

Factibilidad económica del cultivo de habichuela (*Phaseolus vulgaris* L. var *vulgaris*) en dos densidades de población bajo dos sistemas de producción semicontrolados.

**Valentina Orozco Orjuela
Héctor Iván Acosta Cardona**

Trabajo de grado para optar al título de INGENIERO AGRÓNOMO

Grupo de Investigación GIPPA

Director

Nelson Ceballos Aguirre, I.A; Ph.D.

Docente Departamento de Producción Agropecuaria

**Universidad de Caldas
Facultad de Ciencias Agropecuarias
Ingeniería Agronómica
Manizales
Junio de 2022**

NOTA DE ACEPTACIÓN

PRESIDENTE DE TRABAJO DE GRADO

JURADO

DEDICATORIA

A nuestras familias, quienes sin importar el paso del tiempo guardaron la esperanza de vernos alcanzar este sueño.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad de Caldas, en especial al programa de Ingeniería Agronómica, por formarnos en el amor al campo. Al profesor Nelson Ceballos por su invaluable apoyo en el proceso, por la dedicación y confianza y por impulsarme siempre a materializar este sueño, a Claudita por toda la gestión y paciencia. A mis padres Jorge y Zorayda y mis hermanos Juancho y Alejo, por hacer de mí el ser humano que soy y por convertirse en la fuerza para alcanzar este logro, porque más que mío es de ustedes. A mi compañero Héctor Iván, porque además de nuestro logro académico, hay una nueva amistad de por medio. A Productos Químicos Andinos S.A.S. por el aprendizaje brindado en tantos años de labor en agroplasticultura y por el apoyo para alcanzar esta meta. A Esperancita, por impulsarme siempre a hacer más, a conocer más, a dar más y a aprender más. Finalmente a todas las personas que estuvieron siempre aportando la buena energía para culminar este trabajo.

- Valentina

Mediante este escrito quiero expresar todo mi agradecimiento a las personas que me aportaron infinitamente con su ayuda a la culminación de mi carrera, quiero en especial dar agradecimiento al ingeniero Nelson Ceballos quien con su aporte académico, su calidez humana y su acompañamiento evaluativo, ha colaborado inmensamente para la entrega del trabajo de grado, adicionalmente agradezco a mi compañera Valentina Orozco que no solamente aportó su conocimiento académico, sino horas de trabajo, amistad y camaradería, para que lográramos acertivamente entregar el trabajo propuesto, agradezco también grandemente a mi madre Luz Mary Cardona y a la familia Acosta Cardona, a mi esposa Paula Marcela Parra Villegas quién ha sido soporte y compañía y quién aún desde mi tiempo como estudiante fue totalmente apoyo para mí realización personal y académica, en estos renglones y por último siendo de valiosísima importancia, doy mis gracias infinitas por la paciencia y emoción de felicidad, que me ha brindado la universidad de Caldas Facultad de Ingeniería Agronómica, al prestarme la oportunidad de realizar mi entrega de trabajo de grado y sobre todo de todo el conocimiento adquirido, lo experimentado en este proceso de entrega, lo vivido y la capacidad intelectual para desenvolverme en sociedad que me han regalado, quiero dar gracias también a mis compañeros colegas de la universidad quiénes siempre me han animado y siempre me dieron un golpe en la espalda, para que me animara completamente terminar mis estudios y a la entrega de mi trabajo de grado. Gracias a todos los que estuvieron involucrados por brindarme su asesoría brindarme fuerza y fortaleza para yo tener la realización y concretar mis estudios universitarios.

Con un entrañable y sincero sentimiento atentamente Héctor y Iván Acosta Cardona

1 Contenido

2	INTRODUCCIÓN.....	11
3	MARCO TEÓRICO	14
3.1	Agroplasticultura.....	14
3.2	Los invernaderos.....	18
3.2.1	Tipos de invernaderos.....	19
3.3	Cubiertas plásticas:.....	22
4	Diseño y pasos para el establecimiento de infraestructuras semicontroladas tradicional y macrotúnel	27
4.1	Invernadero tradicional.....	27
4.1.1	Selección del sitio y labores de cimentación	28
4.1.2	Preparación de guaduas:.....	29
4.1.3	Ubicación de columnas	29
4.1.4	Instalación de alfardas	30
4.1.5	Instalación de la cubierta	30
4.1.6	Finalización de la instalación.....	32
4.2	Macrotúnel.....	33
4.2.1	Selección del sitio:	34
4.2.2	Carevacas o Cuernos.....	34
4.2.3	Postes	34
4.2.4	Arcos	35
4.2.5	Instalación	36
5	Cultivos bajo invernadero.....	40
5.1	La habichuela.....	41
6	OBJETIVOS	44
6.1	Objetivo general:	44
6.2	Objetivos específicos:.....	44
7	MATERIALES Y MÉTODOS	44
7.1	Localización.....	44
7.2	Establecimiento y manejo agronómico convencional del cultivo:	45
7.3	Manejo Agronómico	45
7.4	Distribución del ensayo y tratamientos	45
8	ANÁLISIS ECONÓMICO.....	46
8.1	Especificaciones técnicas	46
9	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	47
9.1	Análisis de precios	47
9.2	Costos de producción del cultivo de habichuela	53
9.3	Costos invernadero tradicional.....	56
9.4	Costos macrotúnel	57
9.5	Análisis económico de habichuela bajo sistemas semicontrolados	59
9.5.1	Rendimientos.....	59
9.5.2	INDICADORES ECONÓMICOS.....	60
9.5.3	Análisis de rentabilidad de los tratamientos viables	68
9.5.4	Análisis de sensibilidad	69
10	Conclusiones.....	73
11	Recomendaciones.....	74
12	Bibliografía.....	77

LISTA DE TABLAS

	Pag.
Tabla 1. Comparación de estructuras de invernadero tradicional y macrotúnel.....	40
Tabla 2. Precios promedio por kilo de habichuela en el mercado nacional y local.....	48
Tabla 3. Costos de producción de habichuela por hectárea.....	54
Tabla 4. Costos de construcción del invernadero tradicional.....	56
Tabla 5. Costos de construcción e instalación de macrotúneles.....	58
Tabla 6. Datos de producción del cultivo de habichuela	60
Tabla 7. Factibilidad económica del cultivo de habichuela en dos densidades de población bajo dos sistemas de producción semicontrolados	65
Tabla 8. Tasa de rentabilidad en la factibilidad económica del cultivo de la habichuela (<i>Phaseolus vulgaris</i> L. var. <i>vulgaris</i>) en dos densidades de población bajo dos sistemas de producción semicontroladas	66
Tabla 9. Tasa Interna de retorno para cada tratamiento, tomando en cada la habichuela como cultivo principal (tres ciclos por año) y como opción de rotación (un ciclo por año)....	67
Tabla 10. Resumen de variables laborales y rentabilidad para los tratamientos viables...	68
Tabla 11. Punto de equilibrio para cada uno de los tratamientos basados en un cambio en los precios.....	70
Tabla 12. Punto de equilibrio para cada uno de los tratamientos basados en un cambio en el rendimiento neto.....	71
Tabla 13. Punto de equilibrio para cada uno de los tratamientos basados en incrementos en los costos de producción por ciclo.....	72

LISTA DE GRÁFICOS

	Pág.
Gráfico 1. Distribución porcentual del uso de plástico en el mundo en el año 2017	15
Gráfica 2. Distribución de artículos plásticos para usos agrícolas	16
Gráfico 3. Calendario de Siembras y cosechas del cultivo de la habichuela 2017	48
Gráfico 4. Comportamiento de precios semanales de habichuela para el año 2018	49
Gráfico 5. Comportamiento de precios semanales de habichuela para el año 2019	50
Gráfico 6. Comportamiento de precios semanales de habichuela para el año 2020	50
Gráfico 7. Comportamiento de precios semanales de habichuela para el año 2021	51
Gráfico 8. Comportamiento de precios semanales de habichuela para el año 2022	52
Gráfico 9. Comportamiento de precios mayoristas feb 2019 a enero 2020.....	52
Gráfico 10. Distribución porcentual de la mano de obra del cultivo de habichuela desde el establecimiento y manejo de cultivo hasta la cosecha	55
Gráfico 11. Distribución porcentual de los insumos del cultivo de habichuela.....	55

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Esquema de invernadero en estructura parral.....	20
Figura 2. Esquema de un invernadero tipo capilla.....	20
Figura 3. Esquema de invernadero tipo gótico.....	21
Figura 4. Esquema de un invernadero tipo túnel.....	22
Figura 5. Esquema de entrada de luz a un invernadero.....	24
Figura 6. Esquema de comportamiento del IR bajo cubiertas térmicas.....	24
Figura 7. Distribución de la banda del UV en el espectro electromagnético.....	25

Figura 8. Esquema de un invernadero.....	28
Figura 9. Labores de cimentación para instalación de las columnas.....	28
Figura 10. Preparación de las guaduas.....	29
Figura 11. Columnas impermeabilizadas y alineadas.....	29
Figura 12. Instalación de alfardas.....	30
Figura 13. Instalación de la cubierta plástica.....	31
Figura 14. Finalización de la instalación de las cubiertas.....	32
Figura 15. Estructura de invernadero terminada.....	32
Figura 16. Esquema de un macrotúnel a un solo arco.....	33
Figura 17. Matriz de doblado de cuernos.....	34
Figura 18. Cuerno terminado.....	34
Figura 19. Poste achatado.....	35
Figura 20. Poste con la carevaca soldada.....	35
Figura 21. Máquina roladora de arcos.....	35
Figura 22. Postes instalados en campo.....	36
Figura 23. Instalación de arcos.....	36
Figura 24. Ubicación del plástico sobre las carevacas.....	37
Figura 25. Soga pisadora fija a la estructura.....	38
Figura 26. Vista interior del macrotúnel.....	38
Figura 27. Vista frontal del macrotúnel con los refuerzos y cruces de San Andrés.....	38
Figura 28. Vista interior del macrotúnel a tres arcos.....	39

RESUMEN

Factibilidad económica del cultivo de habichuela (*Phaseolus vulgaris* L. var *vulgaris*) en dos densidades de población bajo dos sistemas de producción semicontrolados

Este trabajo evaluó la factibilidad económica de la habichuela en sistemas protegidos (Invernadero Vs Macrotúnel), la habichuela es un cultivo de importancia para los productores, debido al corto ciclo vegetativo, como alternativa para tener ingresos a corto plazo o la rotación de otros cultivos como medida sanitaria, la mayoría de las plantaciones de habichuela se realizan a campo abierto, provocando que la producción se vea totalmente dependiente de las condiciones climáticas, causando picos de producción según las estaciones de siembra con efecto reflejado en los precios del producto; no se han reportado estudios de siembra de habichuela bajo invernadero en Colombia, donde este cultivo se siembra en campo abierto, SIPSA , recomienda la siembra pudiendo encontrarse a la venta durante casi todo el año ya que se adecua perfectamente al cultivo en invernaderos. Se utilizó un diseño de parcelas divididas, donde la parcela mayor fue el sistema de producción y la parcela menor fue la densidad de población. Se tomaron los precios de habichuela en el SIPSA desde enero 2018 hasta mayo de 2022, a nivel nacional y Manizales. De los tratamientos evaluados, se encontró que la mayor producción se logró en el macrotúnel en las dos densidades de población, indicando el efecto de este tipo de infraestructura con mayor favorabilidad en la producción de la habichuela frente al invernadero tradicional, alcanzando rendimientos brutos de 34.671 Kg/ha en surco doble. En cuanto a la relación beneficio costo, en todos los casos se tienen valores positivos, confirmando así la viabilidad de la implementación del cultivo de habichuela bajo condiciones semicontroladas

Palabras clave: habichuela, invernadero, macrotúnel, factibilidad económica, agroplasticultura

ABSTRACT

This study evaluated the economic feasibility of snap bean in protected systems (Greenhouse Vs macro-tunnel), the bean is an important crop for producers, due to the short vegetative cycle, as an alternative to have short-term income or the rotation of other crops such as sanitary measure. Most snap bean plantations are carried out in the open field, causing production to be totally dependent on weather conditions, causing production peaks according to planting seasons with an effect reflected in product prices; no studies have been reported on sowing snap beans under greenhouses in Colombia, where this crop is sown in the open field. SIPSA recommends sowing and it can be found for sale during almost the whole year, since it is perfectly suited to cultivation in greenhouses. A split plot design was used, where the largest plot was the production system and the smallest plot was the population density. The prices of snap beans in the SIPSA were taken from January 2018 to May 2022, at the national level and Manizales. Of the treatments evaluated, it was found that the highest production was achieved in the macro-tunnel at the two population densities, indicating the effect of this type of infrastructure with greater favorability in the production of snap beans compared to the traditional greenhouse, reaching gross yields of 34,671 kg/ha in double furrow. Regarding the cost-benefit ratio, in all cases there are positive values, thus confirming the feasibility of implementing the cultivation of snap beans under semi-controlled conditions.

Keywords: snap bean, greenhouse, macro-tunnel, economic feasibility, agroplasticulture.

2 INTRODUCCIÓN

Las hortalizas son un grupo de alimentos fuente de agua, vitaminas y fibra con aporte calórico bajo; en Colombia la producción hortícola es de economía campesina y destinada a satisfacer el mercado interno y principalmente se ha concentrado y desarrollado tecnológicamente en zonas de pisos térmicos templado y frío de los departamentos de Antioquia, Cundinamarca, Boyacá y Nariño; y en cultivos hortícolas como lechuga, tomates, arvejas, habichuelas, cebollas, pimentones y repollos entre otros. (Investigación agropecuaria) www.agronegocios.com

Según la Encuesta Nacional Agropecuaria 2019, el área total sembrada en el país fue de 5.311.977 hectáreas, encontrando que, los cultivos agroindustriales presentaron la mayor participación con un 41,2% y un área de 2.186.389 hectáreas; por su parte las hortalizas verduras y legumbres ocuparon el sexto renglón con una participación del 5,4% y un área de 288.212 hectáreas. (www.dane.gov.co). Es importante destacar que el productor hortícola está caracterizado como pequeño productor puesto que para el año 2020 se reportó que el 75% de los predios contaban con tamaños inferiores a 3,0 hectáreas y el 40% con áreas menores a 1,0 hectárea. (www.minagricultura.gov.co)

El cultivo de las hortalizas se debe adelantar bajo condiciones agroecológicas óptimas (clima, temperatura, humedad del ambiente, precipitación, luminosidad, suelo y disponibilidad de agua para riego en cantidad y calidad), de tal forma que se logre el buen desarrollo de las plantas, así como la menor presencia de plagas y enfermedades. Cuando se establecen cultivos fuera de las condiciones adecuadas o en zonas marginales, las plantas estarán sometidas a un esfuerzo para su adaptación, causando con esto un desgaste que afecta su estado nutricional y fisiológico, debilitándolas y exponiéndolas a un mayor ataque de plagas y enfermedades. Cadena de hortalizas (www.dane.gov.co)

Igual que otras hortalizas, la habichuela puede cultivarse en sistemas de monocultivos o como un componente asociado en policultivos. La asociación puede darse en sistemas múltiples como cultivo intercalado, de relevo o traslape. Esta asociación también favorece la rotación de cultivos en una misma área de producción. (Ospina et al, 2015)

Aunque este cultivo se caracteriza por ser sembrado en pequeñas extensiones y particularmente destinado al autoconsumo, de esta manera, proyectos en torno al sector agrícola, donde se planifican, establecen, manejan y comercializan cultivos de importancia social y económica, como la habichuela (*Phaseolus vulgaris* L. var *vulgaris*) constituyen una alternativa sostenible desde el aspecto técnico, social, financiero y ambiental, que redundan en el desarrollo integral de la población rural. (Muñoz, L. et al 2016) citado por López, 2017

La producción y el consumo de legumbres en América Latina y el Caribe están muy arraigados a su cultura, tradición y costumbres; además, su gastronomía típica está llena de platos preparados con estos granos. Históricamente, las legumbres constituyeron la base de la alimentación y fueron muy apreciadas en la región por su sabor, características nutritivas, precios bajos y alta disponibilidad.

Son la base proteica y calórica fundamental de la alimentación humana, y fuente principal de energía y aminoácidos esenciales provistos de forma balanceada y nutritiva, especialmente cuando son combinadas con cereales. Las legumbres son especies de leguminosas cultivadas para cosechar los granos secos con bajo contenido en aceites. Son una de las mejores fuentes de carbohidratos de absorción lenta; y aportan nutrientes, fibra dietética, vitaminas y minerales. (FAO, 2018)

La habichuela (*Phaseolus vulgaris* L. var. *vulgaris*) es un cultivo con alta importancia para los productores, pues debido a su corto ciclo vegetativo, es una buena alternativa para tener ingresos a corto plazo o para la rotación de otros cultivos como tomate. En el año 2020 se reportaron en Colombia 5.584,33 has sembradas distribuidas en 21 departamentos, con producción de 45.124 toneladas y un rendimiento promedio de 8,08 t/ha; un poco más del 50% de la producción nacional

estuvo concentrada en dos departamentos, Cundinamarca que se ubicó como el departamento con mayor producción con 18.296,5 toneladas, un 40,55% del total nacional y un 36% del total de área sembrada, es decir 2.014 hectáreas, el rendimiento reportado fue 9,08 T/ha; el segundo lugar lo ocupó el Valle del Cauca con 6.905,84 toneladas, un 15,3% del total de la producción nacional y 795,6 hectáreas, el 14,25% del total de área sembrada, en cuanto al rendimiento, este fue de 8,68 T/ha; por su parte Caldas se ubicó en el renglón 16 con 25,32 hectáreas, el 0,45% del área nacional, con producción de 313,69 toneladas aportando un 0,7% al total nacional. (www.agronet.gov.co) La mayoría de las plantaciones de habichuela se realizan a campo abierto, lo que ocasiona que la producción se vea totalmente dependiente de las condiciones climáticas, generando también picos de producción según las estaciones de siembra, esto se ve reflejado en los precios del producto. (Morales, 2015)

En la actualidad, teniendo en cuenta el cambio climático y la dinámica de los mercados, los productores hortícolas colombianos se están orientando a utilizar sistemas de producción semicontrolados, puesto que esto les permite intensificar la producción agrícola, mantener producciones durante todo el año, obtener frutos aun fuera de temporada y de mejor calidad, elevar el rendimiento por unidad de superficie, reducir el riesgo en la producción, hacer un uso más eficiente de los insumos y recursos como el agua y tener un mejor control de organismos nocivos y arvenses, lo anterior teniendo en cuenta el tipo de sistema utilizado, puesto que se encuentran en la actualidad estructuras como semitechos, invernaderos tradicionales, túneles e invernaderos automatizados, que ofrecen a los agricultores diversas opciones de adaptación bien sea a la topografía, requerimientos y presupuesto disponibles.

Es importante tener presente que, si bien los invernaderos presentan una amplia gama de ventajas para los productores, se deben considerar otros factores previos a su construcción como son la alta inversión inicial, la especialización del personal para la construcción de los mismos y el conocimiento del tipo de estructuras y de

los insumos como las cubiertas plásticas que hay disponibles en el mercado, los cuales pueden ser determinantes para la producción y la calidad de los frutos obtenidos.

