables radiación fotosinteticamente activa (RFA), altura de la planta (AP), diametro del tallo (DT2), ancho del fruto (ANCH) y número de frutos de tercera categoria (NFTC). Sin embargo, la correlación fue negativa con respecto a las variables asociadas a la fisiología del cultivo, mas especificamente entre la RFA y la Pn.

La RFA es muy importante en la fisiología de las plantas, debido a que de ella depende la eficiencia fotosintética (Runkle y Heins, 2006). Valores bajos de RFA pueden inducir respuestas morfogenéticas tales como: aumento del área foliar, alargamiento y poca lignificación de tallos y entrenudos (Bastías *et al*., 2012); mientras que valores altos ocasionan perdidas por calidad, tales como: daños por golpe de sol, agrietamiento y coloración irregular de frutos; además de alteración en la productividad y rendimiento del cultivo (Kitta *et al.* 2014).

Luna (2020) menciona que los factores que afectan las variables fisiológicas son diversos. Así mismo Azcón-Bieto *et al.* (2013) señalan que la tasa fotosintética alcanza su máximo nivel en condiciones hídricas optimas y cantidades adecuadas de CO2, radiación solar y temperatura. La fotosíntesis puede variar significativamente entre especies de plantas y también en función de la disponibilidad de nutrientes en el suelo.

Variaciones en la temperatura puede acelerar el metabolismo de la planta y su fenología, así como alterar los valores de las variables asociadas al intercambio gaseoso (fotosíntesis, conductancia estomática, traspiración, diferencial térmico, entre otras) Solis (2016) y Berríos *et al.,* (2007). Con respecto a la humedad relativa, valores altos favorecen el desarrollo de enfermedades y dificultan la fecundación; mientras que valores bajos pueden provocar caída de flores y frutos recién formados, así como malformaciones González *et al.* (2019).

En terminos generales, la tendencia del comportamiento de las variables asociadas a la agronomía del cultivo, fisiología de la planta y calidad del fruto, es que son fuertemente influenciadas por el ambiente, particularmente cuando están sometidas a estrés de tipo térmico, hídrico, salino y otros, llegando afectar su desarrollo fenológico (Haghighi y Barzegar, (2018); Yasin *et al*. (2018); Giancarla *et al*. (2020), Aldana et al. 2014 y Giancarla *et al*. 2017).

6 Conclusión

La dinámica de la temperatura y la humedad relativa en campo abierto registró mayor estabilidad comparado con casa malla e invernadero.

Las variables asociadas a la fisiología de un cultivo dependen en gran medida de las variaciones de los datos climáticos del área de siembra.

En la zona evaluada, casa malla fue el escenario más promisorio para el establecimiento, desarrollo y rendimiento de frutos de pimentón. Adicionalmente, el cultivar Golazo fue el que obtuvo rendimientos por encima del promedio nacional, siendo una alternativa de siembra viable para los productores del Departamento del Magdalena.

Las variables asociadas a la biomasa de la planta y calidad organoléptica del fruto exhibieron tendencias similares, sin alteración significativa entre los ambientes de siembra evaluados. Por otro lado, la exposición directa y prolongada de la radiación en campo abierto ocasiona daños por golpe de sol en el fruto, causando pérdida de calidad de la producción obtenida.

7 Bibliografía

Aguilera, M.; Reina, Y.; Orozco, A.; Yabrudy, J.; Barcos, R. 2013. Composición de la economía de la región Caribe de Colombia. Ensayos sobre economía regional No. 53. Banco de la Republica. 66p

Aldana, F., García, P. N., & Fischer, G. (2014). *Effect of waterlogging stress on the growth, development and symptomatology of cape gooseberry (Physalis peruvianaL.) plants. Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, *38*(149), 393-400.

Alemán Pérez, R. D., Domínguez Brito, J., Rodríguez Guerra, Y., Soria Re, S., Torres Gutiérrez, R., Vargas Burgos, J. C., ... & Alba Rojas, J. L. (2018). *Indicadores morfofisiológicos y productivos del pimiento sembrado en invernadero ya campo abierto en las condiciones de la Amazonía ecuatoriana*. *Centro Agrícola*, *45*(1), 14-23.

