

Características y comparación de los sistemas de producción agrícola en campo, invernaderos y recintos de ambiente controlado con iluminación artificial (PFAL)

Víctor M. Guillén P¹ , Aneth Sarmiento¹ , Obed E. Martínez-Herrera¹ 

¹ universidad Tecnológica de Panamá, República de Panamá, Centro de Producción e Investigaciones Agroindustriales
victor.guillen@utp.ac.pa, aneth.sarmiento@utp.ac.pa, obed.martinez@utp.ac.pa.
DOI: 10.33412/pri.v15.1.2859



Resumen: En Panamá, la forma más importante para producción hortícola sigue siendo la agricultura tradicional (siembra en campo), cuando se considera la superficie sembrada, la cantidad de cultivos y el número de productores que la practican. Sin embargo, en los últimos años se ve un incremento en agricultura protegida tipo casa de vegetación, y comienza a despuntar el modelo de producción en ambientes cerrados y controlados. El objetivo de este trabajo fue analizar y comparar los tres sistemas de producción de cultivos: en campo, invernadero y en recintos cerrados con luz artificial y ambiente controlado. Se analizaron las estadísticas de la producción hortícola que utilizan estos sistemas en Panamá, las ventajas y desventajas de cada uno según la bibliografía consultada a nivel nacional e internacional, así como los costos de producción, productividad y rentabilidad.

Palabras claves: Sistemas de producción agrícola, PFAL, invernadero, ambiente controlado, hortalizas

Title: Characteristics and comparison of agricultural production systems in the field, greenhouses, and controlled environment enclosures with artificial lighting (PFAL)

Abstract: In Panama, the most important form of horticultural production continues to be traditional agriculture (field planting), when considering the planted area, the number of crops and the number of producers who practice it. However, in recent years there has been an increase in greenhouse agriculture, and the production model in closed and controlled environments is beginning to emerge. The objective of this work was to analyze and compare the three crop production systems: in the field, greenhouse and in closed areas with artificial light and a controlled environment. The statistics of horticultural production that use

these systems in Panama, the advantages, and disadvantages of each one according to the bibliography consulted at the national and international level, as well as the production costs, productivity, and profitability, were analyzed.

Key words: Production systems, PFAL, greenhouse, LEDs, controlled environment.

Tipo de artículo: análisis.

Fecha de recepción: 1 de septiembre de 2021.

Fecha de aceptación: 30 de enero de 2024.

1. Introducción

Las actividades agrícolas están relacionadas a la producción de alimentos (frutas, granos, vegetales) y pueden realizarse a través de varias técnicas tales como: campo abierto, invernaderos (casas de vegetación) y agricultura de interiores.

Para alimentar al mundo, proteger el medio ambiente, mejorar la salud y lograr el crecimiento económico, se cuentan con sistemas innovadores de cultivo agrícola.

Ante el aumento de la población a nivel mundial, los países deben enfrentar nuevos retos como la concentración de la población en áreas urbanas, el cambio climático y los desastres naturales asociados (sequías, inundaciones, vientos fuertes, etc.) para abastecer la demanda de alimentos. Adicionalmente, la reducción de las tierras agrícolas (por salinización y contaminación de los suelos, desertificación, urbanización, etc.), el envejecimiento de los productores y de la mano de obra agrícola y la emisión de gases de efecto invernadero que provienen de estas actividades, acentúan el problema de producción y abastecimiento. Esta situación presiona a los distintos actores del sector agropecuario a la búsqueda y perfeccionamiento de tecnologías innovadoras que permitan un desarrollo sustentable, un uso eficiente de los recursos y un mayor bienestar para la población.

Este estudio se enfoca en la producción hortícola por su importancia como fuente de alimentos ricos en vitaminas, minerales y fibra.

Según Kozai [1] los sistemas de producción de alimentos frescos se pueden clasificar en campo, invernaderos con y sin unidad de control del ambiente y fábrica de plantas con iluminación artificial. Ver figura 1.

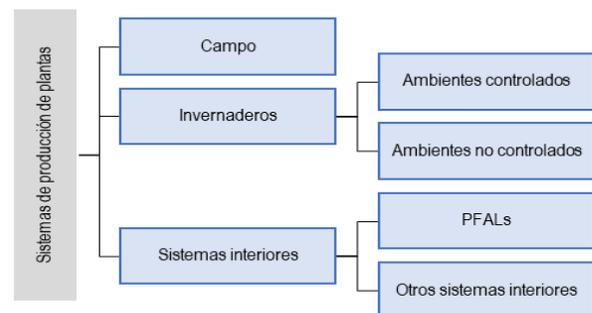


Figura 1. Sistemas de producción de plantas, tomado de [1].

