



Innovaciones para la horticultura en ambientes protegidos en zonas cálidas: opción de intensificación sostenible de la agricultura familiar en el contexto de cambio climático en ALC.

INFORME FINAL

**Equipo ejecutor del proyecto
2022**





Códigos JEL: Q16

FONTAGRO (Fondo Regional de Tecnología Agropecuaria) es un mecanismo único de cooperación técnica entre países de América Latina, el Caribe y España, que promueve la competitividad y la seguridad alimentaria. Las opiniones expresadas en esta publicación son de los autores y no necesariamente reflejan el punto de vista del Banco Interamericano de Desarrollo (BID), del Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA), FONTAGRO, de sus directorios ejecutivos ni de los países que representan.

El presente documento ha sido preparado por Jorge Jaramillo Noreña, Leddy Roper Barboza; Rommel Igor Leon; Edwin Andres Villagran Munar de AGROSAVIA; Roberto Ramirez Matarrita del INTA, Jose Alberto Yau Quintero y Anobel Amet Barba Alvarado del IDIAP, César Martínez Mateo del IDIAF.

Copyright © 2022 Banco Interamericano de Desarrollo. Esta obra se encuentra sujeta a una licencia Creative Commons IGO 3.0 Reconocimiento-No Comercial- SinObrasDerivadas (CC-IGO 3.0 BY-NC-ND) (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/igo/legalcode>) y puede ser reproducida para cualquier uso no comercial otorgando el reconocimiento respectivo al BID. No se permiten obras derivadas. Cualquier disputa relacionada con el uso de las obras del BID que no pueda resolverse amistosamente se someterá a arbitraje de conformidad con las reglas de la CNUDMI (UNCITRAL). El uso del nombre del BID para cualquier fin distinto al reconocimiento respectivo y el uso del logotipo del BID no están autorizados por esta licencia CC-IGO y requieren de un acuerdo de licencia adicional. Note que el enlace URL incluye términos y condiciones adicionales de esta licencia.

Esta publicación puede solicitarse a:

FONTAGRO

Correo electrónico: fontagro@fontagro.org



CONTENIDO

Abstract	13
Resumen	15
Antecedentes	17
Objetivos	19
Objetivo general	19
Objetivos específicos	19
Metodología	20
Componente 1. Caracterización de los sistemas de producción hortícola y sus cadenas de valor en américa latina y el caribe.....	20
Producto 1: Estudio de diagnóstico de oportunidades y desafíos de los sistemas de producción hortícola y sus cadenas de valor ALC.....	20
Producto 2: Uso de herramientas de modelación y simulación numérica (cfd) para el diseño de estructuras de agricultura protegida adaptadas a las condiciones climáticas de tierras de baja altitud.....	60
Producto 3: Informe de resultados de la interacción cultivo–ambiente en los modelos de prototipos.	88
Evaluación del comportamiento ecofisiológico durante un ciclo de producción de diferentes especies de hortalizas en tres sistemas productivos.	88
Evaluar la respuesta agronómica en policultivos durante dos ciclos de producción en cuatro sistemas productivos.	94
Insectos plaga en especies hortícolas cultivadas bajo agricultura protegida en la región caribe colombiana	97
Enfermedades en hortalizas cultivadas en estructuras protegidas y campo abierto en la región Caribe colombiana	111
Viento	136
.....	144
Relación beneficio-costo con rendimientos de la época seca	145
Relación beneficio-costo con rendimientos de la época lluviosa	145
Diseño experimental:	152
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	152

Primer ciclo de cultivo	152
Altura de la planta.....	152
Diámetro del tallo de la planta	153
Determinar el efecto de la interacción cultivo-ambiente sobre la productividad de cultivares de ají en estructuras protegidas y en campo abierto.....	153
Segundo ciclo de cultivo	153
Rendimiento comercial.....	154
Determinar el efecto de la interacción cultivo-ambiente sobre el desarrollo de las plantas de cultivares de ajíes en estructuras protegidas y en campo abierto	154
Desarrollo de la planta:.....	154
Altura de la planta.....	154
Determinar el efecto de la interacción cultivo-ambiente sobre la calidad del fruto de cultivares de ajíes en estructuras protegidas y en campo abierto	155
Evaluación de calidad de frutos	155
Determinar el efecto de la interacción cultivo-ambiente en la incidencia de plagas insectiles en cultivares de ajíes en estructura protegida y en campo abierto.....	155
Plagas insectiles	155
Determinar el efecto de la interacción cultivo-ambiente en la incidencia y severidad de enfermedades en cultivares de ajíes en estructura protegida y en campo abierto.	156
Enfermedades	156
Determinar el efecto de la interacción cultivo-ambiente sobre la productividad de cultivares de ají en estructuras protegidas y en campo abierto.....	157
Tercer ciclo.....	157
Variables agroclimáticas	159
Determinar la rentabilidad de cultivares de ajíes en las estructuras protegidas y en campo abierto.	160
Rentabilidad	160
DISCUSIÓN.....	161
Caracterización edáfica.....	164
Características climáticas.....	164
Tratamientos y diseño experimental.....	164
Resultados.....	165
Evaluación entre sistemas productivos y variedades de calabacín durante dos ciclos productivos.....	165

Índice de Vegetación Diferencial Normalizado (NDVI).....	167
Análisis económico de los modelos de producción.....	171
DISCUSIÓN.....	172
COMPONENTE 3: Gestión del conocimiento y fortalecimiento de capacidades en innovaciones de horticultura protegida.	177
Producto 4. Recomendaciones para la promoción de estrategias de intensificación sostenible de la horticultura en condiciones de ambiente protegido.....	177
Producto 5. Propuesta de escalamiento de la agricultura protegida en ALC.	178
Producto 6: Publicaciones científicas, cartillas y/o folletos.	179
Artículo 1. Simulación del Comportamiento Térmico y Aerodinámico de una Casa de Malla Establecida bajo Condiciones de Clima Cálido Tropical: Un Enfoque Numérico	180
Artículo 2. Comportamiento micro climático de una casa pantalla propuesta para la producción hortícola en condiciones de clima tropical de baja altitud.	180
Artículo 3. Ventilación natural en invernadero con mallas anti-insecto evaluadas con un modelo computacional de fluidos.	180
Artículo 4. Análisis Numérico 3D del Comportamiento de la Ventilación Natural en un Invernadero Colombiano Establecido en Condiciones de Clima Cálido.....	180
Artículo 5. Comportamiento micro climático diurno, en temporada seca, de tres estructuras para agricultura protegida en el trópico seco.	180
Artículo 6. implementación de torres de ventilación en un invernadero establecido en condiciones de clima tropical de baja altitud: aproximación numérica al comportamiento de la ventilación natural.....	180
Artículo 7. Estudio numérico bidimensional del microclima generado en tres casas de malla para las condiciones climáticas del Caribe Colombiano.....	180
Artículo 9. simulación térmica de una casa de malla propuesta para la producción de frutas y verduras en las tierras bajas de Panamá.....	181
Producto 7: Plataforma de conocimiento en micrositio de la página web FONTAGRO.	183
Producto 8: talleres organizados.....	183
Producto 9: Individuos capacitados.....	188
Hallazgos destacados	189
Historias de campo	190
Discusión	191
Conclusiones	192
Recomendaciones.....	197

Indicadores técnicos.....199

Experiencias aprendidas210

 Colombia210

 Panamá211

 República Dominicana212

 Costa Rica.....213

Referencias Bibliográficas.....216

Instituciones participantes226

Lista de tablas

Tabla 1. Compra estimada de ají morrón en las cadenas de supermercados	43
Tabla 2. Compra estimada de ají cubanela en las cadenas de supermercados.....	43
Tabla 3. Consumo estimado de ají morrón en hoteles turísticos	44
Tabla 4. Tipo de sistema de producción utilizado en las fincas de hortalizas de Guanacaste, por sistema, valor absoluto y relativo	51
Tabla 5. Plagas más importantes en los sistemas productivos hortícolas de Guanacaste, de acuerdo con la cantidad de cultivos en los que se presentó y la cantidad (frecuencia) de unidades productivas que fueron afectadas.	52
Tabla 6. Estadísticas del número de agroquímicos utilizados en las unidades de producción hortícolas de Guanacaste. Valores promedio, máximos y mínimos para cada cultivo	53
Tabla 7. Parámetros de diseño para invernaderos ventilados naturalmente	63
Tabla 8. Parámetros de diseño contemplados para estructura de casa malla.....	64
Tabla 9. Efecto del ambiente de producción sobre la transpiración, diferencial térmico y clorofila en el cultivo de pimentón.....	89
Tabla 10. Parámetros productivos del cultivar de pimentón Golazo F1 en cuatro ambientes productivos. AGROSAVIA -CI Caribia, Magdalena (Colombia), 2021B.	127
Tabla 11. Evapotranspiración de referencia (ET _o) promedio de diciembre del 2019 a mayo del 2020, en cuatro sistemas productivos: Casa de malla de 5 m (SP1), Casa de malla de 3 m (SP2), Invernadero (SP3) y Campo abierto (SP4), desde diciembre del 2019 hasta mayo del 2020. (E.E.E.J.N., Cañas, Guanacaste).....	141
Tabla 12. Costos variables de los tratamientos para el experimento de 4 variedades de chile dulce (Capsicum annuum) en tres sistemas de ambiente protegido y un sistema a campo abierto, Costa Rica. 2020.	142
Tabla 13. Beneficios económicos de los tratamientos para el experimento de 4 variedades de chile dulce (Capsicum annuum) en tres sistemas de ambiente protegido y un sistema a campo abierto, Costa Rica. 2020.....	143
Tabla 14. Análisis de dominancia de los tratamientos para el experimento de 4 variedades de chile dulce (Capsicum annuum) en tres sistemas de ambiente protegido y un sistema a campo abierto, Costa Rica. 2020.....	144
Tabla 15. Cálculo de la tasa de retorno marginal (TRM) según el análisis de dominancia para los tratamientos no dominados, Costa Rica. 2022.	145
Tabla 16. Relación beneficio costo en la época seca entre el sistema productivo de invernadero (SP3), casa de malla de 3 m de altura (SP2), combinado los cultivares Canzion y Rojo Americano por contenedor de 40" (E.E.E.J.N., Cañas, Guanacaste).	145
Tabla 17. Relación beneficio costo en la época lluviosa entre el sistema productivo de invernadero (SP3), casa de malla de 3 m de altura (SP2), combinado los cultivares Rojo Americano y Amarillo Americano por contenedor de 40" (E.E.E.J.N., Cañas, Guanacaste).	146
Tabla 18. Material audiovisual producto del proyecto	182
Tabla 19. Lista de eventos presenciales realizados en el marco del proyecto.	184
Tabla 20. Indicadores técnicos	199

Lista de figuras

Figura 1. Número de actores encuestados por eslabón en la cadena de valor de hortalizas de los países Colombia, Costa Rica, Panamá y República Dominicana.	22
Figura 2. Representación general de la cadena de valor hortícola de Colombia	25
Figura 3. Mapa de la cadena de valor de hortalizas en la región Caribe de Colombia, con énfasis en Barranquilla, Cartagena y Santa Marta	28
Figura 4. Número de encuestas realizadas a eslabones o actores de la cadena de hortalizas en tres ciudades de la región Caribe de Colombia (Barranquilla, Cartagena y Santa Marta).	29
Figura 5. Destino de la producción de hortalizas por parte de los productores en la región Caribe de Colombia.	30
Figura 6. Principales tipos de productos hortícolas ofertados por comercializadores en tres ciudades de la región Caribe de Colombia.	31
Figura 7. Principales proveedores que abastecen a los comercializadores de hortalizas en la región Caribe de Colombia.	31
Figura 8. Lugares de origen de los productos hortícolas de los cuales se abastecen los comercializadores, en tres ciudades de la región Caribe de Colombia (Barranquilla, Cartagena y Santa Marta).	32
Figura 9. Principales fuentes de las cuales se abastecen los consumidores y la agroindustria en la cadena de valor de hortalizas en la región Caribe.	33
Figura 10. Mapa de las zonas hortícolas estudiadas y ruta de investigación.	34
Figura 11. Flujograma de la cadena de valor de hortalizas en Panamá.	35
Figura 12. Características preferidas por detallistas.	36
Figura 13. Instalaciones Mercado Agrícola de Panamá. a. Nuevas instalaciones Merca Panamá. b. Antiguas instalaciones Mercado Agrícola Central.	37
Figura 14. Mapa de la República Dominicana y la superficie cultivada en m ²	39
Figura 15. Mapa de la cadena de valor de los vegetales en República Dominicana	40
Figura 16. Mapa de la agro cadena de hortalizas de la región Chorotega de Costa Rica.	48
Figura 17. Fuentes de aprovechamiento de agua.	49
Figura 18. Precios promedio mayorista mensual de cinco hortalizas comercializadas en Cenada, 2019.	55
Figura 19. Hortalizas y razones por las cuales se consumen, en porcentaje, 2016.	56
Figura 20. Etapas de la simulación CFD.	62
Figura 21. Ubicación de la zona piloto en Colombia. C. I. Caribia, departamento del Magdalena, región Caribe colombiana.	66
Figura 22. Precipitación. Temperaturas máxima, media y mínima, promedio mensual multianual, estimados a partir de los registros de la estación C. I. Caribia, Colombia.	66
Figura 23. Humedad relativa: promedio mensual multianual. Estimada a partir de los registros de la estación C. I. Caribia, Colombia.	67
Figura 24. Comportamiento de la velocidad del viento a escala mensual, estimada a partir de los registros de la estación C. I. Caribia, Colombia.	67

Figura 25. Patrones de distribución de flujo de aire y distribución espacial de la temperatura obtenidos mediante simulación para S1 y S4.....	68
Figura 26. Vistas generales del modelo geométrico de casa malla obtenido para Colombia.....	69
Figura 27. Patrones de distribución de flujo de aire y distribución espacial de la temperatura obtenidos mediante simulación para S1 y S4.....	70
Figura 28. Índices de renovación horarios (IR) calculados para el modelo geométrico del invernadero diseñado para Colombia.	71
Figura 29. Vistas generales del modelo geométrico de invernadero para Colombia.....	72
Figura 30. Ubicación de la zona piloto en Panamá.	72
Figura 31. Precipitación. Temperaturas máxima, media y mínima. Promedio mensual multianual estimados a partir de los registros de la estación Los Santos, Panamá.	73
Figura 32. Humedad relativa y brillo solar, promedio mensual multianual, estimados a partir de los registros de la estación Los Santos, Panamá.....	74
Figura 33. Comportamiento de la velocidad del viento a escala mensual, estimado a partir de los registros de la estación Los Santos, Panamá.	74
Figura 34. Patrones de distribución de flujo de aire y distribución espacial de la temperatura obtenidos mediante simulación para S1 y S4.....	75
Figura 35. Índices de renovación horarios (IR) calculados para el invernadero diseñado para Panamá.	76
Figura 36. Vistas generales del modelo geométrico del invernadero de Panamá.	76
Figura 37. Ubicación de la zona piloto en Costa Rica. Estación Experimental Enrique Jiménez Núñez, el cantón de Cañas, provincia de Guanacaste.....	77
Figura 38. Precipitación, promedio mensual Tmax, Tmin y Tmed, estimados a partir de los registros de la estación Ingenio Taboga, Costa Rica.....	78
Figura 39. Humedad relativa y brillo solar, promedio mensual multianual, estimados a partir de los registros de la estación Ingenio Taboga, Costa Rica.	78
Figura 40. Comportamiento de la velocidad del viento a escala mensual, estimado a partir de los registros de la estación Ingenio Taboga, Costa Rica.....	79
Figura 41. Patrones de distribución de flujo de aire y distribución espacial de la temperatura obtenidos mediante simulación para S1 y S4 en CM-3.	80
Figura 42. Patrones de distribución de flujo de aire y distribución espacial de la temperatura obtenidos mediante simulación para S1 y S4 en CM-5.	80
Figura 43. Vistas generales del modelo geométrico de la casa malla CM-1 diseñada para Costa Rica.....	81
Figura 44. Vistas generales del modelo geométrico de la casa malla CM-2 diseñada para Costa Rica.....	81
Figura 45. Patrones de distribución de flujo de aire y distribución espacial de la temperatura obtenidos mediante simulación para S1 y S4.....	82
Figura 46. Índices de renovación horarios (IR), calculados para el invernadero diseñado para Costa Rica.....	83
Figura 47. Vistas generales del modelo geométrico del invernadero para Costa Rica.	83
Figura 48. Ubicación de zona piloto en Costa Rica. Estación Experimental del IDIAF, Sabaneta, La	

Vega.	84
Figura 49. Precipitación, temperaturas máxima, media y mínima, promedio mensual multianual, estimados a partir de los registros de la estación La Vega, República Dominicana.....	85
Figura 50. Humedad relativa. Promedio mensual estimado con la estación adicional en La Vega, República Dominicana.	85
Figura 51. Velocidad del viento. Promedio mensual estimado con la estación adicional en La Vega, República Dominicana.	86
Figura 52. Patrones de distribución del flujo del aire y distribución espacial de la temperatura obtenidos mediante simulación para la estructura de Republica Dominicana.....	86
Figura 53. Vistas generales del modelo geométrico de la estructura para Republica Dominicana.	87
Figura 54. Rendimientos en Pimenton de frutos de primera y tercera categoría en los tres ambientes de siembra.	90
Figura 55. Rendimiento de cinco cultivares de tomate en campo abierto en el primer ciclo.....	92
Figura 56. Rendimiento de siete cultivares de tomate en el segundo ciclo de producción en cuatros sistemas de producción en el segundo ciclo (b).	92
Figura 57. Comportamiento total de especies de porte alto en tres estructuras de agricultura protegida.....	94
Figura 58. A Y B. Peso (kg) producido en cuatro estructuras de agricultura protegida en 19 cultivares (A) y en cuatro especies (B).	95
Figura 59. A Y B. Peso (kg) producido en cuatro estructuras de agricultura protegida en 16 cultivares (A) y en nueve especies (B).	96
Figura 60. Peso total de especies de hortalizas en las cuatro estructuras de agricultura protegida en dos ciclos de producción.....	97
Figura 61. Mosca blanca en tomate.....	97
Figura 62. Especies fitófagas en hortalizas en la región caribe colombiana. A. Diaphania sp.; B. Tetranychus sp.; C. Spodoptera sp.; D. Cicadélido; E. Naupactus sp.; F. Minador.....	98
Figura 63. Comportamiento de las poblaciones de mosca blanca 8 especies hortícolas en el caribe colombiano.	98
Figura 64. Comportamiento de las poblaciones de mosca blanca durante el ciclo productivo de tomate en estructuras protegidas en el caribe colombiano. Año 2020 - temporada de lluvias.	99
Figura 65. Densidad acumulada de mosca blanca en campo abierto en el caribe colombiano. Año 2020 - temporada de lluvias.	100
Figura 66. Densidad acumulada de mosca blanca en casa malla en el caribe colombiano. Año 2020 - temporada de lluvias.	100
Figura 67. Densidad acumulada de mosca blanca en invernadero en el caribe colombiano. Año 2020 - temporada de lluvias.	101
Figura 68. Densidad acumulada de Spodoptera sp. en casa malla en el caribe colombiano. Año 2020 - temporada de lluvias.	101
Figura 69. Densidad acumulada de Spodoptera sp. en invernadero en el caribe colombiano. Año 2020 - temporada de lluvias	102

Figura 70. Uso de cintas adhesivas de colores para el control de insectos plagas en ambientes protegidos.....	102
Figura 71. Eficacia en el control de mosca blanca en el caribe colombiano. Año 2020 - temporada de lluvia.....	103
Figura 72. Comportamiento de las poblaciones de mosca blanca durante el ciclo productivo de coliflor en estructuras protegidas en el caribe colombiano. Año 2021 - temporada seca. .	104
Figura 73. Comportamiento de las poblaciones de mosca blanca en 14 especies hortícolas, cultivadas en cuatro diferentes ambientes en el caribe colombiano.	104
Figura 74. Afección de plagas en cultivos hortícolas.	105
Figura 75. Densidad acumulada de mosca blanca en campo abierto en el caribe colombiano. Año 2021 - temporada seca	106
Figura 76. Densidad acumulada de mosca blanca en casa malla en el caribe colombiano. Año 2021 - temporada seca.	106
Figura 77. Densidad acumulada de mosca blanca en invernadero en el caribe colombiano. Año 2021 - temporada seca.	107
Figura 78. Densidad acumulada de mosca blanca en Polisombra en el caribe colombiano. Año 2021 - temporada seca.	107
Figura 79. Trampa de luz utilizada en cada uno de los ambientes, y adulto de <i>Diaphania</i> sp. capturado en una trampa de luz.....	108
Figura 80. Planta de pimentón afectada por ácaro blanco.....	109
Figura 81. Comportamiento de las poblaciones de mosca blanca en tres especies hortícolas, cultivadas en cuatro diferentes ambientes en el caribe colombiano.	110
Figura 82. Comportamiento de las poblaciones de mosca blanca durante el ciclo productivo de pepino en cuatro ambientes en el caribe colombiano. Año 2021 - temporada de lluvia.	110
Figura 83. Incidencia de Damping off durante el primer ciclo de evaluación (2020B).....	111
Figura 84. Síntomas de pudrición basal causado por <i>S. rolfsii</i> . A-C. Presencia de micelio y esclerocios de <i>S. rolfsii</i> en coliflor; en pimentón: D-E. Marchitamiento total de plantas; F. Detalle presencia de micelio y esclerocios de <i>S. rolfsii</i> en la base del tallo. En tomate: G. Planta con marchitamiento total; H. Detalle presencia de micelio de <i>S. rolfsii</i> en la base del tallo; I. Detalle presencia de esclerocios de <i>S. rolfsii</i> en la base del tallo.....	112
Figura 85. Síntomas de pudrición foliar causado por <i>C. cucurbitarum</i> en hojas. En coliflor: A) Hojas afectadas; B) Detalle de la afectación foliar; C) Hojas afectadas D) Detalle de la esporulación en lechuga; E) Hoja afectada; F) Detalle de la esporulación. En perejil.	114
Figura 86. Estructuras reproductivas de <i>C. cucurbitarum</i>	114
Figura 87. Incidencia de <i>C. cucurbitarum</i> durante el primer ciclo de evaluación (2020B).	115
Figura 88. Síntomas de posibles etiologías virales. A. En tomate; B. En pimentón.	115
Figura 89. Incidencia de posibles etiologías virales en pimentón y tomate durante el primer ciclo de evaluación (2020B).	116
Figura 90. Incidencia de fumagina durante el primer ciclo de evaluación (2020B).....	116
Figura 91. Síntomas de fumagina sobre hojas y frutos. A-B. En pimentón; C-D. En tomate.	117
Figura 92. Síntomas de mancha bacteriana.	117
Figura 93. Incidencia de mancha angular en tomate durante el primer ciclo de evaluación (2020B).	

.....	118
Figura 94. Incidencia de <i>A. solani</i> en tomate durante el primer ciclo de evaluación (2020B). ...	118
Figura 95. Síntomas del tizón temprano del tomate causado por <i>A. solani</i>	119
Figura 96 Síntomas de mancha púrpura de la hoja causado por <i>A. porri</i> y <i>S. vesicarium</i> . Afectación foliar; B y C. Estructuras microscópicas de <i>S. vesicarium</i> en tallo de <i>A. fistulosum</i>	119
Figura 97. Síntomas de la mancha foliar del cilantro causado por <i>A. alternata</i>	120
Figura 98. Síntomas de la pudrición acuosa causada por <i>Pectobacterium</i> sp.	121
Figura 99. Incidencia de <i>A. solani</i> en tomate durante el primer ciclo de evaluación (2020B). ...	122
Figura 100. Síntomas de pudrición foliar causado por <i>C. cucurbitarum</i> en flores y frutos.	122
Figura 101. Mildéu Velloso del Zucchini causado por <i>P. cubensis</i>	123
Figura 102. Incidencia de patologías causantes de marchitez y muerte de plantas en pepino (<i>C. sativus</i>) durante el tercer ciclo de evaluación (2021B).	124
Figura 103. Incidencia de patologías causantes de marchitez y muerte de plantas en pimentón Golazo (<i>C. annuum</i>) durante el tercer ciclo de evaluación (2021B).	125
Figura 104. Incidencia de patologías causantes de marchitez y muerte de plantas en tomate Cherry (<i>S. lycopersicum</i>) durante el tercer ciclo de evaluación (2021B).	125
Figura 105. Incidencia de patologías causantes de marchitez y muerte de plantas en tomate Chonto (<i>S. lycopersicum</i>) durante el tercer ciclo de evaluación (2021B).	126
Figura 106. Síntomas de fumagina sobre hojas y fruto.	126
Figura 108 .Rendimiento productivo en la época seca (kg/ha) de frutos comerciales y de rechazo por hectárea en cuatro sistemas productivos: Casa de malla de 5 m (SP1), Casa de malla de 3 m (SP2), Invernadero (SP3) y Campo abierto (SP4). (E.E.E.J.N., Cañas, Guanacaste).	135
Figura 109. Rendimiento productivo (kg/ha) de frutos comerciales y de rechazo por hectárea en tres sistemas productivos: Casa de malla de 5 m (SP1), Casa de malla de 3 m (SP2) y Campo abierto (SP4) y por cultivar. (E.E.E.J.N., Cañas, Guanacaste).	136
Figura 110. Velocidades de viento (m/s) promedio y máximas registradas en la Estación Experimental Enrique Jiménez Núñez del año 2017 al 2019 (E.E.E.J.N., Cañas, Guanacaste).	137
Figura 111. Dinámica de la temperatura (°C) promedio en el interior y exterior de dos casas de mallas de 5 m (CM 5 m) y de 3 m (CM 3 m) de altura (E.E.E.J.N., Cañas, Guanacaste, 2020).	138
Figura 112. Dinámica de la humedad relativa (%) promedio en el interior y exterior de dos casas de mallas de 5 m (CM 5 m) y de 3 m (CM 3 m) de altura (E.E.E.J.N., Cañas, Guanacaste, 2020).	138
Figura 113. Relación de la temperatura (°C) y la humedad relativa (%) durante las 24 hrs del día, registradas en el interior y exterior de dos casas de mallas de 5 m (CM 5 m) y de 3 m (CM 3 m) de altura; durante la época seca (A y B) y en una casa de malla y campo abierto en la época lluviosa del año 2020 (E.E.E.J.N., Cañas, Guanacaste).	139
Figura 114. Espectro electromagnético.	140
Figura 115. Dinámica de la radiación PAR ($W \cdot m^{-2}$) de las 06 a las 17 horas, en el interior y exterior de dos casas de mallas de 5 m (CM 5 m) y de 3 m (CM 3 m) de altura (A); durante los meses de diciembre del 2019 a abril del 2020 (B) (E.E.E.J.N., Cañas, Guanacaste).	140

Abstract

The project aimed to improve food security and reduce family farming vulnerability to climate change through the sustainable intensification of horticulture in protected environments in Latin America and the Caribbean (LAC). For this, it 1) prioritized horticultural species with tremendous potential for production in high-temperature areas under protected conditions; 2) conducted a diagnostic study of the vegetable value chain for Colombia, Costa Rica, Panama, and the Dominican Republic to identify market segments and validate technological innovations; 2) assessed prototypes of protection structures against biotic and abiotic threats to improve productivity and horticultural quality, for which they were simulated, modeled, and designed according to each country's agroclimatic conditions and evaluated in the field with prioritized materials; The outstanding findings obtained in the country trials were: in Colombia, the paprika yields obtained in the project using mesh house (4.5 kg/m²) and greenhouse (4.2 kg/m²) technologies proved to be a productive alternative important for hot weather conditions, in relation to production in the open field (2.1 kg/m²); In the case of cucumber cv Jaguar F1, it registered annual productivities (kg/year) of 5.8, 2.0 and 1.7 times higher in the mesh house, greenhouse and poly-shade environments respectively, in relation to the open field environment; and in Cherry tomato the annual productivity (kg/year) was 2.2, 8.3 and 3.5 times higher in the mesh house, greenhouse and poly-shade environments respectively in relation to the open field environment. In the Dominican Republic, the design of the structure was innovative since it was possible to obtain a difference of 1 oC in the low area with respect to the open field where in low areas the differences between these environments exceeded 4 and up to 10 °C; The most outstanding result according to the site was the cultivation of hot peppers in mesh houses and Cubanelian peppers under plastic with greater productivity and profitability. In Costa Rica, the production of paprika in the dry season under protected conditions vs. open field doubled the yield compared to open field and increased the quality of the harvested fruits, going from 12,000 kg/cycle to 26,540 kg/cycle. In the case of Panama, the production obtained in the dry season in protected systems doubled the yield compared to open fields and increased the quality of the harvested fruits, going from 1.6 to 2.3 kg/m². 3) prepared guides to scale up and promote horticulture in protected environments in LAC, which are references for implementation by interested countries and adaptable to their political and production conditions.

The project trained 1,563 people online and 2,454 in person, totaling 4,017 individuals who learned about its purpose and resulting technology. Of note is that the virtual events available on different dissemination platforms have 5,785 views on YouTube and 2,269 on Facebook as of the delivery date of this document, for a total of 8,054 people whom the project has directly and indirectly affected. The project microsite contains all the documents produced by each component (value chain study of the four countries, two theses, 11 scientific articles, a greenhouse manual, four analyses of the crop interaction environment, a workshop report, an analysis of trained individuals, among others), available under the Publications and Resources section at <https://www.fontagro.org/new/projects/horticultura-prottegida>. <https://www.fontagro.org/new/proyectos/horticultura-prottegida>

Keywords: Vegetables under protected conditions, protected horticulture (PH), value chain, greenhouses, mesh house, structure modeling, crop-environment interaction, website, digital platform, Webstory CFD.

Resumen

El proyecto tuvo el propósito de contribuir a mejorar la seguridad alimentaria y reducir la vulnerabilidad de la agricultura familiar al cambio climático mediante la intensificación sostenible de la horticultura en ambientes protegidos en América Latina y el Caribe - ALC. Para lograrlo se realizó: 1. Una priorización de especies hortícolas con mayor potencial para su producción en zonas de alta temperatura bajo condiciones protegidas, donde se elaboró un estudio de diagnóstico de la cadena de valor de hortalizas para Colombia, Costa Rica, Panamá y República Dominicana, lo que permitió identificar segmentos de mercado para validar las innovaciones tecnológicas generadas, 2. se evaluó el desempeño de prototipos de estructuras de protección contra amenazas bióticas y abióticas para mejorar la productividad y calidad hortícola, para esto se simularon, modelaron y diseñaron estructuras de acuerdo con las condiciones agroclimáticas de cada país, las cuales se evaluaron en campo con los materiales priorizados. Los hallazgos destacados obtenidos en los ensayos por país fueron: en Colombia los rendimientos de pimentón obtenidos en el proyecto mediante las tecnologías de casa malla (4,5 kg/m²) e invernadero (4,2 kg/m²) mostraron ser una alternativa productiva importante para las condiciones de clima cálido, con relación a la producción en campo abierto (2,1 kg/m²); para el caso de pepino cv Jaguar F1 registró productividades anuales (kg/año) de 5.8, 2.0 y 1.7 veces superior en los ambientes casa malla, invernadero y polisombra respectivamente, en relación con el ambiente de campo abierto; y en tomate Cherry la productividad anual (kg/año) fue de 2.2, 8.3 y 3.5 veces superior en los ambientes casa malla, invernadero y polisombra respectivamente en relación con el ambiente de campo abierto. En la República Dominicana, el diseño de la estructura resultó innovador dado que se pudo obtener en zona baja una diferencia de 1 °C con respecto a campo abierto donde en zonas bajas las diferencias entre estos ambiente superaban los 4 y has 10°C; el resultado más destacado según el sitio fue el cultivo de ají picante en casa malla y el ají cubanela bajo plástico con mayor productividad y rentabilidad. En Costa Rica la producción de pimentón en la época seca en condiciones protegidas Vs campo abierto duplicó el rendimiento con respecto a campo abierto y aumento la calidad de los frutos cosechados, pasando de 12000 kg/ciclo a 26540 kg/ciclo. Para el caso de Panamá La producción obtenida en la época seca en sistemas protegidos duplicó el rendimiento con respecto a campo abierto y aumento la calidad de los frutos cosechados, pasando de 1.6 a 2.3 kg/m² 3. se construyó un documento guía para el escalamiento de la horticultura en ambientes protegidos para ALC, . y otro para la promoción de este sistema de producción, los cuales son referente para que pueda ser implementados por los países interesados, adaptándolos a sus condiciones políticas y productivas..

Durante el desarrollo del proyecto se logró capacitar a 1563 personas de manera virtual y 2454 de manera presencial para un total de 4017 individuos que conocieron de una u otra forma el proyecto y las tecnología generadas por él, igualmente es importante mencionar que los eventos virtuales que se encuentran disponibles en las diferentes plataformas de difusión (YouTube y Facebook) hasta la fecha de entrega del presente documento cuentas en total de: 5785 reproducciones en YouTube y 2269 reproducciones en Facebook, para un total de 8054 personas a las cuales el proyecto ha impactado directa en indirectamente. En el microsítio del proyecto

quedan disponibles todos los documentos generados, producto de cada uno de los componentes (estudio de cadena de valor de los cuatro países, 2 tesis, 11 artículos científicos, un manual de invernaderos, cuatro documentos de análisis de la interacción cultivo ambiente, memoria de talleres, análisis de individuos capacitados entre otros) los cuales se pueden consultar en el siguiente enlace en la sección de publicaciones y recursos:

<https://www.fontagro.org/new/proyectos/horticultura-protegida>

Palabras Clave: Hortalizas bajo condiciones protegidas, horticultura protegida AP, cadena de valor, invernaderos, casa malla, modelación de estructuras, Interacción cultivo ambiente, Portal web, plataforma digital, Webstory CFD.

Antecedentes

La agricultura protegida (AP) es un sistema de producción agrícola en el que suelen emplearse estructuras de cubierta que tienen diferentes niveles tecnológicos y permiten proteger de forma física los cultivos frente a condiciones climáticas adversas tales como precipitaciones y radiación solar excesiva. Adicionalmente, a través de estas se busca obtener algún grado de gestión sobre las condiciones de microclima, con el propósito de obtener mayor productividad, mejorar la calidad del producto y ampliar las áreas de producción a regiones donde las condiciones climáticas dificultan la producción agrícola a campo abierto (Castilla, 2002).

Esta estrategia es uno de los aportes más importantes de la revolución científica agrícola del siglo XX y hoy en día es un componente esencial de la actividad agrícola moderna en todo el mundo debido fundamentalmente a su fuerte vinculación con la agroindustria de exportación, el uso de tecnologías de punta y aplicación de elementos biotecnológicos necesarios para la producción de alimentos dentro de una agricultura moderna y competitiva (Mayorga, 2012).

La agricultura protegida se define como toda aquella producción agrícola que se hace bajo estructuras cerradas o abiertas, cubiertas con materiales, transparentes, dentro de la cual es posible obtener condiciones artificiales de microclima y, donde es posible cultivar plantas en condiciones óptimas. Bajo este sistema, se lleva a cabo el control del medio edafo-climático alterando sus condiciones (suelo, temperatura, radiación solar, viento, humedad entre otros), con el propósito de alcanzar adecuado crecimiento vegetal, aumentar los rendimientos, mejorar la calidad de los productos y obtener excelentes cosechas. El microclima bajo estas estructuras es en general el más próximo a las condiciones biológicas óptimas para la variedad cultivada, maximizando el proceso de fotosíntesis y de esta manera se obtiene más producción por metro cuadrado con mayor eficiencia en el uso de insumos (Jaramillo, et al., 2007)

Las instalaciones para la protección de cultivos pueden ser muy diversas en términos de complejidad de sus estructuras. Una primera clasificación de los diversos tipos de protección puede hacerse distinguiendo entre micro y macro túneles, invernaderos y casas malla. Los micro túneles son pequeñas estructuras, sencillas, de fácil instalación y económicamente accesibles, que soportan la malla o pantalla que provee protección temporal al cultivo. En general, son utilizados para proteger los cultivos en sus primeras etapas, contra los agentes climáticos, plagas y enfermedades. La complejidad de cada uno de ellos y el tipo de materiales utilizados depende de las condiciones de clima de la región donde se establecen las áreas de producción. (Mayorga, 2012)

Una cadena de valor alimentaria sostenible (CVAS) se define como: aquellas explotaciones agrícolas y empresas, así como las posteriores actividades que de forma coordinada añaden valor y a través de las cuales se producen determinadas materias primas agrícolas que se transforman en productos alimentarios concretos y, a su vez, son vendidos a los consumidores finales, de tal forma que resulten rentables en todo momento, proporcionen amplios beneficios para la

sociedad y no consuman permanentemente los recursos naturales. A diferencia de conceptos conexos como los de *filière* y cadena de suministro, el concepto de CVAS destaca simultáneamente la importancia de tres elementos: en primer lugar, reconoce que las cadenas de valor son sistemas dinámicos impulsados por el mercado, en los cuales la coordinación vertical (gobernanza) es la dimensión central; en segundo lugar, el concepto es aplicado de forma amplia y generalmente abarca un subsector de productos completo en un país (por ejemplo, la carne de vacuno, el maíz o el salmón); en tercer lugar, el valor añadido y la sostenibilidad son mediciones del rendimiento explícitas y multidimensionales evaluadas a nivel global (FAO, 2015).

El análisis de cadena de valor en la investigación agropecuaria juega un papel relevante para conocer y entender el funcionamiento de los diferentes eslabones: proveedores de semillas, insumos y servicios, productores, almacenamiento, transporte, centros de acopio, comercialización e industria.

El análisis detallado de la cadena de valor de los productos y la eficiencia de sus eslabones permiten una mejor gestión de la producción. Los estudios sobre las cadenas de valor han permitido identificar cuellos de botella y problemas que deben solucionarse para lograr la eficiencia en cada uno de los eslabones.

El fortalecimiento de las cadenas de valor mediante la metodología participativa es un instrumento útil para avanzar hacia una nueva ecuación entre el Estado, el mercado y la sociedad, en torno a productos y territorios específicos. Esta metodología apoya los procesos de transformación productiva en curso, en la región, de tres maneras. En primer lugar, al seguir un enfoque a nivel micro, centrado en los actores que componen los eslabones de la cadena de valor, así como en las relaciones entre ellos, es posible definir restricciones y formular estrategias focalizadas. De ese modo, la metodología resulta útil para diseñar estrategias públicas específicas y proporciona elementos con miras a una acción pública más decidida. En segundo lugar, comprende el análisis de las instituciones y organizaciones públicas que regulan y apoyan la cadena, por lo que permite la coordinación de los diversos instrumentos dirigidos a su fortalecimiento en áreas de la formación de recursos humanos, la promoción de la innovación, la comercialización, el acceso a nuevos mercados y la protección del medio ambiente. En tercer lugar, la metodología empleada apunta a desarrollo de capacidades locales. En todas las etapas del proceso participan funcionarios públicos, así como también representantes de organizaciones privadas. Oddone y Padilla, 2017).

Objetivos

Objetivo general

Generar innovación para la intensificación sostenible de la horticultura bajo condiciones protegidas para reducir la vulnerabilidad al cambio climático en sistemas de agricultura familiar.

Objetivos específicos

- Caracterizar los sistemas de producción hortícola y sus cadenas de valor en América Latina y el Caribe.
- Modelar y validar innovaciones que favorezcan la intensificación sostenible de la horticultura en condiciones protegidas en el contexto del cambio climático en ALC.
- Fortalecer la gestión del conocimiento y las capacidades de innovación de la horticultura en ambientes protegidos en ALC.

Metodología

Los siguientes componentes se ejecutaron para el desarrollo de los objetivos y el logro de los productos.

Componente 1. Caracterización de los sistemas de producción hortícola y sus cadenas de valor en América Latina y el Caribe.

En este componente se realizó el Levantamiento de información, diagnóstico de cadenas de valor, mapeo de actores relevantes e identificación de las alternativas productivas; Selección y caracterización climática de los sitios piloto y modelación de prototipos de estructuras y los estudios económicos de los modelos de producción y su cadena de valor. El desarrollo de estas 3 actividades permitió la consecución de los objetivos del componente 1, los cuales están plasmados en los siguientes productos:

Producto 1: Estudio de diagnóstico de oportunidades y desafíos de los sistemas de producción hortícola y sus cadenas de valor ALC.

Documento que puede ser consultado en el siguiente enlace

https://www.fontagro.org/new/uploads/productos/16343_-_Producto_1.pdf

El marco metodológico utilizado fue el Enfoque Participativo de Cadenas Productivas (EPCP). Este es un método de investigación y desarrollo diseñado para estimular la innovación en las cadenas productivas, mediante el conocimiento y la integración de los actores que componen una determinada cadena (Bernet et al., 2011). Se utilizaron herramientas y conceptualizaciones metodológicas relevantes para el estudio de las cadenas de valor, la descripción de eslabones en una cadena productiva y el mapeo de actores en sistemas agroalimentarios. Estas herramientas comprendieron, principalmente, los aportes técnicos de la Guía metodológica para el análisis de cadenas productivas, descrita por Van Der Heyden y Camacho (2006), el manual de campo del CIAT, el diseño de estrategias para aumentar la competitividad de cadenas productivas con productores de pequeña escala (Lundy et al., 2004), y el enfoque de cadenas productivas y cadenas de valor desarrollado por Cayeros et al. (2016), los cuales se aplicaron mediante el desarrollo de fases particulares en cada país participante del proyecto: Colombia, Costa Rica, Panamá y República Dominicana.

Para cumplir con el objetivo específico de priorización de especies hortícolas en cada país, se utilizó un sistema-matriz de priorización por cuadrantes, adaptado a partir de la herramienta matriz BCG (Boston Consulting Group) (Fred, 2013), la cual permitió identificar, mediante escalas cuantitativas, las especies de hortalizas con mayor potencial y aceptación para ser priorizadas y estudiadas como alternativas de producción en ambientes protegidos de los países de interés.

El desarrollo metodológico se llevó a cabo durante los años 2018 y 2019, en los cuatro países participantes, con cinco fases de acción que, en su conjunto, permitieron generar una visión holística sobre las oportunidades y desafíos de los sistemas de producción hortícola y sus respectivas cadenas de valor en América Latina y el Caribe, estas fases fueron: 1) Análisis de información secundaria, delimitación de marcos muestrales y visitas de campo; 2) Aplicación de encuestas y desarrollo de talleres; 3) Priorización de especies hortícolas; 4) Diseño de mapas de la cadena de valor hortícola y descripción de sus eslabones; 5) Consolidación de la información y entrega del producto final.

Fases de acción

Fase 1: Análisis de información secundaria, delimitación de marcos muestrales y visitas de campo, realizados para la identificación y el mapeo de actores en las cadenas de valor hortícola de cada país.

Actividad 1: revisión de fuentes secundarias de información sobre estudios previos entorno a la cadena de valor hortícola en cada país,

Actividad 2: delimitación de marcos muestrales para la identificación específica de actores en la cadena de hortalizas de cada país. Revisión de fuentes de información secundaria y las bases formales sobre agremiaciones de productores, comercializadores y consumidores de hortalizas, con el fin de identificar los actores relevantes en las cadenas de valor hortícola de cada territorio o región específica, en cada país participante del proyecto. Delimitación de un marco muestral de actores mediante la aplicación de la fórmula estadística de estimación de muestras en conjuntos finitos descrita por Martínez (2018) (ecuación 1), además permite la identificación de actores relevantes en la cadena y es un cálculo de apoyo para acotar el universo de actores que se priorizaron para la aplicación de herramientas de captura de información primaria, tales como encuestas y entrevistas, y la gestión de su participación en talleres y grupos focales (Van Der Heyden & Camacho, 2006).

$$n = \frac{N + Z^2 + p + q}{[(N-1) \times e^2] + (Z^2 + p + q)} \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde:

n: Es el tamaño de la muestra o marco muestral a seleccionar en cada país.

N: La población o conjunto total de actores identificados por país.

Z: Distribución del nivel de confianza elegido, 0,95 %.

E: El margen de error en escala porcentual, 5 %. p: La variabilidad negativa, 50 %. q: La variabilidad positiva, 50 %.

Actividad 3: realización de visitas de campo a actores de la cadena de hortalizas. El universo general de actores vinculados a los diferentes eslabones que componen la cadena de valor de hortalizas de cada país constituyó la fuente para elaborar una base de datos como aporte al mapeo específico de actores de mayor importancia en cada cadena, y fue un insumo para calcular

los marcos muestrales (actividad 2) que se utilizaron en el desarrollo de la fase 2, en la aplicación de encuestas y en el desarrollo de talleres.

Fase 2: Elaboración, aplicación de encuestas y desarrollo de talleres con actores de la cadena de valor hortícola de cada país.

Actividad 1. Elaboración y aplicación de encuestas con actores relevantes de la cadena de hortalizas de cada país.

De acuerdo con los resultados de la fase 1, estos actores se agruparon en los siguientes grupos:

Proveedores: Conformados principalmente por casas comerciales que venden semillas o plántulas de hortalizas.

Productores: Representados por pequeños, medianos o grandes agricultores que cultivan algún producto hortícola, bajo condiciones protegidas o a cielo abierto.

Comercializadores: Integrados por establecimientos de comercio que venden al detal (retail), o al por mayor, productos hortícolas. Por ejemplo, comercializadores mayoristas, comercializadores minoristas, intermediarios, centros comerciales y mercados de frutas y verduras (Mercafruver).

Agroindustria: Constituida por empresas formalmente establecidas que se encargarán del acopio, transformación, empaque, distribución, exportación o venta especializada de productos hortícolas.

Consumidores: Compuesto especialmente por compradores finales o usuarios de bienes o servicios. Estos usuarios de productos hortícolas son, por ejemplo, hoteles, restaurantes, empresas privadas, instituciones públicas.

En Colombia, de acuerdo con el marco muestral estimado en la actividad 2 de la fase 1, se efectuaron 121 encuestas, entre las ciudades de Barranquilla, Santa Marta y Cartagena. En Costa Rica se efectuaron 100 encuestas en Guanacaste, en Panamá se realizaron 516 en Chiriquí y Asuero, y en República Dominicana 346 en varias provincias del país, para un total de 1.183 registros entre los cuatro países. Las cantidades por eslabón se evidencian en la Figura 1. Hasta aquí no se había mencionado que en Colombia se trabajó en la Costa Caribe;

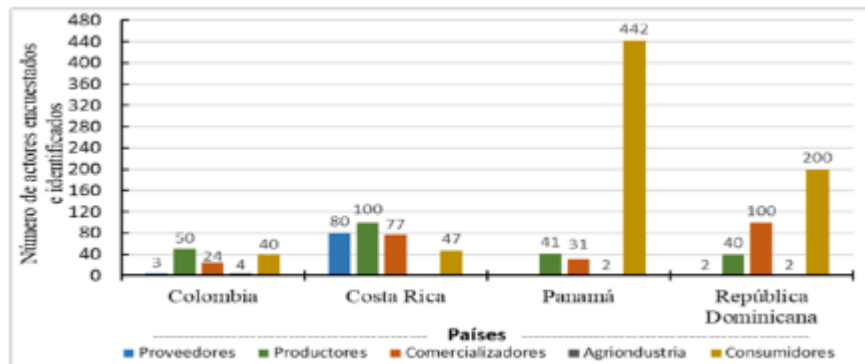


Figura 1. Número de actores encuestados por eslabón en la cadena de valor de hortalizas de los países Colombia, Costa Rica, Panamá y República Dominicana.

Fuente: Elaboración propia

Actividad 2: Realización de talleres con actores de la cadena de hortalizas.

En cada país se realizó un número específico de talleres o grupos focales, con productores y comercializadores de sus respectivas cadenas de valor de hortalizas (en Colombia 4, en República Dominicana 4, en Panamá 3, y en Costa Rica 4), con el fin de consolidar un análisis sobre sus actividades, interrelaciones, problemas y perspectivas. En esta actividad, se siguió la metodología de manejo de grupos focales para la validación de conceptos, descrita en la guía de capacitadores de EPCP (Bernet et al., 2011).

Fase 3: Priorización de especies hortícolas para la selección de cultivos como alternativas de producción

Actividad 1: Evaluación de especies de hortalizas para su priorización.

En el desarrollo de los talleres con productores y comercializadores, se diligenció una matriz de priorización por cuadrantes que permitiera identificar, desde la perspectiva de producción y mercado, las especies hortícolas con mayor potencial, que serían priorizadas como alternativas de producción en ambientes protegidos, en los países participantes del proyecto. La matriz de priorización se elaboró a partir de la metodología BCG, descrita por Fred (2013).

Actividad 2: Análisis de variables asociadas a la producción y comercialización de hortalizas.

Se realizó un análisis del comportamiento de algunas variables asociadas a la producción, consumo y comercialización de las principales especies que integran la cadena de valor hortícola en cada uno de los cuatro países participantes del proyecto. Los datos para cada variable se obtuvieron de las fuentes de información secundaria detalladas en la fase 1, y se complementaron con los aportes y la información generada por los participantes en los talleres realizados en la actividad 2 de la fase 2. En una matriz de calificación cuantitativa se evaluaron las siguientes variables para cada especie hortícola, con sus respectivas escalas de calificación:

Producción de la especie de hortaliza en la región.

Consumo nacional de la especie hortícola

Consumo en la región

Exportaciones, Importaciones (donde 1 equivale a las importaciones más bajas y 5 a las altas).

Precio de venta

Preferencia de los comercializadores y grandes consumidores como hoteles, restaurantes, grandes superficies, almacenes de cadena, transformadores y plazas de mercado

Preferencia de los productores

Fase 4: Elaboración del mapa de la cadena de valor hortícola y descripción de sus eslabones para cada país.

Actividad 1. realizar los diagramas de las respectivas cadenas de valor hortícola para cada país y describir las principales características de los eslabones de cada cadena. Los insumos fueron la información recabada en las fases 1 y 2.

Fase 5: Consolidación de la información y elaboración de informe final.

Esta última fase consistió en compilar, organizar y analizar la información generada en las anteriores fases (1, 2, 3 y 4) para cada país: Colombia, Costa Rica, Panamá y República Dominicana

Resultados:

Análisis de la información del mercado de hortalizas

Colombia

Se identificaron cinco núcleos productivos: 1). Cundinamarca y Boyacá; 2). Santander; 3). Antioquia y Caldas; 4). Nariño, Cauca y Valle del Cauca, y 5). Región Caribe, los cuales consolidan, en su conjunto, cerca del 95% de la producción nacional de hortalizas, y un portafolio de alrededor de 30 tipos de especies, entre las que sobresale la producción de tomate (*Solanum lycopersicum*), cebolla (*Allium cepa*), ají (*Capcicum annum*), ahuyama (Cucúrbita máxima), lechuga (*Latuca sativa*), berenjena (*Solanum melongena* L), crucíferas y zanahoria (*Daucus carota*) (EVA, 2019).

En la producción, el tomate es la hortaliza de mayor representatividad en Colombia. Su producción anual es cercana a las 800.000 toneladas, en una superficie cultivada de 18.000 ha, aproximadamente. Le siguen, el grupo de las cebollas de bulbo, con una producción de 455.292 t/año, en 16.000 ha cultivadas, y zanahoria, con 317.840 t y 116.00 ha cultivadas por año.

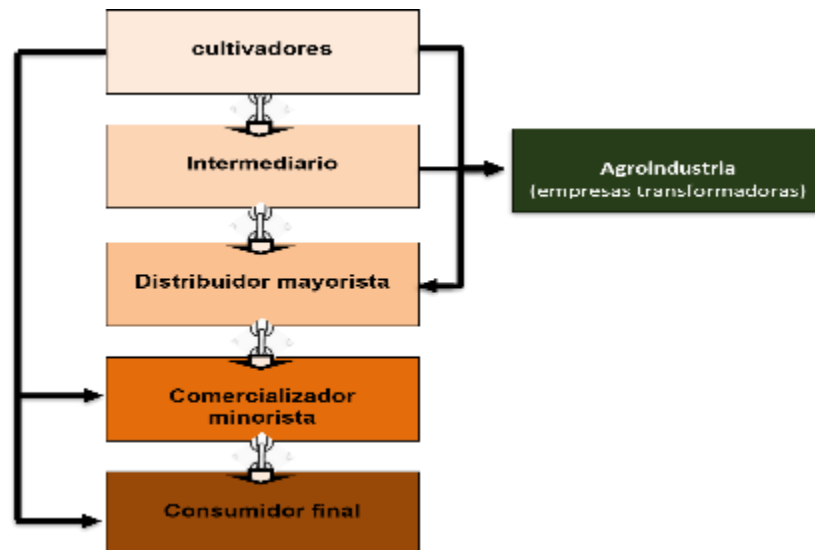
Estos tres grupos, junto con especies como cebolla de rama *Allium fistulosum* L, cebollín *Allium schoenoprasum* ahuyama, lechugas, pimentones, ají, repollo *Brassica oleracea* var. *capitata* y pepino, representan las 10 especies hortícolas más cultivadas en el territorio colombiano (EVA, 2019).

En la comercialización, la producción de hortalizas en Colombia se destina a satisfacer el mercado interno, principalmente de productos frescos con bajo o nulo nivel de transformación agroindustrial. Su comercio se centra esencialmente en plazas de mercado urbanas o regionales. Corabastos, en Bogotá, es el mercado en el que confluye la mayor oferta de productos hortofrutícolas frescos dispuestos para ser negociados. Otras plazas de mercado importantes se encuentran en ciudades como Medellín (mercado central mayorista de Antioquía), Barranquilla (mercados Barranquillita y Granabastos), Cali (Mercados Cavasa y Santa Helena) y Cartagena (mercado Bazaruto), cuyas poblaciones superan el millón de habitantes y, en conjunto, albergan un tercio de la población total del país, por lo que representan los núcleos de mayor demanda de hortalizas en Colombia (MADR, 2019).

En ese mismo sentido, algunas investigaciones detallan que la comercialización a través de locales comerciales o empresas especializadas en la venta de hortalizas y frutas (comercio mayorista y minorista), es la vía más común en toda la cadena. Esto se evidencia en reportes de Asohfrucol (2010), en los que se señala que las cadenas de supermercados son los principales actores en la comercialización de productos hortícolas y de plantas aromáticas de uso culinario, debido al volumen de compras que manejan, pero también a que alcanzan al consumidor final con la oferta de producción. Este tipo de comercio alcanza todas las principales ciudades del país y, en el comercio minorista, a la población de estrato 2 hacia arriba. Finalmente, respecto al componente de comercialización, los productos hortícolas cosechados son clasificados por tamaños y empacados en bultos de 50 kg (cebollas, zanahorias, repollos), o en canastillas plásticas de 20 kg (tomates y pimentones), para su venta al por mayor.

La logística de distribución para la comercialización está dada básicamente por transporte

terrestre (finca - cabecera municipal - central de abasto) y, por lo general, no se utiliza transporte refrigerado (MADR, 2019). En síntesis, la cadena de valor de hortalizas en Colombia se compone de las etapas de producción, distribución, comercialización y consumo, principalmente (Figura 2).



Nota: La dirección de las flechas representa el flujo de productos en la cadena.

Figura 2. Representación general de la cadena de valor hortícola de Colombia.

Fuente: Adaptado de la Superintendencia de Industria y Comercio (2009-2011).

En cuanto al comercio exterior, la balanza comercial de hortalizas en Colombia ha sido de tendencia negativa en los últimos 10 años, es decir, se han mantenido las importaciones por encima de las exportaciones. Productos de alto consumo en fresco como la cebolla de bulbo y los ajos *Allium sativum*, además de productos transformados, entre ellos la pasta de tomate y los productos en conserva, son los más importados. Por ejemplo, durante el año 2019, ingresaron 35.850 toneladas de cebolla al país, donde el 97% del volumen provenía de Perú (MADR, 2019). En el ámbito del consumo, se ha identificado que el consumidor colombiano promedio es, generalmente, poco exigente con la demanda de productos hortícolas de alta calidad e inocuidad, aspecto que contribuye al lento desarrollo del subsector. Sin embargo, esta situación difiere cuando se trata de consumidores del subsector de servicios (restaurantes y hoteles) y almacenes de cadena especializados, los cuales exigen el cumplimiento de ciertos niveles de calidad a los proveedores al abastecerse de sus productos (Corpoica, 2015).

La producción de hortalizas en la región Caribe de Colombia se caracteriza por tener una baja participación con respecto al promedio anual del territorio nacional. En términos comparativos, es el núcleo productivo con menor volumen de producción anual, pues sus cifras varían entre las 90 a 120 mil toneladas por año, de tal manera que representan el 5 % de la producción hortícola nacional (EVA, 2019).

Las especies hortícolas más cultivadas de la región son ají topito, ahuyama, berenjena y tomate, con un área de siembra que, en su conjunto, representa cerca del 85% del área total sembrada

anualmente con hortalizas en este territorio (EVA, 2019). Los rendimientos de las hortalizas en la región Caribe son variables de acuerdo con la especie cultivada y el tipo de tecnología utilizada para su producción. En términos generales, el rendimiento promedio de la producción hortícola en esta región oscila entre las 8 a 9 t/ha; la cebolla en rama y el tomate son los cultivos con mayores rendimientos (EVA, 2019).

Según Martínez et al. (2020), en su informe Línea de base tecnológica, socioeconómica y de mercado de hortalizas en la región Caribe de Colombia, la producción de hortalizas en la región Caribe se realiza en pequeñas extensiones de terreno, muy similar a lo que ocurre a nivel nacional con áreas que comprenden entre los 100 m² y las 3 hectáreas, y por lo general, en un 70 %, se manejan como cultivos de “patio”, con algunas excepciones en el caso de la ahuyama, la berenjena y el ají topito. El tipo de productor es pequeño y la mayoría de los agricultores son propietarios de la tierra, con un nivel medio de escolaridad, con bajo nivel de tecnificación y altamente dependiente de factores climáticos, especialmente de las precipitaciones, para la planificación de las siembras. Así mismo, Martínez identifica que tecnologías como la agricultura protegida o el uso de invernaderos es exiguo en esta región en la producción de hortalizas, aunque se identifican algunas iniciativas de ámbito privado (EVA, 2019).

En conclusión, la producción, comercialización y consumo de hortalizas en la región Caribe se fundamenta en: i) un área de siembra anual entre las 13 y las 16 mil hectáreas, que generan una producción de 90 a 120 mil toneladas por año, entre las que sobresalen cultivos como ahuyama, ají, berenjena y tomate; ii) dos principales plazas de mercado (Barraquilla y Cartagena) y cinco plazas secundarias (Santa Marta, Montería, Valledupar, Riohacha y Sincelejo), sobre las que se soporta mayoritariamente el comercio de hortalizas en la región.

Tecnología local de producción de hortalizas bajo condiciones protegidas en la región Caribe de Colombia

De acuerdo con las fuentes de información consultadas, en la región Caribe de Colombia no se reporta oficialmente una producción de hortalizas bajo condiciones de ambiente protegido, es decir, mediante el uso de invernaderos, casas mallas o estructuras agrícolas especializadas que permitan brindar condiciones adecuadas a los cultivos. Sin embargo, se han identificado algunos pequeños proyectos de iniciativas privadas y educativas, los cuales han tratado de incursionar en estas tecnologías de producción sin lograr resultados destacables.

Párrafo repetido abajo. En este contexto, y en el marco de los objetivos del presente documento, se realizaron cuatro visitas de campo en junio de 2018, a proyectos o iniciativas dedicadas a la producción de hortalizas que usaban estructuras de agricultura protegida en la región Caribe de Colombia. En cada visita técnica se recopilaron evidencias sobre aspectos agronómicos y tecnológicos relacionados con el manejo de los cultivos en cada proyecto, y de los cuales se destacaron los resultados más importantes.

A partir de las características identificadas en los cuatro proyectos de agricultura protegida de la región Caribe, se puede concluir la necesidad de iniciativas de investigación sobre la pertinencia de este tipo de tecnología para el territorio, diseñar estructuras de acuerdo con las condiciones climatológicas de la región, así como identificar qué especies y cultivares de hortalizas se podrían

sembrar óptimamente bajo esas condiciones.

Caracterización de la cadena de valor de hortalizas en la región Caribe de Colombia

Se identificaron un total de 114 actores vinculados a las actividades de comercio, consumo y agroindustria de hortalizas en tres ciudades de la región Caribe de Colombia, tales como Barranquilla, Cartagena y Santa Marta, que, junto con 50 productores hortícolas referenciados en estos tres núcleos urbanos, constituyeron el soporte sobre el cual se realizó el mapeo de la cadena de valor de hortalizas para la región (Figura 3).

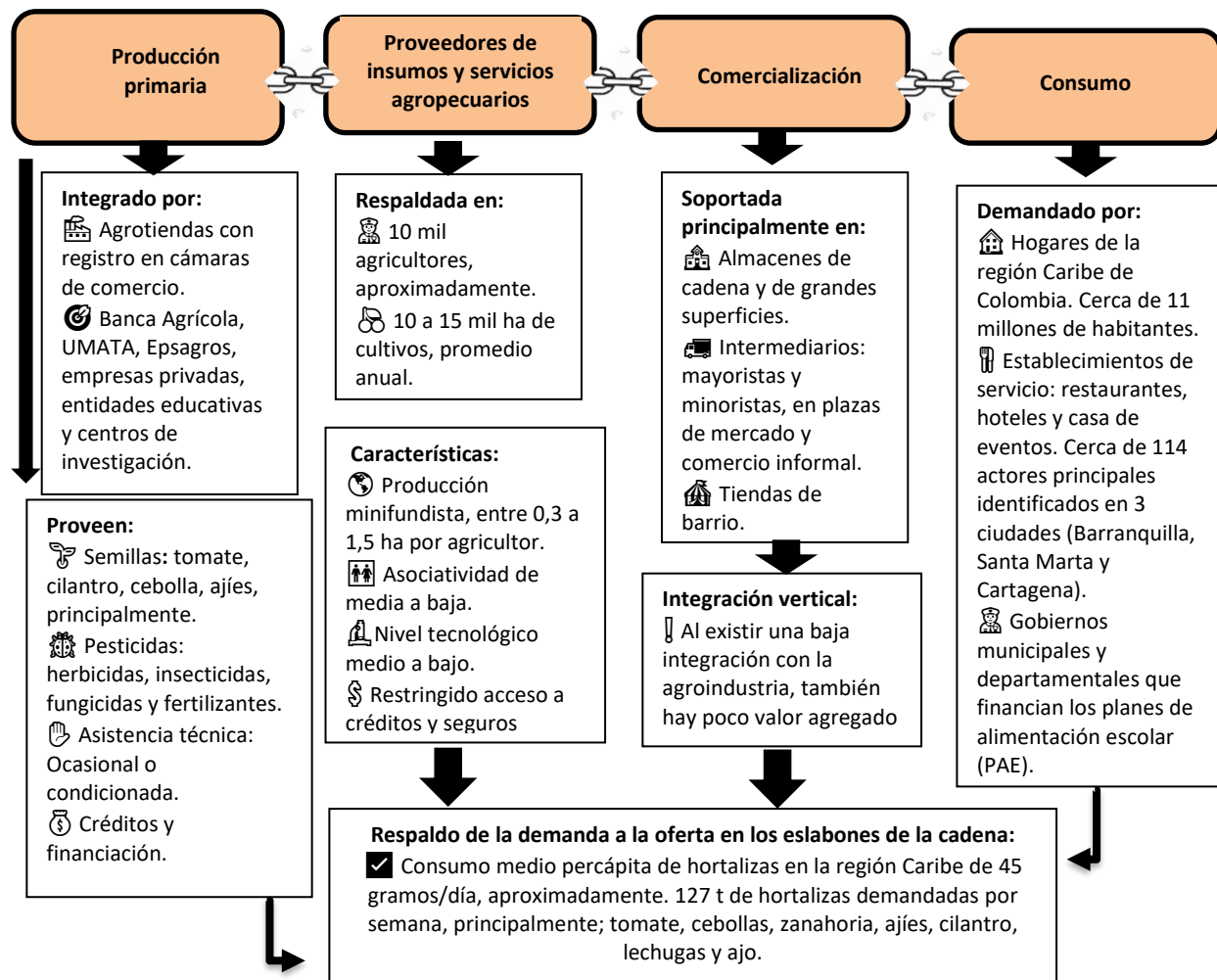


Figura 3. Mapa de la cadena de valor de hortalizas en la región Caribe de Colombia, con énfasis en Barranquilla, Cartagena y Santa Marta.
Fuente: Elaboración propia.

Se aplicaron un total de 121 encuestas a igual número de actores de la cadena de valor hortícola en la región Caribe del país, en las ciudades Barranquilla, Cartagena y Santa Marta. Participaron integrantes de los eslabones: i) proveedores (vendedores de semillas o de plántulas de hortalizas); ii) productores (pequeños horticultores); iii) distribuidores mayoristas (almacenes especializados en venta de altas cantidades de productos hortícolas); iv) comercializadores minoristas (locales comerciales y empresas especializadas en la venta al detalle o retail de hortalizas, como almacenes de cadena y mercados tipo fruver); v) agroindustria, y vi) consumidores finales que demandan altas cantidades de hortalizas (hoteles y restaurantes) (Figura 4).

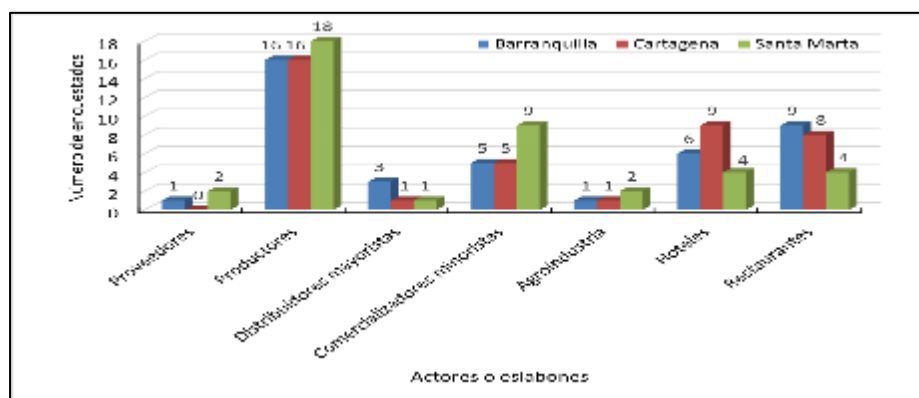


Figura 4. Número de encuestas realizadas a eslabones o actores de la cadena de hortalizas en tres ciudades de la región Caribe de Colombia (Barranquilla, Cartagena y Santa Marta).

Fuente: Elaboración propia

Eslabón de los proveedores (vendedores de semillas o de plántulas de hortalizas)

En cuanto al origen de las semillas que utilizan los productores, se encontró que cerca del 60 % adquieren semillas de hortalizas mediante su compra en agrotiendas a nivel local. Las semillas más demandadas son las de tomate, cilantro, berenjena, pepino, ají cubanelle, ají topito y ahuyama. En cuanto a las semillas producidas por los propios agricultores, se destacan las especies ají topito, ahuyama, berenjena, habichuela y cebolla de rama.

Eslabón de producción

Para los 50 horticultores encuestados del eslabón de producción, las características más importantes fueron:

100 % de los agricultores encuestados, en los tres centros urbanos (Barranquilla, Cartagena y Santa Marta), se dedican única y exclusivamente a la producción y venta de hortalizas frescas sin ningún tipo de procesamiento, lo que indica su nula vocación hacia la transformación y generación de valor agregado hacia la producción de hortalizas.

Las especies de hortalizas que los productores cultivan con mayor representatividad son: ají topito, tomate y ahuyama, con porcentajes de prevalencia por encima del 28 %, mientras que las que menos se cultivan son cebollas, rúgula y espinaca, con prevalencias del 2 %. Estos resultados coinciden con las estimaciones oficiales de producción de hortalizas en la región Caribe.

-La mayoría de los agricultores venden su producción a tiendas de barrio locales (34 %); después se encuentran las ventas a intermediarios (30 %) y las ventas directas a restaurantes (3 %), mientras que alrededor del 11 % de los productores destinan su producción para el autoconsumo (Figura 5).

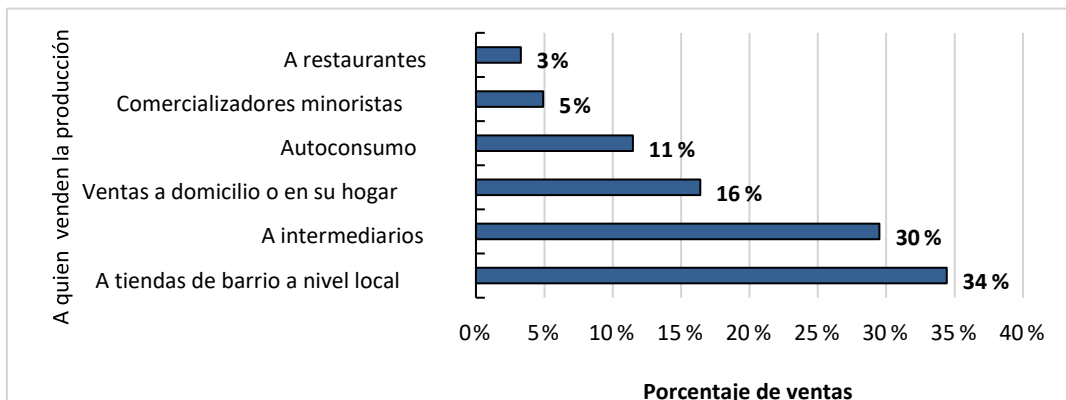


Figura 5. Destino de la producción de hortalizas por parte de los productores en la región Caribe de Colombia.

Fuente: Elaboración propia

Al preguntar a los productores qué otros cultivos, además de los que tradicionalmente producen, estarían dispuestos a sembrar, o en cuáles les gustaría aumentar su producción, estos respondieron que especies como cilantro, tomate, berenjena y ají serían las hortalizas de mayor interés, y, en un segundo grupo, especies como cebolla de rama, habichuela y pimentón.

Los productores identificaron que las variaciones climáticas (exceso de lluvias y prolongados periodos de sequía) y los problemas fitosanitarios (plaga y enfermedades en los cultivos), con un 33 % cada uno, representan las principales restricciones en su actividad productiva dentro de la cadena de hortalizas. Además, se reportó que el 100 % de los productores desarrollan sus actividades agrícolas bajo condiciones de campo abierto, es decir, sin ningún tipo de ambiente o condición protegida para el manejo de los cultivos.

Eslabón de comercializadores

Las principales características encontradas fueron:

Los distribuidores mayoristas, almacenes de grandes superficies y comercializadores minoristas, en las tres ciudades analizadas (Barranquilla, Cartagena y Santa Marta), venden principalmente hortalizas frescas sin ningún tipo de procesamiento. Comercializan también, en menor proporción, productos a base de vegetales semiprocados, ya sean lavados, picados, mezclados o encerados. Mientras que, productos elaborados como salsas, deshidratados y vinagres de hortalizas se comercializan en menor proporción (Figura 6).

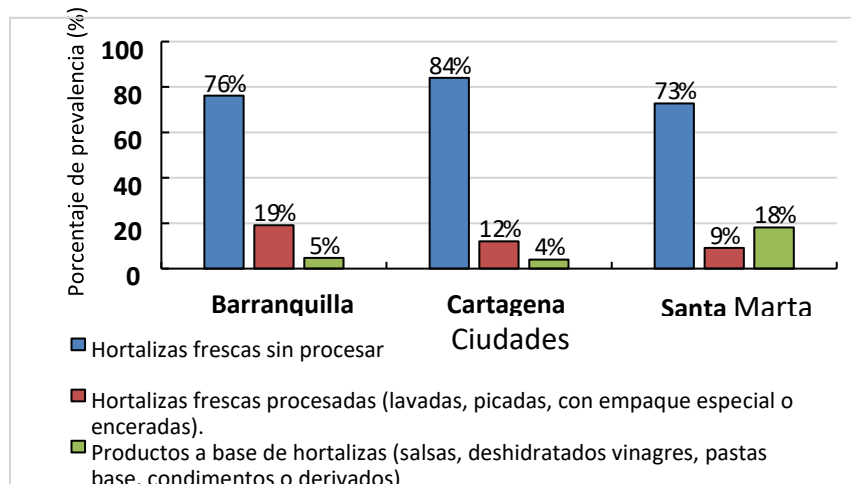


Figura 6. Principales tipos de productos hortícolas ofertados por comercializadores en tres ciudades de la región Caribe de Colombia.

Fuente: Elaboración propia

Los principales proveedores se abastecen en la cadena de valor de hortalizas en la región Caribe de Colombia, a través de los intermediarios, con un porcentaje de participación del 67 %, mientras que los agricultores son los que tienen una menor participación en el abastecimiento directo hacia los comercializadores (Figura 7).

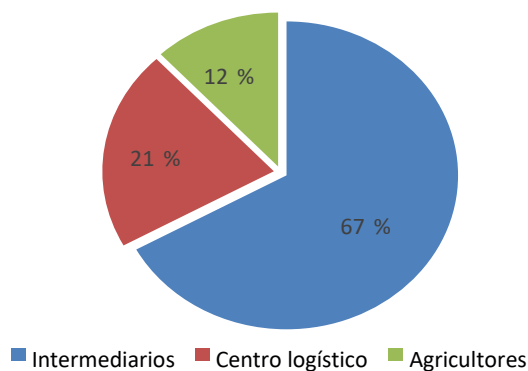


Figura 7. Principales proveedores que abastecen a los comercializadores de hortalizas en la región Caribe de Colombia.

Fuente: Elaboración propia

A nivel de especies, los productos que más se comercializan y, por ende, los que más se demandan en las tres ciudades analizadas de la región Caribe de Colombia (Barranquilla, Cartagena y Santa Marta) son, en promedio, tomate (75 %), lechuga crespa y Batavia (64%), cebollas de bulbo (55 %), pimentones (37 %) y zanahoria (27 %); perejil, habichuela, coliflor y apio, son las especies de menor demanda, todas por debajo del 6 %, en promedio.

Respecto al lugar de origen de las hortalizas con las cuales se abastecen los comercializadores, se

encontró que el alrededor del 90 % los productos provienen de departamentos externos a la región Caribe: Cundinamarca es el departamento de mayor participación (41 %), seguido de Santander (19 %) y Antioquia (15 %) (Figura 8).

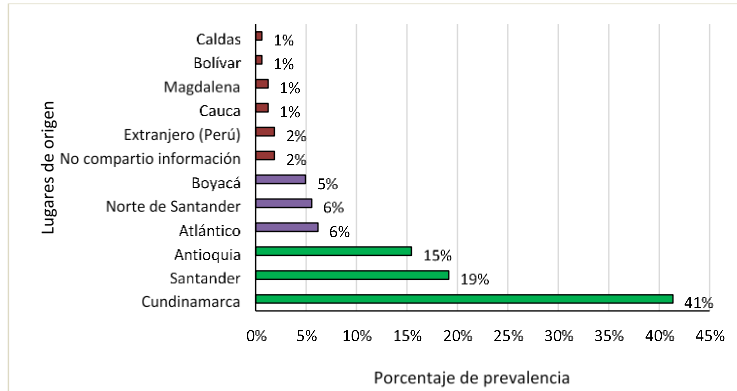


Figura 8. Lugares de origen de los productos hortícolas de los cuales se abastecen los comercializadores, en tres ciudades de la región Caribe de Colombia (Barranquilla, Cartagena y Santa Marta).

Fuente: Elaboración propia

El 100 % de los comercializadores manifestaron que están dispuestos a incrementar el abastecimiento de productos hortícolas producidos por agricultores locales de la región Caribe, siempre y cuando los productores locales puedan generar los productos que el comercio demande, tanto en especies como en cantidad y calidad.

En cuanto a los problemas que afectan la cadena de hortalizas, los comercializadores, junto con el grupo de consumidores encuestados en las tres ciudades, consideran que la baja calidad de estos productos (de los cuales se abastecen o consumen, representa el problema más relevante de la cadena (22 %), seguido de la alta variación de precios de los productos (19 %) y los paros en las vías, los cuales afectan el abastecimiento (18 %).

Eslabón de consumidores (hoteles y restaurante) y eslabón de la agroindustria

60% de los consumidores encuestados manifestaron que realizan abastecimiento semanal de los productos hortícolas, mientras que solo el 2 % realiza aprovisionamiento mensual, 100 % de los encuestados en el eslabón agroindustrial manifestaron que comercializan principalmente hortalizas frescas procesadas (lavadas, picadas, empacadas o mezcladas), y, en su mayoría, localmente.

Respecto a los principales proveedores que abastecen a los consumidores y la agroindustria, se identificó que se abastecen principalmente de los comercializadores mayoristas, almacenes de cadena y minoristas, con un porcentaje de participación en conjunto del 85 %, mientras los agricultores son los de menos participación (4 %) (Figura 9).

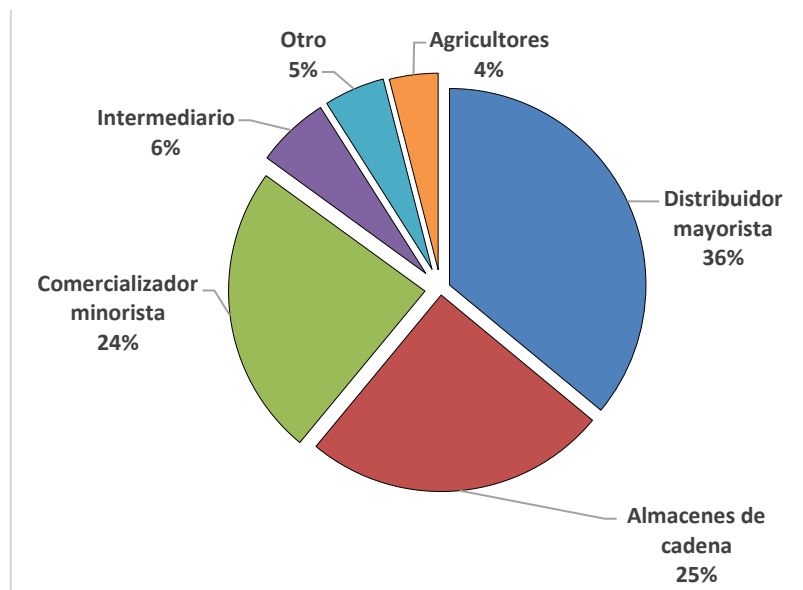


Figura 9. Principales fuentes de las cuales se abastecen los consumidores y la agroindustria en la cadena de valor de hortalizas en la región Caribe.