Antony, E., & Singandhupe, R. B. (2004). *Impact of drip and surface irrigation on growth, yield and WUE of capsicum (Capsicum annum L.). Agricultural water management*, *65*(2), 121-132.

Arthurs, S. P., Stamps, R. H., & Giglia, F. F. (2013). *Environmental modification inside photoselective shadehouses. HortScience, 48*(8), 975-979.

Ayala Tafoya, F., Sánchez Madrid, R., Partida Ruvalcaba, L., Yáñez Juárez, M. G., Ruiz-Espinosa, F. H., Velázquez Alcaraz, T. D. J., ... & Parra Delgado, J. M. (2015). *Producción de pimiento morrón con mallas sombra de colores. Revista fitotecnia mexicana*, *38*(1), 93-99.

Azcón-Bieto, J., Fleck, I., Aranda, J., y Gómez-Casanovas, N. (2013). Fotosíntesis, factores ambientales y cambio climático. Fundamentos de fisiología vegetal (p. 247). http://biblio3.url.edu.gt/Publi/Libros/2013/FisioVegetal/13.pdf

Bastías, R. M., Manfrini, L., & Grappadelli, L. C. (2012). Exploring the potential use of photo-selective nets for fruit growth regulation in apple. *Chilean Journal of Agricultural Research*, *72*(2), 224.

Basso, C., Rodríguez, G., Rivero, G., León, R., Barrios, M., & Padilla, G. D. (2019). Respuesta del cultivo de maracuyá (Passiflora edulis Sims) a condiciones de estrés por inundación. Bioagro, 31(3), 185-192.

Berríos Ugarte , M., Arredondo Belma, C, & Tjalling Holwerda, H. (2007). *Guía de manejo de nutrición vegetal de especialidad pimiento*. the worldwide business formula (SQM). Santiago de Chile [acceso 21/12/2020]. Obtenido de https://universidadagricola.com/wp-content/uploads/2018/05/Nutricion-Vegetal-en-pimiento.pdf

Bijalwan, P., & Mishra, A. C. (2016). *Correlation and path coefficient analysis in chilli (Capsicum annuum L.) for yield and yield attributing traits. International Journal of Science and Research*, *5*(3), 1589-1592.

Borisev, M., Krstic, B., Gvozdenovic, D., & Gvozdanovic-Varga, J. (2012). *Photosynthesis and water use efficiency relations to yield of ten pepper varieties (Capsicum annuum L.*). *Bulg J Agric Sci*, *18*, 589-594.

Bournet, P. E., & Boulard, T. (2010). Effect of ventilator configuration on the distributed climate of greenhouses: A review of experimental and CFD studies. *Computers and electronics in agriculture*, *74*(2), 195-217.

Carmona, F. (18 de Octubre de 2015). *Pimiento dulce italiano [Imagen] España.* [acceso 1/2/2021]. Obtenido de https://evogarden.wordpress.com/2015/10/18/pimiento-dulce-italiano-italian-sweet-pepper-susser-italienischer-paprika/

Casilimas, H., Monsalve, O., Bojacá, C. R., Gil, R., Villagrán, E., Arias, L. A., & Fuentes, L. S. (2012)). *Manual de producción de pimentón bajo invernadero*. Universidad Jorge Tadeo Lozano. Bogota. [acceso 10/1/2021]. Obtenido de http://avalon.utadeo.edu.co/servicios/ebooks/manual_pimenton/files/assets/common/downloads/Manual%20de%20producci.pdf

Centro Agronómico Tropical de Investigación, & Enseñanza. Programa de Mejoramiento de Cultivos Tropicales. (1993). *Guía para el manejo integrado de plagas del cultivo de chile dulce* (No. 201). CATIE. Turrialba, Costa Rica. Informe Técnico No. 201. [acceso 12/1/2021]. Obtenido de http://repositorio.bibliotecaorton.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/2261/Guia_para_el_manejo_chile.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Collahuazo Ramos, M. E. (2017). Estudio de la aplicación de radiación gamma sobre la calidad de tres variedades de pimiento (Capsicum annuum) mínimamente procesado [Trabajo de Fin de Grado, Escuela Politécnica Nacional]. Repositorio Digital Institucional, Quito. [acceso 2/2/2021]. Obtenido de https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/17912/1/CD-8105.pdf