El tipo de infraestructura tiene un efecto en el diferencial de producción de los diversos cultivos a establecer, así como en la amortización de dicha infraestructura a través del tiempo, lo cual impacta el análisis económico por ciclo de producción según la especie. Por lo tanto, se evaluará la factibilidad económica del cultivo de habichuela (*Phaseolus vulgaris* L. var *vulgaris*) en dos densidades de población bajo dos sistemas de producción con condiciones semicontroladas.

3 MARCO TEÓRICO

3.1 Agroplasticultura

La Agroplasticultura es un conjunto de técnicas que utilizan materiales plásticos dentro de la producción agrícola, su finalidad es generar las condiciones más adecuadas para el desarrollo de los cultivos, creando micro climas y haciendo un mejor uso de los recursos disponibles.

La Agroplasticultura tuvo sus inicios en el año de 1948 cuando el profesor E.M. Emmert de la universidad de Kentucky tuvo la idea de sustituir el vidrio por hidrato de celulosa (papel celofán) para cubrir una estructura de madera; posteriormente en el año de 1953 este material fue sustituido por una lámina de polietileno que trajo como primer reto a los grupos de investigadores elevar la vida útil de los materiales plásticos.

Con el incremento en las áreas cubiertas a nivel mundial, que iniciaron en Francia y continuaron en Italia y España, se aumentó el interés por las interacciones del plástico con las plantas, se estudió por lo tanto el efecto de la radiación sobre los cultivos en donde se analizaron los efectos de las modificaciones en la radiación

visible, longitudes de onda responsables de la fotosíntesis y fototropismo; paralelamente surgen otros estudios con el fin de controlar el micro clima en los invernaderos. La década de los ochenta trajo consigo una mejora importante en las técnicas de transformación de las películas introduciendo maquinaria más sofisticada que permitió obtener filmes multicapa gracias a la coextrusión y finalmente ya en la década de los noventa la industria evolucionó encontrando materiales cada vez más avanzados con nuevos aditivos y cargas minerales consiguiendo una sinergia importante que permitió desarrollar fórmulas con diversos fines como interferir con la visión de los insectos, vectores de virus, disminuir la esporulación de hongos patógenos, intensificar la fotosíntesis, modificar el paso de la banda del UV etc. (Díaz *et al*, 2001)

Para el año 2017 el uso de plásticos en el mundo alcanzó la cifra de 348 millones de toneladas las cuales se dividen en siete segmentos representativos donde el Empaque encabeza la lista con un 40% del total, seguido por el sector de la construcción con un 20%. En el caso de la agricultura representó el 3% es decir algo más de 10 millones de toneladas (Gráfico 1).

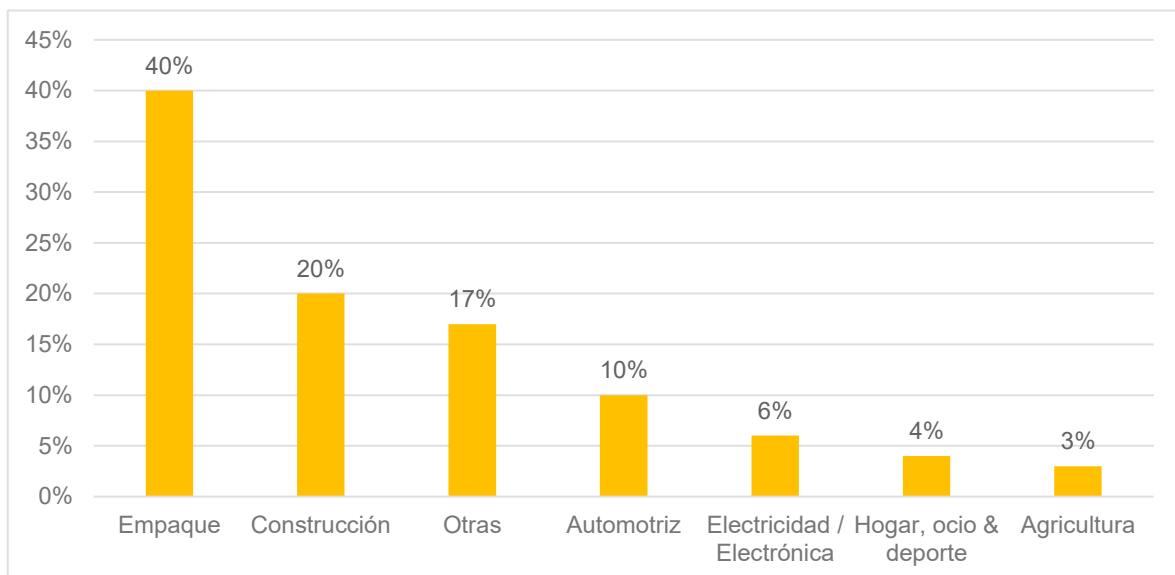


Gráfico 1: *Distribución porcentual del uso de plástico en el mundo en el año 2017 (Fuente: Castellón, 2017, citado por Petrovich, 2018)*

De acuerdo con un estudio realizado en el año 2016 sobre la distribución de los agroplásticos por aplicaciones (Castellón, 2017), las películas representan alrededor del 60% de los artículos plásticos fabricados para uso en la agricultura (Petrovich 2018), el segundo renglón lo ocupan las mangueras y cintas de riego con un 20% seguido por las mallas, telas e hilos con un 4%; el 16% restante lo ocupan los inyectados, termoformados, soplados y rotomoldeados (Gráfico 2).

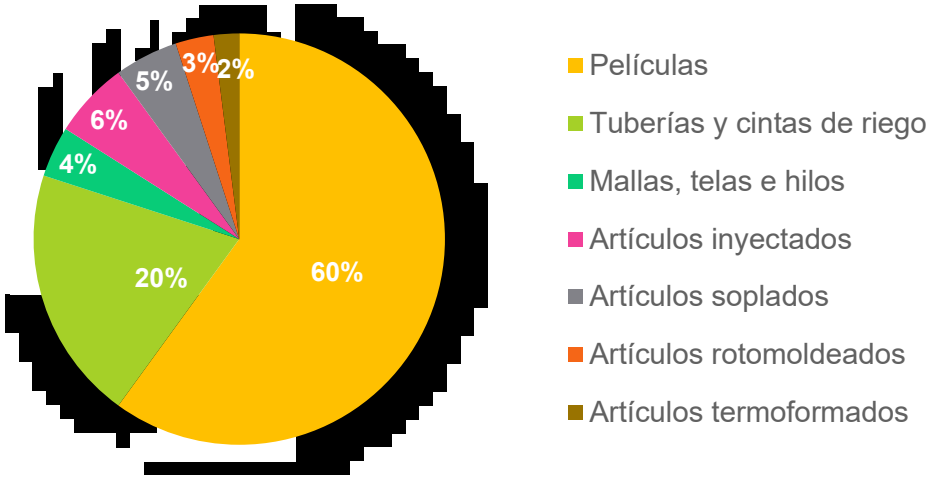


Gráfico 2: *Distribución de artículos plásticos para usos agrícolas (Fuente: Castellón, 2021)*

Las aplicaciones de la plasticultura en América son sorprendentes y variadas, ya que encontramos desde los cultivos protegidos en las zonas más elevadas de la Tierra, en las planicies altas de la Cordillera de Los Andes, a más de 3.000 msnm y hasta los 4.500 msnm, hasta invernaderos tropicales, pasando por aplicaciones como las fundas protectoras de bananos y el mayor desarrollo de silos bolsa del planeta (Castellón 2021).

En las regiones de media altura en la Cordillera de Los Andes (Andes tropicales), desde los 1.000 msnm hasta 3.000 msnm se encuentran más de 12 Mha de invernaderos, exclusivamente para cultivos de flores dedicadas a la exportación, distribuidas entre Colombia, segundo exportador mundial y Ecuador, primer exportador global de rosas (Castellón 2021).

En América la superficie dedicada a los cultivos en invernadero es reducida, y se localiza principalmente en el norte del continente. En el período de 1990 a 2003 dicha superficie se incrementó en un 600 % para alcanzar 1726 ha, de las cuáles 446 ha se localizan en Canadá, 330 ha en Estados Unidos y 950 en México. Canadá fue el principal productor de cultivos en invernadero con el 42% del total de estos tres países. Las condiciones medioambientales de México permitieron un crecimiento exponencial en superficie, de manera que en 2015 se estimaron 30.0000 ha de cultivos bajo invernadero, la mayoría dedicada al cultivo del tomate. (Castellón, 2021)

Entre las ventajas de este sistema de producción se encuentra la generación de ocho empleos directos por hectárea y la producción de cultivos inocuos, además de un incremento en algunos cultivos hasta de cinco veces la producción con relación a campo abierto; los rendimientos promedio de tomate a campo abierto oscilan en las 70 ton, muy reducido comparado con las 350 ton/ha cosechadas en agricultura protegida. Otras ventajas son la producción todo el año, se aprovechan las ventanas de mercado para obtener precios competitivos, el ahorro promedio de 50% de agua; por otro lado, es posible aprovechar suelos con problemas de degradación o suelos químicos (Castellón. 2021)

En Colombia los cultivos bajo invernadero se enfocan en dos tipos: el de producción de especies ornamentales de corte y la producción de hortalizas principalmente para consumo local; por lo general para su desarrollo utilizan invernaderos de bajo costo y bajo nivel tecnológico que no permiten el control del microclima. Para la producción de flores se estima una utilización de 7000 ha y el 88% de estas se encuentra ubicado en la sabana de Bogotá; en cuanto a las hortalizas su producción bajo esta modalidad ha mostrado ventajas como el incremento de la producción y protección de los cultivos; el tomate es el principal producto cultivado. (Villagrán Munar, 2016)

3.2 Los invernaderos

La agricultura tradicional pone el énfasis en suelo, clima y agua como condicionantes de la actividad agraria. La presencia de condiciones desfavorables en alguno de esos factores limita el potencial de las prácticas convencionales, hasta el punto que estas lleguen a perder su interés económico. Sin embargo, las limitantes en las dotaciones de suelo, clima y agua han podido paliarse en diferentes territorios con la implantación de suelos artificiales, de invernaderos y de sistemas de riego. 5 ya que La acidez incide directamente en la fertilidad de los suelos, ocasionando un mayor o menor grado de solubilidad de los elementos nutrientes para las plantas y afectando de este modo la producción agrícola. (Ramírez *et al.*, 2015)

El invernadero modifica el clima para proteger a los cultivos contra sus efectos adversos con el fin de mejorar su productividad. Los hay que mejoran las condiciones ambientales utilizando soportes energéticos externos, que permiten cultivar plantas en lugares y épocas del año en donde las condiciones climáticas imposibilitan o limitan su desarrollo. Otros son pasivos y su función consiste en modificar determinadas variables climáticas adversas como: radiación solar, lluvia, viento, granizo y otros. (Díaz *et al.*, 2001)

El microclima que genera un invernadero difiere del exterior con menores valores de radiación solar, evaporación y viento. Estas alteraciones climáticas reducen considerablemente la demanda evaporativa, por lo que el cultivo en invernadero es una técnica eficiente para reducir el consumo de agua. Las plantas en estas condiciones tienen un crecimiento más acelerado, acortando el tiempo entre los diferentes estados fenológicos. (Díaz *et al.*, 2001)

No se han reportado estudios de siembra de habichuela bajo invernadero en Colombia, donde este cultivo se siembra en campo abierto. (www.dane.gov.co), por lo que SIPSA en boletín de la segunda semana del mes de febrero, recomienda la siembra pudiendo encontrarse a la venta durante casi todo el año ya que se adecua perfectamente al cultivo en invernaderos. (www.agronet.gov.co)

3.2.1 Tipos de invernaderos

“Un invernadero es una construcción cuya cubierta o techo es de un material que deja pasar la luz solar facilitando la acumulación de calor durante el día y desprendiendo lentamente durante la noche, cuando las temperaturas descienden drásticamente, de esta manera se evitan las pérdidas de los cultivos ocasionados por las heladas así como por las bajas temperaturas. El invernadero permite controlar el ambiente interno, modificando el clima y creando las condiciones para el desarrollo de cultivos en cualquier época del año. De esta manera, las temperaturas al interior de invernadero durante la noche siempre serán mayores que las de afuera”. (FAO, 2012)

Actualmente puede hacerse una clasificación de los invernaderos según diferentes criterios como los materiales para su construcción, tipo de material de cobertura, características del techo, etc.; no obstante, se podría hacer una clasificación mezclando algunos de los parámetros anteriores llegando a los modelos más comunes a nivel mundial así:

3.2.1.1 Invernadero tipo parral o almeriense

Son invernaderos originados en la provincia de Almería (España), denominados parral por ser una versión modificada de las estructuras o tendidos de alambre empleados en los parrales para uva de mesa, son muy utilizados en regiones productivas con bajas precipitaciones (Figura 1). La estructura de estos invernaderos está constituida por una estructura vertical de soportes rígidos perimetrales e interiores y una estructura horizontal constituida por dos mallas de alambre galvanizado superpuestas, implantadas de manera manual de forma simultánea a la construcción del invernadero y que tienen la utilidad de portar y sujetar la lámina de plástico. (www.bialarblog.com) En cuanto a las ventajas de este tipo de estructura se tiene la economía en su construcción, alta adaptabilidad a terreno, mayor resistencia al viento, utiliza el agua de lluvia en periodos secos y tiene una gran uniformidad luminosa; de otra parte las desventajas son un escaso volumen de aire, mala ventilación, rápido envejecimiento de la instalación, adicional

a que son muy poco recomendables en zonas de lluvias puesto que se pueden presentar embolsamientos por el agua de lluvia que se crean en la lámina de plástico.

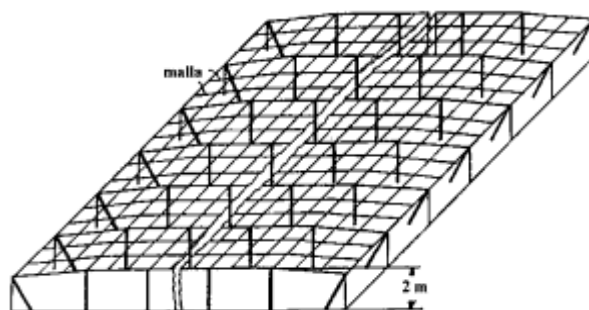


Figura 1: Esquema de invernadero en estructura parral (Fuente: FAO)

3.2.1.2 Invernadero tipo capilla o doble capilla

Los invernaderos de capilla simple tienen el techo formando uno o dos planos inclinados, según sea a un agua o a dos aguas; se trata de una de las estructuras más utilizadas a nivel nacional y presenta como ventajas la construcción de mediana a baja complejidad, la utilización de materiales con bajo costo según la zona en donde se instalen (madera, guadua, metálicos), el manejo de la pendiente permite hacer una correcta evacuación del agua y es apto tanto para materiales de cubierta flexibles y rígidos; en cuanto a las desventajas más relevantes se tienen los problemas de ventilación con invernaderos en baterías y los elementos de soportes internos que dificultan los desplazamientos y el emplazamiento de cultivo (Figura 2)

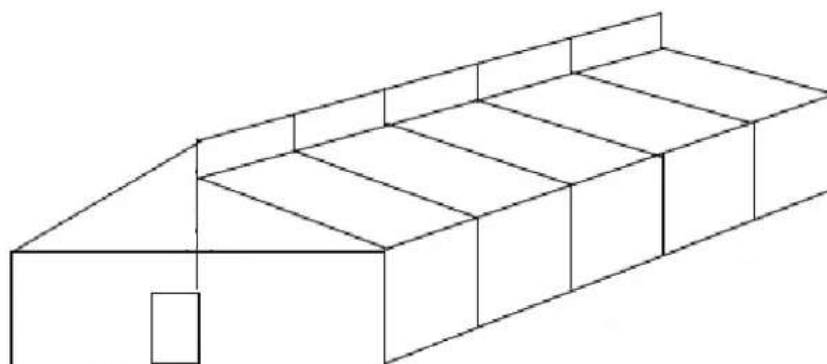


Figura 2: Esquema de un invernadero tipo capilla (Fuente Scribd)

3.2.1.3 Invernadero tipo gótico

Esta estructura posee arcos de tipo ojival, lo que permite albergar un mayor volumen de aire, proporcionando un mejor microclima e iluminación interior; diseñada para adaptarse a todo tipo de cultivos, en especial cultivos suspendidos (Figura 3). Su construcción está orientada a climas extremos y a soportar grandes cargas. Al ser la cumbre de tipo gótico, permite construir naves más anchas, con la ventaja que supone el aumento de superficie de cultivo. Las principales ventajas son la alta duración, eficacia de fijación del plástico de cubierta lo que genera buena hermeticidad, mayor entrada de luz, mayor ventilación y permite realizar labores agrícolas mecanizadas en su interior (www.novagric.com)

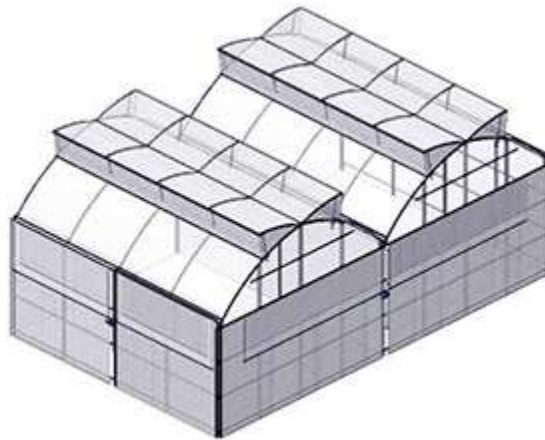


Figura 3: Esquema de invernadero tipo gótico (Fuente Novedades Agrícolas, Novagric)

3.2.1.4 Invernadero tipo túnel o semicilíndrico

El invernadero tipo túnel no posee paredes rectas, la estructura es totalmente curva desde el punto de fijación en el suelo hasta la cumbre. Es una estructura sencilla, resistente y robusta. La unión de los arcos se realiza con crucetas proporcionando a la estructura la flexibilidad suficiente para garantizar la resistencia, incluso en escenarios climáticos desfavorables; otra de las características es la forma de su cubierta y por su estructura totalmente metálica. El uso de este tipo de invernadero se está extendiendo, por su mayor capacidad para el control de los factores climáticos, la resistencia a fuertes vientos y su rapidez de instalación (estructuras prefabricadas). En este tipo de estructuras se presentan como ventajas el buen

reparto de la luminosidad en el interior del invernadero, se reduce considerablemente el problema de la condensación y el goteo del agua en los cultivos debido a la cubierta curva, la cual favorece la evacuación hacia las paredes del agua proveniente de la condensación en la cubierta plástica, permite la instalación de ventanas cenitales y laterales y facilita las operaciones agrícolas con maquinaria. Dentro de esta categoría encontramos microtúneles, mesotúneles y macrotúneles, esto teniendo en cuenta la altura de la estructura para adaptarla de mejor manera a la altura del cultivo (Figura 4).

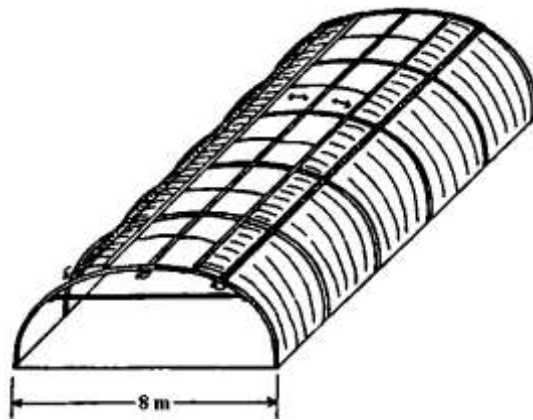


Figura 4: esquema de un invernadero tipo túnel (Fuente FAO)

La elección del tipo de estructura previo a la construcción del invernadero es muy importante basados en las condiciones climáticas de la zona y el cultivo que se va a sembrar, pero adicional a ello, la adecuada selección de las cubiertas plásticas está estrechamente ligada a los rendimientos de la plantación.