Fuente: Elaboración propia

Respecto a los principales problemas que tiene la agroindustria, se destacan las condiciones edafoclimáticas (las cuales limitan la producción de algunos cultivos hortícolas a nivel local), el desconocimiento del mercado, mucha demanda y poca oferta de productos en la región, así como carencia de mano de obra local capacitada en temas de transformación de productos hortícolas. En conjunto, estas limitaciones representan cerca del 90 % de las principales dificultades que enfrenta el eslabón de agroindustria en la región Caribe.

Respecto a los volúmenes de consumo, se estimó un promedio de 127 toneladas de productos hortícolas demandados semanalmente en la muestra de actores entrevistados de las ciudades Barranquilla, Cartagena y Santa Marta, en las cuales se ubican las principales plazas mercado de hortalizas en la región Caribe de Colombia. Barranquilla es el centro urbano en el que más se comercializan hortalizas, con un porcentaje de participación cercano al 74 % del total descrito.

Entre las dificultades o limitantes identificadas por algunos consumidores sobre la situación de la cadena de valor de hortalizas en la región Caribe de Colombia, se puede resaltar que la mayoría de los problemas están relacionados con el tiempo y el transporte (largas distancias) en el abastecimiento de las hortalizas traídas de otras partes del país, los cuales afectan la calidad de las hortalizas. Ante esta situación, los actores del eslabón de consumo destacan la importancia de implementar proyectos que incentiven la producción local de hortalizas en la región Caribe para garantizar mayor calidad en los productos demandados y precios más competitivos.

Por último, el componente de los consumidores y la agroindustria, junto con los eslabones de producción y comercialización, manifestaron en conjunto que las especies hortícolas tomate, lechugas (crespas y Batavia), cebollas (roja y blanca), pimentones (verde y rojo) y zanahoria son las de mayor interés (> 50 % de prevalencia) en la cadena de valor de la región Caribe, debido a

su alta demanda regional, mientras que la remolacha, la hierbabuena, la albahaca y las coles, serían las especies de menor interés.

Panamá

El cierre agrícola en el periodo 2017 - 2018 registró en Panamá una superficie sembrada de hortalizas de 1.577 ha, una producción de 45.720 t y 465 horticultores (Figura 10). Sin embargo, en el cierre agrícola de 2018-2019, se registró un incremento en la producción de 3,5 % (47.363 t) con 1.630 ha sembradas (MIDA, 2019)



Figura 10. Mapa de las zonas hortícolas estudiadas y ruta de investigación.

Fuente: Mapa elaborado por Erick Hernández, IDIAP

Las zonas hortícolas en Panamá están ubicadas en la provincia de Chiriquí, ubicada en el suroccidente del país (frontera con Costa Rica, donde se produce en el 80 % de productos agrícolas del país, principalmente en las Tierras Altas (más de 1200 m s. n. m.), en las que predomina el clima templado. Las principales hortalizas producidas en Chiriquí son cebolla, repollo (90 % de la producción nacional en Cerro Punta y Boquete), lechuga (95 % de la producción nacional), zanahoria (88 % de la producción nacional), pimentón y ají (63 % de la producción nacional), remolacha, entre otros. La Península de Azuero, conformada por las provincias de Herrera y Los Santos, tiene un clima tropical; en las costas y tierras bajas se encuentra el bosque seco o selva tropófila, altamente intervenida y alternada con extensas sabanas. En Azuero, se produce el 85 % de la producción nacional de tomate industrial (129.000 kg de 151.000 a nivel nacional), y el 10 % de la producción nacional de ají.

La agricultura protegida en Panamá registra 292 ha. Se utilizan infraestructuras tipos techito, artesanal (cañazos), mixtos (cañazos y metal) e industriales (carriolas) Los cultivos principales son tomate de mesa, tomate pera, pimiento, fresa, lechuga, pepino, flores y follaje. A nivel nacional, las estadísticas registran 384 productores, los cuales cuentan con infraestructuras para cultivos en ambientes protegidos, y es la provincia de Chiriquí la que agrupa a la mayoría de estos productores (MIDA, 2018).

Con base en la información primaria y secundaria, se ajustó y elaboró el flujograma de la cadena de valor de hortalizas en Panamá (Figura 11).

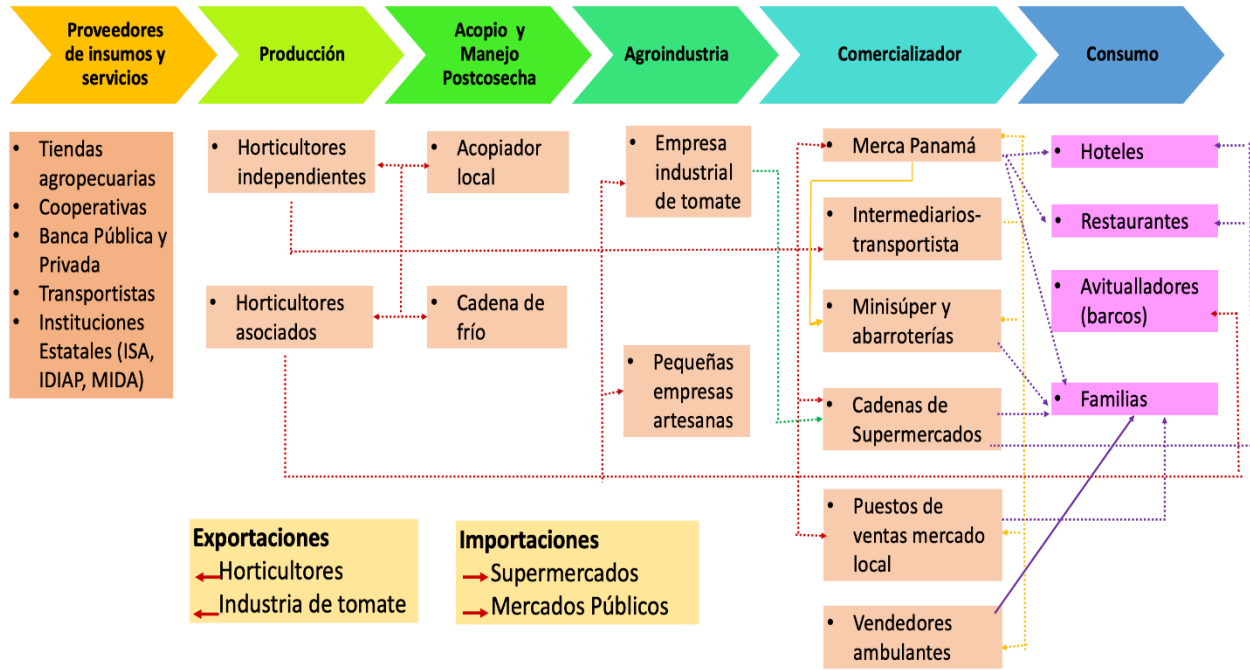


Figura 11. Flujograma de la cadena de valor de hortalizas en Panamá.

Fuente: Elaboración propia

Eslabón de producción

En el eslabón de producción, los actores principales son los productores de campo abierto y agricultura protegida. Existen productores independientes, pero también hay una gran cantidad organizados en las principales asociaciones hortícolas del país:

Asociación de Productores de Tierras Altas

Cooperativa El Progreso

Asociación de productores de Tomate Industrial Azuero

Asociación de productores de Boquete

Asociación de productores de Río Sereno

Características socioeconómicas del productor

Del total de productores encuestados (n = 41), el 91 % eran hombres, y su edad promedio era de 50 años; 29 % con escolaridad primaria incompleta y 23 % con formación universitaria. Más del 90 % cuenta con vivienda propia de bloque y acueducto rural.

Los productores estudiados tienen una superficie total promedio de 8 ha (rango mayor a 36 ha y rango menor a 1 ha), pero dedican 2 ha a la horticultura. El 60 % de estos productores tienen título de propiedad; 23 % derecho posesorio; 17 % alquila y 5 % utiliza tierras prestadas. En la

Península de Azuero, la topografía para la producción de hortalizas del 78 % de los productores es plana, mientras que, en Chiriquí, el 50 % cultiva en tierras onduladas y el 33 % en tierras accidentadas.

Los productores de hortalizas comúnmente clasifican y limpian los productos en campo con cajas plásticas (495 x 370 x 290 mm) para la recolección del tomate y sacos mallas para cebolla y ají.

La cadena de frío a nivel nacional cuenta con cuatro plantas postcosecha, cuyos servicios se ofrecen de forma gratuita a los agricultores del país:

Planta de postcosecha de Cerro Punta (Chiriquí) para los rubros papa, remolacha, hojas.

Planta de poscosecha de Volcán (Chiriquí) para los rubros de tomate y cebolla.

Planta de poscosecha de Dolega (Chiriquí) para los rubros de papa y cebolla.

Planta de poscosecha de El Ejido (Azuero) para los rubros de cebolla y tomate.

Eslabón de comercialización/transformación

En este eslabón participan comercializadores detallistas e intermediarios, los cuales constituyen los dos principales medios de distribución, ya sea para el mercado local como para el nacional. Sin embargo, también participan los mayoristas, constituidos por las grandes cadenas de supermercados.

Circuito comercialización - detallistas

El circuito comercialización detallistas ocupa pequeños puestos en las provincias y está dirigido específicamente a pequeños comercios como tiendas, abarroterías, minisúper y restaurantes. Permiten al consumidor final un fácil acceso al producto por encontrarse ubicados a cortas distancias. El 81 % indicó que compra a intermediarios. Más del 60 % de las hortalizas que venden provienen de Chiriquí

La presentación, frescura, color, limpieza y tamaño son las principales características que los detallistas consideran a la hora de comprar las hortalizas (Figura 12).

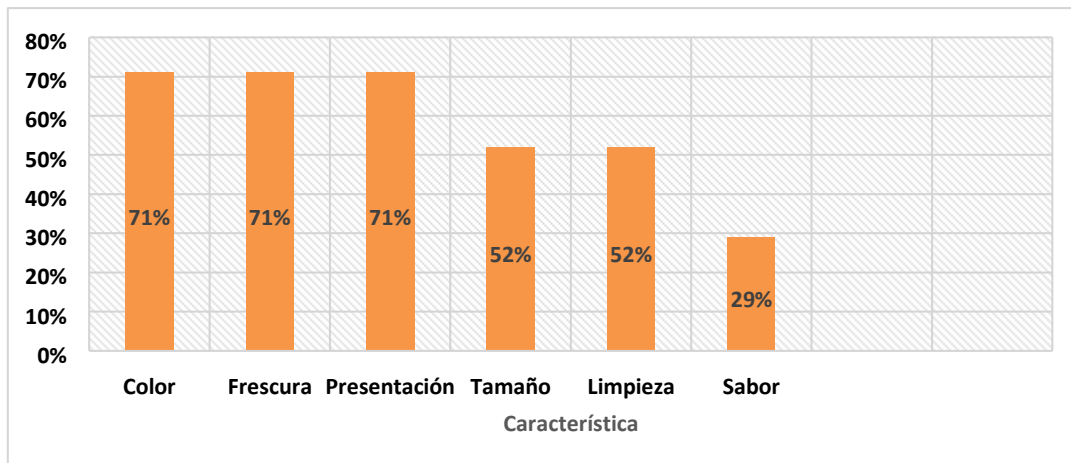


Figura 12. Características preferidas por detallistas.

Fuente: Elaboración propia

Para los detallistas - mercados locales, las hortalizas de mayor comercialización son tomate, pimentón, apio y zanahoria

En el circuito comercialización - mayoristas mercado local y nacional, los intermediarios se encargan de la distribución tanto local como nacional. El mercado local lo componen grandes cadenas de supermercados, restaurantes y hoteles en las provincias.

En el mercado nacional, su principal actor es el Mercado Agrícola Central, ubicado en la ciudad de Panamá, el cual permite la comercialización y la distribución tanto a minoristas como a mayoristas, a grandes supermercados de la ciudad y a una gran cantidad de comercializadores de barcos (avitualladores), quienes constituyen un actor muy particular de comercialización en el rubro del ají (Figura 13).



Figura 13. Instalaciones Mercado Agrícola de Panamá. a. Nuevas instalaciones Merca Panamá. b. Antiguas instalaciones Mercado Agrícola Central.

El consumidor final paga un precio por algunas hortalizas entre el 100 % y el 500 % sobre el precio adquirido en campo (finca del productor), como es el caso del apio, el brócoli, la zanahoria, la lechuga, entre otros.

La agroindustria está representada por la empresa Nestlé S. A., ya que es la única que compra tomate para fines industriales en Panamá. Nestlé está ubicada en la provincia de Coclé y cuenta con entre 120 y 170 proveedores de tomate industrial.

Los resultados del consumo de hortalizas se obtuvieron a través de una encuesta a consumidores con un recordatorio de 24 horas (R24H). Es uno de los métodos más utilizados para evaluar la dieta, por ser preciso, confiable y de bajo costo, y que además permite estimar la ingestión habitual de energía y nutrientes cuando se cuenta con al menos una réplica del R24H en una submuestra y se complementa con la frecuencia de consumo para un tipo de alimento.

El 68 % de los consumidores entrevistados consume hortalizas de hojas y otras, y solo el 9 % indicó no consumir ningún tipo de hortalizas. El consumo de hortalizas se ha relacionado con la alimentación saludable, y esta fue la principal razón de consumo de hortalizas indicada por los consumidores (50 %), seguidos por la preferencia por las ensaladas (38 %).

El porcentaje de preferencia de consumo, según la procedencia de las hortalizas, refleja que un 64 % de los consumidores prefiere las de origen nacional, y un 58 % indica que consume tanto nacionales como importadas. Hay un porcentaje importante de los consumidores entrevistados (30 %) que manifestaron que adquieren las hortalizas sin conocer su origen

Los consumidores adquieren las hortalizas principalmente en los supermercados (47 %) y los mercados públicos (44 %), puestos ambulantes (10 %) y huertos familiares (8 %). Más del 80 % de los consumidores considera que todas las características planteadas son muy importantes para su selección, en especial la higiene (96 %).

Al observar la frecuencia de consumo de las hortalizas, se identifica que la cebolla y el culantro son consumidos diariamente por más del 80 % de los entrevistados, debido a que se utilizan para preparar las comidas diarias del panameño. Mientras que, repollo, pepino, lechuga, zanahoria y tomate tienen una frecuencia de consumo semanal. También, se preguntó al consumidor cuáles son las hortalizas preferidas en el momento de la compra, y en orden de importancia las señaladas con mayor frecuencia fueron tomate, cebolla, pepino, repollo y brócoli.

Factores críticos que afectan la competitividad de la cadena de valor de hortalizas en Panamá

La competitividad de la cadena de valor de hortalizas en Panamá es afectada por diferentes factores críticos. La comercialización es el principal factor que afecta el eslabón de producción, atribuido principalmente a las importaciones y a los bajos precios de campo de las hortalizas pagados a los productores.

Para los comercializadores-detallistas, el principal problema es la ausencia de una infraestructura adecuada para ofrecer sus productos a los clientes, y la disminución en las ventas por el alza de los precios de las hortalizas.

Para los consumidores el principal problema es el alto precio para adquirirlas, seguido de la falta de información y concientización de sus propiedades nutricionales.

La Matriz de calificación y priorización de hortalizas de Panamá, permitió priorizar los siguientes cultivos ají pico de loro, tomate industrial, tomate, lechuga y cebolla.

República Dominicana

Los vegetales tienen una destacada importancia en República Dominicana por su participación en la canasta alimentaria, así como por ser materia prima en la agroindustria y el aporte en términos de divisas por concepto de exportaciones. En ese sentido, es sobresaliente el volumen de la producción de cebolla, ajo, tomate industrial, zanahoria, ajíes, tomate de ensalada, cultivados a campo abierto, donde se indica la producción en el periodo 2010-2019 (MA, 2020).

En las estadísticas que publica el Ministerio de Agricultura (www.agricultura.gob.do), se indica la superficie cosechada de los vegetales a campo abierto en el periodo 2002 - 2019. En el caso del cultivo de ajíes, tomate de ensalada y pepino, en 2019 fueron cosechadas 13,8 hectáreas (ha), 2,6 ha y 2,5 ha, respectivamente (MA, 2020).

Los principales vegetales como ají, tomate y pepino se cultivan a campo abierto y también en “estructura bajo ambiente protegido” (EBAP). Se analizaron los datos de producción y superficie, se estimó el rendimiento de los cultivos promedio y se concluyó que la producción en EBAP es 3 o 4 veces mayor que a campo abierto.

Los vegetales orientales [Vainitas (blanca, verde y surinam), muzú (chino e hindú), berenjena (China y Tai), cundeamor (chino e hindú), ají (picante largo y corto), bangaña (china e hindú) y tindora, entre otros] son otro tipo de hortalizas y son cultivadas para un mercado diferente al de los vegetales cultivados en EBAP para exportación. El ají picante forma parte del cultivo de vegetales orientales y de los cultivos plantados en EBAP. Los principales mercados de exportación

de vegetales orientales de la República Dominicana son Europa, Estados Unidos y Canadá (Martínez et. al., 2007).

En la producción de los cultivos en los invernaderos con estructura de metal, predomina el uso de sustratos, y en los invernaderos construidos en madera, el suelo. Se encontró que los productos de mayor oferta son tomate (*Solanum lycopersicum*, L.), ají (*Capsicum annum*, L.) y pepino (*Cucumis sativus*, L.), de distintas variedades.

En el periodo 2004 - 2018, se observó un aumento significativo de la superficie cultivada y de la producción bajo ambiente protegido. En el año 2016, se contaba con 9.282.485 m², y, al finalizar el 2018, con 11.100.000 m², distribuidos en estructuras de metales, maderas y casas mallas. La producción total de vegetales cultivados en EBAP creció en el 2017 en un 9,23 %; sin embargo, la producción presentó una leve caída de 4% en el 2018 (Deprobab, 2017, 2018).

En la Figura 14, se pueden visualizar las principales zonas del país en las que se cultivan los vegetales en EBAP (Estructura Bajo Ambiente Protegido) y la superficie cultivada en la República Dominicana. Se observa en San José de Ocoa una superficie de 4,277,336 m² (427.73 ha), en La Vega 3,672,959 m² (367.30 ha) y en Espaillat 453,888 m² (45.39 ha)



Figura 14. Mapa de la República Dominicana y la superficie cultivada en m².

Fuente: Deprobab (2019)

De acuerdo con la metodología establecida para la elaboración de la matriz de calificación y priorización de los cultivos, el ají morrón, ají cubanela y ají picante, seguido por pepino, tomate, bangaña, berenjena, cundeamor y vainita.

Se realizaron dos reuniones, tanto en la Coopindeste como en la Aprovece, y se llevaron a cabo varias presentaciones del proyecto (IDIAF, Ministerio de Agricultura y el Clúster). Tanto en la cooperativa como en la asociación, se realizaron grupos focales en los que hubo participación de los productores de vegetales.

En ambas asociaciones de productores prefirieron la siembra de ají picante, cubanela y morrón. En Aprovece (Asociación de Productores de Vegetales Norcentral), se

prefirió trabajar con ají picante y cubanela, además de la bangaña, para observar los resultados del cambio de producción a campo abierto para cultivar en EBAP, como cultivos innovadores en la zona de producción de los vegetales orientales. En Coopindeste (Cooperativa de Productores de Invernaderos del Este), indicaron trabajar con ají morrón y ají picante, debido al crecimiento de la demanda. En el estudio de la cadena y a partir de las informaciones recopiladas de la fuente primaria y secundaria, se identificaron los actores de cada eslabón, así como los proveedores de insumos y servicios, los productores, comercializadores, agroindustria y negocios o empresas que venden y distribuyen alimentos (hoteles, restaurantes, etc.). figura 15.

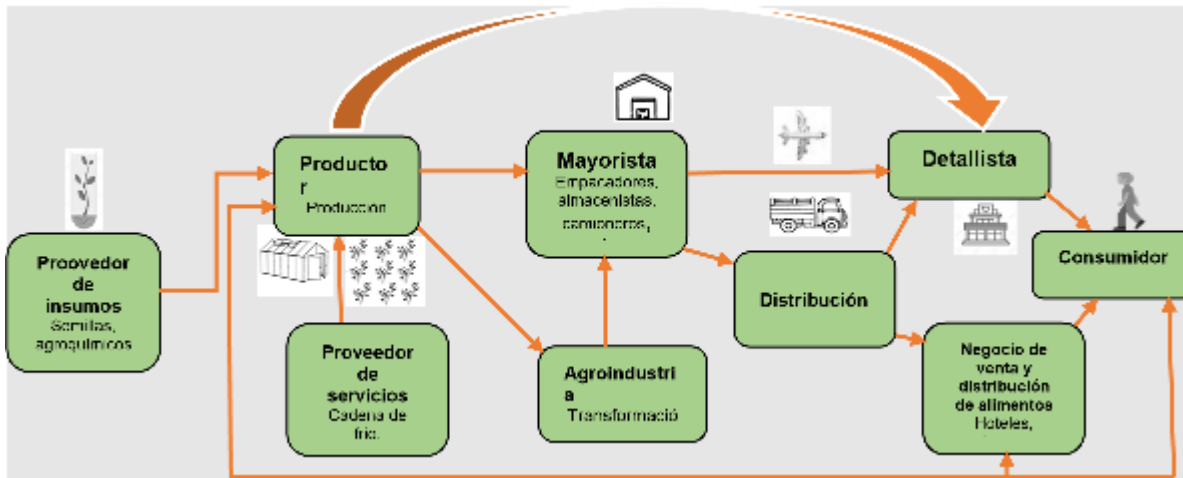


Figura 15. Mapa de la cadena de valor de los vegetales en República Dominicana

Fuente: Elaboración propia

Los principales insumos utilizados en la producción a campo abierto y bajo ambiente protegido son las semillas, fertilizantes, plaguicidas (fungicidas, insecticidas, acaricidas y herbicidas, etc.), coadyuvantes, reguladores de crecimiento, etc. En el caso de los cultivos bajo ambiente protegido, los productores, además de los insumos, deben conseguir los materiales de construcción de la estructura, realizar los sistemas de riego, realizar el mantenimiento de las estructuras de metal o madera y montar las coberturas plásticas o casa malla.

Las semillas de estos productos cultivados bajo ambiente protegido se consiguen en Estados Unidos (EE. UU.) (20 %) y en casas vendedoras de semillas (80 %). Existen varios proveedores de servicios de financiamiento formales como el Bagrícola, Ademi, Banco de Reservas, Banco Popular, etc. Otras instituciones que dan apoyo al sector son: a) Ministerio de Agricultura (MA), Instituto Dominicano de Investigaciones Agropecuarias y Forestales (Idiaf); Ministerio de Industria y Comercio (MIC); Consejo Nacional de Competitividad; y el Consejo Nacional de Productores Agropecuarios.

Los productores tienen una edad promedio de 56 años, con un rango de entre 38 y 64 años. Entre estos, no se identificaron mujeres cabezas de hogar, sino solo jefes de familia productores. El

mayor nivel educativo se encontró entre los agricultores con grado universitario (69 %), seguido de los del nivel medio, secundaria (23 %) y primario (8 %). Según estas referencias, el cultivo bajo ambiente protegido exige un mayor nivel educativo, el cual está determinado por el buen desarrollo de esta actividad productiva.

El porcentaje de agricultores que tienen tituladas sus tierras es de 42 %; el 32 % tiene tierra propia; el 16 % la tenían con acto de venta; el 5 % arrendada y el 5 % prestada. Los productores tienen vivienda de cemento en un 100 %. La fuente de agua es la de pozo (47 %), seguido por el agua de río (29 %) y la tubería (24 %). Los electrodomésticos radio, televisión, estufa, nevera fueron un denominador común en los bienes de los productores. La mayoría de los productores tienen viviendas propias (82 %), mientras que otros viven en alquiler (18 %). Para el consumo de sus alimentos, todos utilizan el gas y usan el inodoro. En la vivienda se encontraban 3,8 personas promedio con un rango de 3 a 5 personas por vivienda, en promedio una a dos personas por habitación.

Las superficies de los predios a campo abierto tienen en promedio 2,88 hectáreas, y un rango de 0,63 a 6,25 hectáreas. Según los entrevistados, a campo abierto se cultivan ají picante (30 %), plátano (20 %), guineo (10 %), maíz (10 %), berenjena (7 %), etc. Las superficies de las estructuras bajo ambiente protegido (EBAP) tienen desde 1.200 m² hasta 25.000 m², con un promedio de 7.121 m², sin incluir los extremos 5.776 m². Las EBAP en zonas bajas son de madera tipo capilla (70 %), con plásticos transparentes de 200 a 250 micras y mallas de 50 a 80 micras. Los cultivos producidos en zonas bajas son en su mayoría ají picante, ají cubanela, pepino y morrón, y en algunos casos han tenido siembra de tomates, pero no de manera permanente.

Los cultivos encontrados durante las entrevistas a productores fueron: ají morrón, picante, cubanela y pepino. Las plantaciones a campo abierto de ají picante red type y yellow type se cultivan con un manejo similar al realizado en las EBAP. Según los entrevistados, el rendimiento del ají picante a campo abierto es hasta cuatro veces menor que en EBAP, y los costos tienden a aumentar.

La producción de vegetales bajo ambiente protegido en las zonas bajas inicia con la preparación, desinfección del terreno y siembra, para la cual después de comprar la semilla se hacen semilleros o se envían a germinar a empresas; posteriormente, se llevan a cabo las prácticas culturales, como fertilización, manejo de enfermedades y plagas, podas, deshoje y la cosecha. Se lleva a cabo en estructuras cubiertas de plásticos (invernaderos), y en los lugares de menor pluviometría donde se encuentran las casas malla.

El cultivo de vegetales es realizado por hombres en su totalidad (100 %), pues las mujeres no se involucran en la actividad. Las mujeres trabajan en la recolección de frutos y realizan prácticas culturales (deshije, deshoje, deschuponado, etc.), tanto bajo ambiente protegido como a campo abierto. La agricultura es la actividad principal a la que los productores se dedican, aunque tienen otras fuentes de ingresos como: restaurantes, fabricación de puertas de metal, colmados, comercio, pensión, ganadería, mecánica, electricidad, agrónomo, etc., dentro de las respuestas indicadas por los entrevistados.

Las cosechas de las hortalizas se realizan en cajas plásticas (495 x 370 x 275 mm), se limpian y se llevan al área de empaque, donde se clasifica, selecciona y empaca en cajas de 22 y 8 libras (10 y 3,6 kg), según sea el producto, ají morrón o ají picante producidos en EBAP o a campo abierto. En

el caso del ají picante, se comercializa a través de empacadoras especializadas en el mercado de vegetales orientales, y también como vegetales producidos en EBAP. Se despachan en camiones refrigerados y no refrigerados, dependiendo el tiempo de entrega en los mercados internacionales y locales.

En los vegetales hay dos canales de comercialización diferentes: a) la producción de vegetales cultivados en EBAP, que requiere de altos niveles de inversión de capital y tecnológico, y b) la producción de vegetales orientales, que se cultiva en campo abierto con una estructura muy fragmentada de pequeños y medianos productores en su mayoría y algunos productores con grandes superficies de producción.

Los productos de EBAP se exportan a EE. UU., Canadá, Europa y Haití. 30 % de los entrevistados indicaron vender en el mercado local. Según estos, sus ventas de vegetales las realizan de manera directa (55 %), y a través de intermediario (45 %). La producción de vegetales como los ajíes y el pepino se vende en el mercado internacional, y en el mercado local van dirigidos a diferentes compradores, tales como la agroindustria, hoteles, restaurantes, cadena de supermercados, mercados públicos, etc. En el caso de los vegetales orientales (ají picante), son exportados a EE.UU., Canadá y Europa. El ají picante que se rechaza para los mercados internacionales se exporta a Haití, o son comercializados a través de la agroindustria.

El principal canal de comercialización de los vegetales que son producidos para el mercado internacional lo constituyen las empacadoras exportadoras. El 55 % de los productores entrevistados indicaron que sus ventas son directas. El segundo canal es el mercado local, en el cual lideran los detallistas como el principal mercado de distribución, que es realizado por las cadenas de supermercados, seguido de intermediarios-mayoristas como los compradores y camioneros, y del mercado local, entre los que se encuentran los intermediarios y camioneros, las cadenas de supermercados y los mercados públicos (puestos de venta, camionetas, carretilleros, etc.).

Los mayoristas se encargan de la distribución en los mercados públicos como el Mercado Nuevo de la Duarte, Merca Santo Domingo y Hospedaje de Santiago, principalmente. El Merca Santo Domingo sirve a detallistas mediante los puestos de ventas de productos frescos en una grande y moderna instalación para vender al público, con una excelente administración con respecto al mercado de la Duarte. Los vendedores del Mercado Nuevo y el Hospedaje compran a camiones que llegan con vegetales frescos desde las fincas y compran a intermediarios. Estos productos son de menor calidad que los productos que se exportan y tienen corta vida de anaquel. Estos intermediarios consiguen productos de calidad para vender en hoteles exigentes, pero principalmente es un mercado para personas con ingresos bajos de la zona urbana, que comercializan productos de menor calidad.

En el caso de los mayoristas exportadores, el volumen de ají picante, tanto a campo abierto (vegetales orientales) como en EBAP, rondan entre las 22 y las 28 mil toneladas/cultivo/año, según los exportadores. Los exportadores de los vegetales cultivados en EBAP son reducidos en número. Las empacadoras-exportadoras venden hasta 20 contenedores semanales promedio al exterior. En el momento de la entrevista, los precios estaban alrededor de RD 28 por libra (RD 61,6/kg). Se incluye como mayorista al camionero que comercializa alrededor de 6.000 kg/viaje en un camión cama larga, tanto de ají morrón como cubanela y picante, respectivamente. Según

los camioneros, se comercializan en promedio 11.000 kg/viaje de tomates, 6.500 kg/viaje de ají morrón, 5.900 kg/viaje de cubanela y 5.000 kg/viaje de ají picante, los cuales llegan a diferentes puestos de distintos mercados a nivel local.

Los lugares de donde proceden los vegetales que se cultivan en EBAP y se comercializan a nivel nacional son Constanza (64 %), Jarabacoa (21 %), Ocoa y Rancho Arriba (7 %), seguido de La Vega (7%), que cultiva vegetales a campo abierto. Entre las características más importantes para el mayorista al realizar la compra se encuentran la frescura del producto (90 %), el color (90 %) y el tamaño.

Los intermediarios que compran a otros intermediarios y venden directamente a los consumidores representan el 51 %; mientras que los que compran a productores e intermediarios, y venden a otros intermediarios, representan el 35 %; solo un 14 % indicaron comprar a productores, entre los que se encuentran comercializadores que también son productores.

En República Dominicana, las cadenas de supermercados son el mayor canal para la distribución de productos alimenticios, en las cuales venden los mayoristas-acopiadores y algunos productores en grandes cantidades. En el estudio se identificaron las principales cadenas de supermercados como Grupo Ramos, Centro Cuesta, Hipermercados Olé, Supermercados Bravo, Plaza Lama, Supermercado Iberia, etc. Se contabilizaron en total 125 tiendas de las cadenas más importantes distribuidas a nivel nacional

Supermercados

Tal como se refiere en la Tabla 1, se estima que la demanda del ají morrón en los supermercados es de 1.625.000 kg.

Tabla 1. Compra estimada de ají morrón en las cadenas de supermercados

Detalles	Unidad	Cantidad
Cantidad semanal/tienda	Libras (1 libra = 0,45kg)	550
Cantidad anual	Libras	28.600
Número de tiendas	Tiendas	125
Cantidad anual total	Libras	3.575.000

Fuente: Elaboración propia

La compra estimada de ají cubanela es de 1.329.545,45 kg (2.925.000 libras). Tabla 2.

Tabla 2. Compra estimada de ají cubanela en las cadenas de supermercados

Detalles	Unidad	Cantidad
Cantidad semanal/tienda	Libras*	450
Cantidad anual	Libras	23.400
Número de tiendas	Tiendas	125
Cantidad anual total	Libras	2.925.000

*Nota: 1 kg = 2,2 libras

Fuente: Elaboración propia

Hoteles turísticos

El sector turístico se estima que el número de habitaciones hoteleras en el país es de casi 78.320. La tasa de ocupación promedio del año fue de 82,4%, según el Banco Central (Bancentral, 2018). En la tabla 3 se presenta la estimación del consumo de ají morrón y cubanela por habitación, en los hoteles de una cadena reconocida de la zona turística del este, incluido Bávaro, Punta Cana, La Romana y la zona de Puerto Plata. Tabla 3.

Tabla 3. Consumo estimado de ají morrón en hoteles turísticos

Detalles	Unidad	Cantidad
Compra promedio semanal	Libras	2203
Compra promedio anual	Libras	114.556
Cantidad de habitaciones	Habitaciones	1.652
Tasa de ocupación (To)	Tasa	87,7%
Compras anuales por habitación al 81,5 % de To	Libras	69,34
Compras anuales por habitación al 100 % de To	Libras	79,07
Cantidad de habitaciones a nivel nacional	Habitaciones	78.320
Tasa de ocupación 82,3 %	Tasa	82,3 %
Estimación del consumo total de ají morrón por año	Quintales	50.966,4

Nota: 1 kg = 2,2 libras; 1 quintal = 100 libras

Fuente: Elaboración propia

Eslabón de agroindustria

La agroindustria Baldom procesa al año un promedio de 1.000.000 de kg de ají cubanela y picante, comprados a un precio promedio de RD 28,6/kg, y 90.910 kg a RD 37,4/kg, respectivamente. De ají, en promedio se procesan 3.545.455 kg anuales; de pepino, 90.910 kg, por un valor de RD 22/kg, y de tomate 3.636.364 kg, por RD 6,6/kg. La empresa Goya, S. A. prepara tanques de 208 litros con cortes de ají morrón y cubanela para exportar a Puerto Rico; además, lo utiliza en sus productos, y reporta compras de 200 quintales (9,091 kg) Inter diario. La última compra, cuando se realizó la entrevista, fue de 175 quintales (1 quintal = 100 libras = 45,45 kg). Las empresas producen en fincas propias los cultivos y compran a otros productores.

Restaurantes

Los gerentes de restaurantes compran diariamente y evitan así el almacenamiento de un producto perecedero, que pronto se vuelve basura. Según los entrevistados, los volúmenes de compra promedio estimado de vegetales del restaurante fueron 50 libras (22,7 kg) diarios; sin embargo, hay restaurantes que realizan compras entre 20 y 25 libras de cada especie (ají, lechuga,

tomates y pepinos, entre otros), y generalmente las hacen en los puestos de mercados.

Consumidores

Los consumidores finales fueron entrevistados en los puntos de distribución de mayor importancia como las tiendas de las cadenas de supermercados y los mercados públicos de Santo Domingo y Santiago, principalmente. El 99 % de las personas entrevistadas consumen vegetales. Los vegetales de mayor consumo son ají morrón, tomate, cubanela, lechuga, zanahoria, pepino, remolacha, repollo, espinaca, alcachofa, rábano, brócoli, tallota, entre otros, respectivamente. Los entrevistados hacen las compras en los supermercados (50 %), mercados (42 %), y en otros lugares 8 % (colmados, ventorrillos, etc.)

96 % de los entrevistados consumen los vegetales frescos y solo 4 % los consumen procesados. Un 70 % consumen los productos de acuerdo con su olor; un 50 % de acuerdo con su sabor y un 45 %, con su precio. 96 % de los entrevistados dijeron consumir los vegetales frescos, obtenidos en puestos de mercados y supermercados, y los prefieren respecto a los procesados. El consumo de las hortalizas o vegetales es frecuente en el país. Un 60 % de los entrevistados dijeron consumir a diario ají morrón y cubanela.

Factores limitantes para el desarrollo de la cadena de valor de los vegetales

Entre los limitantes de la producción se identificaron el manejo deficiente de las enfermedades y plagas, así como la baja calidad del material de siembra, lo que afecta el desarrollo de la cadena. Los exportadores-empacadores y mayoristas indican que el cuello de botella que más limita la cadena de valor de los vegetales es el incumplimiento de los acuerdos. Los productores entienden que la comercialización es una limitante en el desarrollo de la actividad productiva en un 80 % de las respuestas. En cuanto a los detallistas, buscan clientes que cumplan con los requisitos exigidos, y los consumidores, la frescura y calidad de los productos (90 %).

Margen bruto de comercialización del ají morrón, cubanela y habanero

El margen bruto de comercialización es el porcentaje de precio medio ponderado final de venta tomado en cada fase de la cadena. Este margen permite que se cubran los gastos originados en cada eslabón y permite una ganancia razonable para los que intervienen en la comercialización (productor, comprador, intermediario, comercializador, etc.).

En el aspecto del margen de comercialización, la PDP es de 39,12 %, lo que indica que de cada 100 pesos el productor recibe DOP 39,12, y el canal de comercialización recibe DOP 60,88. Es decir, que los que comercializan se quedan con más del 60 % de lo gastado por el comprador. El PDP, en el caso del ají morrón, fue de 39,12 %, mientras que el productor recibe del ají picante el 27,80 %, seguido del cubanela, con 22,44 %, y el pepino con 16,11 %, que le reporta al productor el menor margen.

Costa Rica

Exportaciones

Costa Rica exportó en el 2019 aproximadamente USD 127.762.980,00 en hortalizas. Su destino principal fue Estados Unidos, con un 38,24 % de las exportaciones totales del país en este rubro. Los principales productos exportados al mercado estadounidense fueron melones (*Cucumis melo*), chayotes (*Sechium edule*) y sandías (*Citrullus lanatus*).

Las principales hortalizas exportadas por Costa Rica en el 2019 fueron melón (*Cucumis melo*), sandía (*Citrullus lanatus*), chayotes (*Sechium edule*) y zanahoria (*Daucus carota*), las cuales representaron aproximadamente el 79,84 % de las exportaciones. En el 2019, el principal comprador de melón costarricense (*Cucumis melo*) fue Holanda (USD 20.240.220,00) seguido de Estados Unidos (USD 19.958.930,00) (PROCOMER, 2020). En cuanto a la sandía (*Citrullus lanatus*), Holanda y Bélgica fueron los principales compradores, con USD 13.441.090,00 y USD 4.671.000,00, respectivamente (Procomer,2020). El chayote (*Sechium edule*) fue consumido en 72,85 % por el mercado estadounidense (11.616.000,00); en el caso de la zanahoria (*Daucus carota*) y los nabos, en cambio, el principal socio fue Trinidad y Tobago (USD 4.924.540,00) (PROCOMER, 2020). Cabe resaltar que Guanacaste es la principal zona productora de melón y sandía para exportación de Costa Rica.

Importaciones

En 2019 la balanza comercial agrícola en Costa Rica fue positiva, y en el rubro hortícola se mantuvo esta tendencia. En total, se importaron cerca de USD 11.136.400,00, principalmente de China, que en el 2019 representó un 50,08 % de las importaciones nacionales. Un 100 % de las importaciones de ajo (*Allium sativum*) procedieron de la China, por lo que se convierte en el principal producto de importación hortícola, además de ajos, papas, cebollas amarillas y espárragos.

En Costa Rica, la mayor parte de la producción hortícola es a campo abierto y se ubica en la región Central, donde el clima, el relieve, el suelo y la demografía han condicionado la distribución espacial de estos cultivos (Ramírez & Nienhuis, 2012). Los cultivos hortícolas han estado presentes en r la región desde la época precolombina, y el ayote (*Cucurbita máxima*), el chile (*Capsicum annuum*) y el tomate (*Solanum lycopersicum*) son parte importante de su dieta chorotega (Masís, 2005).

En el año 2014, en Guanacaste habían aproximadamente 5.311.82 hectáreas con producción hortícola, en 500 fincas (INEC, 2014). El 93,57 % de esa área correspondía a frutas (principalmente melón y sandía); así mismo, las fincas fruteras representaban el 24,40 % del total de las fincas de hortalizas (INEC, 2014). La producción no frutícola de hortalizas en la provincia incluía más de 27 productos diferentes, entre los más importantes (por número de área), el chile (*Capsicum annuum*), el tomate (*Solanum lycopersicum*), el pepino (*Cucumis sativus*) y el pipián (*Cucurbita argyrosperma*), con áreas de producción aproximadas de 88,56; 48,43; 66,77 y 39,09 hectáreas respectivamente (INEC, 2014).

En el 2014, el 29,56 % del área de producción hortícola en Guanacaste se producía bajo algún esquema de ambiente protegido, lo cual triplicaba el promedio nacional bajo esta tecnología (11,06 %). Este resultado parece ser congruente, dado que el clima predominante del territorio es de carácter semiárido o árido (Instituto Meteorológico Nacional, s.f.), lo que resulta una limitante para este tipo de agricultura.

En las zonas de mayor déficit hídrico de Guanacaste se han realizado esfuerzos por impulsar proyectos productivos que incorporen este tipo de tecnologías en los sistemas de producción, entre ellos, el Programa de Fortalecimiento de la Agricultura Familiar en la Región Chorotega,

apoyado por la FAO, el Ministerio de Agricultura y Ganadería, y el Instituto Mixto de Ayuda Social, el cual donó Casas Sombras a productores de la zona para el cultivo de hortalizas. Así mismo, el Instituto Nacional de Innovación y Transferencia de Tecnología Agropecuaria (INTA) ha desarrollado y perfeccionado durante más de 10 años el sistema de microtúnel para la producción en zonas cálidas, como una solución para llevar productos hortícolas frescos a los mercados costeros.

Generalidades de la producción hortícola en la región Chorotega

La región Chorotega se ubica dentro del Corredor Seco Centroamericano, una zona que abarca desde el Sur de México hasta Panamá (Arco Seco). Se caracteriza por una predominancia del bosque tropical seco, lo que la hace susceptible a los efectos climático-desencadenados por el cambio climático (Van der Zee, *et. Al*, 2012). Gran parte de la provincia se localiza dentro de la subregión climática conocida como subregión central del pacífico norte, en la que se cuantifican los promedios más bajos de pluviosidad del país, además de una fuerte irregularidad de este fenómeno (Instituto Meteorológico Nacional, s.f.).

La dinámica del sector agroalimentario guanacasteco, en algunos rubros como el arroz (*Oryza sativa*), el melón (*Cucumis melo*) y la sandía (*Citrullus lanatus*), así como la oportunidad de abastecer el mercado con productos no tradicionales como las hortalizas (aprovechando la lejanía de algunos de estos mercados), motivó a la creación de un mercado mayorista en la zona, con el fin de potenciar la generación de nuevas oportunidades de negocio para la población.

La población de Guanacaste alcanzaría en el 2018 más de 382.821 pobladores (INEC, 2018), y se estima que el consumo per cápita de hortalizas de la provincia es de alrededor de 100,41 kilogramos por persona (PIMA, 2013). De acuerdo con estos valores se podría estimar una demanda aparente de hortalizas de aproximadamente 38.282,10 toneladas anuales, que podría aumentar si se incluye a los turistas. Según datos del Instituto Costarricense de Turismo, en el 2017, el ingreso total de turistas a través del Aeropuerto Daniel Oduber Quiros, en Liberia, fue de 525.661 personas, y su tiempo promedio de estancia fue de 12 días (ICT, 2017). Adicionalmente, hay una parte del turismo que no está siendo contabilizado y que podría incrementar estos números, es el caso de los turistas que ingresan por el Aeropuerto Juan Santa María, las fronteras terrestres y marítimas, y el turismo nacional que se traslada a la zona. El PIMA ha estimado que la oferta de productos hortícolas de guanacaste para el 2013 fue de 5.803,75 toneladas anuales entre cebolla (*Allium cepa*), chile (*Capsicum annum*), tomate (*Solanum lycopersicum*), pipián (*Cucurbita argyrosperma*) y chile picante (*Capsicum annum*), valor que resultaría insuficiente incluso para satisfacer la demanda local.

Caracterización de la cadena de valor de hortalizas en la región de Chorotega, Costa Rica

En la Figura 16, se describen los eslabones de la agro cadena de hortalizas en la región Chorotega. Una de sus principales características es la ausencia de un sector agroindustrial. Las plantas empacadoras de sandía (*Citrullus lanatus*) y melón (*Cucumis melo*) de exportación son lo más cercano a un proceso de valor agregado en la región. Los productores de chile picante (*Capsicum annum*) del cantón La Cruz destinan su producción para la agroindustria; sin embargo, el proceso de industrialización realizado por la Compañía Agrícola Industrial (PROPICA) se ubica en la región Huetar Norte de Costa Rica.

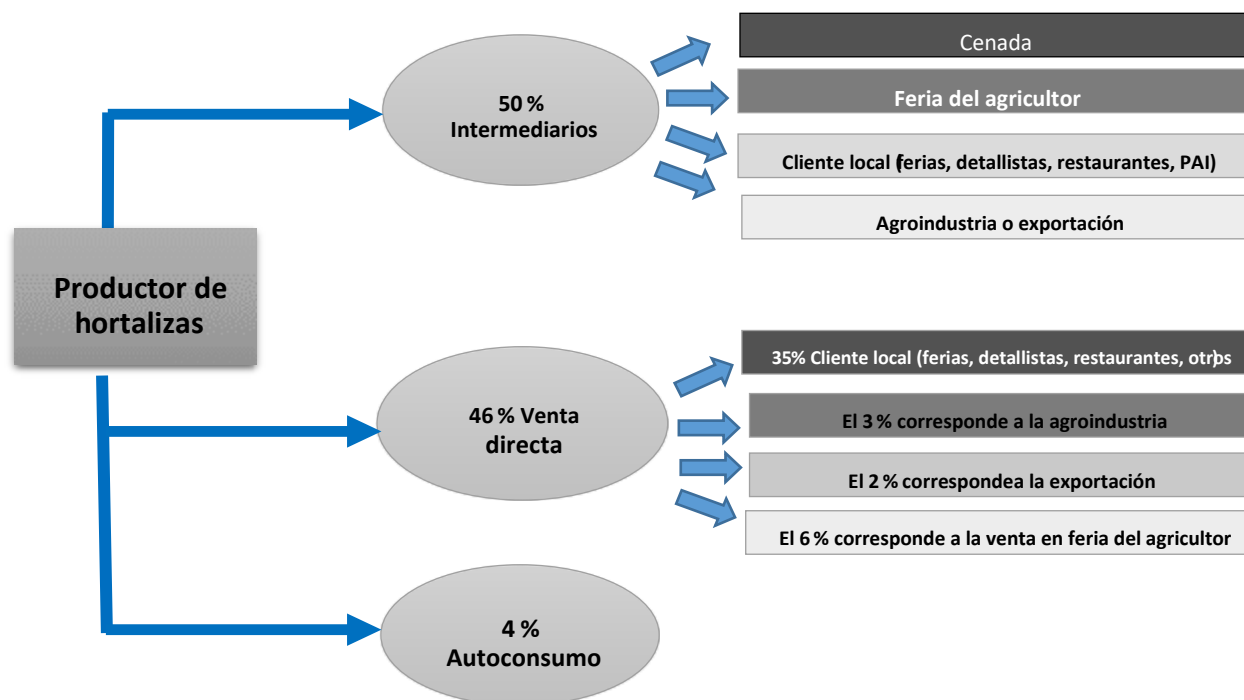


Figura 16. Mapa de la agro cadena de hortalizas de la región Chorotega de Costa Rica.

Fuente: Elaboración propia.

Eslabón de preproducción

En la provincia de Guanacaste, el Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG) cuenta con una Dirección Regional en Liberia (capital de la provincia), 11 agencias de extensión agropecuaria (AEA) y una estación experimental en el municipio de Cañas. Además, existen instituciones públicas de apoyo a la comercialización agrícola, como el Programa Integral de Mercado Agropecuario (PIMA) y el Consejo Nacional de Producción (CNP). Algunas organizaciones mixtas se dedican al fomento productivo de actividades específicas como la Corporación Arrocería (Conarroz), la Liga Agrícola de la Caña (Laica) y la Corporación Ganadera (Corfoga), todas estas con presencia en la zona. El Servicio Nacional de Aguas Subterráneas, Riego y Avenamiento (Senara) es una institución técnica y de servicio de agua para riego. Cuenta con su proyecto más importante en la provincia de Guanacaste, conocido como el Distrito de Riego Arenal Tempisque (DRAT), cuyo ámbito de acción es de aproximadamente 28.000,00 hectáreas. El sector privado cuenta con gremios que se agrupan por actividad agrícola, como es el caso de las Cooperativas Cafetaleras y Asociaciones de Productores (Coopepilangosta, Coopecerroazul, Cámara de Meloneros y Sandilleros); o por territorio, como las cámaras de ganaderos y los centros agrícolas cantonales.

En la región existen aproximadamente 80 almacenes de suministros agropecuarios (Colegio de Ingenieros Agrónomos, 2020). Cada uno de estos establecimientos cuenta con un regente, que recomienda y autoriza los productos químicos de aplicación en campo. Los establecimientos son de todo tamaño, algunos incluso ofrecen maquinaria agrícola como el Grupo Colono, otros están

focalizados en alguna rama específica como los almacenes agro-veterinarios Dos Pinos, que se enfocan en el sector lechero. Cada municipio de la provincia cuenta con, al menos, dos establecimientos para abastecer de insumos agropecuarios a los productores.

A partir de la encuesta aplicada a los productores, se identificó que dentro de los productos más utilizados en los sistemas hortícolas de la región se encuentra el fertilizante 10 – 30 - 10 (aplicado en las etapas tempranas de los cultivos); 15 – 15 – 15, y 26 – 0 - 26. En el ámbito de los plaguicidas destaca el Cobrethane (Mancozeb y Oxiclورو de Cobre), utilizado en un 23 % de los sistemas, lo que indica que los hongos son uno de los problemas en la zona. Se identificaron 37 fertilizantes y 151 plaguicidas diferentes utilizados en los predios hortícolas de la región Chorotega. En el caso de la semilla, 16 % de los productores manifestó que la semilla es propia o criolla; 46 % utiliza variedades comerciales y 38 % no sabe o no responde. En el caso de la semilla propia o criolla, esta se guarda después de la cosecha; por su parte, la semilla comercial es adquirida de dos formas: como semilla o como almacigo. Tanto el almacigo como la semilla pueden ser adquiridos por los productores en los almacenes de la zona o a través de suplidores de otras regiones.

Debido a las condiciones climáticas de la zona, uno de los factores de mayor sensibilidad en la producción es la disponibilidad de agua. La mayor parte de los sistemas de riego son abastecidos mediante pozos, nacientes, ríos o quebradas (82 %) (Figura 17). Una minoría de las unidades de producción son abastecidas por fuentes de obra pública como los acueductos o la infraestructura de Senara (estos abarcan aproximadamente 2 %). El 16 % de las unidades productivas no utilizó ningún sistema de riego y aprovechan el agua de la estación lluviosa para la producción, lo que permite disminuir la presencia de plagas y enfermedades en los cultivos.

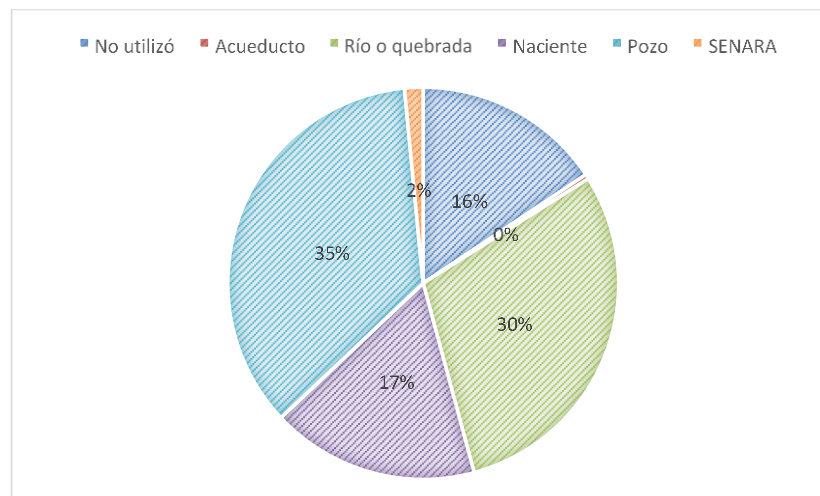


Figura 17. Fuentes de aprovechamiento de agua

Fuente: Elaboración propia

Eslabón de producción

Según el Censo Agropecuario de 2014, en la provincia se cultivaban (excluyendo pasturas) aproximadamente 208 tipos diferentes de especies vegetales (incluyendo forestales), en un área de aproximadamente 114.229.00 hectáreas (ha), distribuidas en 23.142 unidades de producción. Por área, la caña de azúcar fue el producto más relevante de la provincia; sin embargo, las frutas fueron los sistemas que contaron con una mayor cantidad de unidades de producción. Al ser Guanacaste una zona de poca tradición hortícola, esta actividad se ubicó en el noveno y décimo lugar respecto al área y número de unidades de producción, respectivamente; destacaron las especies de melón (*Cucumis melo*) con 4.418 hectáreas, sandía (*Citrullus lanatus*) con 558 hectáreas, chile dulce (*Capsicum annuum*) con 87 hectáreas, tomate (*Solanum lycopersicum*) con 67 hectáreas y pipián (*Cucurbita argyrosperma*) con 43 hectáreas (INEC, 2014).

En el ámbito espacial se pudo observar que cultivos como el tomate (*Solanum lycopersicum*), el chile dulce (*Capsicum annuum*) y el culantro (*Coriandrum sativum*) se distribuyen de manera uniforme a lo largo de toda la provincia, por su parte, otros cultivos se focalizan en algunas comunidades, como la sandía (*Citrullus lanatus*) en Salitral de Bagaces, Montano de Bagaces e Higuerillas de Abangares; la cebolla (*Allium cepa*) en Fortuna de Bagaces; el pipián (*Cucurbita argyrosperma*) en Río Cañas de Santa Cruz, y el chile picante (*Capsicum annuum*) a en La Cruz Guanacaste. Por su parte, hay localidades que destacan por tener una mayor diversidad de productos en un mismo espacio, entre ellas Monte Romo de Hojanca, donde se cultivan cerca de 10 productos hortícolas diferentes; Juan Díaz de Nicoya con 22 productos y Colas de Gallos de Nicoya con 15 productos (INEC, 2014).

Se determinó que los sistemas productivos hortícolas en la Región Chorotega pueden ser clasificados en tres grandes grupos: sistema hortícola frutícola (SHF); “sistema hortícola con venta en finca” (SHV) y “sistemas hortícolas con destino local” (SHC). Los SHC son sistemas de menor tamaño, aunque de mayor diversidad productiva, y tienden a asumir tecnología de protección en una mayor proporción. Los sistemas SHV son más intensivos en insumos y tienden a una especialización productiva (monocultivo). Los sistemas SHF son los sistemas con áreas de producción promedio más grandes en la provincia; su producción se comercializa en su totalidad a través de la intermediación y son los sistemas de mayor demanda de insumos y recursos en los predios.

Los cultivos del sistema SHC tienen en promedio las menores áreas de producción de los tres sistemas. Esto puede ser consecuencia del tamaño de los mercados guanacastecos, los cuales son en general pequeños (<65.000 habitantes), lo que condiciona al productor a cultivar a pequeña escala. En contraste, aquellos productores que utilizan intermediarios (SHV) pueden abarcar áreas más grandes de siembra, debido a que el producto puede ser trasladado a otros mercados. El SHC es un sistema más diverso. En promedio, cada finca de este sistema cultivó 3,53 productos diferentes, mientras que los sistemas SHV y SHF producen alrededor de

2,11 y 1,74 productos en promedio, respectivamente.

En la región Chorotega, el porcentaje de los horticultores que usan Ambiente Protegido fue la más alta del país. Para el 2014, este porcentaje alcanzaba el 26 % del total de las fincas hortícolas, mientras que el promedio nacional rondaba el 11 % (INEC, 2014). Según los datos obtenidos en campo, este porcentaje alcanzó en el 2018, 27 % de la muestra, y el tipo de ambiente protegido con mayor uso en la provincia fue el túnel, con un 8 % sobre el total de los sistemas evaluados (Tabla 4).

Tabla 4. Tipo de sistema de producción utilizado en las fincas de hortalizas de Guanacaste, por sistema, valor absoluto y relativo

Sistema	SHV	%SHV	SHC	%SHC	SHF	%SHF	Total	% Total
Convencional	24	70,59%	26	60,47%	23	100,00%	73	75,00%
Ambiente protegido	10	29,41%	17	39,53%	0	0,00%	27	27,00%
Túnel	4	11,76%	4	9,30%	0	0,00%	8	8,00%
Invernadero	1	2,94%	5	11,63%	0	0,00%	6	6,00%
Casa malla	0	0,00%	4	9,30%	0	0,00%	4	4,00%
Casa sombra	4	11,76%	4	9,30%	0	0,00%	1	1,00%
Otro	1	2,94%	0	0,00%	0	0,00%	1	1,00%
Total	34	100,00%	43	100,00%	23	100,00%	100	100,00%

Fuente: Elaboración propia

Según la Tabla 5, el sistema donde hubo mayor uso de ambientes protegidos fue el SHC, que coincide con el sistema de mayor diversificación. El área promedio de los sistemas protegidos fue de 2007 metros cuadrados, y de 427 metros cuadrados en el SHV y SHC, respectivamente. Los materiales de construcción más comunes fueron el hierro galvanizado y el plástico en el caso de los túneles, madera y plástico en invernadero, hierro galvanizado y malla en las casas maya, y hierro galvanizado y sarán en las casas sombra.

La época de lluvias en la región es relativamente corta, pero intensa. En esta estación se presentan los mayores aumentos de plagas y enfermedades, por lo que el 26 % de los horticultores prefieren producir solo durante la época seca. El mildiu se percibió como la enfermedad más importante en la provincia, mientras que la mosca blanca (*Bemisia tabaci*) fue plaga con mayor presencia en los sistemas. 5

Tabla 5. Plagas más importantes en los sistemas productivos hortícolas de Guanacaste, de acuerdo con la cantidad de cultivos en los que se presentó y la cantidad (frecuencia) de unidades productivas que fueron afectadas.

Sistema	Enfermedad	Cantidad de cultivos	% cultivos afectados del sistemas	Frecuencia	% de unidades afectadas de cada sistema
SHV	Mosca blanca (<i>Bemisia tabaci</i>)	4	30,77 %	9	12,50 %
SHC	Mosca blanca (<i>Bemisia tabaci</i>)	5	15,63 %	6	3,95 %
SHC	Áfidos	6	18,75 %	10	6,58 %
SHC	Chinche	6	18,75 %	9	5,92 %
SHF	Mosca blanca (<i>Bemisia tabaci</i>)	2	33,33 %	13	32,50 %
SHF	Trips (<i>Frankliniella occidentalis</i> y <i>Thrips tabaci</i>)	3	50,00 %	16	40,00 %

Fuente: Elaboración propia

Para enfrentar este tipo de amenazas en los cultivos, algunos productores han optado por prácticas de manejo integradas; otros son más intensivos en la aplicación de agroquímicos y solamente 1 % trabaja completamente orgánico. Los productos en los que la aplicación de agroquímicos es más intensiva son los frutales, seguido del pepino y del culantro (Tabla 6).

Tabla 6. Estadísticas del número de agroquímicos utilizados en las unidades de producción hortícolas de Guanacaste. Valores promedio, máximos y mínimos para cada cultivo

Producto	Fertilizantes			Agroquímicos para control		
	Promedio	Máximo	Mínimo	Promedio	Máximo	Mínimo
Ayote <i>(Cucurbita maxima)</i>	3,00	3,00	3,00	3,50	5,00	2,00
Chile Dulce <i>(Capsicum annuum)</i>	3,58	7,00	1,00	4,42	10,00	1,00
Culantro <i>(Coriandrum sativum)</i>	4,75	10,00	2,00	5,00	10,00	2,00
Lechuga <i>(Lactuca sativa)</i>	2,17	5,00	1,00	1,40	3,00	-
Melón <i>(Cucumis melo)</i>	7,33	10,00	5,00	5,67	10,00	3,00
Pepino <i>(Cucumis sativus)</i>	3,29	6,00	1,00	5,38	10,00	2,00
Pipián <i>(Cucurbita argyrosperma)</i>	3,78	6,00	2,00	3,88	10,00	2,00
Sandía <i>(Citrullus lanatus)</i>	5,29	10,00	3,00	5,45	10,00	2,00
Tomate <i>(Solanum lycopersicum)</i>	3,92	8,00	2,00	3,38	6,00	1,00

Fuente: Elaboración propia

Características socioeconómicas del productor

Algunos de los indicadores sociales no reflejaron una diferencia sustancial entre los sistemas: es el caso de la educación, la edad del jefe de hogar y la fuerza laboral. Por su parte, el índice de dependencia (el cual mide el cociente de las personas económicamente activas del hogar), fue el indicador que presentó la mayor variabilidad entre los tres grupos. Los SHV registraron el mayor índice de dependencia, lo que hace a estos hogares más vulnerables desde el punto de vista económico. El indicador de tenencia de la tierra (área en propiedad o a modo de propiedad sobre el área total en producción) reflejó que la mayor parte del predio productivo no es parte del patrimonio del productor, lo que implica que las estructuras financieras de los sistemas sean livianas y de solvencia moderada, lo que resulta viable en cultivos de ciclo corto como las hortalizas

Eslabón de comercialización

Los productos hortícolas de la región cuentan con diferentes alternativas comerciales para poder llegar al consumidor final. Cabe destacar que la oferta de productos proviene tanto de otras regiones del país como de la producción local. En este último caso, se identificaron dos tipos de productores: el primero es el productor de autoconsumo, el cual no genera excedente y, por ende, su agro cadena se compone de un único eslabón; el segundo es el productor comercial, el cual genera excedentes para la comercialización. Este tipo de productor incluye a los productores de los tres sistemas identificados en este estudio, los cuales tienen dos canales principales para comercializar las hortalizas, la intermediación o la comercialización directa.

Cuando el productor comercializa directamente, puede tener varios destinos, el primero y más común es enviarlo a Cenada, donde el producto se comercializa al mayoreo. Esta opción garantiza la venta de toda la mercadería; no obstante, es necesario trasladarse al menos 140 km hasta la ciudad de Heredia. Adicionalmente, se ha señalado que la comercialización de productos como chile dulce (*Capsicum annuum*), pepino (*Cucumis sativus*), cebolla (*Allium cepa*) y tomate (*Solanum lycopersicum*) cuenta con algunas distorsiones de mercado que no permiten una competencia justa, y en ocasiones resulta poco atractivo llevar el producto hasta este mercado.

La intermediación puede llevar el producto a varios destinos locales, tales como ferias del agricultor, venta directa, detallistas como supermercados y pulperías, Cenada, sodas, restaurantes y hoteles. Además, hay intermediarios que cuentan con su propio negocio, como verdulerías o tramos.

Finalmente, en el sistema frutícola y en el caso particular de los productores de chile picante (*Capsicum annuum*), el intermediario compra el producto, el cual es trasladado a una planta para su procesamiento o exportación. Por lo general, este tipo de intermediación requiere de una oferta significativa, ya que la demanda es alta y los márgenes son más bajos.

Guanacaste cuenta con tres ferias del agricultor (CNP, 2020), 47 hoteles de más de 4 estrellas (ICT, 2019), más de 54 supermercados (PIMA, 2013), así como pulperías, sodas y bares que demandan productos hortícolas. Por su parte, el Consejo Nacional de Producción, a través del Programa de Abastecimiento Institucional (PAI), es el encargado de la distribución de alimentos

en el sector institucional, en lugares como escuelas, colegios, hospitales, entre otros.

Precios y oferta

En Costa Rica, el Centro Nacional de Abastecimiento y Distribución de Alimentos (Cenada) mantiene un monitoreo cotidiano de los precios de las hortalizas comercializadas en su mercado. Cenada es el principal mercado mayorista de productos agropecuarios de Costa Rica, y sus precios son tomados como referencia para el resto de los actores de la cadena. En la Figura 18 se muestran los precios promedio mensuales de 5 hortalizas: cebolla (*Allium cepa*), culantro (*Coriandrum sativum*), lechuga (*Lactuca sativa*) chile dulce (*Capsicum annuum*) y tomate (*Solanum lycopersicum*). Productos como el chile dulce (*Capsicum annuum*) y el tomate (*Solanum lycopersicum*) tienen picos de precio en abril, julio y el último trimestre del año. Por su parte, la lechuga (*Lactuca sativa*) es un producto que mantiene un precio relativamente estable durante todo el año. En el estudio se determinó que los precios pagados en finca al productor de la región son 82 % inferiores a los precios de Cenada.

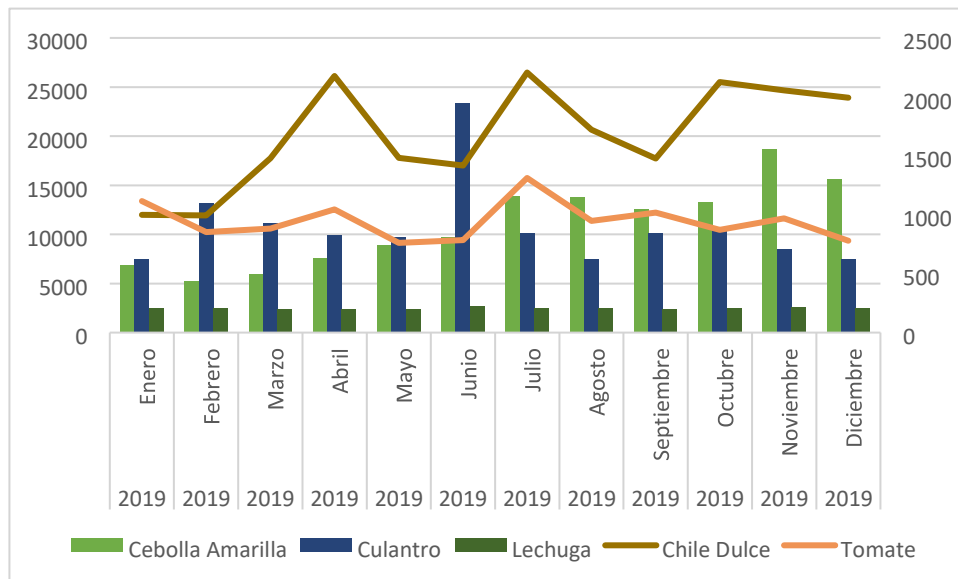


Figura 18. Precios promedio mayorista mensual de cinco hortalizas comercializadas en Cenada, 2019.

Fuente: Sistema de Información de Mercados Mayoristas (SIMM 2020) y PIMA (2020)

Eslabón de agroindustria

La mayor parte de la producción se destina al consumo fresco, por lo tanto, la agroindustria de productos hortícolas es casi nula en la región, a excepción de algunos emprendimientos aislados

que procesan productos para encurtidos y chileras.

Las plantas empacadoras de melón (*Cucumis melo*) y sandía (*Citrullus lanatus*) se identifican como parte del valor agregado que se le da a los productos en la zona. En La Cruz, los productores de chile picante (*Capsicum annuum*) tipo cayena destinan su producción para la agroindustria; no obstante, esta producción es procesada en San Carlos, región Norte.

Eslabón de consumo

En el año 2016, la principal hortaliza consumida en los hogares costarricenses fue el tomate (*Solanum lycopersicum*), representando el 12,9 % del consumo total de hortalizas de los hogares en Costa Rica. Por su parte, la lechuga (*Lactuca sativa*), el chile dulce (*Capsicum annuum*) y el pepino (*Cucumis sativus*) alcanzaron el 7,5 %, el 4,2 % y el 4,4 % del consumo total respectivamente. En cuanto al consumo per cápita, las principales hortalizas en el país fueron el tomate (*Solanum lycopersicum*) y el repollo (*Brassica oleracea*). Estas dos hortalizas fueron las únicas con consumo anual superior a los 10 kilogramos anuales. Dentro de las hortalizas priorizadas para el estudio, la que cuenta con un mayor consumo per cápita fue la lechuga que alcanzó los 4,83 kilogramos anuales.

Entre las razones por las que los consumidores consideran importantes el consumo del tomate (*Solanum lycopersicum*), la principal fue el precio (Figura 19). En el caso del chile dulce (*Capsicum annuum*) y la lechuga (*Lactuca sativa*), el valor nutricional fue su principal motivo; para el pepino (*Cucumis sativus*) fue su carácter medicinal, y en el caso del culantro (*Coriandrum sativum*) fue que se produce en la zona.

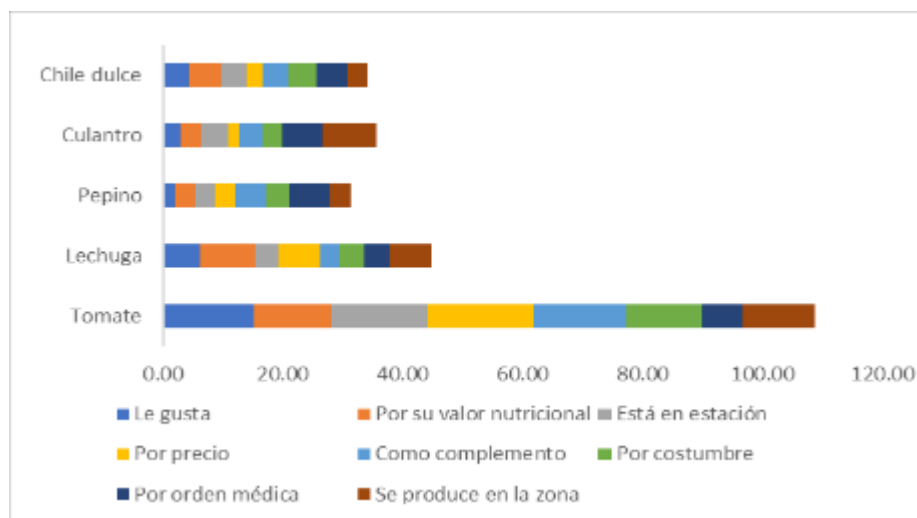


Figura 19. Hortalizas y razones por las cuales se consumen, en porcentaje, 2016.

Fuente: PIMA (2016).

Factores críticos que afectan la competitividad de la cadena de valor de hortalizas en Costa Rica

En los talleres, se señaló la poca disponibilidad del agua como la principal limitación para la

horticultura en Guanacaste. Este problema se da en dos vías: la escasez, producto de las condiciones climatológicas y de la ausencia de infraestructura, y la calidad del agua en algunas zonas. Se señaló, además, que el mercado influye en la competitividad del sector, dado que existe en Cenada una concentración en la demanda de productos como tomate, chile dulce, pepino y cebolla, que desemboca en la distorsión de precios. Además, se indicó que existe una gran oportunidad para el sector institucional de mejorar los servicios de acompañamiento y extensión para la producción hortícola; actualmente estos servicios son asumidos en gran parte por los mismos productores o las casas comerciales de insumos agrícolas.

Discusión

Desafíos y oportunidades en la cadena de valor de las hortalizas

Colombia

Los principales problemas relacionados con la cadena de valor de las hortalizas en la región estudiada en Colombia fueron: manejo agronómico de los cultivos, condiciones agroclimáticas, abastecimiento y calidad de los productos. Los desafíos y oportunidades considerados se relacionaron con la educación de los productores, quienes solicitaron capacitación y aprendizaje sobre temas referentes a la producción y el comercio.

Como desafíos y oportunidades para mejorar el sistema de producción, se identificaron: mantener la capacitación y la asistencia técnica en la producción de vegetales EBAP y a campo abierto, además de la ayuda para la implementación de tecnologías de precisión.

En cuanto a los problemas referentes a las actividades del negocio y la agroindustria, se reconocieron la demora en el transporte y el abastecimiento, la escasez de productos de óptima calidad, el desconocimiento del mercado y la carencia de mano de obra; no obstante, en algunos lugares hubo excepciones por tener múltiples proveedores y distintos puntos de distribución, con mayor disponibilidad de oferta de producto.

Al observar estas tendencias, es posible reconocer que la mayoría de los productores utilizan intermediarios para vender sus productos, lo que implica que las ganancias son menores y el costo final también se eleva. Es un reto generar alianzas de comercialización directa para reducir el número de intermediarios y de este modo beneficiar a la mayoría de los actores de la cadena de valor de hortalizas de la región.

En cuanto a la pregunta sobre los principales problemas que tienen los productores de la zona, el 41 % mencionó las enfermedades; el 24 % las condiciones climáticas, el bajo precio al que venden sus cosechas y la falta de agua en épocas de verano; mientras que el 6 % señaló problemas relacionados con la baja producción, la competencia con grandes productores y la presencia de pocos compradores.

En resumen, los retos o desafíos que se tienen que lograr para mejorar la cadena de valor de las hortalizas se presentan a continuación:

Aportar conocimientos a los agricultores.

Mejorar la calidad de servicios.

- Mejorar los costos de transporte.
- Mejorar el empaque y el embalaje.

- Mejorar las vías.
- Manejar directamente las hortalizas con el productor.
- Manejar con el productor un nivel de servicio óptimo para no afectar la venta y los clientes.
- Manejar y conocer la cultura agrícola de la región.
- Planificar siembras con productores directamente.
- Mejorar los precios de distribución de las compañías productoras.
- Realizar el control y la revisión de productos.

Panamá

La cadena de valor de hortalizas se caracteriza por sus regiones históricamente dedicadas al cultivo de hortalizas. La provincia de Chiriquí es la principal zona hortícola del país, y Azuero la principal productora de tomates para la industria.

La comercialización de las hortalizas se puede realizar directa e indirectamente. Los márgenes de precios entre un eslabón y otro de la cadena son elevados, por lo que se incrementa de 100 % a 500 % el precio del consumidor final.

Se identificaron los actores de la cadena de valor de hortalizas en cada uno de sus eslabones: los productores de agricultura protegida y a campo abierto, los circuitos de poscosecha, el transporte y los comercializadores, quienes estaban representados principalmente por intermediarios, detallistas y mayoristas, respectivamente. Nestlé es la principal empresa agroindustrial en la cadena de valor de las hortalizas de Panamá.

En la región de Azuero, se identificaron tres alternativas para la horticultura protegida, entre ellos, tomate industrial, ají y cebolla. La implementación de nuevas formas de producción de estas especies constituye una oportunidad para incrementar la producción y el rendimiento.

En esta región, los productores han tenido experiencias negativas con proyectos privados que no han sido los adecuados para esta zona debido a las condiciones agroclimáticas. Es importante considerar estos aspectos para lograr una mayor adopción de las hortalizas. En este sentido, es necesario ofrecer a los productores tecnologías que eviten una alta incidencia de enfermedades en los cultivos y que se adapten a condiciones climáticas de altas temperaturas y sequía, con altos niveles de producción y calidad.

Los problemas que afectan la competitividad de la cadena de valor de hortalizas en Panamá desde la perspectiva de los horticultores es la comercialización (importaciones y precios bajos); para los comercializadores-detallistas es la falta de mejores infraestructuras, y para el consumidor los precios altos que limitan su consumo.

Otros retos o desafíos son a) acortar la cadena mediante alianzas con los comercializadores lograr que los precios lleguen a un precio menor al consumidor y b) que los productores puedan adoptar la tecnología y el sistema con el manejo agronómico adecuado y la funcionalidad de la EBAP en zonas bajas.

Los consumidores representan el eslabón más importante de la cadena de valor, cuyas preferencias con respecto al consumo de hortalizas son determinantes en las alternativas seleccionadas de producción.

República Dominicana

Los desafíos son diferentes entre los países, así como el grado de especialización y la calidad de los mercados. La República Dominicana produce hortalizas para exportación, tanto a campo abierto como en estructura bajo ambiente protegido (EBAP) para el consumo nacional y de exportación. Los vegetales orientales dominicanos cultivados a campo abierto se dirigen a los consumidores asiáticos que se encuentran en los principales mercados de Estados Unidos, Canadá y Europa. Los vegetales cultivados en EBAP se exportan a los mercados de Estados Unidos y Europa.

Su mercado nacional demanda una parte de la producción de calidad exportable de vegetales cultivados en EBAP, la cual se vende en los supermercados, hoteles turísticos y otros mercados exigentes; además, están los productos que no cumplen con la calidad exigida de esos mercados y que se venden en los diferentes mercados regionales del país.

A nivel internacional, los eslabones de la cadena de valor de las hortalizas cultivadas en EBAP son los proveedores de insumos, productores, proveedores de servicios (transporte, cadena de frío, financiamiento) y exportadores. A nivel nacional, los productores comercializan los productos a través de intermediario, mayoristas y detallistas hasta llegar al consumidor.

Las oportunidades de negocio para cultivos de hortalizas se presentan en la demanda nacional e internacional de vegetales producidos bajo condiciones protegidas. Los retos o desafíos a los que se enfrenta la producción incluyen el manejo de plagas que incluye enfermedades, la variación de precios, la infraestructura, el financiamiento, la capacidad gerencial, la transferencia de tecnología, la comercialización en cadena corta y el cumplimiento de los acuerdos entre las partes.