Collantes Cevallos, J. M. (2015). *Estudio de dos tipos de fertilizantes químicos y orgánicos en dos híbridos comerciales de pimiento (Capsicum annun L) en la parte alta de la Cuenca del Río Guayas*. *[Trabajo de Fin de Grado, Universidad Técnica Estatal de Quevedo].* Repositorio Digital UTEQ. Quevedo, Los Rios, Ecuador [acceso 12/2/2021]. Obtenido de https://repositorio.uteq.edu.ec/bitstream/43000/22/1/T-UTEQ-0008.pdf

Cooman,A.(2002). Feasibility of protected tomato cropping in the high altitude tropics using stati stical and system dynamic models for plant growth and development.

Corpoica (Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria) y Gobernación de Antioquia. *Modelo productivo del pimentón bajo condiciones protegidas en el Oriente antioqueño*; 2014 [acceso 21/12/2020]. Disponible en:

https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/13748/75921_65804.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Cruz-Andrés, O. R., Pérez-Herrera, A., Martínez-Gutiérrez, G. A., & Morales, I. (2018). Cubiertas de macrotúneles y su efecto en las propiedades nutraceúticas del chile de agua. *Revista fitotecnia mexicana*, *41*(4A), 555-558.

DANE (Departamento Administrativo Nacional de Estadística), 2015. *El cultivo del pimentón (Capsicum annuum L) bajo invernadero*. Bogotá. [acceso 21/11/2020]. Obtenido de https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/agropecuario/sipsa/Bol_Insumos_jul_2015.pdf

Elizondo Cabalceta, E., & Monge Pérez, J. E. (2017a). *Caracterización morfológica de 15 genotipos de pimiento (Capsicum annuum) cultivados bajo invernadero en Costa Rica*. *InterSedes*, *18*(37), 129-154.

Elizondo Cabalceta, E., & Monge Pérez, J. E. (2017b). *Evaluación de calidad y rendimiento de 12 genotipos de chile dulce (Capsicum annuum L.) cultivados bajo invernadero en Costa Rica. Revista Tecnología en Marcha*, *30*(2), 36-47.

Elizondo Cabalceta, E., & Monge Pérez, J. E. (2017c). *Evaluación de rendimiento y calidad de 15 genotipos de pimiento (Capsicum annuum L.) cultivados bajo invernadero en Costa Rica. Revista Tecnología en Marcha*, *30*(4), 3-14.

Elizondo Cabalceta, E., & Monge Pérez, J. E. (2019). *Pimiento (Capsicum annuum) cultivado bajo invernadero: correlaciones entre variables. Posgrado y Sociedad*, *17*(2), 33-60.

Erwin, J., Hussein, T., & Baumler, D. J. (2019). *Pepper Photosynthesis, Stomatal Conductance, Transpiration, and Water Use Efficiency Differ with Variety, Indigenous Habitat, and Species of Origin. HortScience*, *54*(10), 1662-1666

Eshbaugh, W. H. (2012). *The taxonomy of the genus Capsicum. Peppers: Botany, production and uses*, 14-28.

EVA, (2019). Evaluaciones Agropecuarias - Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR). [acceso 20/02/2021]. Disponible en: https://www.datos.gov.co/Agricultura-y-Desarrollo-Rural/Evaluaciones-Agropecuarias-Municipales-EVA/2pnw-mmge

EVA, (2019). Evaluaciones Agropecuarias - Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR). [acceso 20/02/2021]. Disponible en: https://www.datos.gov.co/Agricultura-y-Desarrollo-Rural/Evaluaciones-Agropecuarias-Municipales-EVA/2pnw-mmge

Everhart, E. R., Hansen, R., Lewis, D., Naeve, L., & Taber, H. (Enero de 2010). *Manual para la producción de frutas y verduras en túneles altos en Iowa*. Lowa State University. Estados Unidos. [acceso 15/1/2021]. Obtenido de https://lib.dr.iastate.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1045&context=extension_pubs

García, A. T., Ardisana, E. F. H., Téllez, O. F., García, J. L. C., Muñoz, J. A. M., Aguilar, R. L., & Bravo, S. P. (2019). *Respuesta del pimiento (Capsicum annuum L.) ante aplicaciones foliares de diferentes dosis y fuentes de lixiviados de vermicompost. Bioagro*, *31*(3), 213-220.