2. Tipos de sistemas de cultivos

A continuación, se examinarán las características de los tres tipos principales de sistemas de producción de cultivos hortícolas existentes a nivel global y en Panamá. Las hortalizas son un conjunto de plantas cultivadas generalmente en huertos o regadíos, que se consumen como alimento, ya sea de forma cruda o preparadas culinariamente y que incluye las verduras y las legumbres (las habas, los guisantes, etc.). Las hortalizas no incluyen las frutas ni cereales [2].

2.1 Campo

Sistema de producción agrícola a campo abierto, con siembra directa o indirecta en el suelo, con o sin riego, con o sin fertilizante y con o sin uso de agroquímicos. El rendimiento y la calidad están sujetos a las condiciones climáticas, por lo que un suministro estable y confiable de alimentos derivados de plantas siempre está en peligro.

2.2 Invernaderos (casas de vegetación)

Un invernadero, estufa fría o invernáculo, es un lugar cerrado, estático y accesible a pie que se destina al cultivo de plantas, tanto decorativas como hortícolas, para protegerlas de los cambios del clima en ciertas épocas del año. Habitualmente está dotado de una cubierta exterior translúcida de vidrio o de plástico, que permite el control de la temperatura, la humedad, lluvia, plagas y otros factores ambientales, que se utiliza para favorecer el desarrollo de las plantas [3]. Utiliza la energía solar para la fotosíntesis, así como para la calefacción. El exceso de energía puede ser descargado por ventilación. En Panamá, a este tipo de estructuras, se le conoce como “casa de vegetación”. Según la Dirección de Agricultura del Ministerio de Desarrollo Agropecuario de Panamá (MIDA), la agricultura protegida (AP) es aquella que se realiza bajo estructuras construidas con la finalidad de evitar las restricciones que el medio impone al desarrollo de las plantas, con lo cual, minimiza el impacto que los cambios de clima ocasionan a los cultivos. Bajo este sistema especializado, los productores logran productos de excelente calidad en cualquier época del año sin daños por factores climáticos y mucho menos por plagas y enfermedades [4]. Según la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural del Gobierno de México, la agricultura protegida es aquella en la que los cultivos se encuentran resguardados con cubiertas plásticas, malla sombra u otro tipo de material que permiten tener un control de condiciones ambientales como la temperatura, humedad y luz. Al tener dichas condiciones controladas, el productor puede proteger sus cultivos de fenómenos como heladas, lluvias, sequías o plagas; lo que previene la pérdida de estos y genera un aumento de la producción [5]. En las referencias [4] y [5] se observa que utilizan el concepto de agricultura protegida como sinónimo de invernadero.

2.3 Agricultura de interiores

Esta categoría incluye el modelo productivo conocido como “Fábrica de Plantas con Iluminación Artificial o Plant Factory with Artificial Lighting” (PFAL, por sus siglas en inglés). Se refiere a un sistema de producción con una estructura térmicamente aislada y

casi hermética similar a un almacén. Múltiples estantes de cultivo con lámparas eléctricas en cada estante y paneles de cultivo que se apilan verticalmente en el interior. Otros equipos y dispositivos necesarios para una PFAL son los aires acondicionados, los ventiladores de circulación de aire, las unidades de suministro de solución nutritiva y de CO₂ y una unidad de control ambiental. Apilar más estantes de cultivo aumenta verticalmente la eficiencia del uso del suelo. Las PFAL no son un reemplazo para los invernaderos convencionales o la producción de campo abierto. Más bien, el rápido desarrollo de las PFALs ha creado nuevos mercados y oportunidades de negocio [1]. Ésta última opción ha tenido éxito en países como Japón, Holanda, China, Taiwán, Estados Unidos, Corea del Sur y Reino Unido [1, capítulo 3].

3. Situación de la producción hortícola de Panamá, según sistema de producción

En Panamá coexisten los tres sistemas de cultivo hortícola, siendo el más extendido y común el de la producción en campo y en menor proporción el cultivo protegido tipo casa de vegetación o invernadero. La producción de plantas en ambiente cerrado y controlado tipo PFAL se puede encontrar sólo en unas pocas empresas.

3.1 Producción en campo

En el país se siembran 17 rubros hortícolas, siendo los más importantes, por la cantidad de superficie sembrada en orden descendente: papa, cebolla, ají dulce, tomate de mesa y perita y pimentón. El cultivo de lechuga, de acuerdo con estadísticas del MIDA [4], tuvo un rendimiento promedio de 18,821 kg de producto fresco por ha (una ha tiene 10,000 m²) o su equivalente a 1.90 kg por m²/ciclo del cultivo. La superficie sembrada en cultivos hortícolas representa cerca del 1% del total del área sembrada en los diferentes rubros [6]. El área cosechada en hortalizas es el 1% del total de la superficie total cosechada y representa el esfuerzo del 2% de los productores agropecuarios (de los principales rubros), de acuerdo con informe de la Dirección de Agricultura del MIDA para el año agrícola 2017-18 [4].