El manejo deficiente de las enfermedades y plagas, y la baja calidad del material de siembra, limitan la producción, lo que afecta el desarrollo de la cadena de valor de las hortalizas. Los exportadores-empacadores y mayoristas indican que el cuello de botella que más limita la cadena de valor de los vegetales es el incumplimiento de los acuerdos por parte de los productores para cumplir con los pedidos solicitados por el comprador y la falta de honestidad. Los productores entienden que la comercialización es una limitante en el desarrollo de la actividad productiva. Los detallistas también buscan clientes que cumplan con los requisitos que exigen ante los consumidores que valoran la frescura y calidad de los productos.

La producción de vegetales en EBAP de zona baja se ve afectada por la baja productividad, la rentabilidad, el mejoramiento de la calidad del producto y los altos costos de producción. Además, los productores demandan capacitación debido a su limitada experiencia en el cultivo de vegetales en EBAP de zonas bajas; por lo que resulta todo un reto adoptar tecnologías que contribuyan a reducir la incidencia y la severidad de las enfermedades en las hortalizas, la adaptación de las variedades a las condiciones agroclimáticas para lograr el aumento de la productividad y la rentabilidad de la producción en el cultivo de vegetales en EBAP.

Costa Rica

Los ambientes protegidos en la región Chorotega son una oportunidad, tanto para los productores como para los consumidores locales, de mejorar el sistema productivo y la calidad del producto; además, se presentan como una posibilidad de negocio para agricultores y emprendedores de la región, debido a las ventajas competitivas de ubicar productos cerca del

mercado final. Así mismo, el consumidor ve una mejora en la calidad de los productos debido a una probable disminución en los tiempos de la agro cadena.

No obstante, existen desafíos para la buena ejecución de estos proyectos, entre ellos, el bajo interés de la banca y del sector financiero para apoyar el sector agropecuario con financiamiento focalizado. A pesar de que los sistemas de producción bajo ambiente protegido hacen un uso más eficiente de recursos como el agua, en la región Chorotega este insumo es aún una limitante, tanto por su disponibilidad como por su calidad.

La ubicación de los agronegocios hortícolas se presenta como una de las principales oportunidades, sin embargo, su acceso y aprovechamiento requiere de una estrategia. Los intermediarios y compradores cuentan con una estructura y logística robusta, la cual se ha fortalecido a través de los años, por lo que se requerirá de mucho esfuerzo para incorporarlos como clientes. Una alternativa sería que los productores buscaran la integración de la cadena, no obstante, esto representa inversión y riesgo.

Producto 2: Uso de herramientas de modelación y simulación numérica (cfd) para el diseño de estructuras de agricultura protegida adaptadas a las condiciones climáticas de tierras de baja altitud.

El Documento completo puede ser consultado en el siguiente enlace

<https://www.fontagro.org/new/uploads/productos/16343 - Producto 2.pdf>.

Selección y caracterización climática de los sitios piloto y modelación de prototipos de estructuras.

El objetivo principal de esta actividad consistió en Implementar un modelo de simulación numérica que permitiera diseñar estructuras de agricultura protegida ventiladas de forma natural y que se adapten a las condiciones climáticas características de cuatro regiones evaluadas. Por lo tanto, en esta actividad se desarrollaron los siguientes objetivos específicos; (I) Caracterizar las principales variables agroclimáticas de una región de baja altitud, en Colombia, Panamá, Costa Rica y República Dominicana. (II) Establecer parámetros de diseño para estructuras de agricultura protegida ventiladas de forma natural. (III) Implementar un modelo de simulación numérica CFD a partir del cual sea posible diseñar por lo menos una estructura de agricultura protegida que se adapte a las condiciones climáticas locales de cada sitio específico en las cuatro regiones de estudio y (IV) Definir los parámetros técnicos necesarios para la construcción física de prototipos de estructuras de agricultura protegida en cada región de estudio.

Caracterización agroclimática de las zonas piloto

El análisis de la información agroclimática se realizó con fines de obtener una caracterización climática de cada sitio piloto y además para obtener un insumo necesario para realizar las simulaciones numéricas a través de las cuales sea posible diseñar las estructuras de agricultura protegida en cada región. Para estos fines específicos se consideró analizar los datos históricos de al menos cinco años de datos registrados en una estación climática cercana a la zona de

influencia de los sitios experimentales. Asu vez el procesamiento y análisis de los datos climático se dividió en varias fases que se describirán a continuación.

Revisión y preparación de datos.

En esta etapa se incluyen la definición de las variables climáticas (Temperatura máxima, mínima y media, precipitación, humedad relativa, brillo solar, evapotranspiración, velocidad y dirección del viento). La elección de las estaciones meteorológicas de la zona de influencia, así como la gestión para la obtención de la información y su consolidado.

Control de calidad de datos

Los registros de las variables climáticas frecuentemente contienen errores, los cuales se producen por diversas causas como, por ejemplo, equivocaciones en la toma de datos y la digitación, por problemas en la transmisión y/o el archivado, así como por fallas de los sensores, cambios de los instrumentos u otros aspectos. Por ello, después de la obtención y preparación de la información, es importante realizar una verificación de la calidad de los datos. En el desarrollo de este proceso es importante conocer las condiciones climáticas locales para definir si un dato es erróneo o no. De esta manera, antes de realizar la caracterización, se plantea un análisis de las series históricas en el que puedan considerarse controles mínimos (Sorza, 2016). Este tipo de controles incluye; Control 1. Revisión de rangos; Control 2. Consistencia interna; Control 3. Días consecutivos con igual valor; Control 4. Saltos entre observaciones consecutivas y Control 5. Datos atípicos.

Análisis y caracterización

El análisis de las variables agroclimáticas locales se realiza a través de diferentes procesos estadísticos, los cuales permitan establecer su comportamiento. Por lo tanto, en esta etapa se realiza el análisis espacial y temporal de los datos climáticos, después del proceso de control de calidad.

Diseño de estructuras de agricultura protegida mediante el uso de simulaciones numéricas CFD. La elección de un modelo de E-AP inapropiado puede causar que las plantas se vean expuestas a condiciones de temperatura y humedad inadecuadas, y que sean sometidas a algún tipo de estrés. Estas condiciones ocasionarán una reducción de la producción de los cultivos, la aparición de enfermedades y hasta la muerte de las plantas, factores que sin duda generan una afectación económica sobre los productores y una insostenibilidad del sistema productivo (Choab et al., 2019; Chu & Lan, 2019; Jung et al., 2020). El criterio de diseño para E-AP de tipo pasivo en regiones cálidas y húmedas debe enfocarse en maximizar la eficiencia de la ventilación natural y evitar el uso de ventilación mecánica para labores de enfriamiento y deshumidificación. En caso contrario, se generarían costos adicionales para adquirir equipamiento y costos ambientales asociados al requerimiento energético del funcionamiento de dichos equipos (Chu et al., 2017; Pakari & Ghani, 2019).

Una de las herramientas más utilizadas actualmente, como soporte a procesos metodológicos de diseños de E-AP, debido a que permite integrar todos los aspectos relacionados con la ventilación natural de invernaderos y su relación con la generación de microclimas, es la dinámica de fluidos computacional (CFD) (Baeza et al., 2009; Villagran et al., 2019). La simulación CFD se divide en tres etapas principales: i) preproceso; ii) solución, y iii) pos-proceso (Figura 20). Cada una de estas

etapas debe realizarse siguiendo los procedimientos establecidos como buenas prácticas de simulación numérica CFD, los cuales pueden ser consultados en Tominaga et al. (2008).

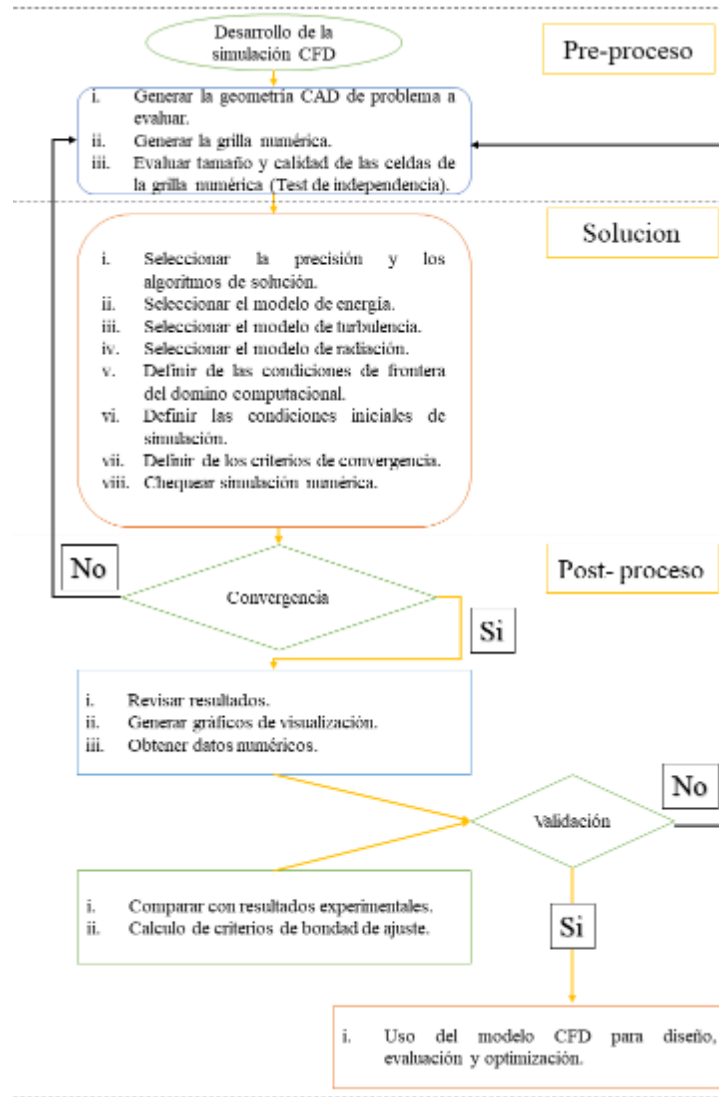


Figura 20. Etapas de la simulación CFD.

Fuente: Elaboración propia

Para el desarrollo de las simulaciones CFD, es importante tener presente los principales criterios de diseño establecidos para las estructuras de agricultura protegida, los criterios considerados en este proyecto fueron los que se mencionan a continuación.

Criterios de diseño de estructuras de agricultura protegida

En los países tropicales es común encontrar invernaderos de tipo pasivo, casas de malla, casas sombra, túneles altos, macro túneles, micro túneles, cubiertas y semitechos. En el caso de las regiones cálidas, se propuso diseñar una estructura de casa malla y un invernadero ventilado naturalmente. Por lo tanto, para estos dos tipos de estructuras se deben considerar una serie de parámetros de diseño que influyen directamente sobre su comportamiento micro climático, y, por ende, sobre el crecimiento y desarrollo de los cultivos a establecer.

Criterios de diseño para invernaderos ventilados naturalmente

Un invernadero pasivo o ventilado de forma natural es aquel prototipo que depende totalmente del fenómeno de ventilación natural para la gestión del microclima. A través de los flujos de aire generados por efecto eólico (convección forzada), efecto térmico (convección libre) o una combinación de los dos, es posible regular los cambios de temperatura y humedad relativa del ambiente interior del invernadero, así como renovar los niveles de CO₂ a valores cercanos al nivel atmosférico (Montero et al., 2008).

El material de cubierta dominante en los invernaderos pasivos a nivel tropical es el polietileno. Estas láminas de plástico flexible permiten construir estructuras de diferente forma y tamaño, y, a su vez, si se compara con otros tipos de cubierta como el policarbonato o el vidrio, son menos exigentes en términos de robustez estructural. La selección del tipo de material de cubierta del invernadero es una de las decisiones que tiene influencia en el comportamiento micro climático de la estructura construida. El tipo de material influye sobre la cantidad y la calidad de la luz transmitida al ambiente interior, y, a su vez, tiene relación directa con el comportamiento de variables como temperatura y humedad (Castilla & Hernández, 2005).

Así mismo, las estructuras deben construirse garantizando los parámetros definidos en diversas investigaciones de ventilación natural de invernaderos, estos parámetros se encuentran considerados en la Tabla 7.

Tabla 7. Parámetros de diseño para invernaderos ventilados naturalmente

Parámetro	Descripción
Eje longitudinal del invernadero (largo)	El largo (L) del invernadero debe estar orientado de forma perpendicular a la dirección del viento incidente dominante de la región de estudio
Eje transversal del invernadero (ancho)	El ancho (A) del invernadero debería ser, de manera ideal, $A < 40$ m.
Altura invernadero	Las estructuras con mayor altura tienen un mejor comportamiento térmico debido también a su mayor inercia térmica. Son preferibles estructuras altas que por cada 1 m ² de superficie suelo cubierto (Ssc) tengan por lo menos 3 m ³ de aire encerrado en volumen (Va), o lo que es equivalente a: $Va/Ssc > 3$.

Superficie ventilación	de	La superficie de ventilación (Sv) en relación con la superficie de suelo cubierta (Ssc) debe ser equivalente a $Sv/Scc > 30 \%$.
Índices de renovación		Los índices de renovación horarios (Ir) en un invernadero pasivo deben ser equivalentes a $Ir > 40$ volúmenes/hora.

Fuente: Elaboración propia

Criterios de diseño para estructuras de casa malla

Este tipo de estructuras son una tecnología intermedia entre la producción a campo abierto y la producción bajo invernadero. En países tropicales con condiciones de clima cálido y húmedo, su implementación es una alternativa de intensificación sostenible para la producción agrícola (Tanny, 2013; Vidogbéna et al., 2015).

La implementación de estructuras de casa malla en función del tipo de material y pantalla utilizada permiten garantizar la producción de alimentos de alta calidad, limitar la vulnerabilidad de los sistemas de producción hortofrutícola a los efectos negativos causados por condiciones climáticas supra óptimas de radiación, temperatura, viento y precipitación (Mupambi et al., 2018). Las pantallas porosas a pruebas de insectos o de sombra que sirven como material de cubierta en las casas de malla poseen una serie de propiedades físicas, mecánicas y radiométricas, dentro de las cuales cabe mencionar el grado de porosidad, el tipo de textura y material, el color y el porcentaje de sombra generado. Todos estos parámetros influyen en el microclima generado en el interior de la estructura están en función de dichos parámetros para diseñar la casa malla. Se deben tener en cuenta los parámetros mencionados en la tabla 8. Entre los principales factores se encuentra: el tipo de pantalla porosa a utilizar y sus propiedades aerodinámicas, así como la arquitectura y la configuración geométrica de la estructura. Por último, una vez definido el diseño arquitectónico de la o las estructuras de agricultura protegida que mejor se adaptan a las condiciones climáticas locales, en términos de microclima generado en el interior de la estructura, se procede a realizar los planos esquemáticos en CAD de cada estructura.

Tabla 8. *Parámetros de diseño contemplados para estructura de casa malla.*

Parámetro	Descripción
Geometría de la casa malla	Se debe buscar una forma geométrica que permita obtener flujos de aire adecuados, principalmente en la zona de cultivo.
Altura de la casa malla	Las alturas medias de las casas de malla son de 4 m, aunque es posible aumentar su altura hasta los 6 m. En términos del microclima obtenido, el beneficio de construir una estructura con una mayor altura debe ser evaluado experimentalmente <i>in situ</i> .

Tipo de malla porosa	La selección de la pantalla porosa se debe realizar en función del insecto plaga a controlar. Así mismo, se debe tener en cuenta la afectación sobre los flujos de aire que genera el nivel de porosidad y los parámetros aerodinámicos de la malla anti-insecto.
----------------------	---

Fuente: Elaboración propia.

Generación de planos CAD

Estos planos deben contener la información suficiente que permita a los constructores o productores construir la estructura a escala real. Como requerimientos mínimos deben contener: las dimensiones generales de la estructura y los materiales sugeridos, tanto para la cubierta como para la cimentación y estructura. Es recomendable realizar una adecuada selección del terreno para la construcción de cada una de las estructuras, donde: (i) no existan problemas asociados a inundaciones o fallas geológicas; (ii) haya vías de comunicación, tanto para el ingreso de insumos y materiales como para la salida de los productos cosechados; (iii) exista disponibilidad de agua para riego y una fuente de energía eléctrica.

Resultados y Discusión.

Para diseñar las estructuras adaptadas a las condiciones específicas de la región de estudio en cada uno de los cuatro países, se contemplaron las variables climáticas analizadas en cada una de las caracterizaciones. Los materiales de cubierta fueron seleccionados de acuerdo con la disponibilidad existente a nivel comercial en cada uno de los países. Los resultados que se mostrarán a continuación contienen los patrones de flujo de aire y la distribución espacial de la temperatura obtenidos mediante simulación CFD con un modelo bidimensional previamente validado como se describe en el trabajo desarrollado por Villagran et al. 2020. Se incluyen también los planos CAD 3D de cada una de las estructuras finales definidas para Colombia, Panamá, Costa Rica y República Dominicana. Se debe destacar que, para definir cada una de estas estructuras, se realizó un estudio que contempló por lo menos 8 tipos diferentes de estructuras, las cuales variaban en forma y tamaño. La estructura final construida fue la que mejores comportamientos micro climáticos ofreció de acuerdo con los resultados obtenidos en la simulación.

Resultados para Colombia

Descripción de la zona piloto

La zona piloto de este proyecto en Colombia está localizada en el centro de investigación Caribia, de AGROSAVIA, en el municipio Zona Bananera, del departamento del Magdalena, región Caribe. El lugar se encuentra ubicado geográficamente en las coordenadas 10,764 °N y 74,147 °W, con una elevación de 23,9 m s. n. m (Figura 21).



Figura 21. Ubicación de la zona piloto en Colombia. C. I. Caribia, departamento del Magdalena, región Caribe colombiana.

Fuente: Elaboración propia

Precipitación y temperaturas (máxima, mínima y media)

El promedio multianual de la precipitación es de 664 mm y tiene un comportamiento bimodal con picos en mayo y octubre, con promedios de aproximadamente 100 mm y 140 mm, respectivamente. Las menores precipitaciones se presentan en el periodo diciembre-marzo, con un valor no mayor a 20 mm en el mes. Las temperaturas promedio multianual máxima, media y mínima están alrededor de los 34 °C, 29 °C y 23 °C, respectivamente. Las mayores temperaturas se dan durante los meses de abril y mayo, y las menores hacia noviembre y enero. La temperatura media registra valores entre 29,7 °C y 29,4 °C en abril-mayo, y empiezan a disminuir gradualmente hasta los 27,5 °C, en febrero (Figura 22).

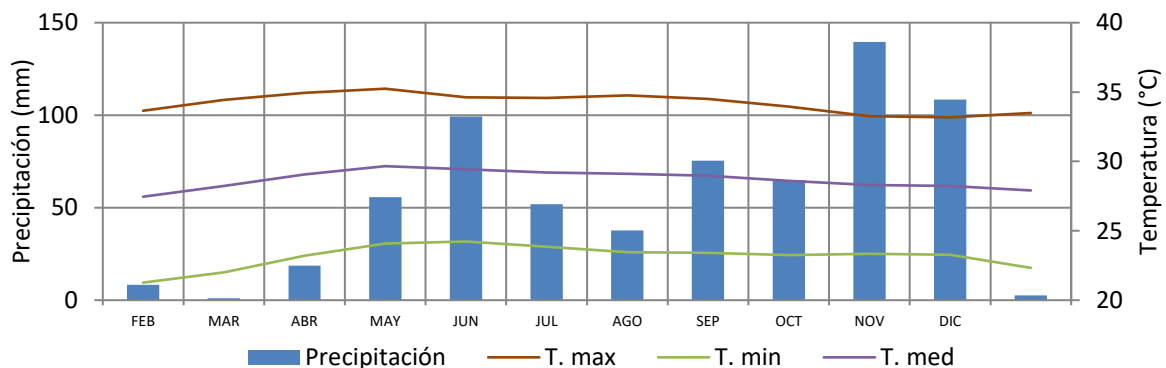


Figura 22. Precipitación. Temperaturas máxima, media y mínima, promedio mensual multianual, estimados a partir de los registros de la estación C. I. Caribia, Colombia.

Fuente: Elaboración propia.

Humedad relativa y radiación solar

El promedio multianual de la humedad relativa en la zona piloto es del 77 %, con valores mensuales entre el 71 % y el 85 %. Estos valores son mayores durante septiembre-octubre y menores en diciembre (Figura 23). En el caso de la radiación solar, los valores máximos pueden alcanzar valores máximos de 850 w/m2, en promedio.

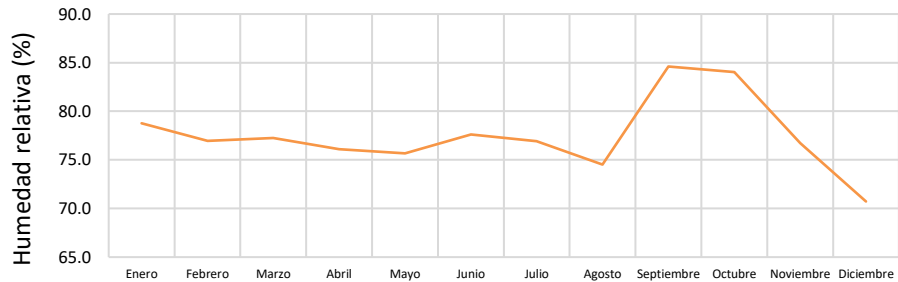


Figura 23. Humedad relativa: promedio mensual multianual. Estimada a partir de los registros de la estación C. I. Caribia, Colombia.

Fuente: Elaboración propia

Velocidad del viento

El viento con mayor velocidad se presenta durante el periodo de febrero-abril, y coincide en parte con la temporada de menores lluvias en la zona, con valores máximos promedio de 1,3 m/s. Los registros más bajos del viento se observan hacia el mes de noviembre, cuando se registra un promedio máximo de 0,7 m/s. En la época de mayor viento, la velocidad absoluta toma valores de hasta 1,7 m/s en marzo (Figura 24).

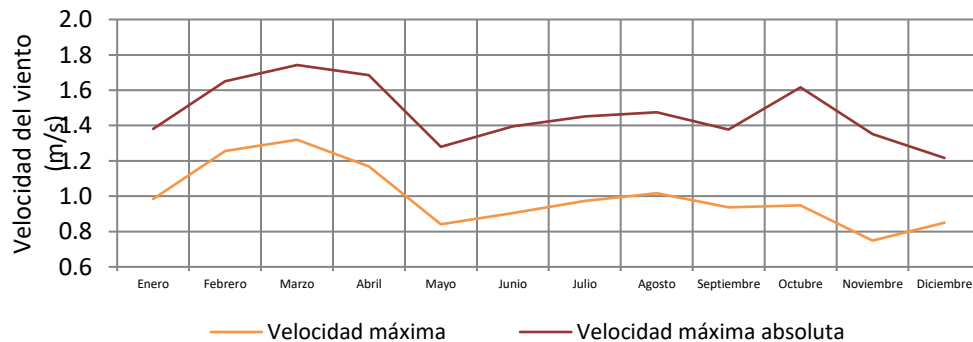


Figura 24. Comportamiento de la velocidad del viento a escala mensual, estimada a partir de los registros de la estación C. I. Caribia, Colombia.

Fuente: Elaboración propia.

Diseño geométrico de las estructuras

Para el caso del caribe colombiano, fueron diseñadas dos tipos de estructuras: una casa de malla y un invernadero de tipo pasivo. Estas dos estructuras fueron construidas de acuerdo con los

parámetros de diseño dados en este documento. Una vez las estructuras fueron establecidas a escala real, fueron validadas a través de modelos de simulación CFD 3D y mediante pruebas experimentales.

Diseño geométrico de la casa malla

Preproceso y Posproceso

En esta etapa se definió el modelo geométrico de la estructura de casa malla de 740 m² y el tipo de malla anti-insecto que se debía utilizar, que era una malla comercial de 40 MESH con un número de hilos de 16,1 x 10,1 por cm², una porosidad (ϵ) de 0,33 y un nivel de sombreado del 30 %.

El comportamiento cualitativo de los patrones de flujo y la distribución espacial de la temperatura para los escenarios evaluados mediante simulación (S1-S4) y que fueron escenarios establecidos según las condiciones climáticas dominantes, estos resultados se muestran en la Figura 25. En esta se observa que los flujos de aire en el interior están directamente relacionados con la velocidad de viento exterior; por ello, hay mayores flujos de aire sobre la zona en la cual se desarrollan los cultivos en el escenario simulado S4. Esto difiere de lo reportado en el trabajo de Teitel & Wenger (2012), en un estudio realizado sobre una casa malla de techo plano. El escenario S4, el cual tiene flujos de mayor velocidad, presentó un mejor comportamiento térmico, con temperaturas más bajas y una distribución más uniforme en la región donde se establecen los cultivos (Figura 25).

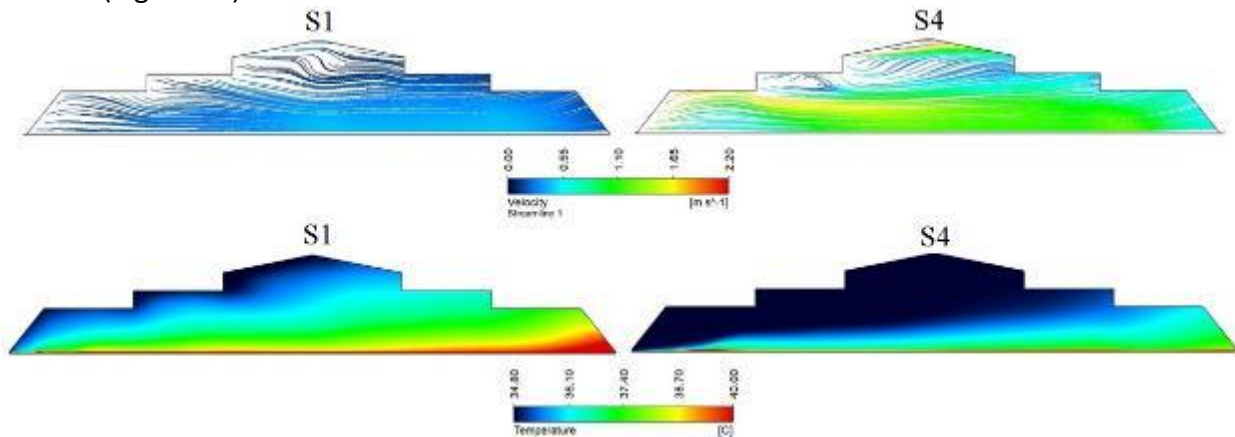


Figura 25. Patrones de distribución de flujo de aire y distribución espacial de la temperatura obtenidos mediante simulación para S1 y S4.

Fuente: Elaboración propia

Las velocidades medias oscilaron entre $0,31 \pm 0,09$ m/s y $1,19 \pm 0,31$ m/s para los escenarios S1 y S4, respectivamente. Estos valores debían permitir regular las condiciones térmicas e higrométricas en el interior de la estructura. Para realizar el análisis del comportamiento térmico se calculó la temperatura media en el interior de la casa malla sobre el mismo perfil en el que se analizaron las velocidades del aire. Los valores de temperatura media oscilaron entre $36,9 \pm$

1,05 °C y 35,4 ± 0,64 °C para S1 y S4, respectivamente. Cabe resaltar que los valores de Δ_T son inferiores o muy cercanos al valor planteado antes del diseño de 2 °C.

Planos CAD

El modelo geométrico obtenido se presenta en la Figura 26. En estas pueden encontrarse los planos en vistas generales (frontal, planta e isométrica). Las dimensiones generales de la estructura son de 34 m de ancho por 20 m de largo. En este caso, es necesario contar con un terreno que tenga un área mínima de 918 m², correspondientes a una dimensión transversal de 34 m, y una dimensión longitudinal de 27 m, con el fin de poder construir la estructura y cimentar los anclajes perimetrales.

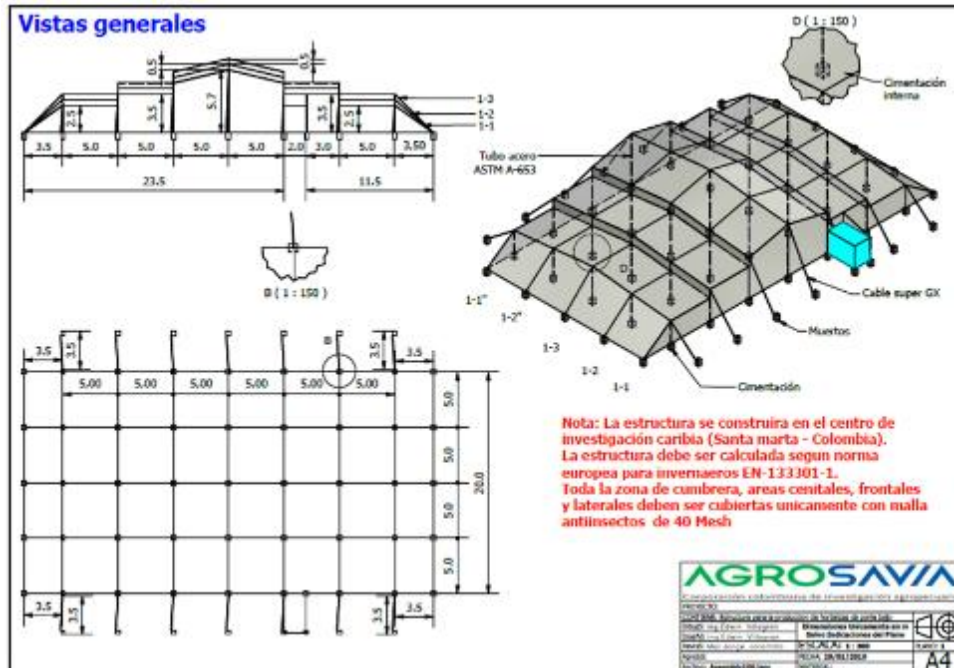


Figura 26. Vistas generales del modelo geométrico de casa malla obtenido para Colombia

Fuente: Elaboración propia

En Colombia no existen normas para la construcción de estructuras de agricultura protegida; sin embargo, a nivel comercial, algunos constructores calculan los requerimientos estructurales mediante la norma europea “UNE-EN 13031-1. Invernaderos. Proyecto y construcción”. En términos generales, las estructuras deben tener una cimentación en concreto reforzado, estructurada con varilla normalizada y una resistencia de 3000 psi. Es recomendable verificar la capacidad portante del suelo. La estructura de la casa malla debe construirse en perfiles de acero certificado ASTM A 653. Este material es laminado en caliente y cubierto con zinc. Los amarres transversales y longitudinales deben ser construidos en cable súper GX. La cubierta y las áreas de ventilación deben ser protegidas con una malla de protección anti-insecto de 40 MESH con un número de hilos de 16,1 x 10,1 por cm², y una porosidad (ϵ) de 0,33, con un porcentaje de sombra

de 30 %. Esta malla debe limitar el ingreso de insectos al área de cultivo.

Diseño geométrico del invernadero

Preproceso y Posproceso.

En esta etapa, se definió que el área del invernadero que se quería diseñar debía ser de 500 m²; la estructura debía contar con áreas de ventilación en cada uno de sus costados y fachadas, y, a su vez, en la región de la cubierta. Estas áreas de ventilación debían ser equipadas con una malla porosa a prueba de insectos, previo estudio de la afectación sobre los patrones de flujo de aire y los índices de renovación horarios. La cubierta del invernadero contemplada fue un filme de polietileno comercial calibre 7, con un porcentaje de transmisión y difusión de radiación solar del 90 % y el 75 %, respectivamente. Con el fin de limitar el nivel de radiación en el interior del invernadero, en la búsqueda de valores de ΔT lo más bajos posibles, se incluyó dentro del diseño el uso de una pantalla térmica con un nivel de sombra efectivo del 30 %.

En la Figura 27, se pueden observar los comportamientos cualitativos para los flujos de aire y la distribución espacial de la temperatura obtenidos para los escenarios S1 y S4. Se puede observar cómo en el escenario de baja velocidad S1 los flujos de aire están dominados por el efecto térmico de la ventilación natural, razón por la cual los flujos de aire buscan salir del invernadero a través de las regiones de ventilación ubicadas en la región de la cubierta de la estructura (López et al., 2011). Por el contrario, en el caso del escenario de alta velocidad S4, los flujos de aire ingresan por las áreas de ventilación dispuestas en el costado de sotavento y salen de la estructura a través del costado de barlovento; esto sucede porque para este escenario domina el efecto eólico de la ventilación natural (Kittas et al., 2005). En cuanto al comportamiento térmico, se puede observar que, a medida que aumenta la velocidad del viento exterior, se reduce el valor en magnitud de la temperatura, y aumenta a su vez el comportamiento homogéneo sobre la región donde se establecerán los cultivos.

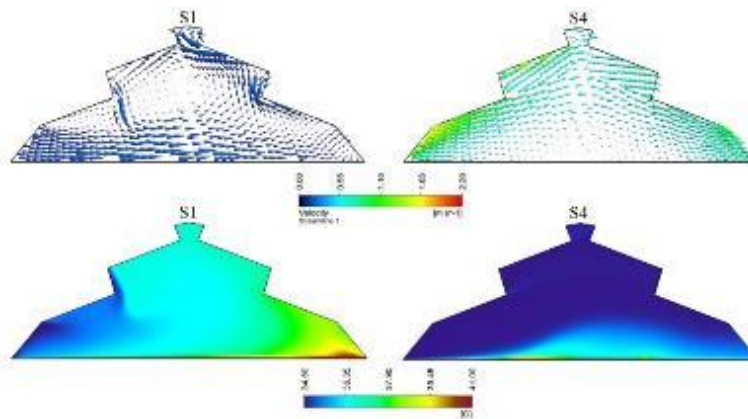


Figura 27. Patrones de distribución de flujo de aire y distribución espacial de la temperatura obtenidos mediante simulación para S1 y S4.

Fuente: Elaboración propia

Se calculó la velocidad media de los patrones de flujo de aire y esta oscila entre $0,22 \pm 0,07$ y $1,36 \pm 0,22$ ms⁻¹ para S1 y S4. También, se observó que, al igual que en la estructura de casa malla y

por efecto de la pantalla porosa a prueba de insectos, la velocidad del aire en el interior es inferior a la presentada en el ambiente exterior. En el caso de los valores de temperatura media en el interior del invernadero, se observa que estos parámetros presentan un menor valor a medida que aumentan la velocidad del flujo de aire y por ende la eficiencia de la ventilación natural. Los valores obtenidos fueron de $36,6 \pm 1,25$ y $35,2 \pm 0,45$ °C, para S1 y S4 respectivamente.

Por ultimo los valores de índice de renovación horarios (IR) obtenidos para este prototipo de invernadero pueden considerarse adecuados, ya que, para la velocidad más baja presentada en la región de estudio, simulada mediante el escenario S1, se obtuvo un valor superior al mínimo recomendado de 40 volúmenes hora⁻¹ (Figura 28). El comportamiento para este parámetro presentó una tendencia que puede ajustarse a un comportamiento lineal, en el que la variable dependiente es la velocidad del viento exterior y un R² de 0,95, valor que indica una alta correlación.

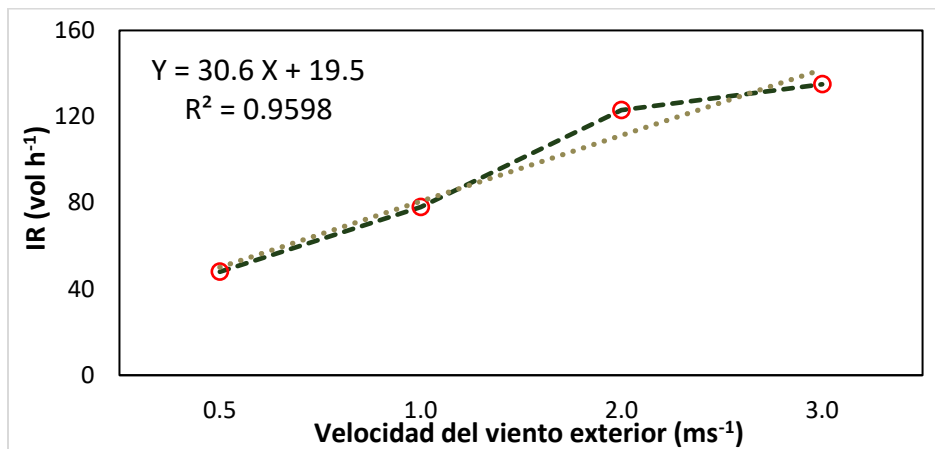


Figura 28. Índices de renovación horarios (IR) calculados para el modelo geométrico del invernadero diseñado para Colombia.

Fuente: Elaboración propia

Planos CAD

El modelo geométrico del invernadero obtenido se presenta en las Figura 29. En estas pueden encontrarse, además, los planos en vistas generales (frontal, planta e isométrica). Las dimensiones generales de la estructura son de 25 m de ancho por 20 m de largo. En este caso, es necesario contar con un terreno que tenga un área mínima de 675 m², correspondientes a una dimensión transversal de 25 m y una dimensión longitudinal de 27 m, con el fin de poder construir la estructura y cimentar los anclajes perimetrales. Es recomendable calcular la estructura de acuerdo con los requerimientos de la norma europea “UNE-EN 13031-1. Invernaderos. Proyecto y construcción”. Los requerimientos de cimentación, anclajes y materiales recomendados para la estructura serán similares a los planteados para el diseño de la casa malla de Colombia. La cubierta, en este caso, debe ser un filme de polietileno, complementado con una pantalla térmica. Las áreas de ventilación deben ser protegidas con malla porosa a prueba de insectos.

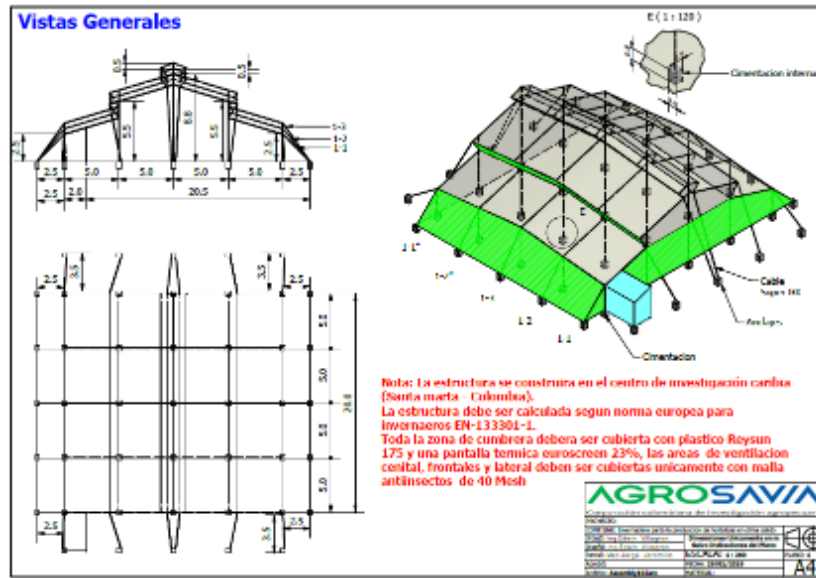


Figura 29. Vistas generales del modelo geométrico de invernadero para Colombia.

Fuente: Elaboración propia

Resultados

Panamá

Caracterización climática

Zona piloto

El sitio piloto está ubicado en la finca del Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá (IDIAP), en el corregimiento de La Villa, distrito de La Villa, provincia de Los Santos. El lugar se encuentra a 7,9408° latitud norte y 80,417° longitud oeste, a 16 msnm (figura 30).



Figura 30. Ubicación de la zona piloto en Panamá.

Fuente: Elaboración propia

Análisis de la información climática de la zona piloto

La información climática fue tomada de la estación Los Santos (código 128-001), de la red de estaciones hidrometeorológicas de la Empresa de Transmisión Eléctrica S. A. (ETESA), de Panamá, ubicada a una distancia aproximada de 5 km de la zona de emplazamiento de la estructura. Las variables que se recopilieron fueron: brillo solar, humedad relativa, precipitación, temperatura máxima, temperatura mínima y velocidad del viento, para un periodo de 30 años (1986-2016) a escala diaria.

Precipitación y temperaturas (máxima, mínima y media)

De acuerdo con la información climática recolectada sobre la zona, se observa que el periodo más cálido es entre enero y abril, con las temperaturas más altas durante este último mes (temperaturas mínimas promedio de 25 °C, medias de 29,5 °C, y máximas de 34 °C). La temporada menos cálida se da entre noviembre y diciembre. En estos meses se registran valores promedio de temperaturas mínimas aproximadas de 23 °C, y máximas de 32 °C. El régimen térmico en esta zona es bastante constante, con una temperatura media anual de 28 °C (**Error! Reference source not found. 31**).

El promedio multianual de la precipitación para la zona piloto es de aproximadamente 1.063 mm. El periodo de mayores precipitaciones se presenta desde mayo hasta diciembre, pero es el mes de octubre el de mayor lluvia, con un promedio multianual de 219 mm.

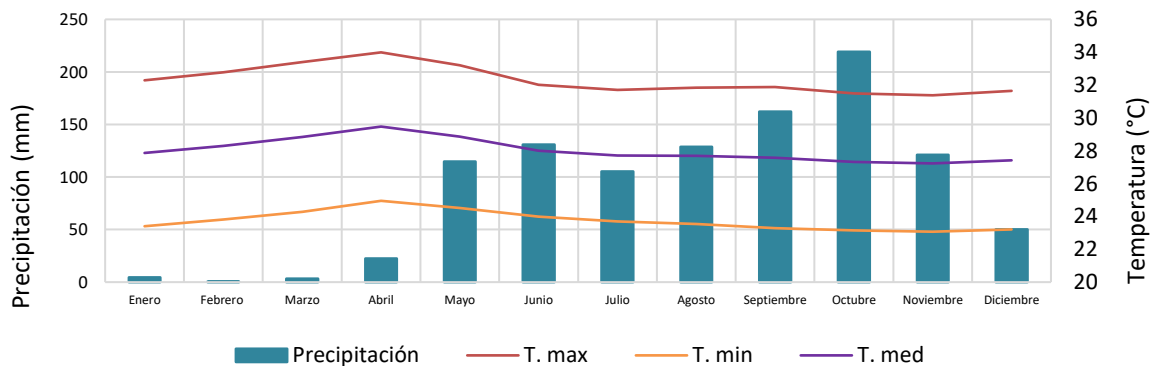


Figura 31. Precipitación. Temperaturas máxima, media y mínima. Promedio mensual multianual estimados a partir de los registros de la estación Los Santos, Panamá.

Humedad relativa y brillo solar

En el mes de octubre es extremadamente húmedo (83 %). En los meses de la temporada seca, desde enero hasta abril, se registraron valores mínimos de humedad relativa. El mes de marzo es seco, tiene una humedad de 66 % (Figura 32). En esta zona, el promedio de humedad relativa anual es de 76 %. El mar es una fuente de humedad, así como los terrenos bajos inundados gran parte del año. Los valores de máxima y mínima humedad relativa en la zona de estudio coinciden con los meses de máxima y mínima precipitación.

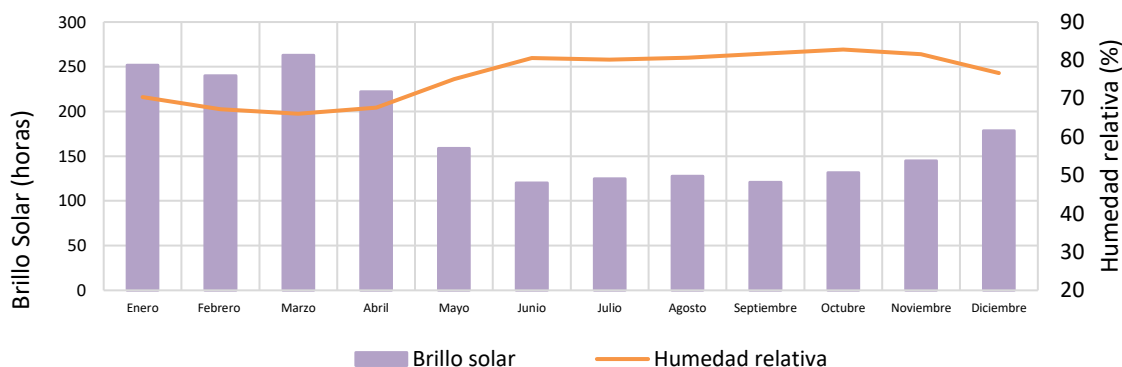


Figura 32. Humedad relativa y brillo solar, promedio mensual multianual, estimados a partir de los registros de la estación Los Santos, Panamá.

Fuente: Elaboración propia

A nivel de la zona costera del Pacífico, existe mayor disponibilidad de horas luz. El promedio multianual de brillo solar es de 2.084 horas/año. Los valores de brillo se mantienen altos durante la temporada seca a partir de enero y hasta abril; en marzo es en promedio de 263 horas/mes.

Velocidad del viento

El promedio de velocidad del viento anual es de 1,2 m/s. El periodo de mayores vientos en el año dura cinco meses y corresponde a la temporada seca, que va desde diciembre hasta abril, con velocidades promedio de 2,0 m/s. El mes en el que hay más viento es febrero, con una velocidad promedio de 2,3 m/s. La época de más calma en el año coincide con la temporada lluviosa, desde mayo hasta noviembre, con un promedio de 0,6 m/s. Los vientos más bajos se dan en septiembre, con una velocidad promedio de 0,5 m/s (Figura 33).

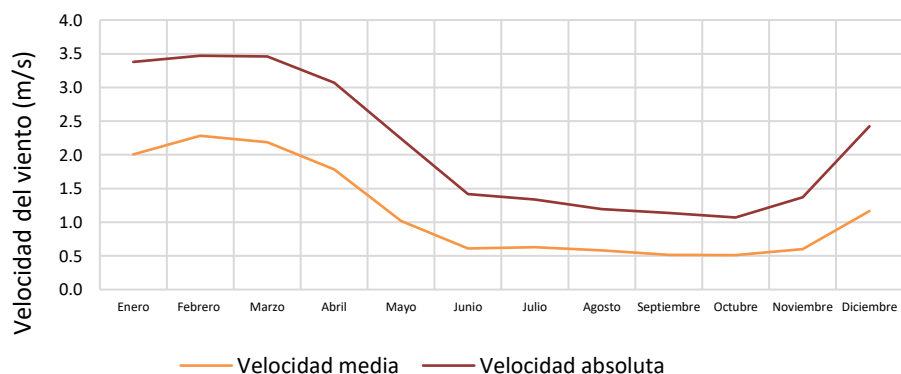


Figura 33. Comportamiento de la velocidad del viento a escala mensual, estimado a partir de los registros de la estación Los Santos, Panamá.

Fuente: Elaboración propia.

Diseño geométrico del invernadero

Preproceso y posproceso

En esta etapa, se definió el área del invernadero que se quería diseñar, el cual debía ser de 520 m². La estructura debía contar con áreas de ventilación en cada uno de sus costados y fachadas, y, a su vez, en la región de la cubierta. Estas áreas de ventilación debían ser equipadas con una malla porosa a prueba de insectos, con un estudio previo realizado de la afectación sobre los patrones de flujo de aire y los índices de renovación horarios. La cubierta del invernadero contemplada fue un filme de polietileno comercial antitérmico, con un porcentaje de transmisión y difusión de radiación solar de 75 % y 68 %, respectivamente.

En la Figura 34, se pueden observar los comportamientos cualitativos para los flujos de aire y la distribución espacial de la temperatura obtenidos para los escenarios S1 y S4. Se puede observar cómo las áreas de ventilación cenital y lateral del costado de barlovento permiten el ingreso de flujo de aire a través de la apertura efectiva de estas regiones. Una vez los flujos de aire ingresan al invernadero, se dirigen directamente hacia la zona de cultivo y se desplazan por el eje transversal del invernadero hasta salir por las áreas de ventilación dispuestas en el costado de sotavento. En términos generales, se observan flujos de aire uniformes y distribuidos en gran parte del área del invernadero, a excepción de un área de la cubierta de la nave número 2.

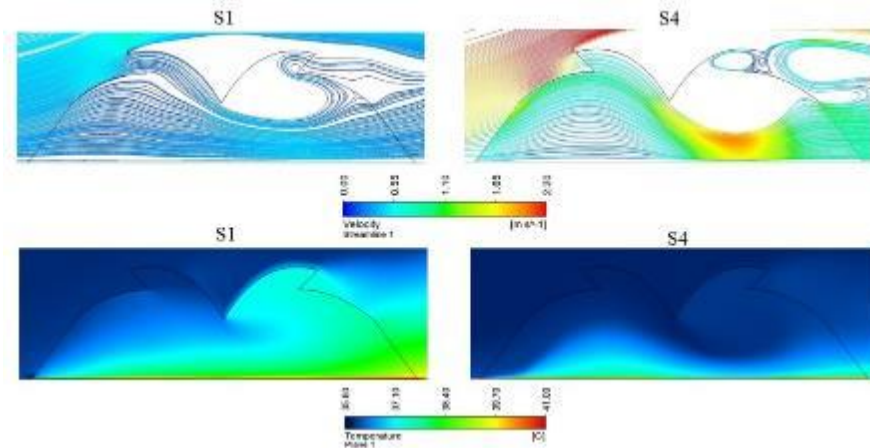


Figura 34. Patrones de distribución de flujo de aire y distribución espacial de la temperatura obtenidos mediante simulación para S1 y S4.

Fuente: Elaboración propia

Se calculó la velocidad media de los patrones de flujo de aire y esta osciló entre $0,27 \pm 0,08$ y $1,42 \pm 0,36$ ms⁻¹, para S1 y S4, respectivamente. Mientras que los valores de temperatura media interiores obtenidos en este prototipo de invernadero multitúnel fueron de $37,7 \pm 1,12$ y $36,6 \pm 0,42$ °C en S1 y S4.

Los IR para este invernadero multitúnel tienen valores superiores al mínimo recomendado de 40 volúmenes hora⁻¹ (**Error! Reference source not found.** 35). Nuevamente, el comportamiento se ajustó a una curva lineal con un coeficiente de correlación R² de 0,9872.

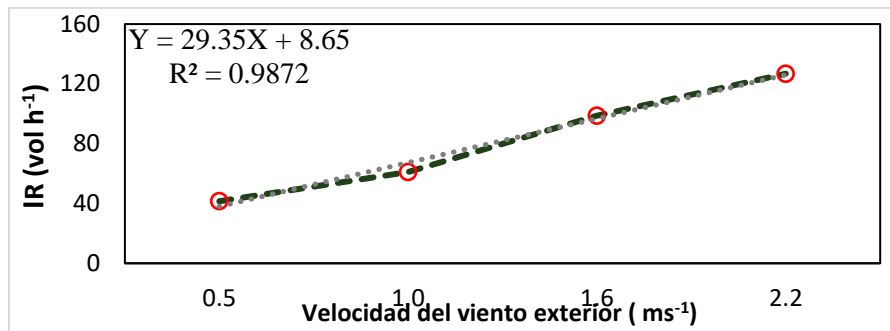


Figura 35. Índice de renovación horarios (IR) calculados para el invernadero diseñado para Panamá.

Fuente: Elaboración propia

Planos CAD

El modelo geométrico final seleccionado se presenta en la Figura 36, en la cual pueden encontrarse los planos en vistas generales (frontal, planta e isométrica). Las dimensiones generales de la estructura son de 26 m de ancho por 20 m de largo. En este caso, es necesario contar con un terreno que tenga un área mínima de 676 m², correspondientes a una dimensión transversal de 26 metros y una dimensión longitudinal de 25 metros, para así poder construir la estructura y cimentar los anclajes perimetrales. En el caso de esta estructura, que estará expuesta a ráfagas de viento con una velocidad máxima de 110 km h⁻¹, se plantea una cimentación de concreto reforzado con Fc de 210 kg cm⁻². Esta tendrá perfiles tubulares de acero ASTM-A53 y un diámetro de 2" y escala 20. Respecto a los amarres perimetrales y anclajes, se fabricarán en cable de acero de diámetro de 5/16".

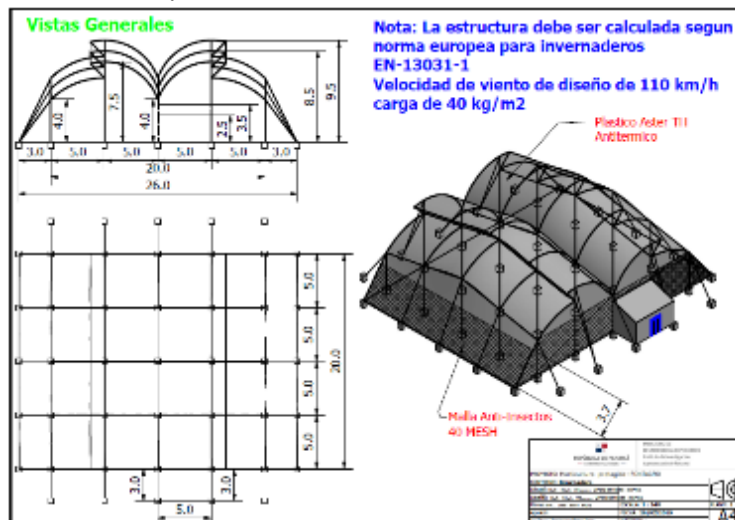


Figura 36. Vistas generales del modelo geométrico del invernadero de Panamá.

Fuente: Elaboración propia

Costa Rica

Caracterización climática

Zona piloto

El sitio piloto de la investigación en Costa Rica es la Estación Experimental Enrique Jiménez Núñez del Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria (INTA), ubicada en el Cantón de Cañas, provincia de Guanacaste, en las coordenadas 10,3447° latitud norte y 85,1780° longitud oeste, a 14 m s. n. m (Figura 37).



Figura 37. Ubicación de la zona piloto en Costa Rica. Estación Experimental Enrique Jiménez Núñez, el cantón de Cañas, provincia de Guanacaste.

Fuente: Elaboración propia.

Análisis de la información climática de la zona piloto

El análisis climático local se realizó con los registros diarios de las variables de precipitación, temperatura media, máxima y mínima, humedad relativa, brillo solar y velocidad del viento, del periodo 2001 al 2009, en la estación meteorológica del Ingenio Taboga, ubicada a 4,7 km de la Estación Experimental.

Precipitación y temperaturas (máxima, mínima y media)

Durante la época seca (en la zona del bosque del trópico seco), que inicia en el mes de diciembre, ocurre un cese de precipitaciones y un aumento de la temperatura, que llega a valores máximos que superan los 34 °C. En el mes de abril, inicia la etapa de transición, y, en la segunda quincena del mes, las primeras lluvias del año. Los meses de septiembre y octubre son los más favorables en cuanto a milímetros de lluvia, con 338 mm y 401 mm, respectivamente. El promedio multianual de la precipitación es de aproximadamente 1.806 mm, y las temperaturas promedio

multianual máxima, media y mínima son de 35 °C, 26 °C y 23 °C, respectivamente.

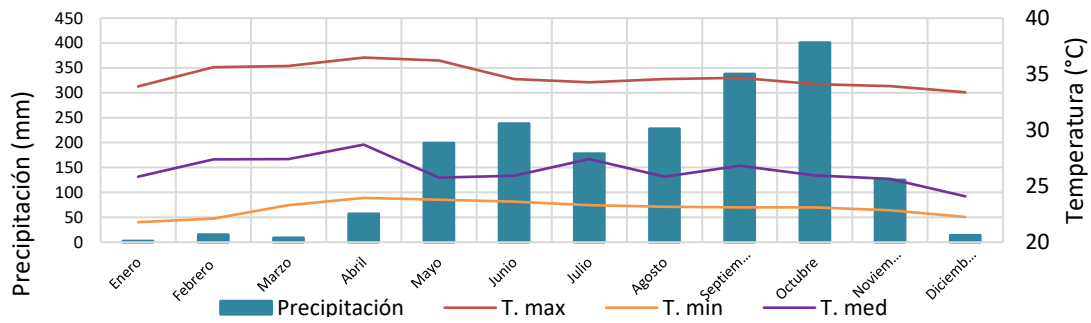


Figura 38. Precipitación, promedio mensual Tmax, Tmin y Tmed, estimados a partir de los registros de la estación Ingenio Taboga, Costa Rica.

Fuente: Elaboración propia.

Humedad relativa y brillo solar

Los días con mayor brillo solar ocurren entre los meses de diciembre y abril, con valores que rondan las 286 horas por mes de brillo solar, lo que significa un promedio de 9,5 horas de brillo solar por día. Por el contrario, los niveles de brillo decaen en la época lluviosa, pues llegan a ser de 156 horas, es decir, un promedio por día de 5,2 horas. En cuanto a la humedad relativa, aunque no es inversamente proporcional con la temperatura, si tiene una estrecha relación, por lo que se puede apreciar que en la época seca se registran los menores valores de humedad, cercanos al 45 %. En la época lluviosa, se encuentran los mayores valores de humedad, con promedios que superan el 60 % (Figura 39).

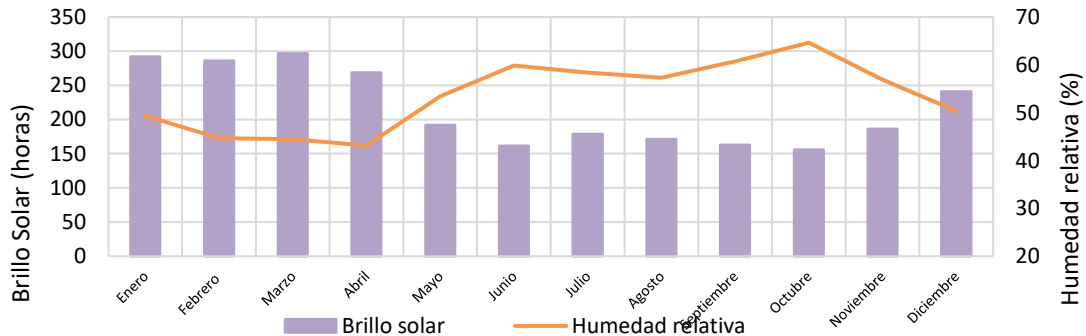


Figura 39. Humedad relativa y brillo solar, promedio mensual multianual, estimados a partir de los registros de la estación Ingenio Taboga, Costa Rica.

Fuente: Elaboración propia.

Velocidad del viento

El aumento de la velocidad del viento inicia en el mes de diciembre y se extiende hasta el mes de marzo, cuando el movimiento del aire puede llegar en promedio a 3 m/s (Figura 40). Este potencial de viento es el gran refrigerante de la provincia de Guanacaste, ya que elimina grandes masas de aire caliente. El mes con las mayores temperaturas es abril, y esto se debe a la

disminución de la velocidad del aire. De acuerdo con la velocidad absoluta se puede observar que el viento puede tomar valores de hasta 4,8 m/s en el mes de febrero.

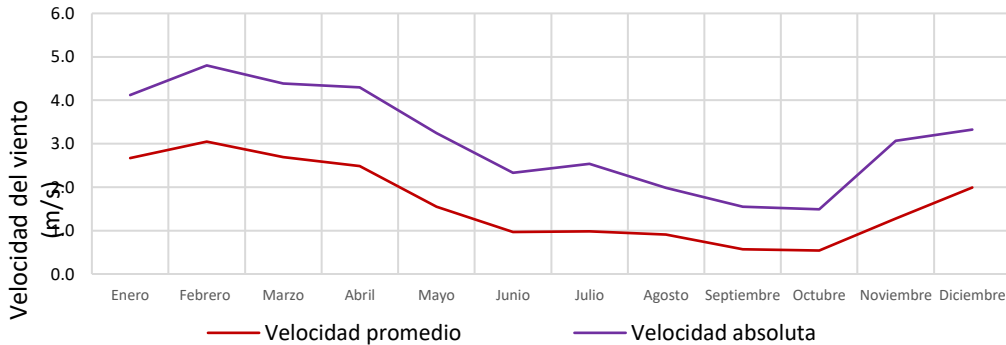


Figura 40. Comportamiento de la velocidad del viento a escala mensual, estimado a partir de los registros de la estación Ingenio Taboga, Costa Rica.

Fuente: Elaboración propia.

Diseño geométrico de las estructuras

En el caso específico de Costa Rica, debido a su experiencia exitosa en el uso de estructuras de casa malla, se definió implementar el uso de dos estructuras de esta tipología, con variación únicamente en su altura. Así mismo, se diseñó un modelo de invernadero ventilado naturalmente, como alternativa de uso a las estructuras de casa malla. Estas tres estructuras serán construidas a escala real y validadas de forma numérica y experimental en una siguiente fase de la investigación.

Diseño geométrico de las casas de malla

Preproceso y posproceso

En esta etapa se definió el diseño de dos estructuras de casa malla, así como el tipo de malla anti-insecto a utilizar (malla comercial de 40 MESH), con un número de hilos de 16,1 x 10,1 por cm^2 , una porosidad (ϵ) de 0,33 y un nivel de sombreado del 30 %. En un paso posterior, se definió y construyó la geometría de la sección transversal de las dos estructuras de casa malla (CM-1 & CM-2). En las Figuras 41 y 42, se pueden observar los comportamientos de los patrones de flujo de aire para las casas malla CM-1 y CM-2. En general, en estos escenarios se puede observar cómo aparecen los principales inconvenientes del patrón de flujo de aire en este tipo de estructuras de techo plano. Los patrones de flujo de aire presentan mayor velocidad cerca de la región del techo de la estructura y tienen unas áreas de escasa velocidad cerca del costado de sotavento, este tipo de comportamiento genera condiciones térmicas heterogéneas en la zona en la que se desarrollan los cultivos y gradientes térmicos entre los costados de barlovento y sotavento.

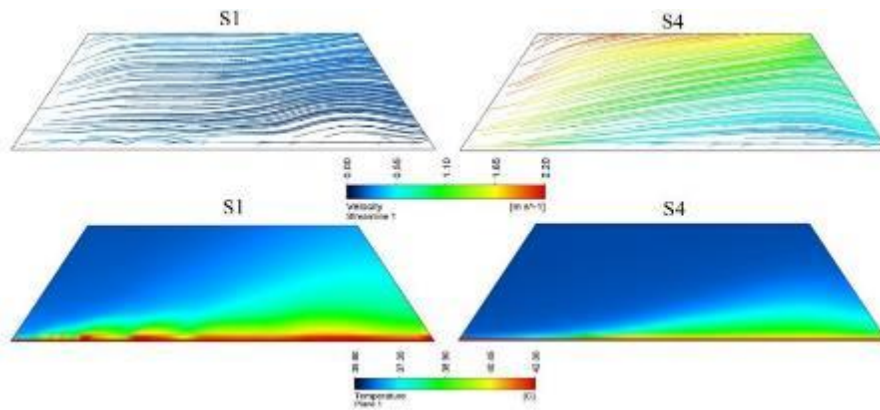


Figura 41. Patrones de distribución de flujo de aire y distribución espacial de la temperatura obtenidos mediante simulación para S1 y S4 en CM-3.

Fuente: Elaboración propia

En términos cuantitativos, las velocidades medias oscilaron entre $0,15 \pm 0,07$ m/s y $0,61 \pm 0,18$ m/s para los escenarios S1 y S4 en CM-1. En los mismos escenarios, para CM-2, oscilaron entre $0,17 \pm 0,04$ m/s y $0,78 \pm 0,27$ m/s.

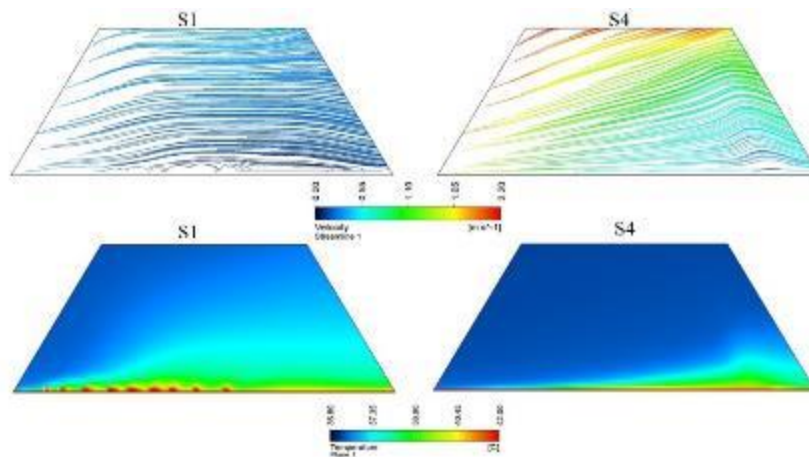


Figura 42. Patrones de distribución de flujo de aire y distribución espacial de la temperatura obtenidos mediante simulación para S1 y S4 en CM-5.

Fuente: Elaboración propia

Por otro lado, los valores de temperatura media oscilaron entre $37,9 \text{ °C} \pm 1,32 \text{ °C}$ y $36,9 \text{ °C} \pm 0,81 \text{ °C}$, para S1 y S4, en CM-1. Mientras que para CM-2, estos valores estuvieron dentro del rango de $37,7 \text{ °C} \pm 1,50 \text{ °C}$ y $36,7 \text{ °C} \pm 0,41 \text{ °C}$, para S1 y S4. Estos valores son superiores a los reportados en el caso de los diseños de Panamá y Colombia, aun cuando las estructuras CM-1 y CM-2 son de

menor sección transversal que las estructuras de los otros países, por lo que se esperaría que tuvieran un mejor comportamiento.

Planos CAD

Los planos generales, así como los materiales sugeridos para la construcción de las estructuras CM-1 y CM-2, se pueden encontrar en las Figuras 43 y 44. En general, en estos planos se encuentran las especificaciones del material de cubierta, el tipo de estructura, el material para los anclajes y la cimentación.

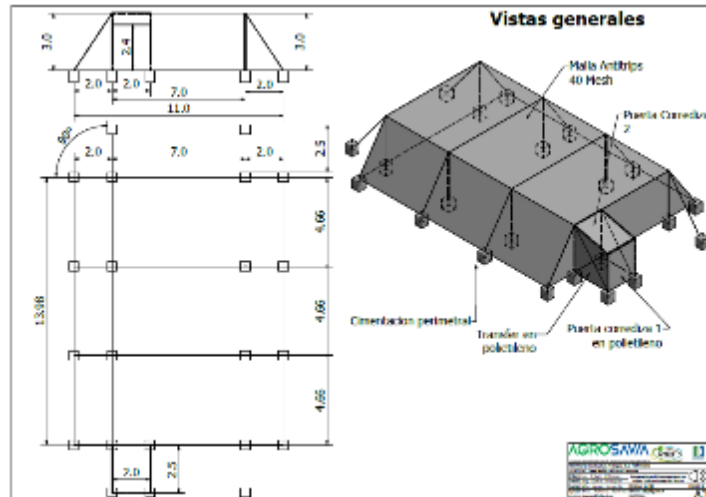


Figura 43. Vistas generales del modelo geométrico de la casa malla CM-1 diseñada para Costa Rica.

Fuente: Elaboración propia

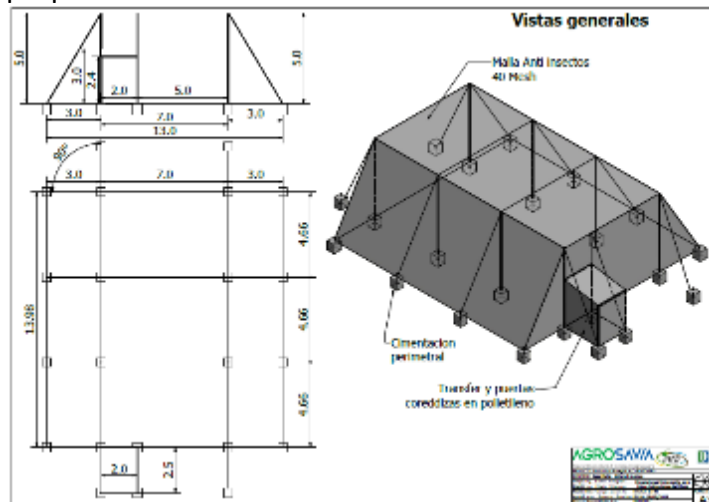


Figura 44. Vistas generales del modelo geométrico de la casa malla CM-2 diseñada para Costa Rica.

Fuente: Elaboración propia.

Diseño geométrico de invernadero

Preproceso y Posproceso

Para esta fase, se determinó diseñar el modelo geométrico de un invernadero mono-span de tipo multitúnel. Este prototipo debía estar equipado con áreas de ventilación lateral y cenital protegidas con una malla porosa a prueba de insectos de 40 MESH, un número de hilos de 16,1 x 10,1 por cm^2 , una porosidad (ϵ) de 0,33 y un nivel de sombreamiento del 30 %. La cubierta del invernadero contemplada fue un filme de polietileno comercial.

En la Figura 45, se puede observar cómo el área de ventilación ubicada en la cubierta permite el ingreso de flujo de aire, el cual se acelera y sale del interior del invernadero. Estos flujos de aire uniforme se traducen en comportamientos térmicos homogéneos en la zona en la que se desarrollan los cultivos, tanto para S1 como para S4, lo cual confirma que el diseño del invernadero multitúnel presenta mejores tasas de ventilación que otros prototipos mono-span como el evaluado en el trabajo desarrollado por Molina-Aiz & Valera (2009).

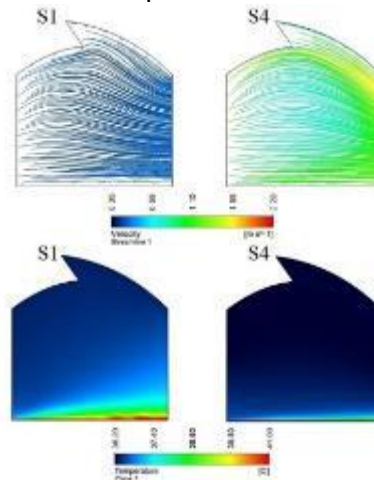


Figura 45. Patrones de distribución de flujo de aire y distribución espacial de la temperatura obtenidos mediante simulación para S1 y S4.

Fuente: Elaboración propia

En términos cuantitativos, los valores de velocidad media obtenidos para este prototipo de invernadero oscilaron entre $0,22 \text{ m/s} \pm 0,04 \text{ m/s}$ y $0,99 \text{ m/s} \pm 0,32 \text{ m/s}$ para S1 y S4 respectivamente. Los valores de temperatura media interior fueron de $36,8 \pm 0,34 \text{ }^\circ\text{C}$ y $36,4 \pm 0,03 \text{ }^\circ\text{C}$ para S1 y S4.

Los IR de este invernadero multitúnel presentaron valores muy superiores al mínimo recomendado de $40 \text{ volúmenes hora}^{-1}$, y su relación con la velocidad del viento exterior tuvo un comportamiento lineal con un coeficiente de correlación (R^2) de 0,9654 (Figura 46). Se debe resaltar que este prototipo presentó altos índices de renovación y flujos uniformes en el interior del volumen del invernadero.

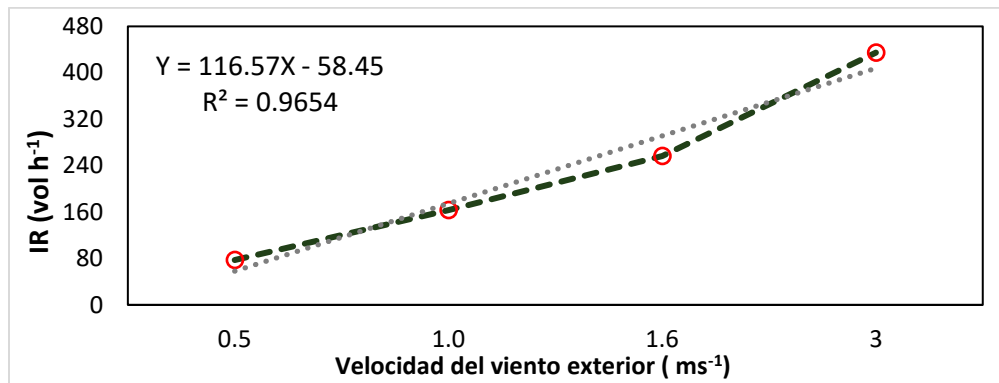


Figura 46. Índices de renovación horarios (IR), calculados para el invernadero diseñado para Costa Rica.

Fuente: Elaboración propia

Planos CAD

Las dimensiones generales y materiales sugeridos para la construcción del modelo geométrico del invernadero obtenido para Costa Rica pueden encontrarse en la Figura 47. Las recomendaciones generales son similares a las ya planteadas para las estructuras propuestas para Colombia y Panamá.

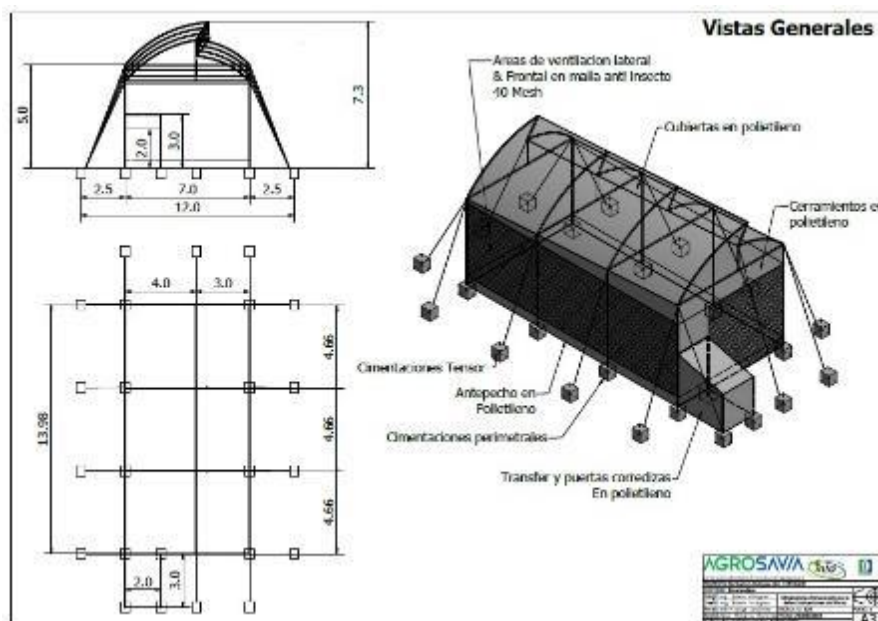


Figura 47. Vistas generales del modelo geométrico del invernadero para Costa Rica.

Fuente: Elaboración propia

República Dominicana

Caracterización climática

Zona piloto

La zona piloto seleccionada para el establecimiento de la estructura en República Dominicana es la Estación Experimental del Instituto Dominicano de Investigaciones Agropecuarias y Forestales (IDIAF), ubicada en Sabaneta, La Vega. Se localiza en las coordenadas 19.217° latitud norte y 70.533° longitud oeste, a una altitud de 97 m s. n. m. (Figura 48).



Figura 48. Ubicación de zona piloto en Costa Rica. Estación Experimental del IDIAF, Sabaneta, La Vega.

Fuente: Elaboración propia

Análisis de la información climática de la zona piloto

Para realizar el análisis de las condiciones climáticas locales se obtuvieron los datos diarios de temperaturas máximas, media y mínima, así como los de precipitación, del periodo 1986-2016, en la estación más cercana del municipio de La Vega, ubicada a 19.217 ° N y 70.533 ° W, a 97 m s. n. m.

Precipitación y temperaturas (máxima, mínima y media)

De acuerdo con los promedios mensuales, se puede observar que en la zona se presentaron precipitaciones durante todo el año; sin embargo, fueron abril, mayo, septiembre, octubre y noviembre los meses con mayores precipitaciones, entre 150 mm y 205 mm. Los periodos de menor lluvia se dieron en los periodos entre diciembre-marzo y junio-agosto, con valores mensuales entre 85 mm y 120 mm. El promedio multianual de la precipitación es de 1.633 mm. Las temperaturas promedio multianual máxima, media y mínima fueron de 32 °C, 26 °C y 20 °C, respectivamente (Figura 49).

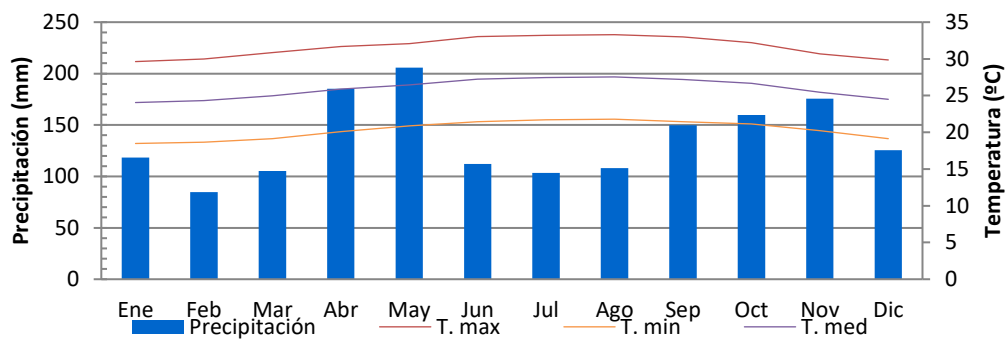


Figura 49. Precipitación, temperaturas máxima, media y mínima, promedio mensual multianual, estimados a partir de los registros de la estación La Vega, República Dominicana.

Fuente: Elaboración propia

Humedad relativa y radiación solar

El promedio anual de la humedad relativa es del 80 %, con valores mensuales entre el 77 % y el 85 %. Estos valores son mayores entre octubre y enero, y llegan a un máximo de 85 %, en noviembre. Los menores registros de humedad se identificaron entre marzo y septiembre, con un mínimo del 77 % en junio (Figura 50).