Giancarla, V., & Camen, D. (2017). *Impact of salt stress (NaCl) on chlorophyll content of some genotypes of pepper* (Capsicum annum L.). *JOURNAL of Horticulture, Forestry and Biotechnology*, *21*(3), 122-125

Giancarla, V., Madoșă, E., Ciulca, S., Adriana, C., Camen, D., & Iuliana, C. (2020). *Effects of salinity stress on some physiological parameters in pepper (Capsicum annuum L.) cultivars. JOURNAL of Horticulture, Forestry and Biotechnology*, *24*(1), 61-64.

Góngora Corral, J. A. (2012). *Influencia del portainjertos en la calidad del pimiento" tipo ramiro" en invernadero. [Trabajo de Fin de Grado, Universidad De Almería].* Repositorio Digital UAL. Almería, España. [acceso 10/1/2021]. Obtenido de http://repositorio.ual.es/bitstream/handle/10835/1917/Influencia%20del%20portainjertos%20en%20la%20calidad%20del%20pimientoJose%20Antonio%20G%c3%b3ngora.pdf?sequence=1&isAllowed=y

González, C. V., Cortés, V. G., Caiconte, P. C., Rodríguez, M. B., Fuentes, J. F., Figueroa, Á. V., ... & Cruz, C. C. (2019). *Evaluación de desempeño de un invernadero ubicado en el desierto de Atacama, Chile, a través de IoT. Interciencia*, *44*(7), 386-393.

Haghighi, M., & Barzegar, M. R. (2018). *Growth, yield index, and photosynthesis traits of sweet pepper grown in vermicompost inoculated with Arbuscular mycorrhiza. Iran Agricultural Research, 37*(2), 69-80.

Hernández-Fuentes, A. D., Montiel, R. C., & Pinedo-Espinoza, J. M. (2010). Comportamiento poscosecha de pimiento morron (Capsicum annum L.) var. california por efecto de la fertilización química y aplicación de lombrihumus. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, *11*(1), 82-91.

Holdridge, L. R. 1967. *Life zone ecology*. Tropical Science Center. San José, Costa Rica. 149 p. http://reddcr.go.cr/sites/default/files/centro-de-documentacion/holdridge_1966_-_life_zone_ecology.pdf

Hulse-Kemp, A. M., Ashrafi, H., Plieske, J., Lemm, J., Stoffel, K., Hill, T., ... & Van Deynze, A. (2016). A *HapMap leads to a Capsicum annuum SNP infinium array: a new tool for pepper breeding. Horticulture research*, *3*(1), 1-10.

ICA (Instituto Colombiano Agropecuario), 2003. Boletín De Epidemiología 2003. PRODUMEDIOS. COLOMBIA. [acceso 7/2/2021] Disponible En. https://www.ica.gov.co/getattachment/9f5f1694-d031-49f4-bac1-f88d55b91ace/Publicacion-7.aspx

Iddio, E., Wang, L., Thomas, Y., McMorrow, G. y Denzer, A. (2020). *Operación y modelado energéticamente eficientes para invernaderos: una revisión de la literatura. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 117*, 109480

Impulsemillas. 2021(a) Campero. Bogotá, Colombia [acceso 13/3/2021]. Disponible En https://www.impulsemillas.com/documentos/fichas/PIMENTON-CAMPERO.pdf

Impulsemillas. 2021(b). Golazo. Bogotá, Colombia [acceso 13/3/2021]. Disponible En https://www.impulsemillas.com/documentos/fichas/PIMENTON-GOLAZO.pdf