En la tabla #1 se describe la producción hortícola a nivel nacional, correspondiente al periodo 2021-22 [6]. El área total sembrada en campo ascendió a 822 has en rubros hortícolas, que no incluyen los rubros papa ni cebolla.

Tabla 1. Reporte de siembra y cosecha de los principales cultivos hortícolas atendidos, año agrícola 2021-22.

Rubros	Siembra		N° de prod.	Cosecha		Rend. Qt/ha
	Productores	Superficie		Superficie (Ha)	Producción (Q)	
Tomate perita	346	148	320	170	200,454	1,182
Tomate de mesa	388	201	388	201	238,059	1,183
Pimentón	433	257	403	232	172,734	744
Berenjena	7	4	7	4	857	223
Peperillo	26	12	26	12	4,912	398
Lechuga	21	27	21	27	11,980	444
Apio	6	6	6	6	2,245	374
Zanahoria	8	6	8	6	2,000	333
brócoli	3	1	2	1	814	740
Remolacha	3	1	2	1	814	740
Chayote	52	61	50	60	130,675	2,176
Habichuela	57	30	57	30	8,016	266
Ají dulce	158	69	121	54	17,383	319
Ají picante	25	9	3	9	1,687	198
Culantro	34	13	3	9	1,238	96

Tomado de [6]. No incluye la papa y cebolla.

3.2 Producción en casas de vegetación (invernaderos)

De acuerdo con informe de cierre del año agrícola 2017-18, elaborado por la Dirección de Agricultura del MIDA [4], “las primeras acciones de protección de cultivo se realizaron en la provincia de Chiriquí, específicamente en Boquete con el cultivo de la cebolla. Para evitar el daño ocasionado por las frecuentes lluvias, se diseñaron, evaluaron y recomendaron techos de polietileno de 200 micras de espesor, para cubrir los semilleros. Para el secado de los bulbos recién cosechados, se utilizó el secador solar. A partir de estos primeros pasos se inicia la producción bajo ambiente protegido utilizando estructuras hechas de madera, cañazas y cubierta plástica que, en la actualidad, se reemplazan por estructuras metálicas de tecnología importada, adaptadas a las condiciones climáticas de la provincia, experiencia que se replica en otras áreas del país”. En la figura 2 se observa la distribución por provincia de la superficie sembrada bajo el modelo de AP y número de productores.

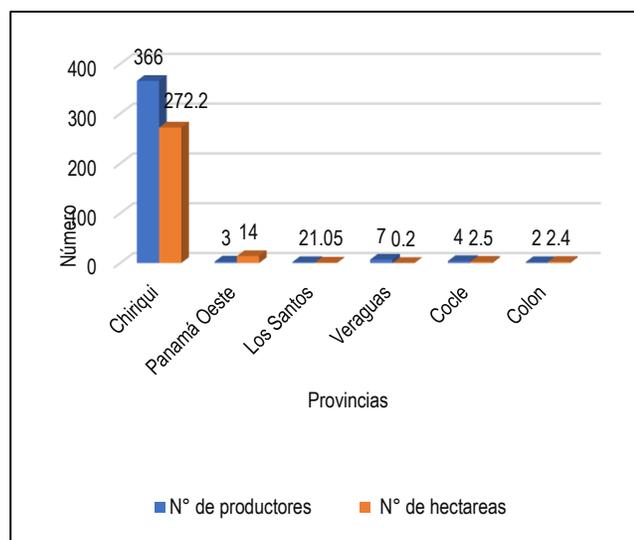


Figura 2. Superficie y número de productores con estructuras de agricultura protegida, según provincia, 2017-18 [4].

No se encontró información en el sitio web del MIDA del número de casas de vegetación, ubicación, cultivos explotados, rendimientos por área cultivada, producción total, inversión, etc., sin embargo, de acuerdo con fuentes secundarias y al informe citado, la provincia de Chiriquí concentra el mayor número de estas infraestructuras y el mayor número de productores.

En estudio de mercado de la lechuga realizado por Nagrani [7] en el año 2020, se observa que la mayoría de las empresas que cultivan este vegetal utilizan el sistema tipo casa de vegetación y solo una emplea el método tipo PFAL (Ver tabla 2).

Tabla 2. Empresas productoras de lechuga en Panamá, año 2020.

Empresa	Productos	Dirección	Sistema
Naturex, S.A./Healthy Growers	Lechugas hidropónicas variedades roble, mantequilla, romana, crespita e iceberg	El Santuario, Alto Lino, Boquete, Provincia de Chiriquí	Casa de vegetación
Urban Farms	Baby greens, ensalada romana, lechuga mantequilla, etc.	Coronado, Panamá Oeste	Fábrica de plantas con luz artificial
Cerro Punta, S.A.	Lechuga americana nacional, romana y escarola	Cerro Punta, Provincia de Chiriquí	Casa de vegetación
Pilones de Boquete,	Lechugas hidropónicas green oak leaf, red oak leaf, romana, escarola, mantequilla, japonesa, acelga hidro-orgánica tricolor y mezcla de lechugas.	Boquete, Provincia de Chiriquí	Casa de vegetación
Verdes & Co. S.A.	Lechuga hidropónica mantequilla, roble, coral roja, green leaf y red/green leaf	El Valle, Antón, Provincia de Coclé	Casa de vegetación
Agroindustrial Rey, S.A.	Lechuga hidropónica mantequilla y americana nacional.	Vía Interamericana, Provincia de Chiriquí	Casa de vegetación
Cultivos Selectos, S.A.	Lechuga hidropónica roja, americana nacional y romana.	Cerro Punta, Provincia de Chiriquí	Casa de vegetación
D'Altura	Lechuga hidropónica mantequilla, romana y mixtas.	Cerro Punta, Provincia de Chiriquí	Casa de vegetación
Finca Santa Marta, S.A.	Lechuga hidropónica roble verde y rojo, romana y mezcla de lechugas.	Vía San Andrés, Santa María, Provincia de Chiriquí	Casa de vegetación
Aqua 507	Lechuga hidropónica mantequilla y romana.	El Límite de La Chorrera, Provincia de Panamá Oeste	Casa de vegetación

Tomado de [7].

Siete de las 10 instalaciones están localizadas en Chiriquí, 1 en Coclé y dos en Panamá Oeste.

La Agricultura en Ambiente Controlado (AAC) ha recibido fondos del Programa de Competitividad Agropecuaria y su Fideicomiso para el cultivo de rubros tales como flores y hortalizas diversas en la provincia de Chiriquí, según informe de la Dirección de Planificación Sectorial del MIDA [8].

De acuerdo al informe a la nación del Ministro del MIDA correspondiente al año agrícola 2017-2018 [8], se señala que se inició la primera etapa del Plan Maestro del Agro para la Región Occidental (PMARO), resultado de un proceso de diagnóstico y diseño participativo por un monto de B/.29.7 millones, el cual tendrá financiamiento parcial de B/.27.6 millones de la Corporación Andina de Fomento (CAF) y B/.2.1 millones por el MIDA. Esta iniciativa de alianza público-privada está proyectada a desarrollarse en un periodo de 7 años con un costo total de 507 millones de balboas, de los cuales 402 millones consistirán en inversión privada, a través de planes de negocios y proyectos de inversión y 155 millones de balboas del sector público.

El Instituto de innovación agropecuaria de Panamá, instaló una casa de vegetación para la protección de cultivos en El Ejido, provincia de Los Santos. Este prototipo cuenta con estructuras novedosas y únicas y está en fase de validación (9). Según la fuente citada, el término invernadero no aplica en regiones cálidas del trópico porque en estas regiones no existen las 4 estaciones, por tanto, no tienen invierno. El término invierno corresponde a sistemas de protección adaptados y regiones templadas, que no es el caso de Panamá.

3.3 Producción en fábrica de plantas con iluminación artificial (PFAL)

En cuanto al modelo PFAL, Panamá cuenta con una pequeña empresa comercial ubicada en el área de Coronado, Provincia de Panamá Oeste. También se construyó (2018-2022), con el apoyo de la Secretaría Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación (SENACYT), el primer laboratorio tipo PFAL de investigación, en el Centro de Producción e Investigaciones Agroindustriales de la Universidad Tecnológica de Panamá (UTP).

En este laboratorio [10] se ejecutó un proyecto I+D para determinar cómo afecta al crecimiento, valor nutricional y desarrollo de la lechuga cultivada en ambiente controlado, la aplicación de distintos espectros de luz con diferentes potencias.

Ver figura 3. La UTP también ha promovido la realización de pasantías de expertos japoneses mediante la modalidad de generación de capacidades científicas y tecnológicas y convenios de colaboración con universidades extranjeras con el apoyo financiero de SENACYT. Esta iniciativa ha permitido la difusión del modelo PFAL entre empresarios hortícolas, investigadores y funcionarios del sector público, estudiantes, docentes y público en general. En el marco de la investigación realizada, se elaboró una tesis de licenciatura en la carrera de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones, una de maestría en la Facultad de Ing. Industrial, una práctica profesional y tres pasantías con estudiantes de la Facultad de Ingeniería Eléctrica.



Figura 3. Laboratorio de AAC tipo PFAL instalado en el CEPIA, adaptado de (10).

Por otro lado, el sector privado y público a través de la Fundación para el Desarrollo de la Agricultura en Ambiente Controlado (FUNDAAC), organizó los años 2015, 2017 y 2019, congresos internacionales en Panamá para exponer las experiencias e investigaciones recientes en el tema de invernaderos y PFALs. A estos eventos han participado productores y empresarios agrícolas nacionales, empresas proveedoras de insumos, consultores privados, organismos internacionales de cooperación (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura-IICA, Banco de Desarrollo de América Latina-CAF), universidades nacionales públicas (Universidad Tecnológica de Panamá y Universidad de Panamá), universidades extranjeras (Japón, Holanda, Estados Unidos, China y otros países), la Secretaría Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación (SENACYT), entre otras entidades.

El IICA además firmó un acuerdo con la FUNDACC, para el diseño y construcción de un centro de investigación para la producción de agricultura en ambiente controlado (CIPAC). Según el IICA, "el desarrollo de esta iniciativa cuenta con un importante aporte financiero de la SENACYT. El equipo técnico será del más alto nivel internacional conformado por especialistas e investigadores del Centro Espacial Kennedy-Florida, Universidad de Wageningen, Hort Americas, Urban Farm Global de Panamá, Universidad de Chiba-Japón y el IICA en Panamá" [11].

Según la estadística revisada, en Panamá la producción hortícola de campo es mayor que la producción cultivada en el modelo de agricultura protegida.

4. Comparación de los sistemas de producción en campo, casa de vegetación y fábrica de plantas con luz artificial

En este acápite se describe el grado de estabilidad y vulnerabilidad en el rendimiento, calidad y el nivel de control en los sistemas estudiados.

4.1 Estabilidad y controlabilidad del medio ambiente en los sistemas de producción de plantas

En el sistema de producción vegetal en campo, la estabilidad natural y la controlabilidad artificial de la zona área son muy bajas. La estabilidad natural de la zona de las raíces es alta mientras que la controlabilidad artificial de esta zona es baja. La vulnerabilidad del rendimiento y calidad son altos. En este sistema la inversión inicial es baja y el rendimiento también [1]. La

controlabilidad artificial de la zona aérea es muy alta en el sistema de cultivo cerrado (PFAL) y en los invernaderos es intermedia. La controlabilidad artificial de la zona radicular es alta en invernaderos y PFALs. La vulnerabilidad en el rendimiento y calidad es bajo y relativamente bajo en las PFALs e invernaderos respectivamente. La inversión inicial y los rendimientos son extremadamente altos en las PFALs y relativamente altos en los invernaderos [1]. Cuando los suelos están contaminados o con exceso de sales por la fertilización, la mejor opción sería la utilización de invernaderos con medio de cultivo hidropónico.

4.2. Caracterización de los sistemas de cultivo de plantas

A continuación, se detallan las características de los tres sistemas de producción de plantas, así como sus ventajas y puntos débiles.

Producción en campo

El cultivo de campo tiene la ventaja del uso libre de energía solar, menor inversión inicial, menor costo de producción, menor consumo de energía eléctrica, mayor mercado y se adapta a un gran número de rubros agrícolas. Entre las desventajas se tienen: mayor contaminación del suelo y del producto, menos ciclos de cosecha al año, menor densidad de siembra, mayor producción de residuos, altos costos de transporte a los centros de consumo, mayor consumo de agua, pesticidas y fertilizantes, bajo nivel de calidad del producto, corta vida de anaquel y alta vulnerabilidad de la cosecha a los cambios climáticos.

Agricultura protegida tipo casas de vegetación (invernaderos)

El uso de invernaderos presenta valores intermedios de productividad de los recursos utilizados, inversión inicial, costos de operación, uso de suelo, calidad del producto, vulnerabilidad al medio externo, ambiente apropiado a una amplia diversidad de cultivos, etc. Es una opción viable en áreas específicas en función de la latitud de las granjas, clima, existencia de mano de obra, tecnologías y acceso a fondos de fomento para la innovación.

Los cultivos protegidos han pasado de estructuras de invernadero simples y cubiertas a fábricas de plantas de alta tecnología que optimizan la productividad de las plantas y el trabajo humano. Un invernadero moderno funciona como un sistema, por lo tanto, también se conoce como agricultura en ambiente controlado (AAC), sistema de producción vegetal ambiental controlada (CEPPS), o sistemas de automatización agrícola. Estas estructuras utilizan luz natural o artificial, dentro de las que, condiciones óptimas de crecimiento se pretende lograr para la producción de cultivos hortícolas o para programas de investigación vegetal. También ofrecen una mayor previsibilidad, reducen el costo de producción y aumentan los rendimientos de los cultivos [12]. Ver figura 4.



Figura 4. Tipos de invernaderos [12].

Los siguientes factores afectan el crecimiento y calidad de los vegetales en un invernadero [12]:

- Temperatura de la superficie del suelo
- Temperatura de la primera capa de suelo
- Temperatura de la segunda capa de suelo (zona de raíces)
- Temperatura de la cubierta
- Humedad y temperatura del aire interior
- Radiación fotosintéticamente activa (PAR) en el dosel
- PAR afuera de la instalación
- Sistema de sombreado
- Sistema de enfriamiento y de calefacción
- Temperatura y humedad de afuera
- Dirección y velocidad del viento

La producción de invernaderos no es energéticamente eficiente porque la luz incidente no está regulada. La intensidad de la luz solar es a menudo demasiado baja o demasiado alta. La temperatura y la humedad relativa dentro de un invernadero se ven afectadas considerablemente por la intensidad de la luz solar, por lo que es difícil optimizar el medio ambiente. Además, la calidad de la luz y la dirección de la iluminación no son controlables [1].

Fábricas de plantas con luz artificial

En el caso del modelo de producción en recintos cerrados y ambiente controlado (PFAL), los factores que afectan su rentabilidad son: la alta inversión inicial (infraestructuras y equipos) y los costos de energía eléctrica. Otras variables que limitan el uso de este modelo son: solo admite cultivos de baja altura (menor de 40 centímetros), el precio de venta del producto es alto y la gerencia y mano de obra deben contar con habilidades y destrezas por el alto nivel tecnológico de las granjas [1], [16].

Entre las ventajas de las PFALs se tienen las siguientes: se pueden instalar en lugares y altitudes no óptimas o climas extremos, mayor densidad de siembra, menos vulnerable al ambiente externo, alto valor de la producción, uso eficiente de la mano de obra, tierra, agua, CO₂, fertilizantes y energía eléctrica, mayor ciclo de cosechas por año, menor contaminación, baja producción de residuos, bajo consumo de combustible para transporte del producto, producto accesible al consumidor de las áreas urbanas, producto libre de contaminantes, alta calidad del producto y acceso expedito a su trazabilidad. [1], [16]. Ver modelos de PFALs en figura 5.

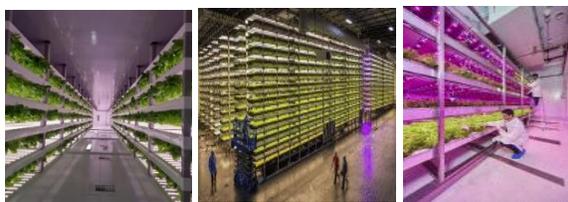


Figura 5. Tipos comerciales de PFALs .

Sin embargo, las PFAL son sistemas de producción relativamente nuevos, por lo que las tecnologías de producción óptimas para varios cultivos aún no se han establecido y hay mucho margen para mejorar el proceso de producción en planta [1].

Estudios de simulación realizados en Estados Unidos [12], han demostrado que el consumo de energía y las huellas de carbono son significativamente más altos en el entorno de granjas tipo PFAL en comparación con el invernadero tradicional, con rendimientos equivalentes. La única ventaja de las fábricas de plantas parece ser una pequeña huella física.

En Panamá, el sector agropecuario responde por el 15.6 % de las emisiones totales de gases de efecto invernadero, correspondiéndole a la ganadería el mayor porcentaje dentro del sector [13]

En el artículo de Molin y Martin (2018), se compara el rendimiento por área de materia seca de lechuga cultivada en los tres sistemas de explotación y se observa que en las granjas verticales se alcanza una mayor productividad que en los otros dos sistemas [14]. Ver figura 6.

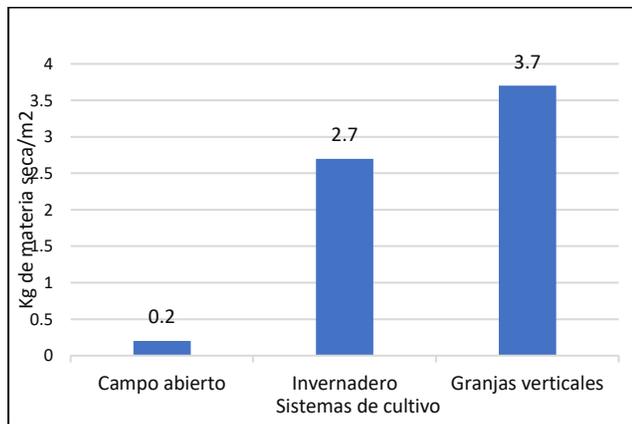


Figura 6. Kg de materia seca de lechuga por m², según sistema de cultivo [14].

Las PFALs, según Kozai et al., [1], no son un reemplazo para los invernaderos convencionales o la producción de campo abierto. Más bien, el rápido desarrollo de las PFALs ha creado nuevos mercados y oportunidades de negocio.

5. Costos de producción en los sistemas de producción en campo, invernadero y PFALs

Con el fin de comparar los costos de producción de los sistemas bajo estudio, se tomará el cultivo de lechuga por la importancia

económica (demanda del consumidor), ciclo corto y alto valor del producto final.

5.1. Cultivo en campo

En la tabla 3 se aprecia el costo de producción típico para una hectárea de lechuga (romana). Se muestra el rendimiento promedio por ha, valor de la producción y la relación beneficio/costo.

Tabla 3. Costo de producción e ingresos aproximados de un cultivo de lechuga romana en campo en El Valle, Coclé, 2019.

	Parámetro	Valor
A	Costos de producción (USD/ha)	6,131.86
B=ExH	Rendimiento (kg/ha)	8,000 kg
C	Precio/kg de lechuga al por mayor (USD)	1.50
D	Valor de la producción (USD/ha)	11,998.80
E	Área cultivada (m ²)	10,000
F	Densidad de siembra (plantas/m ²)	8-9
G	Peso fresco (kg/planta)	0.1
H	Peso fresco de un m ² por ciclo de cultivo en kg	0.8-0.9
I	# de ciclos de cosecha /año	3
J	Productividad: # de cabezas de lechuga/m ² /año	24-27
K	Período de siembra a la cosecha (días)	70-90
L=D-A	Ganancia/ha (USD/ha)	5,866
M=D/E	Ingreso por m ² (USD/m ²)	1.20
N=A/E	Costo/ m ² (USD/m ²)	0.61
O=M-N	Ganancia/ m ² (USD)	0.59
P=O/N	Rentabilidad, RB/C x100	97%

Fuente: Elaboración propia con datos del Ing. Eduardo Woodman, MIDA, El Valle, Antón.

5.2. Cultivo en casa de vegetación

No se encontraron estadísticas oficiales o del sector privado sobre costos de producción del sistema de producción en casas de vegetación.

5.3. Cultivo en granjas tipo PFAL

Según Kozai [15], los principales costos promedios anuales de la agricultura tipo PFAL en Japón son los siguientes:

- Costos iniciales (depreciación): 26%
- Mano de obra: 21%
- Electricidad: 18%
- Ganancias a ventas anuales: 11%
- Consumibles: 6%
- Otros: 11%

Del mismo autor, se tienen las siguientes estimaciones para Japón de productividades de recursos y monetarias para un cultivo de lechuga en PFAL (tabla 4).

Tabla 4. Productividades de recursos y monetarias para un cultivo de lechuga en un PFAL, Japón [12].

Tipo de productividad	Parámetros estimados
Por área cultivada y tiempo	0.25-0.33 Kg/m ² /día ó 91 Kg/m ² /año
Por hora de trabajo (mano de obra)	7.7-10 Kg/h
De la energía eléctrica	0.11-0.14 Kg/kWh
Productividad monetaria del área cultivada y tiempo	0.41-0.55 Kg/euro**
Productividad monetaria de horas trabajadas	0.50-0.59 Kg/euro
Productividad monetaria de la energía eléctrica	0.55-0.64 Kg/euro
Productividad monetaria de los otros recursos	0.52-0.70 Kg/euro
Productividad monetaria global (relación monetaria de las ventas totales anuales a costos totales anuales)	0.14-0.19 Kg/euro

*Productividad monetaria: Relación monetaria de ventas a costos. ** Un euro equivale a USD\$ 1.19. Tomado de [15].

En Japón en el 2014 [1], el costo inicial de un edificio PFAL (con todas las instalaciones necesarias), incluyendo 15 niveles con una distancia vertical entre los niveles de 50 cm, fue de unos US\$4,000/m². Este costo inicial es aproximadamente 15 veces el de un invernadero con calentadores, ventiladores, pantallas térmicas y otros equipos (US\$266.66/ m²).

El autor citado señala que la productividad anual/ m² de un PFAL existente fue de aproximadamente 3,000 cabezas de lechuga de hoja/ m²/año (80-100 g de peso fresco por cabeza) en comparación con la de los campos abiertos que fue de 32 cabezas de lechuga/m²/año (32=16 x 2 cosechas). Esta productividad de las PFALs es aproximadamente 100 veces la del campo abierto y unas 15 veces la del invernadero (200 cabezas/m²/año). Se estima que el peso y tamaño de la lechuga producida en campo sea mayor que la producida en ambiente controlado y cerrado. En Panamá, el precio al por menor de la lechuga cultivada en suelo es menor que las producidas en casas de vegetación y en el modelo de granjas verticales.

En Panamá no se cuenta con costos de producción para un cultivo tipo PFAL comercial, sin embargo, existe una investigación en curso en la UTP que pretende determinar la rentabilidad (relación beneficio/costo) de usar distintas combinaciones de luces LED (verde, roja, azul y rojo lejano) en un cultivo de lechuga romana a nivel experimental.

6. Conclusiones

La agricultura protegida tipo casa de vegetación ha venido expandiendo su importancia como modelo innovador de producción de plantas en nuestro país sobre todo en la provincia de Chiriquí y se prevé se incremente el área sembrada en los próximos años. El otro sistema conocido como agricultura vertical en recintos cerrados con luz artificial en ambiente controlado (PFAL), se considera una alternativa real dado su éxito en otros países, sin embargo, se requiere llevar a cabo investigaciones propias, validar tecnologías externas y divulgar el potencial de este sistema de cultivo. Se estima que este modelo innovador será de impacto en el cultivo de vegetales de tamaño pequeño, hierbas medicinales, aromáticas y plántulas en el mediano plazo.

De acuerdo con la literatura citada, el sistema de producción vegetal tipo PFAL tiene una mayor productividad por área

cultivada, un uso eficiente de los recursos utilizados y es una opción viable para enfrentar el cambio climático, entre otros. Sin embargo, los altos costos iniciales de inversión y de consumo eléctrico limitan su acceso a los productores interesados.

En Panamá, la agricultura tradicional (campo) en la producción hortícola es la más importante por la superficie sembrada, la cantidad de cultivos y el número de productores que la practican.

Referencias

- [1] Kozai, T., Niu, G. and Takagaki, M. Plant Factory: An indoor vertical farming system for efficient quality food production. Academic Press Ed., San Diego, USA: Elsevier, 2016. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-801775-3.00001-9>.
- [2] Wikipédia. Website. [Online]. Disponible en : <https://es.wikipedia.org/wiki/Hortaliza>
- [3] Wikipédia Website. [Online]. Disponible en : <https://es.wikipedia.org/wiki/Invernadero>.
- [4] Ministerio de Desarrollo Agropecuario. Dirección de Agricultura. Página web. [Online]. Disponible en: [Cierre-Agrícola-2017-2018-1.pdf](https://mida.gob.pa) (mida.gob.pa).
- [5] Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. Gobierno de Mexico. 2020. Disponible en : <https://www.gob.mx/agricultura/es/articulos/agricultura-protégida-otra-manera-de-cultivar?idiom=es>.
- [6] Ministerio de Desarrollo Agropecuario. Dirección de Agricultura. Página web. [Online]. Disponible en: <https://mida.gob.pa/wp-content/uploads/2022/11/CIERRE-2021-2022-ultimo-23-11.pdf?undefined=undefined>.
- [7] Nagrani, R. Desarrollo de un estudio de mercado en la provincia de Panamá para la lechuga de cultivo vertical en ambiente controlado. Licenciatura en Ingeniería Industrial, tesis. Universidad Tecnológica de Panamá, 2020.
- [8] Ministerio de Desarrollo Agropecuario. Informe a la nación 2017-18. Sitio web. [Online]. Disponible en : https://www.mida.gob.pa/upload/documentos/informacion_2017-2018.pdf.
- [9] Mi Diario. 2022. El IDIAP instala casa de vegetación para la protección de cultivos en El Ejido. Febrero, 2022. Sitio web <https://www.midiario.com/ciencia-y-tecnologia/idiap-instala-casa-de-vegetacion-para-la-proteccion-de-cultivos-en-el-ejido/>.
- [10] Guillén-Pérez, V., Serrano, J., Pitti, Y., Rosales, H. Design, and implementation of an experimental cultivation chamber with LED lights and preliminary tests with lettuce (*Lactuca Sativa L.*). 2022 8th International Engineering, Sciences and Technology Conference (IESTEC). Pags 405-412. Editor IEEE.
- [11] Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. Sitio web. Disponible en: <https://www.iica.int/es/prensa/noticias/el-iica-firma-acuerdo-con-fundacion-del-desarrollo-de-la-agricultura-en-condiciones>.
- [12] Shamshiri, R. R., Kalantari, F., Ting, K. C., Thorp, K. R., Hameed, I. A., Weltzien, C., Ahmad, D., & Shad, Z. (2018). Advances in greenhouse automation and controlled environment agriculture: A transition to plant factories and urban agriculture. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 11(1), 1–22.
- [13] Ministerio de Ambiente. Segundo informe bienal de actualización. Conoce sobre la mitigación del cambio climático en Panamá. 2021. Mi Ambiente. PNUD-FMAM-Mi Ambiente. Págs 207.
- [14] Molin, E., & Martin, M. (2018). Assessing the energy and environmental performance of vertical hydroponic farming in cooperation with Grönska Stadsodling (Issue C 299). *www.ivl.se*. In <https://www.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2%3A1549663&dsid=2758>.
- [15] Kozai, T. (2019). Towards sustainable plant factories with artificial lighting (PFALs) for achieving SDGs. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 12(5), 28–37. <https://doi.org/10.25165/j.ijabe.20191205.5177>.
- [16] Kozai, T. (2013). Resource use efficiency of closed plant production system with artificial light: Concept, estimation, and application to plant factory. *Proceedings of the Japan Academy Series B: Physical and Biological Sciences*, 89(10), 447–461. <https://doi.org/10.2183/pjab.89.447>.