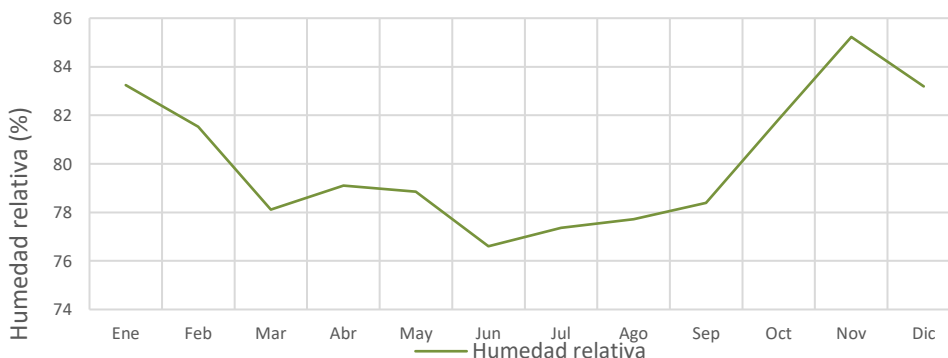


Figura 50. Humedad relativa. Promedio mensual estimado con la estación adicional en La Vega, República Dominicana.

Fuente: Elaboración propia

Velocidad del viento

De acuerdo con los registros de velocidad del viento de la estación adicional, se identifican como referencia valores de velocidad del viento con un promedio anual de 2,0 m/s. Los registros más altos se registraron en mayo, con 2,8 m/s, y los más bajos en diciembre, con 1,1 m/s. La velocidad absoluta muestra máximos de hasta 4,5 m/s en meses como abril, mayo y septiembre, y en octubre de 4,6 m/s (Figura 51).

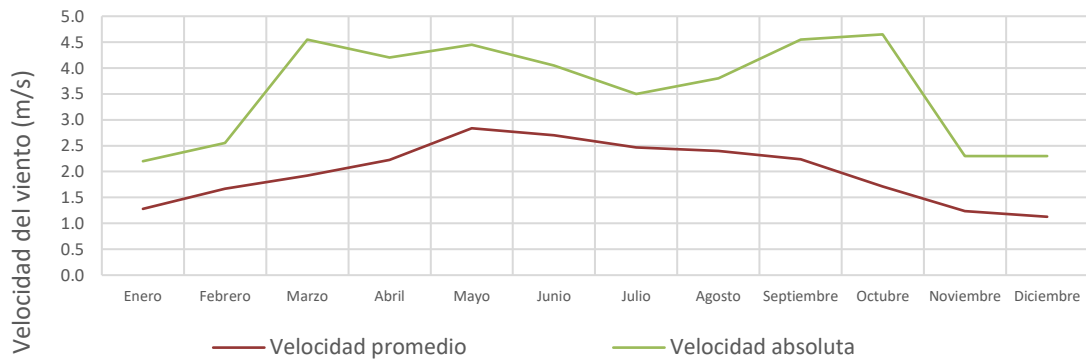


Figura 51. Velocidad del viento. Promedio mensual estimado con la estación adicional en La Vega, República Dominicana.
Fuente: Elaboración propia

Diseño geométrico de una estructura híbrida

Preproceso y Posproceso. Se definió que se debía diseñar el modelo geométrico de una estructura híbrida que funcione conjuntamente como invernadero y estructura de casa malla. Para la cubierta de la región que se establecerá como invernadero, se determinó usar un filme de polietileno con unos porcentajes de radiación y difusión de la radiación solar de 80 % y 75 %. Así mismo, se contempló una pantalla porosa a prueba de insectos de 40 MESH, con un número de hilos de 16,1 x 10,1 por cm², una porosidad (ε) de 0,33 y un nivel de sombreamiento del 30 %. En la Figura 52, se pueden observar los patrones de distribución de los patrones de flujo de aire y la distribución espacial de la temperatura en el interior de la estructura híbrida. En general, se observa que las velocidades de flujo tienen una mayor velocidad sobre la zona cercana en la que se desarrollan los cultivos; en este caso específico, se observa un flujo turbulento justo debajo de la cubierta plástica de la región del invernadero.

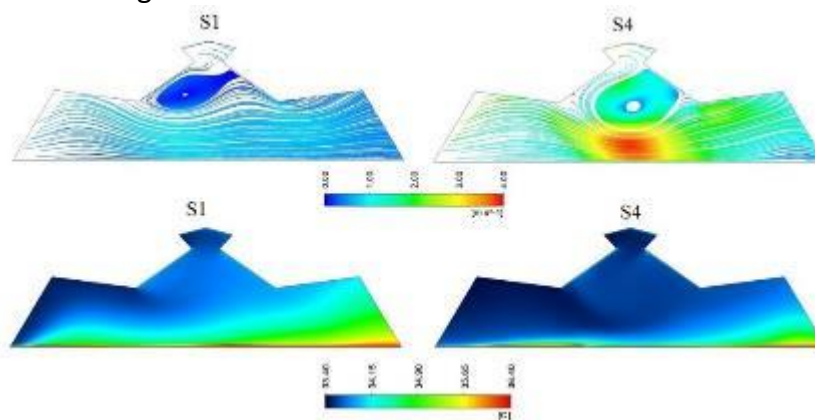


Figura 52. Patrones de distribución del flujo del aire y distribución espacial de la temperatura obtenidos mediante simulación para la estructura de República Dominicana.
Fuente: Elaboración propia

En términos cuantitativos los valores de velocidad media obtenidos para este prototipo de estructura oscilaron entre 0,62 m/s ± 0,24 m/s y 2,09 m/s ± 0,82 m/s para S1 y S4. Estas

velocidades de flujo del aire son los que presentan valores más elevados en comparación con las estructuras anteriormente diseñadas. Los valores de temperatura media interiores obtenidos en este prototipo de estructura fueron de $34,6 \pm 0,82$ y $33,7 \pm 0,12$ °C, para S1 y S4. En general, se observa que dadas las condiciones evaluadas y en función de los flujos de aire adecuados, obtenidos en el interior de la estructura, los valores de temperatura media están muy cerca del valor registrado en el ambiente exterior.

Planos CAD

Las dimensiones generales y los materiales sugeridos para la construcción de la estructura híbrida de Republica Dominicana pueden encontrarse en la Figura 53. Las recomendaciones generales para la construcción son similares a las ya planteadas para las estructuras de los otros tres países participantes de esta investigación.

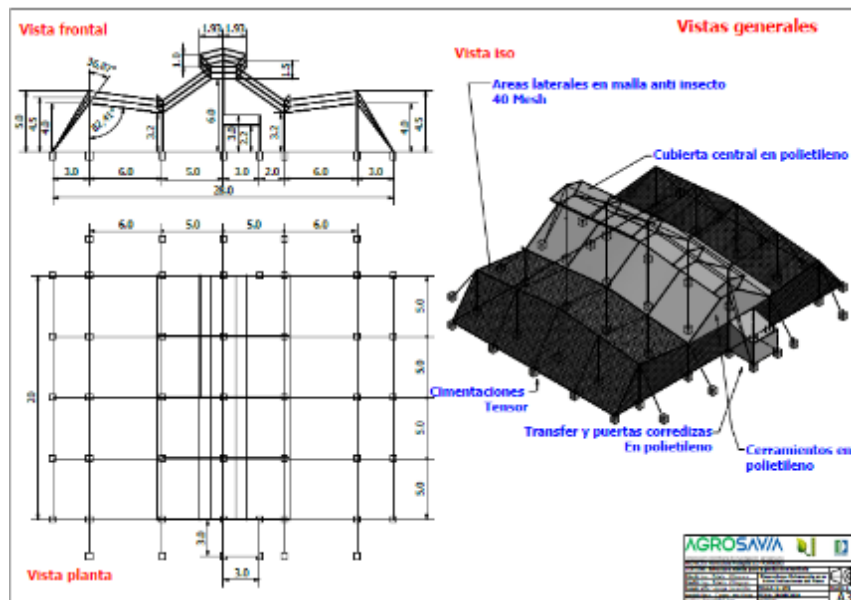


Figura 53. Vistas generales del modelo geométrico de la estructura para Republica Dominicana.
Fuente: Elaboración propia

COMPONENTE 2: Validación de innovaciones que favorecen la intensificación sostenible de la horticultura en el contexto del cambio climático en América Latina y el Caribe.

Para este componente se establecieron las siguientes actividades: (I)

Actividad 2.1. Validación integrada de la interacción cultivo – ambiente en los modelos de prototipo de estructura por país, y (II) Actividad 2.2. Generación de recomendaciones para la intensificación sostenible de la horticultura en condiciones de ambiente protegido en el contexto del cambio climático y ALC

El desarrollo de estas 2 actividades permitió lograr los objetivos de este componente que están plasmados en los siguientes productos

Producto 3: Informe de resultados de la interacción cultivo–ambiente en los modelos de prototipos.

Colombia

Metodología

En la región Caribe colombiana se evaluó el comportamiento fisiológico, agronómico y fitosanitario de diferentes especies hortícolas de las familias Amaranthaceae, Amaryllidaceae, Apiaceae, Asteraceae, Brassicaceae, Cucurbitácea, Poaceae y Solanácea cultivadas a campo abierto, bajo polisombra y en las estructuras protegidas de casa malla e invernadero que se diseñaron mediante CFD para las condiciones del municipio de Zona Bananera (Magdalena, Colombia).

Resultados producto 3

Evaluación del comportamiento ecofisiológico durante un ciclo de producción de diferentes especies de hortalizas en tres sistemas productivos.

1. pimentón

Variables asociadas a la fisiología

Los valores de tasa de fotosíntesis en los cultivares ‘Campero’ y ‘Golazo’ presentaron significancia ($P < 0,05$) para la interacción genotipo por ambiente (11). En el cultivar Golazo se evidenció mayor concentración en campo abierto con $26,29 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, y en Campero, los valores más altos se obtuvieron en campo abierto y casa malla con $24,02$ y $24,19 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, respectivamente. Las variables transpiración, diferencial térmico y SPAD en los cultivares Golazo y Campero, mostraron significancia ($P < 0,05$) (Tabla 9). El ambiente de crecimiento a campo abierto presentó mayores valores en contenido de SPAD (97,92 SPAD), y hubo similitud en la transpiración registrada en casa malla ($7,31$ y $6,29 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, respectivamente). En invernadero se obtuvo la menor tasa de transpiración y SPAD con $5,98 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ y $54,78$ SPAD, respectivamente. 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 las estomas, lo que conlleva a que ésta reduzca o cese su transpiración. En tabla 9, puede observar que los valores más negativos del DT se reportaron para casa malla con $-1,55^{\circ}\text{C}$, seguido de invernadero con $-0,94^{\circ}\text{C}$ y por último campo abierto con valores de $-0,77^{\circ}\text{C}$.

Tabla 9. Efecto del ambiente de producción sobre la transpiración, diferencial térmico y clorofila en el cultivo de pimentón.

TRATAMIENTO	TRASPIRACIÓN		DIFERENCIAL	
	(mmol $\text{H}_2\text{O m}^{-2}\text{s}^{-1}$)	A	TÉRMICO $^{\circ}\text{C}$	CLOROFILA (SPAD)
Campo abierto	7,31	A	-0,77	A 97,92
Casa malla	6,29	AB	-1,55	A 57,11
Invernadero	5,98	B	-0,94	B 54,78
DMS	1,30		0,24	29,68

Letras diferentes en columnas indican diferencias significativas (Tukey, $P \leq 0.05$).

Fuente: elaboración propia

El valor del diferencial térmico se hizo menos negativo a medida que el valor de la transpiración y conductancia fue más alto. En el caso de campo abierto los valores de $-0,8$ 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 los menores en campo abierto.

Para el caso del potencial hídrico xilemático, los valores obtenidos en la investigación indicaron 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 Golazo en casa malla fueron más negativos con valores entre -1 y $-1,3$ MPa

Por otra parte, el número de días a cosecha del fruto estuvo en el rango de 65,50 a 75,65 días después del trasplante 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.

VARIABLES ASOCIADAS A LA AGRONOMÍA DEL CULTIVO.

En las variables agronómicas, se observó la mayor plasticidad en el cultivar Golazo, al obtener los mayores valores para las variables número de frutos de primera y tercera categoría (NFPC y NFTC), y peso de frutos de primera categoría (PFPC), sin efectos derivados de la interacción cultivar por ambiente de producción

Los valores más bajos para las variables NFPC, PFPC y NFTC en el cultivar Campero se presentaron en campo abierto y 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. Sin embargo, la tendencia del cultivar Golazo fue a presentar el mayor número de frutos y mayores rendimientos sin importar el ambiente de siembra, adicionalmente se observa que los valores más promisorios se obtuvieron en casa malla (Figura 54).

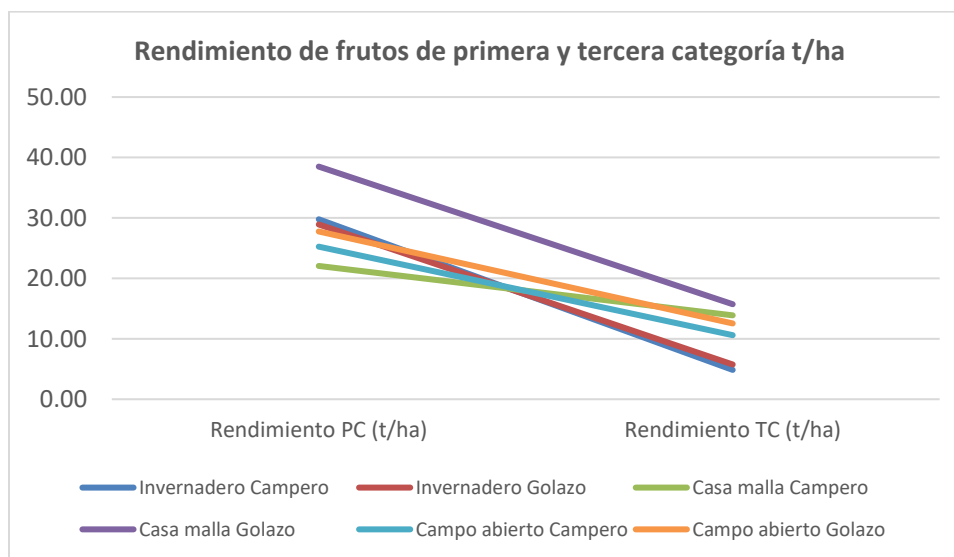


Figura 54. Rendimientos en Pimenton de frutos de primera y tercera categoría en los tres ambientes de siembra.

Fuente: elaboración propia

La tendencia del cultivar Golazo en la mayoría de las variables asociadas a la calidad del fruto fue a presentar los mayores valores, a diferencia de la variable SST, la cual en ambas cosechas evaluadas reportó los valores más elevados para el cultivar campero

En la cosecha 2, los valores del promedio del pH en los frutos cosechados estuvieron entre 6 a

6,5, mientras que para la tercera cosecha aumento 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), lo que se alinea con los resultados generalmente que se obtienen en análisis poscosecha de frutas específicamente. 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⁻¹ 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., a 8,0 cm. El largo del fruto evidencio leves variaciones, los valores estuvieron de 8,0 a 12,0 cm en frutos de la segunda cosecha y de 9,0 a 11,6 en los de la tercera cosecha. Para el peso de frutos los valores oscilaron entre 120 a 165 g en la cosecha dos y entre 100 a 150 g para la cosecha tres.

2. Tomate

Variables asociadas a la fisiología del cultivo.

A pesar de que no hubo diferencias estadísticas entre los cultivares de tomate evaluados, biológicamente se observó comportamiento promisorio para algunos genotipos de tomate (Figura 55). En los cultivares 1, 2 y 3 se evidenció mayor concentración de fotosíntesis con valores superior a 24 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. Esto se puede explicar, ya que en la 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, y por ende también la tasa de asimilación neta. 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, por último, en plantas bajo invernadero.

Este comportamiento de los cultivares de tomate bajo estas condiciones de estrés provocaron alteraciones en las tasas de fotosíntesis y las variables asociadas a la productividad, tal como se observó en los cultivares menos promisorios (cultivares 4 y 5 con rendimiento menor a 10 t/ha). A pesar de ello, para el segundo ciclo se realizó una revisión más exhaustiva de los cultivares de tomate adaptados a condiciones de altas temperaturas, y a pesar de que la misma tendencia se observó en esta evaluación, con los mayores rendimientos para los cultivares 4, 5, con rendimiento superior a las 80 y 70 t ha⁻¹ en campo abierto, mientras que 60 y 40 t/ha se alcanzó las plantas sembradas en polisombra, respectivamente. En este mismo sentido, se pudo identificar genotipos promisorios para las diversas estructuras evaluadas, en el cual destacaron los cultivares 7 y 8 con rendimientos de 55 y 63 t/ha para casa malla, 39 y 28 para invernadero. Estos genotipos fueron aquellos tipos Cherry, lo que permitió inferir la adaptación de esta especie a condiciones de calor. (Figura 55 y figura 56)

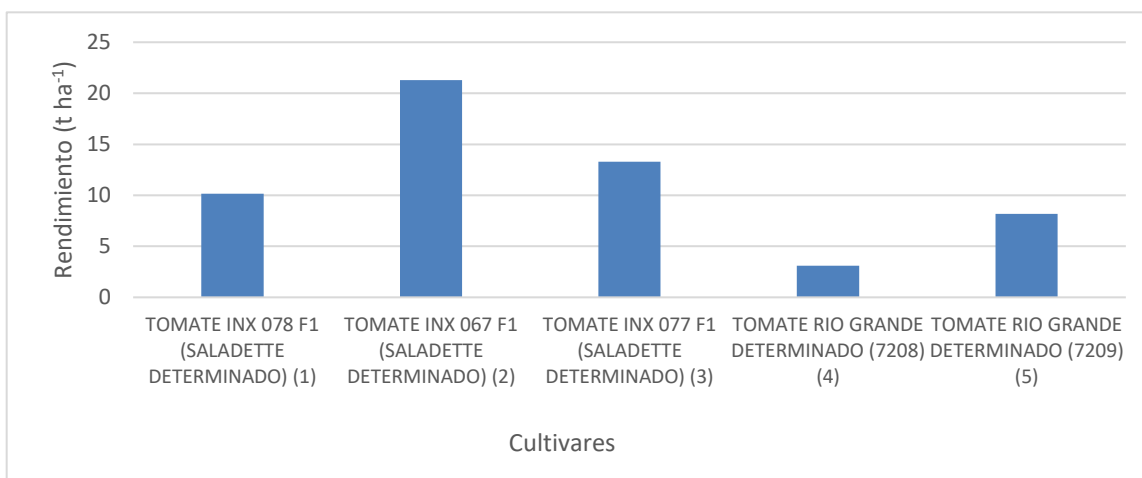


Figura 55. Rendimiento de cinco cultivares de tomate en campo abierto en el primer ciclo. Fuente: Elaboración Propia.

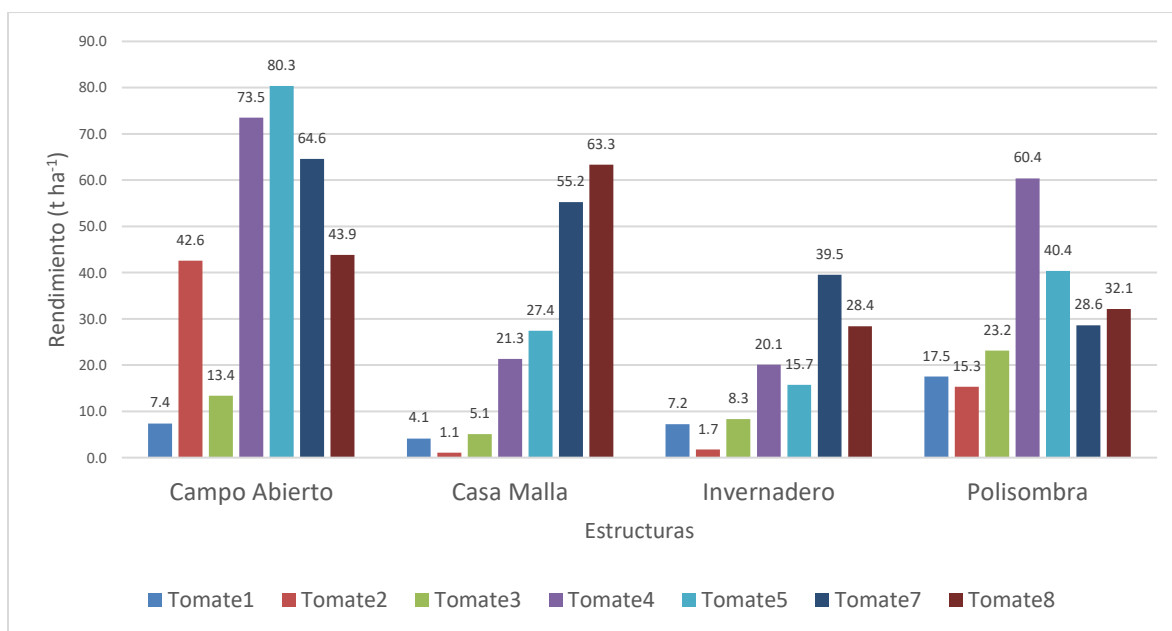


Figura 56. Rendimiento de siete cultivares de tomate en el segundo ciclo de producción en cuatro sistemas de producción (b). Fuente: Elaboración Propia.

3. Lechuga

Variables asociadas a la fisiología del cultivo.

La variable transpiración destacó significativamente para los tratamientos campo abierto con el cultivar White Boston y casa malla con Falbala, con valores de 8,58 y 7,13 mmol agua m⁻² s⁻¹, respectivamente, mientras que el cultivar Astra dentro del invernadero tuvo la menor tasa con 5,13 mmol H₂O m⁻² s⁻¹. Este comportamiento se observó en todas las variables asociadas al intercambio gaseoso, ya que la mayor fotosíntesis se observó en plantas de White Boston

sembradas en campo abierto (cerca de $25 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) y la mayor conductancia estomática para Falbala en casa malla (mayor a $1,5 \text{ mmol agua m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), mientras que contrariamente ocurrió con Astra en el invernadero con la menor tasa de fotosíntesis y conductancia estomática con valores por debajo de $5 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ y $0,5 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, respectivamente

El valor SPAD varió significativamente, destacando plantas del cultivar Romana Parris Island Coss en casa malla e invernadero y Astra en campo abierto con valores de 24; 23; 17; 67 y 16,8, respectivamente, comparado con el resto de las interacciones que variaron entre 4,9 y 15 SPAD no se encontraron relaciones entre las variables SPAD y fotosíntesis, lo que indica que para el caso de la especie de lechuga, la coloración de la variedad juega un papel importante en la interacción, ya que la tendencia fue a tener los mayores valores las lechugas con los colores de hojas más verde (Romana Parris Island Coss, Astra y Falbala) en todas las estructuras

Las variables asociadas a la agronomía del cultivo variaron significativamente en casa malla para los cultivares White Boston y Romana Parris Island Coss con el mayor peso fresco de raíz (3,72 y 3,55 g), lo que permitió que las plantas alcanzaran los mayores números de hojas (31,78 y 19,72), por ende el mayor peso fresco de hojas por planta (124,01 y 95,9 g) y mayor diámetro de tallo 20,7 y 16,33 cm, con la misma tendencia para la biomasa seca de hoja y raíz (4-8 g peso seco de hoja y 0,25-05 g peso seco de raíz).

A pesar de lo expuesto anteriormente, comercialmente destacaron en todos los ambientes, los cultivares Romana Parris Island Coss (lechuga tipo Romana) y Falbala (lechuga sin cabeza y hojas sueltas). Este último cultivar tuvo valores bajos en las variables asociadas a la agronomía del cultivo, destacando para casa malla con 12 hojas, 28, 64 g de biomasa aérea, 1,99 g de biomasa de raíz y 10,11 cm en el diámetro del tallo y con los mayores valores para sólidos solubles totales en casa malla con valores superior a los 4 °Brix, lo que se podría inferir una calidad culinaria superior comparadas con el resto de cultivares en las diferentes estructuras de agricultura protegida. El Ph varió significativamente, pero biológicamente no se observaron diferencias entre los diferentes cultivares de cada estructura de agricultura protegida, con valores que oscilaron entre 6,03 y 6,67

Finalmente, se debe destacar que las plantas de los cultivares White Boston y Romana Parris Island Coss en casa malla y campo abierto tuvieron los mayores valores en variables asociadas al intercambio gaseoso, lo que provocó que los fotoasimilados se distribuyeran positivamente en la biomasa fresca área y raíz, respectivamente. Mientras que, el cultivar Falbala, a pesar de no alcanzar las mayores biomásas aérea, destacó para la variable conductancia estomática, y usando los fotoasimilados para la mayor producción de azúcares, tal como se observó en los sólidos solubles totales.

Evaluar la respuesta agronómica en policultivos durante dos ciclos de producción en cuatro sistemas productivos.

En el ciclo 1, se pudo observar que la producción en campo abierto estuvo por encima de 100 kg, comparado con los sistemas de agricultura protegida, pero motivado principalmente a la producción más alta en la especie de tomate con valores cercanos a los 100 kg. Así mismo, se pudo observar el rendimiento promisorio para pimentón en las dos estructuras, lo que permite inferir esta especie como parte de una estrategia de desarrollo de negocio. También es importante mencionar que, en términos de seguridad agroalimentaria, en la región se puede apalancar las siembras de otras especies, tal como perejil, cilantro y coliflor, esta última nunca se había sembrado en la costa norte de Colombia (Figura 57).

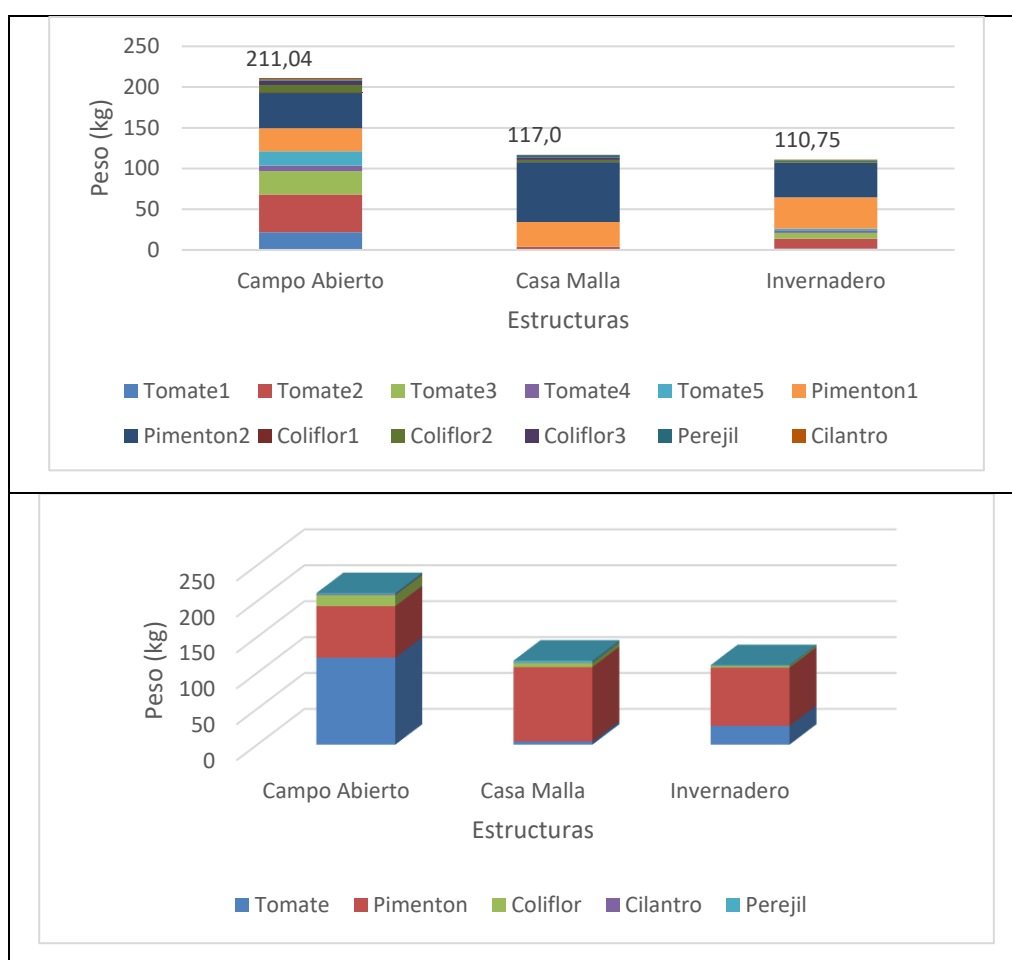


Figura 57. Comportamiento total de especies de porte alto en tres estructuras de agricultura protegida.

Fuente: Elaboración Propia.

Por su parte en el ciclo 2, ocurrió comportamiento contrario que el ciclo 1, con rendimientos superior a los 80 kg en las estructuras, comparado con campo abierto, esto motivado principalmente al comportamiento superior de la mayoría de los cultivares de pimentón, y

pepinos cohombro, respectivamente, así como la selección de algunos cultivares de tomate que fueron promisorios dentro de las estructuras (Figura 58 A y B).

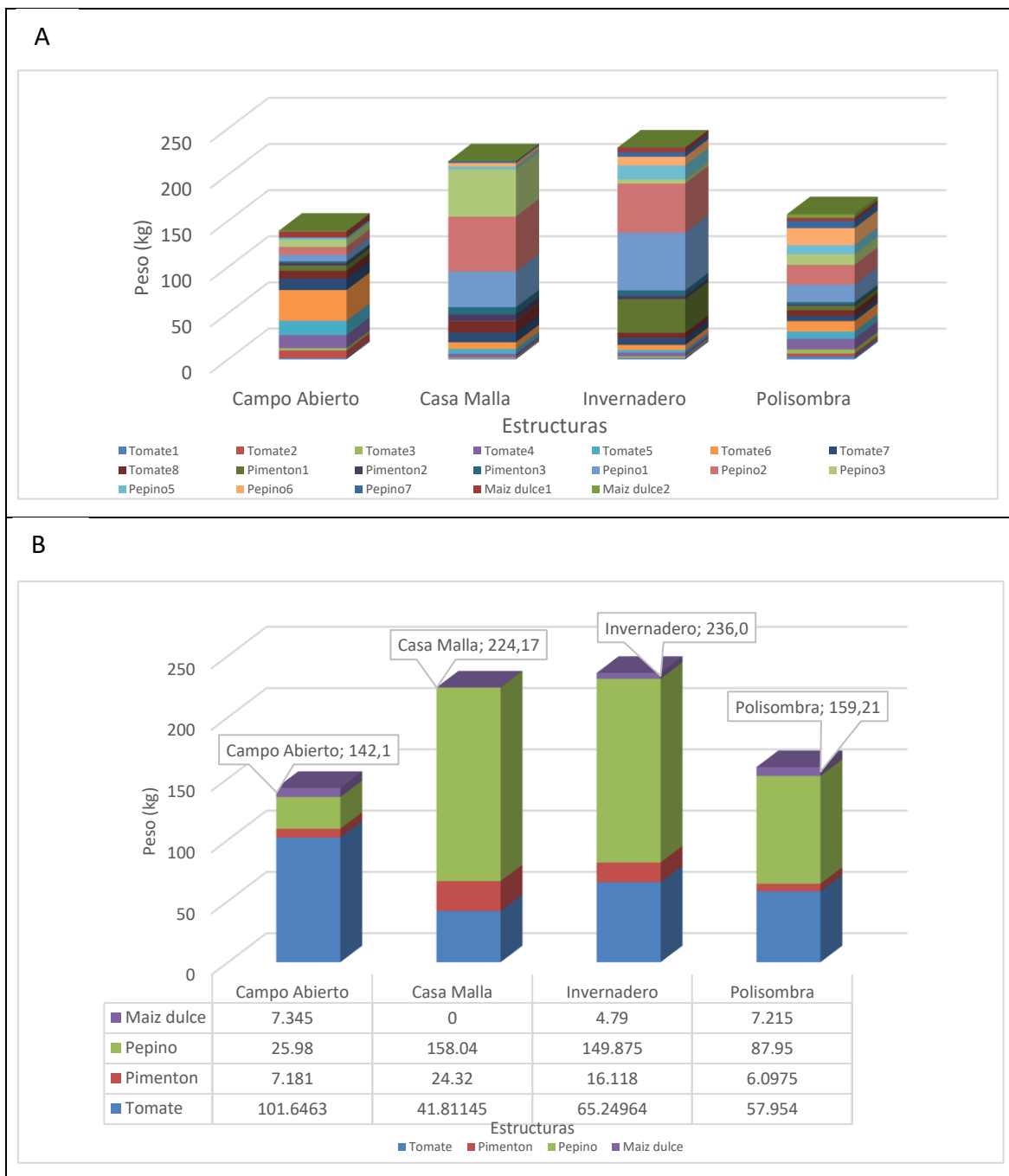


Figura 58. A Y B. Peso (kg) producido en cuatro estructuras de agricultura protegida en 19 cultivares (A) y en cuatro especies (B).

Fuente: Elaboración Propia.

Esta misma tendencia se observó para las especies de porte bajo en el invernadero y polisombra, con valores superior a los 20 y 35 kg, respectivamente. Estos rendimientos fueron diferentes biológicamente comparado con casa malla y campo abierto, lo que

permite inferir que las condiciones de sombreado de la pantalla térmica del invernadero y la cubierta de la estructura de la polisombra pueden ser las condiciones óptimas de radiación para la producción de estas especies (Figura 59 A y B) (Figura 60).

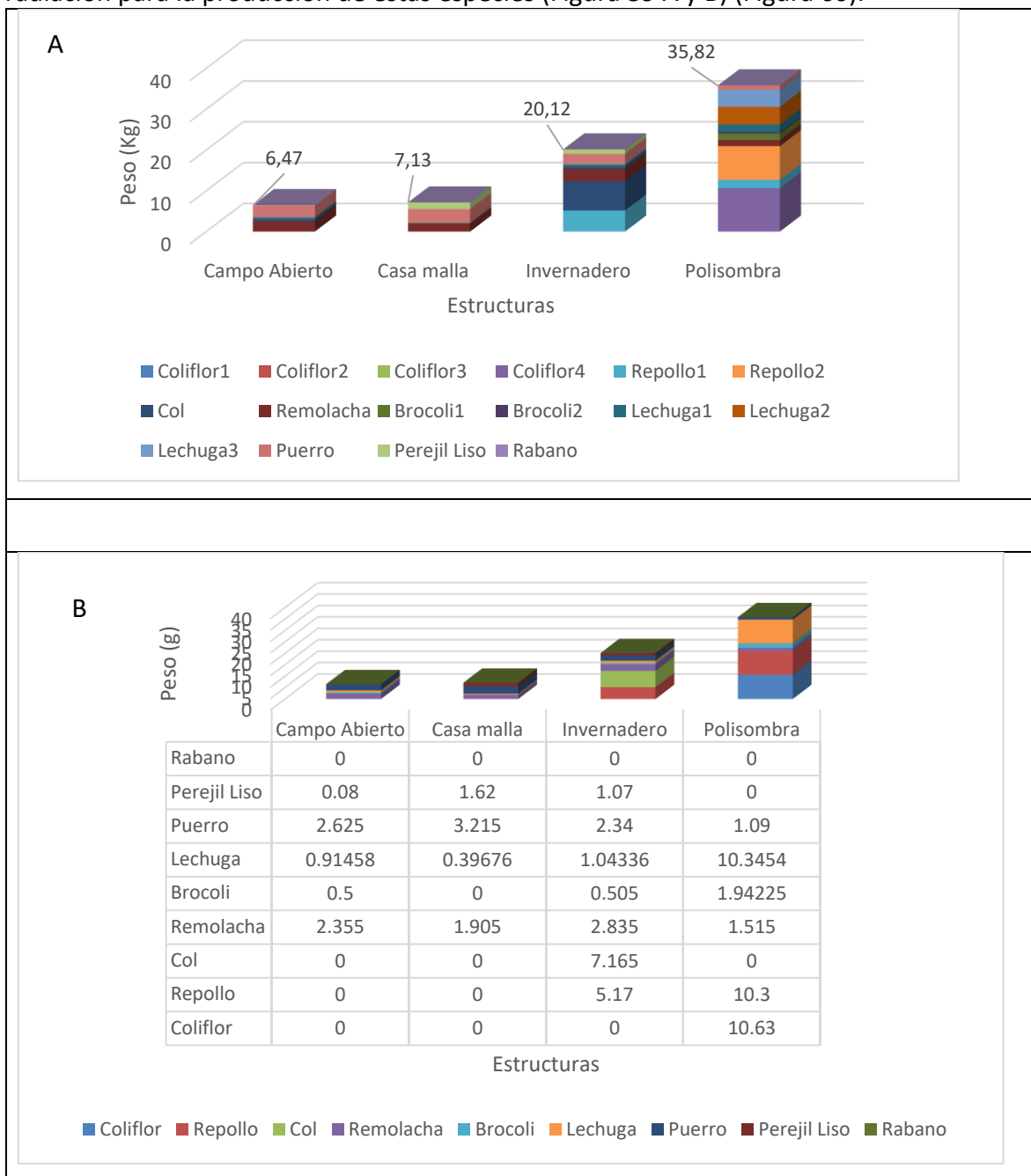


Figura 59. A Y B. Peso (kg) producido en cuatro estructuras de agricultura protegida en 16 cultivares (A) y en nueve especies (B).

Fuente: Elaboración Propia.

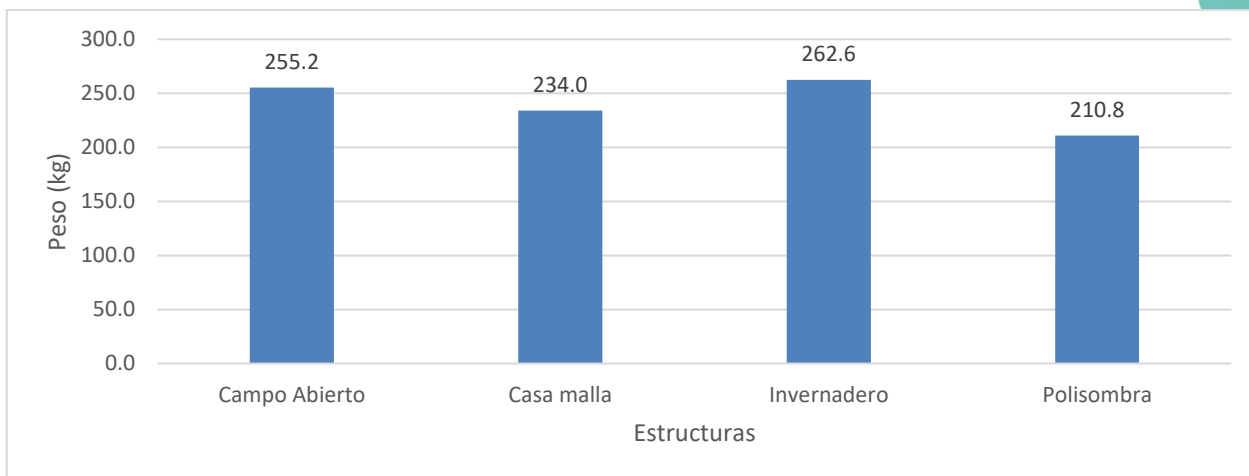


Figura 60. Peso total de especies de hortalizas en las cuatro estructuras de agricultura protegida en dos ciclos de producción.

Fuente: Elaboración Propia.

Insectos plaga en especies hortícolas cultivadas bajo agricultura protegida en la región caribe colombiana

El establecimiento y cultivo de especies hortícolas de interés para la región Caribe colombiana bajo el sistema de agricultura protegida permitió determinar la presencia de diferentes artrópodos que inciden en el desarrollo del cultivo y que pueden afectar la producción y la calidad comercial de la cosecha.

3.3.1.1 Monitoreo fitosanitario de ocho especies hortícolas en tres ambientes – Segundo semestre de 2020B – Experimento 1

En la región caribe colombiana, las moscas blancas (Hemiptera: Aleyrodidae), estuvieron presentes en el 100% de las ocho especies evaluadas, y constituyeron el principal problema fitosanitario (Figura 61)



Figura 61. Mosca blanca en tomate.
Fuente: Elaboración Propia.

También, se registró la presencia de *Diaphania* sp. (Lepidóptera: Crambidae), *Spodóptera* sp. (Lepidóptera: Noctuidae), Minador, *Naopactus* sp. (Coleóptera: Curculionidae) y *Tetranychus* sp. (Acari: Tetranychidae) (Figura 62).

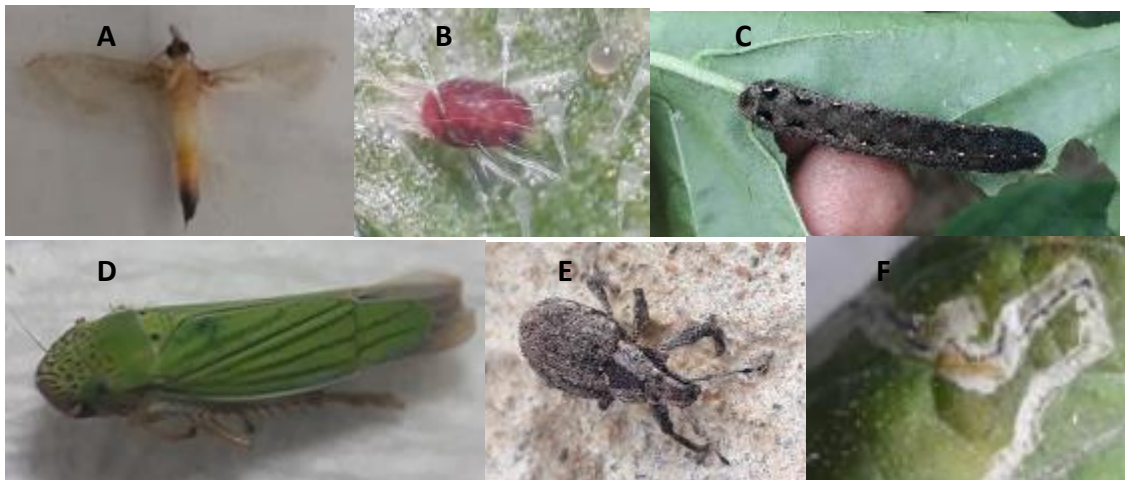


Figura 62. Especies fitófagas en hortalizas en la región caribe colombiana. A. *Diaphania sp.*; B. *Tetranychus sp.*; C. *Spodoptera sp.*; D. Cicadélido; E. *Naupactus sp.*; F. Minador.
Fuente: Elaboración Propia.

Comportamiento de las poblaciones de mosca blanca en el caribe colombiano. Año 2020B temporada de lluvia

En los tres ambientes, las mayores poblaciones de moscas blancas se registraron en tomate, coliflor y pimentón, con un promedio de 4,24, 2,62 y 1,29 mosca por planta respectivamente (Figura 63).

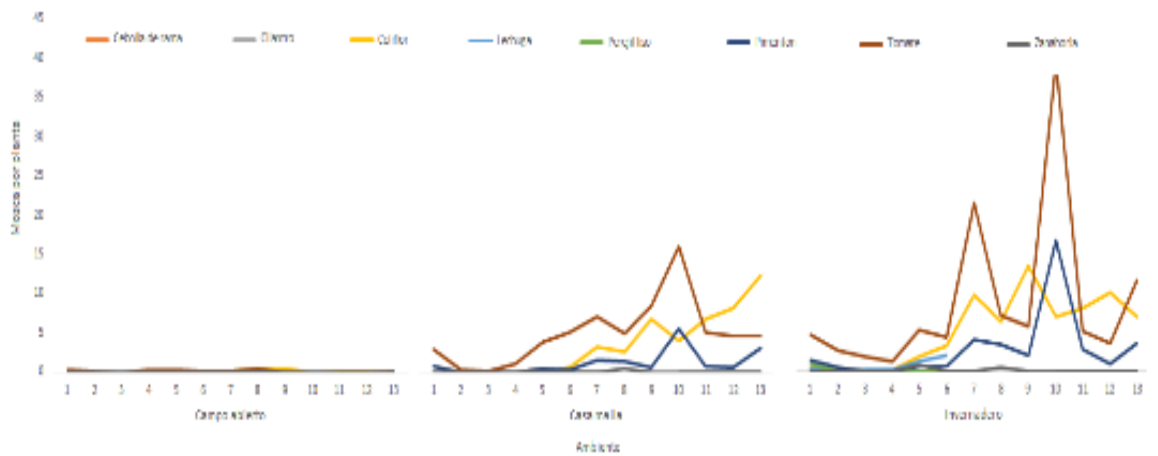


Figura 63. Comportamiento de las poblaciones de mosca blanca 8 especies hortícolas en el caribe colombiano.
Fuente: Elaboración Propia.

En el cultivo de tomate, las poblaciones de mosca blanca presentaron diferencias significativas entre las estructuras, el 26 de octubre (muestreo 7), el 9 y 17 de noviembre

(muestreros 9 y 10) y el 7 de diciembre de 2020 (muestreo 13) (Figura 64, muestreos que corresponden al periodo de fructificación, siendo el invernadero el que presentó las mayores poblaciones en los muestreos 7, 10 y 13, que corresponden a los picos poblacionales más altos durante el ciclo del cultivo; mientras que casa malla tuvo mayor promedio de individuos de esta plaga en el muestreo 9.

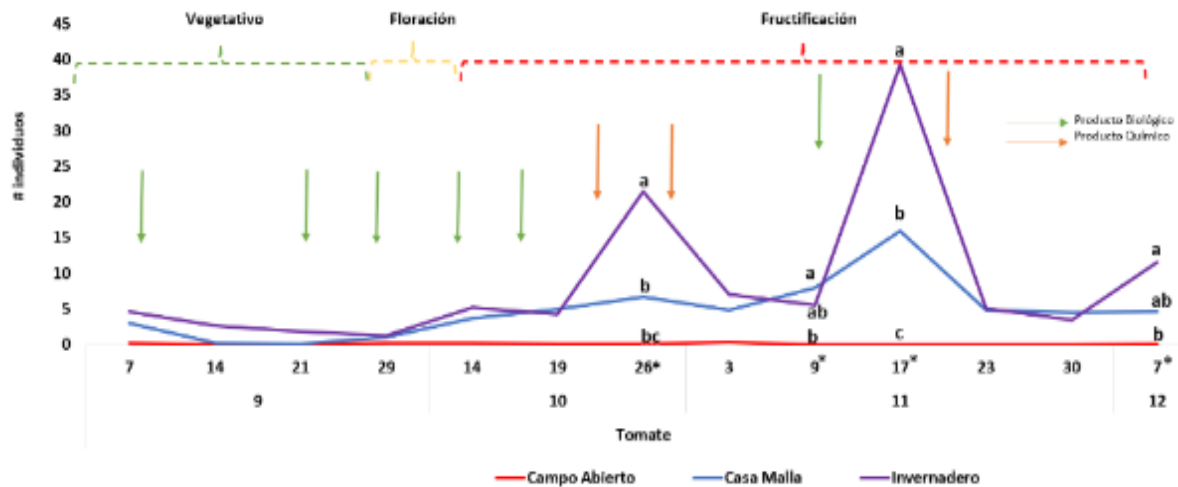


Figura 64. Comportamiento de las poblaciones de mosca blanca durante el ciclo productivo de tomate en estructuras protegidas en el caribe colombiano. Año 2020 – temporada de lluvia.
Fuente: Elaboración Propia.

Evaluación de la densidad acumulada – DA de mosca blanca. Año 2020B

Se encontró diferencias para la densidad acumulada de mosca blanca entre los ambientes evaluados ($p < 0,0001$), encontrándose la mayor población de mosca blanca en invernadero, con una media de $88,78 \text{ mosca día}^{-1}$, sin embargo, según la prueba de Kruskal Wallis no se encontraron diferencias entre las poblaciones existentes en casa de malla e invernadero. En campo abierto el promedio de mosca blanca fue muy bajo.

Según la densidad acumulada de mosca blanca para campo abierto, la especie más afectada fue tomate con una media de densidad acumulada de 7,99, seguida de coliflor con 3,54. En las plantas de Perejil, cilantro y cebolla de rama no se encontraron individuos de mosca blanca, en las demás especies las poblaciones fueron bajas (**Error! Reference source not found.**Figura 65)**Error! Reference source not found.**

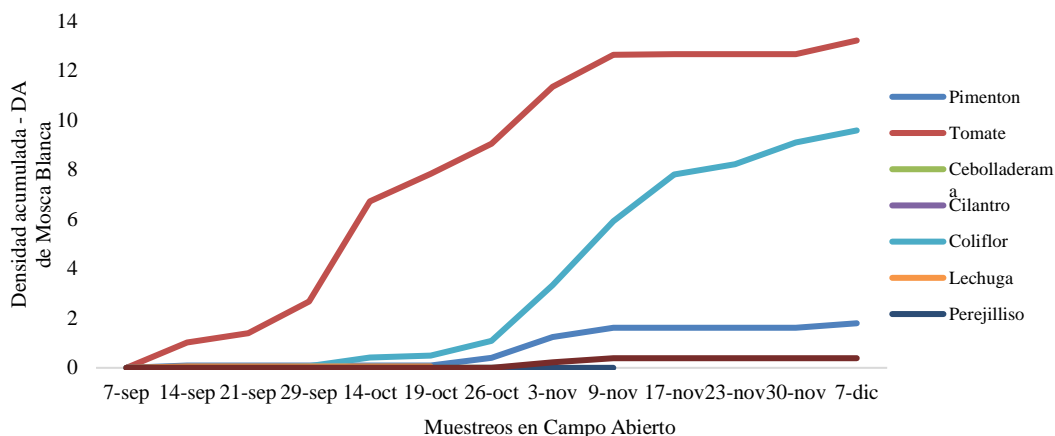


Figura 65. Densidad acumulada de mosca blanca en campo abierto en el caribe colombiano. Año 2020 – temporada de lluvias. Fuente: Elaboración Propia.

Según la densidad acumulada de mosca blanca para casa malla, la especie más afectada fue tomate con una media de densidad acumulada de 165,37, seguida de coliflor con 65,60 y pimentón con 30,96. En las plantas de perejil, cilantro y lechuga la presencia de individuos de mosca blanca fue baja o nula (Figura 66 **Error! Reference source not found.** **Error! Reference source not found.**).

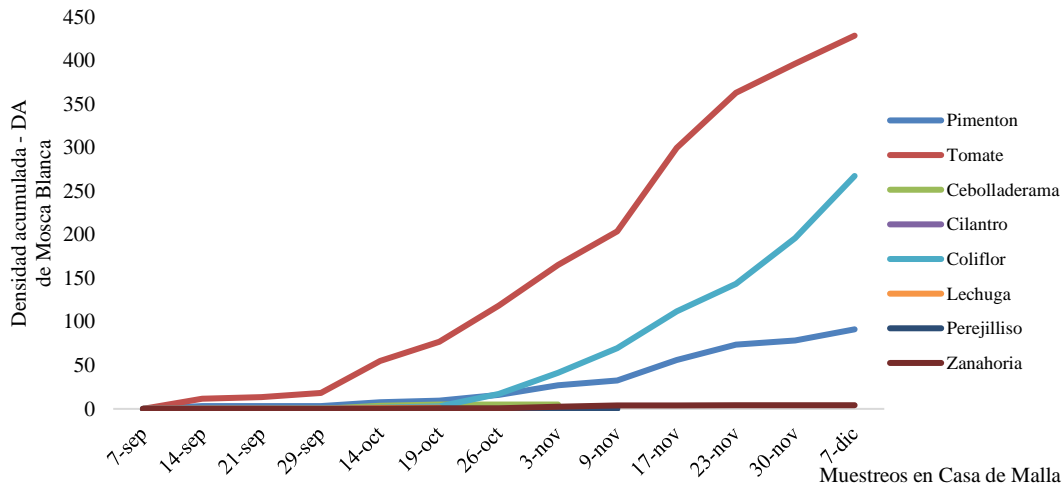


Figura 66. Densidad acumulada de mosca blanca en casa malla en el caribe colombiano. Año 2020 – temporada de lluvias. Fuente: Elaboración Propia.

Según la densidad acumulada de mosca blanca para invernadero, la especie más afectada fue tomate con una media de densidad acumulada de 307,43, seguida de coliflor con 149,07 y pimentón con 82,71. En las plantas de cilantro y cebolla de rama no se encontraron individuos de mosca blanca (Figura 67 **Error! Reference source not found.**).

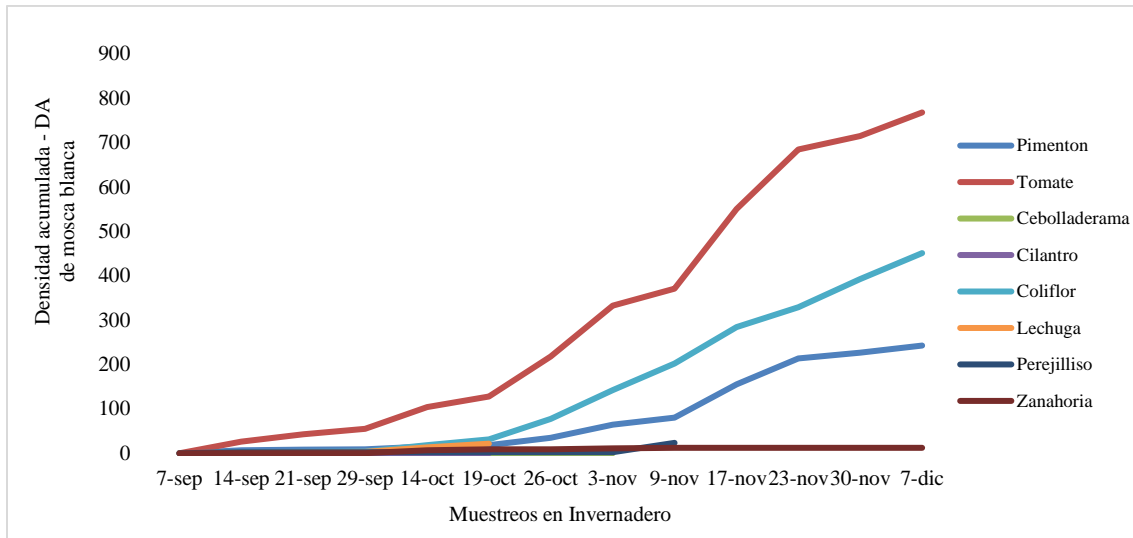


Figura 67. Densidad acumulada de mosca blanca en invernadero en el caribe colombiano. Año 2020 – temporada de lluvias.

Fuente: Elaboración Propia.

Evaluación de la densidad acumulada – DA de *Spodoptera sp.* Año 2020B

Las mayores densidades acumuladas de *Spodoptera sp.* Se presentaron en pimentón y tomate en casa malla (

Figura 68). En invernadero la densidad acumulada fue menor que en casa malla para esta especie plaga, siendo el pimentón la especie con mayor densidad acumulada.

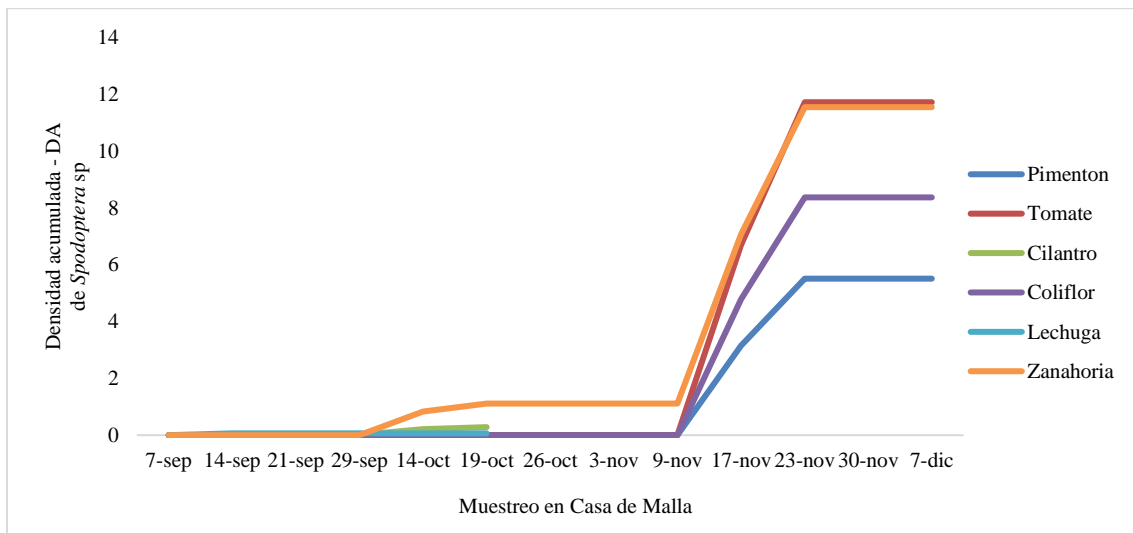


Figura 68. Densidad acumulada de *Spodoptera sp.* En casa malla en el caribe colombiano. Año 2020 – temporada de lluvias.

Fuente: Elaboración Propia.

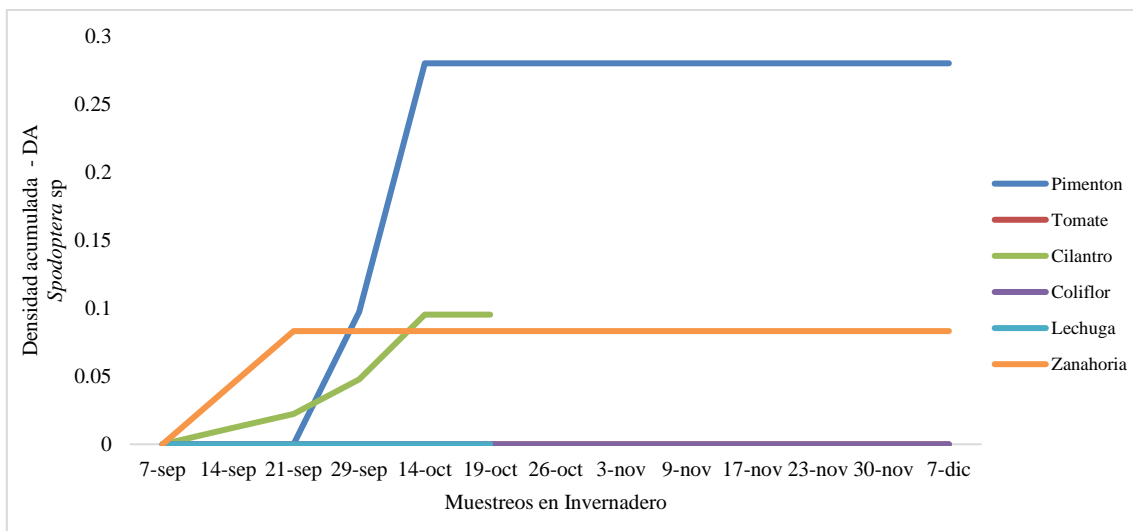


Figura 69. Densidad acumulada de *Spodoptera sp.* En invernadero en el caribe colombiano. Año 2020 – temporada de lluvias
Fuente: Elaboración Propia.

Manejo de insectos plaga en estructuras protegidas. Primer semestre 2021 – temporada de lluvia

Como métodos de prevención y control de mosca blanca y otras plagas se establecieron los cultivos en áreas limpias, para lo cual se destruyeron todos los residuos del cultivo anterior y se eliminó toda la vegetación dentro de las estructuras, además se emplearon cintas largas y anchas con pegante para insectos de colores amarillo, blanco y azul, colocadas en líneas dentro de las estructuras (Figura 70).



Figura 70. Uso de cintas adhesivas de colores para el control de insectos plagas en ambientes protegidos.
Fuente: Elaboración Propia.

También se realizaron diferentes aplicaciones para el control como el Evisect, el Polo, el Regen (Figura 7171)., los cuales mostraron variedad en la eficacia de las combinaciones sugeridas

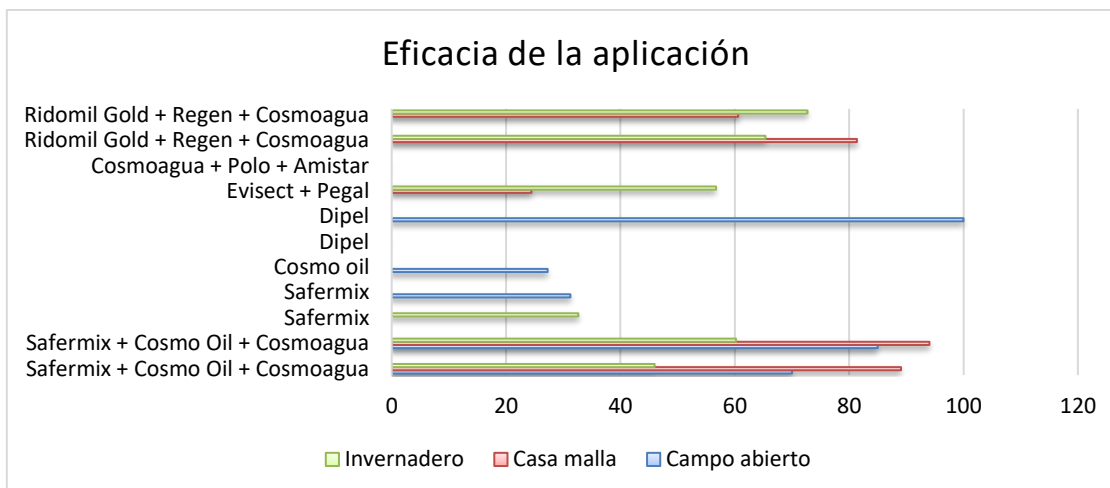


Figura 71. Eficacia en el control de mosca blanca en el caribe colombiano. Año 2020 - temporada de lluvia.

Fuente: Elaboración Propia.

Cultivo de especies hortícolas en cuatro ambientes en el segundo semestre de 2021 - Experimento 2

Las especies de insectos que se encontraron causando daño en el experimento durante el segundo semestre de 2021 fueron: Mosca blanca, larvas de lepidóptera (cogolleros y barrenadores), crisomélido, cicadélidos y minador. En este ciclo de cultivo, la mosca blanca fue la plaga más limitante, con una incidencia del 100% en las especies cultivadas.

Comportamiento de las poblaciones de mosca blanca en el caribe colombiano. Año 2021 - temporada seca

En todos los ambientes evaluados se detectó la presencia de mosca blanca. Las más altas poblaciones de presentaron en casa malla, lo que demuestra que, si en los ambientes protegidos logra ingresar la especie, encuentra un nicho favorable para su desarrollo, por lo que la implementación de medidas de control para evitar el ingreso de la plaga a las estructuras es fundamental para su manejo.

A partir de la quinta semana de seguimiento, las poblaciones de mosca blanca alcanzaron niveles altos en todos los ambientes, los cuales se mantuvieron hasta terminar el ciclo productivo (Figura 72), en los ambientes evaluados.

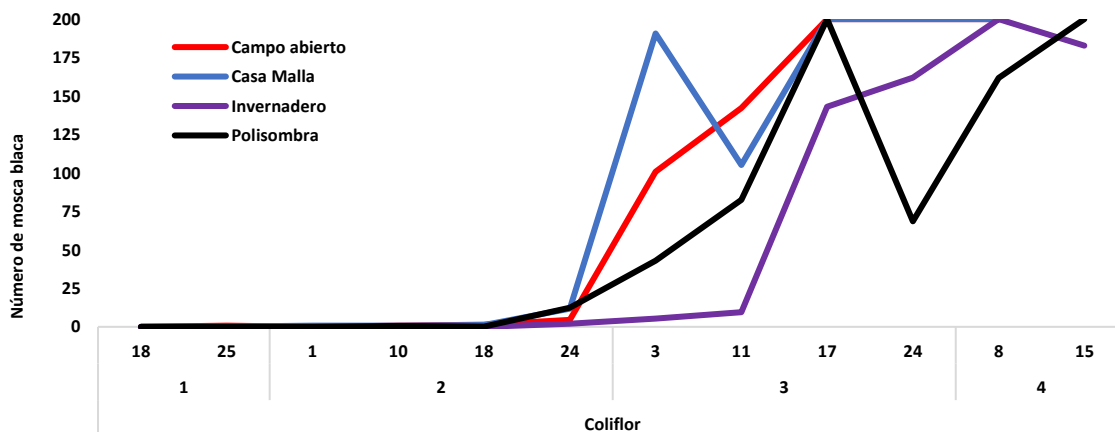


Figura 72. Comportamiento de las poblaciones de mosca blanca durante el ciclo productivo de coliflor en estructuras protegidas en el caribe colombiano. Año 2021 - temporada seca. Fuente: Elaboración Propia.

Al analizar el promedio de individuos de mosca blanca entre los ambientes se encontraron diferencias ($p=0,0117$), encontrándose los mayores promedios de las poblaciones de mosca blanca en casa malla, con una media de 39,79

En los cuatro ambientes, los cultivares más afectados por mosca blanca, según el número promedio de individuos para casa malla y campo abierto fue coliflor, mientras que para casa malla fueron brócoli, calabacín y pepino (

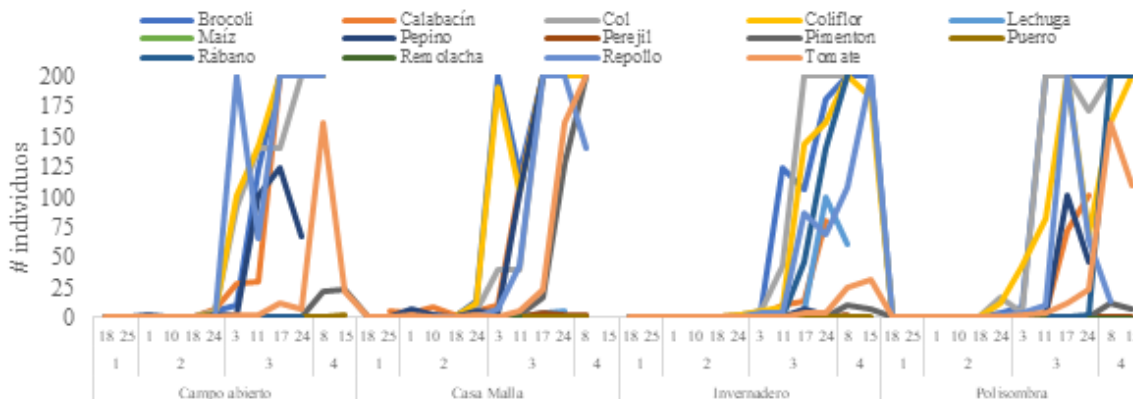


Figura 73 Error! Reference source not found.).

El número promedio de individuos de mosca blanca presentó diferencias significativas entre las especies vegetales en campo abierto ($<0,0001$). Los cultivares más afectados fueron brócoli, col, tomate, coliflor, repollo, calabacín y pepino. Los cultivos de perejil y lechuga no presentaron presencia de mosca blanca.

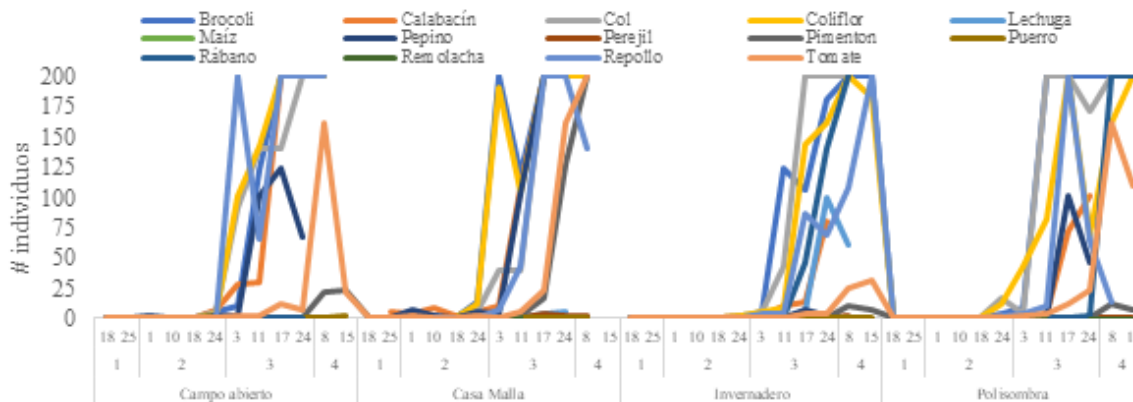


Figura 73. Comportamiento de las poblaciones de mosca blanca en 14 especies hortícolas, cultivadas en cuatro diferentes ambientes en el caribe colombiano.
Fuente: Elaboración Propia.

Para casa malla, se observó un comportamiento parecido a campo abierto respecto al número promedio de individuos de mosca blanca, con diferencias significativas entre las especies vegetales ($<0,0001$), siendo los cultivares más afectados tomate, coliflor, brócoli, pepino y calabacín. **Error! Reference source not found.**

Para invernadero, se observaron diferencias significativas entre las especies vegetales ($p<0,0001$), siendo los cultivares más afectados calabacín, tomate, repollo, brócoli, col, coliflor y rábano

Para polisombra se observó diferencias significativas entre las especies vegetales ($<0,0001$), siendo los cultivares más afectados coliflor, pepino y col

La alta presencia de fumagina estuvo relacionada directamente proporcional con las poblaciones de mosca blanca, principalmente en especies de la familia Brassicaceae).
Figura 74



Figura 74. Afección de plagas en cultivos hortícolas.
A) Adultos de mosca blanca en el envés de una hoja de col y B) Fumagina en hoja de especies de la familia Brassicaceae.
Fuente: Elaboración Propia.

Evaluación de la densidad acumulada – DA de mosca blanca. Año 2021. Primer semestre
La densidad acumulada de mosca blanca en los cultivares evaluados para los cuatros

ambientes comienza a aumentar a partir de los 37 y 44 días de establecidos los cultivos y manteniéndose hasta la cosecha. Presentó un comportamiento similar a lo encontrado para el promedio de individuos de mosca blanca entre los ambientes evaluados, donde se observa en casa malla las mayores densidades acumuladas de mosca blanca. Para campo abierto se observó que col, calabacín, brócoli, repollo, coliflor y pepino, fueron los cultivares con una mayor incidencia acumulada de mosca blanca, diferenciándose estadísticamente ($p=0,001$) de las otras especies evaluadas (Figura 75).

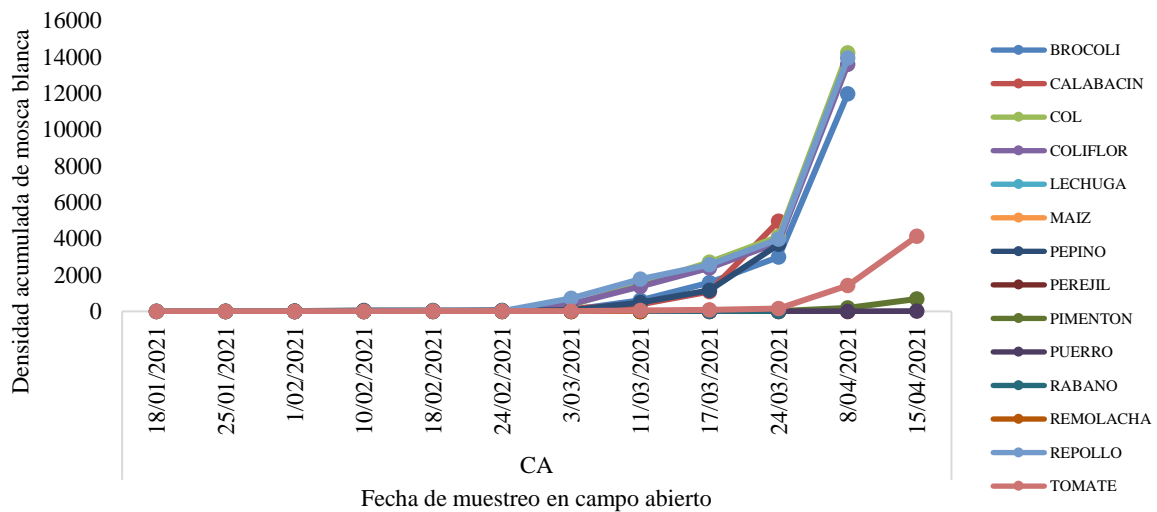


Figura 75. Densidad acumulada de mosca blanca en campo abierto en el caribe colombiano. Año 2021 - temporada seca
Fuente: Elaboración Propia.

En casa malla, se observaron diferencias significativas para la densidad acumulada de mosca blanca entre las especies vegetales evaluadas ($p<0,001$). Las especies con mayor densidad acumulada fueron: brócoli, calabacín y pepino (Figura 76). Los cultivos de maíz, y rábano no presentaron poblaciones de mosca blanca, por lo que la densidad acumulada fue cero.

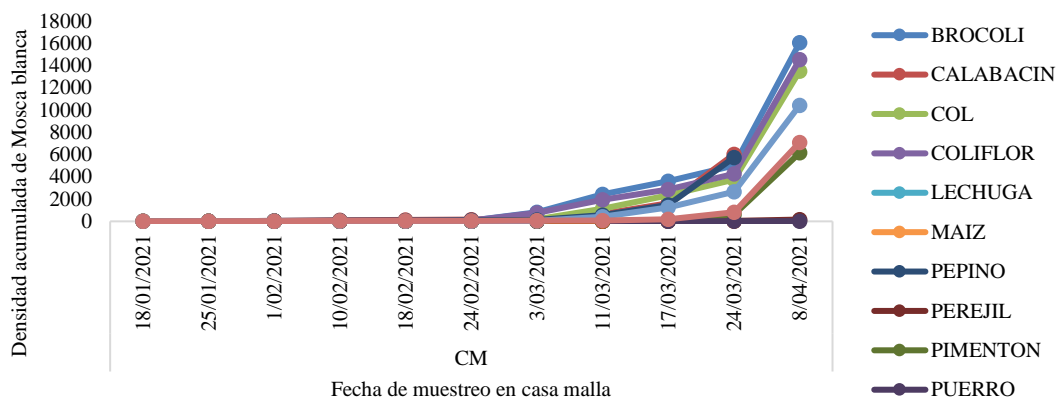




Figura 76. Densidad acumulada de mosca blanca en casa malla en el caribe colombiano. Año 2021 - temporada seca. Fuente: Elaboración Propia.

En invernadero, se observaron diferencias significativas para la densidad acumulada de mosca blanca entre las especies vegetales evaluadas ($p < 0,001$). Las mayores densidades acumuladas de mosca blanca se encontraron en brócoli, coliflor, col y rábano (Figura 77). Los cultivos de maíz, puerro y remolacha no presentaron poblaciones de mosca blanca.

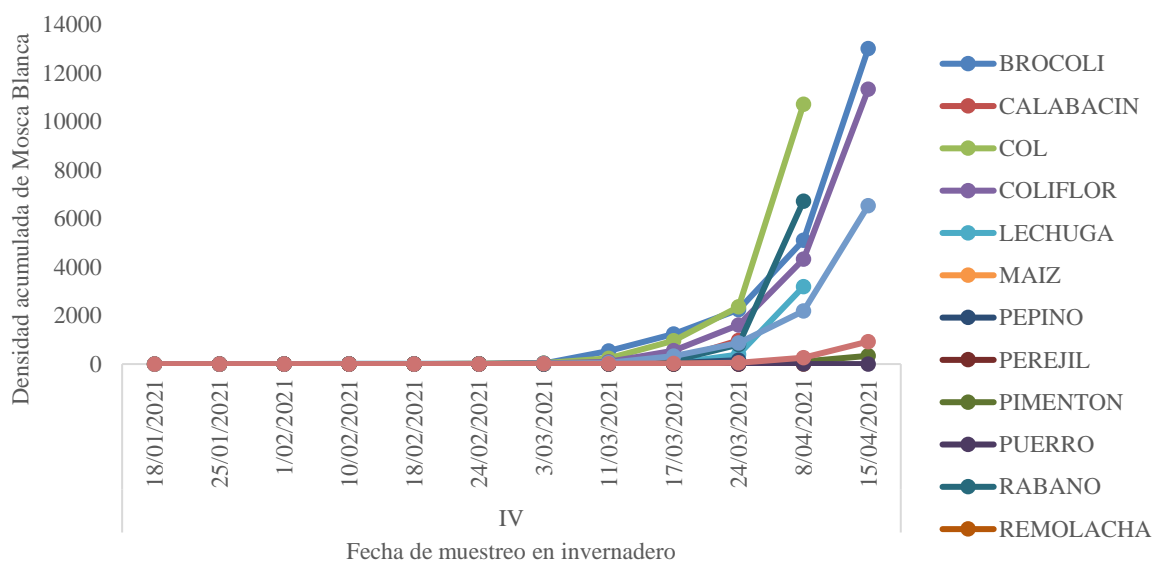


Figura 77. Densidad acumulada de mosca blanca en invernadero en el caribe colombiano. Año 2021 - temporada seca. Fuente: Elaboración Propia.

Para polisombra las mayores densidades acumuladas se observaron en col, tomate, coliflor, pepino, brócoli y calabacín (Figura 78).