Infoagro. 2020. El cultivo del pimentón. Bogotá, Colombia [acceso 13/11/2020]. Disponible En. https://www.infoagro.com/hortalizas/pimiento.htm

Informaciones Agronómicas, 2016. [Imagen]. [acceso 13/2/2021]. Disponible en: https://agronoticias2012.blogspot.com/2016/02/medidas-preventivas-en-cultivo-de.html

Jarma Orozco, A., Cardona Ayala, C., & Araméndiz Tatis, H. (2012). Efecto del cambio climático sobre la fisiología de las plantas cultivadas: Una revisión. Universidad de Córdoba. Montería, Colombia. [acceso 10/1/2021]. Disponible en https://revistas.udca.edu.co/index.php/ruadc/article/view/803/893

Juárez Lopez, P., Bugarín Montoya, R., Castro Brindis, R., Sanchez Monteon, A. L., Cruz Crespo, E., Juárez Rosete, C. R., Alejo Santiago, G & Balois Morales, R. (2011). Estructuras utilizadas en la agricultura protegida. Universidad Autónoma de Nayarit. *Repositorio Institucional*

ARAMARA. México. [acceso 18/1/2021]. Disponible en http://dspace.uan.mx:8080/jspui/bitstream/123456789/567/1/Estructuras%20utilizadas%20en%20la%20agricultura%20protegida.pdf

Juárez Maldonado, A., de Alba Romenus, K., Zermeño González, A., Ramírez, H., & Benavides Mendoza, A. (2015). Análisis de crecimiento del cultivo de tomate en invernadero. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, *6*(5), 943-954.

Jung, D. H., Hwang, I., Shin, J., & Son, J. E. (2021). *Analysis of leaf photosynthetic rates of hydroponically-grown paprika (Capsicum annuum L.) plants according to vertical position with multivariable photosynthesis models. Horticulture, Environment, and Biotechnology, 62*(1), 41-51.

Kitta, E., Katsoulas, N., Kandila, A., González-Real, M. M., & Baille, A. (2014). *Photosynthetic acclimation of sweet pepper plants to screenhouse conditions. HortScience*, *49*(2), 166-172.

Latournerie Moreno, L. (2013). *Valor agronómico de germoplasma de chile dulce (capsicum annuum l.) En yucatán, méxico.* Universidad y Ciencia, Tabasco, México. acceso 10/2/2021]. Disponible en http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0186-29792013000300002

Llanes, Y. R., González, C. M. C., Rodríguez, S. R., García, J. M., Guillén, A. H., González, L. H., & Rojo, N. A. (2015). *Nuevas variedades de pimiento para campo abierto con buena calidad del fruto, resistentes a potyvirus. Agrotecnia de Cuba*, *39*(2).

Loor Dominguez, P, J. (2020) *Aplicación De Tres Dosis De Activadores Fisiológicos Y Fertilizantes Compuestos En El Cultivo De Pimiento (Capsicum annuum L.), En Milagro, Guayas [Trabajo de Fin de Grado, Universidad Agraria del Ecuador].* Repositorio Digital UAGRARIA. Milagro, Ecuador. [acceso 10/3/2021]. Disponible en https://cia.uagraria.edu.ec/Archivos/LOOR%20DOMINGUEZ%20PETTER%20JOSEPH%20.pdf

Luna, F. R. (2020). *Respuesta ecofisiológica del pimiento morrón a la frecuencia de fertirriego y al volumen de suelo sustituido por perlita en la zona radicular de la planta*. *[Trabajo de Fin de Grado, Centro de Investigación en Quimica Aplicada].* Repositorio Institucional. Santillo, Mexico. [acceso 11/3/2021]. Disponible en https://ciqa.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1025/635/1/Tesis%20MAP%20Fernando%20Ram%c3%adrez%20Luna-2020.pdf

Luna-García, L. R., Robledo-Torres, V., Vásquez-Badillo, M. E., Ramírez-Godina, F., & Mendoza-Villarreal, R. (2018). *Hibridación entre diferentes tipos de chiles y estimación de la heterosis para rendimiento y calidad de fruto. ITEA. Información técnica económica agraria: revista de la Asociación Interprofesional para el Desarrollo Agrario (AIDA)*, *114*(2), 119-134.

Maboko, M. M., Du Plooy, C. P., & Chiloane, S. (2012). *Effect of plant population, stem and flower pruning on hydroponically grown sweet pepper in a shadenet structure. African Journal of Agricultural Research*, *7*(11), 1742-1748.

Mata, N. J. M., & Ramos, H. D. C. B. (2012). *Comportamiento agronómico de siete cultivares de pimentón (Capsicum annuum L.). Revista Científica UDO Agrícola*, *12*(1), 32-44.

Mendoza-Villarreal, R., Robledo-Torres, V., Pérez-Rodríguez, M. Á., Guillén-Enríquez, R. R., Martínez-Cueto, V., & Paredes-Jácome, J. R. (2021). *Impacto de cubierta, ecotipo y endomicorriza en morfología y calidad de chile piquín. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, *12*(2), 193-204.

Monsalve, M. & Rosado, M. M. (2020). Estudio fenológico de 3 variedades de Pimentón (Capsicum annuum L.) en el municipio de Valledupar departamento del Cesar. *[Trabajo de Fin de Grado, Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD)].* Repositorio Institucional UNAD. Valledupar, Colombia. [acceso 1/3/2021]. Disponible en https://repository.unad.edu.co/handle/10596/34708.

Naor, A. (1999). *Midday stem water potential as a plant water stress indicator for irrigation scheduling in fruit trees. In III International Symposium on Irrigation of Horticultural Crops 537* (pp. 447-454).

Nuez F, Gil R. & Costa J. 1996. El cultivo de pimientos, chiles y ajies, Ediciones Mundi-prensa. Madrid, España,

Ocaña-Romo, C. R. 2008. *En crecimiento. Desarrollo de invernaderos en México. Hortalizas. México.* [acceso 1/3/2021]. Disponible en www.hortalizas.com.

Orellana Benavides, F. E., Escobar Betancourt, J. C., Morales de Borja, A. J., Méndez de Salazar, I. S., Cruz Valencia, R. A., & Castellón Hernández, M. E. (2000). Guía técnica: Cultivo de chile dulce. Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal (CENTA), San Salvador (El Salvador). [acceso 1/11/2020]. Disponible en http://simag.mag.gob.sv/uploads/pdf/201412011299.pdf

Organización de las Naciones Unidas Para La Agricultura Y Alimentación (FAO), 2019 http://www.fao.org/faostat/es/#rankings/countries_by_commodity_imports

Ortiz, R. (2012). El cambio climático y la producción agrícola. *Banco Interamericano de Desarrollo*, p13-17.

Ou, L. J., & Zou, X. X. (2012). *The photosynthetic stress responses of five pepper species are consistent with their genetic variability. Photosynthetica*, *50*(1), 49-55

Palacio Márquez, A., & Sánchez Chávez, E. (2017). Influence of the variety, rootstock and harvest time on the quality and maturity indices in Bell pepper. *Nova scientia*, *9*(19), 1-23.

Paredes-Jácome, J. R., Mendoza-Villarreal, R., Perez-Rodriguez, M. Á., Robledo-Torres, V., & Moreno-Limón, S. (2019). *Agronomic behavior of piquin pepper ecotypes under photoselective covers. Revista Chapingo Serie Horticultura*, *11*(1)

Pérez, J. E. M., & Coto, M. L. (2018). *Producción de chile dulce (Capsicum annuum) en invernadero: efecto de densidad de siembra y poda*. *Posgrado y Sociedad Revista Electrónica del Sistema de Estudios de Posgrado*, *16*(2), 19-38.

Pino, M., Campos, A., & Saavedra, J. (2018). *Pimientos para la industria de alimentos e ingredientes*. Boletín INIAN No 360. Santiago, Chile. [acceso 2/11/2020]. Disponible en http://bibliotecadigital.ciren.cl/bitstream/handle/123456789/31541/INIA_Libro_0065.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Pujar, U. U., Tirakannanavar, S., Jagadeesha, R. C., Gasti, V. D., & Sandhyarani, N. (2017). *Genetic variability, heritability, correlation and path analysis in chilli (Capsicum annuum L.). International Journal of Pure & Applied Bioscience*, *5*(5), 579-586.

Quesada Roldán, G. (2015). *Producción de chile dulce en invernadero bajo diferentes niveles de agotamiento en la humedad del sustrato. Agronomía costarricense*, *39*(1), 25-36.

Ramírez-Vargas, C., & Nienhuis, J. (2012). *Cultivo protegido de hortalizas en Costa Rica. Revista Tecnología en Marcha*, 25(2), ág-10.

Rathnayaka, r. M. S. M. B., Kobayashi, m., Minami, m., Nemoto, k., & Matsushima, K. (2021). Relationship between the soluble solids metric Brix and other traits in Capsicum peppers. Shinshu University. No.19 p.55-p.69

Ridzuan, R., Rafii, M. Y., Mohammad Yusoff, M., Ismail, S. I., Miah, G., & Usman, M. (2019). *Genetic diversity analysis of selected Capsicum annuum genotypes based on morphophysiological, yield characteristics and their biochemical properties. Journal of the Science of Food and Agriculture*, *99*(1), 269-280.

Righi, E. Z., Buriol, G. A., Angelocci, L. R., Heldwein, A. B., & Tazzo, I. F. (2012). *Relationships of photosynthetic photon flux density, air temperature and humidity with tomato leaf diffusive conductance and temperature. Brazilian Archives of Biology and Technology*, *55*(3), 359-370.

Ripa, R. (1986). Estudio de plantas hospederas de la larva de burrito de los frutales Naupactus xanthographus (Germar). *Agricultura Técnica*. v. 46(1) p. 15-19. Chile

Ripa, R. (1992). Burrito de los frutales Naupactus xanthographus (Germar). *Boletin Tecnico-Instituto de Investigaciones Agropecuarias*. No. 192. La Cruz, Chile.

Ripa, R., & Rodríguez, F. (1989). Susceptibilidad de larvas de Naupactus xanthographus (Coleoptera: Curculionidae) a ocho aislamientos de Metarhizium anisopliae (Deuteromycotina: Hyphomycetes). Agricultura Técnica. v. 49(4) p. 336-340. Chile.

Rodríguez Pérez, N. (2017). Ensayo de tres variedades de pimiento, Capsicum annuum L. de tipo Lamuyo en dos tipos de invernaderos y en distintos sistemas de cultivo. *[Trabajo de Fin de Grado, Universidad de la Laguna].* Repositorio Institucional. La Laguna, España. [acceso 10/2/2021]. Disponible en https://riull.ull.es/xmlui/bitstream/handle/915/6348/Proyecto.%20REDACCION.%20ENUMERADO.%20Secciones.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Rosado-Souza, L., Scossa, F., Chaves, I. S., Kleessen, S., Salvador, L. F., Milagre, J. C., ... & Nunes-Nesi, A. (2015). *Exploring natural variation of photosynthetic, primary metabolism and growth parameters in a large panel of Capsicum chinense accessions. Planta*, *242*(3), 677-691.

Runkle, E. S., & Heins, R. D. (2006). *Manipulating the light environment to control flowering and morphogenesis of herbaceous plants. In V International Symposium on Artificial Lighting in Horticulture 711* (pp. 51-60).

Samaniego-Cruz, E., Quezada-Martin, M. R., De La Rosa-Ibarra, M., Munguía-López, J., Benavides-Mendoza, A., & Ibarra-Jiménez, L. (2002). *Tomato and bell pepper seedlings production under reflecting polyethylene covers to decrease temperature in greenhouse. Agrociencia*, *36*(3), 305-318.

Sánchez Chávez, E., Torres González, A., Flores Córdova, M. A., Preciado Rangel, P., & Márquez Quiroz, C. (2015). Uso de portainjerto sobre el rendimiento, calidad del fruto y resistencia a Phytophthora capsici Leonian en pimiento morrón. *Nova scientia*, *7*(15), 227-244.

Sánchez, E. I. G., Ávila, J. A., & Muñoz, R. B. (2011). *La agricultura protegida en Tlaxcala, Méjico: La adopción de innovaciones y el nivel de equipamiento como factores para su categorización. TEUKEN BIDIKAY*. Revista Latinoamericana de Investigación en Organizaciones, Ambiente y Sociedad., 2(2), 194-212

Santos, B., Obregón-Olivas, H., & Salamé-Donoso, T. (2010). *Producción de hortalizas en ambientes protegidos: estructuras para la agricultura protegida*. *Publicación HS1182. IFAS Extension, UF Department of Horticultural Sciences, University of Florida, Gainesville, FL*.

Scholander, PF, Bradstreet, ED, Hemmingsen, EA y Hammel, HT (1965). *Presión de la savia en las plantas vasculares: la presión hidrostática negativa se puede medir en las plantas. Science*, *148* (3668), 339-346.

Shahak, Y., Gal, E., Offir, Y., & Ben-Yakir, D. (2008, October). *Photoselective shade netting integrated with greenhouse technologies for improved performance of vegetable and ornamental crops. In International Workshop on Greenhouse Environmental Control and Crop Production in Semi-Arid Regions 797* (pp. 75-80).

Sharma, V. K., Semwal, C. S., & Uniyal, S. P. (2010). *Genetic variability and character association analysis in bell pepper (Capsicum annuum L.). Journal of Horticulture and Forestry*, *2*(3), 58-65.

Shi, X., An, X., Zhao, Q., Liu, H., Xia, L., Sun, X., & Guo, Y. (2019). *State-of-the-art internet of things in protected agriculture. Sensors*, 19(8), 1833

Sobrino Illescas, E. y Sobrino Vesperinas, E. (1992). *Tratado de horticultura herbacea: 2. hortalizas de legumbre, tallo, bulbo y tuberosas*. Editorial Aedos. Barcelona, España

Solís, A. (2016). *El pimiento en invernadero con fertirrigación*. Universidad Autónoma del Estado de México. Estado México, México. [acceso 10/11/2020]. Disponible en http://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/63705/secme-11279.pdf?sequence=1

Syngenta, 2021. *Pulgones en pimiento*. España. [acceso 9/2/2021]. Disponible en https://www.syngenta.es/cultivos/pimientos/plagas/pulgones

Taiz, L. Zeiger, E. 2006. Fisiología Vegetal. Universidad de California, Los Angeles. [acceso 9/2/2021]. Disponible en https://exa.unne.edu.ar/biologia/fisiologia.vegetal/FisiologiaVegetalVolumenII%20espanhol.pdf

Tanny, J. (2013). *Microclimate and evapotranspiration of crops covered by agricultural screens: A review. Biosystems Engineering*, *114*(1), 26-43.

ULMA Agrícola, 2015 [Imagen]. Gipuzkoa, España. [acceso 20/1/2021]. Disponible en: http://www.ulmaagricola.com/es/invernaderos/tunel/

Urrestarazu, M., Castillo, J., Salas, M., & CARMEN, D. (2002). Técnicas culturales y calidad del pimiento. *Horticultura*, *159*, 18-26.

Vallejo, F., & Estrada, S. (2004). *Producción de hortalizas de clima cálido. Universidad Nacional de Colombia. Sede Palmira*. Pag. 117

Xu, X., Xu, H., Wang, Y., Wang, X., Qiu, Y., & Xu, B. (2008). *The effect of salt stress on the chlorophyll level of the main sand-binding plants in the shelterbelt along the Tarim Desert Highway. Chinese Science Bulletin*, *53*(2), 109-111.

Yasin, N. A., Akram, W., Khan, W. U., Ahmad, S. R., Ahmad, A., & Ali, A. (2018). *Halotolerant plant-growth promoting rhizobacteria modulate gene expression and osmolyte production to improve salinity tolerance and growth in Capsicum annum L. Environmental Science and Pollution Research, 25*(23), 23236-23250.