3.3 Cubiertas plásticas:

Las tecnologías actuales permiten que las películas de polietileno se puedan elaborar monocapa, tricapa y pentacapa. Las ventajas de la coextrusión son el mejoramiento de las propiedades mecánicas y la posibilidad de combinar variedad de materias primas para otorgar a la película diferentes propiedades en cada una de sus capas. Con los avances ofrecidos en las resinas se mejoran sustancialmente las propiedades mecánicas de las películas como la resistencia al impacto, resistencia al rasgado en dirección máquina y dirección transversal, entre otras.

Tener una película multicapa permite manejar diferentes características en cada una de las capas, ejemplo en la interna puede agregarse un aditivo anti goteo y en la externa un anti polvo dejando la(s) interna(s) para la parte estructural en donde se agregan cargas térmicas, cargas difusas, estabilizadores, entre otros.

A continuación, se detallan las principales propiedades que se deben considerar al momento de elegir el filme más adecuado para el sistema de cultivo a desarrollar:

Espesor o calibre

Del calibre de las películas dependen sus propiedades mecánicas, a mayor espesor mejores propiedades, este también es de gran importancia en el tema de migración de aditivos, en calibres más delgados es menor lo que debe recorrer el aditivo para migrar y por tanto en este tipo de películas siempre la aditivación debe ser mayor y en consecuencia su costo; del calibre de 6 milésimas de pulgada en adelante el proceso migratorio de los aditivos más lento. (www.pqa.com.co)

Transmisión de luz

Corresponde a la cantidad de luz total (disponible en el ambiente) que puede pasar a través de la película plástica; esta se divide en luz directa y luz difusa. La primera corresponde a la parte de la luz total que atraviesa la película directamente sin difuminarse; tiene mayor intensidad y genera sombras. La segunda corresponde a la parte de la luz total que atraviesa la película y es desviada en muchas direcciones dentro del invernadero, es más suave y genera pocas sombras. (Figura 5). Cabe destacar que en la actualidad se buscan películas con mayor luz total y difusa para mejorar el efecto fotosintético. (www.pqa.com.co)

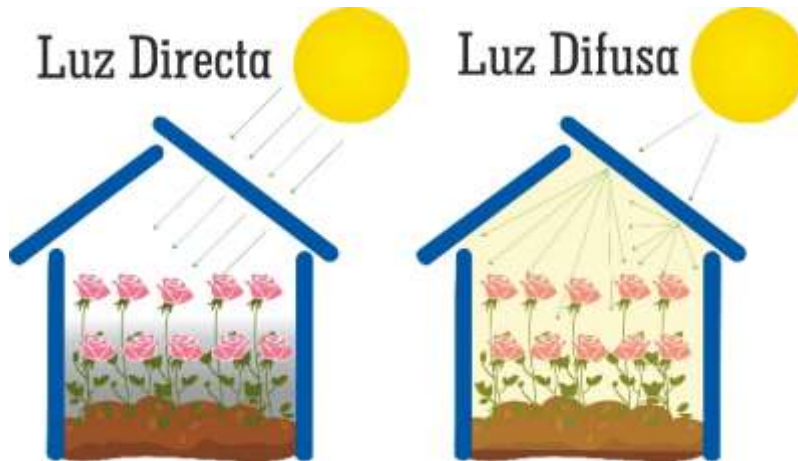


Figura 5: Esquema de entrada de luz a un invernadero (www.pqa.com.co)

Termicidad

Es la capacidad que tiene la película para retener el calor. Durante el día el invernadero acumula la energía del sol (infra rojo) en forma de calor y durante la noche el plástico térmico refleja parte de la radiación infra roja manteniendo el calor dentro del invernadero (Figura 6). Las películas con termicidad de más del 80% reducen el riesgo de bajas significativas bajo la cubierta. Gracias a la incorporación de cargas térmicas que absorben el IR, se disminuyen las pérdidas de calor y se mantiene un nivel térmico más alto dentro del invernadero comparado con los plásticos con termicidades inferiores. (www.pqa.com.co)

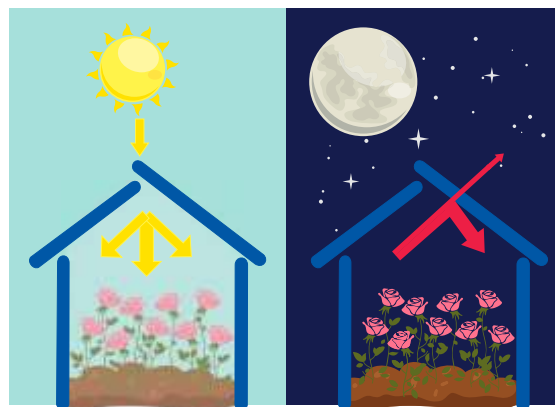


Figura 6: Esquema de comportamiento del IR bajo cubiertas térmicas (www.pqa.com.co)

Filtro de la banda del UV

Esta característica implica el permitir o no el paso de la longitud de onda correspondiente a la banda del UV (100 nm – 400 nm) a través de la película, esto se logra por medio de aditivos que absorben la luz y la disipan en forma de calor. Filtrar el paso de UV total o parcialmente en las cubiertas plásticas otorga propiedades diferentes a los filmes teniendo una relación estrecha con procesos como la expresión de pigmentos en las plantas, la presencia de insectos bajo la cubierta, incluso la esporulación de algunos hongos patógenos (Figura 7).

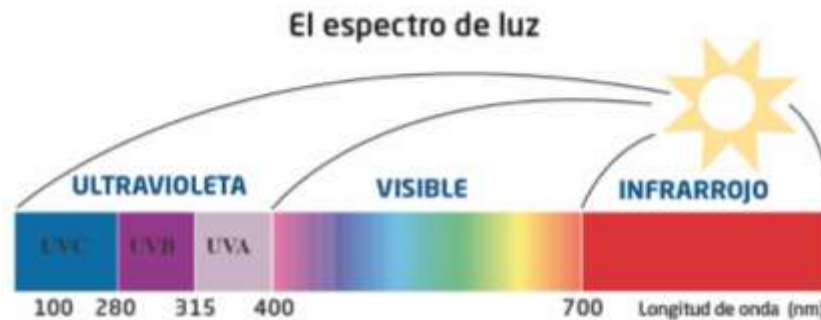


Figura 7: Distribución de la banda del UV en el espectro electromagnético (<https://www.pinterest.es>)

Otras propiedades que pueden encontrarse en las películas plásticas para cubierta de invernaderos son las de anti goteo, anti polvo, anti algas e incluso anti virus ofreciendo así una amplia gama de posibilidades al agricultor al combinar estas características para optimizar el desempeño del filme en campo teniendo en cuenta los requerimientos de cada cultivo y cada región apuntando a una mayor productividad.

La sumatoria de estructura y cubierta acorde a la zona geográfica, condiciones climáticas y requerimientos del cultivo asegura un mayor control de las variables que puedan interferir en el adecuado desarrollo de la plantación, adicional a ello, los sistemas de producción semicontrolados presentan como principales ventajas los siguientes (Parra *et al.*, 2020)

- Son eficaces protectores de los cultivos porque interponen barreras a las agresiones externas (lluvias, vientos, insectos, aves y otros depredadores de las plantas), mejorando las condiciones ambientales para el cultivo.
- Producir en cualquier época del año de manera continua.
- Reducir la erosión.
- Sirven para generar microclimas especiales, porque pueden modificar la naturaleza y la intensidad de radiación que llega a la planta, pueden actuar como trampas térmicas para incrementar el calor almacenado en una atmósfera reducida al entorno del cultivo, o pueden servir para ralentizar la evaporación de la humedad del suelo.
- Elevar el rendimiento (3 – 5 veces mayor que los obtenidos en plantaciones al aire libre).
- Mejorar la calidad de los productos (limpios, sanos, uniformes, etc.).
- Obtener mejor control de los organismos nocivos.
- Aprovechamiento más eficiente del área de cultivo.
- Mejorar la relación agua – tierra, ahorrando agua en la agricultura, favoreciendo el almacenamiento, conducción y gestión de las aguas utilizadas para el riego.
- Precocidad de cosechas (se acorta el ciclo vegetativo).
- Ahorro de agua (la evaporación es mínima).
- Siembra de variedades selectas con rendimientos máximos.
- Posibilidad de obtener en la misma parcela de cultivo dos o tres cosechas al año

Día a día los aplicativos de los plásticos en el agro son muy amplios, se incluyen fibras, germinadores, canastas de recolección, empaques, geomembranas, biodigestores, acolchados para suelos, láminas para solarización, polisombras, bolsas para cubierta de frutas en campo, mangueras y accesorios para sistemas de riego, entre otros, adicionalmente se cuenta también con una amplia gama de estructuras de invernaderos desde los parrales típicos de la zona de Almería, pasando por los tradicionales o de tipo capilla, espaciales, semitechos, microtúneles, multitúneles y macrotúneles etc. los cuales han sido seleccionados por los agricultores de acuerdo a los materiales disponibles en cada zona (madera,

guadua, tubería, etc.) y las condiciones climáticas propias del sitio en donde se van a instalar.

4 Diseño y pasos para el establecimiento de infraestructuras semicontroladas tradicional y macrotúnel

4.1 Invernadero tradicional

Son un tipo de estructura que ha sido replicada por todo el territorio colombiano (Figura 8), cuentan con un techo a dos aguas y ventilación cenital fija. Sus ventajas se manifiestan en la facilidad de construcción y su fácil mantenimiento, el cual, aunque debe ser permanente se hace en los mismos periodos en los que se debe cambiar el plástico, por lo tanto, no afecta el cultivo. Sus desventajas radican en la dificultad para realizar trabajos que involucren el uso de maquinaria agrícola debido al gran número de parales que se utilizan en la construcción. Otro grave inconveniente que se presenta es el uso de madera sin inmunizar lo cual permite que ésta se pudra en la parte de contacto con el suelo, debido a la humedad. Sin embargo, la inmunización es una labor que se puede realizar fácilmente con pintura impermeabilizante tipo vareta o brea líquida aplicada desde la base de la madera hasta 30 cm. por encima del nivel del suelo para garantizar un alargamiento de la vida útil de este material. (Parra *et al*, 2020)

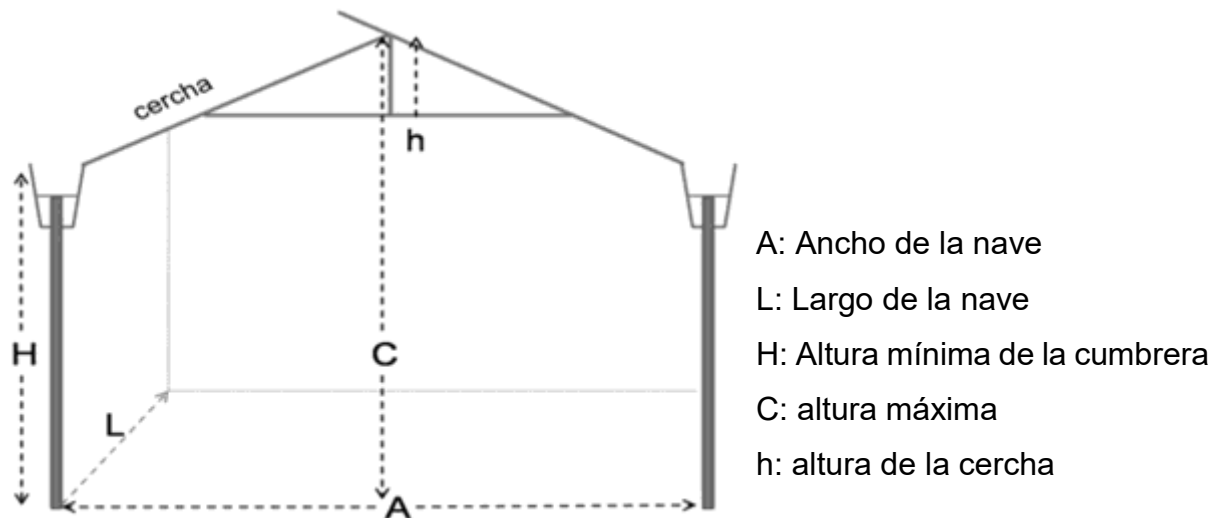


Figura 8: esquema de un invernadero tradicional (Parra et al., 2020)

4.1.1 Selección del sitio y labores de cimentación

Es importante reconocer el terreno, lo cual permite para realizar las adecuaciones previas a la construcción como nivelación del terreno y marcación del mismo de acuerdo al diseño establecido; se realiza el ahoyado de acuerdo al trazado previo, se preparan las rejillas formadas a partir de varillas de hierro y se ubican en el fondo con el gancho libre para unir los tensores, se deposita la mezcla de cemento arena y gravilla y se deja secar 24 horas (Figura 9)



Figura 9: labores de cimentación para instalación de las columnas (Parra et al., 2020)

4.1.2 Preparación de guaduas:

Preparar las guaduas con las dimensiones necesarias, de acuerdo a su ubicación en la estructura; adicionalmente, aplicar pintura impermeabilizante (puede ser de tipo vareta) a las que van como columnas desde la base (parte que va enterrada en el suelo) hasta mínimo 30 cm por encima de la superficie del suelo. (Figura 10).



Figura 10: preparación de las guaduas. (Parra et al., 2020)

4.1.3 Ubicación de columnas

Ubicar columnas y verificar que estén en el lugar correcto, según los planos; se procede a pisarlas de tal forma que queden totalmente firmes y alineadas una con otra (Figura 11)



Figura 11: Columnas impermeabilizadas y alineadas, (Duque, 2013)

4.1.4 Instalación de alfardas

Cuando las columnas estén aseguradas se procede a perforarlas para unir con los tornillos la alfarda (soporte del plástico en el techo) a la columna en la parte superior; seguidamente más abajo se une la alfarda inferior. De esta manera se comienza a armar la estructura, comenzando por los dos extremos y la de la mitad hasta completar todo el módulo. Posteriormente con la estructura en pie, comenzamos con el anclaje de ésta, se inicia con la instalación en los extremos de la estructura, del alambre al tensor (Figura 12)



Figura 12 Instalación de alfardas. (Parra et al., 2020)

4.1.5 Instalación de la cubierta

Se procede a instalar la cubierta, previa ubicación de los alambres, los cuales facilitan extender el plástico; en este punto se debe tener en cuenta que cualquier tipo de arista o aspereza que exista en los materiales sobre los que se va a deslizar la película deben ser limadas. Se recomienda iniciar la instalación por la alfarda baja y continuar por la alta; la tensión del plástico debe realizarse con un malacate y no debe exceder lo indicado según el fabricante, es de vital importancia que no queden arrugas para prolongar la vida útil del filme (Figura 13).



Figura 13: instalación de la cubierta plástica, (Parra et al., 2020)

Según FAO (2002), algunas de las estructuras actuales de invernaderos cubiertos con plástico tienen una serie de puntos negativos, entre los que cabe mencionar los siguientes:

- El establecimiento de la estructura y el cambio de material de cubierta necesita grandes cantidades de mano de obra.
- La película pierde su tensión debido a la radiación solar y a la fricción con los elementos estructurales.
- El film tiende a "aletear" en la estructura debido a la acción del viento.
- La condensación de agua reduce la transmisión de luz y causa goteo sobre el cultivo.
- La ventilación es inadecuada en los invernaderos multimodulares.
- La estructura del invernadero, especialmente si es de madera, tiene muchos elementos opacos que producen una pérdida de luminosidad

4.1.6 Finalización de la instalación

Después de que la cubierta se halla tensado correctamente y fijado a la estructura, se asegura con las grapas, las cuales deben estar ubicadas en diagonal a 10 o 15cm entre cada una; también se recomienda doblar el plástico en cuatro en los bordes, lo cual garantiza un mejor agarre del mismo, adicionalmente se garantiza la evacuación del agua lluvia (Figuras 14 y 15)



Figura 14. Culminación de la instalación. (Parra et al., 2020)



Figura 15: Estructura de invernadero finalizada. (Orozco Orjuela, 2021)

4.2 Macrotúnel

Después de los invernaderos, los macrotúneles son la opción más utilizada en la agricultura protegida, son un tipo de estructura metálica económica y muy sencilla diseñada de manera modular en tubería de acero galvanizado de fácil y rápido ensamblaje, adicionalmente, todos los módulos son adaptables siempre a posibles modificaciones como adaptación de cerramientos enrollables según sea la necesidad del cultivo o ampliaciones posteriores incluyendo también la posibilidad de movimiento estructural para la rotación de los suelos. En la actualidad los macrotúneles están siendo cada vez más utilizados por los agricultores, teniendo en cuenta que, si bien generan una mayor inversión inicial, están garantizando también una mayor duración en el tiempo, razón por la cual van tomando cada vez mayor auge en países como México.

Los macrotúneles se componen de cuatro piezas claves: arcos, postes, carevacas y refuerzos, la construcción de la estructura se detalla a continuación:

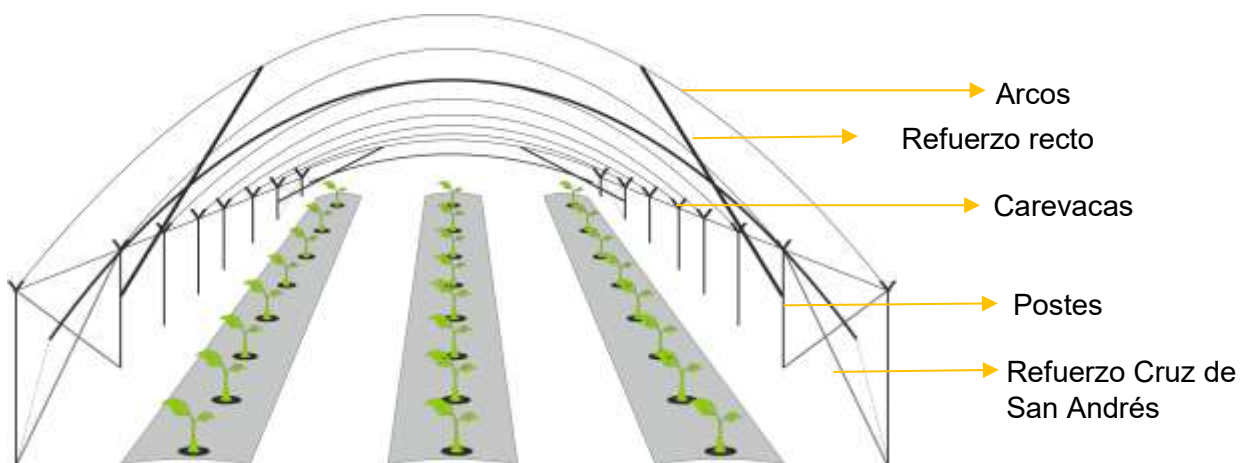


Figura 16: Esquema de un macrotúnel a un solo arco. (Orozco Orjuela 2019)

4.2.1 Selección del sitio:

Es importante reconocer el terreno, lo cual permite para realizar las adecuaciones previas a la construcción como nivelación del terreno y marcación del mismo de acuerdo al diseño establecido.