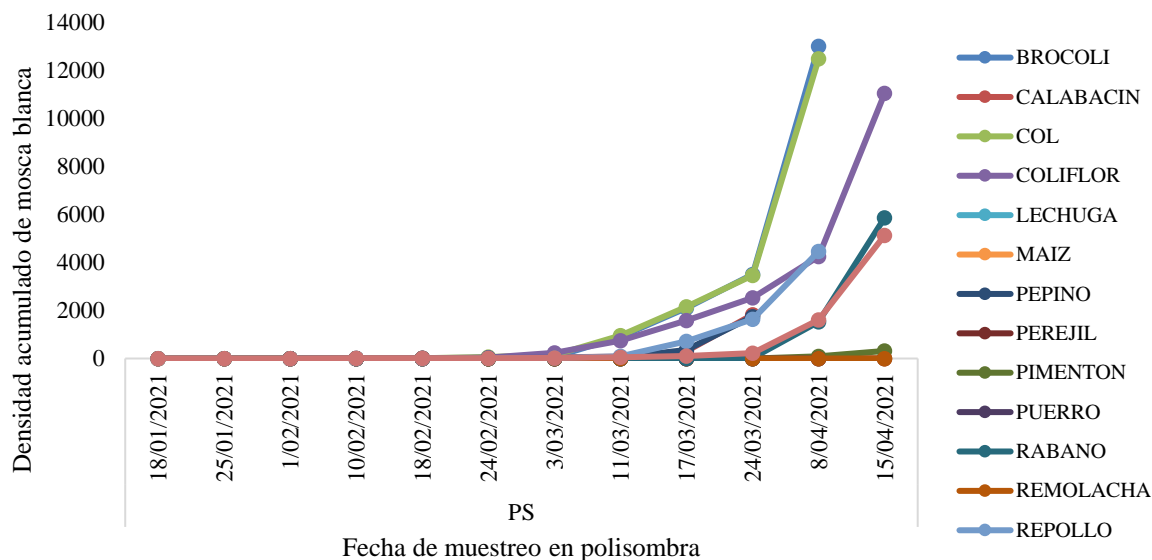


Figura 78. Densidad acumulada de mosca blanca en Polisolombra en el caribe colombiano. Año 2021 - temporada seca.

Fuente: Elaboración Propia.

En conclusión, para los cuatros ambientes, los cultivares de maíz, puerro, remolacha y perejil fueron los de menor densidad acumulada presentada, así mismo, se observó que no hubo afectación por la plaga en algunos de los ambientes para estos cultivares.

Manejo de insectos plaga en estructuras protegidas. Año 2021 - temporada seca

Una vez se detectó la presencia de poblaciones una plaga por encima del umbral de acción, se tomaron medidas de manejo que consistían en la aplicación de productos biológicos a base de hongos entomopatógenos aceites minerales, según correspondía. Cuando estas acciones no fueron suficientes para hacer una reducción significativa de las poblaciones, se procedió a la aplicación de productos químicos, usando diferentes ingredientes activos en rotación, para evitar la aparición de resistencia en las poblaciones.

Cómo medida de monitoreo y trapeo indirecto se instaló en cada uno de los ambientes una trampa de luz (Figura 79), cuyas capturas fueron colectadas diariamente, y dos muestras semanales se llevaron al laboratorio para el conteo e identificación de los especímenes capturados. En estas muestras se detectaron adultos de *Diaphania* sp., insecto plaga en cucurbitáceas, así como insectos de las familias: Cicadellidae, Scolytinae, Dryophthorinae, Gryllidae, Staphylinidae, Coccinellidae, Chrysomelidae, Chrysopidae, Melolonthidae, Crambidae, Noctuidae, Cerambycidae y Syrphidae, entre otros.



Figura 79. Trampa de luz utilizada en cada uno de los ambientes, y adulto de *Diaphania sp.* capturado en una trampa de luz.

Fuente: Elaboración Propia.

Cultivo de especies hortícolas en 4 ambientes en el segundo semestre de 2021 -

Experimento 3

Insectos plaga en hortalizas en la región caribe colombiana. Año 2021 - temporada de lluvias

Durante este ciclo productivo, que correspondió a un periodo lluvioso, los artrópodos que se encontraron causando daño en las tres especies vegetales cultivadas fueron, mosca blanca, ácaro blanco, *Tetranychus sp.*, crisomélidos, pulgón, minador y *Diaphania sp.* Al igual que en los Experimentos anteriores (1 y 2), la plaga con mayor incidencia fue mosca blanca, sin embargo, el ácaro blanco en pimentón causó daños considerables en las plantas afectadas (Figura 80).



Figura 80. Planta de pimentón afectada por ácaro blanco

Fuente: Elaboración Propia.

Comportamiento de las poblaciones de mosca blanca en el caribe colombiano. Año 2021 – temporada de lluvia

Se encontraron diferencias para la densidad acumulada de individuos de mosca blanca entre los ambientes evaluados ($p=0,0368$), encontrándose la mayor incidencia acumulada de mosca blanca en invernadero, con una media de 153,28

Al evaluar las interacciones para la densidad acumulada de moscas blancas por cultivares y ambientes se obtuvo diferencias significativas ($p=0,0001$). El pepino fue la especie vegetal que presentó las mayores poblaciones de mosca blanca durante la mayor parte del ciclo productivo en los cuatro ambientes evaluados, mientras que en el cultivo de pimentón las poblaciones de esta plaga se comportaron de manera diferencial entre los ambientes, siendo más bajas en polisombra e invernadero, posiblemente por el efecto de las precipitaciones

El cultivo de pepino presentó para la media picos poblacionales más altos en campo abierto (31,8 individuos de mosca blanca) y polisombra (40,0 individuos de mosca blanca) (Figura 81).

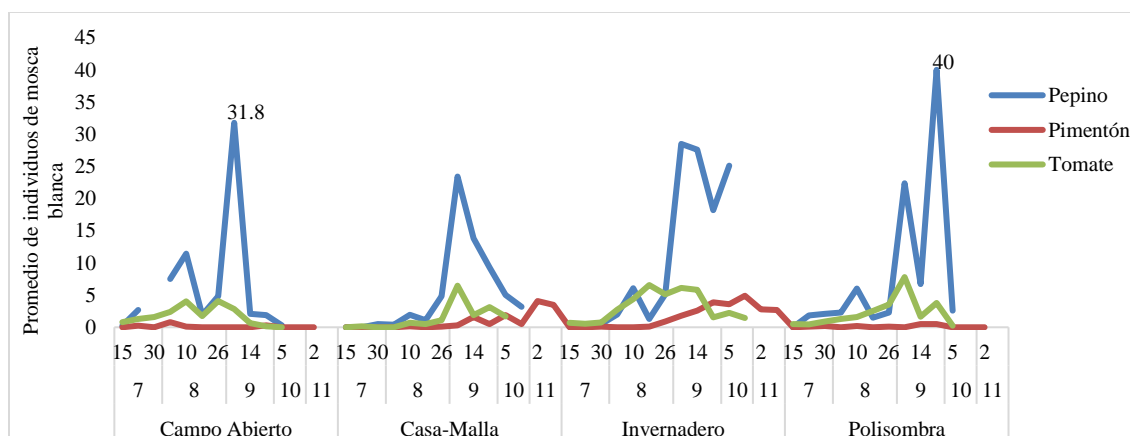


Figura 81. Comportamiento de las poblaciones de mosca blanca en tres especies hortícolas, cultivadas en cuatro diferentes ambientes en el caribe colombiano.

Fuente: Elaboración Propia.

El comportamiento de las poblaciones de mosca blanca en el cultivo de pepino para los diferentes ambientes, comenzaron a incrementar luego de la séptima semana de seguimiento, y alcanzaron el primer pico de crecimiento en la octava semana en todos los ambientes. Polisombra tuvo otro pico poblacional en la semana 10, mientras los otros ambientes no tuvieron un alza tan marcada (Figura 82).

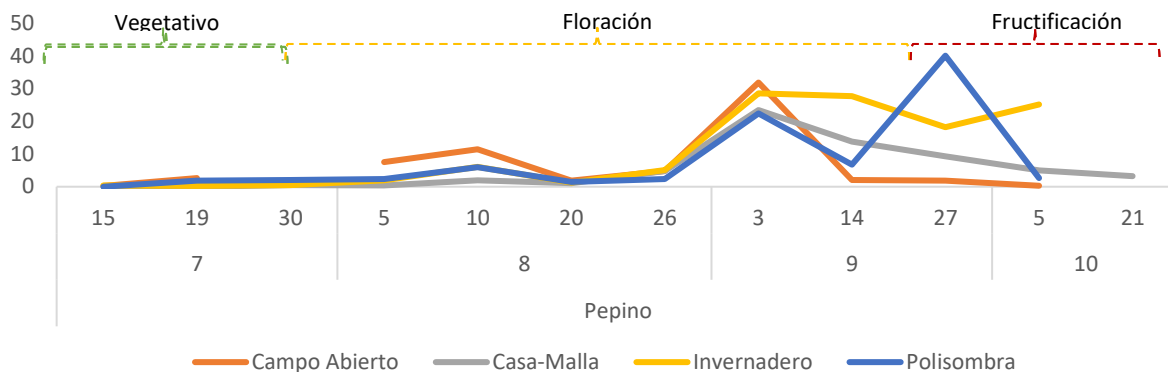


Figura 82. Comportamiento de las poblaciones de mosca blanca durante el ciclo productivo de pepino en cuatro ambientes en el caribe colombiano. Año 2021 - temporada de lluvia. Fuente: Elaboración Propia.

Manejo de insectos plaga en estructuras protegidas. Año 2021 - temporada de lluvia
 Las principales medidas de manejo para los artrópodos plaga encontrados durante este ciclo productivo consistieron en las aplicaciones de productos biológicos, minerales y químicos. Estos métodos de control fueron implementados teniendo en cuenta los resultados del monitoreo semanal de plagas. Para las aplicaciones de productos químicos se usaron diferentes ingredientes activos en rotación, para evitar la aparición de resistencia en las poblaciones de artrópodos. Como medida alternativa para el control de mosca blanca en pepino se realizó una liberación de larvas de *Chrysoperla carnea* (Neuroptera: Chrysopidae), en todos los ambientes.

Enfermedades en hortalizas cultivadas en estructuras protegidas y campo abierto en la región Caribe colombiana

A continuación, se relacionan las principales enfermedades observadas durante los diferentes ciclos de evaluación de las especies hortícolas establecidas bajo invernadero, casa malla, polisombra y campo abierto.

Primer ciclo de evaluación. Segundo semestre de 2020, temporada de lluvias.

Durante la temporada de lluvias (segundo semestre de 2020) en la región Caribe colombiana, Damping off se identificó como la limitante fitosanitaria durante el establecimiento en los cultivos de coliflor, lechuga, perejil, pimentón, tomate y zanahoria (Figura 83). aunque no se evidenció una diferencia significativa entre los ambientes evaluados, los cultivos de pimentón en invernadero y de zanahoria en campo abierto no fueron afectados por Damping off, y entre las especies afectadas, las lechugas exhibieron los menores porcentajes de incidencia.

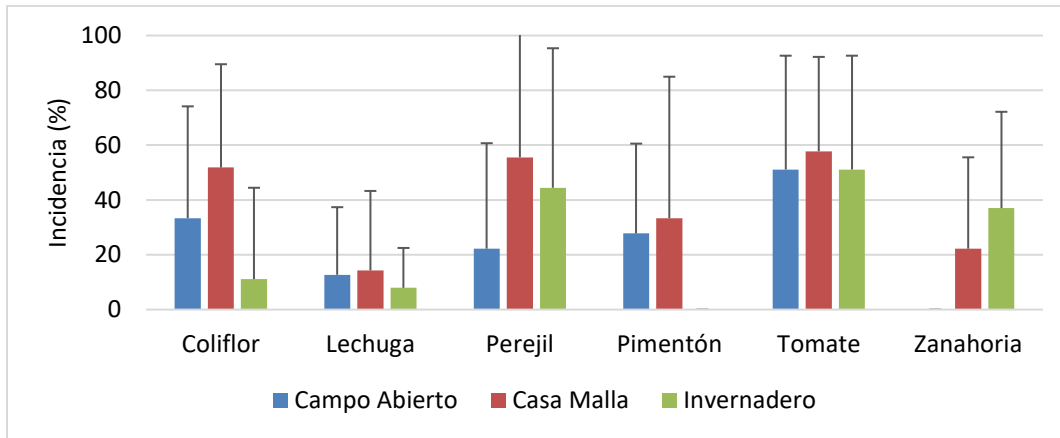


Figura 83. Incidencia de Damping off durante el primer ciclo de evaluación (2020B).
Fuente: Elaboración Propia.

Las pudriciones basales causadas por el hongo *Sclerotium rolfsii* Sacc. se caracterizaron por generar una marchitez total de la planta. Estas pudriciones ocasionaron una coloración marrón húmeda en la base del tallo, donde en las primeras horas de la mañana se observó un micelio blanco algodonoso que creció sobre el área afectada, el cual, posteriormente, dio lugar al desarrollo de estructuras de resistencia llamadas esclerocios.

El agente fitopatógeno *S. rolfsii*, se encontró generando síntomas de pudrición en los cultivos de coliflor (Figura A-B-C), pimentón (Figura 84 D-E) y tomate (Figura G).





Figura 84. Síntomas de pudrición basal causado por *S. rolfsii*. A-C. Presencia de micelio y esclerocios de *S. rolfsii* en coliflor; en pimentón: D-E. Marchitamiento total de plantas; F. Detalle presencia de micelio y esclerocios de *S. rolfsii* en la base del tallo. En tomate: G. Planta con marchitamiento total; H. Detalle presencia de micelio de *S. rolfsii* en la base del tallo; I. Detalle presencia de esclerocios de *S. rolfsii* en la base del tallo.
Fuente: Elaboración Propia.

El patógeno *Choanephora cucurbitarum* (Berk. & Ravenel) Thaxt., se encontró generando síntomas de pudrición foliar en los cultivos de coliflor (Figura 85 A-B-C **Error! Reference source not found.** **Error! Reference source not found.**), lechuga (Figura 85 D-E), cilantro, perejil (Figura 85 F), pimentón, tomate y zanahoria. La pudrición causada por el hongo se caracterizó por generar manchas acuosas y enrollamiento de los márgenes de las hojas más nuevas, el follaje afectado se deterioró rápidamente y adquirió una consistencia seca de color oscuro, sobre la cuales se desarrollaron las estructuras reproductivas del hongo.



Figura 85. Síntomas de pudrición foliar causado por *C. cucurbitarum* en hojas. En coliflor: A) Hojas afectadas; B) Detalle de la afectación foliar; C) Hojas afectadas D) Detalle de la esporulación en lechuga; E) Hoja afectada; F) Detalle de la esporulación. En peregil. Fuente: Elaboración Propia.

C. cucurbitarum, es un hongo que se caracteriza por presentar esporangioforos erectos, hialinos, no ramificados, apicalmente dilatados con esporangiolos indehiscentes, elipsoides, de color marrón a marrón oscuro con estrías longitudinales) (Figura 86).

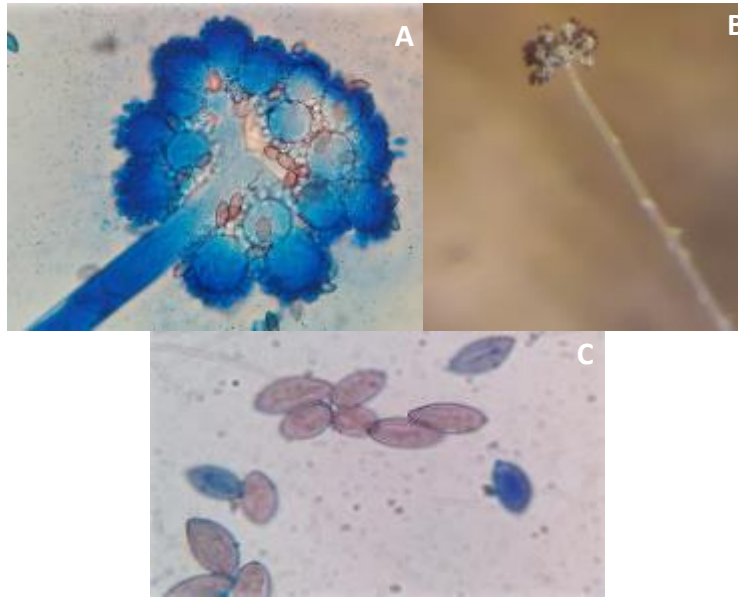


Figura 86. Estructuras reproductivas de *C. cucurbitarum*.
 A-B esporangióforos con esporangiola; C. esporangiolas monosporosas
 Fuente: Elaboración Propia.

Las especies en las que se observó mayor incidencia del patógeno, *C. cucurbitarum*, fueron coliflor y zanahoria, para las que se observó más del 80% de las plantas afectadas entre el séptimo a noveno muestreo. En coliflor, hasta la octava evaluación, el patógeno sólo se observó en los ambientes de casa malla y campo abierto. En zanahoria y coliflor, a partir del noveno muestreo, el patógeno se identificó con mayor incidencia en invernadero. En tomate, pimentón, lechuga, perejil y cilantro, se observó entre el 2,2% al 66,7% de las plantas afectadas entre el quinto y séptimo muestreo. Evaluaciones que coincidieron con los meses de mayor precipitación durante el primer ciclo de evaluación (**Error! Reference source not found.87**).

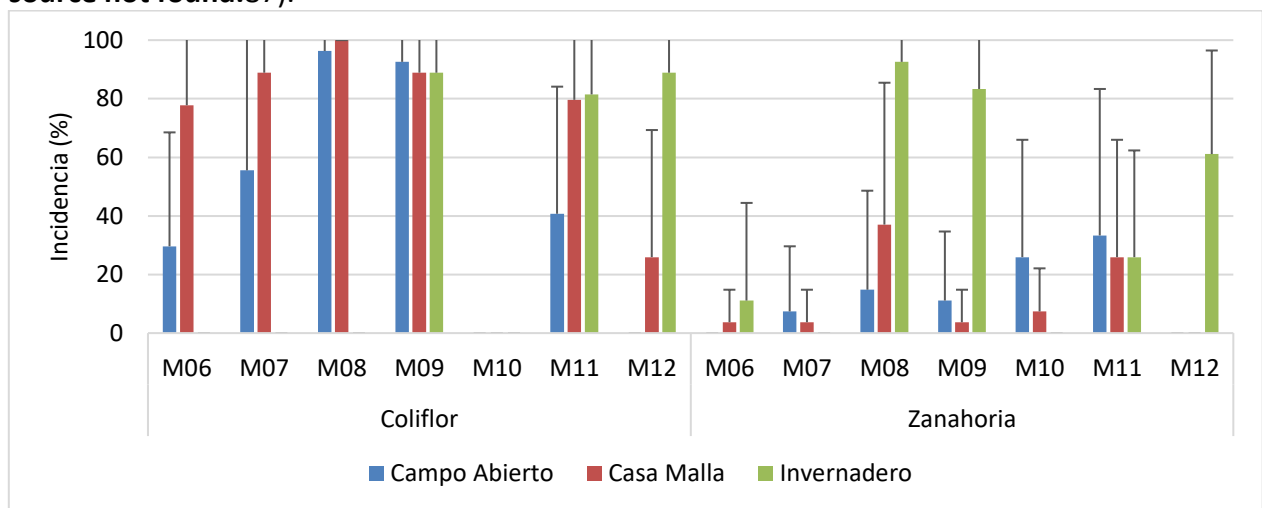


Figura 87. Incidencia de *C. cucurbitarum* durante el primer ciclo de evaluación (2020B).
 Fuente: Elaboración Propia.



Con relación a las enfermedades producidas por virus, se detectaron síntomas como: clorosis intervenal, mosaicos o moteados y amarillamiento de las hojas, y deformación de órganos asociados a etiologías virales en el cultivo del tomate (Figura 88A) y pimentón (Figura 88B), los cuales pudieron haber sido diseminados por insectos de hábito chupador como la mosca blanca.



Figura 88. Síntomas de posibles etiologías virales. A. En tomate; B. En pimentón.

Fuente: Elaboración Propia.

En tomate, los síntomas se observaron a partir del tercer muestreo (Figura 89) y a partir del sexto muestreo, en algunas repeticiones, se encontraron 100% de las plantas afectadas. En pimentón, la mayor incidencia se observó en campo abierto y casa malla a partir del onceavo muestreo.

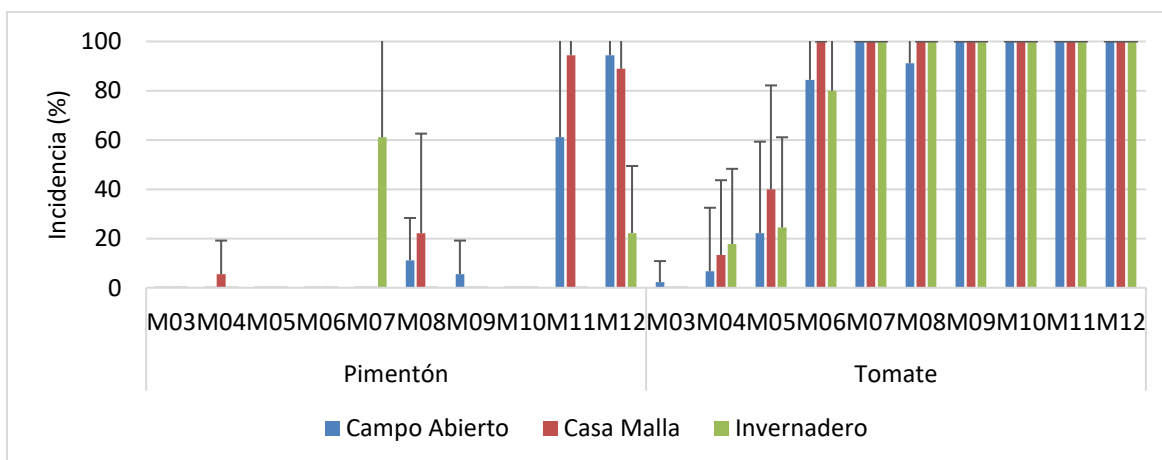


Figura 89. Incidencia de posibles etiologías virales en pimentón y tomate durante el primer ciclo de evaluación (2020B).



Fuente: Elaboración Propia.

En este ciclo de producción se reportó la presencia de fumagina afectando los materiales de pimentón y tomate en la estructura de invernadero principalmente (Figura 90). La enfermedad se observó como el crecimiento de micelio de color negro sobre la superficie de las hojas, tallos, ramas y frutos (**Error! Reference source not found.1**), asociado a las secreciones azucaradas que producían los insectos de hábito chupador como la mosca blanca. La mayor incidencia, superior al 40%, coincidió con los muestreos en los que se identificaron las mayores poblaciones de mosca blanca

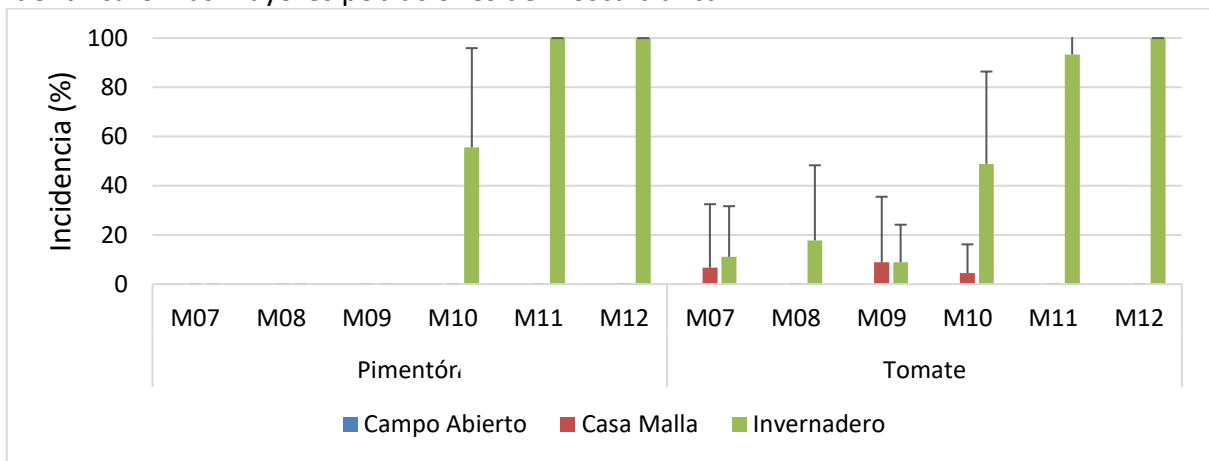


Figura 90. Incidencia de fumagina durante el primer ciclo de evaluación (2020B).

Fuente: Elaboración Propia.



Figura 91. Síntomas de fumagina sobre hojas y frutos. A-B. En pimentón; C-D. En tomate.

Fuente: Elaboración Propia.

Respecto a la enfermedad de origen bacteriano mancha angular (



Figura 92) por *Xanthomonas* sp., se evidenció afectando principalmente a los tomates en los ambientes de campo abierto y casa malla (Figura). La incidencia osciló entre 20% y 100% en algunas repeticiones en casa malla, y hasta el 60% en campo abierto.

En pimentón, se observó un 16,7% de las plantas afectadas en el octavo muestreo, el cual coincidió con el periodo de mayor precipitación durante el primer ciclo de evaluación.



Figura 92. Síntomas de mancha bacteriana.
Fuente: Elaboración Propia.

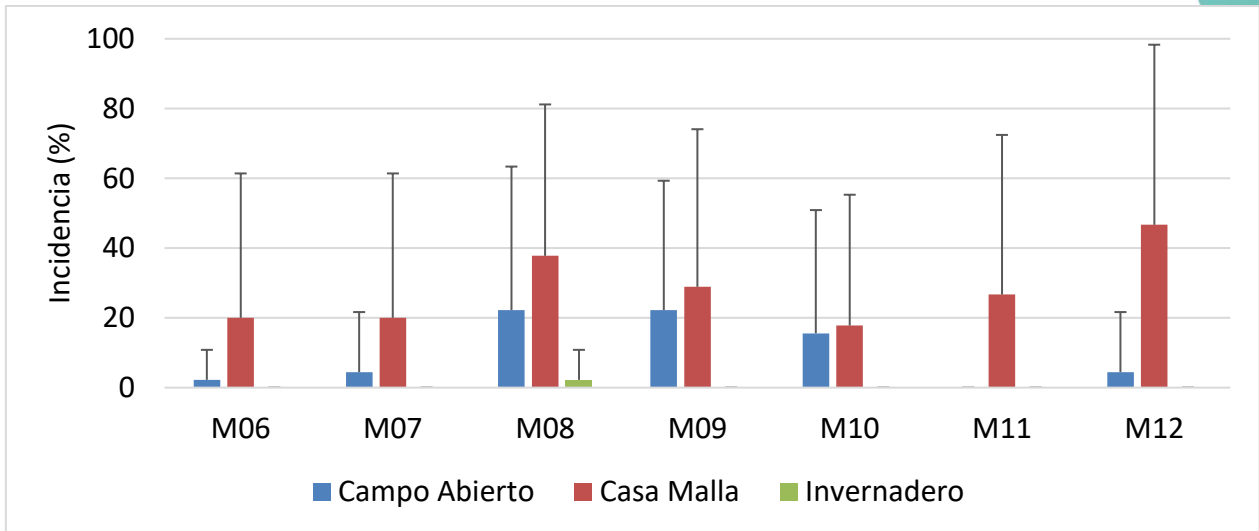


Figura 93. Incidencia de mancha angular en tomate durante el primer ciclo de evaluación (2020B).

Fuente: Elaboración Propia.

El patógeno *Alternaria* spp., se encontró afectando materiales de tomate, cebolla, cilantro y zanahoria. En zanahoria, se observó 3,7% de las plantas afectadas por este microorganismo en el muestreo 11 (fecha o época), sin embargo, la especie más afectada fue tomate sembrado en campo abierto, con incidencias entre el 13% hasta 100 % (Figura). El patógeno *Alternaria solani* Sorauer se evidenció generando manchas irregulares de color marrón con un patrón de anillos concéntricos en las hojas maduras, tallos y frutos del tomate (Figura 5).

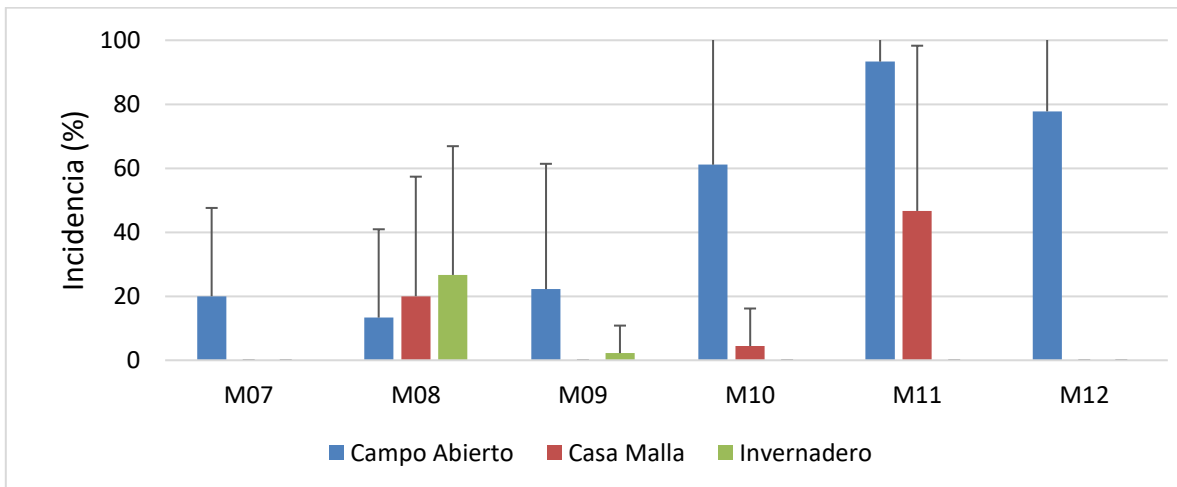


Figura 94. Incidencia de *A. solani* en tomate durante el primer ciclo de evaluación (2020B).

Fuente: Elaboración Propia.





Figura 95. Síntomas del tizón temprano del tomate causado por *A. solani*.

A. En tallo; B. En hojas; C. En fruto.

Fuente: Elaboración Propia.

En cebolla de rama se encontró presencia de síntomas de mancha púrpura de la hoja causada por *Alternaria porri* (Ellis) Cif. (

Figura A). En el área afectada, también se encontraron síntomas diagnósticos de *Stemphylium vesicarium* (Wallr.) E.G. Simmons, agente causal de la quema foliar en *Allium spp.* (

Figura B), con la confirmación en laboratorio de ascos con ascosporas de *Pleospora allii* (Rab.) (

Figura Error! Reference source not found.C), fase conidial teleomórfica de *S. vesicarium* (Cedeño et al., 2003).

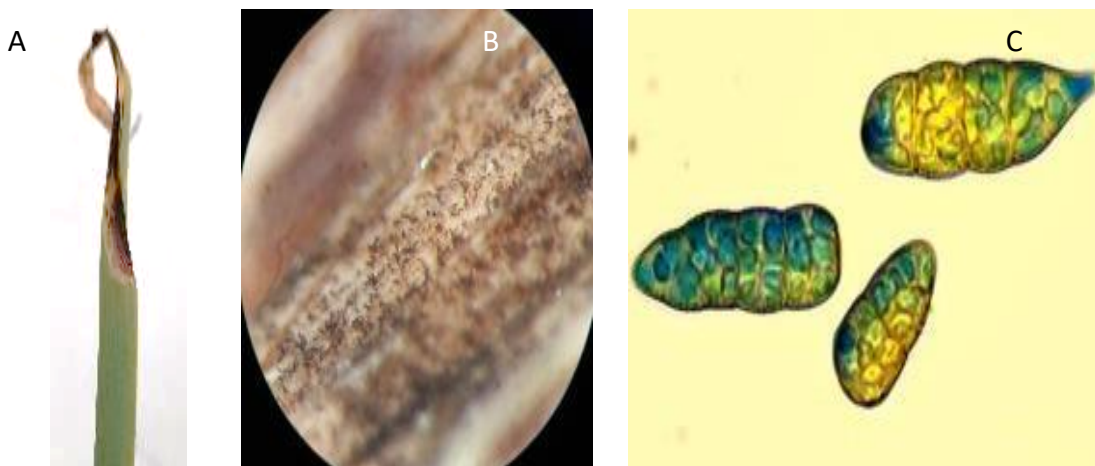


Figura 96 Síntomas de mancha púrpura de la hoja causado por *A. porri* y *S. vesicarium*. Afectación foliar; B y C. Estructuras microscópicas de *S. vesicarium* en tallo de *A. fistulosum*. Fuente: Elaboración Propia.

En cilantro, se encontraron síntomas de mancha foliar del cilantro causado por *Alternaria alternata* (Fr.) Keissl. (Figura). *A. alternata* es considerado un hongo patógeno universal asociado con manchas en las hojas, pudriciones y decoloraciones. Como patógeno del cilantro afecta la calidad fisiológica y sanitaria de la semilla (Sandoval et al., 2006).



Figura 97. Síntomas de la mancha foliar del cilantro causado por *A. alternata*. A) Rama de cilantro con hojas afectadas, B y C) Detalle de la afectación foliar. Fuente: Elaboración Propia.

Enfermedades de menor incidencia. Entre las enfermedades de origen bacteriano, se encontraron las pudriciones asociadas al género *Pectobacterium* sp. afectando cultivos de lechuga (Figura 98 A-B), repollo (Figura 98 C) y zanahoria (Figura 98 D-EError! Reference source not found.), estas pudriciones se caracterizaron generalmente por ser acuosas, blandas y fétidas.





Figura 98. Síntomas de la pudrición acuosa causada por *Pectobacterium sp.*

A-B. Lechuga; C. Repollo; D-E. Zanahoria.

Fuente: Elaboración Propia.

Manejo de enfermedades durante el primer ciclo de evaluación. Segundo semestre de 2020, temporada de lluvias.

Por ser el primer ciclo de evaluación, el manejo y control de enfermedades se concentró en el uso de fungicidas y bactericidas para frenar el desarrollo epidémico de las enfermedades observadas. En los casos de las especies hortícolas afectadas por *C. cucurbitarum*, se indicó la remoción e inmediato embolsado de los órganos afectados con objeto de disminuir la dispersión del patógeno, remoción de residuos de podas y cosecha de los entresurcos y calles, así como, la aplicación fungicidas a base de Benomil, Iprodione, Dicloran, Boscalid, Fludioxonil o Procloraz.

Respecto al manejo de la mancha bacteriana se recomendó la aplicación de Gentamicina + Clorhidrato de oxitetraciclina o Kasugamicina hidrocloreuro hidrato, según disponibilidad y esquema de rotación de las moléculas.

Segundo ciclo de evaluación, Primer semestre de 2021, temporada seca.

Durante el segundo ciclo de evaluación, *A. solani* se observó afectando tomate en campo abierto principalmente (Figura 99), alcanzando el 100% de incidencia al décimo muestreo, lo que coincidió con las precipitaciones más altas durante el ciclo de evaluación.

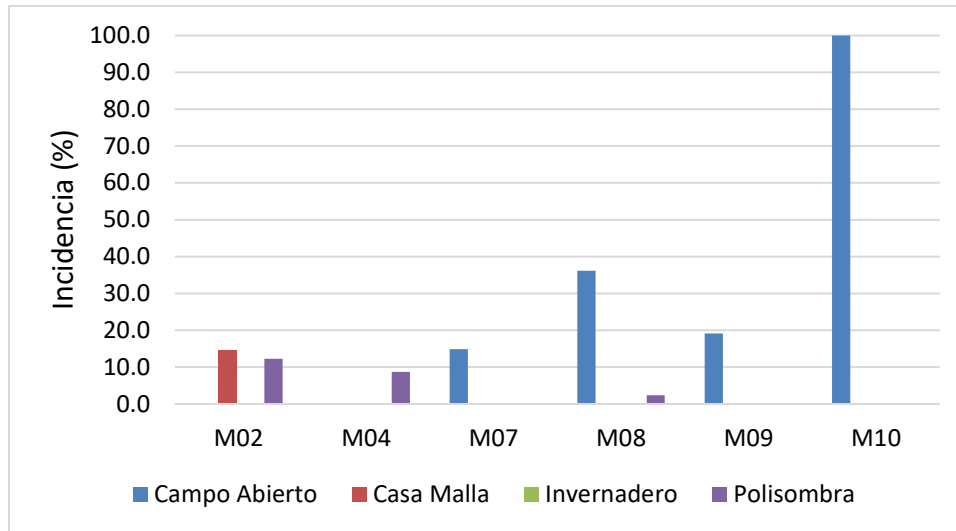


Figura 99. Incidencia de *A. solani* en tomate durante el primer ciclo de evaluación (2020B). Fuente: Elaboración Propia.

Al décimo muestreo, en tomate y pimentón en casa malla, fumagina alcanzó una incidencia del 100%, lo que coincide con las mayores poblaciones de mosca blanca. También fue característico ver el crecimiento del hongo *C. cucurbitarum* sobre las flores senescentes de pimentón (Figura 100 A) y los frutos succulentos de calabacín (Figura 100 B), donde esporuló generando una pudrición húmeda no fétida.

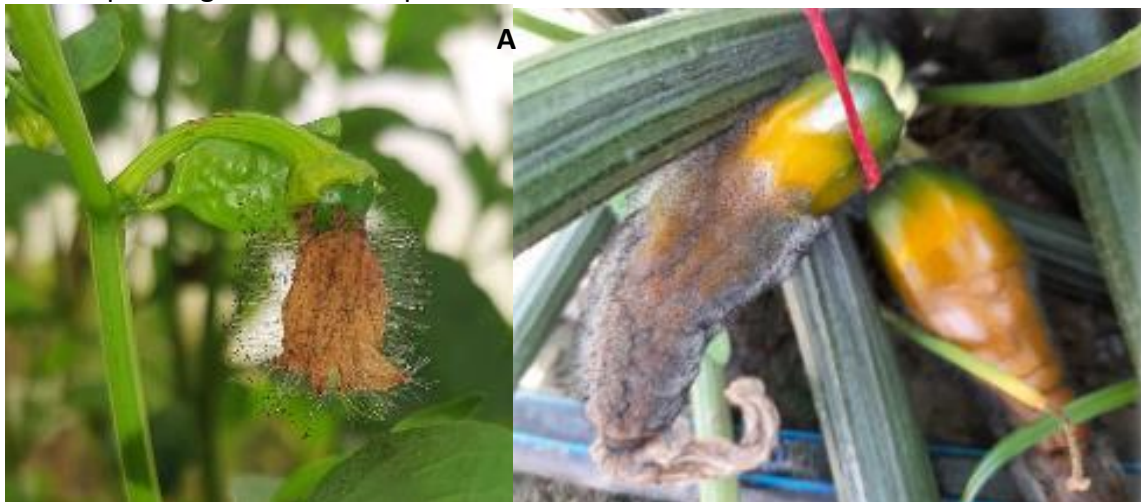


Figura 100. Síntomas de pudrición foliar causado por *C. cucurbitarum* en flores y frutos. A. Síntomas de pudrición de la flor senescente del pimentón; B. Síntomas de pudrición del fruto en calabacín.

Fuente: Elaboración Propia.

Con relación a las enfermedades producidas por cromistas se detectó el mildéu vellosa del calabacín causado por *Pseudoperonospora cubensis* (Berk. & M.A. Curtis) Rostovzev, que se caracterizó por presentar lesiones aceitosas de color amarillo sobre el haz de las hojas, en ocasiones se encontraron restringidas por las venas foliares formando manchas angulares

en las hojas. De acuerdo con la severidad, estas manchas pueden llegar a cubrir el total de la lámina foliar (Figura).



Figura 101. Mildéu Velloso del Zucchini causado por *P. cubensis*.

A. Síntomas sobre tejido foliar; B. Vista al microscopio de *P. cubensis*.

Fuente: Elaboración Propia.

Manejo de enfermedades durante el segundo ciclo de evaluación. Primer semestre de 2021, temporada seca.

Para el manejo de *Alternaria* sp. se recomendó la aplicación según disponibilidad y rotación de las moléculas de: Azoxistrobina + Difenconazole, o Difenconazole + Propiconazol + Mancozeb, o Carbendazim + Mancozeb, o Tebuconazole + Trifloxystrobin.

Tercer ciclo de evaluación. Segundo semestre de 2021, temporada de lluvias.

Durante el tercer ciclo de evaluación, en pimentón Golazo y tomates, se observaron síntomas asociados a los causados por *Alternaria* sp., agente causal del tizón temprano del tomate, en tallos, hojas y frutos **Error! Reference source not found.**

La enfermedad se observó en pimentón bajo polisombra 79 días después de trasplante (ddt) con una incidencia del 30% y sólo un tercio del área de la planta afectada (severidad aproximada del 33,3%), y en campo abierto y casa malla 113 ddt con una incidencia igual o menor al 20%, sin embargo, los tres tercios de las plantas se encontraron afectados (severidad aproximada del 100%).

En tomate Chonto se observaron los síntomas asociados a la patología en casa malla 33 ddt con una incidencia del 30% y sólo un tercio de la planta afectada, entre los 68 y 90 ddt la enfermedad se identificó en todos los ambientes con una incidencia superior al 70%. En casa malla y polisombra, los síntomas se observaron hasta en dos tercios de las plantas (severidad aproximada del 66,6%), en invernadero la enfermedad alcanzó una severidad aproximada del 100%.

En el tomate Cherry entre los 67 y 104 ddt se observaron los síntomas causados por *Alternaria solani*, los ambientes con mayor incidencia casa malla (100%), campo abierto (70%), invernadero (30 a 70%) y polisombra (10 a 30%). En casa malla e invernadero la enfermedad afectó hasta tres tercios de las plantas, en campo abierto y polisombra sólo afecto hasta dos tercios.

La incidencia de patologías causantes de marchitez y muerte de las plantas se presentó en las cuatro especies evaluadas durante el ciclo: pepino (Figura), pimentón Golazo (Figura), tomate Cherry (Figura) y tomate Chonto (Figura). En los ambientes de campo abierto e invernadero fue donde mayor incidencia se observó de las patologías y en polisombra donde menor incidencia se detectó. La especie menos afectada fue pimentón ($\leq 3,2\%$), tomate, Cherry ($< 9,4\%$), tomate Chonto ($\leq 10,2\%$) y pepino ($\leq 10,4\%$).

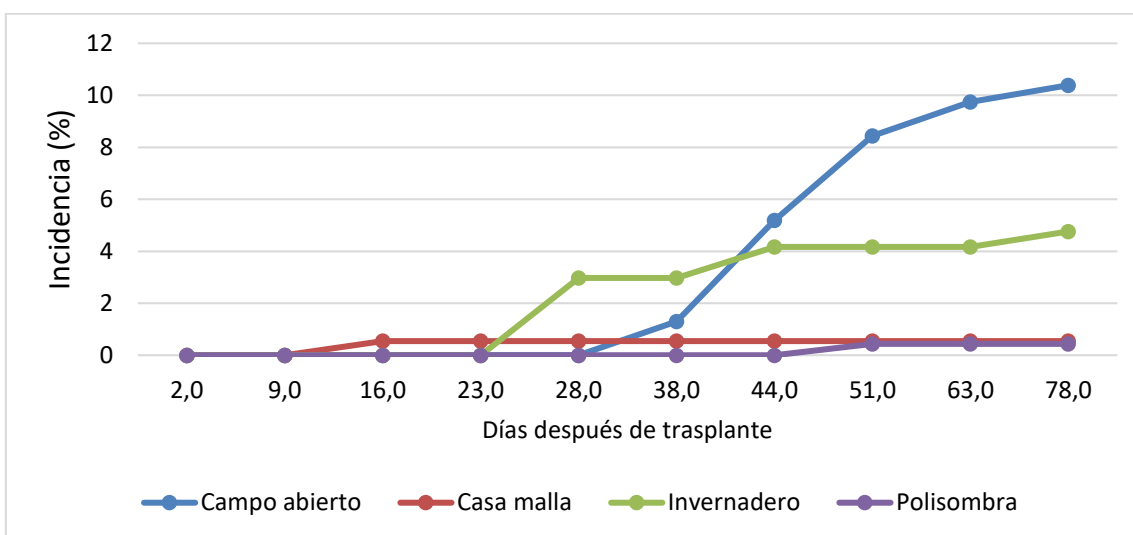


Figura 102. Incidencia de patologías causantes de marchitez y muerte de plantas en pepino (*C. sativus*) durante el tercer ciclo de evaluación (2021B).

Fuente: Elaboración Propia.

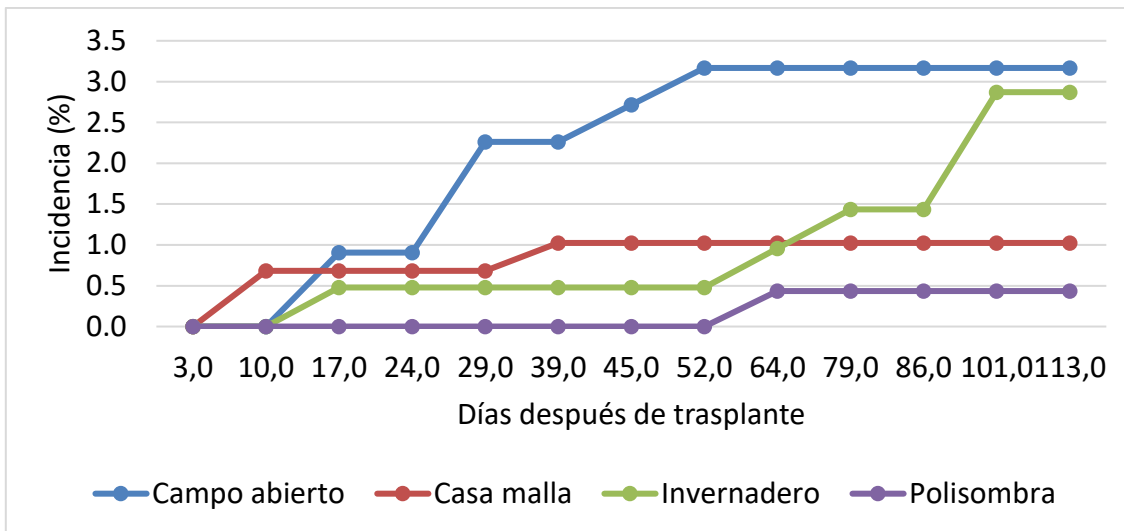


Figura 103. Incidencia de patologías causantes de marchitez y muerte de plantas en pimentón Golazo (*C. annuum*) durante el tercer ciclo de evaluación (2021B). Fuente: Elaboración Propia.

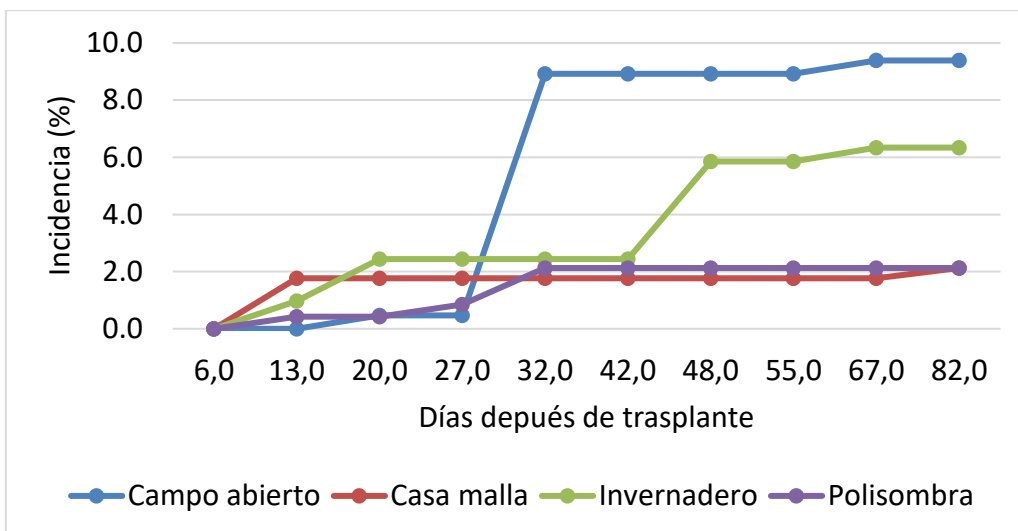


Figura 104. Incidencia de patologías causantes de marchitez y muerte de plantas en tomate Cherry (*S. lycopersicum*) durante el tercer ciclo de evaluación (2021B). Fuente: Elaboración Propia.

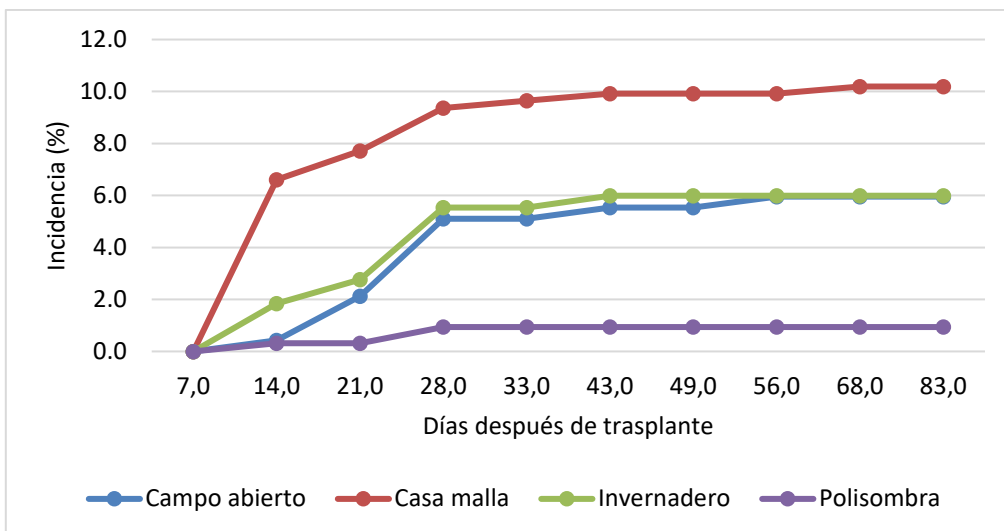


Figura 105. Incidencia de patologías causantes de marchitez y muerte de plantas en tomate Chonto (*S. lycopersicum*) durante el tercer ciclo de evaluación (2021B).
Fuente: Elaboración Propia.

Durante el monitoreo se observó en pimentón y tomates síntomas asociados a mancha bacteriana, en hojas.

La incidencia de patologías presumiblemente virales afectó entre el 60 al 70% al tomate Chonto y tomate, Cherry en campo abierto, invernadero y polisombra, y 100% en casa malla. Las incidencias descritas se observaron 55 ddt en tomate Cherry y 83 ddt en tomate Chonto. En el pepino la incidencia a los 51 ddt osciló entre el 50 al 70%.

La fumagina ocasionada por un complejo de hongos también se evidenció en este ciclo de evaluación afectando los materiales de pepino (*Cucumis sativus* L.) (Figura), pimentón y tomate.

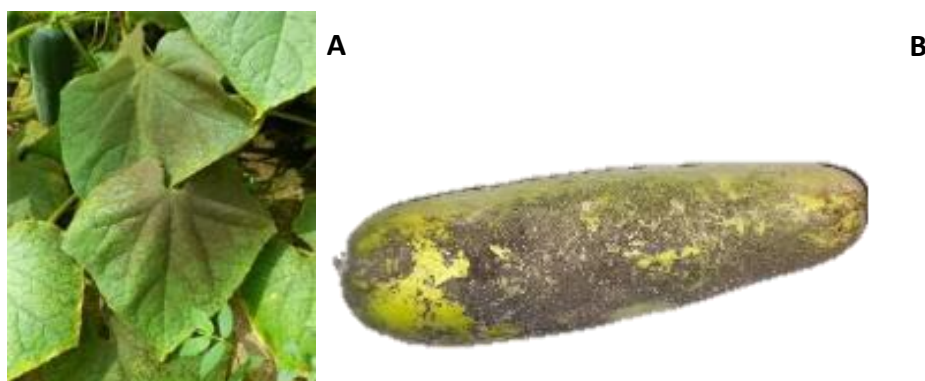


Figura 106. Síntomas de fumagina sobre hojas y fruto.
A-B. En pepino.
Fuente: Elaboración Propia.



Manejo de enfermedades durante el tercer ciclo de evaluación. Segundo semestre de 2021, temporada de lluvias.

Producto del aprendizaje de los ciclos anteriores y con objeto de disminuir la incidencia de enfermedades causadas por patógenos del suelo, así como, enfermedades de alta incidencia y severidad en los ciclos previos, se recomendó la aplicación de productos con *Trichoderma* sp. (con registro de la Organización Nacional de Protección Fitosanitaria – ONPF para hortalizas) al momento de la siembra en los semilleros, 7 y 14 dds, 14 y 7 días antes de trasplante al sitio donde se establecerían las plantas, 0, 7, 14, 21 y 28 ddt.

Para el manejo de *Alternaria* sp. se recomendó la aplicación según disponibilidad y rotación de las moléculas de: Azoxistrobina + Difenconazole, o Difenconazole + Propiconazol + Mancozeb, o Carbendazim + Mancozeb, o Tebuconazole + Trifloxystrobin. En tomate se observó esporádicamente mancha *Cercospora*, para lo que recomendó la aplicación de Clorotalonil. En pepino, durante la floración y formación de frutos, se identificó el daño causado por *Choanephora* sp., para lo que se recomendó la remoción de los órganos afectados embolsando en el sitio la flor o el fruto con objeto de disminuir la dispersión del patógeno.

Respecto al manejo de la mancha bacteriana se recomendó la aplicación de Gentamicina + Clorhidrato de oxitetraciclina o Kasugamicina hidrocloreuro hidrato, según disponibilidad y esquema de rotación de las moléculas. Por otra parte, cuando se observaron patologías que generaron marchitez irreversible de la planta, no se determinó el grado de afectación o severidad puesto que la enfermedad conllevó a la Muerte de la planta.

Analizar financieramente la respuesta de tres especies de hortalizas en cuatro ambientes productivos

Pimentón cultivar Golazo F1

La respuesta del cultivar de pimentón Golazo F1 fue diferencial en los ambientes evaluados; dándose los mejores comportamientos agronómicos en casa malla e invernadero con 4,5 kg m⁻² y 4,2 kg m⁻² respectivamente; mientras que los ambientes de polisombra y campo abierto (testigo absoluto) alcanzaron el 8,9% y 46,7% respectivamente de la productividad obtenida en casa malla. El ciclo productivo en casa malla e invernadero fue 4,5 meses; superior a los registrados en polisombra y campo abierto de 3,1 y 3,4 meses respectivamente. En cuanto a las calidades comerciales del fruto; se registraron altos porcentajes ≥ 97% de frutos calidad 1 en los ambientes de polisombra (99%), invernadero (98,6%) y campo abierto (97%); en comparación con el 86% registrado en casa malla (Tabla 10).

Tabla 10. Parámetros productivos del cultivar de pimentón Golazo F1 en cuatro ambientes productivos. AGROSAVIA -CI Caribia, Magdalena (Colombia), 2021B.

	CAMPO ABIERTO	CASA MALLA	INVERNADERO	POLISOMBRA
Área de producción constante (m ²)	400	600	400	400
Densidad (plantas m ⁻²)	2,5	2,5	2,5	2,5
Productividad por ciclo (kg m ⁻²)	2,1	4,5	4,2	0,4

*Productividad por año (kg año ⁻¹)	2.508	8.028	5.052	420
Productividad por año Calidad 1 (kg·año ⁻¹)	2.433 (97%)	6.904 (86%)	4.980 (98,6%)	417 (99%)
Productividad por año Calidad 2 (kg·año ⁻¹)	75 (3%)	1.124 (14%)	72 (1,4%)	3 (1%)
Duración ciclo (meses)	3,4	4,5	4,5	3,1

*productividad por año estimado en base a tres ciclos anuales

Fuente: elaboración propia.

Tabla 11. Parámetros productivos del cultivar de tomate tipo Cherry Smarty F1 en cuatro ambientes productivos. AGROSAVIA -CI Caribbia, Magdalena (Colombia), 2021B.

	CAMPO ABIERTO	CASA MALLA	INVERNADERO	POLISOMBRA
Área de producción constante (m ²)	400,0	600	400	400
Densidad (plantas m ⁻²)	2,5	2,5	2,5	2,5
Productividad por ciclo (kg m ⁻²)	0,11	0,16	0,92	0,39
*Productividad por año (kg año ⁻¹)	132	291	1.104	468
Productividad por año Calidad 1 (kg año ⁻¹)	114 (86%)	285 (98%)	1.101 (99,6%)	459 (98%)
Productividad por año Calidad 2 (kg año ⁻¹)	18 (14%)	6 (2%)	3 (0,4%)	9 (2%)
**Duración ciclo (meses)	3,0	3,5	3,5	3,0

*productividad por año estimado en base a tres ciclos anuales; **no incluye tiempo de semillero. **Fuente:** elaboración propia

Tabla 12. Parámetros productivos del cultivar de tomate tipo Chonto AG18 F1 en cuatro ambientes productivos. AGROSAVIA - CI Caribbia, Magdalena (Colombia), 2021B.

PARAMETRO	CAMPO ABIERTO	CASA MALLA	INVERNADERO	POLISOMBRA
Área de producción constante (m ²)	400,0	600	400	400
Densidad (plantas m ⁻²)	2,5	2,5	2,5	2,5
Productividad por ciclo (kg m ⁻²)	0,68	0,23	0,63	0,30
*Productividad por año (kg año ⁻¹)	816	414	756	360
Productividad por año Calidad 1 (kg año ⁻¹).	774 (95%)	414 (100%)	621 (82%)	324 (90%)
Productividad por año Calidad 2 (kg año ⁻¹).	42 (5%)	0	135 (18%)	36 (10%)
**Duración ciclo (meses).	3,0	3,5	3,5	3,0

*productividad por año estimado en base a tres ciclos anuales; **no incluye tiempo de semillero. **Fuente:** elaboración propia.

Tabla 13. Parámetros productivos del cultivar de pepino Jaguar F1 en cuatro ambientes productivos. AGROSAVIA -CI Caribbia, Magdalena (Colombia), 2021B.

	CAMPO ABIERTO	CASA MALLA	INVERNADERO	POLISOMBRA
Área de producción constante (m ²)	400,0	600	400	400
Densidad (plantas m ⁻²)	2,5	2,5	2,5	2,5
Productividad por ciclo (kg m ⁻²)	2,3	8,9	4,6	4,0

*Productividad por año (kg año ⁻¹)	2.736	15.930	5.508	4.836
Productividad por año Calidad 1 (kg año ⁻¹)	2.352 (86%)	15.294 (96%)	5.121 (93%)	4.692 (97%)
Productividad por año Calidad 2 (kg año ⁻¹)	384 (14%)	636(4%)	387 (7%)	144 (3%)
**Duración ciclo (meses)	2,9	3,4	3,6	3,4

*productividad por año estimado en base a tres ciclos anuales; **no incluye tiempo de semillero. **Fuente:** elaboración propia.

Tabla 14. Costos, ingresos e indicadores financieros del cultivar de pepino Jaguar F1 en cuatro ambientes productivos. AGROSAVIA -CI Caribia, Magdalena (Colombia), 2021B.

	CAMPO ABIERTO	CASA MALLA	INVERNADERO	POLISOMBRA
1. ¹ COSTOS DE VENTA (COP \$)	4.657.507	14.513.136	12.957.612	4.993.456
Costos variables (COP \$)	4.028.390	7.214.578	4.839.408	3.121.023
Costos fijos (COP \$)	629.117	7.298.558	8.118.204	1.872.433
2. ¹ COSTOS UNITARIOS (COP \$)	1.702	911	2.353	1.033
3. ¹ INGRESOS OPERACIONALES (COP \$)	4.442.064	27.407.130	9.315.117	8.367.564
4. ¹ UTILIDAD BRUTA (COP \$)	-215.443	12.893.994	-3.642.495	3.374.108
5. ¹ MARGEN BRUTO (%)	-4,9	47,0	-39,1	40,3
6. ¹ INVERSION (COP \$)	2.649.272	48.656.819	42.060.687	11.056.214
*Recursos propios (COP \$)	489.262	1.032.318	839.060	569.194
**Crédito bancario (COP \$)	2.160.010	47.624.501	41.221.627	10.487.020
Indicadores financieros				
7. ² VPN (COP \$)	-1.962.558	24.349.255	-44.013.763	7.583.197
8. ² TIR (%)	NC	25,3	NC	31,5
9. ² B/C	0,90	1,42	0,57	1,41

¹calculos año 1 . ²calculos 5 años; uso de IPC proyectado 2021-2025 (Bancolombia, 2021)


*Σinsumos agrícolas + costos fijos año 1. **Σherramientas y ferretería + sistema de riego + infraestructura para ambiente protegido.

VPN: valor presente neto (pesos corrientes); **B/C:** relación beneficio-costos; **TIR:** tasa interna de retorno (valores NC: no calculable, debido a que los flujos de dinero proyectados resultan con valores negativos, por tanto, no se encuentra una solución matemática que satisfaga las condiciones del proyecto para el VPN observado).

Fuente: elaboración propia

Pese a la respuesta agronómica positiva de la producción en ambientes protegidos registrada por los cultivos de pimentón, tomate Cherry y pepino; solamente el cultivo de pepino en casa malla y polisombra registraron indicadores financieros (VPN, TIR y B/C) viables para su recomendación como nueva alternativa productiva para la región Caribe de Colombia (Tabla 14). Esto obedece principalmente a las condiciones comerciales adversas para los agricultores del mercado local y regional.

A nivel nacional el rendimiento promedio de pimentón es de 1,36 kg/m² y para la región Caribe de 1,67 kg/m²; siendo sus máximos registrados de 6,0 kg/m² y 3,6 kg/m² respectivamente (Tabla 15).



La producción de pimentón en campo abierto registro un rendimiento importante de 2,1 kg/m² en relación con los rendimientos en campo abierto en departamentos de tradición productiva en Colombia como Valle de Cauca, Santander, Antioquía y Norte de Santander con rendimientos medios de 1,7 kg/m², 1,3 kg/m², 1,8 kg/m² y 1,5 kg/m² respectivamente (Agronet, 2021). Estudios de evaluación técnica y económica de la producción de híbridos comerciales de pimentón bajo invernadero en Colombia registran rendimientos entre 3,1 kg/m² y 4,8 kg/m² en pimentones rojos y entre 6,8 kg/m² a 7,9 kg/m² en pimentones tipo Gourmet (Monsalve et al., 2011). En este sentido, desde el ámbito agronómico los rendimientos de pimentón obtenidos en el proyecto mediante las tecnologías de casa malla (4,5 kg/m²) e invernadero (4,2 kg/m²) muestran ser una alternativa productiva importante para las condiciones de clima cálido.

En cuando a la evaluación financiera el pimentón Golazo F1 registro una respuesta similar a la encontrada por Monsalve et al. (2011) en híbridos de pimentones rojos bajo condiciones de invernadero en donde los indicadores financieros de tasa interna de retorno (TIR = -18,1) y valor presente neto (VPN = -73.906.343) son negativos y la relación beneficio-costos (B/C = 0,8) fue menor a 1. Un resultado similar es reportado por Singh y Sirohi (2006) en la producción de pimentones de colores bajo invernaderos semi-climatizados donde alcanzaron rendimientos entre 4 y 5 kg/m² pero con viabilidad económica condicionada al tipo de mercado disponible para el productor. Otros estudios sobre evaluación económica en pimentón bajo invernadero muestran B/C= 1,1 (Pozderek et al., 2010) y rentabilidades positivas e incrementos en el indicador B/C cuando se emplea riego por goteo (B/C = 2,12) en relación con el riego manual (B/C = 2,03) (Gunadi et al., 2007).

En pepino rendimiento promedio es de 1,6 kg/m² y para la región Caribe de 5,9 kg/m²; siendo sus máximos registrados de 5,6 kg/m² y 5,9 kg/m² respectivamente. La producción de pepino en los ambientes protegidos (polisombra, invernadero y casa malla) estuvo entre 1,7 y 3,8 veces por encima de la producción a campo abierto; así mismo, casa malla registra rendimientos por encima de los máximos obtenidos en la región Caribe y a nivel nacional (Tabla 15). Estos resultados son próximos a los obtenidos por Monsalve et al. (2011) donde la producción de pepino bajo condiciones de invernadero alcanzaron rendimientos entre 6,0 y 7,9 kg/m² para híbridos tipo cohombro y entre 8,1 a 8,5 kg/m² para híbridos tipo europeo y cuya evaluación financiera arrojó indicadores viables para pepinos europeos (VPN= 9.934.491; TIR = 30,1%; B/C = 1,1) y para pepinos tipo cohombro estos serían financieramente viables en escenarios donde se logre un incremento de al menos un 10% del precio de venta del productor. Otros autores encontraron para pepino producido bajo invernadero relaciones beneficio-costos B/C = 2,56 a partir de rendimientos de 11,9 kg/m² (Mohammadi y Omid, 2010), B/C = 1,53 en base a rendimientos de 32,3 kg/m² (Engindeniz y Gül, 2009) y B/C = 1,4 a partir de rendimientos de 15 kg/m² (Pozderek et al. 2010).

Para el caso de tomates tipo chonto, los rendimientos obtenidos con el híbrido AG18 F1 estuvieron muy por debajo de los rendimientos del promedio nacional y de la región Caribe. En tomate tipo Cherry no se obtuvieron estadísticas oficiales con los cuales comparar; sin embargo, el estudio de Cordoba et al., (2018) reportan rendimientos en condiciones de invernadero para los cultivares Tangerino (híbrido), Tropical Cherry (híbrido) y Red Cherry (variedad) de 1,5 kg/m², 1,0 kg/m² y 0,4 kg/m² respectivamente. En Ecuador se reportan rendimientos de 4,6 kg/m² de tomate tipo Cherry, el cual es al menos cinco veces superior al mejor rendimiento obtenido de 0,92 kg/m² en invernadero (Tabla 16). Los resultados contrastan ampliamente con los reportados por Monsalve et al. (2011) para tomates producidos bajo invernadero con rendimientos de 13,5 kg/m² e indicadores financieramente viables (VPN = 32.166.105; TIR = 40,8; B/C = 1,2) y los obtenidos por Vazquez et al., (2014) donde la producción de tomates en cubiertas plásticas de bajo costo en condiciones de clima



templado húmedo, se lograron rendimientos de 12,9 kg/m² e indicadores financieros viables (VPN= 60.452 pesos MXN, TIR = 19,% y B/C = 1,79).

En Colombia la producción de tomate se concentra principalmente en los departamentos de Boyacá, Antioquía, Santander, Cundinamarca y Norte de Santander, en zonas con climas fríos o templados y empleando estructuras de agricultura protegida de bajo costo (Bojacá et al., 2011; 2009; Agronet, 2021). En estas zonas del país factores como la trayectoria productiva, la amplia oferta de cultivares comerciales, la productividad de los híbridos posicionados y la continua innovación en estructuras de bajo han hecho económicamente viable la implementación de la producción de tomate bajo invernadero; en este sentido algunos estudios indican que la instalación y mantenimiento de estas infraestructuras en tomate representan entre el 13% (Escobar, 2009) y el 32% de los costos totales (CCI, 2006).

Cordoba et al. (2018) señala que el tomate tipo cherry constituye una opción prometedora como hortaliza cultivable en condiciones de invernadero, debido a la capacidad del cultivo de aclimatarse adecuadamente en invernaderos fríos y por los buenos precios de comercialización en el mercado. Adicionalmente la producción intensiva en ambientes protegidos con la implementación estándares de agricultura limpia, le otorgan un valor agregado para la producción de tomate cherry, con ventajas a nivel comercial ante la demanda creciente de este producto en un mercado nacional especializado (García et al., 2004; Hernández, 2013). Así mismo, diversos autores como Márquez et al. (2006); Castellanos (2009) y Garzón (2011) plantean la necesidad de mejorar las condiciones de producción mediante la evaluación de cultivares comerciales en sus atributos rendimiento y cualidades del fruto, y bajo diferentes ambientes protegidos con miras a determinar las mejores interacciones productivas y económicas acordes con los parámetros comerciales de calidad, cantidad y continuidad del mercado. En este sentido, para la región Caribe se priorizó el tomate tipo Cherry para su evaluación bajo condiciones de agricultura protegida en clima cálido, proyectándolo como alternativa productiva a con fines de abastecer los mercados especializados hoteleros y de restaurantes de ciudades turísticas como Santa Marta, Cartagena y Barranquilla.

Tabla 15. Comparación de rendimientos proyecto Fontagro vs rendimientos de referencia nacional e internacional para los cultivos de pimentón, pepino, tomate tipo Cherry y tomate tipo Chonto.

Cultivo	Ambientes proyecto Fontagro (kg/m ²)				Rendimientos de referencia (kg/m ²)				
	A1	A2	A3	A4	Colombia*	R. Caribe*	Máximo R. Caribe*	Máximo Colombia*	Máximo Mundial*
Pimentón	2,1	4,5	4,2	0,4	1,36	1,67	⁽¹⁾ 3,6	⁽²⁾ 6,0	⁽⁶⁾ 28,1
Pepino	2,3	8,8	4,6	4,0	1,6	5,9	⁽³⁾ 5,9	⁽⁴⁾ 5,6	⁽⁶⁾ 70,5
T. Cherry	0,11	0,16	0,92	0,39	SRO	SRO	SRO	SRO	⁽⁷⁾ 4,6
T. Chonto	0,68	0,23	0,63	0,30	3,78	1,77	⁽¹⁾ 13,5	⁽⁵⁾ 18,0	⁽⁸⁾ 50,2

Fuente: elaboración propia.

A1: campo abierto; **A2:** casa malla; **A3:** invernadero; **A4:** polisombra; **SRO:** sin reporte oficial. **R. Caribe:** región Caribe

⁽¹⁾Gonzalez, Cesar; ⁽²⁾Peñol, Antioquía; ⁽³⁾Montería, Córdoba; ⁽⁴⁾Andes, Antioquía; ⁽⁵⁾Puerres, Nariño; ⁽⁶⁾Países Bajos; ⁽⁷⁾Ecuador; ⁽⁸⁾Bélgica

*Datos Agronet, 2021.

**Datos FAO STAT, 2020. ⁽⁷⁾Datos de referencia tomate tipo Cherry Smarty en Ecuador, tomado de

Los márgenes de intermediación para pimentón, pepino, tomate cherry y tomate chonto calidad 1 fueron del 67,5%, 41,9%, 58,1% y 70% respectivamente; mientras que para la calidad 2 fueron del 113,7%, 203,3% y 228,3% en pimentón, pepino y tomate chonto respectivamente (Tabla 16). Los datos muestran que los mejores márgenes de intermediación de la cadena de supermercado la obtienen de las hortalizas de calidad 2, en donde, son pagadas al productor con precios correspondientes entre el 27% y 40% del valor de los productos de calidad 1. De allí, la importancia de integrar en los planes de negocios de proyectos agrícolas estrategias de mercadeo que contribuyan a reducir la intermediación, lograr circuitos cortos de comercialización e instrumentos como agricultura por contrato. Otro aspecto complementario será la evaluación y posterior integración de componentes tecnológicos y de innovación que aporten a la eficiencia técnica y productiva.

Tabla 16. Precios de compra al productor vs precio de venta cadena de supermercado (precio al consumidor final). Primer trimestre, año 2022.

PRODUCTO	Precio productor	Precio venta cadena de supermercado	Margen de intermediación
PEPINO COHOMBRO C1 (kg)	\$ 2.269	\$ 3.800	\$ 1.531 67,5%
PEPINO COHOMBRO C2 (kg)	\$ 930	\$ 1.987	\$ 1.057 113,7%
PIMENTON C1 (kg)	\$ 2.572	\$ 3.650	\$ 1.078 41,9%
PIMENTON C2 (kg)	\$ 989	\$ 3.000	\$ 2.011 203,3%
TOMATE CHERRY C1 (kg)	\$ 9.992	\$ 15.800	\$ 5.808 58,1%
TOMATE CHONTO C1 (kg)	\$ 3.365	\$ 5.720	\$ 2.355 70,0%
TOMATE CHONTO C2 (kg)	\$ 914	\$ 3.000	\$ 2.086 228,2%

C1: calidad 1; C2: calidad 2; P. Anual: promedio anual

Fuente: datos obtenidos de cadena de Supermercado Rapimerca, Santa Marta, Magdalena, Colombia.

Finalmente, se concluye que i) el cultivar de pimentón Golazo F1 mostró superioridad técnica y productiva bajo las condiciones de agricultura protegida de casa malla e invernadero, con rendimientos acordes con las zonas de tradición productiva a nivel nacional. Sin embargo, la evaluación financiera no obtuvo indicadores satisfactorios para su promoción como alternativa productiva. ii) La producción de pepino Jaguar F1 es técnica y económicamente viable en los ambientes productivos de casa malla y polisombra (Tabla 17). iii) Los tomates tipo chonto y cherry arrojaron productividades muy por debajo de los referentes nacionales e indicadores financieros negativos. Para tomate cherry se obtuvo una diferencial de producción importante a favor del ambiente de invernadero y; iv) es necesaria la exploración de nuevos mercados y canales de comercialización que generen mayores ingresos para el productor; así como del complemento de tecnologías y prácticas agronómicas que permitan la máxima expresión del potencial productivo de los cultivares con miras a obtener incrementos en la productividad.

Así mismo, se recomienda i) continuar con la evaluación de genotipos en las especies priorizadas, en varios ciclos productivos con la finalidad de obtener datos más robustos con fines de generar recomendaciones de implementación tecnológica; ii) evaluar la integración de tecnologías como uso de sustratos, cobertores de suelo (*Ground cover*) e hidroponía en la respuesta productiva y financiera de los cultivos de las hortalizas priorizadas bajo condiciones protegidas en clima cálido y

iii) evaluar escenarios financieros donde los costos de inversión de las infraestructuras de agricultura protegida estén amparados bajo las figuras de créditos condonables, donaciones, leasing, en arriendo, etc.

Tabla 17. Costos de producción del sistema productivo Pepino cv. Jaguar en los escenarios con tecnología (casa malla y polisombra) y sin tecnología (Campo abierto). Valores monetarios dados en dólar americano (USD). Colombia, 2022.

Caso Colombia			
Parámetro	Pepino cv Jaguar F1		
	Sin (campo abierto)	Con (Casa malla)	Con (Polisombra)
Tamaño Medio Finca (m2)	400	600	400
Unidad Tamaño Finca	m ²		
Medida Rendimiento	Kg m ⁻²		
Densidad de siembra	2,5 plantas m ⁻²		
Ingresos (Peso colombiano)			
Rendimiento por ciclo (kg·m ⁻²)	2,3	8,9	4,0
Prod Total Finca (kg año ⁻¹)	2.736	15.930	4.836
Prod. Anual Calidad 1 (kg año ⁻¹)	2.352	15.294	4.692
Prod. Anual Calidad 2 (kg año ⁻¹)	384	636	144
Prod. Anual (exporta)	0	0	0
Prod Total Finca	2.736	15.930	4.836
Precio Unit. (nacional \$ kg ⁻¹) Calidad 1	1.759		
Precio Unit. (nacional \$ kg ⁻¹) Calidad 2	794		
Precio Unit. (exporta)	0	0	0
Ingreso (nacional) Calidad 1	\$ 1.006	\$ 6.544	\$ 2.008
Ingreso (nacional) Calidad 2	\$ 74	\$ 123	\$ 28
Ingreso (exporta)	0	0	0
Ingreso Bruto	\$ 1.081	\$ 6.667	\$ 2.035
Egresos (peso colombiano)			
Intérés y cuota anual (prestamo infraestructura e inversión año 1)	\$ 185	\$ 2.797	\$ 616
Mano de obra (Jornales) por año	\$ 634	\$ 1.261	\$ 421
Preparación del terreno	\$ 70	\$ 99	\$ 99
Semillero	\$ 4	\$ 6	\$ 4
Siembra	\$ 16	\$ 23	\$ 16
Monitoreo	\$ 11	\$ 15	\$ 11
Aplicación de agroquímicos	\$ 27	\$ 116	\$ 38
Control de malezas en cultivo	\$ 180	\$ 231	\$ 50
Control perimetral de malezas	\$ 43	\$ 60	\$ 43
Riego y nutrición	\$ 37	\$ 49	\$ 28
Tutorado, podas y deschupone	\$ 97	\$ 371	\$ 52
Cosecha	\$ 68	\$ 157	\$ 64

Erradicación y acarreo de residuos vegetales	\$ 81	\$ 134	\$ 16
Insumos agrícolas	\$ 346	\$ 494	\$ 338
Pesticidas	\$ 90	\$ 125	\$ 83
Herbicidas	\$ 41	\$ 57	\$ 41
Fertilizantes	\$ 89	\$ 126	\$ 89
Surfactantes	\$ 8	\$ 20	\$ 8
Sustratos	\$ 58	\$ 82	\$ 58
Semillas	\$ 60	\$ 84	\$ 60
Costos indirectos de fabricación año 1 (Mantenimientos, servicios, depreciación herramientas y equipo de riego)	\$ 153	\$ 1.775	\$ 455
Ingreso Neto Finca	-\$ 237	\$ 339	\$ 205
% Producción Doméstico	100	100	100
% Producción Exportada	0	0	0

Nota: Tasa de cambio un (1) dólar americano = 4.111 pesos colombianos de acuerdo con cifras oficiales del Banco de la República de Colombia del 13/05/2022.

(<https://www.banrep.gov.co/es/estadisticas/comportamiento-del-mercado-del-dolar-durante-el-dia-informacion-tiempo-real>).

Costa Rica

Se realizaron dos evaluaciones para determinar la interacción de 4 cultivares de chile dulce tipo Bell (pimentón) ambiente, en sistemas de ambiente protegido y campo abierto, tanto en la época seca como lluviosa. El rendimiento obtenido en los módulos de ambiente protegido supero en más de 3 veces el obtenido en campo abierto y se determinó que los invernaderos, aunque son más productivos que las casas de mallas son menos competitivas, debido a que su valor es tres veces mayor. Para transferir la tecnología desarrollada en el proyecto, se implementaron 5 vitrinas tecnológicas de casas de mallas y tres con coberturas de túneles en fincas de asociaciones principalmente de productoras, las cuales fueron visitadas por más 600 personas.

Para evaluar la interacción del clima con el cultivo de chile dulce tipo Bell (pimentón), se realizaron dos evaluaciones en el año 2021, para estimar las variaciones ambientales durante todo el año y la respuesta productiva del cultivo según la época. La investigación se realizó en la Estación Experimental Enrique Jiménez Núñez del Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria (INTA), ubicada en Cañas, Guanacaste, (E00411952 y N00258587). Durante el periodo de diciembre del 2019 a diciembre del 2020. El sitio, según la clasificación de Holdridge posee una temperatura promedio de 28° C, una precipitación promedio de 1600 mm y se encuentra a 14 msnm, dentro de la zona de vida Bosque Tropical Seco.

En ambos ensayos los tratamientos fueron dispuestos en un diseño de bloques completos al azar, con un arreglo de parcelas divididas (DPD) con tres repeticiones. El factor A estuvo determinado por el sistema productivo y el factor B (subparcelas) se le asignó los cuatro cultivares de chile dulce tipo Bell.

En la época lluviosa se evaluó el rendimiento productivo, índice de área foliar y se realizó un análisis económico en tres sistemas productivos (casa de malla de 5 m, casa de malla de 3 m y campo abierto). En la época seca se evaluaron las mismas variables de la época lluviosa incluyendo la eficiencia del uso del agua y se contó con un tratamiento adicional que fue un invernadero.

Rendimiento productivo por época de siembra

Rendimiento en la época seca

Según las normas de calidad para exportar a los Estados Unidos de Norteamérica (Figura 108), el chile dulce tipo Bell se puede clasificar en grande y mediano, dependiendo de las dimensiones de ancho y largo de la fruta (Ver apartado Calidad). Bajo estos parámetros en el invernadero se obtuvo el mayor rendimiento por hectárea de fruto grandes y medianos con valores de 1977 y 24 563 kg respectivamente (Fig. 108).

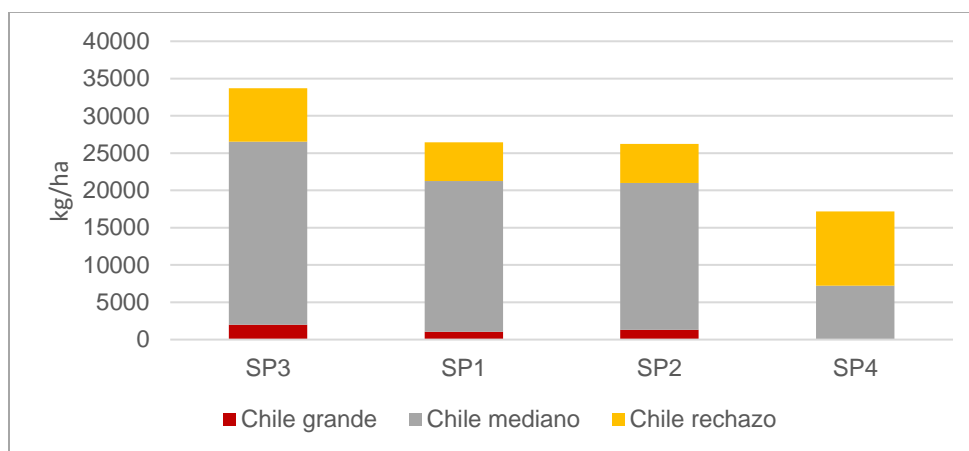


Figura 107 . Rendimiento productivo en la época seca (kg/ha) de frutos comerciales y de rechazo por hectárea en cuatro sistemas productivos: Casa de malla de 5 m (SP1), Casa de malla de 3 m (SP2), Invernadero (SP3) y Campo abierto (SP4). (E.E.E.J.N., Cañas, Guanacaste).

Fuente: Ramírez 2021.

Rendimiento en la época lluviosa

Se determinó el rendimiento productivo obtenido en la época lluviosa a cada uno de los cultivares por hectárea y se realizó el mismo cálculo por cada uno de los sistemas productivos que participaron en la prueba (casa de malla de 5 m, casa de malla de 3 m y campo abierto) (Figura 109).

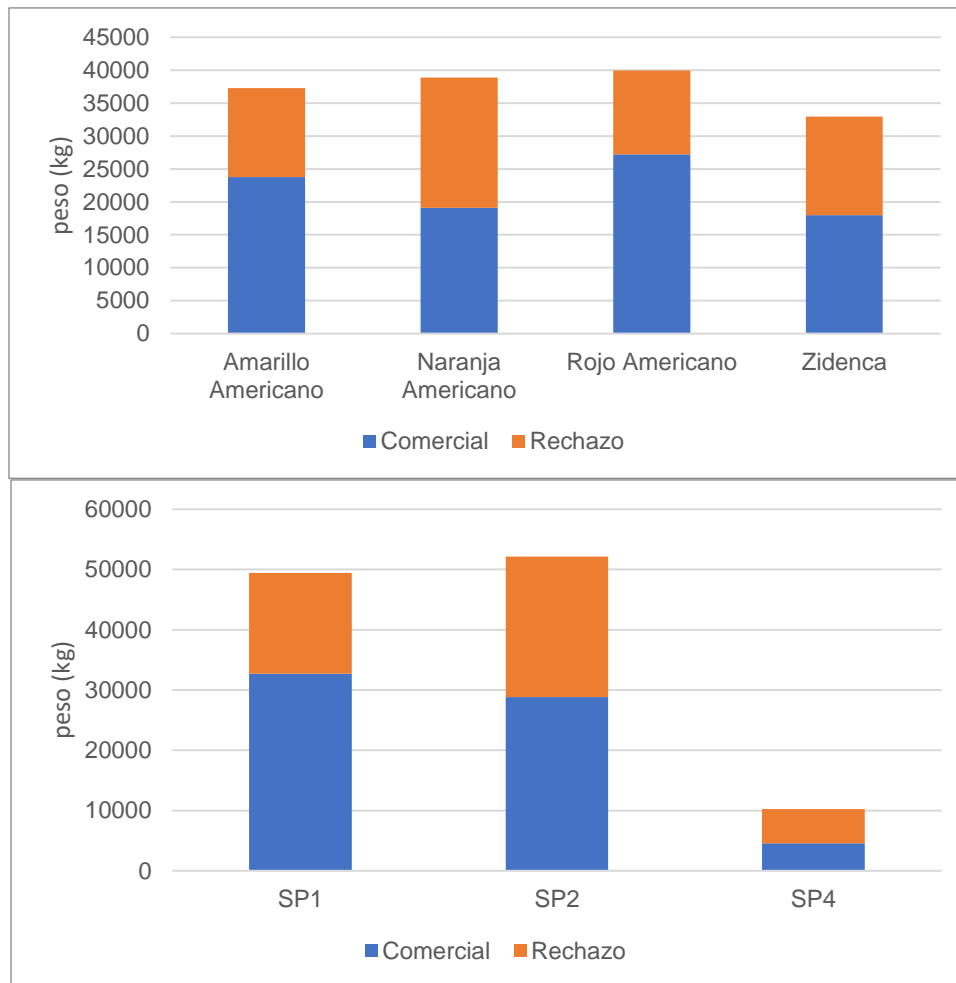


Figura 108. Rendimiento productivo (kg/ha) de frutos comerciales y de rechazo por hectárea en tres sistemas productivos: Casa de malla de 5 m (SP1), Casa de malla de 3 m (SP2) y Campo abierto (SP4) y por cultivar. (E.E.E.J.N., Cañas, Guanacaste).
Fuente: Ramírez 2021.

Variables climáticas evaluadas

Viento

La ventilación natural, producida por el movimiento del viento es muy importante para el manejo del microclima generado en el interior de los sistemas de ambiente protegido, ya que permite remover los excesos de calor y de humedad producidos en el interior de las estructuras, adicionalmente de que hace posible la renovación y el aporte del CO₂ consumido por las plantas a través del proceso de fotosíntesis (Molina-Aiz *et al.* 2009; He *et al.* 2015).

Costa Rica al presentar un sistema montañoso orientado de noreste a sureste, con presencia de valles y mesetas, produce una diversidad de fenómenos atmosféricos que generan diferentes climas en las regiones del país, variando la velocidad del viento según la época del año y la zona.

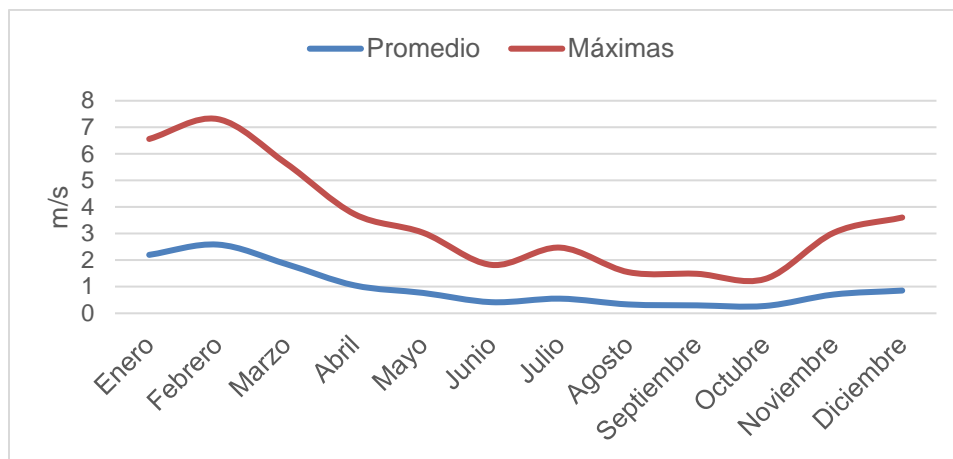


Figura 109. Velocidades de viento (m/s) promedio y máximas registradas en la Estación Experimental Enrique Jiménez Núñez del año 2017 al 2019 (E.E.E.J.N., Cañas, Guanacaste). Fuente: Ramírez 2021.

Temperatura

La temperatura es el factor más importante para tomar en cuenta en zonas tropicales, ya que la actividad fotosintética tiene una clara respuesta a esta variable climática, la cual muestra un mínimo sobre los 5 °C y alcanza el óptimo entre los 25 a 35 °C en la mayoría de las especies hortícolas, presentando una disminución a valores superiores (Urban 1997).

Para Acuña (2003), según las necesidades de los cultivos, los niveles de temperatura se pueden llegar a clasificar en:

Temperatura mínima letal: aquella por debajo de la cual se produce daño irreversible en la planta (heladas).

Temperaturas máximas y mínimas biológicas: valores por encima o por debajo de los cuales no es posible que la planta realice correctamente sus funciones, lo que puede llegar incluso a detener su crecimiento y desarrollo.

Temperaturas óptimas: son las temperaturas ideales para el adecuado desarrollo del cultivo, tanto en horas diurnas como nocturnas.

A continuación, se presenta la dinámica de la temperatura que se obtuvo en el interior de dos casas de mallas de 3 y 5 m de altura; así como de campo abierto durante los meses del año 2020 (Fig. 111).

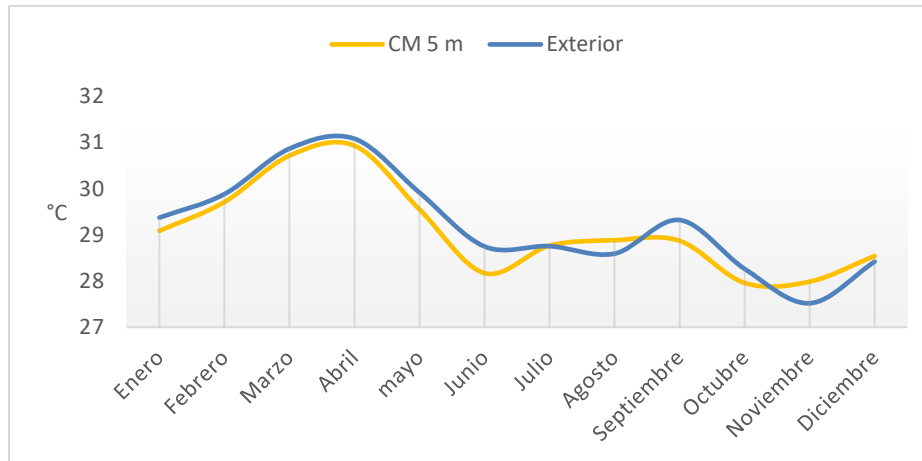


Figura 110. Dinámica de la temperatura (°C) promedio en el interior y exterior de dos casas de mallas de 5 m (CM 5 m) y de 3 m (CM 3 m) de altura (E.E.E.J.N., Cañas, Guanacaste, 2020). Fuente: Ramírez 2021, Ramírez *et al.* 2022.

Humedad relativa

La humedad ambiental no interviene directamente en la fotosíntesis, pero su papel es indirecto a través de la influencia en la apertura de estomas en el cultivo. La contribución más importante de vapor de agua en un sistema productivo, en especial en ambiente protegido lo efectuará la transpiración del cultivo y la evaporación del agua desde el suelo húmedo (Day y Bailey, 1999).

En la época lluviosa se presentó un alto contenido de masa agua por unidad de aire seco muy cercano al 80%, propiciado por las bajas presiones que caracterizan este periodo del año, aunado a una reducción del movimiento del aire, lo que genera un incremento en la sensación térmica, que afecta en gran medida la transpiración de las plantas y por consiguiente el proceso fotosintético (Fig. 112).

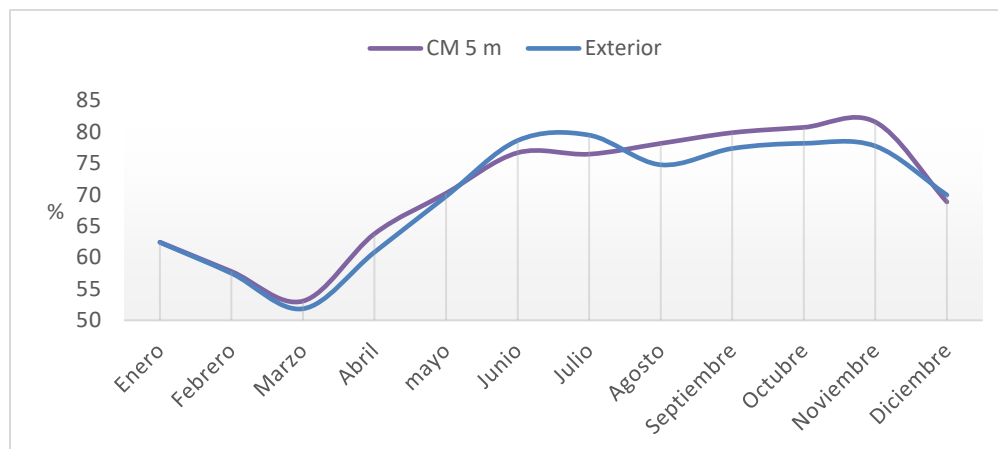


Figura 111. Dinámica de la humedad relativa (%) promedio en el interior y exterior de dos casas de mallas de 5 m (CM 5 m) y de 3 m (CM 3 m) de altura (E.E.E.J.N., Cañas, Guanacaste, 2020). Fuente: Ramírez 2021, Ramírez *et al.* 2022.

La temperatura y la humedad relativa, aunque no son inversamente proporcionales, si tienen una estrecha relación en las diferentes horas del día, sufriendo variaciones en las dos épocas del año cuando uno de estos factores se incrementa o decrece (Fig. 113).

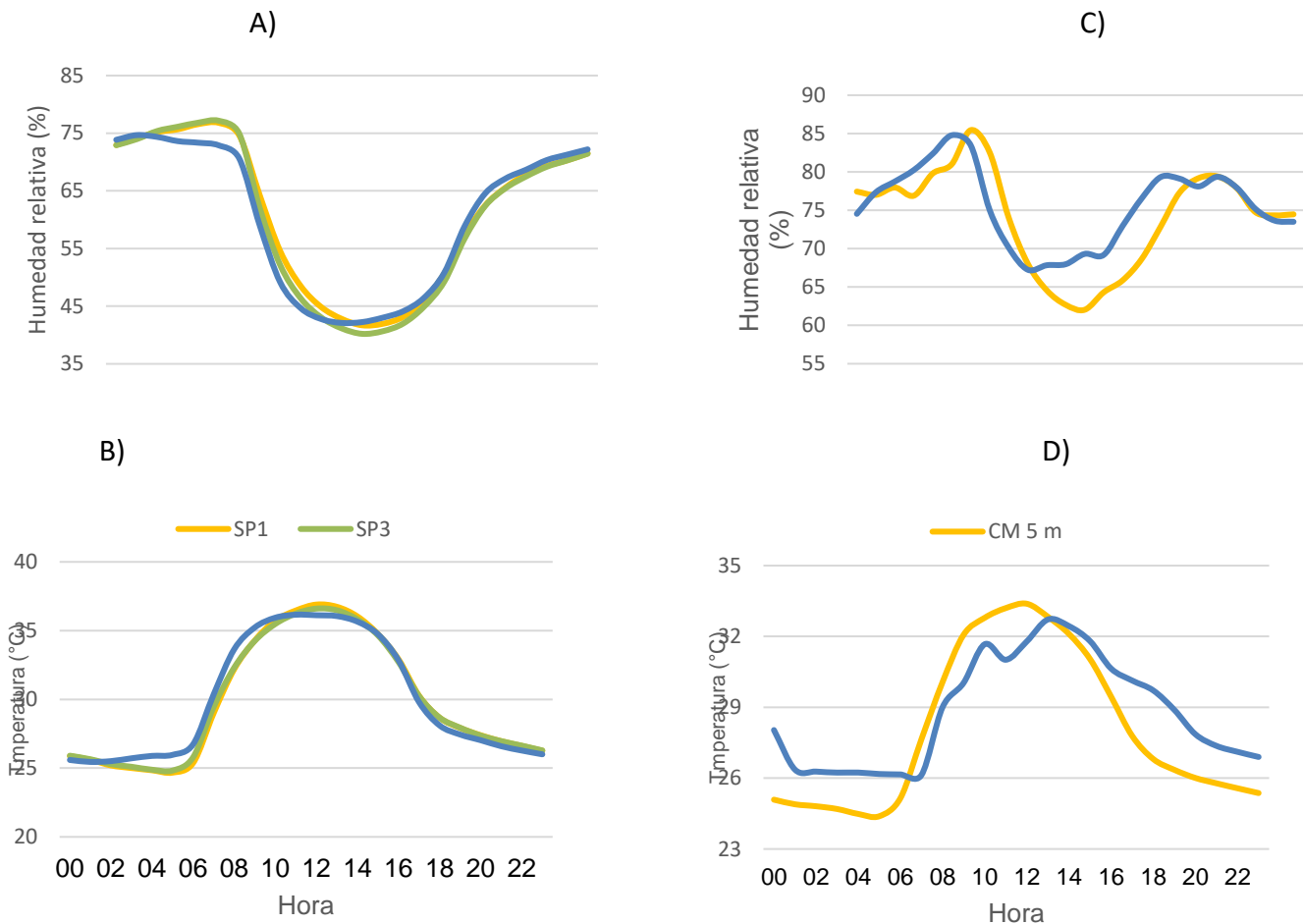


Figura 112. Relación de la temperatura (°C) y la humedad relativa (%) durante las 24 hrs del día, registradas en el interior y exterior de dos casas de mallas de 5 m (CM 5 m) y de 3 m (CM 3 m) de altura; durante la época seca (A y B) y en una casa de malla y campo abierto en la época lluviosa del año 2020 (E.E.E.J.N., Cañas, Guanacaste).

Fuente: Ramírez 2021, Ramírez *et al.* 2022.

Radiación

La radiación es un conjunto de ondas electromagnéticas proveniente del sol, las cuales contemplan una amplia gama de longitudes de onda, pero son las comprendidas entre los 400 y 700 nanómetros (Fig. 8), las más importantes para las plantas verdes, ya que en estas se encuentran la radiación fotosintéticamente activa PAR (del inglés "Photosynthetic Active Radiation"), quienes son las que influyen directamente sobre el crecimiento y desarrollo de las plantas (Castilla 2005).

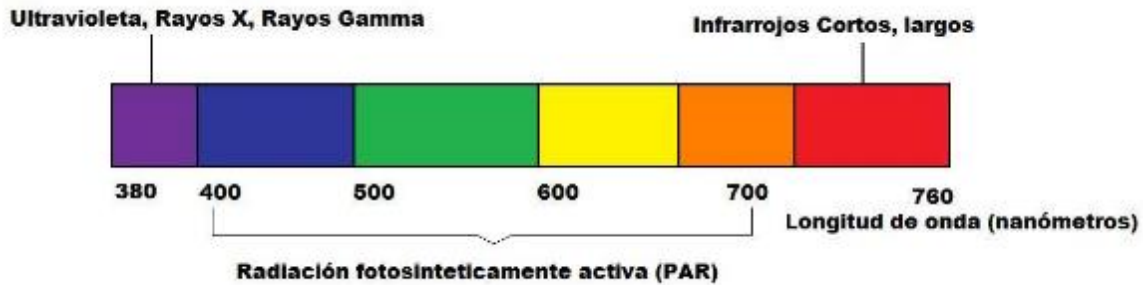
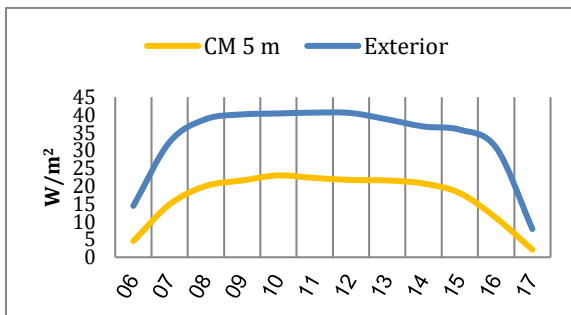


Figura 113. Espectro electromagnético.

Fuente: Ramírez *et al.* 2010.

Las evaluaciones del efecto de la radiación sobre los cultivos de hortalizas en la Región del Pacífico Norte de Costa Rica, en la época seca, ha permitido tener una mayor comprensión de los niveles óptimos para las plantas en este periodo del año, por lo que se ha generalizado el uso de pantallas de sombreo para controlar la incidencia de la luz, reducir daños en la producción, aumentar las tasas de evapotranspiración y evitar fisiopatías (Figura 115).

A)



B)

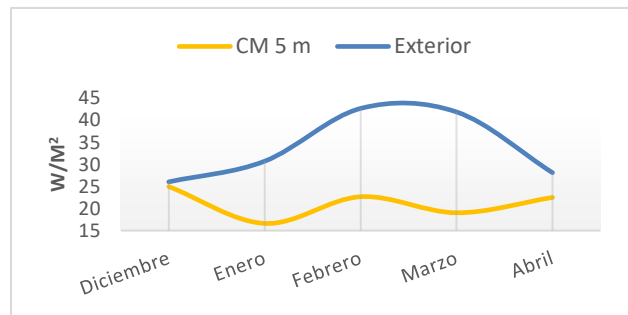


Figura 114. Dinámica de la radiación PAR ($W \cdot m^{-2}$) de las 06 a las 17 horas, en el interior y exterior de dos casas de mallas de 5 m (CM 5 m) y de 3 m (CM 3 m) de altura (A); durante los meses de diciembre del 2019 a abril del 2020 (B) (E.E.E.J.N., Cañas, Guanacaste).

Fuente: Ramírez 2021

Evapotranspiración de referencia (ET_o)

La evapotranspiración de referencia (ET_o), se obtuvo con mediciones diarias en la época seca del año 2020, utilizando tanques evaporímetros clase A, ubicados en cada uno de los sistemas productivos en estudio. Estos tanques proporcionaron una medida del efecto integrado de la radiación, viento, temperatura y humedad sobre el proceso evaporativo y con ello se logró comparar las tasas de evapotranspiración entre cada uno de los sistemas productivos de ambiente protegido y campo abierto.

Tabla 11. Evapotranspiración de referencia (ET_o) promedio de diciembre del 2019 a mayo del 2020, en cuatro sistemas productivos: Casa de malla de 5 m (SP1), Casa de malla de 3 m (SP2), Invernadero (SP3) y Campo abierto (SP4), desde diciembre del 2019 hasta mayo del 2020. (E.E.E.J.N., Cañas, Guanacaste).

Mes	SP1	SP2	SP3	SP4
Diciembre	4,96	4,00	3,86	6,80
Enero	2,80	3,71	2,78	3,84
Febrero	3,92	3,14	4,30	3,60
Marzo	5,04	5,34	4,88	4,72
Abril	4,18	3,44	3,68	3,84
Mayo	4,56	3,38	3,44	4,24
Promedio	4,24	3,83	3,82	4,51

Fuente: Elaboración propia, 2020.

Evaluación económica

El estudio económico se realizó en dos etapas, correspondiendo la primera fase a un análisis de prefactibilidad económica mediante un análisis de presupuestos parciales con los tratamientos evaluados, para conocer cuales combinaciones eran las que presentaban el mejor desempeño, mientras que la segunda parte estuvo compuesta por un estudio de factibilidad con las mejores opciones productivas, con el propósito de exportar chile dulce tipo Bell al mercado de los Estados Unidos de Norteamérica, por medio del puerto de Houston.

Se realizó un estudio de los costos variables empleando los cuatro cultivares de chile dulce tipo Bell, cultivados en dos casas de mallas de 3 y 5 m de altura, un invernadero y en campo abierto, con el fin de determinar las variaciones en las proporciones de las fluctuaciones de los costos según las combinaciones de los factores (Tabla 23).

Tabla 12. Costos variables de los tratamientos para el experimento de 4 variedades de chile dulce (*Capsicum annuum*) en tres sistemas de ambiente protegido y un sistema a campo abierto, Costa Rica. 2020.

Tratamiento	Descripción Tratamiento*	Costos que varían		Total
		Costo/m ² semilla	Costo/m ² infraestructura	
T-2	Canzión- SP2	\$ 0,72	\$ 0,48	\$ 1,19
T-3	Canzión- SP3	\$ 0,72	\$ 17,43	\$ 18,15
T-4	Canzión- SP4	\$ 0,72	\$ 0,00	\$ 0,72
T-5	Fabris- SP1	\$ 0,72	\$ 2,82	\$ 3,54
T-6	Fabris- SP2	\$ 0,72	\$ 0,48	\$ 1,19
T-7	Fabris- SP3	\$ 0,72	\$ 17,43	\$ 18,15
T-8	Fabris- SP4	\$ 0,72	\$ 0,00	\$ 0,72
T-9	Zidencá-SP1	\$ 0,72	\$ 2,82	\$ 3,54
T-10	Zidencá-SP2	\$ 0,72	\$ 0,48	\$ 1,19
T-11	Zidencá-SP3	\$ 0,72	\$ 17,43	\$ 18,15
T-12	Zidencá-SP4	\$ 0,72	\$ 0,00	\$ 0,72
T-13	R. Americano- SP1	\$ 0,17	\$ 2,82	\$ 2,99
T-14	R. Americano- SP2	\$ 0,17	\$ 0,48	\$ 0,64
T-15	R. Americano- SP3	\$ 0,17	\$ 17,43	\$ 17,59
T-16	R. Americano- SP4	\$ 0,17	\$ 0,00	\$ 0,17

*SP1: Casa de malla de 5m de altura sistema protegido; SP2: Casa de malla de 3 m de altura; SP3: Invernadero; SP4: campo abierto.

Fuente: Elaboración propia, 2020.

Los beneficios económicos de los tratamientos (Tabla 24), se calcularon a partir de la producción estimada en el experimento contemplando las calidades de primera y segunda de chile dulce (*Capsicum annuum*), ya que rendimiento obtenido con las frutas de rechazo no se les asignó valor económico.

Tabla 13. Beneficios económicos de los tratamientos para el experimento de 4 variedades de chile dulce (*Capsicum annuum*) en tres sistemas de ambiente protegido y un sistema a campo abierto, Costa Rica. 2020.

Tratamiento	Beneficio	
	Descripción Tratamiento	Beneficio Neto
T-1	Canzión- SP1	\$ 5,22
T-2	Canzión- SP2	\$ 5,36
T-3	Canzión- SP3	\$ 8,92
T-4	Canzión- SP4	\$ 1,77
T-5	Fabris- SP1	\$ 5,65
T-6	Fabris- SP2	\$ 5,43
T-7	Fabris- SP3	\$ 3,82
T-8	Fabris- SP4	\$ 2,34
T-9	Zidencá-SP1	\$ 3,38
T-10	Zidencá-SP2	\$ 4,40
T-11	Zidencá-SP3	\$ 5,94
T-12	Zidencá-SP4	\$ 1,48
T-13	R. Americano- SP1	\$ 7,09
T-14	R. Americano- SP2	\$ 7,77
T-15	R. Americano- SP3	\$ 9,14
T-16	R. Americano- SP4	\$ 1,55

SP1: Casa de malla de 5m de altura sistema protegido; SP2: Casa de malla de 3 m de altura; SP3: Invernadero; SP4: campo abierto.

Fuente: Elaboración propia, 2020.

Mediante un análisis de dominancia se determinó cuales opciones, presentaron los mejores beneficios a través de la relación de los costos variables y el beneficio neto, considerándose los mejores indicadores como no dominados y por consiguiente clasificándose para realizar la tasa de retorno marginal (Tabla 25).

Tabla 14. Análisis de dominancia de los tratamientos para el experimento de 4 variedades de chile dulce (*Capsicum annuum*) en tres sistemas de ambiente protegido y un sistema a campo abierto, Costa Rica. 2020.

Análisis de Dominancia				
Tratamiento	CV	BN	Observación de cambio de tratamiento	Conclusión de la observación
T-16	\$ 0,17	\$ 1,55		No Dominado
T-14	\$ 0,64	\$ 7,77	De T-16 a T-14	No Dominado
T-4	\$ 0,72	\$ 1,77	De T-14 a T-4	Dominado
T-8	\$ 0,72	\$ 2,34	De T-14 a T-8	Dominado
T-12	\$ 0,72	\$ 1,48	De T-14 a T-12	Dominado
T-2	\$ 1,19	\$ 5,36	De T-14 a T-2	Dominado
T-6	\$ 1,19	\$ 5,43	De T-14 a T-6	Dominado
T-10	\$ 1,19	\$ 4,40	De T-14 a T-10	Dominado
T-13	\$ 2,99	\$ 7,09	De T-14 a T-13	Dominado
T-1	\$ 3,54	\$ 5,22	De T-14 a T-1	Dominado
T-5	\$ 3,54	\$ 5,65	De T-14 a T-5	Dominado
T-9	\$ 3,54	\$ 3,38	De T-14 a T-9	Dominado
T-15	\$ 17,59	\$ 9,14	De T-14 a T-15	No Dominado
T-3	\$ 18,15	\$ 8,92	De T-15 a T-3	Dominado
T-7	\$ 18,15	\$ 3,82	De T-15 a T-7	Dominado
T-11	\$ 18,15	\$ 5,94	De T-15 a T-11	Dominado

CV= costos que varían BN = beneficio neto

Fuente: Elaboración propia, 2020.

Se realizó una estimación de la Tasa de Retorno Marginal (TRM) para cada uno de los tratamientos no dominados (mejor desempeño según el análisis de dominancia), para determinar a cuáles opciones productivas se les aplicaba el estudio de factibilidad (Tabla 26).

Tabla 15. Cálculo de la tasa de retorno marginal (TRM) según el análisis de dominancia para los tratamientos no dominados, Costa Rica. 2022.

Tratamiento	Análisis de Dominancia			TMR	
	CV	BN	ΔBN	ΔCV	(ΔBN/ΔCV)*100
T-16	\$ 0,17	\$ 1,55			
T-14	\$ 0,64	\$ 7,77	6,22	0,48	1 309,49
T-15	\$ 17,59	\$ 9,14	1,37	16,95	8,09

Fuente: Elaboración propia, 2020.

Relación beneficio-costo con rendimientos de la época seca

El análisis de la relación beneficio costo en US\$ se basó en el ingreso y costos ajustados al envío de un contenedor refrigerado de 40" con 2310 cajas de chile dulce (capacidad máxima) hacia el mercado de los Estados Unidos de Norteamérica (Tabla 27).

Tabla 16. Relación beneficio costo en la época seca entre el sistema productivo de invernadero (SP3), casa de malla de 3 m de altura (SP2), combinado los cultivares Canzion y Rojo Americano por contenedor de 40" (E.E.E.J.N., Cañas, Guanacaste).

Rubro	Canzion		Rojo Americano	
	SP2	SP3	SP2	SP3
Ingreso frutas grandes	5 531,90	4 243,29	5 524,63	4 244,09
Ingreso frutas medianas	24 754,75	25 407,81	24 758,43	25 407,41
Ingreso total (US\$)	30 286,65	29 651,11	30 283,07	29 651,50
*Costo de inversión	4 421,56	13 605,36	3 964,16	12 197,91
Costo producción	7 374,72	7 374,72	4 463,84	4 463,84
Costo comercialización	9 063,00	9 063,00	9 063,00	9 063,00
Costo total (US\$)	20 859,28	30 043,08	17 490,99	25 724,74
Saldo neto (US\$)	9 427,37	-391,97	12 792,07	3 926,75
Relación B/C	1,45	0,99	1,73	1,15

Nota: *Se incluye la depreciación correspondiente a un año, relacionada con un ciclo de cultivo

Fuente: Elaboración propia, 2020.

Relación beneficio-costo con rendimientos de la época lluviosa

Con la información recopilada en la evaluación desarrolla en la época lluviosa del año 2020, se realizó una relación de beneficio costo con los rendimientos productivos obtenidos en este periodo, tomando como base los sistemas productivos de casa de malla de 3 y 5 m de altura (SP 1 y SP2) (Tabla 28).

Tabla 17. Relación beneficio costo en la época lluviosa entre el sistema productivo de invernadero (SP3), casa de malla de 3 m de altura (SP2), combinado los cultivares Rojo Americano y Amarillo Americano por contenedor de 40" (E.E.E.J.N., Cañas, Guanacaste).

Rubro	Rojo Americano		Amarillo Americano	
	SP1	SP2	SP1	SP2
Ingreso frutas grandes	26 090,28	19 461,67	12 892,97	7 173,91
Ingreso frutas medianas	14 335,83	17 695,18	21 024,18	23 922,58
Total, de ingresos	40 426,11	37 156,85	33 917,15	31 096,49
Costo de inversión	7 145,43	6 900,29	7 145,43	6 900,29
Costo producción	3 889,92	4 538,24	3 889,92	4 538,24
Costo comercialización	9 063,00	9 063,00	9 063,00	9 063,00
Total, de costos	20 098,35	20 501,53	20 098,35	20 501,53
Saldo neto	20 327,76	16 655,32	13 818,80	10 594,96
Relación B/C	2,01	1,81	1,69	1,52

Indicadores Técnicos

Indicadores de productividad

El desarrollo del cultivo de chile dulce tipo Bell (pimentón) en la época seca, presenta un aumento en el rendimiento productivo comparado con lo producido en campo abierto de 3,7 veces en invernadero y de 2,94 veces en casa de malla, mientras que en la época lluviosa presenta un aumento del rendimiento de 7,2 veces en casa de malla con respecto al campo abierto.

Indicadores de sostenibilidad

En la época seca el cultivo de chile dulce producido bajo las coberturas de cerramiento (mallas y plásticos), complementados con pantallas de sombreo redujo en un 15% la evapotranspiración de referencia (ET_o), comparado con la producción a campo abierto, permitiendo un ahorro de 700 m³ de agua para riego en un ciclo productivo de chile dulce.


Indicadores económicos

La producción de chile dulce tipo Bell (pimentón) producido en casa de malla, generó un 32,79% más de relación beneficio costo en la época seca, comparado con el invernadero, debido a que la primera estructura mencionada tuvo un menor costo de construcción.

Rendimiento de pimentón en la época seca

El rendimiento obtenido en la época seca, supera el promedio mundial de chile dulce de 18 470 kg/ha (FAO 2019), pero está por debajo de los rendimientos productivos reportados en España, cuando se cultiva en invernadero de 65 000 kg/ha (Reche 2010) y también por los alcanzados en el mismo centro de Investigación donde se desarrolló esta prueba con una producción total de 39 600 kg/ha, durante el periodo comprendido de octubre 2011 a marzo del 2012, en un invernadero multi capilla (Ramírez *et al*, 2012).

En la casa de malla de 3 m de altura se logró un rendimiento de frutos grandes y medianos de 1307 y 19 713 kg/ha respectivamente; mientras que, en la casa de malla de 5 m de altura, se situó en 1062 y 20 194 kg/ha correspondientemente. Estos rendimientos, aunque



superan el promedio mundial, no alcanzaron los obtenidos en el Estado de Tamaulipas en México, con este mismo sistema productivo, cuando se utilizó el híbrido de chile dulce Bell F1 Abadía con un promedio de 46 000 kg/ha, durante los meses de mayo a agosto del 2013 (INIFAP 2013). En el sistema productivo en campo abierto, no se produjeron chiles dulces grande y los medianos llegaron a alcanzar un rendimiento promedio de 7220 kg/ha (Fig. 2). Con respecto a la distribución de la producción total, el mayor porcentaje de frutos grandes provino del invernadero (SP3) con 5,86%, seguido de la casa de malla de 3 m (SP2) con 4,98% y finalmente la casa de malla de 5 m (SP1) con 4,02%. En cuanto a los frutos medianos, la mayor proporción se encontró en el SP1 con un 76,40%, le continuó el SP2 con 75,16%, posteriormente el SP3 con 72,87% y finalmente campo abierto (SP4) con 42,04%. Por su parte la mayor fracción de chiles de rechazo se presentó en el SP4 con 57,96%, en segundo lugar, el invernadero con 21,26% y los sistemas de casa de malla SP1 y SP2 obtuvieron un 19,86%).

Rendimiento de pimentón en la época lluviosa

El mayor rendimiento por hectárea lo obtuvo el cultivar Rojo Americano, con una producción total de 39 932,14 kg, de los cuales 27 236,06 kg fueron frutos comerciales, que cumplieran con las características para exportación al mercado estadounidense, entre las categorías de grandes y medianos, seguido de Naranja Americano con un rendimiento total de 38 893,30 kg por hectárea y le continúan Amarillo Americano y Zidencá una producción total de 37 262,42 y 32 944,12 kg/ha respectivamente (Fig. 3).

El sistema productivo donde se obtuvo la mayor producción de chile dulce entre las categorías comerciales y de rechazo, fue en la casa de malla de 3 m de altura (SP2), con un rendimiento de 52 086,24 kg, de los cuales 28 816,24 kg cumplieron con la expectativa de exportación, mientras que en la casa de malla de 5 m de altura (SP1), se obtuvo un rendimiento total de 49 409,82 kg/ha, correspondiendo 32 724,76 kg/ha a frutos comerciales y por último la producción a campo abierto (SP4), obtuvo un rendimiento total de 10 237,93, siendo de 4 547,40 kg/ha comerciales (Fig. 3).

El rendimiento productivo de chile dulces comerciales obtenido en la época lluviosa tuvo un incremento de un 15,64% en la casa de malla de 3 m de altura (SP2) y de un 21,25% en la casa de malla de 5 m de altura (SP1), con respecto a los resultados obtenidos en la época seca, debido principalmente a un mayor desarrollo de frutos de categoría grande (Ramírez 2021).

Variables climáticas evaluadas

Viento

En los sistemas de ambiente protegido, las paredes están provistas de mallas para prevenir el ingreso de plagas y los techos dependiendo del sistema seleccionado puede ser de plástico como los invernaderos o para el caso de las casas de mallas con filamentos de polímeros porosos iguales que los utilizados en las paredes. Independientemente de la selección de la opción productiva, la presencia de coberturas de cerramiento provoca una reducción en el ingreso del aire desde el exterior hacia el interior de los módulos; lo que puede generar saltos térmicos (aumentos de temperatura en el interior), por efecto del



confinamiento ocasionado por bajas tasas de renovación del aire.

Las dimensiones (largo, ancho y altura) y diseños (formas) de cualquier estructura de ambiente protegido, afecta el tiempo en el que aire recorre una distancia de un punto inicial a uno final, por lo que influye en la temperatura y humedad relativa que se alcanza en el interior (Ramírez 2020). Según Castilla (2005), las velocidades de viento por arriba de los 2 m/s permite un adecuado número de intercambios del volumen de aire que se encuentra dentro de los recintos confinados, permitiendo de 20 a 40 renovaciones por hora, con lo que se logra eliminar excesos de temperatura, aumentar la humedad relativa y sustituir el CO₂ consumido por el cultivo.

La velocidad del viento registrada en la Estación Experimental Enrique Jiménez Núñez, en Cañas, Guanacaste, durante el periodo comprendido del año 2017 al 2019, presentó los mayores movimientos de aire en la época seca, la cual inició a finales del mes de noviembre, con el ingreso de los vientos alisios y finalizó en el mes de abril con la transición a la época lluviosa, presentando un rango entre 0,71 a 2,59 m/s para la velocidad de viento promedio y de 3,03 a 7,31 m/s para las velocidades de viento máximas. Por el contrario, en la época lluviosa (mayo a noviembre) presentó una reducción importante en el movimiento del aire, generando un rango de velocidad promedio de viento entre 0,28 a 0,77 m/s y de 1,29 a 2,47 m/s para las velocidades de viento máximas, por lo que para este periodo del año queda en evidencia que hay una limitante para ventilar de forma natural cualquier módulo de ambiente protegido.

Temperatura

La temperatura que se alcanza en el interior de una casa de malla, es el producto de un equilibrio térmico que involucra diferentes factores climáticos, como los niveles de humedad relativa, ventilación natural y la radiación solar que ingresan por las coberturas de cerramiento, las cuales una parte es absorbido por el suelo y el cultivo; mientras que el restante se refleja hasta el techo por medio del infrarrojo largo (IR Largo), donde un porcentaje sale al exterior y la otra es reemitida de nuevo hacia la superficie (Fig. No. 5).

Las casas de mallas al estar cerradas en sus paredes y techos con mallas porosas permiten un mayor flujo de aire del exterior al interior del recinto, comparado con los invernaderos que cuentan con coberturas plásticas en la parte superior, lo que favorece un mayor intercambio gaseoso, removiendo las capas de aire caliente, que son las responsables de ocasionar saltos térmicos. Las dimensiones del perímetro del módulo de casa de malla (largo por ancho); así como la altura, repercuten en el movimiento del aire, pudiendo generar diferentes gradientes de temperatura en algunos puntos, por lo que el diseño que se seleccione es muy importante para tratar de uniformar las condiciones ambientales donde se desarrollan los cultivos.

En la provincia de Guanacaste, ubicada en el Pacífico Norte de Costa Rica, se evaluó en la Estación Experimental Enrique Jiménez Núñez, la dinámica de la temperatura durante los diferentes meses del año, utilizando dos alturas de casas de mallas (3 y 5 m) en presencia de un cultivo de chile dulce. En la época seca (diciembre a mayo) la temperatura promedio fue muy similares en los dos módulos con un rango de 28 a 31 °C, con el beneficio de que ninguno presentó saltos térmicos, lo que indica que el aumento de velocidad de viento en



este periodo del año, es un factor muy importante para eliminar los excesos de calor. Por su parte en la época lluviosa aunque hubo una ligera variación entre las temperaturas que se registraron en el interior de los dos diseños de casas de mallas de 3 y 5 m de altura; las mismas estuvieron cercanas a los 28 °C, con la salvedad que para esta periodo del año si se presentaron saltos térmicos en el interior de los módulos, lo que indica que cuando la velocidad del viento se reduce, las tasas de renovación de aire también lo hacen, lo que genera un aumento de la sensación térmica.

Humedad relativa

En la Región del Pacífico Norte de Costa Rica, los menores contenidos de humedad relativa que se registraron en el interior de una casa de malla de 3 y otra de 5 m de altura ocurrieron en la época seca (diciembre a mayo), muy similar a los datos obtenidos en el exterior, siendo el mes de marzo el más crítico con una humedad relativa promedio cercano al 52% para todos los sistemas productivos.


En la época lluviosa se presentó un alto contenido de masa agua por unidad de aire seco muy cercano al 80%, propiciado por las bajas presiones que caracterizan este periodo del año, aunado a una reducción del movimiento del aire, lo que genera un incremento en la sensación térmica, que afecta en gran medida la transpiración de las plantas y por consiguiente el proceso fotosintético.

En la provincia de Guanacaste, durante la época seca las horas de mayor temperatura dentro y fuera de los módulos de casas de malla de 3 y 5 m de altura se alcanzó después de las 09 horas, superando los 35 °C, condición que se mantuvo hasta las 15 horas, ocurriendo un salto térmico de 1 °C. (Fig. 7).

Los mayores niveles de humedad relativa cercanos al 75%, ocurrieron de las 00 hasta las 06 horas, coincidiendo con las menores temperaturas del día, mientras que los menores registros de humedad también concordaron con las horas donde se observaron las mayores temperaturas (09 a las 15 horas). Esta dinámica de las condiciones ambientales suscitadas en la época seca, permite planificar el riego y los tiempos en el día en que se puede humidificar el ambiente con el uso de nebulizadores, para así reducir la temperatura, sin llegar a una higrometría del aire que sobrepase los límites que se aproximen a la saturación, con el fin de no promover el desarrollo de organismos fitopatógenos.

En la época lluviosa la dinámica de la temperatura y humedad relativa varió con respecto a la época seca durante las 24 horas del día. Las máximas temperaturas alcanzadas entre las 09 y 14 horas, superaron los 30 °C, convergiendo con las menores humedades relativas, las cuales sobre pasaron el 60%, provocando saltos térmicos de hasta 4 °C, siendo estos mucho mayores que en la época seca. Esta combinación de factores meteorológicos sumados a una reducción del viento, provoca una alta sensación térmica (temperatura aparente), lo que puede llegar a una percepción de temperatura superior a la que marca el termómetro, por lo que se debe de analizar el uso de ventilación forzada, para remover el calor.

En las horas nocturnas se presentó mayor higrometría promedio del aire, con un rango entre 75 a 90%, tanto en el interior como exterior de las casas de malla, mientras que la temperatura rondó los 25 °C. Esta condición comparada con la época seca, permite conocer que, aunque las temperaturas fueron similares, por el efecto de la alta humedad en la época



lluviosa, la sensación de calor aumenta e influye en las prácticas de manejo, en especial con las frecuencias de riego y la restricción en el uso de sistemas de humidificación.

Radiación

Según Baille (1999), los factores que determinan la cantidad de radiación que llega a un sistema productivo están determinados por la latitud, posición del sol en el cielo en las diferentes épocas del año, la altitud del sitio, el grado de nubes presentes, la longitud de onda y si existe algún tipo de cobertura plástica que pueda reducir el paso de la luz.

La evaluación realizada en la Estación Experimental Enrique Jiménez Núñez, ubicada en la provincia de Guanacaste, durante los meses de diciembre del 2019 a abril del 2020, para determinar entre otras cosas, la constante de radiación que ingresaba en el interior de dos diseños de casas de mallas de 3 y 5 m de altura, utilizando internamente una pantalla de sombreado del 50%, indicó que los promedio de la radiación PAR en las horas del día en que hubo irradiación (06 a 17 horas), fue variable en cada mes, por lo que hay que estar atento a abrir la cortina en caso del ingreso de frentes fríos, que traen muchas masas de nubes.

En la época seca desde tempranas horas de la mañana, los cultivos presentes en los recintos de casas de mallas, tienen la capacidad para iniciar el proceso metabólico, pero es a partir de las 08 y hasta las 15 horas, que los niveles de radiación alcanzan rangos entre 20,04 a 31,44 $W \cdot m^{-2}$ PAR, lo que permite que los cultivos de hortalizas puedan alcanzar el punto de saturación para potencializar su sistema fotosintético, lo que demuestra que en la Región del Pacífico Norte de Costa Rica, los niveles de radiación provenientes del sol, cumplen con los requerimientos de luminosidad, aun cuando se utilice un sistema de sombreado.


Evapotranspiración de referencia (ET_o)

La mayor ET_o se presentó en el sistema productivo de campo abierto (SP4) con un promedio de 4,51 mm, esto debido a que la radiación que llegó a este tanque fue directa, mientras que en los sistemas de ambiente protegido al tener una cobertura plástica o de malla anti insecto y una pantalla de sombreado, provocó que la luz se difuminará y la energía se distribuyera en los tanques, reduciendo la evaporación en un 3% en la casa de malla de 5 m de altura (SP1), mientras que en la casa de malla de 3 m de altura (SP2) y en el invernadero (SP3) en un 15%.

Análisis económico

Según el estudio de análisis de presupuestos parciales, los sistemas productivos SP1, SP2 y SP3, con el cultivar Rojo Americano fueron los que mostraron los mejores indicadores económicos, por lo que se escogieron para realizar el estudio de factibilidad los sistemas productivos de casa de malla de 3 m (SP2) en invernadero (SP3), tomando en cuenta la producción únicamente de frutos comerciales de los cultivares con mayor rendimiento productivo, que fueron Canzion y Rojo Americano.

el invernadero (SP3) obtuvo un porcentaje de frutas de talla grande y mediana de 7,81 y



92,19% respectivamente y la casa de malla de 3 m de altura (SP2) mostró un porcentaje de 10,15 y 89,85% de frutas grandes y medianas.

Relación beneficio-costo con rendimientos de la época seca

El sistema productivo que presentó el mayor beneficio económico para el periodo en que se realizó el estudio, fue la casa de malla de 3 m de altura (SP2), con un valor de 1,45 cuando se empleó el cultivar Canzion y de 1,73 cuando se calculó con Rojo Americano, lo que quiere decir que, por cada dólar invertido, hubo una recuperación de ese monto y una ganancia de US\$ 0,45 y US\$ 0,73 respectivamente.

Relación beneficio-costo con rendimientos de la época lluviosa

El cultivar que presentó el mayor beneficio económico para en la época lluviosa, fue Rojo Americano con un valor 2,01 cuando se desarrolló en la casa de malla de 5 m de altura y de 1,81 cuando ocurrió en la casa de malla de 3 m de altura (SP2), lo que significó que, por cada dólar invertido, hubo una recuperación de ese monto y una ganancia de US\$ 1,01 y US\$ 0,81 respectivamente. El cultivar Amarillo Americano tuvo una relación beneficio costo de 1,69 cuando se sembró en la casa malla de 5 m de altura y de 1,52 cuando fue en la casa de malla de 3 m de altura (SP2).

Comparando estos resultados, con los obtenidos por Ramírez (2021) en la prueba preliminar realizada en la época seca, y en cual resultó una relación beneficio costo en la casa de malla de 3 m de altura (SP2), utilizando el cultivar Rojo Americano con 1,73, se puede deducir que en la época lluviosa la rentabilidad es mayor, debido a que hubo un alto porcentaje de las frutas clasificadas como de talla grande, lo que duplica su valor del mercado y además una reducción en el ciclo de vida del cultivo lo que redujo los costos de producción.


República Dominicana

Ubicación

La investigación se realizó en finca Experimental del IDIAF ubicada en la zona de Sabaneta, La Vega, República Dominicana. El ensayo se encuentra localizado según coordenadas geográficas a 19° 12' 16" latitud norte y 70° 28' 30" longitud oeste; 100 m.s.n.m.

Características edafoclimáticas de la zona

La temperatura media anual de 26°C, humedad relativa del 71% y precipitación media anual de 1.150 mm, lo que lo ubica en la zona de vida de Bosque húmedo Sub Tropical (Bh-ST). El suelo, donde se realizó este estudio en la finca experimental de Sabaneta del IDIAF en término físicos presenta un epipedón (Ap) de 10 cm de profundidad (0-10 cm) de color negro (10YR2/1). Textura franco-arcillosa, estructura en bloques angulares gruesos y fuertes, consistencia friable. Escasas concreciones de Fe y Mn. Desde el punto de vista químico, presenta una capacidad de intercambio catiónico efectiva (CICE) de 19.12 meq/100 g de suelo, encontrándose dentro de los niveles deseables (5 a 30 meq/100g de



suelo), por lo tanto, en sentido general presenta una fertilidad natural buena. Con relación al porcentaje de saturación de bases el potasio se presenta bajo, calcio adecuado (46.47%) y magnesio muy alto (52.28%); el contenido de materia orgánica es adecuado (4.36%). No presenta carbonatos libres, ni problemas de salinidad; el pH es ligeramente ácido (6.08). De los micronutrientes el hierro, zinc y manganeso se presenta por debajo de los niveles mínimo deseable, mientras que el cobre se presenta adecuado; el fósforo se encuentra bajo.

Diseño experimental:

Se utilizó un diseño anidado donde el factor B esta anidado al factor A. Las parcelas del factor A (tres sistemas de producción) son de efecto fijo, mientras que, las del factor B (tres cultivares) son de efecto aleatorio. Para el factor A se utilizaron sistema de producción a i) campo abierto, ii) casa malla e iii) invernadero y para el factor B los cultivares i) ají dulce cubanelle, ii) ají picante tipo jamaiquino y iii) ají morrón. Con un total 9 tratamientos y 4 repeticiones. Para un total de 36 unidades experimentales.

Análisis de los datos

Los datos se analizaron con el programa estadístico InfoStat® versión 2008 (Balzarini et al., 2008), mediante la prueba de comparación de Duncan para comparar los sistemas de producción (factor fijo) y comparar los cultivares (factor aleatorio). Para la plaga se realizó un análisis de los datos se le aplicó una prueba de Kruskal Wallis tomando en cuenta los dos factores (cultivar y tipo de estructura). Para las enfermedades se analizaron por factores separados (tiempo, ambiente y cultivar) según semana de evaluación: 1, 4 y 8 (primera, intermedia y final). Para el análisis de los datos de plagas se le aplicó una prueba de Kruskal Wallis tomando en cuenta los dos factores (cultivar y tipo de estructura). Para la parte climatológica los datos se organizaron en MS Excel® y se utilizaron medidas de tendencia central para el análisis de las variables. Los valores medios, máximos y mínimos se analizaron en Infostat®. Las gráficas se elaboraron en Infostat®. En la parte económica los datos se registraron y analizaron en MS Excel utilizando la metodología de Presupuesto Parcial del CIMMYT. Los análisis para realizar una recomendación de los resultados de una investigación se presentan a continuación.


RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Determinar el efecto de la interacción cultivo-ambiente sobre el desarrollo de las plantas de cultivares de ajíes en estructuras protegidas y en campo abierto.

Primer ciclo de cultivo

Altura de la planta

Se observó que los sistemas de producción evaluados afectaron significativamente la altura



de planta de los cultivares de ajíes estudiados (P-Valor <0.0001). El coeficiente de variación fue de 3.33%. También se observa que las mayores alturas de plantas lo obtuvieron en el cultivar de ají jamaicano en el invernadero con 123.8 cm, mientras que la menor altura de la planta se obtuvo con el cultivar ají cubanela a campo abierto con 26.7 cm. Esto indica que los cultivares producidos en casa malla e invernadero tuvieron una mayor altura en relación a campo abierto, por lo tanto, hay un incremento significativo en esta variable de estudio.

Diámetro del tallo de la planta

Se observó que los sistemas de producción evaluados afectaron significativamente el diámetro del tallo de las plantas de los cultivares de ajíes estudiados (P-valor <0.0001). El coeficiente de variación fue de 10.89% También se observó que los mayores diámetros del tallo de las plantas se obtuvieron en el cultivar de ají jamaicano tanto para el invernadero como para la casa malla con 12.9 y 12.1 mm, mientras que el menor diámetro se obtuvo con el cultivar ají cubanela a campo abierto con 3.5 mm. Esto indica que los cultivares producidos en casa malla e invernadero tuvieron los mayores diámetros del tallo de la planta con relación al campo abierto, por lo tanto, hay un incremento significativo del diámetro del tallo.

Biomasa fresca

Se observó que los sistemas de producción evaluado afectaron significativamente la biomasa fresca de los cultivares estudiados (P-valor<0.0001). El coeficiente de variación fue de 9.35%

Se encontró que la mayor cantidad de biomasa fresca se obtuvo con el cultivar de ají jamaicano para el invernadero con 555.8 g, mientras que la menor cantidad se obtuvo con el cultivar ají cubanela a campo abierto con 11.6 g. Esto indica que los cultivares producidos bajo casa malla e invernadero tuvieron las mayores cantidades de biomasa fresca con relación al campo abierto.

Determinar el efecto de la interacción cultivo-ambiente sobre la productividad de cultivares de ají en estructuras protegidas y en campo abierto.

Segundo ciclo de cultivo

Productividad

Se observó que los sistemas de producción evaluados afectaron significativamente el rendimiento total (productividad) de los cultivares de ajíes estudiados (P-Valor <0.0001). También que existen diferencias significativas entre los sistemas de producción (P-Valor=0.0108). El coeficiente de variación fue de 11.95%. También se observó que no existe diferencias significativas entre los sistemas de producción de invernadero y de casa malla con 3.56 y 2.67 kg/m², para los rendimientos totales, pero sí de estos con respecto al sistema de campo abierto con 0.63 kg/m².

Los mayores rendimientos totales se obtuvieron para los cultivares de ajíes morrón y cubanela en el sistema de producción de invernadero con 4.49 y 3.38 kg/m² seguido de la casa malla. Sin embargo, los menores rendimientos totales se obtuvieron con los cultivares de morrón, cubanela y jamaicano en el sistema de producción de campo abierto con 0.69,

0.67 y 0.55 kg/m², respectivamente.

Rendimiento comercial

En esta variable se observó que los sistemas de producción evaluado afectaron significativamente el rendimiento comercial de los cultivares de ajíes estudiados (P-Valor <0.0001). También que existen diferencias significativas entre los sistemas de producción (P-Valor=0.0094). El coeficiente de variación fue de 10.82%. También se observa que no existe diferencias significativas entre los sistemas de producción de invernadero y de casa malla con 2.80 y 2.11 kg/m², para el rendimiento comercial, pero sí de estos con respecto al sistema de campo abierto con 0.29 kg/m². Asimismo, se determinó que mayores rendimientos comercial se obtuvieron para los cultivares de ajíes morrón y cubanela en el sistema de producción de invernadero con 3.69 y 3.12 kg/m². No se encontró diferencias significativas entre la producción en casa malla y la de invernadero para el ají jamaicano. Sin embargo, los menores rendimientos comercial se obtuvieron con los cultivares de Cubanela, Morrón y jamaicano en el sistema de producción de campo abierto con 0.35, 0.30 y 0.23 kg/m². Asimismo, los cultivares de ajíes estudiados (P-Valor <0.0001). El coeficiente fue de variación de 29.91%. Así mismo se observa que para el cultivar de ají morrón los mayores rendimientos no comerciales se obtuvieron en el sistema de producción de casa malla e invernadero con 1.1 y 0.81 kg/m². Sin embargo, los menores rendimientos de estos se obtuvieron con el ají jamaicano en el sistema de producción de campo abierto y casa malla con 0.26 y 0.22 kg/m².

Determinar el efecto de la interacción cultivo-ambiente sobre el desarrollo de las plantas de cultivares de ajíes en estructuras protegidas y en campo abierto

Desarrollo de la planta:

Altura de la planta

Se observa que los sistemas de producción evaluado afectaron significativamente las alturas de las plantas de los cultivares de ajíes estudiados (P-Valor <0.0001) Y un coeficiente de variación de 8.25%. También, se observó que para los cultivares de ají jamaicano y cubanela las mayores alturas de la planta se obtuvieron en el sistema de producción de invernadero con 108.4 y 88.9 cm. Sin embargo, las menores altura de plantas de estos se obtuvieron en el sistema de producción de campo abierto con 51.3 y 55.3 cm. No se encontró diferencias significativas entre el sistema de casa malla e invernadero obteniéndose una altura promedio de 66.0 cm de altura de la planta.

Diámetro del tallo de la planta (mm)

Se observa que los sistemas de producción evaluado afectaron significativamente el diámetro del tallo de las plantas de los cultivares de ajíes estudiados (P-Valor <0.0001) y un coeficiente de variación de 12.69%. También se observó que los mayores diámetros del tallo de plantas se obtuvieron en los cultivares de ají cubanela y morrón en el sistema de producción de invernadero con 27.4 y 27.1 mm, seguido del sistema de producción de casa malla, mientras que el menor diámetro se obtuvo en los cultivares de cubanela, morrón y



jamaiquino en el sistema de producción de campo abierto.

Número de hojas/planta

Se observa que los sistemas de producción evaluado afectaron significativamente el número de hojas/ planta de los cultivares de ajíes estudiados (P-Valor <0.0001). El coeficiente fue de variación de 14.89%. También se observó que los mayores números de hojas se encontraron en los sistemas de producción de invernadero y casa malla para todos los cultivares evaluados, sin embargo, la menor cantidad de hoja se obtuvieron en el sistema de producción de campo abierto para todos los cultivares de ajíes evaluado.

Número de flores/planta

Se encontró que los sistemas de producción evaluado afectaron significativamente el número de flores por planta de los cultivares de ajíes estudiados (P-Valor <0.0001). El coeficiente fue de variación de 21.90%. Se observa que los mayores números de flores se encontraron en los sistemas de producción de invernadero y casa malla para todos los cultivares evaluados, sin embargo, la menor cantidad de hoja se obtuvieron en el sistema de producción de campo abierto para todos los cultivares de ajíes evaluado.

Determinar el efecto de la interacción cultivo-ambiente sobre la calidad del fruto de cultivares de ajíes en estructuras protegidas y en campo abierto

Evaluación de calidad de frutos

Longitud del fruto

Se observa que los sistemas de producción evaluado afectaron significativamente la longitud del fruto de los cultivares de ajíes estudiados (P-Valor <0.0001) Y un coeficiente de variación de 12.24%. Se observó que las mayores longitudes de frutos se obtuvieron en los cultivares de ají cubanela, morrón y jamaiquino en el sistema de producción de invernadero con 18.9, 7.5 y 4.2 cm, mientras que la menor altura de la planta se obtuvo con dicho cultivares con 14.1, 6.0 y 3.6 cm respectivamente en el sistema de producción de campo abierto.


Diámetro del fruto (cm)

Se observa que los sistemas de producción evaluado afectaron significativamente el diámetro del fruto (cm) de los cultivares de ajíes estudiados (P-Valor <0.0001) y un coeficiente de variación de 12.75. Se observa que los mayores diámetros de frutos se obtuvieron en los cultivares de ají morrón, cubanela y jamaiquino en el sistema de producción de invernadero con 7.9, 4.2 y 4.1 cm, mientras que la menor altura de la planta se obtuvo con dicho cultivares con 7, 4 y 3.8 cm respectivamente en el sistema de producción de campo abierto. También la casa malla se han convertido en una excelente alternativa.

Determinar el efecto de la interacción cultivo-ambiente en la incidencia de plagas insectiles en cultivares de ajíes en estructura protegida y en campo abierto.

Plagas insectiles

En todos los sistemas de producción hubo incidencia de plagas. El insecto plaga de mayor



incidencia en los cultivares y en los tipos de estructura fue la especie de *Thrips parvispinus* y *Bemisia tabaci*, esta última con muy baja incidencia. En el sistema campo abierto además de estas dos especies también se observaron otras especies en poblaciones muy bajas (ver otras especies asociadas). De acuerdo con los resultados del análisis en las evaluaciones uno, dos, tres y cinco no hubo diferencias entre los cultivares y los tipos de estructuras. En las demás evaluaciones se observan diferencias. En la evaluación número cuatro en el sistema de invernadero la incidencia de trips fue menor; mientras que en los sistemas de casa malla y campo abierto la incidencia fue alta. Se observa diferencias significativas entre el sistema invernadero y los demás, en invernadero la incidencia fue de 8.67 % muy por debajo de casa malla y campo abierto ambos con 22.46 y 24.38 % respectivamente. En la sexta evaluación la incidencia de trips fue mayor para el sistema de invernadero, cuando se comparó con los otros dos sistemas de producción. Dentro del ambiente de invernadero la incidencia de trips fue de un 26.96 %, mientras que para la casa malla y campo abierto la incidencia fue de 14.54 y 14.00. Este aumento de la incidencia en invernadero y disminución en casa malla coincide con periodos de lluvias, por lo que se asume hubo una influencia del factor climático.

En la evaluación número siete el nivel de incidencia en el sistema de invernadero se mantiene similar a la evaluación número seis 26.08 %, mientras que para la casa malla aumenta con relación a la evaluación anterior a esta 22.92 %, en ambos casos estadísticamente no se diferencian. En el sistema a campo abierto por el contrario a la evaluación seis la incidencia disminuye a 6.50 %, siendo estadísticamente deferente a los demás sistemas. Para favorecer la disminución del trips en estos dos últimos sistemas, en esta evaluación las lluvias eran frecuentes.

En la octava evaluación los sistemas de invernadero y casa malla continúan siendo iguales estadísticamente; la incidencia de trips en invernadero fue de un 26 % y en casa malla de 19.29 %. Por el contrario, en campo abierto la incidencia se mantuvo más baja que en los otros dos sistemas con 10.21 % de incidencia diferenciándose estadísticamente de los demás sistemas.

Otros insectos asociados a los cultivos

En el sistema campo abierto, además de las especies de *T. parvispinus* y *B. tabaci* también se presentaron otras especies tales como: *Myzus* sp., *Diabrotica balteata*, *Cerotoma ruficornis*, huevos de crisópidos y *Cycloneda sanguinea*.

Determinar el efecto de la interacción cultivo-ambiente en la incidencia y severidad de enfermedades en cultivares de ajíes en estructura protegida y en campo abierto.

Enfermedades

Incidencia de enfermedades

En los sistemas de producción en invernadero no se presentó incidencia de enfermedad producida por fitopatógenos de suelos, mientras que en los sistemas de producción de casa malla y campo abierto hubo incidencia de fitopatógenos de suelos. Hubo diferencias significativas entre los cultivares en casa malla y campo abierto, siendo en campo abierto el



que presentó la mayor incidencia de enfermedades producidas por hongos fitopatógenos de suelo, con un 5.25 %, mientras que en casa malla un 0.27.

En los tres cultivares a campo abierto la incidencia de hongos de suelo entre los cultivares no hubo diferencias estadísticas. El cultivar ají cubanela fue el que presentó la mayor incidencia de enfermedades producidas por hongos de suelo con 3.34 %, seguido del ají morrón con un 2.23, el ají picante fue el que presentó la menor incidencia con un 0.80 %.

Severidad de enfermedades

La severidad de las enfermedades se comportó estadísticamente iguales en los tres tiempos (semanas) de evaluación. En las semanas 1, 4 y 8 la severidad de las enfermedades fue 49.60, 52.50 y 67.08 % respectivamente.

La severidad de enfermedades fue mayor en casa malla con 65.14 % de daño foliar, y fueron estadísticamente iguales tanto en los ambientes invernadero y campo abierto, que tuvieron valores de 57.50 y 56.39 % respectivamente.

La severidad de daños foliares a las ocho semanas de evaluación en casa malla no presentó diferencias estadísticas entre los cultivares, donde el cultivar cubanela fue el que mostró mayor severidad con un 72.93 %, mientras que el cultivar morrón obtuvo 68.75 y el picante tuvo 53,75 % de severidad.

Al final del experimento (8 semanas) la severidad del daño foliar en invernadero arrojó diferencias estadísticas significativas entre los cultivares. El cultivar cubanela mostró la mayor severidad con un 72.93 %, mientras que el cultivar picante obtuvo 45.00 % de severidad y se comportó estadísticamente igual al morrón que tuvo un 54.58 %.

En la semana de evaluación 8 la severidad del daño foliar a campo abierto no mostró diferencias estadísticas entre los tres cultivares, siendo el cultivar cubanela el que mostró la mayor severidad con un 67.08 %, mientras que el cultivar picante obtuvo 49.60 % de severidad y el morrón obtuvo un 52.50 %.

Hongos asociados a las enfermedades


Los hongos asociados a los síntomas foliares fueron los géneros: *Alternaria*, *Colletotrichum*, *Cercospora*, *Cladosporium*, *Corynespora*, *Diplodia*, *Bipolaris*, *Curvularia* y *Nigrospora*. Los hongos asociados a los daños radiculares fueron: *Fusarium solani*, *Rhizoctonia sp.*, *Pythium sp.* y *Athelia rolfsii*.

Determinar el efecto de la interacción cultivo-ambiente sobre la productividad de cultivares de ají en estructuras protegidas y en campo abierto.

Tercer ciclo

Rendimiento comercial

Se observó que los sistemas de producción evaluados afectaron significativamente el rendimiento total (productividad) de los cultivares de ajíes estudiados (P-Valor <0.0001). También que existen diferencias significativas entre los sistemas de producción (P-Valor=0.0094). El coeficiente de variación fue de 21.0%. También, se observó que no existe diferencias significativas entre los sistemas de casa malla y campo abierto con 1.1 y 0.5



kg/m², para el rendimiento comercial, pero sí de estos tratamientos con respecto al sistema de invernadero con 7.02 kg/m².

Los mayores rendimientos comerciales se obtuvieron para los cultivares de ajíes morrón y cubanela en el sistema de producción de invernadero con 10.99 y 7.84 kg/m². Sin embargo, los menores rendimientos comerciales se obtuvieron con los cultivares de Cubanela, Morrón y jamaiquino en el sistema de producción de campo abierto con 0.46, 0.43 y 0.41 kg/m², respectivamente.

Determinar el efecto de la interacción cultivo-ambiente sobre el desarrollo de las plantas de cultivares de ajíes en estructuras protegidas y en campo abierto.

Desarrollo de la planta:

Altura de la planta

Se observó que los sistemas de producción evaluado afectaron significativamente las alturas de las plantas de los cultivares de ajíes estudiados (P-Valor <0.0001) y un coeficiente de variación de 5.60%. También, los cultivares de ají jamaiquino y ají morrón obtuvieron las mayores alturas de la planta en el sistema de producción de invernadero con 100.3 y 86 cm. Sin embargo, las menores altura de plantas de estos se obtuvieron en el sistema de producción de campo abierto con 49.3 y 41.5 cm, para los cultivares de ají cubanela y ají morrón.

Diámetro del tallo de la planta (mm)

Se observó que los sistemas de producción evaluado no afectaron significativamente el diámetro del tallo de las plantas de los cultivares de ajíes estudiados (P-Valor=0.5337) y un coeficiente de variación de 18.79%.

Número de hojas/planta

Los sistemas de producción evaluado afectaron significativamente el número de hojas/planta de los cultivares de ajíes estudiados (P-Valor <0.0001). El coeficiente de variación fue de 14.89%. Los mayores números de hojas se encontraron en los sistemas de producción de invernadero y casa malla para todos los cultivares evaluados, sin embargo, la menor cantidad de hoja se obtuvieron en el sistema de producción de campo abierto para todos los cultivares de ajíes evaluado.


Número de flores/planta

Los sistemas de producción evaluado no afectaron significativamente el número de flores por planta de los cultivares de ajíes estudiados (P-Valor=0.3946) y un coeficiente de variación de 45.90%.

Evaluación de calidad de frutos:

Longitud del fruto

Los sistemas de producción evaluado afectaron significativamente la longitud del fruto de los cultivares de ajíes estudiados (P-Valor <0.0001) Y un coeficiente de variación de 12.24%. Diámetro del fruto (cm). Las mayores longitudes de frutos se obtuvieron en los



cultivares de ají cubanela, en el sistema de producción de invernadero con 18.5 cm, mientras que la menor longitud de frutos se obtuvo con ají picante para los tres sistemas de producción estudiados.

Diámetro del fruto

Los sistemas de producción evaluado afectaron significativamente el diámetro del fruto (cm) de los cultivares de ajíes estudiados (P-Valor <0.0001) y un coeficiente de variación de 14.3%. Los mayores diámetros de frutos se obtuvieron en los cultivares de ají morrón y jamaquino en el sistema de producción de invernadero con 6.9 y 5.9 cm, respectivamente, mientras que el menor diámetro de fruto por la planta se obtuvo con dicho cultivares ají picante y ají cubanela tanto para el sistema de producción de casa malla como abierto con 3.1 y 2.8 cm, respectivamente.

Caracterizar variables climáticas en la interacción cultivo ambiente de cultivares de ajíes en estructuras protegidas y en campo abierto.

Variables agroclimáticas


Mediante el uso de la herramienta computacional (Dinámica de Fluidos Computacional (CFD-3D) y la generación de un modelo dinámico, se diseñó y generó una estructura de protegida híbrida (casa malla + invernadero) basada en variables climáticas, principalmente velocidad y dirección de viento, radiación solar, temperaturas y precipitación medias correspondientes a un periodo de 20 años (1998-2018) de registros; y así generando y diseñando una estructura protegida basada en las condiciones climáticas de la zona de estudio. Las variables climáticas fueron medidas por cinco data logger (sensores) distribuidos dentro de la estructura. Se observa la estación meteorológica externa para el registro de los datos agroclimáticos a campo abierto.

Temperatura y humedad relativa

Se presentaron los valores medio, mínimo y máximo de temperatura (°C) registrados en estructura protegida (casa malla + invernadero) y en parcelas a campo abierto, durante el ciclo de cultivo de tres variedades de pimiento (*Capsicum annuum* L.).

La temperatura osciló entre 20.0 y 39.8 °C en casa malla, 18.9 y 41.5 °C en invernadero y entre 20.3 y 36.2 a campo abierto. La temperatura media fue superior en el invernadero (28.2 °C), con respecto a casa malla (27.4 °C) y a campo abierto (27.3). La humedad relativa (HR) osciló entre 46 y 90 % en casa malla, 32 y 100 % en invernadero y entre 30 y 97 a campo abierto. Los valores promedios de HR registrados en los sistemas de producción anteriores, fueron de 81 %, 84 % y 75 %, respectivamente.

La temperatura se redujo dos grados en el tiempo, es decir de 29 °C en septiembre a 27 °C en octubre en casa malla y un grado en invernadero, de 29 °C a 28 °C, sin embargo, a campo abierto se incrementó un grado al final del ciclo del cultivo. Con respecto a la humedad relativa, se observa que esta variable se redujo en el tiempo en los tres sistemas de cultivo. Se presentaron los registros promedios de temperatura (°C) y humedad relativa (%) por hora en casa malla, invernadero y campo abierto, respectivamente, establecidos con tres



variedades de pimiento (*Capsicum annuum* L.) durante el periodo septiembre- noviembre 2021. Se observa que la temperatura se mantuvo estable en las horas de la madrugada y las primeras horas de la mañana (00:00 a 07:00 hrs) en los tres sistemas. Sin embargo, los mayores incrementos de temperatura se registraron entre las 09:00 y 18:00 hrs del día. El comportamiento de la humedad estuvo en función a la temperatura, en la medida de que la temperatura aumentaba, la humedad relativa se redujo.

Radiación solar

Se presenta valores medio, mínimo y máximo de radiación solar (W/m^2) registrados en el invernadero y a campo abierto. La radiación máxima en invernadero fue de $687 W/m^2$, y el registro medio fue de $113 w/m^2$. En cuanto a campo abierto, el registro máximo de radiación fue de $1041 W/m^2$ y el registro medio de $203 W/m^2$.

SRD= radiación solar

Se observa una máxima radiación en el intervalo de horas de 08;00 a 17:00 hrs, tanto en el interior de la estructura, como en el exterior, sin embargo, en la estructura la radiación es menor.

En general, la radiación solar en el exterior es superior que la del interior del invernadero, no obstante, en campo abierto la tendencia cambia al marcar un descenso en octubre y un ascenso en noviembre, contrario a lo ocurrido en el invernadero.

Se presenta valores medio, mínimo y máximo de velocidad del viento registrados en parcelas a campo abierto, durante el ciclo de cultivo de tres variedades de pimiento (*Capsicum annuum* L.). La velocidad del viento osciló en 0 y 19.3 m/s y registró un valor medio de 0.35 m/s.


Se presenta la frecuencia absoluta de la variable climática dirección de viento registrado en el exterior de la estructura protegida (parcelas a campo abierto). Las más frecuentes fueron: Este-Sureste (ESE), Este-Noreste (ENE) y Este (E), durante el ciclo de los cultivos.

Determinar la rentabilidad de cultivares de ajíes en las estructuras protegidas y en campo abierto.

Rentabilidad

A los resultados agronómicos se le realizó un análisis económico donde se evaluaron 9 tratamientos con el objetivo de determinar los rendimientos comerciales de los cultivares de ajíes cultivados en estructuras bajo ambiente protegido (EBAP) y a campo abierto. El criterio de manejo fue homogéneo para los cultivares, pero se buscaba determinar que cultivar y en qué modalidad es más conveniente producir el ají de manera que al recomendarlo para la producción, estos se ajusten a los objetivos e intereses de los productores, que son los beneficios netos.

El manejo agronómico solo varía con diferencias en el costo del material de siembra donde la semilla del ají morrón tiene un precio mayor (RD\$215.50) que el cubanela (RD\$21.58) y el ají picante (RD\$11.77), también existe diferencia en la mano de obra utilizada en los diferentes cultivares, lo cual la exigencia de cultivo puede sugerir diferencias en cuanto a número de labores en el cultivo y cantidad de obreros. El costo de la cobertura resultó con



mayor precio el plástico (RD\$38.75) que la casa malla (RD\$16.13) En este análisis se encontró como varían los costos y los beneficios netos obtenidos según cultivo y tipo de estructura y en campo abierto. El cálculo de las proporciones de acuerdo con los costos totales variables (que varían) que el costo del material de siembra o de semillas del ají morrón representa 91.19% en la estructura de casa malla, 83.22% en invernaderos y 97.95% en campo abierto, lo que indica el alto costo de inicio de la producción en cuanto al material de siembra (ají morrón). En cubanela, el costo del material de siembra representa 49.15% en casa malla, 32.44% en invernadero y 77.68% en campo abierto. En Ají picante, el costo de material de siembra representa 35.66% en casa malla, 21.16% en invernadero y 69.77% en campo abierto.