4.2.2 Carevacas o Cuernos

Se toma un tramo de 45cm de tubo negro y por uno de los extremos con dos pinzas tipo “hombresolo” se fija en la matriz de doblado que está conformada por dos poleas enfrentadas, posteriormente se acciona el mecanismo manualmente para doblar la mitad, seguidamente se sueltan las pinzas, se retira el tubo y se fija del extremo contrario, nuevamente se acciona manualmente el mecanismo (Figura 17), se sueltan las pinzas y se retira el tubo ya en forma de cuerno (Figura 18). Estos serán los soportes para encajar los arcos del extremo superior de cada poste

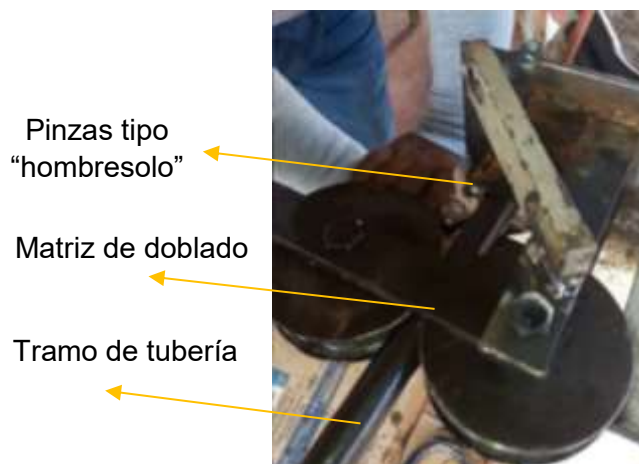


Figura 17: matriz de doblado de cuernos, (Orozco Orjuela 2017)



Figura 18: Carevaca terminada. (Orozco Orjuela 2017)

4.2.3 Postes

Se construyen a partir de los tubos galvanizados de 1.1/2” de 3m de largo; uno de los extremos se achata un poco con un mazo, posteriormente, se ubica una

carevaca en el centro de la curva en la parte achatada (Figura 19) y se procede a soldarlos (Figura 20).



Figura 19: Poste achatado (Orozco Orjuela, 2017)



Figura 20: Poste con la carevaca soldada (Orozco Orjuela, 2017)

4.2.4 Arcos

Se toma un galvanizado de 1" por 6m de largo y se pasa por la máquina roladora para dar la curva requerida según sea el diseño planteado



Tubo de 1"

Máquina Roladora

Figura 21: Máquina roladora de arcos, (Orozco Orjuela, 2021)

4.2.5 Instalación

Inicialmente, se realiza el trazado según lo planeado en el diseño (ancho de la estructura y distancia entre postes) y se procede a ahoyar e instalar cada uno de los postes (tubo + carevaca) (Figura 22)



Figura 22: Postes instalados en campo. (Orozco Orjuela 2017)

Posterior a tener los postes instalados a la altura deseada (según tipo de cultivo y estructura de suelo) se procede a instalar los arcos insertando el extremo de la carevaca que está en el lado interior del invernadero en uno de los extremos del arco. (Figura 23)



Figura 23: Instalación de arcos. (Orozco Orjuela 2017)

Se instalan las cruces de los refuerzos tipo cruz de San Andrés fijando dos tubos rectos de 1" cruzados en forma de X entre el primero y segundo poste de cada línea (Figura 24). Posterior a esto, se instala la cubierta tomando el rollo de plástico y desenrollándolo a lo largo de la estructura, y amarrando la soga pisadora en los extremos, se comienza a subir el material ubicándolo sobre los cuernos o carevacas para finalmente pasarlo sobre los arcos (Figura 24)



Figura 24: Ubicación del plástico sobre las carevacas. (Orozco Orjuela 2017)

En los extremos del arco, se forma uno más pequeño con manguera agrícola y soga pisadora; por medio de éste, se enhebrará el extremo de la película plástica y se amarra a la estructura (Figura 25); la soga pisadora se ubica en forma de "X" sobre el plástico entre los arcos para fijarlo a la estructura (Figura 26)



Figura 25: soga pisadora fija a la estructura. (Orozco Orjuela 2017)



Figura 26: Vista interior del macrotúnel. (Orozco Orjuela 2017)

Para finalizar, se ponen un tubo recto de 1" por 6m de largo desde el segundo poste a una altura de aproximadamente 1,2 (desde la base) hasta la parte alta del arco para darle tensión a la estructura. Proceso que se repite a ambos lados en los dos extremos del túnel, en caso de que el macrotúnel tenga varios arcos, las cruces de San Andrés se ubican solo en las líneas externas de postes (Figura 27)



Figura 27: vista frontal del macrotúnel con los refuerzos y cruces de San Andrés. (Orozco Orjuela 2017)



Figura 28: Vista interior del macrotúnel a tres arcos. (Henao Ríos, 2019)

Tomando en cuenta lo revisado en temas de materiales, construcción y características tanto de invernaderos tradicionales como de macrotúneles, se debemos tener en cuenta algunos puntos determinantes en los que difieren una estructura de la otra, estos se describen en la tabla 1; los parámetros más relevantes son la amortización de cinco años para los invernaderos tradicionales, comparados con los 30 años para los macrotúneles, adicionalmente el uso de recursos naturales como lo es la guadua como componente estructural de los invernaderos tradicionales incorpora un tema ambiental pues la velocidad de extracción es mucho mayor que la de recuperación y finalmente la posibilidad de rotación de suelos que permiten los macrotúneles contrario a los invernaderos tradicionales que quedan fijos en el sitio de instalación.

Tabla 1. Comparación de estructuras de invernadero tradicional y macrotúnel

Invernadero Tradicional	Macrotúnel
<ul style="list-style-type: none">• Amortización a cinco años	<ul style="list-style-type: none">• Amortización a 20 años
<ul style="list-style-type: none">• Estructura en materiales naturales	<ul style="list-style-type: none">• Estructura metálica
<ul style="list-style-type: none">• Menor exigencia en mano de obra para construcción	<ul style="list-style-type: none">• Mayor exigencia en mano de obra para construcción
<ul style="list-style-type: none">• Estructura fija en el terreno	<ul style="list-style-type: none">• Estructura con posibilidad de traslado
<ul style="list-style-type: none">• Sin posibilidades de ampliación	<ul style="list-style-type: none">• Modular con posibilidad de ampliación

5 Cultivos bajo invernadero

Según la entidad holandesa Rabobank, China con 82.000 hectáreas y España con 70.000 (con la mitad concentrada en la provincia de Almería), representan el 30% de todos los invernaderos en el mundo. Así mismo cabe destacar que en Colombia hay alrededor de 7.700 hectáreas de invernaderos en las cuales se cultivan principalmente ornamentales, de acuerdo con Asocolflores (Redagrícola 2020).

En América Latina, países como Costa Rica, Ecuador y México han tenido avances importantes en materia de invernaderos. En Colombia, estos desarrollos han comenzado a buscar soluciones para optimizar diversos recursos como la luz y el área, además de mejorar el clima. En el caso del cultivo de hortalizas bajo invernaderos, se utilizan estructuras de bajo costo y bajo nivel tecnológico en su mayoría con estructuras tradicionales en madera. (Redagrícola 2020).

En Colombia, los cultivos sembrados bajo invernadero son principalmente ornamentales, tanto en sabana de Bogotá como en Antioquia; es importante tener presente que día a día crece el área cubierta en el territorio nacional para diversos

cultivos dentro de los que destacan cannabis, frutales como fresa, gulupa, frambuesa y arándanos y hortalizas como tomate, pepino, pimentón, lechuga y leguminosas como el frijol y la habichuela.

5.1 La habichuela

La especie *Phaseolus vulgaris* L. var. *vulgaris* es una de las más antiguas; México ha sido aceptado como el más probable centro de origen, o al menos como el centro de diversificación primaria. Esta leguminosa se encuentra ampliamente distribuida en los cinco continentes tanto para cultivo como para consumo; apareció en Estados Unidos como hortaliza en 1890 a partir del mutante German Wax Been que a su vez originó la variedad comercial Blue Lake. (Vallejo y Estrada, 2004).

La habichuela está clasificada junto con el frijol como *Phaseolus vulgaris* L.; pertenece a la familia fabaceae, comúnmente llamadas leguminosas; es una planta anual con un ciclo vegetativo muy corto (60 – 90 días) comprendidos desde la siembra hasta la cosecha incluyendo controles fitosanitarios y demás labores de cultivo (Figura 29) con variedades que pueden tener crecimiento indeterminado para las de tipo voluble o determinado para las variedades de tipo arbustivo. La clasificación se basa en las características de la vaina y el hábito de crecimiento de la planta, que se puede asociar a la facilidad del proceso de mecanización para la cosecha. La mayor parte de los países tropicales y subtropicales producen habichuela fresca para el mercado (Alba, J. et al., 2005).

La habichuela presenta un sistema radicular bien desarrollado y de crecimiento rápido y penetrante (hasta 140 cm) Se compone de una raíz principal con muchas raíces secundarias, localizadas en la parte superior. Posee tallos delgados y de altura variable; las hojas son en general de forma cuadrangular o triangular (según la variedad). Las flores son de color blanco reunidas en racimos insertos en las hojas, las vainas son colgantes con 5 a 12 semillas cada una (Saladín, 1995)

La morfología floral de la habichuela facilita autopolinización debido a que es hermafrodita, y las anteras liberan polen simultáneamente cuando los estigmas están receptivos y la flor está cerrada (mecanismo conocido como cleistogamia). El fruto es una vaina indehisciente que contiene las semillas, las cuales no presentan albumen (Vallejo y Estrada, 2004).

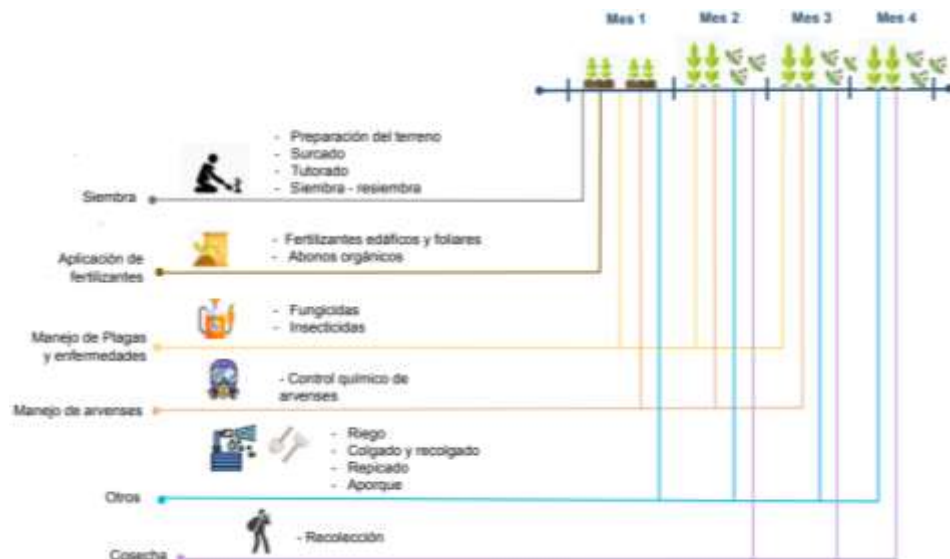


Figura 29: Ciclo de cultivo de la habichuela y labores (www.finagro.com)

Los requerimientos climáticos del cultivo de habichuela corresponden a alturas entre 1.500 y 2.300 m.s.n.m., es decir climas medios y climas fríos, con temperaturas entre 16°C y 28°C; temperaturas inferiores a 10°C ocasionan muerte de plantas por heladas, a su vez temperaturas por encima de 30°C generan caída de flores y en superiores a 35°C se ha observado ausencia en el crecimiento de las semillas. (Acosta y Santamaría; 1999). En cuanto a los suelos, deben ser francos, con muy buen drenaje y pH entre 5,5 y 6.

Esta leguminosa cuenta con grandes posibilidades para la alimentación humana, por su doble aprovechamiento (de grano y de vaina) y por su aporte proteico; además una parte de su producción se comercializa congelada y en conserva; aunque debe avanzar a través de la mejora genética y la adecuación de las técnicas de cultivo. (www.infoagro.com)

En el año 2019, la producción mundial de habichuela fue de aproximadamente 27 millones de toneladas con una tasa de crecimiento de 2,8% en comparación con el año 2018. China se ubica como el mayor productor con aproximadamente 21.000.000 de toneladas, es decir un 75% del total mundial, seguido por Indonesia con 946.000 toneladas y Estados Unidos con 813.000 toneladas (Global Trade 2020)

Esta especie vegetal es de gran importancia económica mundial, por sus propiedades alimenticias y usos industriales, pudiendo utilizarse tanto la vaina como el grano, así como también para consumo animal por su alto valor proteico. Esta leguminosa es cultivada en todo el mundo en especial las especies mejoradas generadas en Europa; durante el 2008 la producción mundial de habichuela alcanzó las 21.144.166 toneladas, en tanto que, para el 2009 esta cifra presentó una disminución considerable obteniendo 20.698.984 de toneladas; en Centroamérica y el Caribe, la habichuela representa la principal fuente de proteína en la dieta de gran parte de la población (Suarez y Morales, 2006).

En Colombia, según datos del Sistema de Información de Precios y Abastecimiento del Sector Agropecuario - SIPSA para el año 2008 se alcanzó una producción nacional de 62,15 toneladas con un rendimiento de 9,28 t/ha descendiendo en 2010 a producción de 47,32 toneladas y rendimiento de 8,14t/ha para iniciar un nuevo ascenso y llegar hasta 56,65 toneladas en 2017 con rendimiento de 8,6 t/ha. A nivel nacional es cultivada en cerca de 18 departamentos, concentrando para el año 2017 un poco más del 70% de la producción en Cundinamarca con 2.789 hectáreas y rendimiento de 10,21 t/ha; Valle del Cauca con 929 hectáreas sembradas y rendimiento de 9,1 t/ha; Santander con 812 hectáreas y rendimiento de 9,35 t/ha y finalmente Huila con 757 hectáreas sembradas y rendimiento de 6,05 t/ha.

La habichuela es un cultivo que se ha venido difundiendo rápidamente pues presenta excelentes condiciones como cultivo de rotación con otros de alta importancia económica, principalmente el tomate, pues permite utilizar la misma infraestructura; con esta opción se da descanso al suelo, se rompe el ciclo de plagas y enfermedades

limitantes del cultivo principal y adicionalmente se fija nitrógeno en el suelo, característica propia de las leguminosas.

6 OBJETIVOS

6.1 Objetivo general:

Evaluar la factibilidad económica del cultivo de habichuela (*Phaseolus vulgaris* L. var. *vulgaris*) en dos densidades de población bajo dos sistemas de producción con condiciones semicontroladas.

6.2 Objetivos específicos:

- Evaluar la viabilidad económica de la implementación de sistemas de producción semicontroladas para el cultivo de habichuela.
- Determinar la densidad de población más recomendada para el cultivo de habichuela en invernadero tradicional y en macrotúnel.

7 MATERIALES Y MÉTODOS

7.1 Localización

El estudio se llevó a cabo basados en los datos históricos de los cultivos sembrados en dos sistemas de producción semicontrolados en la granja Tesorito, propiedad de la Universidad de Caldas ubicada a 11 Kilómetros vía al Magdalena, Parque Industrial Juanchito, en la vereda Maltería municipio de Manizales (Caldas), con una temperatura media de 17.5°C, altitud de 2.280 msnm, precipitación promedio anual 1.800 mm y una humedad relativa de 78%.

7.2 Establecimiento y manejo agronómico convencional del cultivo:

Las condiciones de evaluación del cultivo de la Habichuela (*Phaseolus vulgaris* L.), de donde provienen los datos fueron distribuidos en dos diferentes densidades de población (33.333 pl/ha y 66.666 pl/ha) así: para los surcos sencillos se manejó una distancia de 1,2 m entre calles y 0,25m entre plantas; para los dobles con distancias de 0,9m entre calles, 0,3m entre surcos y 0,25m entre plantas. La profundidad de siembra no excedió 2 o 3 cm, depositando de 3 semillas por sitio. El suelo estuvo relativamente húmedo o a capacidad de campo antes de realizarse la siembra, el encelamiento y abonamiento mineral y orgánico se realizaron según los requerimientos nutricionales del cultivo y la disponibilidad de elementos en el suelo, el tutorado y manejo del sistema de riego se implementó dependiendo directamente de las condiciones como se presentó el invernadero o macrotúnel en el que se llevó a cabo la investigación.

El primero módulo de macrotúneles de la granja Tesorito fue construido en el año 2017 bajo el modelo mexicano de la compañía “Invername”; posteriormente, se realizaron modificaciones al plano base con el fin de tener una mejor adaptación a las condiciones propias de la zona y de optimizar al máximo las dimensiones de las tuberías que están disponibles en el mercado colombiano, generando así módulos experimentales de dos arcos.

7.3 Manejo Agronómico

En todos los casos el manejo agronómico del cultivo se llevó a cabo de acuerdo con las recomendaciones técnicas de Vallejo y Estrada (2004). El plan de fertilización se llevó a cabo con base en el análisis de suelo y la extracción del cultivo.

7.4 Distribución del ensayo y tratamientos

Se evaluó la factibilidad económica del cultivo de habichuela en dos sistemas de producción semicontrolados (invernadero tradicional de guadua y macrotúnel en tubería galvanizada) en dos densidades de población (33.333 plantas/ha y 66.666

plantas/ha). Se utilizó un diseño de parcelas divididas donde la parcela mayor fue el sistema de producción y la parcela menor fue la densidad de población. Las variables a analizar fueron producción por planta, rendimiento en Kg/ha, costos de producción, relación beneficio costo, valor unitario de producción, margen unitario de producción, rendimiento neto, rendimiento bruto, ingresos netos, ingresos brutos, margen unitario de producción, tasa de rentabilidad, tasa interna de retorno y valor presente neto. Finalmente, se analizó la factibilidad económica de este cultivo bajo los tratamientos evaluados.

8 ANÁLISIS ECONÓMICO

8.1 Especificaciones técnicas

- **Área de siembra:** El análisis asumió que la producción sería para una hectárea de cultivo por ciclo teniendo en cuenta la amortización de cada sistema productivo; cinco años para invernadero tradicional contemplando un recambio de plástico y 20 años para el macrotúnel, contemplando cambio de plástico cada 3 años; para el sistema de riego se calculó a cinco años en ambos casos.
- **Densidad de siembra:** La densidad de siembra se llevó a cabo en surcos sencillos a 1,2 m entre surcos y 0,25 m entre plantas (33.333 plantas/ha), y para surcos dobles a 0,9 m entre calles, 0,3 m entre surcos dobles y 0,25 m entre plantas (66.666 plantas/ha)
- **Duración total del ciclo:** para el cultivo se calculó en tres meses y medio teniendo en cuenta la zona de ubicación de los ensayos previos.
- **Producción por planta:** se tomó como base para este análisis los datos reportados en estudios previos
- **Producción por hectárea:** se analizaron los rendimientos para el sistema de invernadero tradicional y para el macrotúnel adicionalmente, en ambos casos la densidad de población con siembra a surco doble y surco sencillo

Los costos de producción y sistema semicontrolado (invernadero) se estimaron en relación con los valores de materiales de la zona y los diseños descritos anteriormente; dichos valores hacen referencia al establecimiento de una hectárea del cultivo de habichuela y los costos por unidad de área en que se incurriría en la actualidad para desarrollar el proyecto.

El análisis económico tuvo en cuenta los costos de producción por hectárea para un sistema de invernadero tradicional y un sistema de macrotúnel; los precios de venta promedio/kilo fueron tomados del promedio nacional en lo que va corrido del año 2022 (\$3.210) reportados oficialmente por el SIPSA.

9 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

9.1 Análisis de precios

Se realizó revisión general de los precios de habichuela en el sistema de información de precios (SIPSA, www.dane.gov.co) desde el año 2018 hasta la fecha, tanto a nivel nacional como en Manizales, lugar donde se tenían establecidos los cultivos tomados como base para este análisis de factibilidad, encontrando los promedios que se describen en la tabla 2; se observa que los precios tienden al alza en ambos panoramas, situación que puede obedecer a las situaciones presentadas en estos años, inicialmente la pandemia COVID 19 desde 2020 y para el año 2021 el paro nacional, que afectó costos y disponibilidad de insumos y materiales, situación que continúa reflejándose en al año 2022. El gráfico 3 es del año 2017 pero el comportamiento año tras año es similar.

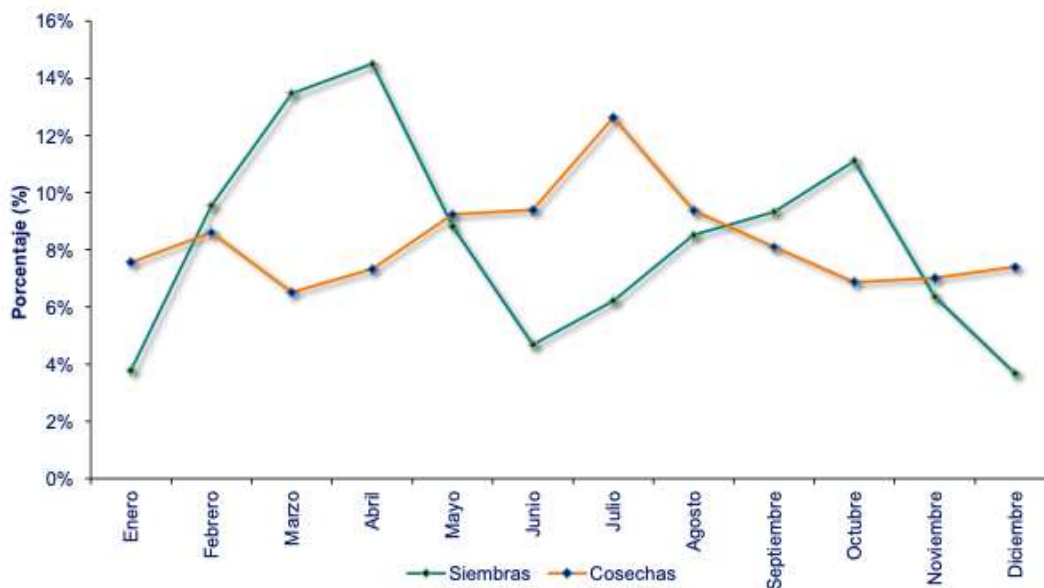


Gráfico 3: Calendario de Siembras y cosechas del cultivo de la habichuela 2017 (Fuente: DANE 2017)

Ovalle en el 2019 reportó que los resultados económicos no fueron los deseados debido a la fluctuación de precios y los tiempos de siembra; la razón pudo ser que los ensayos fueron establecidos con fines de investigación y no con la finalidad económica por lo cual no coinciden con los calendarios adecuados para producción y se sembró a libre exposición

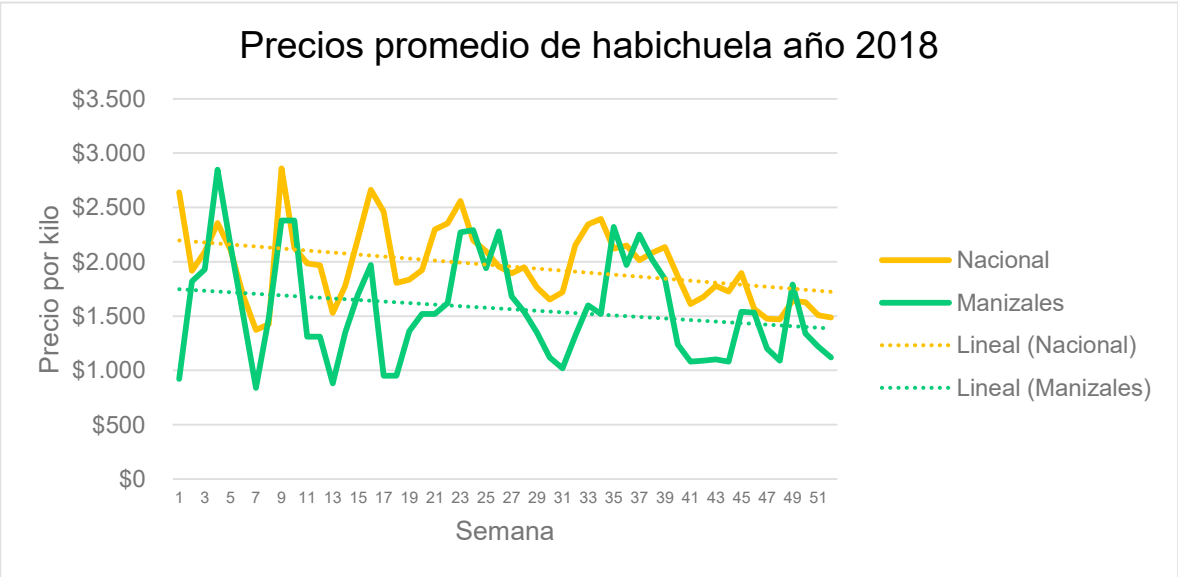
Tabla 2: Precios promedio por kilo de habichuela en el mercado nacional y local

Año	Precio nacional	Precio Manizales
2018	\$1.960	\$1.566
2019	\$2.023	\$1.901
2020	\$2.214	\$1.954
2021	\$2.383	\$2.285
2022	\$3.210	\$3.035
Promedio general	\$2.358	\$2.148

Es habitual que se tenga una tendencia al alza año tras año por la tasa de inflación pero del año 2021 al año 2022 el aumento en el precio sale del rango habitual;

también en el histórico analizado desde el año 2018 hasta el 2022, se presentaron casos excepcionales tanto en máximos como en mínimos; en el marco de precios nacionales \$1.134/kilo fue el valor mínimo reportado (semana del 30 de mayo al 5 de junio de 2020) y como valor máximo \$4.460/kilo (semana del 5 al 11 de marzo de 2022); en el ámbito local \$704 /kilo fue el valor mínimo reportado, (semana del 15 al 21 de agosto de 2020) y como valor máximo \$4.680/kilo (semana del 12 al 18 de marzo de 2022)

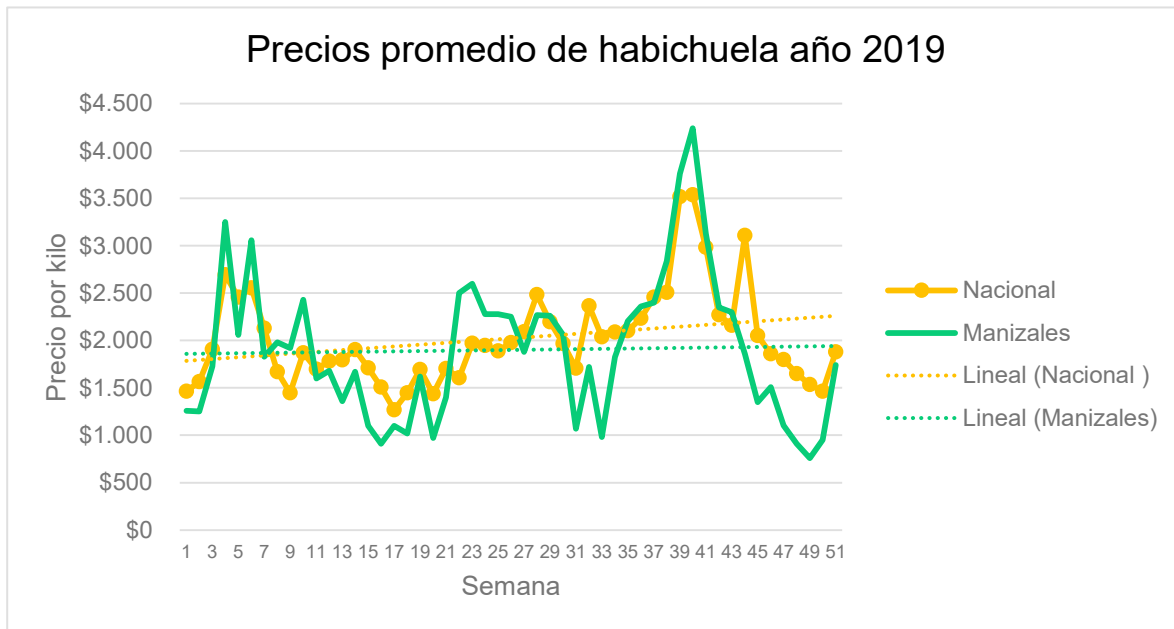
Para el año 2018 (SIPSA, 2018) en el marco general los precios semanales tuvieron tendencia a la baja, si bien se difiere en los valores puntuales de Manizales frente a los nacionales, el comportamiento es el similar cuando hay aumento o rebaja en los mismos lo cual puede ser ocasionado principalmente por los picos de cosecha (Gráfica 4)



Gráfica 4: Comportamiento de precios semanales de habichuela para el año 2018

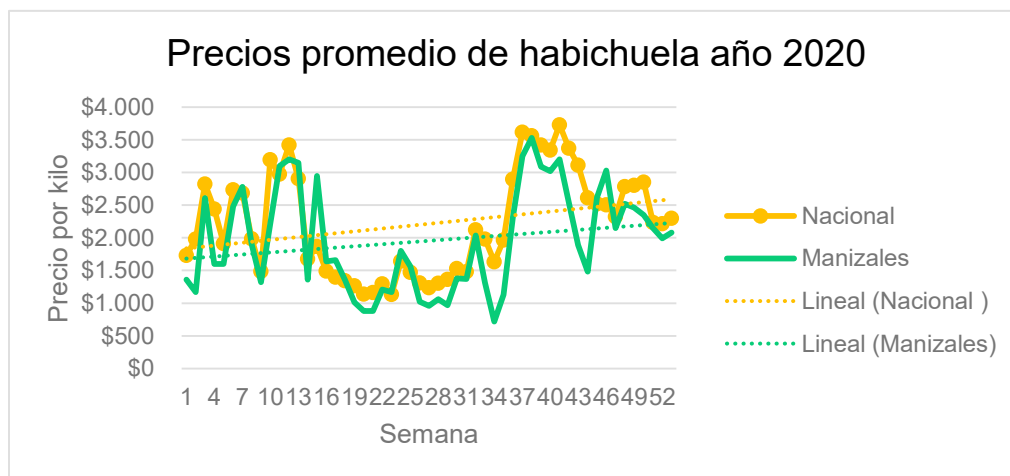
Para el año 2019 (SIPSA, 2019) como se evidencia en la gráfica 5 en el marco general los precios semanales tuvieron tendencia a la estabilidad, aunque el aumento fue del 3% comparado con el 2018 a nivel nacional que, si bien se difiere en los valores puntuales de Manizales frente a los nacionales, es importante resaltar

que el precio nacional fue mucho más estable que el local que tuvo una variación del 18% comparado con el año anterior.



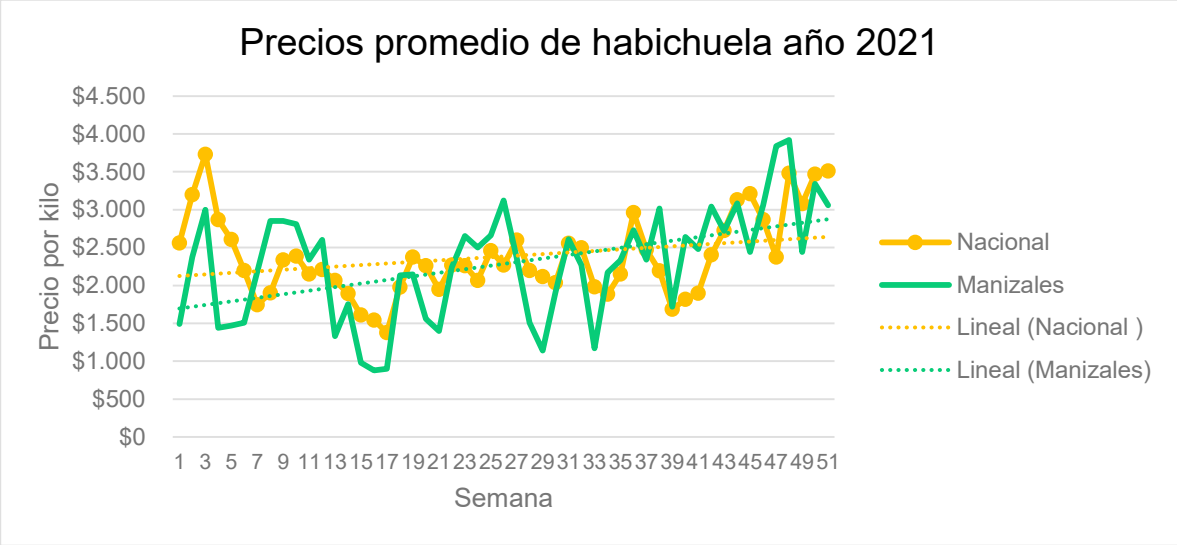
Gráfica 5: Comportamiento de precios semanales de habichuela para el año 2019

Para el año 2020 (SIPSA, 2020) los precios semanales tuvieron tendencia al alza, si bien se difiere en los valores puntuales de Manizales con un crecimiento del 3% frente a los nacionales que fue del 9%, la diferencia no es tan marcada en el global como en el año 2018 y 2019 también cabe resaltar que entre las semanas 34 y 40 el precio se fue alto y relativamente estable que concuerdan con los precios mostrados (Gráfica 6)



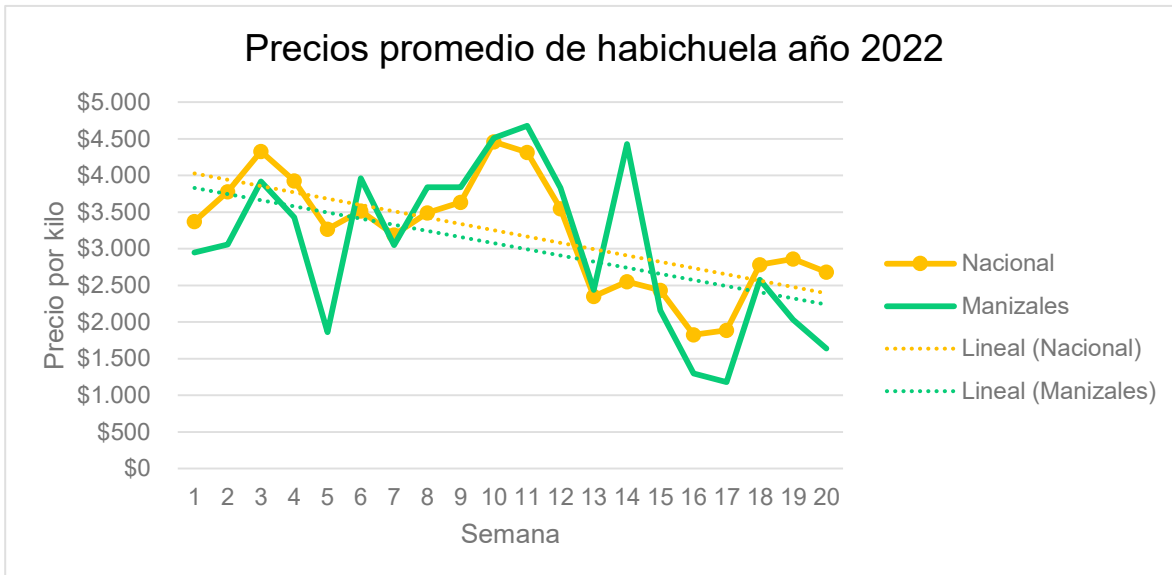
Gráfica 6: Comportamiento de precios semanales de habichuela para el año 2020

Para el año 2021 (SIPSA, 2021) en el marco general los precios se evidencian picos mucho más pronunciados en Manizales, aunque la diferencia en el crecimiento de precio fue del 14% pasando de \$ 2.285 a \$3.095 mucho más que a nivel nacional que el incremento fue del 7%, en cuanto a las líneas de tendencia, si bien ambas son al alza, se destaca que tienen un punto de cruce hacia la semana 35. También se indica promedio nacional inicia mucho más alto y termina más bajo que el de Manizales (Gráfica 7)



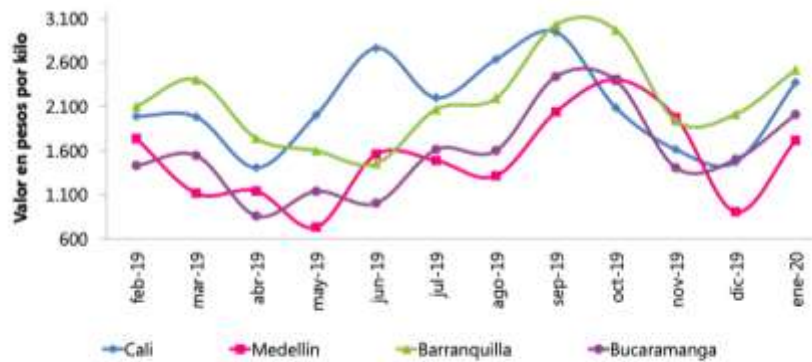
Gráfica 7: Comportamiento de precios semanales de habichuela para el año 2021

Para el año 2022 (SIPSA,2022) el alza en los precios comparado con el año anterior es del 26% pero en el periodo de enero a mayo se tiene una tendencia a la baja, como se evidencia en la gráfica 8 tanto a nivel nacional como local; también se destaca que el comportamiento es similar en ambos marcos de revisión, resaltando un alza importante en Manizales para la semana 14.



Gráfica 8: Comportamiento de precios semanales de habichuela para el año 2022

En cuanto al comportamiento de precios general del año 2020 en los principales mercados del país, se pueden diferenciar tendencias similares tanto en el alza como la baja de los mismos (Gráfico 9)



Fuente: DANE, SIPSA

Gráfico 9: Comportamiento de precios mayoristas feb 2019 a enero 2020 (SIPSA 2020)

Para el análisis de resultados se calcularon los costos totales de producción en cada uno de los tratamientos que fueron invernadero tradicional a surco sencillo (ITSS); invernadero tradicional a surco doble (ITSD), macrotúnel a surco sencillo (MSS) y macrotúnel a surco doble (MSD) teniendo en cuenta los costos fijos y costos

variables (costos de construcción e instalación de un invernadero tradicional y de un macrotúnel, costos del sistema de riego y los costos de producción del cultivo). Para los costos de producción por hectárea, éstos fueron iguales para ambos sistemas de producción (invernadero tradicional y macrotúnel); las diferencias obtenidas, estuvieron ligadas a la densidad de población y al tipo de estructura utilizado.

9.2 Costos de producción del cultivo de habichuela

Teniendo en cuenta el aprovechamiento de la infraestructura mencionado previamente, los costos a manejar por hectárea en cuanto al establecimiento y manejo del cultivo desde siembra hasta cosecha que se detallan en la tabla 3, pueden clasificarse en dos grupos, el primero las labores de cultivo, que corresponden al 59% del total; lo cual es muy similar a lo reportado por la gobernación del Valle del Cauca en 2020, quienes indican un 60% para esta labor; de otro lado difiere con lo reportado por Ovalle Muñoz en 2019 y López Torres, 2017, quienes indicaron 30% y 28% respectivamente. Dentro de las labores, el mayor rubro lo ocupa la cosecha con un 28%, seguido por el 27% correspondiente a las labores culturales.

En cuanto a los materiales, que para el presente estudio corresponden al 41% restante; valor muy similar al reportado por la Gobernación Del Valle Cauca, 2020, Ovalle Muñoz, 2019 y López Torres, 2017; con valores de 38%; 42% y 45% respectivamente. En este grupo los insumos participan con un 26% y los fertilizantes ocupan un 15% del costo total.

A continuación, se presenta la desagregación de los costos de producción del cultivo, es decir, labores e insumos según las diferentes actividades vinculadas a la producción de habichuela (Tabla 3).

TABLA 3. Costos de producción de habichuela por hectárea

Actividades	Unidad	Cantidad	Precio / Und	Valor total
1. LABORES DE CULTIVO				
1.1 Siembra				
Siembra y tapada	Jornal	8	\$ 50.000	\$ 400.000
Resiembra	Jornal	2	\$ 50.000	\$ 100.000
Subtotal Siembra (4% del total)				\$ 500.000
1.2 Labores Culturales				
Tutorada, amarre y enredada	Jornal	16	\$ 50.000	\$ 800.000
Aplicación de riego	Jornal	10	\$ 50.000	\$ 500.000
Control sanitario	Jornal	20	\$ 50.000	\$ 1.000.000
Desyerbas	Jornal	20	\$ 50.000	\$ 1.000.000
Fertilización	Jornal	6	\$ 50.000	\$ 300.000
Subtotal Labores Culturales (27% del total)				\$ 3.600.000
1.3 Cosecha				
Recolección	Jornal	75	\$ 50.000	\$ 3.750.000
Subtotal cosecha (28% del total)				\$ 3.750.000
SUBTOTAL LABORES DE CULTIVO (59% del total)				\$ 7.850.000
2. MATERIALES				
2.1 Insumos				
Material vegetal	Libras	30	\$ 22.000	\$ 660.000
Cabuya / hilazas	Cono	12	\$ 30.000	\$ 360.000
Alambre liso calibre 13	Kg	190	\$ 13.000	\$ 2.470.000
Subtotal (26% del total)				\$ 3.490.000
2.2 Fertilizantes				
Simples (Urea)	Bulto	2	\$ 250.000	\$ 500.000
Compuestos (15-15-15 y 10-20-20)	Bulto	6	\$ 230.000	\$ 1.380.000
Foliares	Kg / litro	4	\$ 35.000	\$ 140.000
Subtotal (15% del total)				\$ 2.020.000
SUBTOTAL LABORES DE CULTIVO (41% del total)				\$ 5.510.000
TOTAL POR HECTÁREA POR CICLO				\$ 13.360.000

En cuanto a la mano de obra requerida para el cultivo, cuya participación supera el 50% del total de los costos como se observó en la tabla 3, se evidencia que el mayor rubro en este ítem (28%) corresponde a la cosecha, es decir, a los jornales para la recolección de las vainas, seguida por el control sanitario y las desyerbas con un 7% cada uno (Gráfico 10)

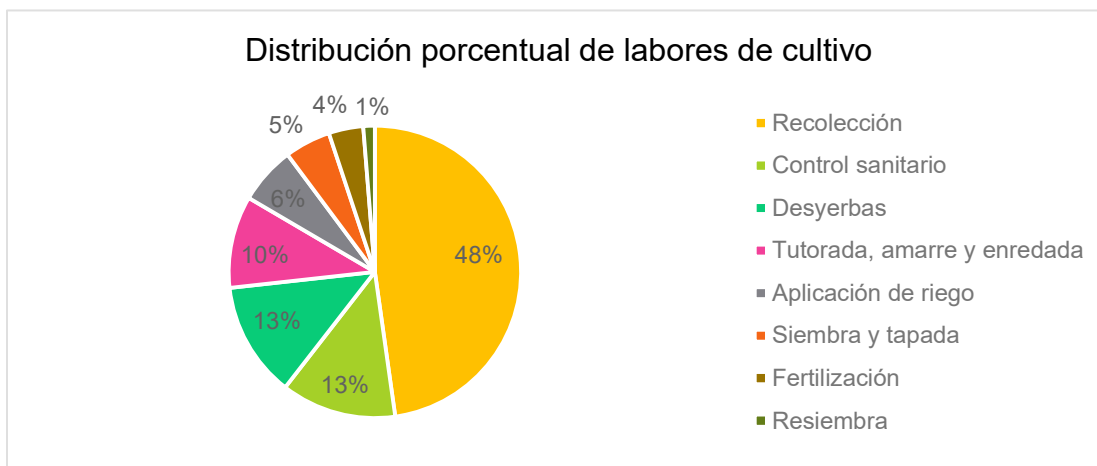


Gráfico 10: Distribución porcentual de la mano de obra del cultivo de habichuela desde el establecimiento y manejo de cultivo hasta la cosecha

En cuanto a los insumos, el alambre para el tutorado es el rubro mayor con un 18% del total de los costos, seguido por los fertilizantes con un 15%, por su parte el material vegetal ocupa un 5% y el menor valor (3%) corresponde a la cabuya e hilazas (Gráfico 11)

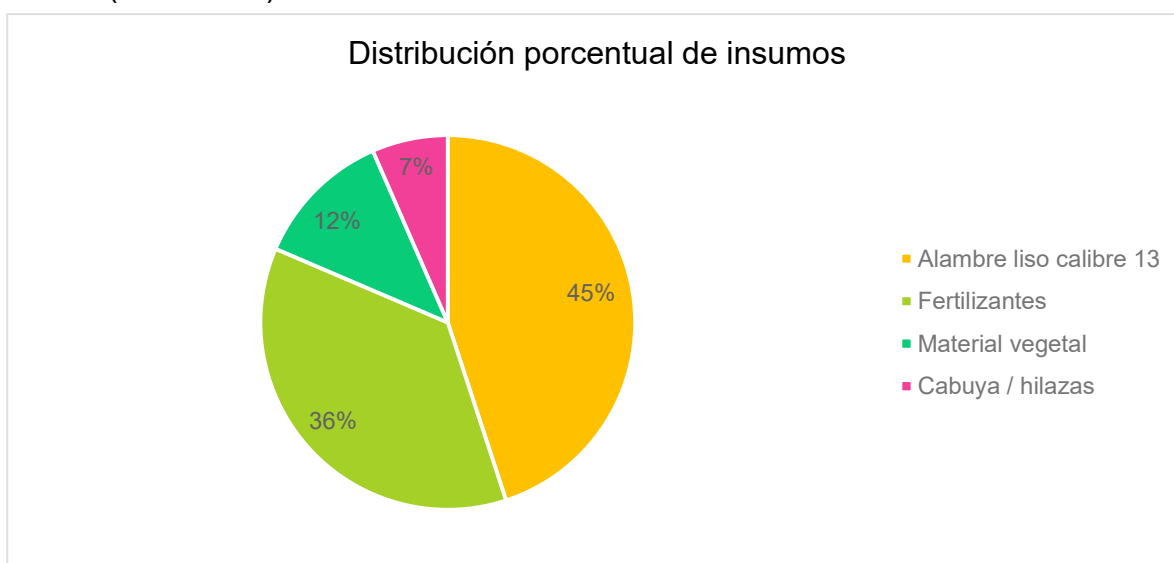


Gráfico 11: Distribución porcentual de los insumos del cultivo de habichuela

9.3 Costos invernadero tradicional

Para el sistema de invernadero tradicional se generó el costeo general descrito en la tabla 3 en donde se indican los costos generales por hectárea, por año y por ciclo de habichuela, los cuales están representados en tres renglones principales, los materiales con un 56% del total, el riego con un 32% y finalmente las labores para construcción con el 13%, el menor valor de este segmento; contrario a los costos del cultivo (Tabla 4), en donde la mano de obra ocupó el primer lugar, cabe resaltar, que para este sistema la amortización se hace a cinco años a raíz de los materiales utilizados para su construcción.

En el 2020 Parra *et al* reportaron un 42% para materiales, riego 38% y 19% para mano de obra; estas proporciones son similares al estudio actual en cuanto a mano de obra y riego (un 6% y 4% de diferencia respectivamente entre uno y otro); se notan mayores diferencias en cuanto a materiales con un valor de 14%.

Tabla 4. Costos de construcción del invernadero tradicional

Insumo	Unidad	Cantidad Total	Valor Unitario	Valor Total	Valor anual	Valor ciclo
1. MATERIALES						
Guadua 3,0m	Unidad	333	\$ 5.200	\$ 1.731.600	\$ 346.320	\$ 98.949
Guadua 4,5m	Unidad	417	\$ 7.500	\$ 3.127.500	\$ 625.500	\$ 178.714
Guadua 6,5m	Unidad	417	\$ 11.000	\$ 4.587.000	\$ 917.400	\$ 262.114
Guadua 7,5m	Unidad	208	\$ 12.800	\$ 2.662.400	\$ 532.480	\$ 152.137
Tensores 1/2	Unidad	208	\$ 7.500	\$ 1.560.000	\$ 312.000	\$ 89.143
Varilla Roscada	Metro	271	\$ 3.700	\$ 1.002.700	\$ 200.540	\$ 57.297
Tuerca	Unidad	1667	\$ 100	\$ 166.700	\$ 33.340	\$ 9.526
Arandela	Unidad	1667	\$ 113	\$ 188.371	\$ 37.674	\$ 10.764
Alambre cal 10	Kg	521	\$ 9.600	\$ 5.001.600	\$ 1.000.320	\$ 285.806
Alambre cal 12	kg	375	\$ 9.600	\$ 3.600.000	\$ 720.000	\$ 205.714
Cosedora industrial	Unidad	21	\$ 230.000	\$ 4.830.000	\$ 966.000	\$ 276.000
Puntillas 1"	Kg	21	\$ 3.000	\$ 63.000	\$ 12.600	\$ 3.600
Puntillas 2,5"	Kg	21	\$ 4.500	\$ 94.500	\$ 18.900	\$ 5.400
Plástico	Kg	4166	\$ 18.300	\$ 76.237.800	\$ 15.247.560	\$ 4.356.446
Arrendamiento del terreno		1	\$ 1.000.000	\$ 1.000.000	\$ 1.000.000	\$ 285.714

Subtotal Estructura (56% del total)				\$ 104.853.171	\$ 21.970.634	\$ 6.277.324
2. LABORES DE CONSTRUCCIÓN						
Huecos	Jornal	80	\$ 55.000	\$ 4.400.000	\$ 880.000	\$ 251.429
Parar estructura	Jornal	125	\$ 55.000	\$ 6.875.000	\$ 1.375.000	\$ 392.857
Templetes y muertos	Jornal	63	\$ 55.000	\$ 3.465.000	\$ 693.000	\$ 198.000
Templada Plástico y frentes	Jornal	42	\$ 55.000	\$ 2.310.000	\$ 462.000	\$ 132.000
Zócalo	Jornal	21	\$ 55.000	\$ 1.155.000	\$ 231.000	\$ 66.000
Tutorado	Jornal	83	\$ 55.000	\$ 4.565.000	\$ 913.000	\$ 260.857
Instalación de riego	Jornal	42	\$ 55.000	\$ 2.310.000	\$ 462.000	\$ 132.000
Subtotal Labores de Construcción (13% del total)				\$ 25.080.000	\$ 5.016.000	\$ 1.433.143
3. RIEGO						
Manguera 2"	Metro	1458	\$ 3.320	\$ 4.840.706	\$ 968.141	\$ 276.612
Manguera de 2" toma de agua	Metro	2083	\$ 11.900	\$ 24.787.700	\$ 4.957.540	\$ 1.416.440
Tanque 2000 litros	Unidad	21	\$ 571.200	\$ 11.995.200	\$ 2.399.040	\$ 685.440
Línea de goteo	Metro	8333	\$ 1.399	\$ 11.661.534	\$ 2.332.307	\$ 666.373
Motobomba 0,75 HP	Unidad	21	\$ 399.900	\$ 8.397.900	\$ 1.679.580	\$ 479.880
Accesorios Motobomba	Unidad	21	\$ 41.581	\$ 873.201	\$ 174.640	\$ 49.897
Subtotal Riego (32% del total)				\$ 62.556.240	\$ 12.511.248	\$ 3.574.642
COSTO TOTAL POR HECTÁREA				\$ 192.489.411	\$ 39.497.882	\$ 11.285.109

Como se ha mencionado previamente, los macrotúneles difieren de los invernaderos tradicionales en que la estructura es modular, de larga duración y con posibilidades de traslado, adicionalmente, teniendo en cuenta los materiales utilizados se puede amortizar a 20 años.

9.4 Costos macrotúnel

En el sistema de macrotúneles, los costos se agruparon en los mismos tres rubros indicados para el invernadero tradicional, en donde resalta la mano de obra con solo el 1% de la participación en el total de los costos, el riego tiene la misma participación en costos que en el invernadero tradicional (32%) y el mayor rubro está orientado en los materiales de construcción (Tabla 5).

Teniendo en cuenta que en Colombia los macrotúneles no son un sistema ampliamente difundido, no hay la suficiente información económica para la

comparación de los costos, sin embargo, la Oficina De Estudios y Políticas Agrarias De Chile (ODEPA); reporta un 2,1% para la mano de obra confirmando lo encontrado en este estudio, pero difiere en el componente de materiales informando un 85% (diferencia del 18%), y para el riego ellos tienen una eficiencia extremadamente alta puesto que nuestro porcentaje es más del doble de lo que ellos reportan

Tabla 5. Costos de construcción e instalación de macrotúneles

INSUMO	Unidad	Cantidad Total	Valor Unitario	Valor Total	Valor anual	Valor ciclo
1. ESTRUCTURA						
Tubo galvanizado de 1" X 6m C2mm	Unidad	667	\$ 76.250	\$ 50.833.333	\$ 2.541.667	\$ 726.190
Tubo galvanizado de 1 1/2" X 6m	Unidad	400	\$ 12.000	\$ 44.800.000	\$ 2.240.000	\$ 640.000
Tubería negra de 3/4" X 6m	Unidad	67	\$ 40.950	\$ 2.730.000	\$ 136.500	\$ 39.000
Cable acerado 1/8	Metro	4.444	\$ 756	\$ 3.360.000	\$ 1.120.000	\$ 320.000
Soldadura referencia 6013 X 1/8	Kg	67	\$ 17.887	\$ 1.192.467	\$ 59.623	\$ 17.035
Grapas 50 - 19	Caja	22	\$ 12.700	\$ 282.222	\$ 94.074	\$ 26.878
Soga pisadora rollo X 800	Metro	11	\$ 30.000	\$ 2.555.556	\$ 851.852	\$ 243.386
Varilla galvanizada roscada de 3/8	Metro	67	\$ 7.854	\$ 523.600	\$ 26.180	\$ 7.480
Tuerca galvanizada de 3/8	Unidad	1.111	\$ 157	\$ 174.444	\$ 8.722	\$ 2.492
Arandela galvanizada de 3/8	Unidad	1.111	\$ 163	\$ 181.111	\$ 9.056	\$ 2.587
Agroclear 7 x 7 x 50	Kilo	2.667	\$ 18.300	\$.800.000	\$ 16.266.667	\$ 4.647.619
Agroclear 1*8*50	Kilo	289	\$ 18.300	\$ 5.286.667	\$ 1.762.222	\$ 503.492
Pintura anticorrosiva	Galón	6	\$ 38.000	\$ 211.111	\$ 10.556	\$ 3.016
Arrendamiento de terreno por ciclo		1	\$ 1.000.000	\$ 1.000.000	\$ 1.000.000	\$ 285.714
Subtotal Labores de construcción (67% del total)				\$ 161.930.511	\$ 26.127.118	\$ 7.464.891
2. LABORES DE CONSTRUCCIÓN						
Construcción e instalación de plástico	Jornal	178	\$ 55.000	\$ 9.777.778	\$ 488.889	\$ 139.683
Subtotal Labores de construcción (1% del total)				\$ 9.777.778	\$ 488.889	\$ 139.683
3. RIEGO						
Manguera 2" calibre 40	Metro	1458	\$ 3.320	\$ 4.840.706	\$ 968.141	\$ 276.612
Manguera succión 2" toma de agua	Metro	2083	\$ 11.900	\$ 24.787.700	\$ 4.957.540	\$ 1.416.440
Tanque 2000 litros	Unidad	21	\$ 571.200	\$ 11.995.200	\$ 2.399.040	\$ 685.440
Línea de goteo 16 mm goteros 30 cm	Metro	8333	\$ 1.399	\$ 11.661.534	\$ 2.332.307	\$ 666.373
Motobomba 0,75 HP	Unidad	21	\$ 399.900	\$ 8.397.900	\$ 1.679.580	\$ 479.880
Accesorios Motobomba 2"	Unidad	21	\$ 41.581	\$ 873.201	\$ 174.640	\$ 49.897
Subtotal Riego (32% del total)				\$ 62.556.240	\$ 12.511.248	\$ 3.574.642
TOTAL POR HECTÁREA				\$ 234.624.529	\$ 39.127.255	11.179.216

9.5 Análisis económico de habichuela bajo sistemas semicontrolados

Para el análisis económico se tomaron datos de producción en ambos sistemas semicontrolados, invernadero tradicional y macrotúnel en dos marcos de plantación, surco sencillo (33.333 pl/ha) y surco doble (66.666 pl/ha)

9.5.1 Rendimientos

Desde el marco general de los datos, la interpretación inicial en cuanto a los rendimientos netos obtenidos en cada uno de los tratamientos, denotan que la mejor combinación de variables (densidad de población y tipo de estructura) fue el macrotúnel con surco doble, seguido del macrotúnel en surco sencillo, con una diferencia del 40% entre ellos; en el tercer lugar se ubicó al invernadero tradicional en surco doble con diferencia del 104% con respecto al primer lugar; finalmente la diferencia entre el sistema menos productivo (invernadero tradicional en surco sencillo) frente al de mayores rendimientos fue del 242%. Sin embargo, es importante resaltar que, si bien los mejores rendimientos en ambos sistemas correspondieron al marco de plantación de surcos dobles, las mejores producciones por planta correspondieron a las siembras a surco sencillo, 619 gramos por planta bajo macrotúnel y 303 gramos por planta bajo invernadero tradicional con una diferencia del 104% entre ambos. Lo anterior indica el alto potencial productivo que tiene la habichuela bajo condiciones semicontroladas, pues aún el valor más bajo obtenido en los ensayos (8,99 t/ha) está un 29% por encima del promedio nacional en plantaciones a libre exposición (6,69 t/ha) (Agronet, 2020) y si se compara con el macrotúnel en siembra a surco doble, la diferencia frente al sistema a libre exposición es del 361% indicando la viabilidad económica para este tipo de cultivos. En cuanto a las pérdidas, estas se tomaron en 11% como valor promedio para los cuatro tratamientos (Tabla 6)

Si bien, los rendimientos estuvieron por encima del promedio nacional a libre exposición (6.76 ton/ha, promedio nacional 2016 - 2020; Agronet), nuestros rendimientos bajo invernadero estuvieron por debajo de lo expuesto por Ramírez *et al* 2014, bajo condiciones de invernadero en la granja la Esperanza, reportando en

la variedad comercial Blue Lake 15.2 ton/ha frente a 10.11 ton/ha. Tarabata, en Ecuador en 2020, obtuvo un rendimiento de 14,59 ton/ha, bajo condiciones de invernadero. Presentando problemas en la variedad Blue Lake en el momento del tercer pase de cosecha, ya que no cumplió con las características de calidad

Muchas de las pérdidas de rendimiento estimadas en el estudio fueron por problemas sanitarios (11%), se estima que pueden ser más altas debido al inadecuado manejo de las condiciones de humedad y temperatura dentro del invernadero; Ramírez *et al* 2014 reportan que la incidencia del material más afectado fue Blue Lake con 18% de perdidas ocasionado por Mildeo Polvoso (*Erysiphe polygoni*).

Tabla 6: Datos de producción del cultivo de habichuela

Tratamiento	Pdn bruta por planta (Kg)	Pdn neta por planta (Kg)	% Pérdidas	Rdto bruto (kg/ha)	Rdto neto (Kg/ha)
Inv. Tradicional surco sencillo	0,303	0,270	11%	10.110	8.998
Inv. Tradicional surco doble	0,255	0,227	11%	16.985	15.116
Macrotúnel surco sencillo	0,619	0,551	11%	20.636	18.366
Macrotúnel surco doble	0,520	0,463	11%	34.672	30.858

Inv: Invernadero Pdn: Producción; Rdto: Rendimiento

9.5.2 INDICADORES ECONÓMICOS

9.5.2.1 Valor único de producción (VUP)

Se calculó el VUP para cada tratamiento por ciclo de producción de tres meses y medio cada uno; lo anterior con el fin de analizar el valor mínimo de venta de la cosecha bruta; para el cual se utilizó la siguiente fórmula:

VUP: $\frac{\text{Costos totales por hectárea}}{\text{Rendimiento bruto (kg/ha)}}$

Invernadero tradicional en surco sencillo (ITSS)

$VUP\ ITSS: \frac{\$24.645.109}{10.110\ Kg/ha} = \2.438

Invernadero tradicional en surco doble (ITSD)

$VUP\ ITSD: \frac{\$31.340.109}{16.985\ Kg/ha} = \1.845

Macrotúnel en surco sencillo (MSS)

$VUP\ MSS: \frac{\$24.539.216}{20.636\ Kg/ha} = \1.189

Macrotúnel en surco doble (MSD)

$VUP\ MSD: \frac{\$31.234.216}{34.672\ Kg/ha} = \901

9.5.2.2 Margen unitario de producción (MUP)

Se calculó el MUP para cada tratamiento por ciclo de producción de tres meses y medio cada uno; lo anterior con el fin de analizar el valor mínimo de venta de la cosecha neta; para el cual se utilizó la siguiente fórmula:

MUP: $\frac{\text{Costos totales por hectárea}}{\text{Rendimiento neto (kg/ha)}}$

Invernadero tradicional en surco sencillo (ITSS)

$MUP\ ITSS: \frac{\$24.645.109}{8.998\ Kg/ha} = \2.739

Invernadero tradicional en surco doble (ITSD)

$$\text{MUP ITSD: } \frac{\$31.340.109}{15.116 \text{ Kg/ha}} = \$2.073$$

Macrotúnel en surco sencillo (MSS)

$$\text{MUP MSS: } \frac{\$24.539.216}{18.366 \text{ Kg/ha}} = \$1.336$$

Macrotúnel en surco doble (MSD)

$$\text{MUP MSD: } \frac{\$31.234.216}{30.858 \text{ Kg/ha}} = \$1.012$$

9.5.2.3 Relación Beneficio / Costo (R B/C)

La relación beneficio-costo (R B/C) se calculó para cada uno de los tratamientos con el fin de verificar si al invertir se obtiene ganancia, lo cual se evidencia si el resultado es superior a uno; para ello se utilizó para ello la siguiente fórmula:

$$\text{R B/C: } \frac{\text{Ingreso bruto}}{\text{Costo total del ciclo}}$$

Invernadero tradicional en surco sencillo (ITSS)

$$\text{R B/C ITSS: } \frac{\$28.882.973}{\$24.645.109} = 1,17$$

Invernadero tradicional en surco doble (ITSD)

$$\text{R B/C ITSD: } \frac{\$48.523.389}{\$31.340.109} = 1,55$$

Macrotúnel en surco sencillo (MSS)

$$R\ B/C\ MSS: \frac{\$58.955.474}{\$24.539.216} = 2,4$$

Macrotúnel en surco doble (MSD)

$$MR\ B/C\ MSD: \frac{\$99.054.180}{\$31.234.216} = 3,17$$

De los tratamientos evaluados, se encontró que la mayor producción se logró en el macrotúnel en las dos densidades de población, indicando el efecto de este tipo de infraestructura con mayor favorabilidad en la producción de la habichuela frente al sistema tradicional, alcanzando un rendimiento bruto de 34.671 Kg/ha en surco doble (densidad de población de 66.666 pl/ha) seguido por surco sencillo (densidad de población de 33.333 pl/ha) con un rendimiento bruto de 20.636 Kg/ha. Para este caso la diferencia de 14 toneladas (68%) es lograda por el marco de plantación elegido, indicando que este tipo de sistemas semicontrolados, puede ser maximizado en su producción con mejores distribuciones en la población de las especies a producir, de tal manera que se garantice la sostenibilidad económica sin ir en detrimento de la calidad del producto al mercado. (Tabla 7)

El invernadero tradicional, demostró ser una buena opción, frente a los valores de la producción de habichuela a libre exposición, los cuales, han tenido un promedio de 6,76 t/ha desde el año 2016 hasta el año 2020 según reportes de (Agronet, 2020); es decir, se presenta en surco sencillo un aumento del 49,55% y supera también la producción obtenida por Agudelo y Salazar en 2015, quienes alcanzaron 7.64 ton/ha, bajo iguales condiciones de la zona y de cultivo bajo invernadero; para el caso de siembra a surco doble se presentó un incremento del 151,1% con respecto al promedio nacional indicado previamente; estos datos demuestran que económicamente es viable el cultivo de habichuela bajo invernadero tradicional, mejorando sustancialmente no solo los rendimientos sino también la calidad del

fruto, lo que implica un mejor precio para el productor puesto que se puede ofertar en mercados más especializados utilizando el canal HORECA (Hoteles – Restaurantes – Cafeterías), el canal institucional, el canal industrial y de grandes superficies ya que si no presenta un flujo efectivo inmediato; si presenta un mejor precio y mejor flujo de caja en el tiempo más que las plazas, también es importante destacar que la densidad de población hace una gran diferencia en los rendimientos puesto que se presentan seis toneladas de diferencia en los marcos de plantación evaluados bajo este sistema (Tabla 7)

En cuanto a la relación beneficio costo, en todos los casos se tienen valores positivos, confirmando así la viabilidad de la implementación del cultivo de habichuela bajo condiciones semicontroladas. Contrario a lo reportado por Agudelo y Salazar, que reportaron una relación inversa de 0.066, Noguera *et al* reportó relación 1,13 a libre exposición y López Torres, 1,57 también a libre exposición.

Al analizar el Margen Unitario de Producción (MUP) se sigue manteniendo la constante del macrotúnel en siembra a surco doble como la mejor alternativa de los tratamientos evaluados con un valor de \$1.012 y dejando al invernadero tradicional con el valor de \$2.438 que si bien es menos atractivo al productor dentro de lo analizado, sigue siendo interesante para potencializar el cultivo de habichuela, a diferencia de Agudelo y Salazar que reportaron que se necesitaba un margen de \$12.182 en el 2015 para llegar a una relación beneficio costo de 1. Finalmente, el Valor Único de Producción (VUP) del macrotúnel arroja valores muy superiores frente al invernadero tradicional con diferencia del 105% al comparar las plantaciones en surcos sencillos y 104% para las siembras en surcos dobles, teniendo valores aún por debajo de \$1.000 como fue el caso del tratamiento de macrotúnel en siembra a surco doble lo cual afianza y confirma que esta combinación es la más exitosa dentro de las cuatro evaluadas (Tabla 7)

Tabla 7. Factibilidad económica del cultivo de habichuela en dos densidades de población bajo dos sistemas de producción semicontrolados

Tratamiento	Rdto bruto (kg/ha)	Rdto neto (Kg/ha)	Costo /ha/ Ciclo	Ingreso Bruto (Kg/ha)	Costo / Kg	VUP	MUP	R B/C
Inv. Tradicional surco sencillo	10.110	8.998	\$24.645.109	\$ 28.882.973	\$ 2.857	\$ 2.438	\$ 2.739	1,17
Inv. Tradicional surco doble	16.985	15.116	\$31.340.109	\$ 48.523.389	\$ 2.857	\$ 1.845	\$ 2.073	1,55
Macrotúnel surco sencillo	20.636	18.366	\$24.539.216	\$ 58.955.474	\$ 2.857	\$ 1.189	\$ 1.336	2,40
Macrotúnel surco doble	34.672	30.858	\$31.234.216	\$ 99.054.180	\$ 2.857	\$ 901	\$ 1.012	3,17

Rdto. (Rendimiento); Kg (kilogramo); ha (hectárea); VUP (Valor único de producción); MUP (margen unitario de producción) R (B/C) (relación beneficio / costo)

9.5.2.4 Tasa de rentabilidad

Para cada uno de los tratamientos, se calculó la tasa de rentabilidad mediante la fórmula $TR = (\text{ingreso total} / \text{costos totales}) - 1$ obteniendo valores positivos en todos los casos confirmando la relación beneficio costo expuesta previamente, con ganancias en todos los casos pero en diferentes proporciones; en este caso, el invernadero tradicional en surco sencillo obtuvo un 17% de rentabilidad, siendo el menor de todos los sistemas evaluados y el más sensible a cualquier cambio, y ubicando al macrotúnel en surco doble en el primer lugar con un 217%; para este sistema, si bien la inversión inicial es mucho más alta, por ser una infraestructura metálica, la posibilidad de amortización a 20 años, lo hace altamente competitivo frente a las estructuras en guadua. (Tabla 8)

De acuerdo con lo establecido con la FAO la estructura y el cambio de material de cubierta necesita grandes cantidades de mano de obra ya que: La película pierde su tensión debido a la radiación solar y a la fricción con los elementos estructurales. El film tiende a "aletear" en la estructura debido a la acción del viento.- La estructura del invernadero, especialmente si es de madera, tiene muchos elementos opacos que producen una pérdida de luminosidad.(FAO, 2002)

Tabla 8. Tasa de rentabilidad en la factibilidad económica del cultivo de la habichuela (*Phaseolus vulgaris* L. var. *vulgaris*) en dos densidades de población bajo dos sistemas de producción semicontroladas.

Tratamiento	Ingresos totales	Costos Totales	TR
Inv. Tradicional surco sencillo	\$ 28.882.973	\$ 24.645.109	17%
Inv. Tradicional surco doble	\$ 48.523.389	\$ 31.340.109	55%
Macrotúnel surco sencillo	\$ 58.955.474	\$ 24.539.216	140%
Macrotúnel surco doble	\$ d 99.054.180	\$ 31.234.216	217%
PROMEDIOS	\$ 58.854.004	\$ 27.939.663	107%

9.5.2.5 Tasa Interna de Retorno (TIR)

Con el fin de evaluar la viabilidad de cada uno de los tratamientos, los cuales tuvieron una rentabilidad positiva se pasó al siguiente nivel, se calculó la rentabilidad interna para calcular como se comportó la tasa de oportunidad en el proyecto, tomando tres ciclos por año si la habichuela es el cultivo principal y un solo ciclo por año si se tiene como cultivo de rotación; para dicho cálculo se utilizó la siguiente fórmula:

$$TIR = \sum_{T=0}^n \frac{Fn}{(1+i)^n} = 0$$

En donde

Fn = flujo de efectivo;

T = tiempo;

i = tasa de oportunidad

n = número de periodos.

Después de obtener los valores obtenidos para cada tratamiento (Tabla 9), se puede determinar que dos de los ocho tratamientos se deben descartar teniendo en cuenta el resultado negativo de la TIR, ambos suceden con la habichuela como cultivo principal y en invernadero tradicional, pero difieren en la densidad de población; los valores obtenidos son -56% para ITSS y -27% para ITSD, lo que indica que la inversión estaría en alto riesgo y la recuperación de la inversión no es posible, contrario a lo reportado por López Torres en 2017, que indicó una TIR positiva de

9%, esta diferencia se debió posiblemente a la diferencia de 5 ton/ha en los rendimientos de su estudio

Aunque el cultivo de habichuela se caracteriza por ser sembrado en pequeñas extensiones y particularmente destinado al autoconsumo, proyectos en torno al sector agrícola, donde se planifican, establecen, manejan y comercializan cultivos de importancia social y económica, como la habichuela (*P. vulgaris*), constituyen una alternativa sostenible desde el aspecto técnico, social, financiero y ambiental, que redundan en el desarrollo integral de la población rural. (Muñoz, L. et al 2016) citado por López, 2017.

Los resultados obtenidos en el municipio de Arbeláez (Cundinamarca) mostraron un rendimiento del genotipo Blue Lake de 19.230 kg/ha bajo condiciones de campo; mientras que en invernadero fue de 15.200 kg/ha, resultados que fueron presentados por Buitrago en el año 2013, reportado por Ramírez et al en el 2015 y en las condiciones de la granja Tesorito el rendimiento fue de 10.110 kg/ha, (Agudelo et al, 2014), lo que nos reitera que el cultivo de habichuela bajo invernadero no es económicamente viable como cultivo principal. (Tabla 9)

Tabla 9. Tasa Interna de retorno para cada tratamiento, tomando en cada la habichuela como cultivo principal (tres ciclos por año) y como opción de rotación (un ciclo por año)

Sistema	Sist. Siembra – Enfoque cultivo	Inversión Inicial	TIR
Invernadero Tradicional	Surco sencillo – cultivo principal	\$ 79.577.882	-56%
	Surco sencillo – cultivo rotación	\$ 13.360.000	16%
	Surco doble – cultivo principal	\$ 99.617.882	-27%
	Surco doble – cultivo rotación	\$ 20.040.000	142%
Macrotúnel	Surco sencillo – cultivo principal	\$ 79.207.255	15%
	Surco sencillo – cultivo rotación	\$ 13.360.000	241%
	Surco doble – cultivo principal	\$ 99.245.255	47%
	Surco doble – cultivo rotación	\$ 20.040.000	294%

Cultivo principal (tres ciclos por año); Cultivo de rotación (un ciclo por año)

9.5.3 Análisis de rentabilidad de los tratamientos viables

Para este análisis se tomaron como viables los tratamientos que arrojaron una TIR positiva (Tabla 9); para estos se revisó el componente laboral en cuando a cantidad de jornales requeridos por tratamiento, los empleos permanentes por año y el área necesaria para generar un empleo permanente anual; estos datos se resumen en la tabla 11, uno de los datos más relevantes es que si bien la habichuela como cultivo de rotación en surco doble bajo invernadero tradicional presenta valores interesantes en cuanto a relación beneficio costo (1,55) tasa de rentabilidad (55%) y tasa interna de retorno (142%); el valor presente neto es negativo - \$2.272.162. También se destaca que el macrotúnel en surco doble es el sistema que generaría 2,59 empleos permanentes por año, el mayor valor obtenido en este análisis, muy inferior a lo reportado por Castellón en 2021, quien indica la generación de ocho empleos permanentes por hectárea en México.

Es importante destacar para los casos expuestos previamente que cuando se propone la habichuela como cultivo de rotación, se toma como única inversión el establecimiento del cultivo, puesto que los costos estructurales se recargan al cultivo principal que puede ser tomate.

Tabla 10. Resumen de variables laborales y rentabilidad para los tratamientos viables.

Variable	ITSD En rotación	MSS En rotación	MSD Principal	MSD En rotación
Jornales / Ciclo	233	157	233	233
Jornales / Año	233	157	699	233
Empleos permanentes por año	0,86	0,58	2,59	0,86
Has requeridas para generar un empleo permanente	1,16	1,72	0,39	1,16
Costos totales en un ciclo de cultivo	\$ 31.325.109	\$24.539.216	\$ 31.219.216	\$ 31.219.216
Rendimiento neto por ciclo en kg / ha	15.116	18.366	30.858	30.858
Margen Unitario de Producción (MUP)	\$ 2.072	\$ 1.336	\$ 1.012	\$ 1.012

Relación Beneficio / Costo (R B/C)	1,55	2,40	3,17	3,17
Tasa de rentabilidad (TR)	55%	140%	217%	217%
Tasa Interna de Retorno (TIR)	142%	241%	47%	294%
Valor Presente Neto (VPN)	-\$ 2.272.162	\$ 19.208.196	\$ 8.537.163	\$ 36.398.700

Has: Hectáreas; ITSD: Invernadero tradicional en surco doble; ITSS: Invernadero tradicional en surco sencillo; MSS: macrotúnel en surco sencillo; MSD: macrotúnel en surco doble

9.5.4 Análisis de sensibilidad

La habichuela es un cultivo con un comportamiento muy variable en cuanto a precios, lo anterior teniendo en cuenta la disponibilidad de producto que se tenga en el mercado, puesto que esta no es permanente. En cuanto a las condiciones climáticas, el calentamiento global ha hecho que cada día sea más impredecible el comportamiento de las variables ambientales, por lo cual se hace necesario tener cierto control en éstas para desarrollar una mejor planeación de las cosechas y en caso tal de los mercados. Para el caso de los materiales e insumos requeridos para el establecimiento del cultivo independiente del sistema, se destaca el alza importante que se ha tenido en los costos, lo anterior por diversos factores a nivel mundial y nacional como la pandemia COVID 19, el paro nacional, la situación del transporte marítimo y finalmente el conflicto entre Rusia y Ucrania.

9.5.4.1 Punto de equilibrio

Debido al comportamiento fluctuante de la habichuela referente a los precios que se reportan en las centrales de abastos se hace necesario realizar una proyección del precio por kilo o volúmenes de producción que se deben ofertar para que se presente una estabilidad, en el caso de que se tome la habichuela como cultivo principal.

9.5.4.1.1 Cambio en los precios

Para cada uno de los tratamientos se analizó el punto de equilibrio si se presenta cambio en precios, tomando como referente el precio kilo promedio nacional a mayo del año 2022, es decir \$3.210; es importante resaltar como se indicó previamente, que estos valores muy variables a través del tiempo, además teniendo en cuenta

que como se evidenció en la gráfica 7 para el año 2022 se nota una tendencia a la baja.

En la tabla 12 se resumen los valores mínimos para tener una relación beneficio costo (R B/C) de 1,00; que para el caso del invernadero tradicional en surco sencillo, se obtiene el punto de equilibrio con precio kilo de \$2.750, es decir, bajar hasta un 14%; en el mismo sistema pero en siembra a surco doble el valor del kilo puede llegar hasta \$2.075, esto implicaría una baja del 35%; en cuanto al sistema de macrotúnel en siembra a surco sencillo, el punto de equilibrio se obtendría con un precio de \$1.340, es decir si hay una baja de hasta el 58% y finalmente para este mismo sistema en surco doble, puede presentarse un precio kilo de \$1.015, lo que equivale a un 67% en la disminución del precio con base en el promedio de 2022, y aun así se tendría una R B/C de 1,00.

Mostrando así que la sensibilidad es bastante alta en el precio (en plaza) de la habichuela

Tabla 11. Punto de equilibrio para cada uno de los tratamientos basados en un cambio en los precios

Sistema	Siembra	Rdto neto Kg/Ha	Costo /Ha / ciclo	Ingreso bruto (Kg/Ha / ciclo)	Costo /Kg	MUP	R (B/C)
Invernadero tradicional	Surco sencillo	8.997,81	\$ 24.645.109	\$ 24.743.980	\$ 2.750	\$2.739	1,00
	Surco doble	15.116,32	\$ 31.325.109	\$ 31.366.365	\$ 2.075	\$2.072	1,00
Macrotúnel	Surco sencillo	18.366,19	\$ 24.539.216	\$ 24.610.696	\$ 1.340	\$1.336	1,00
	Surco doble	30.858,00	\$ 31.219.216	\$ 31.320.870	\$ 1.015	\$1.012	1,00
Promedio		18.334,58	\$ 27.932.162	\$ 28.010.478	\$ 1.795	\$1.790	1,00

9.5.4.1.2 Cambios en la producción

Para cada uno de los tratamientos se analizó el punto de equilibrio en el panorama de cambios en la producción; se mantuvo como referente el precio kilo promedio nacional a mayo del año 2022, es decir \$3.210; es importante resaltar como se indicó en la gráfica 7 expuesta previamente, que estos valores muy variables a través del tiempo y para el año 2022 tienen tendencia a la baja.

En la tabla 13 se resumen los valores de producción mínimos para tener una relación beneficio costo (R B/C) de 1,00; que para el caso del invernadero tradicional en surco sencillo, se obtiene el punto de equilibrio con una producción de 7.700 Kg/ha, es decir, bajar hasta un 14% basados en el rendimiento de 8.998 Kg/ha; en el mismo sistema pero en siembra a surco doble el rendimiento puede llegar hasta 9.800 Kg/ha, esto implicaría una baja del 35% comparado con el rendimiento base obtenido de 15.116 Kg/ha ; en cuanto al sistema de macrotúnel en siembra a surco sencillo, el punto de equilibrio se obtendría con un rendimiento de 7650 Kg, es decir si hay una baja de hasta el 58% comparado con la producción 18.366 Kg/ha obtenida en campo y finalmente para este mismo sistema en surco doble, puede presentarse un rendimiento de 9.750 Kg/ha, lo que equivale a un 68% en la disminución del rendimiento base de 30.858 Kg/ha, y aun así se tendría una R B/C de 1,00.

Por lo tanto en algunos tratamientos, la disminución en el rendimiento es altamente perjudicial para el proyecto, sobre todo en el invernadero tradicional donde hay poco margen de maniobra.

Tabla 12. Punto de equilibrio para cada uno de los tratamientos basados en un cambio en el rendimiento neto

Sistema	Siembra	Rendimiento neto Kg/Ha	Costo /Ha / ciclo	Ingreso bruto (Kg/Ha / ciclo)	Costo /Kg	MUP	R (B/C)
Invernadero tradicional	Surco sencillo	7.700	\$ 24.645.109	\$ 24.717.000	\$ 3.210	\$ 3.201	1,00
	Surco doble	9.800	\$ 31.325.109	\$ 31.458.000	\$ 3.210	\$ 3.196	1,00
Macrotúnel	Surco sencillo	7.650	\$ 24.539.216	\$ 24.556.500	\$ 3.210	\$ 3.208	1,00
	Surco doble	9.750	\$ 31.219.216	\$ 31.297.500	\$ 3.210	\$ 3.202	1,00
Promedio		8.725,00	\$ 27.932.162	\$ 28.007.250	\$ 3.210	\$ 3.202	1,00

9.5.4.1.3 Cambios en los costos de producción

Para cada uno de los tratamientos se analizó el punto de equilibrio en el panorama de aumento en los costos; se mantuvo como referente el precio kilo promedio nacional a mayo del año 2022, es decir \$3.210 y los rendimientos netos obtenidos en campo.

En la tabla 14 se resumen los valores con incremento en los costos máximos de producción por ciclo para tener una relación beneficio costo (R B/C) de 1,00; que para el caso del invernadero tradicional en surco sencillo, se obtiene el punto de equilibrio con un incremento del 18% en los costos es decir, pasar de \$24.645.109 a \$29.000.000; en el mismo sistema pero en siembra a surco doble los costos de producción pueden aumentar hasta un 55%, esto implicaría pasar de \$31.325.109 hasta \$48.500.000; en cuanto al sistema de macrotúnel en siembra a surco sencillo, el punto de equilibrio se obtendría con un incremento de hasta el 141% en los costos, que pasarían de \$24.539.216 a \$59.230.000 y finalmente para este mismo sistema pero con siembra en surco doble, puede presentarse un incremento equivalente al 217% y aun así se tendría una R B/C de 1,00 pasando de \$31.216.000 a \$99.000.000.

La opción del macrotúnel sembrado en surco doble seguirá siendo la mayor opción

Tabla 13. Punto de equilibrio para cada uno de los tratamientos basados en incrementos en los costos de producción por ciclo

Sistema	Siembra	Rendimiento neto Kg/Ha	Costo /Ha / ciclo	Ingreso bruto (Kg/Ha / ciclo)	Costo /Kg	MUP	R (B/C)
Invernadero tradicional	Surco sencillo	8.997,81	\$29.000.000	\$ 28.882.973	\$ 3.210	\$ 3.223	1,00
	Surco doble	15.116,32	\$48.500.000	\$ 48.523.389	\$ 3.210	\$ 3.208	1,00
Macrotúnel	Surco sencillo	18.366,19	\$59.230.000	\$ 58.955.474	\$ 3.210	\$ 3.225	1,00
	Surco doble	30.858,00	\$99.000.000	\$ 99.054.180	\$ 3.210	\$ 3.208	1,00
Promedio		18.334,58	\$ 58.932.500	\$ 58.854.004	\$ 3.210	\$ 3.216	1,00

10 Conclusiones

De los cuatro tratamientos evaluados el mejor tanto en rendimiento como en los indicadores económicos fue el macrotúnel con siembra a surco doble (66.666 pl/ha) con valores muy superiores al segundo mejor tratamiento que fue el mismo sistema, pero en surco sencillo.

El sistema de invernadero tradicional con siembra a surco sencillo se presenta como el sistema más sensible a cualquier cambio en las variables de aumento en costos, reducción en la producción y baja en los precios, pues aún con los datos analizados de buen rendimiento y precio alto, obtuvo la relación beneficio costo más baja de los cuatro tratamientos.

Aunque la inversión inicial para la estructura de macrotúnel es un 22% superior a la del invernadero tradicional, cuando estos valores se llevan al lapso de tiempo que dura un ciclo de cultivo, la diferencia cambia a un 1% favoreciendo al macrotúnel, lo anterior teniendo en cuenta que el invernadero tradicional se amortiza a cinco años y el macrotúnel a 20 años.

En cuanto a la generación de empleos, bajo el macrotúnel con densidad de población a surco doble, no se requieren grandes extensiones para la generación de un empleo permanente al año, con solo un módulo de 400m² se logra el objetivo.

Con base en el margen unitario de producción (MUP) el sistema de producción macrotúnel en surco doble permite bajas en el precio de hasta \$1.012 por kilo si se conservan los rendimientos indicados; contrarios al invernadero tradicional con siembra a surco sencillo en donde el MUP es de \$2.739

Teniendo en cuenta el punto de equilibrio obtenido basados en el caso de presentarse cambios en la producción, los valores indicados en la tabla 13 de 7,7 t/ha; 9,8 t/ha; 7,6 t/ha y 9,75 t/ha para cada tratamiento están por encima del

promedio nacional para el año 2020, el cual es de 6,69 t/ha de acuerdo a lo reportado en Agronet.

Teniendo en cuenta el punto de equilibrio obtenido basados en el caso de presentarse cambios en los precios, los valores indicados en la tabla 12 de \$2.750; \$2.075; \$1.340 y \$1.015 para cada tratamiento están por debajo del promedio nacional para el año 2022 en el periodo de enero a mayo, el cual es de \$3.210 de acuerdo a lo reportado por SIPSA

En el caso del cálculo del punto de equilibrio basado en el aumento en los costos de producción que teniendo en cuenta la situación económica mundial es un punto neurálgico, el sistema de macrotúnel en surco doble tiene un amplio rango de maniobra pues puede resistir hasta un 217% de aumento en los costos

El sistema de macrotúnel con siembra a surco doble se destaca como la mejor opción pues tiene un amplio margen para cambios en las tres variables principales como lo son baja en el precio, reducción en producción y aumento en los costos para conservar una relación beneficio costo positiva.

11 Recomendaciones

Basados en los precios históricos por kilo para el cultivo de la habichuela, es importante replantear lo indicado previo a la toma de decisiones puesto que el precio tomado como base no es la constante del mercado según los reportes del SIPSA.

Si se toma la decisión de realizar la inversión para cultivar habichuela bajo un sistema como el macrotúnel se recomienda analizar los mercados para buscar mejores opciones de precios teniendo en cuenta que la calidad del producto obtenido no tendría un precio acorde si se oferta en plaza.

Se recomienda buscar los mejores canales de distribución como hoteles, restaurantes, cafeterías, el sector industrial y de grandes superficies los cuales mejoran los precios, los mantienen en el tiempo, disminuyen el grado de incertidumbre y aumentan las posibilidades de éxito.

Plantear el cultivo de habichuela como una opción de rotación no solo por el corto tiempo que requiere para cosechar comparado con otros productos sino también como medida sanitaria para romper el ciclo de plagas y enfermedades asociadas al cultivo principal (ej. tomate o pimentón); adicionalmente, se obtiene un aporte de nitrógeno en el suelo y se obtienen ingresos adicionales interesantes puesto que se utilizaría la misma infraestructura del cultivo principal y no se recargaría este rubro, por lo tanto los costos serían únicamente asociadas al establecimiento y mantenimiento de la habichuela.

Se recomienda realizar el mismo análisis con un cultivo a libre exposición como testigo en la granja Tesorito para tener comparativos no solo de rendimientos sino de pérdidas tanto en cosecha como en post cosecha.

La implementación del cultivo de habichuela (*P. vulgaris*) bajo macrotúneles muestra al agricultor, al empresario y al inversionista la rentabilidad que puede generar un cultivo de ciclo corto, mostrando que usando tecnología de cubiertas plásticas, canales de comercialización diversos, se demuestra que es posible suplir la demanda local de productos de excelente calidad. Se pueden ejecutar nuevas alternativas de trabajo en campo que facilite obtener buenas producciones y ver la agricultura como un modelo sostenible en cuanto al componente técnico, económico, social y ambiental

Teniendo en cuenta que se recomienda tener el cultivo como alternativa de rotación, Bajo este sistema de cultivo las plagas, especialmente *Trialeurodes vaporariorum*, pueden ser un limitante, especialmente en una rotación con Tomate.

La variedad Blue Lake es muy susceptible a enfermedades lo cual indica que este genotipo genera un mayor costo en inversión de productos de protección de cultivos para el agricultor y pérdida de calidad de la vaina por el daño causado por problemas fitosanitarios. (Ramírez et al 2014)

12 Bibliografía

Acosta Rozo, E., & Santamaría Ortega, Y. L. (1999). *Evaluación del Cultivo de la Habichuela (Phaseolus vulgaris) Utilizando Fuentes Orgánicas (Gallinaza y Lombricompost) como Complemento de la fertilización Química de castilla la Nueva Meta* (Doctoral dissertation).

Agrobialar: Tipos de Invernadero, Clasificación y características, Construcción y Equipamiento

<https://www.bialarblog.com/tipos-de-invernadero-clasificacion-caracteristicas/>

Agronet - Red de Información y Comunicación Estratégica del Sector Agropecuario (2022). Comparativo de área, producción, rendimiento y participación departamental por cultivo Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural.

www.agronet.gov.co

Agudelo Toro M.E., Salazar Villegas J.M., (2015) Comportamiento Agronómico de Cuatro Genotipos de Habichuela (*Phaseolus vulgaris* L. var. *vulgaris*) en Dos Densidades de Población Bajo Condiciones Semicontroladas.

Alba, J. V., Sánchez, J. C., Tofiño, A. P., & López, Y. (2005). Análisis de crecimiento y determinación del contenido de fibra de la vaina de cuatro genotipos de habichuela. *Acta Agronómica*, 54(3), 25-32.

Buitrago, A. (2013). Evaluación de características agronómicas y de calidad de vaina en seis genotipos (*Phaseolus vulgaris* L.) tipo voluble en la vereda Guavio bajo en Fusagasugá. Tesis de grado. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad de Cundinamarca.

Cabrera, F. A. V. (2004). *Producción de hortalizas de clima cálido*. Univ. Nacional de Colombia.

Flores Velázquez, J., & Ojeda Bustamante, W. (2015). Consideraciones agronómicas para el diseño de invernaderos típicos de México.

Castellón, Hello Faustino. (2021). El desarrollo de la agroplasticultura en Iberoamérica: 20 años de actividades del CIDAPA.

Correa, E (2020) La hora de las hortalizas

<https://www.agronegocios.co/analisis/ender-correa-2982797/la-hora-de-las-hortalizas-2982626>

Dane, Boletín Encuesta Nacional Agropecuaria 2018

<https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/agropecuario/sistema-de-informacion-de-precios-sipsa/mayoristas-boletin-semanal-1/boletin-mayorista-semanal-2018>

Dane, Boletín Encuesta Nacional Agropecuaria 2019
https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/agropecuario/enda/ena/2019/boletin_ena_2019-1.pdf

Dane, Boletín Encuesta Nacional Agropecuaria 2020

<https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/agropecuario/sistema-de-informacion-de-precios-sipsa/mayoristas-boletin-semanal-1/boletin-mayorista-semanal-2020>

Dane, Boletín Encuesta Nacional Agropecuaria 2021

<https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/agropecuario/sistema-de-informacion-de-precios-sipsa/mayoristas-boletin-semanal-1/boletin-mayorista-semanal-2021>

Dane, Boletín Encuesta Nacional Agropecuaria 2022

https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/agropecuario/sipsa/sem_19feb_2022_25feb_2022.pdf

Dane, (2014). Boletín mensual Insumos y Factores Asociados a la Producción Agropecuaria
[https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/agropecuario/sipsa/insumos factores de pr oduccion feb 2014.pdf](https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/agropecuario/sipsa/insumos_factores_de Produccion_feb_2014.pdf)

Díaz T, Espí E, Fontecha A, Jiménez J C, López J y A Salmerón. 2001. Los filmes plásticos en la producción agrícola. Repsol-YPF y Mundi-Prensa. Madrid, España.

FAO, Nuestras Legumbres, Pequeñas Semillas Grandes Soluciones, Ciudad de Panamá (2018) <https://www.fao.org/3/ca2597es/CA2597ES.pdf>

FAO, Guía para la Construcción de Invernaderos o Fitotoldos, una Alternativa Para Garantizar la Seguridad y Soberanía Alimentaria en Emergencias (2021) <https://www.fao.org/3/as968s/as968s.pdf>

FAO, El Cultivo Protegido en Clima Mediterráneo (2002) <https://www.fao.org/3/s8630s/s8630s05.htm>

Fondo para el Financiamiento del Sector Agropecuario (Finagro) Agro Guía Habichuela, Marco de Referencia Agronómico (2017)

<https://www.finagro.com.co/atencion-servicios-ciudadania/informacion-al-ciudadano/publicaciones-e-investigaciones/analisis-sectorial/agroquias/habichuela-nte-santander>

Global Trade (2020) Global Green Bean Market Grows Robustly to \$31B

<https://www.globaltrademag.com/global-green-bean-market-grows-robustly-to-31b/>

Infoagro

<https://www.infoagro.com/>

López Torres, Y. F. (2017). Implementación de un sistema productivo de 4.000 m² de habichuela (*Phaseolus vulgaris* L) variedad lago azul para la comercialización en fresco en el municipio Valle del Guamuéz–Putumayo.

Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (2020) Cadena de hortalizas, dirección de cadenas agrícolas y forestales I semestre 2020

<https://sioc.minagricultura.gov.co/hortalizas/documentos/2020-03-30%20cifras%20sectoriales.pdf>

Morales Campo, M. (2015). Influencia de materiales orgánicos en la variación del pH de un suelo ácido y en la producción del cultivo de habichuela (*Phaseolus vulgaris* L.).

Noguera Cruz A.F., Zafra Martínez C.P., Hernández Garzón M.J. (2014) Producción y comercialización de habichuela Lago Azul.

<https://prezi.com/6ywrsyktmhhi/produccion-y-comercializacion-de-habichuela-lago-azul/>

Novedades Agrícolas, Novagric (2022) Invernaderos Góticos

[invernaderos góticos https://www.novagric.com/es/venta-invernaderos-novedades/tipos-de-invernaderos/invernaderos-goticos](https://www.novagric.com/es/venta-invernaderos-novedades/tipos-de-invernaderos/invernaderos-goticos)

ODEPA, Ministerio de Agricultura Gobierno de Chile (2016). Ficha Técnico Económica Frutilla en Macro-Túnel, 4 hileras Región Metropolitana [https://www.odepa.gob.cl/fichas de costo/fichas pdf/frutilla macro tunel rm 2015-16.pdf](https://www.odepa.gob.cl/fichas%20de%20costo/fichas%20pdf/frutilla%20macro%20tunel%20rm%202015-16.pdf)

Ovalle Muñoz, J. F. (2019). Establecimiento de un sistema de producción de 2.500 m² de habichuela (*Phaseolus vulgaris*) para el mejoramiento socioeconómica del municipio de Algeciras-Huila.

Parra C. A., Ceballos Aguirre N., Orozco Castaños F. J (2020) Construcción, diseño y manejo de las cubiertas plásticas, la experiencia en el oriente del departamento de Caldas

Revista Red Agrícola Agricultura Especializada (2020) Ventajas del cultivo en ambientes controlados

<https://www.redagricola.com/co/Redagricola2020>

Ramírez Ospina, C., & Rodríguez Alvarado, Z. R. (2016). *Evaluación de tres genotipos de habichuela (Phaseolus vulgaris L.) tipo voluble bajo condiciones de invernadero en la granja la esperanza* (Doctoral dissertation).

Suárez-Buitrago, W. (2006). *Validación y aceptación de la variedad de habichuela (Phaseolus vulgaris L.) 'Morales' y la variedad de maíz (Zea mays L.) 'Mayorbela'* (Doctoral dissertation).

Tarabata Lechon, J. Z. (2020). *Efecto de la aplicación de tres dosis de Bacillus subtilis en cuatro variedades de vainita (Phaseolus vulgaris L.) bajo invernadero* (Bachelor's thesis, Quito: UCE).

Tofiño, A. P., Gutierrez, J. A., Ocampo, C., & García, V. H. (2004). Estudio de la variabilidad genética en habichuela *Phaseolus vulgaris* L., mediante descriptores morfológicos y bioquímicos. *Acta Agronómica*, 53(1), 25-36.

Villagran Munar, E. A. (2016). Diseño y evaluación climática de un invernadero para condiciones de clima intertropical de montaña. *Ingeniería Agrícola*.