Presupuesto parcial

Se presenta el análisis de presupuesto parcial donde se puede observar los costos que varían y los beneficios netos obtenidos por metro cuadrado en pesos dominicanos.

Análisis de dominancia

En el análisis de dominancia realizado se observó que la mejor alternativa económica es el ají picante cultivado en casa malla siendo dominados los tratamientos ají morrón en casa malla (AM-CM), ají cubanela en casa malla (AC-CM), ají morrón en invernaderos (AM-I), ají cubanela en invernadero (AC-I), ají morrón a campo abierto (AM-CA), ají picante a campo abierto (AP-CA) y ají cubanela a campo abierto (AC-CA), éstos fueron dominados por tener mayores costos variables (CV) y menores ingresos netos o beneficios netos (BN).

DISCUSIÓN


Producción:

Esta investigación difiere de la reportada por Montes (2021), ya que ésta encontró que las mayores cantidades de frutos y rendimientos comerciales en el cultivo del ají fueron obtenidas en casa malla. Sin embargo, en esta investigación las mayores cantidades de frutos y rendimientos comerciales fueron obtenidos en el sistema de producción de invernadero. Esta investigación coincide con la reportada por Figueredo (2021), ya que ésta encontró el mayor rendimiento en invernadero (31,467 kg/ha) con relación a campo abierto (7,777 kg/ha). Asimismo, ocurrió en esta investigación, ya que el mayor rendimiento fue obtenido en el sistema de producción de invernadero con relación al campo abierto.

Desarrollo de la planta:

Esta investigación difiere con la reportada por Montes (2021), ya que ésta encontró en el cultivo del ají las mayores alturas de las plantas y diámetro del tallo en casa malla. Sin embargo, en esta investigación las mayores alturas de plantas y diámetro del tallo fueron obtenidos en el sistema de producción de invernadero.

Calidad de los frutos:



Esta investigación difiere con la reportada por Figueredo (2021), ya que ésta encontró que los sistemas de producción evaluados (invernadero y campo abierto) no afectaron significativamente el diámetro del fruto de los cultivares de ajíes evaluados (California wonder, Yolo wonder y Mercury). Sin embargo, en esta investigación si hubo interacción entre los sistemas de producción y los cultivares de ajíes estudiados (ajíes Cubanela, Morrón y Picante).

Plagas insectiles:

En todos los sistemas de producción hubo incidencia de plagas. El insecto plaga de mayor incidencia en los cultivares y los tipos de estructura fue la especie *Thrips parvispinus* y *Bemisia tabaci*, esta última con muy baja incidencia. En el sistema campo abierto además de estas dos especies también se observaron otras especies en poblaciones muy bajas (ver otras especies asociadas). La incidencia de estas plagas insectiles coincide con el reporte realizado por Álvarez (2012) quien reporta la presencia de trips y mosca blanca afectando el cultivo de pimiento producido en invernadero. Montes (2021) también reporta la incidencia de *B. tabaci* en la evaluación de la ecofisiología de dos cultivares de pimentón en condiciones de agricultura protegida. Gómez y Payares (2020) también reportan la presencia de mosca blanca en un estudio agronómico de ají pimiento realizado a campo abierto.

Enfermedades:

Tamayo (2013) presentó en investigaciones realizadas en la producción de pimentón manchas foliares causada por el hongo *Cercospora capsici*, *Alternaria tenuis*, *Cladosporium herbarum*, *Colletotrichum capsici* en hojas, tallos y frutos. También son similares a los de), ya que reportaron los hongos *Alternaria solani*, *Cercospora capsici*, *Colletotrichum gloeosporioides*, *Cladosporium fulvum* en el cultivo de pimentón. También Huaman et al (2019) reportaron la incidencia de 3.8 % y 8.3 % respectivamente de *Fusarium sp.*, la cual causa pudrición vascular en ají morrón en invernadero.

Climáticas:

Con respecto a la temperatura, hubo diferencias entre las temperaturas internas del invernadero, las temperaturas externas y las internas en la malla sombra. La temperatura en el interior de la casa malla fue similar a la temperatura externa medida. Según Papadakis et al. (2000), hay una acumulación de calor reducida en el invernadero debido a las pérdidas a través de la cubierta, en base al coeficiente global de transferencia de calor del invernadero. Esto se ve afectado por muchos factores, incluidos el tipo y el estado de la cubierta, la fuga de aire, el intercambio de radiación de onda larga y el área del material de cubierta.



Sistema de producción:

Las plantas en el exterior y en casa malla tuvieron menor crecimiento que las establecidas en el invernadero. Dado que las condiciones eran similares a las del exterior, las plantas estuvieron expuestas a baja humedad y altas temperaturas durante el día. Por la noche, las temperaturas a menudo estaban por debajo del nivel mínimo aceptable para la producción de pimiento, lo que restringía el crecimiento óptimo de las plantas en términos de tamaño y peso. La cantidad y calidad de la luz que se permite a través de la cubierta del invernadero también es importante para el desarrollo de la planta (González-Real y Baille, 2006). No se realizaron mediciones de luz en la casa malla.


Rentabilidad:

En esta investigación se obtuvieron las variables económicas del ají picante, el cual fue el cultivo que resultó no dominado y por tanto la única alternativa económica. Esto sugiere no realizar el análisis de la tasa de retorno marginal. Los Beneficios Netos resultaron en RD\$40.31 con un Costo Total que varía de RD\$33.00 por metro cuadrado. Al dividir el Beneficio Neto sobre los Costos totales que varían se obtiene el indicador económico B/C de 1.2 donde se explica que por cada unidad invertida se obtiene de beneficio RD\$1.2. Según Reyes, J. (2014) la rentabilidad es la relación entre el beneficio después de impuestos o excedente económico y el capital invertido en un tiempo determinado, cuando esta relación es inferior al 100 por ciento se rechaza el proyecto. La relación entre el beneficio y costo actualizado es el indicador de la ganancia obtenida por cada peso aplicado en el proyecto en el tiempo.

Los beneficios netos más altos se obtuvieron con el ají cubanela en invernadero, resultando dominado el ají picante en invernadero. Los costos que varían fueron mayores en el ají cubanela sobre el ají picante en invernadero, pero el ingreso mayor se obtuvo con el cubanela. La tasa de retorno marginal (TRM) fue de alrededor 800% en el cubanela, lo que indica que por cada peso invertido se obtiene 8 pesos adicionales, la TRM fue 139% en el ají picante dominado. El cultivo recomendado en este ciclo fue el ají cubanela en invernadero sobre el ají picante.

Panamá

El experimento se realizó en la Estación Experimental El Ejido del Instituto de Innovación Agropecuaria de Panamá (IDIAP), ubicada en la localidad de El Ejido, en la provincia de Los Santos. El lugar se encuentra a 7, °54'42" latitud norte y 80° 22 '09" longitud oeste, a 26 msnm. Según las zonas de vida Holdridge (Holdridge, 1982), el sitio experimental se encuentra dentro de la zona correspondiente al bosque seco tropical (Bs-T). Con temperatura media anual entre 27 y 28 °C, y una precipitación media anual entre los 1.100 mm y los 1.650 mm, distribuidos principalmente en siete meses, de mayo a noviembre. El



promedio de velocidad de viento es de 1,2 m/s.

Caracterización edáfica

Previo a la siembra del ensayo, se tomó una muestra de suelo para su análisis. La muestra compuesta de 0 a 20 cm de profundidad en cada uno de los bloques. Las muestras fueron homogeneizadas y enviadas para su análisis al laboratorio de suelos del IDIAP CIA- Central. El análisis de pH indicó que son suelos ácidos en ambos sistemas productivos (5 - 5.2) pero con bajo contenido de aluminio (Al), de textura arcillosa. Suelos bajos en fósforo (P), potasio (K), magnesio (Mg) y altos en calcio (Ca). El contenido de materia orgánica (MO) fue similar en los dos sistemas productivos.

Características climáticas

El promedio de velocidad más alta se presenta en los meses de diciembre a marzo con velocidades promedios de 1.33 a 2.61 m/s con velocidades máximas cercanas o superiores a 10 m/s. El resto de los meses del año se tienen velocidades promedio por debajo de 1.0 m/s y máximos alrededor de 6 a 10 m/s. Para el registro de las variables climáticas durante el estudio, se instalaron cinco sensores Spectrum - Campbell™, en cinco áreas o secciones del multitúnel a 1.5 metros de altura del suelo, 3.0 metros del borde en cada sensor.

En la parte externa del multitúnel se instaló una estación meteorológica ubicada a 50 m y a una altura de 1.50 m. El registro de la información climática se inició 10 días antes de la siembra del cultivo seleccionado. El registro de datos se programó cada 10 minutos tanto en los sensores internos como en la estación meteorológica externa.

Tratamientos y diseño experimental

Los tratamientos fueron dispuestos en Diseño de Bloques Completos al Azar en arreglo factorial en franjas, con dos factores:

Factor A parcela principal: 2 sistemas de cultivo


- Ambiente protegido (multitúnel).
- Campo abierto

Factor B subparcelas: 3 variedades de calabacín

- Verde Compacta (VC)
- Virginia 3 (V)
- Black Beauty (S)

La unidad experimental consistió en tres surcos de 4.5 m de largo a una densidad teórica de 1.1 plantas m⁻². Esto se obtuvo con una distancia de siembra de 1 m entre hilera y 0.9 m entre plantas y un área efectiva de 3 plantas de la hilera central, dejando a cada lado una planta para evitar el efecto de borde. Se utilizaron 360 plantas por ciclo de cultivo, 720 plantas en total en los dos sistemas, protegido y campo abierto. Para el control de las arvenses se utilizó acolchado plástico (negro plata) y manual para aquellas que se escaparon de este control.

Durante el periodo de cultivo se realizaron muestreos directos e indirectos mediante el uso de trampas de colores cuadrículadas (blancas, azules y amarillas) para determinar la presencia de insectos vectores, en total se instalaron nueve trampas, tres de cada color en



el interior del multitúnel y en el exterior. Se instaló una trampa ultravioleta, encendido con sensor fotocelda, esto permitió determinar la diversidad de insectos fitófagos en el cultivo de calabacín.

Los muestreos fueron realizados semanalmente a partir del trasplante. Se siguieron medidas de vigilancia y prácticas regulatorias establecidas durante el desarrollo del cultivo. La identificación de los especímenes se realizó siguiendo claves taxonómicas existentes y cotejados en colección de entomología del CIA-Central.

Se procedió hacer una prospección de las arvenses en el interior y exterior del multitúnel, muestreando toda el área que corresponde a 1040 m² antes del establecimiento del cultivo y durante el desarrollo de éste. La identificación de las especies se realizó en el laboratorio de la Estación Experimental del IDIAP en El Ejido, provincia de Los Santos.

Para la identificación y determinación de la incidencia de enfermedades fúngicas foliares, se realizaron muestreos con una frecuencia semanal, a partir del 9 de diciembre de 2021 hasta el 2 de febrero de 2022. En cada unidad experimental, se evaluaron 5 plantas por variedad y se calculó el porcentaje de incidencia de las enfermedades fúngicas foliares.

Con las plantas que mostraron síntomas asociadas a enfermedades fúngicas foliares, se procedió a coleccionar muestras de follaje que posteriormente se trasladaron al Laboratorio de Protección Vegetal (LPV) del CIAD. En el LPV, a partir de las muestras con síntomas, se prepararon montajes que se observaron en un microscopio óptico de campo claro, con cámara digital para identificar los hongos fitopatógenos.

Las variables evaluadas fueron Rendimiento: Frutos por planta (FRPTA), rendimiento por metro cuadrado (kg/m²), rendimiento por planta en Kg, peso promedio en kg (RENPT), peso promedio por fruto en kg (PEFRU). Altura de la planta (ALT):

Índice de Vegetación Diferencial Normalizada (NDVI): lectura con un sensor portátil GreenSeeker™, a una altura constante de 60 cm sobre el dosel de la planta. Temperatura, humedad relativa, radiación Solar, velocidad del viento

Se realizó un análisis descriptivo, se verificaron los supuestos de normalidad (Shapiro-Wilk) y homogeneidad de varianza (Levene). Se procedió al análisis de varianza, para variables cuantitativas continuas, mencionadas en la sección anterior. Para la diferenciación estadística ($P \leq 0.05$) entre las variables; para separar las medias, se utilizó la prueba de Diferencia Mínima Significativa (DMS).


Las variaciones de datos de temperatura, humedad relativa y radiación se interpretaron en forma gráfica, a través de los valores máximos y mínimos en promedio durante las 24 horas del día.

Se registraron los costos variables para cada sistema de manejo: protegido y campo abierto y el precio de mercado obtenido por kilogramo de fruta, según datos obtenidos de IMA del precio del calabacín (Instituto de Mercadeo Agropecuario [IMA], 2021). Posteriormente, se realizó un análisis de presupuesto parcial para determinar la rentabilidad económica (CIMMYT, 1988).

Resultados

Evaluación entre sistemas productivos y variedades de calabacín durante dos ciclos productivos.

Sistemas: El análisis de varianza, indican que existió diferencias significativas entre los



sistemas productivos (SIS), para las variables rendimiento, peso promedio por planta y altura de planta en ambos ciclos y en las variables número de frutos por planta y NDVI en el primer ciclo, no así, en el segundo ciclo. En la variable peso promedio por fruto, no se encontró diferencia estadística entre los sistemas en ninguno de los dos ciclos.

- **Variedades:** el análisis de varianza indica que existió diferencia estadísticamente significativa en las variables frutos por planta, rendimiento y peso promedio por planta en ambos ciclos de cultivo. En las variables peso promedio por fruto y altura de planta, existió diferencia entre las variedades solo en el ciclo 1. Para la variable NDVI, no se encontró diferencia estadística entre las variedades en ninguno de los ciclos de cultivo.
- **Interacción variedades y sistemas:** No se encontró diferencia estadística en la interacción entre los sistemas de cultivo y las variedades evaluadas.
Cabe recalcar que, en el sistema productivo en campo abierto, la senescencia de las plantas de calabacines se produce antes que en ambiente protegido. La primera cosecha se inició a los 37 días después del trasplante (dds), siendo la variedad Virginia 3 (V) muy precoz, en relación con variedades Black beauty (S) y Verde compacta (VC), encontrándose diferencia entre los sistemas productivos.

Frutos por planta (FRPTA)

El sistema 1 (multitúnel), presentó un mayor número de frutos por planta con respecto al sistema 2 en campo abierto, con valores medios de 5.77 y 3.88 respectivamente en el ciclo 1, siendo estadísticamente diferente entre ellos y en el segundo ciclo 4.2 y 3.2 respectivamente, siendo estadísticamente similares entre ambos sistemas. La variedad Virginia (V), fue estadísticamente superior a las demás variedades evaluadas en ambos ciclos de cultivo, con 6.5 en el primer ciclo y 5.8 en el segundo ciclo.


Rendimiento en Kg por metro cuadrado (KG/M²)

El rendimiento por metro cuadrado fue superior estadísticamente en el sistema 1 (multitúnel) con 4.5 y 2.3 kg/m² en el ciclo 1 y 2 respectivamente, en comparación al sistema 2 a campo abierto, con 3.1 y 1.6 kg/m² en ciclo 1 y 2. Esto probablemente se deba a que se retarda el periodo de senescencia en ambientes protegidos en relación con el campo abierto, se reducen las pérdidas por efecto de las plagas. La variedad virginia 3 (V), superó estadísticamente en ambos ciclos a las variedades verde compacta (VC) y Black Beauty (S), evaluadas. La variedad Virginia 3, presenta una alta precocidad.

Rendimiento por planta kg (RENPT)

El sistema 1 (multitúnel) fue superior en cuanto a rendimiento por planta en ambos ciclos de cultivo, con 4.1 kg/planta en el ciclo 1 y 2.1 kg/planta en el ciclo 2, respecto al sistema 2 a campo abierto que presentó 2.8 kg/planta en el ciclo 1 y 1.4 kg/planta en el segundo ciclo. La variedad Virginia 3 (V), fue superior en ambos ciclos de cultivo a las variedades verde compacta (VC) y Black Beauty (S), en el rendimiento por planta.

Altura de planta



Hubo un efecto en el crecimiento de las plantas de calabacín, según el ambiente donde se cultivó, presentando la mayor longitud de planta el sistema 1 (multitúnel) respecto al sistema a campo abierto, con alturas de 144 y 91 cm respectivamente en el ciclo 1 y alturas de 100 y 82 cm respectivamente en el ciclo 2. La variedad Black Beauty (S) y Virginia 3 (V), presentaron mayor altura de planta en el primer ciclo, sin embargo, en el segundo ciclo no existió diferencia en altura entre las tres variedades evaluadas.

Índice de Vegetación Diferencial Normalizado (NDVI)

El Índice de Vegetación Diferencial Normalizado, mostro diferencias significativas en relación con los sistemas productivos evaluados ($P < 0.05$), donde el mayor valor NDVI se presentó en el sistema 1 (multitúnel) en el ciclo 1. Sin embargo, en el ciclo 2 fueron estadísticamente similares. No existió diferencia significativa entre las variedades evaluadas en los valores NDVI. Este índice nos indica la cantidad, calidad y desarrollo de la vegetación con base a la medición de la intensidad de la radiación de ciertas bandas del espectro electromagnético que la vegetación emite o refleja en cultivo de calabacín.

Arvenses asociadas al cultivo de calabacín. En el cultivo de calabacín, existe una gran biodiversidad de arvenses pero las familias botánicas más sobresaliente fueron: el 15% la familia, Poaceae (8 especies); 26 % Asteraceae y Euphorbiaceae (7 especies cada familia) y posteriormente las familias con el 17% Fabaceae, Malvaceae y Sterculiaceae (3 especies cada familia); 23% Amaranthaceae, Boraginaceae, Convolvulaceae, Cucurbitaceae, Cyperaceae y Solanaceae; (2 especies cada familia) y 19% Apocynaceae, Bignoniaceae, Capparidaceae, Onagraceae, Portulacaceae, Rubiaceae, Tiliaceae, Urticaceae, Violaceae y Zygophyllaceae (1 especie cada familia).

Enfermedades fúngicas. Durante el desarrollo del ensayo se detectó la presencia de dos enfermedades: mildiú veloso y mildiú polvoso.

Los primeros síntomas de mildiú veloso se observaron en el ensayo a campo abierto a partir del 4^{to} muestreo. Las variedades Black Beauty (S) y Verde compacta (VC) mostraron la mayor incidencia con 75% y 70%, respectivamente; mientras que la variedad Virginia 3 (V) manifestó la menor incidencia con un 40%. En el 5^{to} muestreo, las variedades Verde Compacta (VC) y Black Beauty (S) continuaron mostrando la mayor incidencia de la enfermedad con 95% y 85%, respectivamente; mientras que la variedad Virginia 3 (V) manifestó la menor incidencia con un 65%. En el 6^{to} muestreo, todas las variedades evaluadas alcanzaron el 100% de incidencia. En el ensayo en el multitúnel ninguna de las variedades evaluadas mostró síntomas de mildiú veloso.

Los primeros síntomas de mildiú polvoso se observaron en el ensayo en el multitúnel a partir del 6^{to} muestreo, y la variedad Black Beauty (S) mostró la mayor incidencia con un 20%, seguido de las variedades Verde compacta (VC) y Virginia 3 (V), ambas con 15%. En el 7^{mo} muestreo, la variedad Virginia 3 (V) mostró la mayor incidencia con un 70%, mientras que las variedades Verde Compacta (VC) y Black Beauty (S) manifestaron una menor incidencia, ambas con 40%. En el 8^{vo} muestreo, la variedad Virginia 3 (V) continuó mostrando la mayor incidencia con un 85%, mientras que las variedades Verde compacta

(VC) y Black Beauty (S) manifestaron una menor incidencia, ambas con 50%.

En el ensayo a campo abierto los síntomas de mildiú polvoso se manifestaron a partir del 7^{mo} muestreo, una semana posterior con respecto al ensayo en el multitúnel. La variedad Verde compacta (VC) mostró la mayor incidencia con un 25%, seguido de las variedades Black Beauty (S) y Virginia 3 (V), ambas con 15%. En el 8^{vo} muestreo, la variedad Virginia 3 (V) mostró la mayor incidencia con un 70%, mientras que las variedades Verde compacta (VC) y Black Beauty (S) manifestaron una menor incidencia, ambas con 45%. En el ensayo en campo abierto se observó que las plantas afectadas por mildiú vellosa posteriormente manifestaron síntomas de mildiú polvoso.

Enfermedades virales

Sintomatología asociada a enfermedades virales

En las plantas de calabacín que mostraron síntomas asociados a virus se observó importante reducción de crecimiento y en las hojas síntomas entre débiles y muy fuertes, entre estos, aclarado de venas, amarilleo, mosaico y fili morfismo (deformaciones foliares). Los síntomas en frutos también fueron muy espectaculares: abullonado y ampollas (protuberancias) que deforman por completo los calabacines. Por supuesto, los frutos no son comerciables y la pérdida de la cosecha puede completarse con una infección temprana.

Insectos del cultivo de calabacín

Riqueza de especies en el cultivo de calabacín


En total se recolectaron 1528 insectos, agrupados en 5 órdenes y 12 familias, donde la especie *Aphis gossypii* Glover fue la más abundante con 259 y 564 individuos en el primer y segundo ciclo respectivamente. Se realizaron 12 muestreos durante el primer ciclo de cultivo y 10 muestreos durante el segundo ciclo. El 97.70 % de los insectos fueron recolectados en campo abierto y el 2.29 % en el multitúnel. Taxonómicamente clasificados en 5 órdenes (Coleoptera, Hemiptera, Thysanoptera: Hymenoptera y Lepidoptera), 12 familias y 19 especies. De estos, el 26.31 % estuvo representado por fitófagos defoliadores (FD), 31.57 % por depredadores (De), 15.78 % por fitófagos especializados (FE), Barrenadores (Ba) 10.52 %; Polinizadores (Po) 10.52 % y Fitófagos chupadores (Fc) 5.26 %. En total 19 especies encontradas fueron asociadas al cultivo de calabacín en campo abierto, en tanto que, en el multitúnel, sólo dos especies.

Curvas de acumulación de especies

La curva de rarefacción de la muestra indica un alto valor de representatividad de las especies en el muestreo con un 95 % de confianza. La estimación del número de especies reales acumuladas estuvo por encima de 94.7 %. Para la recolecta 94.7 % de las especies, se debe realizar 10 muestreos, el esfuerzo de muestreo realizado en ciclo 1 fue de 12 muestreos en el primer ciclo y 10 muestreos en el segundo ciclo de cultivo.

Hubo mayor riqueza y abundancia en campo abierto, ciclo 1 (CA1), donde la distribución de la abundancia en los dos sitios mostró un notable dominio *Aphis gossypii*, seguido de *Diabrotica balteata* J.L. Leconte, 1865; alcanzando un número de individuos de 77 y 97 durante el ciclo de cultivo 1 y 2 respectivamente.

El índice de diversidad alfa en campo abierto demostró que existe una elevada diversidad



durante los dos ciclos de cultivo. El índice de Simpson (1-D) indica que fue mayor en campo abierto (CA1=0.7108; CA2=0.6261), en relación con el multitúnel (PM1=0.556, PM2=0.2708). Los valores indicados por Shannon-Wiener en CA1, $H' = 1.734$; CA2, $H' = 1.54$; en tanto que PM1, $H' = 0.7425$ y PM2, $H' = 0.4486$ respectivamente. La diversidad presente pudo estar influenciada por acciones de manipulación del hábitat lo que promueve la diversidad de insectos y grupos funcionales de insectos depredadores y polinizadores en el agroecosistema de calabacín.

Abundancia y frecuencia relativa

Se encontró que la especie fitófaga especializada *Aphis gossypii* Glover, fue muy abundante en campo abierto en los dos ciclos de cultivo de calabacín en CA1 y CA2, no se presentó esta especie en el interior del multitúnel. En tanto, que *Anasa scorbatica* y *Nannotrigona* sp fueron las especies más abundantes en el multitúnel en el primer y segundo ciclo (PM1 y PM2).

El Thrips palmi, fue encontrado abundante en calabacín 17.23 %, durante el primer ciclo del cultivo, y poco abundante durante el segundo ciclo de cultivo.


En cuanto a la frecuencia relativa las especies *Dibrotica balteata* (91.77 %), *T. palmi* (72.73 %), *A. gossypii* (63.64 %), *A. scorbatica* (36.36 %), fueron encontradas muy frecuentes en los dos ciclos de cultivo de calabacín. En el caso de *Diaphania nitidalis* registrada el 24 de enero durante el periodo de fructificación con frecuencia (27.75 %) en el primer ciclo y se incrementó su frecuencia relativa (50 %) durante el segundo ciclo productivo, causando daños en flores, frutos principalmente en variedad Virginia 3.

En el análisis de los grupos funcionales los insectos depredadores y polinizadores se presentaron muy frecuentes, durante los dos ciclos de cultivo. Dentro de los depredadores *Cycloneda sanguinea* CA1= 63.64 %, CA2 = 90 %, *Coleomegilla maculata* CA1= 36.36 %, CA2=50 %. En cuanto a polinizadores *A. mellifera* fue una especie muy abundante y frecuente en CA1 45.45 %, CA2= 80 % respectivamente. Un importante depredador encontrado fue *Orius insidiosus*, el cual es un importante depredador de Thrips palmi, y otros insectos vectores en cultivo de cucurbitáceas.

Efecto en la temperatura Ambiental.

Al analizar los resultados de la data climática ambiental externa e interna del multitúnel, se encontró que la temperatura promedio externa en los meses de noviembre a enero osciló entre 27.4 y 28.2 °C. Esta temperatura varió con la temperatura interna en un rango de 0.1 a 1.0°C, incluso en un mes la temperatura interna en la sección CD (lado más al norte de la multitúnel fue menor a la externa en 0.3 °C. La temperatura en la sección CD siempre fue menor a las otras dos secciones de la multitúnel, este resultado coincide con lo previsto de acuerdo con el modelo de simulación para diseñar la multitúnel.

Para determinar si hubo diferencias estadísticas entre las temperaturas externas e internas general y por sección, se realizó una prueba de t, previo a un análisis de homogeneidad de varianzas. Los resultados de esta prueba indicaron que no hay diferencias estadísticas en la temperatura para el promedio general (noviembre a enero) de las tres secciones internas y la temperatura externa. Este mismo resultado se encontró para los meses de noviembre y enero.



En el mes de diciembre si se encontró diferencias al 5% de significancia. Al analizar las tres secciones por separado se encontró que dos secciones (la central y la derecha AB) presentan diferencias al 1% con respecto a la externa.

Relación de la radiación y velocidad del viento externa sobre la temperatura y humedad relativa

Para determinar si existe relación entre las variables radiación solar y velocidad del viento sobre la temperatura interna de la multitúnel, se determinaron los coeficientes de correlación lineal (r) entre las mismas. Los resultados de este análisis indicaron que hay una mayor relación entre la radiación solar y la temperatura que la relación de esta última con la velocidad del viento. El coeficiente de correlación fue de 0.87 cuando se tomó en cuenta todo el periodo estudiado (noviembre a enero) la temperatura y la radiación, el mismo bajó a 0.50 cuando se relaciona con la velocidad del viento. Los coeficientes en los distintos puntos de la multitúnel fueron similares en las tres zonas, aunque se observa un ligero aumento en la correlación con la radiación en la zona más al sur de la multitúnel (zona AB) en comparación con las otras dos. Con relación a los meses en donde se llevó a cabo el estudio, noviembre presentó valores del coeficiente de correlación más altos.

En el exterior también se observó mayor relación entre la temperatura y la radiación solar que con la velocidad del viento (0.78 vs 0.61). Comparando los coeficientes con el interior, la relación con la velocidad del viento y temperatura fue superior en el exterior (0.61 vs 0.50), mientras que, con la radiación, en el interior de la multitúnel hay mejor correlación que a lo externo (0.87 vs 0.78).

Con relación a la humedad relativa a lo interno y fuera del multitúnel, se presentaron valores similares a la relación de ambas variables con respecto a la temperatura, pero con el cambio de signo de positivo a negativo.

La radiación solar a lo interno del multitúnel fue más baja ($4,033 \text{ Wm}^{-2}$) en comparación a la radiación medida en el exterior ($5,128 \text{ Wm}^{-2}$) en casi 1,100 Watts. En cuanto a la radiación mensual se observó un aumento del total de Watt/m² a medida que avanzaron los meses hacia la época seca, pasando de una media de 881 a $1,365 \text{ Wm}^{-2}$.

Análisis de variables ambientales

Las temperaturas durante las horas nocturnas no presentaron diferencias manteniendo valores de 24°C a 26°C, pero al iniciar las horas diurnas el comportamiento de las variables cambió desde el lado donde sale el sol (Este), aumentando hasta los 32°C promedio durante las horas del mediodía (12:00 pm a 3:00 pm). La estación meteorológica presentó una leve disminución de 1 a 2°C promedio en comparación a los sensores internos en las horas diurnas el mismo periodo de tiempo.

Los datos de humedad relativa nos permiten analizar que dicha variable climática presenta disminución de un 30% durante las horas del día, manteniendo un microclima aceptable para el desarrollo fisiológico, disminuyendo la incidencia de enfermedades fungosas. Lo contrario se presenta en los datos generados por la estación meteorológica, donde los datos de humedad se presentan con valores altos.

Los datos de la velocidad del viento durante las horas del día interactúan con la disminución y aumento de las temperaturas en el multitúnel. A mayor velocidad del viento disminuye la



temperatura interna (multitúnel) y aumenta al disminuir la velocidad del viento.

El comportamiento de la radiación solar presenta valores menores de (200 W/m^2), en el multitúnel (sensor central) en comparación con el exterior en las horas pico del día, lo que demuestra que la tecnología (plástico), utilizada es beneficiosa para el desarrollo fisiológico del cultivo.

Análisis económico de los modelos de producción

Para formular recomendaciones que sean adoptadas por los agricultores, no solo se debe considerar en las investigaciones, los elementos biológicos, sino también, elementos humanos de la agricultura. El presupuesto parcial es un método que permite organizar los datos experimentales con el fin de obtener costos y beneficios de los tratamientos (CIMMYT, 1988).

Para el análisis económico se consideró los resultados de la evaluación agronómica, el análisis estadístico y los costos de producción del calabacín en dos sistemas de producción: agricultura protegida (multitúnel) y campo abierto. Los rendimientos promedios del multitúnel superan en un 40%, los rendimientos campo abierto (testigo), por lo que se cumple con la premisa del modelo de análisis económico mediante el presupuesto parcial y tasa de retorno marginal de beneficios económicos entre sistemas productivos.

Rendimientos

Los rendimientos medios por planta (kg) logrados en el primer y segundo ciclo de producción para la variedad Virginia 3 (V), para ambos sistemas, se calcularon para un área de 520 m^2 , con una densidad de siembra de 1m entre surcos y 0.90 m entre plantas, lo cual permitió un total de 439 plantas.

De la variedad Virginia 3, en el sistema de agricultura protegida (1), se obtuvo de dos ciclos, rendimientos promedios de 5.350 kg/planta ($7.052 + 3.649 / 2$), lo que representa un rendimiento de $2348.76 \text{ kg}/520\text{m}^2$. Para el sistema de campo abierto (2) los rendimientos promedios fueron de 3.826 kg/planta , para una producción total de $1679.46 \text{ kg}/520\text{m}^2$.


Presupuesto Parcial

El rendimiento ajustado de cada tratamiento es el rendimiento promedio reducido, en este caso, en un 5%, con el fin de reflejar la diferencia entre el rendimiento experimental y el que el agricultor podría lograr en ese tratamiento.

Para determinar los beneficios brutos, se calcula multiplicando el rendimiento ajustado por el precio de B/. $1.52/\text{kg}$, referido por el Instituto de Mercadeo Agropecuario de Panamá (IMA, 2021).

El beneficio bruto en campo para el sistema de agricultura protegida fue de B/. 3391.61 y para el sistema de campo abierto se calculó en B/. 2425.12 .

Se identificaron los costos fijos y costos variables de producción de calabacín para campo abierto y para el multitúnel. Los costos que varían entre los tratamientos fueron mano de obra para la polinización, mano de obra para poda, mano de obra e insumos para control de plagas. El total de costos que varían para el multitúnel fue de B/. $262.37/520 \text{ m}^2$ y para campo abierto fue de B/. $182.10/520 \text{ m}^2$. Los beneficios netos, obtenidos por la diferencia



entre los beneficios brutos y los costos variables. Para el caso de los beneficios netos en el multitúnel son de B/.3129.24 y los de campo abierto por B/.2243.02.

Análisis Marginal

Los beneficios netos más altos se obtuvieron con la variedad Virginia 3 (V); En este caso el incremento de los costos que varían al pasar del sistema campo abierto al multitúnel para la variedad Virginia (S1-V) fue de B/.80.27 para aumentar los beneficios netos en B/.886.22 adicionales. En el análisis de dominancia resultaron cuatro tratamientos dominados: S2-S, S2-VC, S1-S, S1-VC.

Las alternativas dominadas se sitúan por debajo de la curva de beneficios netos, y las alternativas no dominadas se unen con una línea, las cuales se identificaron como S2-V y S1-V, lo que significa que cualquier tratamiento dentro del sistema protegido generará mejores beneficios que los obtenidos en campo abierto.

La tasa de retorno marginal de haber cambiado del tratamiento campo abierto-Virginia (S2-V) a sistema protegido-Virginia (S1-V) fue de 1107.8% lo que indica que, por cada dólar invertido, se espera obtener B/.11.07 adicionales.


DISCUSIÓN

El cultivo de calabacín en el multitúnel incrementó la calidad y producción de frutos por unidad de superficie con respecto al cultivo en campo abierto. Siendo la variedad Virginia 3, la que mostró mayor número de frutos por planta, peso por fruto y rendimiento (kg/m^2). En este sentido, Moreno-Reséndez et al., 2019, encontraron mayor número de frutos, en el sistema hidropónico de calabacín a los obtenidos en el multitúnel. Sin embargo, los frutos presentaron tamaños pequeños según clasificación (Ayala et al., 2020). Cabe destacar que la productividad de los cultivos depende de factores múltiples, ambientales y genéticos, los cuales, a la vez, dependen de múltiples procesos fisiológicos (Moreno-Reséndez et al., 2019).

En cuanto a la altura de las plantas y la lectura del NDVI, se encontró diferencias entre los sistemas productivos. Las plantas en interior tendieron a presentar mayores tamaños y desarrollo foliar, probablemente, debido a factores ambientales in situ que produjeron efecto sobre crecimiento y desarrollo de las plantas en relación con el cultivo en campo abierto. Estos resultados son similares a los obtenidos por García et al., (2015), sobre efecto de película plástica bajo invernadero, tendieron a incrementar la altura de plantas de tomate.

Un elemento innovador en el multitúnel fue el uso de cubierta plástica antitérmica, tecnología utilizada por primera vez en el país. De acuerdo con las propiedades físicas y ópticas de las películas de la cubierta de invernaderos, estas provocan cambios de la composición espectral luminosa transmitida, lo cual modifica el desarrollo de las plantas, en algunos casos, incrementa el rendimiento y la calidad de la producción agrícola y otros casos, puede producir el efecto contrario de acuerdo con la especie (García et al., 2015). Este importante factor pudo influir en el crecimiento y desarrollo foliar de las plantas de calabacín que produjo que se incrementara el número de podas durante el ciclo de cultivo del calabacín con relación a las realizadas en campo abierto.

La condición interna de temperatura existente en el multitúnel fue similar al exterior y



durante períodos que se incrementan los vientos, las condiciones internas en temperatura, son ligeramente inferiores al exterior. La experiencia con ventilación natural ha mostrado mayor eficiencia con relación a ventilaciones forzadas en circulación del aire, lo que se reflejó en las diferencias de temperatura en interior y exterior del multitúnel.


Según Pohlán (1984) las arvenses se definen por el número de individuos por unidad de área generalmente por metro cuadrado. Esto no refleja realmente la competitividad de las especies, en el cultivo de calabacín, sino que está regida por la distribución de las especies y las condiciones en que se encuentren para germinar en cualquier área. La abundancia de las arvenses depende de las condiciones agroclimáticas del lugar, del manejo que se le dé al cultivo, el que debido a sus características específicas requiere un manejo determinado (Bolaños Taleno, 1996). La gran abundancia y diversidad de las especies encontradas en la estación experimental de El Ejido, Los Santos, Panamá, se debe a que son suelos que tienen más de 30 años de estar trabajando con diferentes cultivos y utilizando varias estrategias de manejo de arvenses. También las arvenses tienen como mecanismo de supervivencia las semillas con latencias para perpetuarse en el tiempo, lo que explica la gran biodiversidad de especies encontradas. El manejo de arvenses resultó exitoso al utilizar cobertura plástica, porque hace un excelente control físico, además de economizar en el riego por la retención de humedad que realiza esta cobertura.

En cuanto a las enfermedades, el mildiú veloso, cuyo agente causal es el *P. cubensis*, presentó alta incidencia en todas las variedades evaluadas en el sistema de producción a campo abierto, debido a que la diseminación del patógeno se da a través del salpique de agua de lluvia o riego, viento, por herramientas contaminadas y por insectos (Zitter, 2004). Esta alta incidencia podría estar asociada a la presencia de lluvias esporádicas que se presentaron a finales del mes de diciembre de 2021 y principios de enero de 2022 en la localidad de El Ejido, Los Santos. Por otro lado, en el ensayo realizado en el multitúnel, no se observó síntomas del mildiú veloso en ninguna de las variedades evaluadas, esto podría atribuirse a que, en cultivos en ambiente protegido, la humedad puede controlarse evitando la presencia de agua libre y roció sobre el follaje de las plantas que favorece la infección de este patógeno.

En el mildiú polvoso, las infecciones primarias de *P. fuliginea* son causadas por las conidias, las cuales, pueden ser diseminadas por el viento, insectos y equipos agrícolas (Schultz y French-Monar, 2011). La infección de las conidias es inducida por una alta humedad relativa, sin embargo, pueden aparecer infecciones con humedades relativas inferiores al 50% (Zitter, 2004). La presencia del mildiú polvoso en la etapa final del ensayo en el multitúnel podría estar asociada a las condiciones favorables para el patógeno descritas antes.

En Panamá, se han reportado previamente tres especies dentro del género Potyvirus capaces de infectar a las cucurbitáceas: virus de las manchas anilladas de la papaya (PRSV), virus del mosaico de la sandía (WMV) y virus del mosaico amarillo del calabacín (ZYMV) (Herrera-Vásquez et al., 2013).

El género Potyvirus no fue detectado en el cultivo de calabacín producido en el interior del multitúnel, debido a que el mismo estaba cubierto con malla de 40 mesh, la cual impide la entrada de áfidos, vector de este grupo de virus (Herrera-Vásquez et al., 2013).



Por el contrario, la presencia de Potyvirus fue determinada en el cultivo de calabacín producido a campo abierto, ya que los áfidos pueden infectar libremente las plantas.

Solo dos cultivares, S y VC, resultaron infectados por Potyvirus a campo abierto, no así el cultivar V3. Una particularidad importante a tener en cuenta en el manejo de la resistencia y/o tolerancia de los cultivares, es que su eficacia va a estar muy condicionada en muchas ocasiones por la presión del vector y las condiciones ambientales del cultivo, ya que estas pueden condicionar la expresión de la resistencia.

El conocimiento de grupos funcionales en ambiente protegido y campo abierto establecerá las bases para el manejo de insectos en cultivo de calabacín. Es importante destacar, que en el multitúnel se mantuvo aislado el 90 % de las especies de insectos presentes en cultivo en campo abierto. Dentro de los fitófagos muy abundantes se observaron las chinillas, *Diabrotica balteata*, *Ceratoma sp.* y *Acalymma sp.* en campo, durante los dos ciclos productivos del calabacín. En efecto, estas tres especies *Diabrotica sp 1*, *Diabrotica sp 2* y *Ceratoma sp* probablemente sean nuevos registros en cultivo de calabacín en Panamá. No obstante, *Diabrotica balteata* es una especie polífaga, multivoltina mientras que los géneros *Ceratoma* y *Acalymma*, se encuentran dentro de los grupos monófagos (Eben y Espinosa, 2013; Pitre y Kantack, 1962). Algunos frutos de la variedad virginia 3, fueron encontrados afectados por *Erwinia sp.* La especie *Acalymma vittatum* es reportada como vector de *Erwinia tracheiphila* en cucurbitáceas (Eilers-Kirk y Fleicher, 2006). Por lo que pudiese estar asociado con la presencia de este insecto. Sin embargo, se conoce poco sobre las interacciones bacteria- escarabajo.

Los tratamientos aplicados en cultivo en campo abierto mantuvieron bajas las poblaciones promedias de adultos en campo, por debajo de los niveles críticos 0,6 a 1,0 adultos por planta (Cardona et al. 1982).

Durante el desarrollo del cultivo de calabacín, se presentaron dos especies de barrenadores, siendo estas *D. nitidalis* y *Melittia cucurbitae*. La presencia *D. nitidalis* produjo daños directos en frutos principalmente en la variedad Virginia 3 en campo abierto. *D. nitidalis* es un insecto oligófago, considerado una plaga clave de los cultivos de cucurbitáceas como: sandía, pepino y calabaza. Las variedades S y VC, fueron las menos afectadas por *D. nitidalis*. En este sentido, algunas variedades pudiesen producir respuestas defensivas tanto morfológicas, fisiológicas y /o químicas a través de metabolitos secundarios de las plantas (Romero et al., 2020; Mouden y Leiss, 2021).

Las altas poblaciones de *A. gossypii* redujo el vigor de la planta de calabacín. Esta especie se encontró muy abundante durante el ciclo de cultivo de calabacín y es considerado un vector eficiente en la transmisión de Potyvirus. Su presencia no fue observada en etapas iniciales del cultivo. Cabe señalar que, en etapas iniciales de desarrollo, el calabacín es susceptible. El manejo realizado, logró evitar las poblaciones altas de pulgones, y reducir considerablemente la incidencia del virus en campo abierto. Dentro de los enemigos naturales de áfidos encontrados en campo abierto, estuvo *Cycloneda sanguinea* y *Coleomegilla maculata*, que impactó poblaciones de áfidos, lo que da indicios de la eficacia del control biológico conservativo. Existen reportes que *Coleomegilla maculata* se alimenta de *A. gossypii* (Rondón et al., 2005). Debemos resaltar, las bondades que ofrece la horticultura protegida en reducción de insectos vectores, cultivar en zonas aisladas, aun en zonas rodeadas de campos con alta infestación en condiciones desfavorables.



En sistemas protegidos los polinizadores son un factor limitante, aun cuando se logró alta eficacia con la polinización artificial, se incrementaron los costos de producción. Existen especies nativas como *Nannotrigona sp.*, que pudiesen ser una alternativa al uso de *Apis mellifera* de origen africano altamente defensivo o abejorro no nativos *Bombus spp.* (Cauch et al., 2004). Sin embargo, se requieren mayores estudios sobre aclimatación, comportamiento de forrajeo y eficiencia de polinización de abeja sin aguijón, evaluar el costo / beneficio de la polinización a gran escala en plantas de calabacín y otras plantas cultivadas en ambientes protegidos.

Durante el desarrollo de la actividad, las temperaturas internas y externas en el multitúnel se mantuvieron con diferencias de 1 a 2°C, de noviembre de 2021 a febrero 2022, todo esto sujeto a la velocidad del viento durante los meses del desarrollo del cultivo (valores bajos de 1m/s y los altos en 10 m/s). En ambos sistemas, las temperaturas no excedieron los 35°C, lo que favoreció el desarrollo del cultivo, ya que temperaturas superiores a 35 °C producen daño a la planta por deshidratación (Reche, 2000). Durante las etapas de crecimiento vegetativo y floración, es importante que las temperaturas no excedan ese límite durante periodos prolongados, ya que la polinización y formación del fruto se afectan drásticamente (Bojacá et al., 2012).

La humedad relativa dentro del multitúnel mantuvo valores aceptables fisiológicamente (0% de enfermedades fungosas), en comparación con el exterior, donde se presentó un aumento en la incidencia. La humedad óptima para el cultivo del calabacín en invernadero oscila entre el 65% y el 80% (Reche, 2000), sin embargo, cuando la humedad relativa es mayor al 80% existe el riesgo de caída de flores por falta de fecundación, ya que el polen se humedece y no cumple su función reproductiva; también pueden aumentar las enfermedades foliares, en frutos y en raíces (Jaramillo et al., 2019).

La radiación solar fuerte para la época en la zona presenta valores por debajo de lo normal (-40%), en el multitúnel, corroborando las tecnologías del plástico utilizado. Todas estas mejoras, contribuyeron al desarrollo fisiológico eficiente del cultivo y fortalecen los conocimientos en los sistemas productivos.

La relación, clima y rendimiento del calabacín, es factible dentro del multitúnel, como lo justifica el poco ataque de hongos, bacterias, y virus. Las interacciones ambientales controladas, las alternativas de producción más limpias, aunado a la calidad de frutos obtenidos, demuestran que la vida anaquel post cosecha, satisface las alternativas comerciales de los consumidores.


El CIMMYT (1988) sugiere que, para hacer recomendaciones a los agricultores, los investigadores deben tener la capacidad de evaluar y recomendar alternativas tecnológicas considerando tres premisas: los agricultores se interesan en costos y beneficios de las tecnologías, generalmente adoptan las innovaciones paso a paso y consideran como riesgo la adopción de nuevas tecnologías.

En la evaluación de variedades de calabacín, el análisis de presupuesto parcial permitió obtener de forma precisa y sistematizada, los costos variables asociados entre el sistema de campo abierto y agricultura protegida. Avalos y Villalobos (2018) enfatizaron que, para el proceso de toma de decisiones agrícolas, se requiere de análisis económicos con menores esfuerzos de sistematización de la información. A partir de las variables de beneficios netos, fue posible determinar la dominancia de los tratamientos, jerarquizando los tratamientos



según la magnitud de los costos variables de producción de calabacín en campo abierto y en agricultura protegida.

Para Reyes-Hernández (2001) el análisis de presupuesto parcial facilita la comprensión de las opciones económicas de maximizar los beneficios posibles para el productor.



COMPONENTE 3: Gestión del conocimiento y fortalecimiento de capacidades en innovaciones de horticultura protegida.

En este componente se establecieron las siguientes actividades: (I) Actividad 3.1 Gestión de conocimiento de las innovaciones en horticultura en condiciones de ambiente protegido. (II) Actividad 3.2 Fortalecimiento de capacidades en innovaciones en horticultura bajo condiciones de ambiente protegido.


Con el desarrollo de estas dos actividades se lograron los objetivos de componente que se plasmaron en los siguientes productos; (I) Producto 6: Publicaciones científicas, cartillas y/o folletos. (II) Producto 7: Plataforma de conocimiento en micrositio de la página web FONTAGRO. (III) Producto 8: Talleres organizados y (IV) Producto 9: Individuos

Producto 4. Recomendaciones para la promoción de estrategias de intensificación sostenible de la horticultura en condiciones de ambiente protegido.

Este documento pretende dar los lineamientos para promover el desarrollo de la horticultura en ambientes protegidos (AP) en ALC, mediante la descripción de las diferentes etapas metodológicas para la evaluación, ajuste y validación de tecnologías desarrolladas en el proyecto,

Las metodologías que se proponen en el documento comprenden las siguientes etapas: Diagnóstico socioeconómico de la cadena de hortalizas, proceso de investigación aplicado para cada país que abarca el componente agroclimático, diseños de estructuras, priorización y validación de materiales genéticos promisorios, evaluación del comportamiento de especies y materiales hortícolas bajo diferentes condiciones de ambiente protegido comparado con campo abierto. Con la finalidad de establecer indicadores de productividad, fisiológicos y económicos que permitan para cada región definir la mejor estructura para el desarrollo de hortalizas bajo ambiente protegido, brindando alternativas de producción y aporte a la agricultura familiar y seguridad alimentaria en ALC. Adicional a lo anterior, esta propuesta ofrece opciones para la gestión y vinculación del conocimiento de los resultados obtenidos en el proyecto, a través de las diferentes herramientas tecnológicas disponibles y de actividades de transferencia de tecnología y fortalecimiento de capacidades de los productores y la articulación efectiva de las entidades que apoyan el sector hortícola en cada uno de los países.

Este documento complementa el trabajo realizado en el taller internacional denominado “Gestión de la información agroclimática, modelación de estructuras e indicadores de sostenibilidad de la Agricultura en ambientes Protegidos en ALC” llevado a cabo en Guanacaste, Costa Rica entre el 27 de noviembre y 1 de diciembre del 2017 , con el apoyo



financiero de FONTAGRO y con participación de investigadores de CORPOICA ahora AGROSAVIA, Colombia, INTA, Costa Rica e IDIAP, Panamá y la Universidad de Florida, Estados Unidos que tuvo como objetivo general, compartir experiencias en la gestión de la información agroclimática para la modelación y diseño de estructuras y evaluación de los beneficios económicos, sociales, ambientales y humanos de la agricultura en ambientes protegidos en ALC.


A partir de este taller quedó el compromiso de generar un documento guía que sirva de referente en Latinoamérica para: i) uso de información agroclimática y su aplicación en herramientas de modelado y simulación utilizadas en el diseño y optimización de estructuras para sistemas hortícolas de agricultura protegida y ii) los beneficios económicos, sociales y ambientales de la agricultura en ambientes protegidos; el cual fue entregado pero no se encuentra aún publicado y sirve de apoyo para la construcción del documento de estrategias de promoción de la horticultura en ALC.

Este documento complementa además otro producto del proyecto denominado: “Propuesta de escalamiento de la agricultura protegida en ALC”, elaborado para que los organismos tomadores de decisiones tengan herramientas para fomentar, apoyar, impulsar y desarrollar en sus respectivos países la agricultura bajo ambientes protegidos, como una opción de mitigación e incremento de la resiliencia de los sistemas agrícolas al cambio climático para incrementar la seguridad Alimentaria, la calidad nutricional de los productos hortícolas y la mayor inocuidad de los mismos, favoreciendo el nivel de vida de las poblaciones rurales y urbanas.

Este documento pretende dar los lineamientos para promover el desarrollo de la horticultura en ambientes protegidos (AP) en ALC, mediante la descripción de las diferentes etapas metodológicas para la evaluación, ajuste y validación de tecnologías desarrolladas en el proyecto, **“Innovaciones para la horticultura en ambientes protegidos en zonas cálidas: opción de intensificación sostenible de la agricultura familiar en el contexto de cambio climático en ALC”**, financiado por FONTAGRO y que tiene la finalidad de contribuir al mejoramiento de la competitividad de los sistemas hortícolas de agricultura familiar a través de innovaciones tecnológicas para la intensificación y diversificación sostenible de la producción bajo condiciones protegidas.

Producto 5. Propuesta de escalamiento de la agricultura protegida en ALC.

Este documento consta de las ventajas de los sistemas de agricultura bajo sistemas en condiciones protegidas, el contexto de la agricultura protegida en cada uno de los países participantes de este proyecto y la Propuesta de escalamiento mediante políticas públicas de la agricultura en ambientes protegidos. La metodología de construcción de este producto consistió en el análisis de información de cada una de las entidades y países



aliados: INTA – Costa Rica, IDIAF – República Dominicana, IDIAP – Panamá y AGROSAVIA – Colombia, y en el trabajo conjunto y continuo para llegar al consenso de la propuesta como tal. Se espera que este documento sea complemento de otros productos entregados a FONTAGRO, para que permita a los organismos tomadores de decisiones fomentar e implementar la agricultura protegida.

En este documento se presenta una propuesta de escalamiento mediante políticas públicas, que permita a los organismos tomadores de decisiones fomentar, apoyar, impulsar y desarrollar en sus respectivos países la agricultura bajo ambientes protegidos, como una opción de mitigación e incremento de la resiliencia de los sistemas agrícolas al cambio climático para incrementar la seguridad Alimentaria, la calidad nutricional de los productos hortícolas y la mayor inocuidad de los mismos, favoreciendo el nivel de vida de las poblaciones rurales y urbanas.

A partir de la información consultada por las instituciones ejecutoras y aliadas de este proyecto, en los diferentes países, se encontró que Costa Rica, Panamá y República Dominicana cuentan con normatividad (resoluciones, decretos etc.,) que aportan al desarrollo de la agricultura bajo ambientes protegidos, fortalecen la adaptación de los sistemas productivos hortícolas y de otros sistemas a los efectos de la variabilidad y el cambio climático. No obstante, lo anterior, se requiere plantear lineamientos de política con fundamento técnico para el fomento de este tipo de agricultura en los diferentes países. La agricultura en ambientes protegidos AAP, se realiza con la finalidad de evitar las restricciones que el medio ambiente impone al desarrollo de las plantas, por lo cual, se minimiza el impacto que la variabilidad y el cambio climático ocasionan a los cultivos. Bajo este sistema tecnificado los agricultores logran productos de excelente calidad, en cualquier época del año, disminuyendo el riesgo de daños por factores climáticos y plagas (MIDA, 2019), o en general por factores bióticos o abióticos.


Producto 6: Publicaciones científicas, cartillas y/o folletos.

Durante el desarrollo del proyecto y gracias a los resultados de investigación generados por el mismo, en el marco de este producto se entregaron 3 notas técnicas y un manual los cuales se describen a continuación:

Nota técnica: artículos científicos

Estos artículos permiten divulgar los resultados de la investigación desarrollados en el marco del proyecto, haciendo un gran aporte a la generación del conocimiento y contribuyendo a que otros investigadores avancen en el área de la horticultura protegida en América Latina y el Caribe.

Los artículos generados en su mayoría tratan sobre el componente de diseño de estructuras para la producción de hortalizas bajo ambientes protegidos y se enfocan en generar y validar una metodología para determinar el diseño y posterior comportamiento micro climático mediante herramientas de dinámica de fluidos computacional (CFD). Por lo tanto, en el proyecto también se priorizó la publicación de cada uno de los avances que se iban obteniendo en cada uno de los 4 países miembros de esta iniciativa, de tal forma que se publicaron un total de 9 artículos donde se discuten aspectos relevantes de los modelos



numéricos plantados y de la validación experimental de las estructuras diseñadas para; Colombia, Costa Rica, República Dominicana y Panamá.

A la fecha de entrega de este producto, se encuentran 9 artículos ya publicados y uno en proceso de publicación, para un total de 10 artículos científicos. Los papers publicados se pueden encontrar en diversas revistas académicas internacionales de alto impacto; todos los documentos se encuentran en acceso abierto

A continuación, se enumeran los artículos arriba mencionados con el enlace de acceso a las revistas y plataformas en las que se encuentran publicados.

Artículo 1. Simulación del Comportamiento Térmico y Aerodinámico de una Casa de Malla Establecida bajo Condiciones de Clima Cálido Tropical: Un Enfoque Numérico

Enlace: <https://www.iieta.org/journals/ijmdp/paper/10.18280/ijmdp.150409cc>

Artículo 2. Comportamiento micro climático de una casa pantalla propuesta para la producción hortícola en condiciones de clima tropical de baja altitud.

Enlace: <https://www.comunicatascientiae.com.br/comunicata/article/view/3350>

Artículo 3. Ventilación natural en invernadero con mallas anti-insecto evaluadas con un modelo computacional de fluidos.

Enlace: <https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/agromeso/article/view/40782>

Artículo 4. Análisis Numérico 3D del Comportamiento de la Ventilación Natural en un Invernadero Colombiano Establecido en Condiciones de Clima Cálido

Enlace: <https://www.mdpi.com/2071-1050/12/19/8101>

Artículo 5. Comportamiento micro climático diurno, en temporada seca, de tres estructuras para agricultura protegida en el trópico seco.

Enlace: <https://revistas.uned.ac.cr/index.php/cuadernos/article/view/2854>

Artículo 6. implementación de torres de ventilación en un invernadero establecido en condiciones de clima tropical de baja altitud: aproximación numérica al comportamiento de la ventilación natural

Enlace: <https://www.scielo.br/j/rceres/a/QJt5XGdNndBJxMPkryrZh3k/?lang=en>

Artículo 7. Estudio numérico bidimensional del microclima generado en tres casas de malla para las condiciones climáticas del Caribe Colombiano.

Enlace: <https://www.iieta.org/journals/ijht/paper/10.18280/ijht.390215>

Artículo 8. Análisis del comportamiento térmico de una nueva estructura de agricultura protegida establecida en una región de condiciones climáticas tropicales

Enlace: <https://www.mdpi.com/2311-5521/6/6/223>



Artículo 9. simulación térmica de una casa de malla propuesta para la producción de frutas y verduras en las tierras bajas de Panamá

Enlace: <https://www.iieta.org/journals/ijht/paper/10.18280/ijht.390407>

Artículo 10. Evaluación agronómica y fisiológica de cinco cultivares de lechuga bajos dos sistemas de agricultura protegida en el departamento del Magdalena, Colombia

Enlace: <https://doi.org/10.53897/RevAIA.22.26.06>

Nota técnica Tesis” Ecofisiología de dos (2) Cultivares de Pimentón en Condiciones de Agricultura Protegida en Sevilla, Zona Bananera Colombia

En Colombia se vinculó un estudiante de maestría de la Universidad del Magdalena la cual desarrolló la tesis denominada “Ecofisiología de dos Cultivares de Pimentón en Condiciones de Agricultura Protegida en Sevilla, Zona Bananera” realizada por la ingeniera ambiental Martha Liliana Montes Pérez para obtener el título de maestría en Ciencias Agrarias en la Universidad del Magdalena. El documento se encuentra en la biblioteca digital de la Universidad en el siguiente enlace:

<https://repositorio.unimagdalena.edu.co/items/671c37da-6d09-4eac-9443-64265fb5e835>

La nota técnica que resume el documento original de la tesis se encuentra en la página web del proyecto en la sección publicaciones y recursos

Nota técnica tesis “Mapeo de la cadena de valor del Ají Morrón (*Capsicum annuum* L.) cultivado bajo ambientes Protegidos en zonas bajas de la República Dominicana.

En las actividades del componente 1 del proyecto, en el mapeo de la cadena de valor en el IDIAF en República Dominicana se vincularon los estudiantes Pedro Félix Peralta Reyes, Luilly Missael Núñez, Ramauris de Jesús González Yargas y Ángel Luis Pérez de la carrera de ingeniería agronómica de la Facultad de Ciencias Agronómicas Veterinarias de la de la Universidad Autónoma de Santo Domingo (UASD). Con el trabajo “mapeo de la cadena de valor del Ají Morrón (*capsicum annum*) cultivado bajo ambientes protegidos en zona baja de la Republica Dominicana”, con la asesoría del investigador del IDIAF. César Martínez Mateo

Manual de invernadero bioclimático. mostrar las características del montaje de un invernadero bioclimático ventilado, de acuerdo con un diseño desarrollado en el 2019 en el departamento de Magdalena, Colombia. Este diseño está basado en un modelo computacional de fluidos (CFD) 3-D para el desarrollo de simulaciones en estado estacionario, modelo que fue validado experimentalmente en el prototipo del invernadero real evaluado. Se destacan los siguientes contenidos de esta publicación: 1) descripción de la fase de diseño computacional apoyado en herramientas de modelado y simulación numérica, en el que se detallan preproceso, proceso y postproceso; 2) diseño arquitectónico, validación de las condiciones microclimáticas dentro de la estructura y

método de medición de las variables asociadas al clima; 3) proceso de construcción; 4) cantidades de obra; y 5) criterios para el mantenimiento. El invernadero bioclimático ventilado de forma natural es una alternativa para intensificar la agricultura y mejorar la seguridad alimentaria en estas regiones de clima cálido, ya que está orientado a superar de manera eficiente las limitaciones usualmente impuestas por factores bióticos y abióticos que afectan la producción agrícola de estas zonas.

Material audiovisual (videos)

Adicional a las anteriores publicaciones, el proyecto generó 7 videos relacionados en la tabla 30 y que se encuentran disponibles en el canal de YouTube AGROSAVIA TV con los créditos correspondientes.

Tabla 18. Material audiovisual producto del proyecto

No.	Tipología	Nombre del video	Enlace canal AGROSAVIA TV
1	Presentación del proyecto	Innovaciones para la horticultura en ambientes protegidos.	https://youtu.be/uzSYdsZZQFM
1	Tutorial	Siembra, riego y fertilización para la producción de hortalizas en condición	https://youtu.be/do9cwyzPKqE
2	Tutorial	Recomendaciones para la producción de plántulas en zonas de altas temperatura	https://youtu.be/azWGN953f54
3	Tutorial	Prácticas culturales para la producción de hortalizas en condiciones protegidas	https://youtu.be/v79T8hs_Cho
4	Tutorial	Manejo integrado de plagas bajo esquemas de producción intensivos	https://youtu.be/PbMEUc8l4Uk
6	Video de avance de actividades	Avance año 2020 proyecto de Horticultura Protegida Fontagro	https://youtu.be/R61rCU9jla4
7	Video resultados finales	Tecnologías innovadoras aplicadas a la Horticultura.	https://youtu.be/G6stTFeOL7g

Producto 7: Plataforma de conocimiento en micrositio de la página web FONTAGRO.


La página web del proyecto “Innovaciones para la horticultura en ambientes protegidos en zonas tropicales: opción de intensificación sostenible de la agricultura familiar en el contexto de cambio climático en América Latina y el Caribe”, financiado por FONTAGRO y ejecutado por AGROSAVIA, Colombia; IDIAF, República Dominicana; IDIAP, Panamá e INTA, Costa Rica al cual se puede acceder a través del siguiente enlace <https://www.fontagro.org/new/proyectos/horticultura-protegida> y de la webstory del proyecto al que se accede a través del siguiente enlace <https://www.fontagro.org/new/webstories/horticultura-protegida-frente-al-cambio-climatico>, presenta las herramientas de gestión del conocimiento buscan mostrar al público los avances y resultados obtenidos en el desarrollo del proyecto, permitiendo poner a su alcance las nuevas tecnologías que impacten más allá de los beneficiarios directos contemplados en el mismo. Las plataformas de Internet actualmente son el medio esencial y más práctico, tanto para la búsqueda de información como para la adquisición de productos y servicios. Cuando se requiere información de una empresa, proyecto, concepto técnico entre otros lo, primero que se hace es buscar información sobre ella en las redes sociales o en buscadores, donde normalmente inicia la búsqueda.

La página web <https://www.fontagro.org/new/proyectos/horticultura-protegida> que está anclada a la plataforma de FONTAGRO <https://www.fontagro.org/es/> permite obtener visibilidad y presentar los principales resultados e impactos obtenidos en el desarrollo del proyecto a nivel local, regional e internacional como un sitio para el repositorio de los productos comprometidos en el proyecto que se convierten en documentos de acceso público. Es así como al finalizar el proyecto se encontrarán los siguientes documentos que se pueden descargar gratuitamente: **1.** Estudio diagnóstico de oportunidades y desafíos de los sistemas de producción hortícola y sus respectivas cadenas de valor ALC, **2.** Uso de herramientas de modelación y simulación numérica (CFD) para el diseño de estructuras de agricultura protegida adaptadas a las condiciones climáticas de tierras de baja altitud en el contexto de América Latina y el Caribe; **3.** Informe de resultados de la interacción cultivo–ambiente en los modelos de prototipos en Colombia, **4.** Informe de resultados de la interacción cultivo–ambiente en los modelos de prototipos en Costa Rica, **5.** Informe de resultados de la interacción cultivo–ambiente en los modelos de prototipos en Panamá, **6.** Informe de resultados de la interacción cultivo–ambiente en los modelos de prototipos en República Dominicana; **7.** Publicaciones generadas por el proyecto entre las cuales se encuentran once (11) artículos científicos, una tesis de pregrado, una tesis de maestría, 3 manuales técnicos; **8.** Notas técnicas y memorias de eventos (talleres, conferencias, charlas, días de campo, demostraciones de método

Producto 8: talleres organizados

Eventos virtuales

Los conocimientos y recomendaciones tecnológicas socializados en cada una de todas las



capacitaciones que se realizaron fueron producto de las actividades de investigación desarrollados en cada uno de los componentes. El equipo ejecutor del proyecto Innovaciones para la horticultura protegida, organizó una serie de charlas y conferencias en total 14 eventos virtuales que permitieron dar a conocer al público en general pero principalmente a productores, técnicos e instituciones del sector agropecuario de América Latina y el Caribe los adelantos tecnológicos en torno a la producción de hortalizas bajo ambiente protegidos. Estos eventos buscaron fortalecer capacidades en torno a diferentes temas que abarcan las actividades del proyecto así:

- Presentación del proyecto: Horticultura protegida, alternativa para enfrentar el cambio climático en ALC
- Charla de divulgación: Diseño de estructuras en ambientes protegidos en ALC
- “Producción de Hortalizas en Ambientes protegidos en Zonas Cálidas de Costa Rica”
- Diagnóstico de Mercado y priorización de especies hortícolas para su evaluación en ambientes protegidos caso: Panamá- Colombia
- Diagnóstico de Mercado y priorización de especies hortícolas para su evaluación en ambientes protegidos caso: Costa Rica- República Dominicana
- Producción de manejo de almácigos en hortalizas
- Producción de hortalizas en tierras bajas de República Dominicana
- Colocación de la primera piedra del proyecto de agricultura protegida para hortalizas en Panamá
- Horticultura en ambientes protegidos: Importancia de consumir hortalizas, el entorno alimentario y el rol de los consumidores en la producción de hortalizas.
- Uso de plástico frío (no térmico) para cubierta y malla de 40 mesh (anti-insecto) para los laterales en la estructura de protección de cultivo capilla en Panamá
- Horticultura Protegida en América Latina y el Caribe: Resultados preliminares de las evaluaciones de campo
- Manejo integrado de plagas de las hortalizas en la región Caribe Colombiana
- Manejo integrado de enfermedades de las hortalizas en la región Caribe Colombiana

El link de acceso a cada uno de estos eventos virtuales se encuentra en el documento de memorias de talleres disponible en la sección publicaciones de la página del proyecto.

Eventos presenciales

Adicional a los eventos virtuales en el marco del proyecto cada Institución ejecutora realizó eventos presenciales (talleres, días de campo, demostraciones de método, escuelas de campo etc..) con los productores beneficiarios, en total se realizaron 46 eventos presenciales.

Tabla 19. Lista de eventos presenciales realizados en el marco del proyecto.

Nombre del evento/actividad	Modalidad (virtual/presencial)	Institución Responsable	Conferencistas/observaciones
Actividades realizadas para el Diagnostico de la cadena de valor en los 4 países	presencial	TODAS	27 Talleres realizados con diferentes actores de los eslabones de la cadena de valor de hortalizas en Colombia, Costa Rica, Panamá y República Dominicana.
Colocación de la primera piedra del proyecto de agricultura protegida para hortalizas en Panamá	presencial	IDIAP	Equipo de investigadores del IDIAP
Seminario Taller sobre Modelo de producción orgánica del cultivo de suchini en ambiente protegido y campo abierto en la Republica de Panamá.	presencial	IDIAP	Anovel Barba, Jose Yau,
Visita técnica del embajador y funcionarios de la embajada de Israel en Panamá	presencial	IDIAP	Anovel Barba, Jose Yau,
Gira técnica sobre los avances resultados del proyecto de horticultura protegida en climas cálidos a extensionistas del sector público agropecuario y empresarios de la empresa privada	presencial	IDIAP	Nelson Osorio, Anovel Barba, Jose Guerra, Raúl Gonzalez, Jorge Jaen, Nivaldo De Gracia



Nombre del evento/actividad	Modalidad (virtual/presencial)	Institución Responsable	Conferencistas/observaciones
Gira técnica sobre los avances y resultados del proyecto de horticultura protegida en climas cálidos a profesores y estudiantes de agropecuaria de la universidad de Panamá	presencial	IDIAP	Anovel Barba
Gira técnica sobre los avances y resultados del proyecto de horticultura protegida en climas cálidos en Panamá ofrecido a profesores y estudiantes de la provincia de Colon	presencial	IDIAP	Jose Angel Herrera, Francisco Centella
Taller Hortalizas y Riego en Ambiente Protegido Estación Experimental Los Diamantes (Guápiles)	presencial	INTA	Roberto Ramírez, Luis Meza, Luis Delgado, Luis Calvo, Edwin Villagran
Día de campo: Feria Inaugural Proyecto Casa Malla. Producción de Hortalizas, Isla Venado.	presencial	INTA	Comunidad Isla Venado. Personal EEEJN.




Nombre del evento/actividad	Modalidad (virtual/presencial)	Institución Responsable	Conferencistas/observaciones
Día de campo: Producción de hortalizas en Ambiente protegido para productores y técnicos de la Región Chorotega	presencial	INTA	Roberto Ramírez, Luis Delgado
Día de campo: Producción de hortalizas en Ambiente protegido para productores y técnicos de la Región Occidental	presencial	INTA	Roberto Ramírez, Luis Delgado
Día de campo: Producción de hortalizas en Ambiente protegido para productores y técnicos de la Región Pacífico Central	presencial	INTA	Roberto Ramírez, Luis Delgado
Taller sobre Avances de Resultados de la producción de ajíes (<i>Capsicum annuum</i>) morrón, cubanela y picante en ambiente protegido y campo abierto en la República Dominicana.	presencial	IDIAF	José Miguel Romero, Elpidio Avilés, Leocadia Sánchez, Socorro Sanchez, Glenny López y César Martínez

Nombre del evento/actividad	Modalidad (virtual/presencial)	Institución Responsable	Conferencistas/observaciones
Día de campo 1: Horticultura protegida: estructuras AP, manejo de datos climáticos y manejo integrado de hortalizas en ambientes protegidos	presencial	AGROSAVIA	Lumey Pérez, Jorge Jaramillo, Rommel León, Juan Gómez, Andrea Rodríguez, Edwin Villagran, Alfonso Orozco, Martha Montes, Luisa Guzman, Carlos Brochero
Día de campo 2: Horticultura protegida: estructuras AP, manejo de datos climáticos y manejo integrado de hortalizas en ambientes protegidos	presencial	AGROSAVIA	Lumey Pérez, Jorge Jaramillo, Rommel León, Juan Gómez, Andrea Rodríguez, Edwin Villagran, Alfonso Orozco, Martha Montes, Luisa Guzman, Carlos Brochero
Día de campo 3: Horticultura protegida: estructuras AP, manejo de datos climáticos y manejo integrado de hortalizas en ambientes protegidos	presencial	AGROSAVIA	Lumey Pérez, Jorge Jaramillo, Rommel León, Juan Gómez, Andrea Rodríguez, Edwin Villagran, Alfonso Orozco, Martha Montes, Luisa Guzman, Carlos Brochero
Taller presencial de equipo del proyecto en República Dominicana	presencial	TODAS	

Fuente: elaboración propia

Producto 9: Individuos capacitados

Este documento contiene el análisis del impacto en los beneficiarios del proyecto “Innovaciones para la horticultura en ambientes protegidos: opción de intensificación sostenible de la agricultura familiar en el contexto del cambio climático en América Latina y el Caribe (ALC)” en los beneficiarios directos e indirectos del proyecto. Durante la ejecución del proyecto se realizaron 61 eventos de capacitación de los cuales 14 fueron



virtuales y 46 presenciales, actividades encaminadas a fortalecer capacidades en los productores, técnicos, asociaciones, gremios, representantes de instituciones público-privadas y demás integrantes de la cadena agroalimentaria de hortalizas en América Latina y el Caribe- ALC.

Las metodologías utilizadas por cada país para la realización de las actividades de transferencia de tecnología y fortalecimiento de capacidades dentro del proyecto de manera presencial fueron enfocadas a visitas a sitios piloto en donde se realizaron demostraciones de método, giras técnicas, días de campo, conferencias y charlas técnicas con el objetivo de dar a conocer a los asistentes los resultados obtenidos así como todo el proceso de validación de las tecnologías de horticultura bajo ambientes protegidos implementadas. Debido a la pandemia por COVID durante el año 2020 y parte del 2021 atendiendo el llamado mundial de guardar los protocolos de bioseguridad para evitar la dispersión del virus el proyecto tomó como medida implementar eventos virtuales que permitieran seguir en contacto con los beneficiarios del proyecto que son los productores de hortalizas principalmente de los países miembros del proyecto, Colombia, Costa Rica, Panamá y República Dominicana.

Durante el desarrollo del proyecto se logró capacitar a 1563 personas de manera virtual y 2454 de manera presencial para un total de 4017 individuos que conocieron de una u otra forma el proyecto y las tecnologías generadas por él, igualmente es importante mencionar que los eventos virtuales que se encuentran disponibles en las diferentes plataformas de difusión (YouTube y Facebook) hasta la fecha de entrega del presente documento cuentas en total de: 5785 reproducciones en You Tube y 2269 reproducciones en Facebook, para un total de 8054 personas a las cuales el proyecto ha impactado directa en indirectamente.

Hallazgos destacados

Los diagnósticos de la cadena de valor de hortalizas realizados en cada uno de los países (Colombia, Costa Rica, Panamá y República Dominicana), pudo determinar cuáles son los cultivos hortícolas más importantes y de mayor demanda, lo que permitió priorizar las especies a estudiar.

Se logró demostrar que es factible emprender proyectos de producción y comercialización de variedades de hortalizas que no se habían contemplado anteriormente y que pueden abrir una amplia posibilidad para exportación.

- Se capacitó a productores y asistentes técnicos en opciones tecnológicas de ambiente protegido (invernadero, casa de malla y túneles) validados agronómicamente.



Historias de campo

En Costa Rica se realizaron Vitrinas tecnológicas en conjunto con las Instituciones del Sector Agropecuario de las Regiones Pacífico Central y Chorotega de Costa Rica, se logró con la tecnología desarrollada en el proyecto, la implementación en fincas de asociaciones de productoras de agricultura familiar de 5 proyectos modelos de casas de malla, las cuales cubrieron un área de 5500 m². Además, se crearon tres vitrinas tecnológicas utilizando túneles de bajo costo, para transferir la tecnología a otros grupos de productores.

En Colombia las actividades del proyecto lograron impactar a los productores hortícolas de la Asociación Hortifrutícola de Colombia en los departamentos de Atlántico, Magdalena, Bolívar y la Guajira. Muchos de los cuales pudieron visitar la zona piloto del proyecto para que a través de escuelas de campo y demostraciones de método conocieran los adelantos tecnológicos en la producción de hortalizas bajo las estructuras de ambiente protegido.

En Panamá el proyecto permitió dar a conocer a los productores y empresarios la proyección de la producción de hortalizas bajo ambientes protegidos para mejorar la economía del sector agrícola.

En República Dominicana se logró vincular las empresas productoras de zonas altas en el proyecto para lograr una retroalimentación de conocimientos que permitieran aumentar la producción de hortalizas en zonas bajas. Se capacitaron estudiantes, productores y técnicos en el proyecto donde por medio a los resultados obtenidos los productores y técnicos observaron el desarrollo de los cultivos que presentaron la mayor productividad y rentabilidad, la cual se obtuvieron en el cultivo del ají picante bajo casa malla y ají cubanela bajo plástico. Esto coincidió en un ambiente de incertidumbre donde las plagas y enfermedades hicieron que se le pasaran rastras a los cultivos causando pérdidas a muchos productores que cultivaron ají a campo abierto.



Discusión

Los ambientes protegidos en la Región Chorotega son una oportunidad para productores y consumidores locales, se presentan como una posibilidad de negocio para agricultores y emprendedores de la región debido a las ventajas competitivas de ubicar productos cerca del mercado final. Asimismo, el consumidor ve una mejora en la calidad de los productos debido a una probable disminución en los tiempos de la agro cadena.

No obstante, existen desafíos para la buena ejecución de estos proyectos, entre ellos: bajo interés de la banca y del sector financiero para apoyar el sector agropecuario con financiamiento focalizado.

Aun cuando los sistemas de producción bajo ambiente protegido hacen uso más eficiente de los recursos, tales como, el agua, en la Región Chorotega este insumo sigue siendo una limitante tanto por su disponibilidad como por su calidad.



Conclusiones

El estudio de la cadena de valor de hortalizas, a través del enfoque participativo, permitió identificar oportunidades comerciales y promover iniciativas en la cadena de valor para la horticultura de América Latina y el Caribe (ALC).

La cadena de valor de hortalizas en la costa colombiana se caracteriza por la participación de pequeños productores, con menos de tres hectáreas, por lo que dependen para la comercialización de sus productos de intermediarios como mayoristas, minoristas y tiendas. Por ello, este eslabón de la cadena es muy sensible, pues depende de los precios que establezca el mercado, provocando variaciones importantes de precio y producción en el año.

La mayoría de las hortalizas consumidas en Colombia provienen del interior del país (zonas de bajas temperaturas), principalmente, porque los agricultores de la Costa Caribe no siembran estas especies por falta de asesoría técnica, desconocimiento sobre la adaptación y problemas abióticos y bióticos de la región. Las especies de mayor importancia en la cadena de valor de la región Caribe de Colombia fueron el tomate, la cebolla de bulbo, el ají, la zanahoria, el pimiento, la lechuga y el zapallo.

En Panamá, existen dos importantes regiones dedicadas al cultivo de hortalizas, y es el distrito de Tierras Altas, en la provincia de Chiriquí, la principal zona hortícola del país, donde los productores entrevistados dedican en promedio unas 2 hectáreas para producir hortalizas. La región de Azuero es la principal productora de tomates para la industria; sin embargo, también se produce cebolla y ají. Los intermediarios son los principales distribuidores de hortalizas en el mercado local y nacional. En cuanto a la agroindustria, está representada por la empresa Nestlé, con productos a base de tomate industrial. Las seis hortalizas de mayor frecuencia de consumo y selección en Panamá, según orden de preferencia, son el tomate, la cebolla, la lechuga, el culantro, la zanahoria y el pimentón.

Para los productores, el principal factor que afecta la competitividad de la cadena de valor de hortalizas en Panamá es la comercialización (importaciones y bajos precios); para los detallistas es la falta de infraestructuras, y para el consumidor, los elevados precios de algunas hortalizas.

En República Dominicana, las superficies cultivadas de vegetales a campo abierto van desde 0,63 hasta 6 ha, mientras las EBAP van desde 1.200 m² a 25.000 m². El empacador-exportador es el principal comercializador de los vegetales cultivados en EBAP, así como de los vegetales orientales cultivados a campo abierto. Los eslabones en la comercialización se encuentran identificados en el mapa de la cadena de valor.



Los vegetales que se comercializan en el mercado local tienen como principales canales el mayorista-acopiador, los detallistas, los hoteles turísticos, etc.; sin embargo, el eslabón más importante de distribución es el detallista (cadenas de supermercado). Para República Dominicana, los cultivos priorizados fueron ají morrón, ají cubanela, ají picante y pepino. Los factores críticos que afectan el desarrollo de la cadena de valor de hortalizas es la deficiencia en el control de plagas y enfermedades, así como el incumplimiento de acuerdos entre los actores de la cadena, principalmente entre los exportadores-empacadores y mayoristas.

Se determinó que, en la región Chorotegea, República de Costa Rica, los sistemas productivos hortícolas podrían ser clasificados en 3 grandes grupos: el sistema hortícola frutícola (SHF); el sistema hortícola con venta en finca (SHV), y el sistema hortícola con destino local (SHC). Cada sistema presentó una estructura productiva diferenciada; sin embargo, en el componente socioeconómico, las variables entre los grupos fueron más consistentes. Los SHC son sistemas de menor tamaño, aunque de mayor diversidad productiva, y tienden a asumir tecnología de protección en una mayor proporción. Por su parte, los sistemas SHV son más intensivos en insumos y tienden a una especialización productiva. Los sistemas SHF son los sistemas con áreas de producción promedio más grandes en la provincia, su producción se comercializa en su totalidad a través de la intermediación y son los sistemas de mayor demanda de insumos y recursos en los predios.

En Costa Rica, los productos de mayor relevancia para la cadena de valor de la región Chorotegea fueron el tomate, el chile dulce, el culantro, la lechuga y el pepino. Actualmente, el tomate cuenta con un acompañamiento institucional importante, por esta razón se descartó como uno de los cultivos prioritarios para evaluar en el proyecto.

En los talleres elaborados con actores de la cadena hortícola de la región Chorotegea, se mencionó que la principal limitación para la horticultura de Guanacaste era la disponibilidad de agua. Este problema se da en dos vías: su escasez, producto de las condiciones climatológicas y de la ausencia de infraestructura, y su calidad en algunas zonas. Las experiencias e inquietudes de los diferentes actores de la cadena de valor enfatizan la importancia de implementar estrategias y alternativas productivas que contribuyan a mejorar la competitividad de la cadena de valor de hortalizas con la participación de todos los actores.

La alta radiación, temperatura y humedad relativa de la región Caribe Colombiana provoca afectaciones en las variables asociadas a la fisiología y agronomía del cultivo, y en la calidad del producto cosechado, por lo que se recomienda proteger los cultivos contra estos estreses ambientales y lograr producir intensivamente durante todo el año.

En la evaluación del cultivo ambiente en la región se puede producir diferentes especies de



hortalizas en espacios que no superen los 200 m², lo que podría alimentar a una familia de cuatro personas por año.

El cultivar de pimentón Golazo F1 mostró superioridad técnica y productiva bajo las condiciones de agricultura protegida de casa malla e invernadero, con rendimientos acordes con las zonas de tradición productiva a nivel nacional, motivado a que las plantas aumentaron el intercambio gaseoso, con una mayor tasa de fotosíntesis, y mejor calidad de fruta, lo que implica la posibilidad de mejorar el precio de la fruta al productor. Sin embargo, la evaluación financiera no obtuvo indicadores satisfactorios para su promoción como alternativa productiva.

La producción de pepino Jaguar F1 es técnica y económicamente viable en los ambientes productivos de casa malla y polisombra. Los tomates tipo chonto y cherry arrojaron productividades muy por debajo de los referentes nacionales e indicadores financieros negativos. Para tomate cherry se obtuvo una diferencial de producción importante a favor del ambiente de invernadero.

Es necesaria la exploración de nuevos mercados y canales de comercialización que generen mayores ingresos para el productor; así como del complemento de tecnologías y prácticas agronómicas que permitan la máxima expresión del potencial productivo de los cultivares con miras a obtener incrementos en la productividad.

En los ensayos realizados en el CI. Caribia Colombia, mosca blanca (Hemiptera: Aleyrodidae) fue el principal problema entomológico en todos los ciclos productivos, debido al amplio rango de hospederos, entre los que se encuentran el tomate, pimentón y pepino, entre otras. El daño más importante de mosca blanca es como vectores de virus, aunque en grandes poblaciones pueden debilitar la planta y favorecer la aparición de fumagina.

Los ambientes protegidos mitigan el daño directo por agentes bióticos, como los insectos, sobre los cultivos establecidos en su interior, sin embargo, es necesario tener en cuenta los protocolos de ingreso a estas infraestructuras para contribuir a mantener la sanidad y evitar que el personal se convierta en agentes de propagación de plagas.

Las poblaciones de larvas de lepidópteros y picudos del género *Naupactus* sp. (Coleoptera: Curculionidae), presentaron un incremento súbito al inicio del periodo de lluvias, y estos insectos se comportaron principalmente como defoliadores.

El comportamiento de las poblaciones de ciertos artrópodos responde a las condiciones ambientales y disponibilidad de recursos, por lo que es necesario realizar actividades de monitoreo periódicamente, para evaluar y determinar la presencia o daños de las plagas, establecer su incidencia y severidad, y tomar decisiones de manejo.

Técnicas de monitoreo de plagas como las trampas de luz y las trampas pegajosas cromáticas son fáciles de implementar y se pueden conseguir comercialmente pero



también pueden ser construidas con materiales de fácil acceso, además de ser útiles como estrategia de monitores pueden cumplir función de control.

Es importante reconocer las especies de insectos plaga en sus diferentes estados de desarrollo, ya que existe una gran diferencia entre los hábitos de inmaduros y adultos. En el manejo integrado de esta especie plaga, lo recomendable es mezclar métodos de control para ambos estados de desarrollo.

La definición de las estrategias de manejo a realizar depende de los resultados obtenidos durante la fase de monitoreo, en la que se determina si la incidencia y severidad configuran un nivel de daño económico que requiera una intervención, así como tipo de herramienta o producto (químicos o biológicos) que se debe utilizar.


En Costa Rica existió un efecto favorable en la eco fisiología del cultivo de chile dulce sembradas en el interior de los sistemas productivos de ambiente protegido en (casas de mallas e invernaderos) con respecto al campo abierto, ya que en estos medios se presentaron las mayores alturas de planta, los mejores niveles del índice de área foliar (IAF) a los 75 días después del trasplante, el mayor número y calidad de frutos comerciales tanto en peso, como en tamaño.

El clima espontáneo que se generó en los diferentes sistemas productivos fue muy similar en cuanto a temperatura y humedad relativa, pero muy diferente en los niveles de radiación entre los tratamientos de ambiente protegido y campo abierto, lo que demuestra que, regulando esta variable ambiental dentro de los parámetros óptimos de eficiencia fotosintética, se presenta un efecto positivo en el desarrollo vegetativo, consumo de agua y rendimiento productivo de los cultivares de chile dulce.

El modelo de transferencia ha resultado ser un modelo de negocios inclusivo en donde las poblaciones de adulto mayor, jóvenes y mujeres, pueden visibilizar sus esfuerzos, lográndose integrar en las cadenas de procesos y de negocios de comercialización de hortalizas en las zonas costeras de Costa Rica.

Los días de campo y realización de las inauguraciones en cada vitrina tecnológica fomentó que otras personas o grupos pudieran conocer el funcionamiento de cada tecnología, fomentar el intercambio de ideas y expandir las áreas de siembra.

- En República Dominicana, se concluye que los sistemas de producción estudiados en los tres ciclos afectaron significativamente la productividad de la planta y se obtuvieron los mayores rendimientos y cantidades de frutos comerciales en el sistema de producción de invernadero. La menor productividad se obtuvo en campo abierto. Los sistemas de producción estudiados afectaron significativamente el desarrollo de la planta. Obteniéndose las mayores alturas, diámetros del tallo, número de hojas y flores de la planta en el sistema de producción de invernadero. El menor desarrollo de la planta se obtuvo a




campo abierto. Los sistemas de producción estudiados afectaron significativamente la calidad física del fruto y se obtuvieron las mayores longitudes y diámetros del fruto de la planta en el sistema de producción de invernadero. La menor calidad se obtuvo en campo abierto.

- En cuanto a la plaga insectiles. La principal plaga insectil presente en los tres sistemas de producción fue *Thrips parvispinus*. La incidencia del thrips fue menor en el sistema de producción bajo invernadero. Se observó que las lluvias disminuyeron la población tanto en casa malla como a campo abierto.
- En cuanto a las enfermedades. Los cultivares picante, morrón y cubanela presentaron menores porcentaje de enfermedades en casa malla y en invernadero. En los cultivos se mostró un mayor porcentaje de incidencia y severidad de las enfermedades radiculares en el sistema en campo abierto.
- En la parte climática. Las diferencias de temperatura en el interior de la estructura con respecto al exterior no fueron superiores a 1 °C. Las diferencias de temperatura en el invernadero (centro de la estructura) versus las casas mallas (en los laterales) no fueron superiores a 1 °C, con una aceptable distribución espacial homogénea de los parámetros climáticos evaluados. Las menores diferencias de temperatura entre los ambientes se encuentran en las horas nocturnas y de la madrugada. Este proceso es generado por la ganancia térmica que ocurre en el interior de la casa malla y que generalmente está en función de los niveles de radiación solar.
- En la parte económica. Todos los tratamientos resultaron dominados por ají picante en casa malla (AP-CM). Esto indica que la alternativa económica de producción recomendable en las condiciones agronómicas en que se llevó el ensayo es del ají picante en casa malla. Solo existe una única alternativa económica con un beneficio neto de RD\$40.31/m². Se puede obtener un indicador de B/C igual a 1.2 lo que indica que por cada peso invertido se genera 1.2 pesos. Se puede recomendar al ají cubanela en invernadero (bajo plástico) en este tipo de estructura, pero de acuerdo a los 3 ciclos en esta zona y estos sistemas el cultivo de ají morrón no es recomendable.



Recomendaciones

- Continuar con la evaluación de genotipos en las especies priorizadas, en varios ciclos productivos con la finalidad de obtener datos más robustos con fines de generar recomendaciones de implementación tecnológica.
- Evaluar la integración de tecnologías como uso de sustratos, cobertores de suelo (Ground cover) e hidroponía en la respuesta productiva y financiera de los cultivos de las hortalizas priorizadas bajo condiciones protegidas en clima cálido.
- Evaluar escenarios financieros donde los costos de inversión de las infraestructuras de agricultura protegida estén amparados bajo las figuras de créditos condonables, donaciones, leasing, en arriendo, etc
- El fortalecimiento de una red técnica regional en el tema de la producción de hortalizas en ambientes protegido es fundamental para continuar con el mejoramiento de las prácticas de manejo y el desarrollo de nuevas opciones productivas.
- Se debe continuar desarrollando materiales audios visuales y manuales técnicos para mejorar la comprensión de los productores en cada uno de los temas que se desarrollan para la producción de hortalizas en ambiente protegido.
- En República Dominicana, la casa malla se recomienda en zonas de pluviometría debajo de los 700 mm al año. Los resultados del estudio indican que el ají picante es una alternativa en zonas con esas condiciones dado que los principales problemas de plagas y enfermedades encontrados en la zona de estudio pueden deberse a una pluviometría de más de 1200 mm al año, y en períodos de manera continua, lo cual pueden retrasar el desarrollo del cultivo. Además, puede considerarse que es más rentable la producción de ají habanero en casa malla que a campo abierto.
- En Panamá, Durante los dos ciclos de cultivo se observó un incremento estadísticamente significativo en el rendimiento por sistema de cultivo, campo abierto e invernadero multitúnel modificado. Siendo la variedad Virginia 3 una variedad que destaca por su precocidad y rendimiento en relación con las variedades Verde Compacta y Black Beauty. Fue evidente el desarrollo foliar y altura alcanzada por variedades en el interior del invernadero en relación con el logrado en campo abierto y la calidad de los frutos por sistema de cultivo.
-
- En campo abierto se presentaron mayor incidencia de plagas y enfermedades en cultivo de calabacín, afectando su calidad. La presencia de arvenses en sistemas productivos tiene un impacto sobre la composición e interacciones de la entomofauna en el cultivo, por lo cual, los enemigos naturales son más efectivos en ambientes complejos a campo abierto. La incidencia de insectos vectores fue relativamente baja durante los períodos críticos, las variedades mostraron alta susceptibilidad al Potyvirus. Todas las variedades, presentaron



alta incidencia de mildiu en campo abierto, aun cuando las lluvias fueron esporádicas.

-
- Las condiciones de temperatura durante el ciclo productivo estuvieron dentro del rango óptimo para el cultivo de calabacín en interior del prototipo multitúnel. La condición interna de temperatura existente en el prototipo multitúnel modificado, fue similar al exterior y durante los periodos que se incrementaron los vientos, las condiciones internas en temperatura son ligeramente inferiores al exterior. La experiencia ha mostrado mayor eficiencia en relación en circulación del aire, lo que se reflejó en las diferencias de temperatura en interior y exterior del prototipo multitúnel modificado.
- El análisis económico de presupuesto parcial reflejó que la variedad Virginia 3, produjo mayores beneficios netos, en el invernadero multitúnel modificado en relación con el cultivo en campo abierto. Este incremento se debe a que se requieren menores controles fitosanitarios principalmente. A pesar de alta efectividad en la polinización manual en ambiente protegido en cultivo de calabacín, este tiene un alto costo lo que se refleja en análisis económico; se requiere evaluar alternativas tecnológicas con polinizadores naturales.



Indicadores técnicos

Los indicadores obtenidos como resultado de todos los componentes del proyecto se describen en la siguiente tabla.

Tabla 20. Indicadores técnicos

	Indicador detalle	País que obtuvo el indicador	Unidad del Indicador	Valor antes del proyecto	Valor despues del proyecto	Notas
	Indicadores de Gestion de Conocimiento y Fortalecimiento de capacidades					
1	Mujeres capacitadas (2019-2022)	Colombia - Panama - Costa Rica- Republica Dominicana	Número	0	1889	Porcentaje mujeres capacitadas, con respecto al total de capacitados (equidad de genero): 47 %
2	Hombres capacitados(2019-2022)	Colombia - Panama - Costa Rica- Republica Dominicana	Número	0	2128	Porcentaje hombres capacitados: 53 %
3	Total capacitados	Colombia - Panama - Costa Rica- Republica Dominicana	Número	0	4017	Representantes de productores, asistentes técnicos, academia, gremios e instituciones
4	Productores capacitados	Colombia - Panama - Costa Rica- Republica Dominicana	Número	0	1333	se han capacitado a través de talleres, días de campo y eventos virtuales.
5	Mujeres que conforman el grupo de trabajo del proyecto	Colombia - Panama - Costa Rica- Republica Dominicana	Número	0	17	investigadores, asistentes, profesionales de areas de apoyo
6	Hombre que conforman el quipo de trabajo del proyeto	Colombia - Panama - Costa Rica- Republica Dominicana	Número	0	23	investigadores, asistentes, profesionales de areas de apoyo



	Indicador detalle	País que obtuvo el indicador	Unidad del Indicador	Valor antes del proyecto	Valor despues del proyecto	Notas
7	Total de personas que conforman el grupo de trabajo del proyecto	Colombia - Panama - Costa Rica- Republica Dominicana	Número	0	40	investigadores, asistentes, profesionales de areas de apoyo
8	Eventos virtuales	Colombia - Panama - Costa Rica- Republica Dominicana	Número	0	14	Eventos virtuales, que capacitaron 1563 asistentes. Permitieron dar a conocer al público en general pero principalmente a productores, técnicos e instituciones del sector agropecuario de América Latina y el Caribe los adelantos tecnológicos en torno a la producción de hortalizas bajo ambiente protegidos.
9	eventos presenciales.	Colombia - Panama - Costa Rica- Republica Dominicana	Número	0	47	Eventos presentaciales, que capacitaron 2454 asstentes. Permitiron de forma presencial y mediante investogacion participativa presentar a asistentes tecnicos, estudiantes y principalmente productos los resultados mas relevantes del proyecto
10	Total eventos	Colombia - Panama - Costa Rica- Republica Dominicana	Número	0	61	Durante toda la ejecucion del proyecto se realizaron un total de 61 eventos modalidad virtual y presencial
11	Artículos científicos.	Colombia - Panama - Costa Rica- Republica Dominicana	Articulo (Paper)	0	9	Los papers publicados se pueden encontrar en diversas revistas académicas internacionales de alto impacto;



	Indicador detalle	País que obtuvo el indicador	Unidad del Indicador	Valor antes del proyecto	Valor después del proyecto	Notas
						todos los documentos se encuentran en acceso abierto.
12	Visualizaciones de eventos en redes sociales (YouTube y Facebook).	Colombia - Panama - Costa Rica- Republica Dominicana	Visualizaciones	0	8064	5,785 reproducciones en YouTube y 2,269 reproducciones en Facebook, para un total de 8,054 personas a las cuales el proyecto ha impactado directa en indirectamente.
13	Tesis desarrolladas	Colombia - Panama - Costa Rica- Republica Dominicana	Tesis	0	1	una tesis ingeniería agronomica y una tesis Maestría
14	Manuales técnicos	Colombia - Panama - Costa Rica- Republica Dominicana	Manual	0	3	Un manual técnico de Invernadero bioclimático para clima cálido Diseño, construcción, operación y mantenimiento del equipo de invernadero bioclimático y modular para climas cálido en Colombia y un manual técnico de diseño y construcción de casas malla. Costa Rica y un manual de diseño de diseño y construcción de microtúneles y túneles altos. Costa Rica.
15	Plataforma de conocimiento del proyecto en micrositio de la página web FONTAGRO. https://www.fontagro.org/new/proyectos/horticultura-prottegida	Colombia - Panama - Costa Rica- Republica Dominicana	Plataforma	0	1	Presenta las herramientas de gestión del conocimiento desarrolladas en el proyecto, busca mostrar al público los avances y resultados obtenidos en el desarrollo del proyecto, permitiendo poner a su alcance



	Indicador detalle	Pais que obtuvo el indicador	Unidad del Indicador	Valor antes del proyecto	Valor despues del proyecto	Notas
						las nuevas tecnologías que impacten más allá de los beneficiarios directos contemplados en el mismo.
16	Videos tutoriales	Colombia	Videos tecnicos tutoriales	4	4	1.Siembra, riego y fertilización para la producción de hortalizas en condición. 2. Recomendaciones para la producción de plántulas en zonas de altas temperatura. 3. Prácticas culturales para la producción de hortalizas en condiciones protegidas. 4. Manejo integrado de plagas bajo esquemas de producción intensivos
17	Visualizaciones videos tutoriales (Canal Youtube aAgrosavia tv)	Colombia	Visualizaciones	0	686	Los videos actualmente disponibles en lossi https://youtu.be/PbMEUc8l4Uk güentes enlaces : https://youtu.be/do9cwyzPKqE ; https://youtu.be/azWGN953f54 ; https://youtu.be/v79T8hs_Cho ;
18	Agentes/Representantes de Extensión del Ministerio de Agricultura capacitados en manejo de hortalizas en ambiente protegido	Costa Rica	Numero	0	40	Los Agentes de Extensión son los encargados de dar soporte técnico y seguimiento a los emprendimientos productivos iniciados por los productores, por lo que las cpacitaciones a estos profesionales fue fundamental para promoción de



	Indicador detalle	País que obtuvo el indicador	Unidad del Indicador	Valor antes del proyecto	Valor despues del proyecto	Notas
						las tecnologías desarrolladas en el proyecto.
	Indicadores Tecnicos - Resultado del proceso de Investigación					
1	Estructuras construidas para la producción de hortalizas bajo ambientes protegidas	Colombia - Panama - Costa Rica- Republica Dominicana	Número	0	8	2 estructuras de Colombia, 2 en Costa Rica, 2 en República Dominicana (tipo híbrido) 2 en Panamá
2	Estudios de diagnóstico de oportunidades y desafíos de los sistemas de producción hortícola y sus respectivas cadenas de valor ALC.	Colombia - Panama - Costa Rica- Republica Dominicana	Documento	0	1	En el documento se consolido la informacion del diagnostico de la cadena de valor de la produccion de hortalizas de los 4 países participantes en la Alianza, Costa Rica, Panama, Republica Dominicana y Colombia.
3	Especies hortícolas priorizadas para la selección de variedades o híbridos como alternativas de producción	Colombia - Panama - Costa Rica- Republica Dominicana	Numero	0	16	Especies como tomate, pimenton, aji, lechuga batavia, lechugas foliares, coliflor, brocoli, cialtro, espinaca, perejil, calabacin entre otras evaluadas como alternativa de produccion de hortalizas en zonas calidas
4	Análisis del comportamiento de algunas variables asociadas a la producción, consumo y comercialización de las principales especies que integran la cadena de valor hortícola	Colombia - Panama - Costa Rica- Republica Dominicana	Documento	0	12	Cada país tiene el analisis del comportamiento de diferentes especies, en cuanto a indicadores de productividad y comportamiento fitosanitario el cual se encuentra en el



	Indicador detalle	País que obtuvo el indicador	Unidad del Indicador	Valor antes del proyecto	Valor después del proyecto	Notas
						documento de nota técnica de Interacción cultivo - ambiente
5	Diseño de una matriz de calificación y priorización de vegetales para estudios de mercado.	Colombia - Panama - Costa Rica- Republica Dominicana	Formato	0	1	Herramienta que se encuentra entre los anexos del entregable del producto 1, Diagnóstico de la cadena de valor, para priorizar participativamente especies hortícolas de acuerdo a los diferentes eslabones de la cadena productiva hortícola
6	Documento Recomendaciones para la promoción de estrategias de intensificación sostenible de la horticultura en condiciones de ambiente protegido.	Colombia - Panama - Costa Rica- Republica Dominicana	Documento	0	1	Este documento pretende dar los lineamientos para promover el desarrollo de la horticultura en ambientes protegidos (AP) en ALC, mediante la descripción de las diferentes etapas metodológicas para la evaluación, ajuste y validación de tecnologías desarrolladas en el proyecto
7	Documento Propuesta de escalamiento de la agricultura protegida en ALC.	Colombia - Panama - Costa Rica- Republica Dominicana	Documento	0	1	Este documento consta de las ventajas de los sistemas de agricultura bajo sistemas en condiciones protegidas, el contexto de la agricultura protegida en cada uno de los países participantes de este proyecto y la Propuesta de escalamiento mediante políticas públicas de la agricultura en ambientes protegidos.



	Indicador detalle	País que obtuvo el indicador	Unidad del Indicador	Valor antes del proyecto	Valor después del proyecto	Notas
8	Modelos de simulación numérica que permite diseñar estructuras de agricultura protegida ventiladas de forma natural y que se adapten a las condiciones climáticas características de cuatro regiones de baja latitud en Colombia, Costa Rica, Panamá y República Dominicana.	Colombia - Panamá - Costa Rica- República Dominicana	Modelo	0	4	Se desarrolló un modelo de simulación para cada país, teniendo en cuenta sus características agroclimáticas
10	* Relación costo beneficio de pepino Cv Jaguar en casa malla comparado con campo abierto	Colombia		0,9	1,4	La relación costo beneficio estuvo por encima a 1, lo que provocó rentabilidad positiva, comparada con campo abierto
11	Calidad de la fruta en tomate cherry en condiciones protegidas comparado con campo abierto	Colombia	%	2,2	2,264	En tomate Cherry la productividad de calidad uno (1) fue mejorada en un 12%, 13,6% y 12% en los ambientes casa malla, invernadero y polisombra respectivamente, en relación al ambiente de campo abierto.
12	Producción de cilantro en condiciones controladas comparado con campo abierto	Colombia		0,08	1,62	Durante el ciclo de evaluación, la producción de perejil liso en casa malla (1,62 kg) e invernadero (1.07 kg), estuvieron muy por encima de lo producido en campo abierto (0.08kg).
13	Producción de pepino en condiciones controladas comparado con campo abierto	Colombia	kg/año	2736	15930	Las infraestructuras reportaron rendimientos anuales proyectados hasta ocho veces más en condiciones protegidas que en campo abierto
14	Producción de pimentón en condiciones controladas comparado con campo abierto	Colombia	kg/año	2508	8028	Las infraestructuras reportaron rendimientos anuales



	Indicador detalle	Pais que obtuvo el indicador	Unidad del Indicador	Valor antes del proyecto	Valor despues del proyecto	Notas
						proyectados hasta tres veces más en condiciones protegidas que en campo abierto
15	Producción de diferentes especies de hortalizas en condiciones controladas comparado con campo abierto	Colombia	kg/año	148	256	Se logró producir más de 80 kg en condiciones protegidas comparado con campo abierto
16	*Relación costo beneficio de pepino Cv Jaguar en casa malla comparado con campo abierto	Colombia		0,9	1,4	La relación costo beneficio estuvo por encima a 1, lo que provoco rentabilidad positiva, comparada con campo abierto (*B/C > 1 indica que los beneficios superan los costos, por consiguiente el proyecto debe ser considerado.B/C=1 Aquí no hay ganancias, pues los beneficios son iguales a los costes.B/C < 1, muestra que los costes son mayores que los beneficios, no se debe considerar.
17	Calidad de la fruta en tomate cherry en condiciones protegidas Vs abierto	Colombia	%	2,2	2,264	En tomate Cherry la productividad de calidad uno (1) fue mejorada en un 12%, 13,6% y 12% en los ambientes casa malla, invernadero y polisombra respectivamente, en relación al ambiente de campo abierto.
18	Producción de cilantro en condiciones controladas Vs campo abierto	Colombia	kg/año	0,08	1,62	Durante el ciclo de evaluación, la producción de perejil liso en casa malla (1,62 kg) e invernadero (1.07 kg), estuvieron muy por



	Indicador detalle	País que obtuvo el indicador	Unidad del Indicador	Valor antes del proyecto	Valor después del proyecto	Notas
						encima de lo producido en campo abierto (0.08kg).
19	Producción de pepino en condiciones controladas Vs campo abierto	Colombia	kg/año	2736	15930	Las infraestructuras reportaron rendimientos anuales proyectados hasta ocho veces más en condiciones protegidas que en campo abierto
20	Producción de pimentón en condiciones controladas Vs campo abierto	Colombia	kg/año	2508	8028	Las infraestructuras reportaron rendimientos anuales proyectados hasta tres veces más en condiciones protegidas que en campo abierto
21	Producción de pimentón en la época seca en condiciones protegidas Vs campo abierto	Costa Rica	Kg/ciclo	12000	26540	La producción obtenida en la época seca en sistemas protegidos duplicó el rendimiento con respecto a campo abierto y aumento la calidad de los frutos cosechados
22	Producción de pimentón en la época lluviosa en condiciones protegidas Vs campo abierto	Costa Rica	Kg/ciclo	22000	50000	La producción obtenida en la época lluviosa en sistemas protegidos duplicó el rendimiento con respecto a campo abierto y aumento la calidad de los frutos cosechados
23	Calidad de las fruta de pimentón producida en sistema de ambiente protegido Vs campo abierto	Costa Rica	% comercial	0,42	0,75	Se aumento la claidad de la producción de frutos pimentón con características óptimas para la comercialización en mercados internacionales
24	Índice de área foliar en el cultivo de pimentón sembrado en ambiente protegido Vs campo abierto	Costa Rica	cm ² /m ²	1,14	3,41	Las plantas de pimentón producidas en sistema de ambiente protegido triplicó la



	Indicador detalle	País que obtuvo el indicador	Unidad del Indicador	Valor antes del proyecto	Valor después del proyecto	Notas
						producción de follaje comparado con las plantas sembradas a campo abierto
25	Eficiencia del uso de agua para riego en sistemas protegidos para la producción de pimentón Vs campo abierto	Costa Rica	Kg/m3 agua	2,61	5,76	Se utilizó menor cantidad de agua para producir un kg de pimentón debido a que los sistemas protegidos redujeron la transpiración del cultivo
26	Beneficio económico de cultivo de pimentón utilizando coberturas protegidas y campo abierto	Costa Rica	Beneficio neto (\$)	1,77	5,22	El cultivo de pimentón producido en sistemas de ambiente protegido presentaron una mejor relación beneficio costo, generando mayores retribuciones económicas que campo abierto
27	Rendimiento de ajíes campo abierto Vs invernadero	Republica Dominicana	Kg/m2	0,63	3,56	
28	Rendimiento de ajíescubanela campo abierto Vs casa de malla	Republica Dominicana	Kg/m2	0,63	2,67	
29	Rendimiento de ají cubanela campo abierto Vs invernadero	Republica Dominicana	Kg/m2	0,67	3,38	
30	Rendimiento de ají morron campo abierto Vs invernadero	Republica Dominicana	Kg/m2	0,69	4,49	
31	Incidencia de plagas Trips campo abierto Vs Invernadero	Republica Dominicana	%	24,38	8,67	Se hace la observación que en época de lluvia el % de incidencia de Trips aumenta en todos los ambientes
32	Incidencia de plagas Trips campo abierto Vs Casa de malla	Republica Dominicana	%	24,38	22,46	Se hace la observación que en época de lluvia el % de incidencia de Trips aumenta en todos los ambientes



	Indicador detalle	País que obtuvo el indicador	Unidad del Indicador	Valor antes del proyecto	Valor después del proyecto	Notas
33	Incidencia de fitopatógenos en el suelo campo abierto Vs casa de malla	República Dominicana	%	5,25	0,27	
34	La producción obtenida en la época seca en sistemas protegidos duplicó el rendimiento con respecto a campo abierto y aumentó la calidad de los frutos cosechados	Panamá	Kg/m ²	1,6	2,3	

Fuente: elaboración propia



Experiencias aprendidas

Entre los principales desafíos y oportunidades en la cadena de valor de las hortalizas se encontró:

Colombia

Los principales problemas relacionados con la cadena de valor de las hortalizas en la región estudiada en Colombia fueron: manejo agronómico de los cultivos, condiciones agroclimáticas, abastecimiento y calidad de los productos. Los desafíos y oportunidades considerados se relacionaron con la educación de los productores, quienes solicitaron capacitación y aprendizaje sobre temas referentes a la producción y el comercio.

Como desafíos y oportunidades para mejorar el sistema de producción, se identificaron: mantener la capacitación y la asistencia técnica en la producción de vegetales EBAP y a campo abierto, además de la ayuda para la implementación de tecnologías de precisión.

En cuanto a los problemas referentes a las actividades del negocio y la agroindustria, se reconocieron la demora en el transporte y el abastecimiento, la escasez de productos de óptima calidad, el desconocimiento del mercado y la carencia de mano de obra; no obstante, en algunos lugares hubo excepciones por tener múltiples proveedores y distintos puntos de distribución, con mayor disponibilidad de oferta de producto.

Al observar estas tendencias, es posible reconocer que la mayoría de los productores utilizan intermediarios para vender sus productos, lo que implica que las ganancias son menores y el costo final también se eleva. Es un reto generar alianzas de comercialización directa para reducir el número de intermediarios y de este modo beneficiar a la mayoría de los actores de la cadena de valor de hortalizas de la región.

En cuanto a la pregunta sobre los principales problemas que tienen los productores de la zona, el 41 % mencionó las enfermedades; el 24 % las condiciones climáticas, el bajo precio al que venden sus cosechas y la falta de agua en épocas de verano; mientras que el 6 % señaló problemas relacionados con la baja producción, la competencia con grandes productores y la presencia de pocos compradores.

En resumen, los retos que se tienen que lograr para mejorar la cadena de valor de las hortalizas se presentan a continuación:

- Aportar conocimientos a los agricultores.
- Mejorar la calidad de servicios.
- Mejorar los costos de transporte.

- Mejorar el empaque y el embalaje.
- Mejorar las vías.
- Manejar directamente las hortalizas con el productor.
- Manejar con el productor un nivel de servicio óptimo para no afectar la venta y los clientes.
- Manejar y conocer la cultura agrícola de la región.
- Planificar siembras con productores directamente.
- Mejorar los precios de distribución de las compañías productoras.
- Realizar el control y la revisión de productos.

Panamá

La cadena de valor de hortalizas se caracteriza por sus regiones históricamente dedicadas al cultivo de hortalizas. La provincia de Chiriquí es la principal zona hortícola del país, y Azuero la principal productora de tomates para la industria.

La comercialización de las hortalizas se puede realizar directa e indirectamente. Los márgenes de precios entre un eslabón y otro de la cadena son elevados, por lo que se incrementa de 100 % a 500 % el precio del consumidor final. Acortar la cadena mediante alianzas con los comercializadores es un reto para lograr que los precios lleguen a un precio menor al consumidor.

Se identificaron los actores de la cadena de valor de hortalizas en cada uno de sus eslabones: los productores de agricultura protegida y a campo abierto, los circuitos de poscosecha, el transporte y los comercializadores, quienes estaban representados principalmente por intermediarios, detallistas y mayoristas, respectivamente. Nestlé es la principal empresa agroindustrial en la cadena de valor de las hortalizas de Panamá.

En la región de Azuero, se identificaron tres alternativas para la horticultura protegida, entre ellos, tomate industrial, ají y cebolla. La implementación de nuevas formas de producción de estas especies constituye una oportunidad para incrementar la producción y el rendimiento. En esta región, los productores han tenido experiencias negativas con proyectos privados que no han sido los adecuados para esta zona debido a las condiciones agroclimáticas. El reto es que los productores puedan adoptar la tecnología y el sistema con el manejo agronómico adecuado y la EBAP en zona baja funcione después de las experiencias negativas.

Los problemas que afectan la competitividad de la cadena de valor de hortalizas en Panamá desde la perspectiva de los horticultores es la comercialización (importaciones y precios bajos); para los comercializadores-detallistas es la falta de mejores infraestructuras, y para el consumidor los precios altos que limitan su consumo.

Es importante considerar estos aspectos para lograr una mayor adopción de las hortalizas. En este sentido, es necesario ofrecer a los productores tecnologías que eviten una alta



incidencia de enfermedades en los cultivos y que se adapten a condiciones climáticas de altas temperaturas y sequía, con altos niveles de producción y calidad.

Los consumidores representan el eslabón más importante de la cadena de valor, cuyas preferencias con respecto al consumo de hortalizas son determinantes en las alternativas seleccionadas de producción.

República Dominicana

Los desafíos son diferentes entre los países, así como el grado de especialización y la calidad de los mercados. República Dominicana produce hortalizas para exportación, tanto a campo abierto como en estructura bajo ambiente protegido (EBAP) para el consumo nacional. Los vegetales orientales dominicanos cultivados a campo abierto se dirigen a los consumidores asiáticos que se encuentran en los principales mercados de Estados Unidos, Canadá y Europa. Los vegetales cultivados en EBAP se exportan a los mercados de Estados Unidos y Europa.

Su mercado nacional demanda una parte de la producción de calidad exportable de vegetales cultivados en EBAP, la cual se vende en los supermercados, hoteles turísticos y otros mercados exigentes; además, están los productos que no cumplen con la calidad exigida de esos mercados y que se venden en los diferentes mercados regionales del país.

A nivel internacional, los eslabones de la cadena de valor de las hortalizas cultivadas en EBAP son los proveedores de insumos, productores, proveedores de servicios (transporte, cadena de frío, financiamiento) y exportadores. A nivel nacional, los productores comercializan los productos a través de intermediario, mayoristas y detallistas hasta llegar al consumidor.

Las oportunidades de negocio para cultivos de hortalizas se presentan en la demanda nacional e internacional de vegetales producidos bajo condiciones protegidas. Los retos o desafíos a los que se enfrenta la producción incluyen el manejo de plagas, la variación de precios, la infraestructura, el financiamiento, la capacidad gerencial, la transferencia de tecnología, la comercialización en cadena corta y el cumplimiento de los acuerdos entre las partes.

El manejo deficiente de las enfermedades y plagas, y la baja calidad del material de siembra, limitan la producción, lo que afecta el desarrollo de la cadena de valor de las hortalizas o vegetales. Los exportadores-empacadores y mayoristas indican que el cuello de botella que más limita la cadena de valor de los vegetales es el incumplimiento de los acuerdos por parte de los productores para cumplir con los pedidos solicitados por el comprador y la falta de honestidad. Los productores entienden que la comercialización es una limitante en el desarrollo de la actividad productiva. Los detallistas también buscan clientes que cumplan con los requisitos que exigen ante los consumidores que valoran la frescura y calidad de los productos.



La producción de vegetales en EBAP de zona baja se ve afectada por la baja productividad, la rentabilidad, el mejoramiento de la calidad del producto y los altos costos de producción. Además, los productores demandan capacitación debido a su limitada experiencia en el cultivo de vegetales en EBAP de zonas bajas; por lo que resulta todo un reto adoptar tecnologías que contribuyan a reducir la incidencia y la severidad de las enfermedades en las hortalizas, la adaptación de las variedades a las condiciones agroclimáticas para lograr el aumento de la productividad y la rentabilidad de la producción en el cultivo de vegetales cultivados en EBAP.

Costa Rica

Los ambientes protegidos en la región Chorotega son una oportunidad, tanto para los productores como para los consumidores locales, de mejorar el sistema productivo y la calidad del producto; además, se presentan como una posibilidad de negocio para agricultores y emprendedores de la región, debido a las ventajas competitivas de ubicar productos cerca del mercado final. Así mismo, el consumidor ve una mejora en la calidad de los productos debido a una probable disminución en los tiempos de la agrocadena.

No obstante, existen desafíos para la buena ejecución de estos proyectos, entre ellos, el bajo interés de la banca y del sector financiero para apoyar el sector agropecuario con financiamiento focalizado. A pesar de que los sistemas de producción bajo ambiente protegido hacen un uso más eficiente de recursos como el agua, en la región Chorotega este insumo es aún una limitante, tanto por su disponibilidad como por su calidad.

La ubicación de los agronegocios hortícolas se presenta como una de las principales oportunidades, sin embargo, su acceso y aprovechamiento requiere de una estrategia. Los intermediarios y compradores cuentan con una estructura y logística robusta, la cual se ha fortalecido a través de los años, por lo que se requerirá de mucho esfuerzo para incorporarlos como clientes. Una alternativa sería que los productores buscaran la integración de la cadena, no obstante, esto representa inversión y riesgo.

El estudio de la cadena de valor de hortalizas, a través del enfoque participativo, permitió identificar oportunidades comerciales y promover iniciativas en la cadena de valor para la horticultura de América Latina y el Caribe (ALC). La situación de los productores en ALC es muy similar frente al manejo de los cultivos y las exigencias de calidad, cantidad y continuidad del mercado. A partir de las experiencias y resultados obtenidos en el proceso, se lograron identificar algunos factores críticos que deben considerarse para el buen desarrollo de la actividad productiva y la cadena de comercialización de las hortalizas.

La cadena de valor de hortalizas en la costa colombiana se caracteriza por la participación de pequeños productores, con menos de tres hectáreas, por lo que dependen para la comercialización de sus productos de intermediarios como mayoristas, minoristas y tiendas.



Por ello, este eslabón de la cadena es muy sensible, pues depende de los precios que establezca el mercado, provocando variaciones importantes de precio y producción en el año

La mayoría de las hortalizas consumidas en Colombia provienen del interior del país (zonas de bajas temperaturas), principalmente, porque los agricultores de la Costa Caribe no siembran estas especies por falta de asesoría técnica, desconocimiento sobre la adaptación y problemas abióticos y bióticos de la región.

Las especies de mayor importancia en la cadena de valor de la región Caribe de Colombia fueron el tomate, la cebolla de bulbo, el ají, la zanahoria, el pimiento, la lechuga y el zapallo.

En Panamá, existen dos importantes regiones dedicadas al cultivo de hortalizas, y es el distrito de Tierras Altas, en la provincia de Chiriquí, la principal zona hortícola del país, donde los productores entrevistados dedican en promedio unas 2 hectáreas para producir hortalizas. La región de Azuero es la principal productora de tomates para la industria; sin embargo, también se produce cebolla y ají. Los intermediarios son los principales distribuidores de hortalizas en el mercado local y nacional. En cuanto a la agroindustria, está representada por la empresa Nestlé, con productos a base de tomate industrial.

Las seis hortalizas de mayor frecuencia de consumo y selección en Panamá, según orden de preferencia, son el tomate, la cebolla, la lechuga, el culantro, la zanahoria y el pimentón.

Para los productores, el principal factor que afecta la competitividad de la cadena de valor de hortalizas en Panamá es la comercialización (importaciones y bajos precios); para los detallistas es la falta de infraestructuras, y para el consumidor, los elevados precios de algunas hortalizas.

En República Dominicana, las superficies cultivadas de vegetales a campo abierto van desde 0,63 hasta 6 ha, mientras las EBAP van desde 1.200 m² a 25.000 m². El emparador-exportador es el principal comercializador de los vegetales cultivados en EBAP, así como de los vegetales orientales cultivados a campo abierto.

Los vegetales que se comercializan en el mercado local tienen como principales canales el mayorista-acopiador, los detallistas, los hoteles turísticos, etc.; sin embargo, el eslabón más importante de distribución es el detallista (cadenas de supermercado).

Para República Dominicana, los cultivos priorizados fueron ají morrón, ají cubanela, ají picante y pepino. Los factores críticos que afectan el desarrollo de la cadena de valor de hortalizas es la deficiencia en el control de plagas y enfermedades, así como el incumplimiento de acuerdos entre los actores de la cadena, principalmente entre los exportadores-empacadores y mayoristas.

Se determinó que, en la región Chorotega, República de Costa Rica, los sistemas productivos



hortícolas podrían ser clasificados en 3 grandes grupos: el sistema hortícola frutícola (SHF); el sistema hortícola con venta en finca (SHV), y el sistema hortícola con destino local (SHC). Cada sistema presentó una estructura productiva diferenciada; sin embargo, en el componente socioeconómico, las variables entre los grupos fueron más consistentes. Los SHC son sistemas de menor tamaño, aunque de mayor diversidad productiva, y tienden a asumir tecnología de protección en una mayor proporción. Por su parte, los sistemas SHV son más intensivos en insumos y tienden a una especialización productiva. Los sistemas SHF son los sistemas con áreas de producción promedio más grandes en la provincia, su producción se comercializa en su totalidad a través de la intermediación y son los sistemas de mayor demanda de insumos y recursos en los predios.

En Costa Rica, los productos de mayor relevancia para la cadena de valor de la región Chorotega fueron el tomate, el chile dulce, el culantro, la lechuga y el pepino. Actualmente, el tomate cuenta con un acompañamiento institucional importante, por esta razón se descartó como uno de los cultivos prioritarios para evaluar en el proyecto.

En los talleres elaborados con actores de la cadena hortícola de la región Chorotega, se mencionó que la principal limitación para la horticultura de Guanacaste era la disponibilidad de agua. Este problema se da en dos vías: su escasez, producto de las condiciones climatológicas y de la ausencia de infraestructura, y su calidad en algunas zonas.

Las experiencias e inquietudes de los diferentes actores de la cadena de valor enfatizan la importancia de implementar estrategias y alternativas productivas que contribuyan a mejorar la competitividad de la cadena de valor de hortalizas con la participación de todos los actores.

El estudio de la cadena de valor de hortalizas, a través del enfoque participativo, permitió identificar oportunidades comerciales y promover iniciativas en la cadena de valor para la horticultura de América Latina y el Caribe (ALC). La situación de los productores en ALC es muy similar frente al manejo de los cultivos y las exigencias de calidad, cantidad y continuidad del mercado. A partir de las experiencias y resultados obtenidos en el proceso, se lograron identificar algunos factores críticos que deben considerarse para el buen desarrollo de la actividad productiva y la cadena de comercialización de las hortalizas

El análisis detallado de la cadena de valor de los productos y la eficiencia de sus eslabones permiten una mejor gestión de la producción

El fortalecimiento de las cadenas de valor mediante la metodología participativa es un instrumento útil para avanzar hacia una nueva ecuación entre el Estado, el mercado y la sociedad, en torno a productos y territorios específicos.

El análisis de la información agroclimática, realizados con la finalidad de su caracterización, se consideran como un insumo necesario para realizar las simulaciones numéricas a través de las cuales sea posible diseñar las estructuras en cada región de estudio. En este caso de simulación de estructuras dentro del proyecto,



El diseño de estructuras de agricultura protegida (E-AP) debe ser un proceso integral y minucioso en el que se analicen las condiciones climáticas locales y una serie de elementos en conjunto ligados a la estructura misma, tales como material de cobertura, orientación, geometría y tamaño de la estructura, área de las superficies de ventilación, presencia o no de pantallas porosas a prueba de insectos o pantallas de sombrero


La elección un modelo de E-AP inapropiado puede causar que las plantas se vean expuestas a condiciones de temperatura y humedad inadecuadas, y que sean sometidas a algún tipo de estrés. Estas condiciones ocasionarán una reducción de la producción de los cultivos, la aparición de enfermedades y hasta la muerte de las plantas, factores que sin duda generan una afectación económica sobre los productores y una insostenibilidad del sistema. Durante la investigación, se encontró que los factores geométricos y arquitectónicos de las estructuras, así como las propiedades ópticas y aerodinámicas de los materiales de cubierta tienen una alta incidencia sobre los patrones de flujo de aire y sobre el microclima interior generado en cada una de las estructuras.

En el caso de cada región de estudio se identificó que las estructuras de agricultura protegida que mejor comportamiento ofrecían eran los invernaderos ventilados de forma natural y las estructuras de casa malla. Para esta última, se reconoció que era recomendable analizar el tipo de malla porosa a prueba de insectos a instalar, puesto que sus propiedades aerodinámicas afectan la velocidad del movimiento de los flujos del aire y, por ende, la distribución espacial de la temperatura.


Para la construcción de las estructuras es recomendable contemplar su robustez estructural y de cimentación, con el fin de garantizar su estabilidad y durabilidad en los sitios piloto de cada una de las regiones de estudio.


Referencias Bibliográficas

- ACUÑA, J. 2003. Estructuras y control climático en invernaderos: Experiencias en Colombia. En memoria de curso: Formación sobre diseño de invernaderos y materiales de cerramiento. Red XIX.A CYTED. San José. Costa Rica.
- Agronet. (2021). Estadísticas agrícolas. Área, producción, rendimiento y participación.
- Álvarez, V. 2012. Evaluación de rendimiento de tres variedades de pimiento morrón (*Capsicum annum*, L.) bajo condiciones de invernaderos. Trabajo de tesis presentado al Departamento de Horticultura, División de Agronomía, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. México.
- Asociación Hortifrutícola de Colombia. (2010). Plan Hortícola Nacional (PHN).

- 
- http://www.asohofrucol.com.co/archivos/biblioteca/biblioteca_28_PHN.pdf.
- AUPSA. (2018). Aumenta la Importación de Productos Agrícolas a Panamá. La Prensa.
- Ávalos-Cerdas, J. y Villalobos-Monge, A. (2018). Análisis económico: un estudio de caso en *Jatropha curcas* L. mediante la metodología de presupuestos parciales. *Agron. Mesoam*, 29, 95-104. Recuperado de http://www.mag.go.cr/rev_meso/v29n01_095.pdf.
- Ayala-Tafoya, F., López-Urquidez, G., Parra-Delgado, J., Retes-Manjarrez, J., López-Orona, C. y Yáñez-Juárez, M. (2020). Vermicomposta, auxinas sintéticas y producción de calabacita (*Cucurbita pepo* L.) en invernadero. *Terra Latinoamericana*, 38(2), 257-265. E pub 20 de junio de 2020. <https://doi.org/10.28940/terra.v38i2.620>.
- Baeza, E. J., Pérez-Parra, J. J., Montero, J. I., Bailey, B. J., López, J. C., & Gázquez, J. C. (2009). Analysis of the role of sidewall vents on buoyancy-driven natural ventilation in parral-type greenhouses with and without insect screens using computational fluid dynamics. *Biosystems Engineering*, 104(1), 86–96. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2009.04.008>
- Balzarini M.G., Gonzalez L., Tablada M., Casanoves F., Di Rienzo J.A., Robledo C.W. (2008). Manual del Usuario, Editorial Brujas, Córdoba, Argentina.
- Bancentral. (2018). Informe de la economía. Banco Central. República Dominicana. <https://www.bancentral.gov.do/>.
- Bernet, T., Thiele, G., Zschocke, T., López, G Velasco, C., Devaux, A., (2011) Enfoque Participativo en Cadenas Productiva (EPCP) Manual de Usuario. Centro Nacional de la Papa (CIP)- Papa Andina, Lima, Perú.
- Bojacá, C., Monsalve, O., Casilimas, H., Gil, R., Villagrán, E., Arias, L. y Fuentes, L. (2012). Manual de producción de pepino bajo invernadero. Bogotá, Colombia: Universidad Jorge Tadeo Lozano.
- Bolaños Taleno, R.I. (1996). Estudio de siete leguminosas de cobertura en asocio con el cultivo de pitahaya (*Hylocereus undalus*, Briton y Rose), como manejo de las malezas y aporte de nutrientes. 73 p.
- C-AIZ, F.D., D.L. VALERA, A.A. PEÑA, J.A. GIL, AND A. LÓPEZ. 2009. A study of natural ventilation in an Almería type greenhouse with insect screens by means of tri-sonic anemometry. *Biosyst. Eng.* 104:224-242. doi:10.1016/j.biosystemseng.2009.06.013.
- CARBALLO, R. 2009. Aprender Haciendo. Guía para profesores. Aproximación a los espacios de Aprendizaje basados en la acción, la experiencia y el grupo de trabajo y aplicación práctica. Universidad Complutense de Madrid. Extraído el 28 de julio del 2021 del sitio web: www.aldebaran8.com/gie/ice.pdf.
- Cardona, C., González, R. y Schoonhoven, A.V. (1982). Evaluation of Damage to Common Beans by Larvae and Adults of *Diabrotica balteata* and *Cerotoma facialis*. *Journal of Economic Entomology*, 75: 2 (1) 324–327.
- Castilla, N. (2002). Current situation and future prospects of protected crops in the mediterranean region. *Acta Horticulturae*, 582, 135–147. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2002.582.11>
- CASTILLA, N. 2005. Invernaderos de plástico. Editorial Mundi-Prensa. Madrid. España. Pp

- 25-306.
- Cauich, O., Quezada-Euán, J., Macias-Macias, J., Reyes, O., Medina-Peralta, V., Parra-Tabla, V. (2004). "Behavior and Pollination Efficiency of *Nannotrigona perilampoides* (Hymenoptera: Meliponini) on Greenhouse Tomatoes (*Lycopersicon esculentum*) in Subtropical México," *Journal of Economic Entomology*. 97(2), pp. 475-481.
- Cayeros, S, Robles F, y Soto, E. (2016). Cadenas productivas y cadenas de valor. *Educatconciencia*, 10(11), 6-12.
- Cedeño, L., Carrero, C., Quintero, K., Pino, H., & Espinoza, W. (2003). *Stemphylium vesicarium*, causante de quema foliar en ajo y cebolla en mérida, venezuela. *Interciencia*, 28(3), 174–177.
- Central América Data (2019). Hortalizas: ventas regionales crecen al 5 %.
- Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT). (1988). La formulación de recomendaciones a partir de datos agronómicos: Un manual metodológico de evaluación económica. México: CIMMYT. Recuperado de <https://repository.cimmyt.org/xmlui/bitstream/handle/10883/1063/9031.pdf>.
- Choab, N., Allouhi, A., El Maakoul, A., Kousksou, T., Saadeddine, S., & Jamil, A. (2019). Review on greenhouse microclimate and application: Design parameters, thermal modeling and simulation, climate controlling technologies. In *Solar Energy*. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2019.08.042>
- Chu, C. R., & Lan, T. W. (2019). Effectiveness of ridge vent to wind-driven natural ventilation in monoslope multi-span greenhouses. *Biosystems Engineering*. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2019.08.006>
- Chu, C. R., Lan, T. W., Tasi, R. K., Wu, T. R., & Yang, C. K. (2017). Wind-driven natural ventilation of greenhouses with vegetation. *Biosystems Engineering*, 164, 221–234. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2017.10.008>
- Colegio de Ingenieros Agronomos. (2020). Registro de establecimientos y de regentes agropecuarios Colegio de Ingenieros Agronomos de Costa Rica. <http://www.ingagronomos.or.cr/ciagro-v2/wp-content/uploads/2017/01/establecimientos.pdf> .
- COLETTE, A. (2009) Estudios de caso: Cambio climático y Patrimonio Mundial. París, Francia: Centro del Patrimonio Mundial de la UNESCO (Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura). Fecha de consulta 29 de octubre de 2021. En: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000183480>.
- CONSEJO NACIONAL DE PRODUCCIÓN (2020). Ferias del Agricultor CNP. Fecha de consulta 5 de octubre de 2021. En: <https://www.cnp.go.cr/ferias/>
- DAY, W. Y BAILEY, B. 1999. Physical principles of microclimate modification. In: *Greenhouse ecosystems*. Stanhill, G.; Enoch, H.Z. (Ed). Elsevier. Amsterdam. Netherlands: 71-80.
- Departamento de Producción de Vegetales bajo Ambiente Protegido (DEPROBAP). 2018. Estadísticas de la Agroplasticultura de República Dominicana 2004-2019. En línea, consultado 14/07/2020. <http://jad.org.do/wp-content/uploads/Estadistica/DEPROBAP.pdf>.
- Departamento de Producción de Vegetales bajo Ambiente Protegido (DEPROBAP). 2020.

- 
- Registros de la base de datos del Deprobap. Santo Domingo, R.D.
- Eben, A. y Espinosa, A. (2013). Tempo and Mode of Evolutionary Radiation in Diabroticina Beetles (Genera *Acalymma*, *Cerotoma*, and *Diabrotica*). *ZooKeys* 332: 207- 231.
- Ellers-Kirk, C. y Fleischer, S. (2006). Development and Life Table of *Acalymma vittatum* (Coleoptera: Chrysomelidae), a Vector of *Erwinia tracheiphila* in Cucurbits. *Environmental Entomology*. 35(4): pp.875–880.
- Evaluaciones Agropecuarias Municipales EVA 2019. MADR. COLOMBIA
- FAO (2020). Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Faostat, Índices comerciales. <http://www.fao.org/faostat/es/#data/TI>
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). 2018. Costa Rica mantiene una tendencia a la disminución del hambre y la desnutrición. Fecha de consulta 28 de octubre de 2021. En: <http://www.fao.org/costarica/noticias/detail-events/en/c/463756/>
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura) a. 2019. Production quantities of Chillies and peppers, green by country. En línea. Consultado el 15 de febrero del 2020. En: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC/visualize>
- FAO.Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura- (2015). Desarrollo de cadenas de valor alimentarias sostenibles. Principios rectores. Roma. <http://www.fao.org/3/i3953s/I3953S.pdf>
- Figueredo-Fernandez, M. (2021). Comportamiento agronómico de tres variedades del cultivo del pimentón (*Capsicum annum L.*) bajo condiciones de invernadero y a campo abierto, Lipari – La Paz. Tesis de grado para optar por el título de Ingeniería Agronómica, Facultad de Agronomía, Universidad Mayor de San Andrés, La Paz, Bolivia.
- Fred, D. (2013). Conceptos de la administración estratégica. Pearson Educación.
- García, E., De La Rosa, M., Quezada, M. y Arellano, M. (2015). Efecto de una película plástica modificada en aspectos agronómicos del cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum L.*). *Revista mexicana de ciencias agrícolas*. 6(spe11). pp. 2105-2113. <https://doi.org/10.29312/remexca.v0i11.779>.
- García, S., Morel, M., De Dios M, Avilés, E., Núñez, P. y Matos, L. 2021. Aislamiento de hongos fitopatógenos de las principales zonas de producción de vegetales bajo ambiente protegido en la República Dominicana. *Revista APF. (SODIAF)*. Santo Domingo, DO. 10 (01): 1-10. Recuperado de: <https://sodiaf.org.do/apf/index.php/apf/article/view/125/110>.
- Gómez Guerrero, B. M. y Payares Guerrero, J. E. (2020). Estudio agronómico del cultivo de ají pimentón (*Capsicum annum L.*), en municipio de Valledupar, Cesar. Trabajo de tesis presentado a la Facultad de Ingeniería. Maestría en Ciencias Agrarias, Universidad del Magdalena, Santa Marta, Colombia. Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD). Escuela de Ciencias Agrícolas Pecuaria y de Medio Ambiente (ECAPMA) Programa: Agronomía Valledupar - Colombia.
- Gonzalez-Real, M.M., Baille, A. (2006). Plant response to greenhouse cooling. *ActaHort* 719:427-437.
- Hammer, O., Harper, D. y Ryan, P. (2015). PAST: Paleontological Statistics software package for education and data analysis. Oslo, Norway: University of Oslo.


- 
- HE, K.S., D.Y. CHEN, L.J. SUN, Z.L. LIU, AND Z.Y. HUANG. 2015. The effect of vent openings on the microclimate inside multispans greenhouses during summer and winter seasons. *Eng. Appl. Comput. Fluid Mechanics* 9:399-410. doi:10.1080/19942060.2015.1061553
- Herrera-Vásquez, J., Córdoba, M., Cebrián, M., Font-San, A., Alfaro-Fernández, A. y Jordá, C. (2013). Viruses of cucurbits in Panamá. *Journal of Plant Pathology* 95:435–440. DOI: <http://dx.doi.org/10.4454/JPP.V95I2.035>.
- Holdridge, L. (1982). *Ecología basada en zonas de vida*. 3ra edición. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). San José, Costa Rica. p.230.
<http://agricultura.gob.do/category/estadisticas-agropecuarias/exportacionesagropecuarias-2-exportaciones-agropecuarias-totales-y-por-producto/>
<http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/24806/1/T-IASA%20I-005608.pdf>
<http://www.agronet.gov.co>
<http://www.corpoica.org.co:8086/NetCorpoicaMVC/SEMapa/>
<https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/agropecuario/encuestanacional-agropecuaria-ena>
<https://www.datos.gov.co/en/Agricultura-y-Desarrollo-Rural/Evaluaciones-AgropecuariasMunicipales-EVA/2pnw-mmge>
<https://www.imn.ac.cr/documents/10179/20909/Regionalizaci%C3%B3n+clim%C3%A1tica+de+Costa+Rica>
<https://www.meic.go.cr/meic/web/276/estudios/investigaciones-demercado/arroz.php>
https://www.prensa.com/imprensa/panorama/Aumenta-importacion-productosagricolas_0_4771772852.html
<https://www.revistas.una.ac.cr/index.php/historia/article/view/7100/7312>.
- Huaman, A., Chichipe, E., Calderón, E., Leiva, S., Oliva, M. 2019. Diagnóstico de plagas y enfermedades de cinco genotipos de ajíes (*Capsicum* sp.) en invernadero. *Revista de Investigación Agroproducción Sustentable*. 3(3): 1-8.
- Ibarra-Jiménez, L., & de la Rosa Ibarra, M. (2004). Comparación entre microtúneles con cubiertas de polietileno y polipropileno en pepino y pimiento con acolchado plástico. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 10(2), 133-139.
- ICT. (2017). *Informes Estadísticos*. San José, Costa Rica: Instituto Costarricense de Turismo. <https://www.ict.go.cr/es/estadisticas/informes-estadisticos.html>.
- ICT. 2019. *Informes Estadísticos*. San José, Costa Rica: Instituto Costarricense de Turismo. Fecha de consulta 12 de octubre de 2020. En: <https://www.ict.go.cr/es/estadisticas/informes-estadisticos.html>.
- INEC (Instituto Nacional de Estadística y Censos). 2019. *Encuesta Continua de Empleo al primer trimestre de 2019*. Vol. 1. Año 8. ISSN: 2215-3136. 12 p.
- INEC. (2014). *IV Censo Nacional Agropecuario*. Instituto Nacional de Estadísticas y Censos. <https://www.inec.cr/censos/censo-agropecuario-2014>.
- INEC. (2018). *Estimaciones y proyecciones de población*. Instituto Nacional de Estadísticas y Censos. <https://www.inec.cr/poblacion/estimaciones-y-proyecciones-de->

- poblacion.
- InfoStat. 2008. User Manual. InfoStat group, FCA, National University of Cordoba. First Edition, Editorial Brujas Argentina.
- INIFAP (Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias). 2013. Producción de Pimiento Morrón en Casa de Malla para el Sur de Tamaulipas. ISBN: 978-607-37-0030-6. Pp 1-6.
- Instituto de Mercadeo Agropecuario (IMA). (2021). Catálogos de Rubros Cultivados en Panamá. Hortalizas cultivadas en Panamá. Recuperado de https://web.ima.gob.pa/wp-content/uploads/2021/04/Catalogo-Rubros-2021_28_04.pdf.
- ITC (International Trade Centre) (2016). Análisis de información comercial a nivel internacional mediante la herramienta www.trademap.org.
- Jaramillo Jorge; Rodríguez, Viviana; Guzmán, Miryam; Zapata, Miguel y Rengifo, Teresita. (2007). Manual técnico BPA en la producción de tomate bajo condiciones protegidas. Colombia: Corpoica, FAO-MANA. Primera edición. 314 p.
- Jaramillo, J., Aguilar, P., Villarreal, A., Saldarriaga, A., Grisales, N., Quintero, L., Franco, G., Martínez, F., Sánchez, A., Bautista, R., Fuentes, J. y Macías, A. (2019). Modelo productivo de calabacín (*Cucurbita pepo* L.) para los departamentos de Cundinamarca y Antioquia. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA). p. 27 <https://repository.agrosavia.co/handle/20.500.12324/35500>.
- Juárez López, P., Bugarín Montoya, R., Castro Brindis, R., Sánchez Monteón, 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>.
- Jung, D. H., Kim, H. S., Jhin, C., Kim, H. J., & Park, S. H. (2020). Time-series analysis of deep neural network models for prediction of climatic conditions inside a greenhouse. *Computers and Electronics in Agriculture*. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105402>
- Kittas, C., Karamanis, M., & Katsoulas, N. (2005). Air temperature regime in a forced ventilated greenhouse with rose crop. *Energy and Buildings*, 37(8), 807–812. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2004.10.009>
- López, A., Valera, D. L., & Molina-Aiz, F. (2011). Sonic anemometry to measure natural ventilation in greenhouses. *Sensors*, 11(10), 9820–9838. <https://doi.org/10.3390/s111009820>
- Lundy, M., Gottret, M., Cifuentes, W., Ostergar, C., & Best, R. (2004). Diseño de estrategias para aumentar la competitividad de cadenas productivas con productores de pequeña escala.
- Martínez, A., Correa, E., Romero, F., Tofiño, A., Cordero, C., Grandett, L; Tordecilla, L., Rodríguez, M., Roza, Y., Romero, Y., Sierra, J., Orozco, A, y Silva, G., (2020). El cultivo de hortalizas en la región Caribe de Colombia. Aspectos tecnológicos, económicos y de mercado. AGROSAVIA.
- Martínez, C. (2018). Socialización de resultados de investigación en cultivos bajo ambiente

- 
- controlado. Consejo Nacional de Investigaciones Agropecuarias y Forestales (Coniaf).
- Martínez, C., Jiménez, J., Wu, y Peng, Lo. (2007). Los vegetales orientales en la República Dominicana. Instituto Dominicano de Investigaciones Agropecuarias y Forestales (Idiaf). <http://190.167.99.25/digital/Vegetalesorientales.IDIAF.pdf>.
- Masís, Y. A. (2005). Cocina Tradicional Costarricense 1: Guanacaste y Región Central de Puntarenas. Imprenta Nacional, Ministerio de Cultura, Juventud y Deportes.
- Mayorga, J. H. (2012). Caracterización de la cadena productiva de hortalizas bajo techo en El Salvador. IICA, CENTA, Ministerio de Agricultura y Ganadería, La Libertad. Santa Tecla: IICA.
- Ministerio de Agricultura (MA). 2020. Desempeño del Sector Agropecuario de la República Dominicana 2016-2020. Viceministerio de Planificación Sectorial Agropecuaria. Departamento de Economía Agropecuaria y Estadísticas. Recuperado de: <https://agricultura.gob.do/wp-content/uploads/2021/11/Desempeno-del-Sector-Agropecuario-2016-2020.pdf>.
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. (2015). Sector hortícola colombiano.
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. (2019). Sector hortícola colombiano.
- Ministerio de Agricultura. (2018). Agricultura fortalece programa de producción en invernaderos.
- Ministerio de Agricultura. (2019). Estadísticas Agropecuarias (2017-2019).
- Ministerio de Desarrollo Agropecuario (MIDA). Dirección de Agricultura- Unidad de Planificación. Cierre Agrícola año 2017-2018. República de Panamá. Gobierno Nacional. p. 57.
- Ministerio de Desarrollo Agropecuario. (2013). Análisis de la situación actual de la cadena agroalimentaria de las hortalizas (tomate, ajíes, lechuga y zanahoria). Cadena Agroalimentaria de hortalizas.
- Ministerio de Desarrollo Agropecuario. (2017). Informe de cierre agrícola, 2016-2017. https://www.mida.gob.pa/upload/documentos/cierre_2016-2017_pdf%281%29.pdf
- Ministerio de Desarrollo Agropecuario-MIDA. (2018). Informe de cierre agrícola, 2017-2018. <https://www.mida.gob.pa/upload/documentos/2017-2018cierre.pdf>.
- Ministerio de Desarrollo Agropecuario-MIDA. (2019). Informe de cierre agrícola, 2018-2019. https://www.mida.gob.pa/upload/documentos/cierre__2018-2019_ok.pdf.
- Ministerio de Economía Industria y Comercio.
- Ministerio de Salud y Protección Social y FAO. (2013). Perfil nacional de consumo de frutas y hortalizas.
- Ministerio de Salud. (2013). Perfil nacional del consumo de frutas y verduras.
- Miranda, C. (2011). Estadística Aplicada a la Sanidad Vegetal. Cuba: Centro Nacional de Sanidad Agropecuaria (CENSA). p.173.
- Montero, J. I., Stanghellini, C., & Castilla, N. (2008). Invernadero para la producción sostenible en áreas de clima de invierno suaves. Horticultura Internacional, 65 (31), 14-28
- Montes-Pérez, M. (2021). Eco fisiología de dos Cultivares de Pimentón en Condiciones de Agricultura Protegida en Sevilla, Zona Bananera. Trabajo de tesis presentado a la

- Facultad de Ingeniería. Maestría en Ciencias Agrarias, Universidad del Magdalena, Santa Marta, Colombia.
- Moreno-Reséndez, A., Reyes-Carrillo, J., Preciado-Rangel, P., Ramírez-Aragón, M. y Moncayo-Luján, M. (2019). Desarrollo de calabacita (*Cucurbita pepo* L.) con diferentes fuentes de fertilización bajo condiciones de invernadero. *Ecosistemas y recursos agropecuarios*. 6(16), 145-151.
- Mouden, S. y Leiss, K. (2021). Host plant resistance to thrips (Thysanoptera: Thripidae)–current state of art and future research avenues. *Current Opinion in Insect Science*. 45, 28-34.
- Oddone, N., y Padilla, R. (2017). Fortalecimiento de cadenas de valor rurales. Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). I Fondo Internacional de Desarrollo Agrícola (FIDA). Impreso en Naciones Unidas.
- Pakari, A., & Ghani, S. (2019). Evaluation of a novel greenhouse design for reduced cooling loads during the hot season in subtropical regions. *Solar Energy*. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2019.02.006>
- Papadakis, G., Briassoulis, D., Mugnozza G.S., Vox, G., Feuilloley, P., Stoffers, J.A. (2000) Review Paper (SE – Structures and environment): Radiometric and thermal properties of, and testing methods for greenhouse covering materials. *Journal of Agricultural Research* 77(1): 7-38.
- PIMA 2013. Sistema de Información de Mercados Mayoristas. (2020). Sistema de Información de Mercados Mayoristas. Dirección de Estudios y Desarrollo de Mercados, PIMA. <http://www.pima.go.cr/simm/>.
- PIMA. 2013. Proyecto Mercado Regional Mayorista, Estudio de Mercado Región Chorotega. Programa Integral de Mercadeo Agropecuario, Unidad Ejecutora.
- PIMA. 2016. Análisis del consumo de frutas, hortalizas, pescado y mariscos en los hogares costarricenses. Heredia, Costa Rica: Programa Integral de Mercadeo Agropecuario.
- Pitre, H. y Kantack, E. (1962). Biology of the Banded Cucumber Beetle. *Diabrotica balteata*, in Louisiana. *Journal of Economic Entomology*. 55 (6): 904–906.
- Pohlan, D. (1984). Leed control. Institute of tropical agriculture Karl- Marx University Leipzig. Plan protection section. Germany Democratic Republic.pp. 141.
- Proyecto piloto para el establecimiento de un sistema nacional de rastreabilidad en la República Dominicana. <https://docplayer.es/26035875-Diagnostico-cultivos-eninvernaderos-proyecto-piloto-para-el-establecimiento-de-un-sistema-nacional-derastreabilidad-en-la-republica-dominicana.html>
- R Core Team. (2021). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.
- Ramírez, C., y Nienhuis, J. (2012). Cultivo protegido de hortalizas en Costa Rica. *Tecnología en Marcha*, 25(2), 10-20.
- RAMÍREZ, R. 2020. Innovación Social Desarrollada por el INTA obtiene reconocimiento de la Red Innovagro. *Revista Alcances Tecnológicos*. ISSN 2215-5481. Pp 73-76.
- RAMIREZ, R. 2021. Evaluación del efecto del ambiente generado en cuatro sistemas productivos sobre el rendimiento productivo y adaptabilidad de cuatro cultivares de chile dulce tipo Bell. *Archivos Técnicos del INTA*. Código: HT 08 MG 301-1-19. Pp 10-51.

- RAMIREZ, R. AGUILAR, J. LEON, R. 2010. Introducción a los Cultivos Protegidos bajo Coberturas Plásticas en Costa Rica. Imprenta Nacional. San José, Costa Rica Pp 121-123.
- RAMÍREZ, R; AGUILAR, J; MEZA, L. 2012. Evaluación del micro clima en invernadero y su interacción con cinco cultivares de chile dulce. Revista Alcances Tecnológicos INTA. Vol. 9 Núm. 1 (2012). ISSN-1659-0538. Pp. 14-16
- Ramírez-Vargas, C., & Nienhuis, J. (2012). Cultivo protegido de hortalizas en Costa Rica. revista Tecnología en Marcha, 25(2), ág-10
- Ramirez, R; Quiros, s; Bolaños, A. 2022. Evaluación del rendimiento y adaptabilidad de 4 cultivares de chile dulce (*Capsicum annuum*) tipo Bell, en la época lluviosa, utilizando 3 sistemas productivos de ambiente protegido en el cantón de Cañas, Guanacaste. Archivos Técnicos del INTA. Código: HT01MG 301 1 20. Pp 7 – 15.
- Reche, J. (2000). Cultivo intensivo del calabacín. (Hojas divulgadoras N.º 2105 HD). Madrid, España: Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Recuperado de http://www.mapama.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/hojas/hd_2000_2105.pdf.
- RECHE, J. 2010. Cultivo del Pimiento Dulce en Invernadero. Consejería de Agricultura y Pesca, Servicio de Publicaciones y Divulgación, 2010. ISBN 978-84-8474-288-3. Pp 8-12.
- Reyes, J. 2014. Proyecto de inversión para un invernadero rustico en la producción de tomate (*solanum lycopersicum*) en buena vista quintana roo. Recuperado de: http://www.itzonamaya.edu.mx/web_biblio/archivos/res_prof/ige/ige-2014-51.pdf.
- Reyes-Hernández, M. (2001). Análisis económico de experimentos agrícolas con presupuestos parciales: Re-enseñando el uso de este enfoque (en línea). Boletín Informativo, 1-2001. Recuperado de https://www.researchgate.net/profile/Mamerto-Reyes-Hernandez/publication/334655730_Analisis_economico_de_experimentos_agricolas_con_presupuestos_parciales_Re-ensenando_el_uso_de_este_enfoque/links/5d388c4ca6fdcc370a5d014e/Analisis-economico-de-experimentos-agricolas-con-presupuestos-parciales-Re-ensenando-el-uso-de-este-enfoque.pdf.
- Romero, B., Dillon, F. y Zavala, J. (2020). Different soybean cultivars respond differentially to damage in a herbivore-specific manner and decrease herbivore performance. *Arthropod Plant Interact.* 14. 89-99.
- Rondón, S., Cantliffe, D. y Price, J. (2005). "Dinámica de la población del áfido del algodón, *Aphis gossypii* (homóptera: aphididae), en fresas cultivadas bajo estructura protegida". *Florida Entomologist.* 88(2). 152-158.
- San José, Costa Rica. Promotora de Comercio Exterior. <http://sistemas.procomer.go.cr/estadisticas/inicio.aspx>.
- Schultz, D. y French-Monar, M. (2011). Mildiú Polvoriento de las Cucurbitáceas. Agri Life Extension. Texas A&E System. Disponible en: <http://agrilife.org/amarillo/files/2010/11/Mildi%C3%BA-polvoriento-de-las-cucurbitaceasRF.pdf>.

- 
- Sistema de Información de Mercados Mayoristas. (2020). Sistema de Información de Mercados Mayoristas. Dirección de Estudios y Desarrollo de Mercados, PIMA. <http://www.pima.go.cr/simm/>.
- Sorza, S. M. (2016). Metodología y resultados del control de calidad, relleno de datos faltantes y homogeneización realizado a la base de datos climática suministrada por el Ideam a Corpoica para el desarrollo del contrato N.° PS0580 de 2015. Corpoica, C.I. Tibaitatá
- Superintendencia de Industria y Comercio (2009-2011). Cadena productiva de las hortalizas en Colombia: diagnóstico de libre competencia. <https://docplayer.es/14588467-Estudiosde-mercado-cadena-productiva-de-las-hortalizas-en-colombia-diagnostico-de-librecompetencia-2009-2011.html>.
- Tanny, J. (2013). Microclimate and evapotranspiration of crops covered by agricultural screens: A review. In *Biosystems Engineering*. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2012.10.008>
- Teitel, M., & Wenger, E. (2012). The effect of greenhouse roof shape on the flow patterns - CFD simulations. *Acta Horticulturae*. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2012.927.74>
- Tominaga, Y., Mochida, A., Yoshie, R., Kataoka, H., Nozu, T., Yoshikawa, M., & Shirasawa, T. (2008). AIJ guidelines for practical applications of CFD to pedestrian wind environment around buildings. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 96(10–11), 1749–1761. <https://doi.org/10.1016/j.jweia.2008.02.058>
- TRIGO, E. Y ELVERDIN, P. 2019. Los sistemas de investigación y transferencia de tecnología agropecuaria de América Latina y el Caribe en el marco de los nuevos escenarios de ciencia y tecnología. 2030 - Alimentación, agricultura y desarrollo rural en América Latina y el Caribe, No. 19. Santiago de Chile. FAO. 18 p.
- URBAN, L. 1997. Introduction a la production sous serre. En: CASTILLA, N. Invernaderos de plástico. Editorial Mundi-Prensa. Madrid. España. Pp 147-158.
- Valera, D., Belmonte, L., Molina-Aiz, F., & López, A. (2016). *Greenhouse Agriculture in Almeria. A comprehensive techno-economic analysis*.
- Van Der Heyden, D y Camacho, P. (2006). Guía metodológica para el análisis de cadenas productivas. <http://www.bibliotecavirtual.info/wp->
- Van der Zee, A., van der Zee, J., Meyrat, A., Poveda, C., y Picado, L. (2012). Estudio de Caracterización del Corredor Seco Centroamericano. FAO. https://reliefweb.int/sites/reliefweb.int/files/resources/tomo_i_corredor_seco.pdf
- Vidogbéna, F., Adégbidi, A., Assogba-Komlan, F., Martin, T., Ngouajio, M., Simon, S., Tossou, R., & Parrot, L. (2015). Cost: Benefit analysis of insect net use in cabbage in real farming conditions among smallholder farmers in Benin. *Crop Protection*. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2015.09.003>
- Villagrán, E. A., Baeza Romero, E. J., & Bojacá, C. R. (2019). Transient CFD analysis of the natural ventilation of three types of greenhouses used for agricultural production in a tropical mountain climate. *Biosystems Engineering*.

<https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2019.10.026>.

Villagran, E., Ramirez, R., Rodriguez, A., Pacheco, R. L., & Jaramillo, J. (2020). Simulation of the thermal and aerodynamic behavior of an established screenhouse under warm tropical climate conditions: A numerical approach. *Int. J. Sustain. Dev. Plan*, 15, 487-499

Villagrán, E., Ramírez, R., Rodríguez, A., Pacheco, R. y Jaramillo, J. (2020). Simulation of the thermal and aerodynamic behavior of an established screenhouse under warm tropical climate conditions: A numerical approach. *International Journal of Sustainable Development and Planning*. 15(4), 487-499. <https://doi.org/10.18280/ijmdp.150409>.

Zitter, T. (2004). *Plagas y enfermedades de las cucurbitáceas*. The American Phytopathological Society. St. Paul, MN, USA. p.88.

Instituciones participantes





Secretaría Técnica Administrativa



Con el apoyo de: