Impacto

Fábrica de plantas con iluminación artificial para el cultivo y preservación sostenible de hierbas medicinales

Plant factory with artificial lighting for the cultivation and preservation of medicinal herbs, controlled environment agriculture

Contreras-Avilés, Carlos Wilfredo

Carlos Wilfredo Contreras-Avilés
carlos.contreras5@utp.ac.pa
Universidad Tecnológica de Panamá, Panamá

Prisma Tecnológico
Universidad Tecnológica de Panamá, Panamá
ISSN: 2076-8133
ISSN-e: 2312-637X
Periodicidad: Anual
vol. 11, núm. 1, 2020
prisma@utp.ac.pa

Recepción: 27 Octubre 2019
Aprobación: 21 Enero 2020

URL: http://portal.amelica.org/ameli/journal/324/3241484001/

DOI: https://doi.org/10.33412/pri.v11.1.2522

Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional.

Resumen: *La medicina tradicional es el resultado de la acumulación de conocimiento milenario y tradicional en la aplicación de plantas para la elaboración de remedios caseros. En Panamá la medicina tradicional requiere el apoyo de tecnologías que permitan producir la materia prima de manera segura, controlada y eficiente. El sistema PFAL es un tipo de agricultura en ambiente controlado que permite el cultivo de plantas para el estudio, protección y producción en masa, bajo condiciones ambientales optimizadas. Este tipo de tecnología da pie para procesos sostenibles de producción de alimentos y hierbas medicinales, representando una solución factible para los problemas ambientales que afectan a la agricultura convencional. El presente trabajo detalla las potenciales utilidades que tiene la tecnología PFAL para el estudio, preservación y aprovechamiento de la flora panameña, evidenciadas en desarrollos tecnológicos realizados en otros países del primer mundo.*

Palabras clave: plantas, hierbas medicinales, medicina tradicional, PFAL, fitoquímicos, metabolitos secundarios, agricultura en ambiente controlado.

Abstract: Folk medicine is the result of the accumulation of millennial and traditional knowledge of the application of plants for the preparation of home remedies. In Panama, folk medicine requires technological support for the production of the raw material in a safe, controlled and efficient manner. The PFAL system is a type of closed environment agriculture that allows the cultivation of plants for the study, protection and mass production, under optimized environmental conditions. This type of technology gives rise to sustainable systems for food and medicinal herbs production, representing a feasible solution for the environmental problems affecting conventional agriculture. The present work details PFAL's potential utilities for the study, preservation and
exploitation of Panamanian flora, evidenced upon technological developments from other first-world countries.

Keywords: medicinal plants, herbs, traditional medicine, PFAL, phytochemicals, secondary metabolites, controlled environment agriculture.

1. Introducción

La utilización de plantas y sus diversos componentes para el tratamiento de enfermedades ha sido parte de prácticas ancestrales que han evolucionado desde la medicina tradicional, herbología o fitoterapia hasta la farmacognosia moderna de los tiempos actuales.

Estudios arqueológicos registran que el uso de plantas como fuentes medicinales existió aproximadamente 60,000 años en Iraq [1], posteriormente, hace 8,000 años se da inicio a la medicina tradicional china con el primer compendio de hierbas medicinales de Shen-nong Bencao Jing [2], [3]. De manera continua, hace 5,000 años, la civilización sumeria compiló estudios descriptivos de las propiedades curativas de plantas como la alcaravea, comino, laurel y tomillo [4]. Finalmente, entre los años 50 y 70 d.C. Pedanius Dioscorides, considerado el padre de la farmacología, confecciona el manuscrito 'De Materia Medica', el cual es un compendio de 600 plantas y más de 1000 formulaciones medicinales, convirtiéndose en la base fundamental de lo que hoy conocemos como farmacopea [5].

La utilización de plantas medicinales ha sido atractiva históricamente por los presuntos beneficios derivados de dichas fuentes naturales, sin embargo, su uso puede representar algunos factores de riesgo a los que hay que prestar mucha atención, estos son: modo de acción, reacciones adversas, toxicidad y efectividad relativa a la dosis aplicada, entre otros. La necesidad de conocer y entender estos factores ha desencadenado gran interés entre científicos cuyas investigaciones están enfocadas en desarrollar metodologías novedosas aplicadas a la caracterización del fenómeno de dosis- respuesta de varios fitoquímicos y sus efectos biológicos [6].

Dichos descubrimientos y estudios han validado científicamente las propiedades de múltiples productos naturales. Esta información ha creado un fenómeno en donde el consumidor es consciente de las diversas aplicaciones de suplementos herbarios (hierbas frescas, material, preparaciones y formulaciones botánicas), a tal punto que se estima que el 80% de la población mundial utiliza este tipo de productos como parte de la prevención y cuidado de la salud [7], creando una industria cuyo crecimiento de mercado se proyecta alrededor de los 86.74 mil millones de dólares para el 2022 [8].

El crecimiento a pasos agigantados va acompañado de una alta demanda de materia prima, lo cual representa retos y limitaciones tanto para el consumidor como para la industria. El cultivo de plantas silvestres como materia prima implica una

desventaja por la falta de consistencia, calidad, seguridad y eficacia del producto final, principalmente debido a causas como: adulteración, contaminación con especies similares, pesticidas y patógenos, variabilidad genética, y condiciones ambientales [9]. Adicionalmente, los métodos convencionales de cultivo (campo abierto, cama de cultivo elevada e invernaderos) son estacionales y dependen de las condiciones climáticas, limitando la propagación y producción de las plantas a periodos específicos del año.

En Panamá, este mercado representa un nicho que puede ser potencialmente aprovechado, por las siguientes razones:

- De acuerdo a datos del Instituto de Comercio Exterior, la comercialización de plantas medicinales representa no más del 0.02% de las exportaciones del país [10].

  De acuerdo a datos del Instituto de Comercio Exterior, la comercialización de plantas medicinales representa no más del 0.02% de las exportaciones del país [10].

  Importar imagenSe ha descrito que la biodiversidad de la flora panameña supera las 10,000 especies, contemplando más de 600 especies de helechos, 1000 y 1500 variedades de orquídeas y árboles, respectivamente [11].

  Importar imagenEstudios realizados por profesionales del CIFLORPAN (Centro de Investigaciones Farmacognósticas de la Flora Panameña) han descrito 86 especies de plantas medicinales incluyendo sus usos etnomédicos, modo de empleo, química, actividad biológica y

farmacológica, y estudios clínicos [12]. Además, otros estudios realizados por profesionales de CIPNABIOT (Centro de Investigación de Productos Naturales y Biotecnología) de la Universidad Autónoma de Chiriquí, describen más de 100 ejemplares medicinales de la Provincia de Chiriquí, detallando su composición química, usos y preparaciones [13].

Importar imagenExisten organizaciones gubernamentales como el IDIAP (Instituto de Desarrollo e Investigación Agropecuaria de Panamá), MiAMBIENTE (Ministerio de Ambiente), MIDA (Ministerio de Desarrollo Agropecuario) y MINSA-OPS (Ministerio de Salud-Organización Panamericana de la Salud) que en conjunto con asociaciones como ASASTRAN (Asociación de Agentes de Salud Tradicional Natural Ngäbe) y los distintos congresos o consejos tradicionales indígenas, trabajan en la interculturalidad de la salud (Ley 17 del 2016) con el objetivo de regular, proteger y preservar las costumbres y el conocimiento de la medicina tradicional indígena, haciendo el vínculo con la medicina académica, y asegurando un aprovechamiento sostenible de los recursos naturales sin crear impacto ambiental [14].

A pesar de que el panorama se proyecta hacia potenciales oportunidades de desarrollo científico y económico, el país enfrenta una realidad en donde la producción de flora medicinal se ve afectada por las condiciones climáticas adversas, plagas y el impacto ambiental causado por el hombre. El objetivo de este artículo es presentar las ventajas de la aplicación de PFAL para el cultivo, preservación y propagación de plantas medicinales en un medio totalmente aislado del ambiente externo, bajo un marco de procesos sostenibles, controlados y eficientes, con tiempos de producción continuos y control de calidad del producto final. Esta tecnología permitirá poder contar con el material vegetal necesario para los estudios de caracterización y validación científica, mitigar la desaparición de aquellos especímenes en

peligro de extinción, y la creación de diferentes productos a base de extractos vegetales.

2. Sistema de fábrica de plantas con iluminación artificial 'PFAL'

PFAL (por sus siglas en inglés: Plant Factory with Artificial Lighting) es un tipo de agricultura en ambiente controlado que fue desarrollado e implementado en Japón durante los años 80, y 20 años después se convirtió en un sistema de producción comercial de frutas, vegetales, plantas medicinales y organismos genéticamente modificados.

La figura 1 muestra los 6 componentes esenciales del sistema PFAL, estos son: 1) estructura térmicamente aislada con material insulado, 2) acondicionadores de aire, 3) sistema de soporte multinivel vertical (4-16 niveles) para camas de cultivos, acoplados a dispositivos de iluminación artificial (lámparas fluorescente o LED), 4) unidad de suministro de dióxido de carbono, 5) unidad de suministro de solución nutritiva, y 6) unidad de control de ambiente.

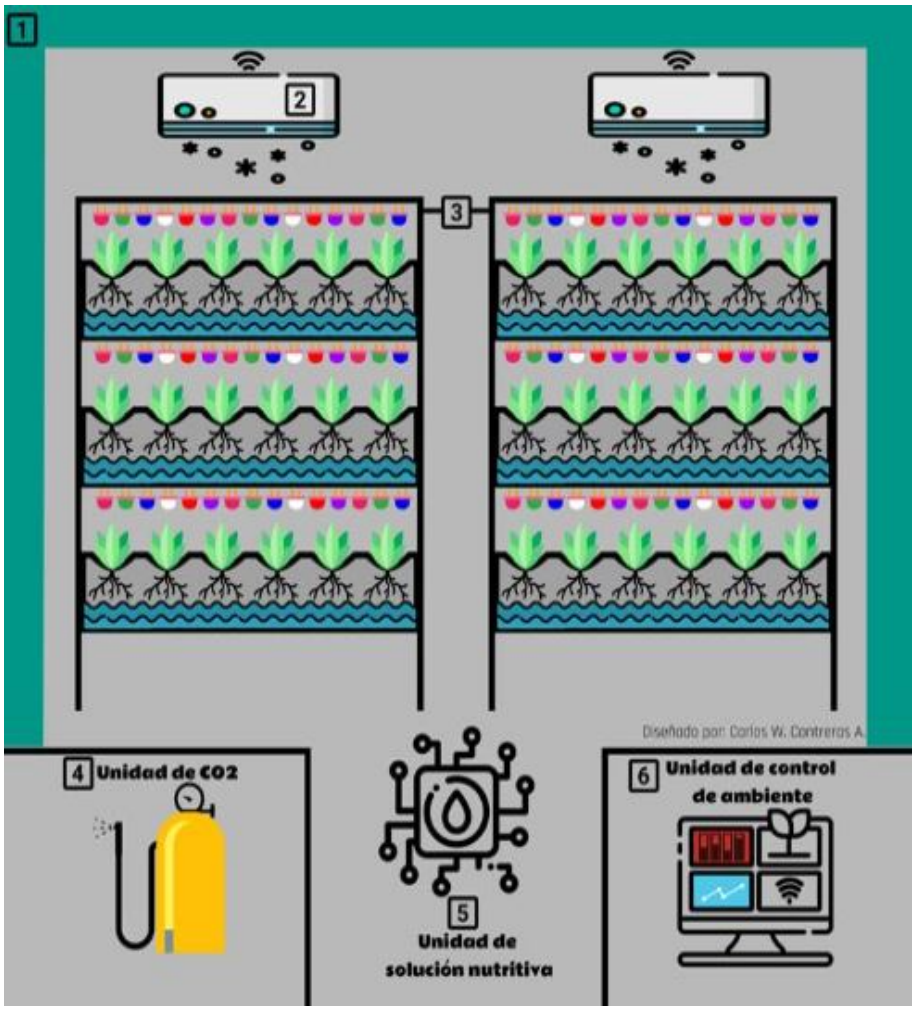

Figura 1. Componentes esenciales de un sistema PFAL.

Esta tecnología consiste en un sistema cerrado de producción de plantas en múltiples capas verticales, el cual requiere un área de cultivo aislada del medio externo, cuyas condiciones (temperatura, humedad relativa, concentración de dióxido de carbono, solución rica en nutrientes e iluminación) son monitoreadas y controladas, con el objetivo de asegurar buenos rendimientos de producción, alta calidad de productos, eficiencia en el aprovechamiento de los recursos, y la mínima emisión de contaminantes [15].

La estructuración en multicapas verticales permite maximizar el uso del espacio físico, permitiendo cultivar plantas con crecimiento no mayor a 30 cm de alto como lo son las hortalizas, trasplantes, y plantas medicinales. En términos de dimensiones existen distintos tipos de PFAL, estas son: micro-PFAL 0.03 m3 (0.2 x 0.5 x 0.3 m) – 1 m3 (1.0 x 0.5 2 m), mini-PFAL 2 m3 (2 x 0.5

x 2 m) – 30 m3 (2 x 5 x 3 m), small-PFAL 15-100 m3 y los PFAL con dimensiones de hasta 2000 m2 de superficie de cultivo. Dicho espacio es completamente independiente del uso de suelo, ya que a través de la hidroponía se puede controlar de manera óptima el ambiente de la zona radical, asegurando la mejor captación de nutrientes necesarios para promover el rápido crecimiento y desarrollo de la planta, mientras se hace uso eficiente y sostenible del agua, al ser recirculada. También al no utilizar el suelo se evita la erosión y se contribuye a la restauración natural del sustrato para otros cultivos que lo requieran. El aislamiento de la cámara de cultivo con el medio externo asegura el completo control y monitoreo de las condiciones ambientales internas, y la prevención de contaminación química y biológica. Reduciendo el riesgo de contaminación se elimina la presencia de trazas de alérgenos y toxinas, los tratamientos de limpieza post- cosecha, y se extiende la vida útil del producto vegetal. Adicionalmente, la aplicación de

luces LED contribuye en la reducción de los costos asociados a los gastos por electricidad y sistemas de enfriamiento, particularmente porque este tipo de luces convierten más eficientemente la energía eléctrica en lumínica y producen menos calor en comparación a otras fuentes de luz. El sistema de luces LED también permite manipular la distribución espectral de la luz emitida, estimulo artificial crítico para la activación de la fotosíntesis, control de expresión de genes, fotomorfogénesis y síntesis de fitoquímicos funcionales en el tejido vegetal [16].

A pesar de que PFAL no es un reemplazo para técnicas convencionales para la producción de plantas como lo son la agricultura en cielo abierto o invernaderos están sujetas a las condiciones climáticas, dependiendo de factores como la luz solar incidente, temperatura, humedad relativa, concentración de dióxido de carbono y composición del suelo, las cuales varian dependiendo de la temporada del año y localización geográfica afectando el tiempo de crecimiento y desarrollo de los cultivos. Por otro lado, al ser sistemas abiertos estos se encuentran expuestos a insectos y enfermedades las cuales deberán ser mitigadas con pesticidas y otros agentes químicos que pueden afectar la integridad del producto final. Estas características en particular hacen que los sistemas de producción agrícola convencionales sean altamente riesgosos y poco controlados. Adicionalmente requieren cuantías no despreciables de recursos (suelo, agua, electricidad, combustible) y tiempo para poder funcionar, lo que se traduce en altos costos de producción, baja sostenibilidad y profusa emisión de contaminantes ambientales. Todo esto se resume en la habilidad del sistema para el control y estabilización natural o artificial, con el objetivo de mantener la sostenibilidad social, ambiental y económica al momento de producir plantas. En la tabla 1 confeccionada por Kozai et. al., se muestra una comparación de distintos sistemas de producción de plantas en términos de control y estabilidad [15].

TABLA 1

Comparación de 4 tipos de sistemas de producción de plantas de acuerdo a su estabilidad y control

Estabilidad y Control	Cielo abierto	Invernaderos		PFAL
		Suelo	Hidropónico	
Estabilidad De la zona aérea	Muy baja	Baja	Baja	Baja
Control artificial de la zona aérea	Muy baja	Mediana	Mediana	Muy alta
Estabilidad natural de la zona radical	Alta	Alta	Baja	Baja
Control artificial de la zona radical	Baja	Baja	Alta	Alta
Vulnerabilidad del rendimiento y calidad	Alta	Mediana	Relativamente baja	Baja
Inversión inicial por unidad de área de terreno	Baja	Mediana	Relativamente alta	Extremadamente alta
Rendimiento	Baja	Mediana	Relativamente alta	Extremadamente alta

Los sistemas de producción en cielo abierto (agricultura convencional y de precisión) son particularmente ventajosos ya que se puede aumentar la estabilidad de la zona radical con la aplicación de fertilizantes, sin embargo, la zona aérea es difícilmente controlable (artificial o naturalmente) debido a que esta se encuentra dependiente de las condiciones climáticas. Este factor de influencia climática limita los sistemas que permitan

la evaluación y optimización de los cultivos, como sucede en agricultura de precisión, ya que se enfoca en la variabilidad inter- e intracultivo para la predicción exacta de rendimientos y la estimación de los recursos necesarios para la producción.

De manera intermediaria se encuentra la producción de plantas con sistemas de invernaderos que permiten mantener medianamente el control y estabilidad dependiendo si se emplea suelo o agua como medio para el desarrollo de la zona radical de la planta. Al utilizar suelo como sustrato, se presenta la desventaja de contaminación con metales pesados, agroquímicos y otras sustancias tóxicas. Como alternativa existe el cultivo hidropónico, que no sólo soluciona el problema de los contaminantes sino también reduce la sobreacumulación de nutrientes en el suelo lo que reduce el rendimiento del cultivo y la integridad del sustrato. Es necesario mencionar que los sistemas de invernaderos pueden depender de fuentes de calentamiento en localizaciones geográficas en donde las temperaturas son más bajas de 20 grados Celsius, convirtiéndose en un factor que representa altos costos de producción.

En cambio, los sistemas como PFAL se destacan por la capacidad para controlar artificialmente el ambiente que rodea la zona aérea y radical de la planta. Además, con PFAL se puede optimizar la estabilidad y control de ambas zonas implementando sistemas de control inteligentes que aseguren el mejor consumo

de recursos y la menor producción de contaminantes ambientales.

Es cierto que la implementación del sistema PFAL tiene un alto costo de inversión inicial, sin embargo, esto es compensado con los altos rendimientos de producción. Tal es el caso en la producción de lechuga en Japón, en donde a través de PFAL se pueden producir 3000 cabezas de lechuga/m2/año en comparación al rendimiento obtenido en cielo abierto (32 cabezas de lechuga/m2/año) o invernadero (200 cabezas de lechuga/m2/año). Este alto rendimiento, sostenido en el tiempo, permite que la inversión inicial sea recuperada en el menor tiempo posible [15].

2.1 Estado del Arte

La tecnología de agricultura en ambiente controlado se ha ido desarrollando mundialmente de manera exponencial, en donde países como Japón, Corea, Taiwán, China, Estados Unidos y Holanda han identificado la necesidad de invertir en investigación y desarrollo para el apoyo integral en el establecimiento de plataformas de producción de plantas que funcionen como alternativas de negocio. Un aspecto importante de mención es que para la ejecución de este tipo de tecnología dichos países han creado conglomerados estratégicos que incluyen entidades gubernamentales, institutos de investigación, empresas privadas y universidades [17].

Japón

En Japón existen más de 200 fábricas de plantas con luz artificial con fines comerciales, y su mercado está alrededor de los 100 millones de dólares. El 75% de las PFAL son operadas por empresas privadas y el resto por organizaciones de agricultura. Adicionalmente, se ha reportado que el 35% de estas plataformas de producción de plantas reciben subsidios y/o préstamos gubernamentales, otorgados por el Ministerio de Economía, Comercio e Industria (MITI), Ministerio de Agricultura, Silvicultura y Pesca (MAFF), y la Organización Nacional de Investigación en Agricultura y Alimentos (NARO). Estos fondos están destinados al apoyo de la investigación, demostración, entrenamiento, extensión y publicidad en temáticas de PFAL.

Empresas como Spread Co., Ltd., y Mirai Co., Ltd., lideran el mercado con infraestructuras capaces de producir 23,000 y 10,000 cabezas de lechuga por día respectivamente. Las empresas Mirai Co., Ltd, y Japan Dome House se han consolidado mediante la asociación con la Universidad de Chiba, para la producción de trasplantes de camote, plántulas de tomate, y plantas medicinales (Hypericum perforatum L. y Glycyrrhiza uralensis).

Además de la Universidad de Chiba, existen otras universidades que se encuentran realizando investigación y desarrollo en PFAL, entre estas podemos mencionar a las universidades de Tamagawa, Yamaguchi, y Kioto [17].

Corea

Se estima que en 5 años el mercado doméstico de PFAL ha alcanzado un valor de 577 millones de dólares por año, lo cual ha sido posible gracias las iniciativas gubernamentales que

promueven el desarrollo de tecnologías de PFAL en conjunto con interfaces automatizadas de tecnología de la información. Contextualizando, el gobierno de Corea ha creado el "Plan de promoción para la convergencia de la industria agroalimentaria y las tecnologías de la información y la comunicación". Esta iniciativa de acción ha permitido la creación de sistemas de granjas inteligentes, los cuales son implementados para mejorar el monitoreo y control de los procesos de producción y ambiente de cultivo a través de tecnologías que puedan ser operadas desde teléfonos inteligentes.

Gran parte del desarrollo industrial y tecnológico de las fábricas de plantas en Corea se ha propiciado bajo el marco de proyectos como: Desarrollo de componentes principales para fábricas de plantas basadas en IT-LED y Construcción de ecosistemas de negocios basado en fábrica de plantas, ambos financiados por el Ministerio de Conocimiento de la Economía (MKE) y el Proyecto de apoyo y demostración para la promoción de negocios con fábricas de plantas, financiado por el Ministerio de Agricultura, Alimentos y Relaciones Rurales. Ambas iniciativas fueron promovidas para la producción de vegetales que puedan ser utilizados por compañías de producción de ramen, cadenas de restaurantes, franquicias de comida rápida y empresas de procesamiento y distribución de vegetales.

También, parte del gran impulso hacia el desarrollo de tecnologías autosostenibles y amigables con el ambiente fue posible gracias a la "Campaña de Crecimiento Verde bajo en Carbono", lo cual fue un componente clave para que el uso de luces LED con tecnología de la información fuera rápidamente adoptado en este tipo de producción hortícola.

A nivel nacional Corea cuenta con 10 estaciones de investigación en PFAL con diversas capacidades que van desde los 55 m2 a los 413 m2. En cuanto al sector privado, existen 30 compañías con plataformas de producción pequeñas y medianas, cuyas dimensiones se encuentran entre 9 m2 y 661 m2, las cuales no sólo se dedican a la investigación, sino también a la demostración y producción en beneficio del sector regional donde se encuentren establecidas [17].

Taiwán

Alrededor de 45 organizaciones se dedican a la producción de hortalizas a través de la tecnología de PFAL. En total se han reportado 56 PFAL operadas por 2 centro de investigación, 4 universidades y 39 compañías privadas. El apoyo gubernamental para esta plataforma de producción de plantas está principalmente enfocada a las universidades y centros de investigación, con el objetivo de equilibrar el mercado que ha sido agresivamente poblado por las compañías privadas.

Entre las PFAL existentes destacan las de pequeña escala, las cuales producen menos de 100 plantas por día, mientras que las de grande escala pueden producir más 10,000 plantas por día. En Taiwán se ha registrado la fábrica de plantas con mayor capacidad a nivel mundial, la cual puede alcanzar las 60,000 plantas por día.

El éxito del desarrollo tecnológico ha sido potenciado por el apoyo de organizaciones sin fines de lucro, las cuales han jugado un rol esencial para la promoción y exposición de los

componentes claves para la creación y ejecución de estas fábricas de plantas (hardware, sistemas de control de nutrientes, control de luces LED en varias longitudes de onda). Entre las organizaciones podemos mencionar Asociación de la Industria Fotónica y el Desarrollo de Tecnología (PIDA), Asociación Taiwanesa para el Desarrollo Industrial de Fábricas de Plantas (TPFIDA) y la Asociación Chung-hwa de Fábrica de Plantas (CPFA) [17].

China

Las tecnologías de cultivos hidropónicos en conjunto con los sistemas de control tuvieron un crecimiento acelerado gracias al apoyo exclusivo del Ministerio de Ciencia y Tecnología de China, logrando en 13 años el nivel tecnológico actual. Aproximadamente 35 fábricas de plantas se encuentran formalmente establecidas en parques e institutos de investigación y en funcionamiento para investigación y demostraciones, en más de 9 provincias de la región.

En el ámbito investigativo, en las instalaciones de la Academia China de Ciencias Agrícolas (CAAS), el Instituto de Ambiente y Desarrollo Agrícola Sostenible (IESDA) administra 10 fábricas de plantas con iluminación artificial, en conjunto con la empresa Protected Horticulture Co., Ltd., enfocándose en el estudio y desarrollo de tecnologías LED de ahorro energético, manejo de la solución nutritiva y control de la calidad del vegetal. Otra compañía que contribuye en esta línea de investigación es Beijing Kinpeng International Hi-Tech Corporation, la cual opera bajo la estructura organizacional del Instituto de Maquinaria Agrícola de Beijín. Adicionalmente, la Universidad Zhejiang en colaboración con la estación Agrícola de Changxing operan una fábrica de plantas de 1600 m2 enfocada a realizar estudios en Ingeniería y Ciencia del Control, Ingeniería de la Luz, Ciencias y Tecnologías Computacionales, Ingeniería Agrícola, Ingeniería Biológica, Horticultura y Nutrición de la Planta, con la finalidad de mejorar cada uno de los componentes de las fábricas de plantas [17].

Estados Unidos

La modalidad de cultivos hidropónicos utilizando la técnica de flujo profundo (DFT) data desde los años 80. Dekalb fue una de las primeras compañías en producir lechuga en la zona occidente de Chicago. En paralelo, a través del Programa de Sistema Ecológico Controlado de Soporte Vital (CELSS) creado por la NASA, se da inicio al desarrollo de cultivos hidropónicos con iluminación artificial (PFAL), en donde múltiples grupos de investigación en todo el país comienzan a generar conocimiento en materia de los requerimientos de la calidad de luz necesaria para la producción de plantas en ambientes controlados. A raíz de este proyecto el cultivo de plantas se diversificó a lo que ahora conocemos como granjas moleculares, o también denominado fármacos hechos en plantas, para la producción de antígenos, anticuerpos y otras moléculas con actividad biológica aplicadas a la creación de productos farmacéuticos y suplementos.

Adicionalmente el desarrollo de tecnologías PFAL fue impulsado por la gran relevancia y aplicación de la misma en zonas inhóspitas o no habitadas por el hombre. Tal es el caso de

la Estación Estadounidense del Polo Sur, la cual consta de 22 m2, diseñada para la producción de 30 tipos de plantas que sirven de fuente de sustento alimenticio para la tripulación durante los 365 días al año. En la misma línea, el apoyo gubernamental canalizado a través de la NASA busca poder implementar este tipo de producción de alimentos en el espacio y otros planetas a los que el hombre potencialmente pudiera habitar, enfocándose en el desarrollo de sistemas de soporte vital utilizando la modalidad hidropónica con luces LED.

Si bien es cierto, las colaboraciones con el sector privado resultan beneficiosas para el desarrollo de estas tecnologías, tal como lo es en las regiones de Asia, la alta competitividad de capital de riesgo en los Estados Unidos limita sustancialmente el impulso que este sector puede aportar. Por otro lado, y en consecuencia al mercado competitivo de más de 25 compañías bien establecidas, la investigación académica es sumamente importante como entidad proveedora de entrenamiento, espacios de intercambio de conocimiento, y la educación de los operadores y planificadores. Entre las universidades líderes en investigación y desarrollo apoyando el sector de agricultura en ambiente controlado podemos mencionar Cornell University, Ohio State University, University of Arizona y otras emergentes en el tema como University of Nebraska, University of Delaware y North Caroline State University [17].

Holanda

El 20% de la producción global en invernaderos está situada en Europa, representado en aproximadamente 160,000 ha. Esto ha sido posible gracias al uso de sistema computacionales integrados que permiten optimizar las condiciones de cultivo, lo cual impacta positivamente la productividad y calidad.

En Holanda el grupo de soluciones LED de Philips se ha encargado de desarrollar tecnologías que mejoren y optimicen los parámetros de calidad e intensidad de la luz y fotoperiodo en fábricas de plantas con luz artificial, haciendo mucho más factible este tipo de plataformas para fines de negocios.

El mayor centro de investigación del país es PlantLab, el cual cuenta con 61,000 m2 para estudios especializados y de producción en agricultura en ambiente controlado exclusivamente con luz artificial. El centro se organiza en unidades de producción de plantas que permiten realizar estudios de optimización de la producción de cultivos de diversas plantas (flores, frutas y hortalizas) y la creación de tecnologías que puedan ser patentadas.

Este centro de investigación se ha posicionado a nivel mundial producto de asociaciones estratégicas con otras compañías como Syngenta y UrbanFarmers. Estableciendo sistemas de cultivo en unidades de producción basadas en tecnologías predictivas con modelos matemáticos que permiten el control y optimización de las condiciones de crecimiento, eliminando cualquier variable que pueda intervenir con el crecimiento y productividad vegetal.

Al igual que en los Estados Unidos, PFAL es utilizada para la producción de ingredientes funcionales que puedan ser aplicados para la formulación de alimentos, medicamentos, sabores, fragancias y cosméticos.

Entre las universidades que destacan en investigación y desarrollo de tecnologías de agricultura en ambiente controlado con iluminación artificial, Wageningen University and Research y HAS University of Applied Sciences [17].

2.2 PFAL para el cultivo de plantas medicinales

De acuerdo a Zobayed et al., la aplicación del sistema PFAL para el cultivo de hierbas destinadas al desarrollo de medicina basada en plantas resulta imperativo, ya que es necesario eliminar y prevenir las diversas afecciones a la salud que estén arraigadas a los problemas de seguridad y eficacia del producto vegetal. Por otro lado, también es necesario maximizar la producción de biomasa vegetal, y fitoquímicos con propiedades beneficiosas de manera consistente, sostenible y controlada [18].

El sistema de producción de plantas PFAL presenta múltiples ventajas que permiten dar solución a las limitaciones que conllevan los métodos convencionales de cultivo, estas son [18]:

- Puede ser construido en cualquier lugar, especialmente en espacios urbanos priorizando la proximidad con el consumidor, lo que significa que existe una reducción en el uso de energía en el transporte.

  Importar imagenEl medio de cultivo no se ve afectado por las condiciones ambientales, estacionales, geográficas, y limitaciones políticas.

  Importar imagenLa producción puede ser sostenida durante todo el año y con una productividad superior al cultivo en suelo.

  Importar imagenReduce la explotación del suelo arable y los recursos utilizados en agricultura.

  Importar imagenMediante la manipulación y optimización del ambiente de crecimiento (especialmente la iluminación) se puede maximizar el desarrollo de la planta, los niveles de fitoquímicos con propiedades beneficiosas, y reducir significativamente el periodo de producción.

  Importar imagenSe pueden realizar estudios universales de caracterización bioquímica de los fitoquímicos con actividad biológica de las plantas en cuestión.

  Importar imagenEl producto final está libre de plagas, microorganismos patogénicos, plaguicidas, metales pesados y cualquier otro contaminante, por lo que no son necesarios procedimientos intensivos de lavado y desinfección.

Importar imagenUso optimizado, controlado y eficiente de los recursos (temperatura del aire, humedad relativa, concentración de dióxido de carbono, solución rica en nutrientes, entre otros), lo cual reduce la producción de contaminantes ambientales.

2.3 PFAL para la preservación de plantas medicinales

Se estima que en Panamá el 70% de la población utiliza plantas medicinales para la elaboración de remedios caseros. Sin embargo, es importante destacar que factores antropogénicos como el cambio climático, la deforestación, contaminación de las fuentes de agua, sobreexplotación y extractivismo de especies, introducción de especies exóticas y erosión genética están afectando la supervivencia de especies medicinales como el paico (Chenopodium ambrosioides), crocus de otoño (Colchicum autumnale - L.), árbol de tejo (Taxus

baccata), planta magnolia (Magnolia panamensis), yerbabuena (Mentha spicata), entre otras [20].

El sistema PFAL permite preservar las especies que están en peligro de extinción, así como también producir en masa aquellas de gran interés científico, ambiental y comercial, tal como se puede observar en la figura 2.

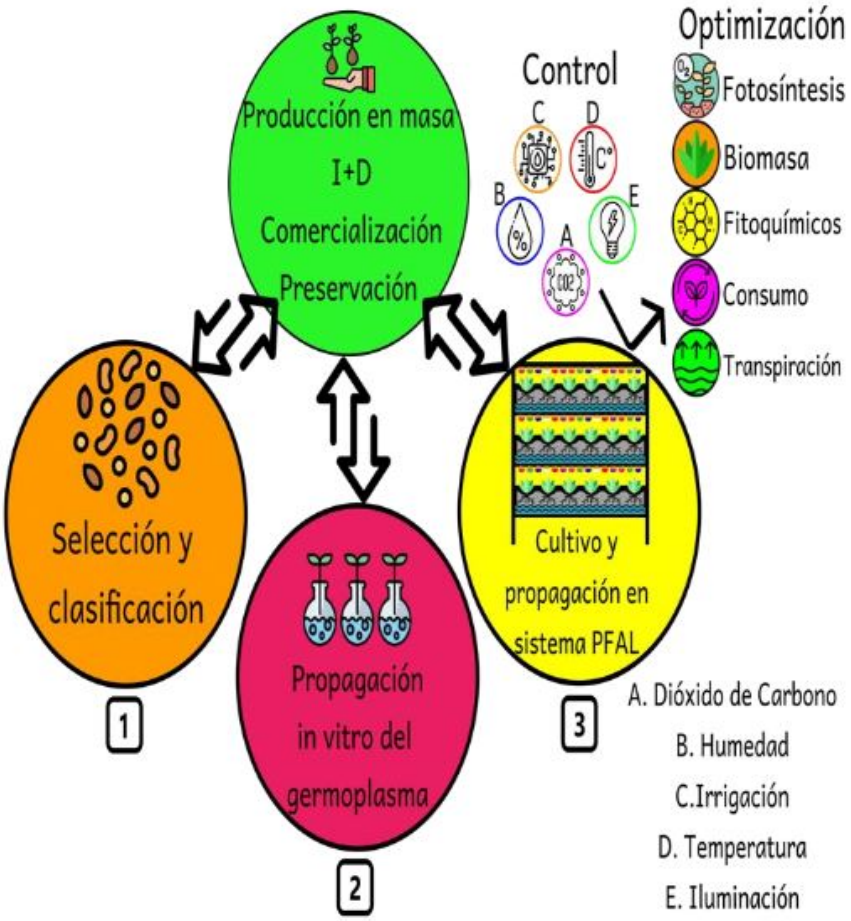

FIGURA 2
Proceso para el cultivo, propagación y preservación de plantas medicinales en un sistema PFAL [18].

Mediante procedimientos de selección de germoplasma (semillas, esquejes, tubérculos, entre otros) se pueden obtener plantas con las mejores características fisiológicas y bioquímicas, ya que se realiza un proceso de clasificación en donde se identifican aquellos especímenes con valores óptimos en producción de biomasa y metabolitos secundarios. Posteriormente, el germoplasma seleccionado debe ser propagado in vitro generando las plántulas que serán cultivadas y propagadas en un ambiente controlado cuyas condiciones ambientales y nutricionales estén optimizadas mejorando y promoviendo el crecimiento celular y la producción de fitoquímicos simultáneamente [18].

Entre las condiciones que directamente promueven la producción de biomasa están la temperatura e irrigación de nutrientes, mientras que la iluminación, temperatura y concentración de dióxido de carbono indirectamente promueven la producción de biomasa a través del mejoramiento de la fotosíntesis neta. La producción de metabolitos secundarios está directamente intensificada por factores como la iluminación, temperatura, concentración de dióxido de carbono, humedad relativa, irrigación de nutrientes, y estreses ambiental, nutricional y biótico. Otros factores que influyen en la síntesis de fitoquímicos

son la transpiración y consumo de nutrientes, los cuales están determinados por la irrigación de nutrientes y humedad relativa en el ambiente de cultivo [18].

2.4 PFAL como plataforma de producción sostenible

De acuerdo a Smith et al., el 30% de la contribución antropogénica de gases de invernadero proviene de la agricultura, y una de las soluciones propuestas para contrarrestar esta realidad consiste en incrementar la presencia de plantas, mediante granjas en las áreas urbanas, para así reducir la acumulación de gases y temperatura [21]. Esta alternativa de agricultura urbana podría reducir aproximadamente 34 toneladas/hectárea de gases de invernadero normalmente generados en la agricultura convencional (rural) para la producción de alimentos [22].

La agricultura urbana y peri-urbana están definidas como un sistema cuya finalidad es alimentar a la población en espacios urbanos, a través del crecimiento, procesamiento, y distribución de alimentos y productos varios. Algunos ejemplos de este tipo de agricultura son granjas urbanas, jardines personales, comerciales y comunitarios, mercados públicos, y agricultura apoyada por la comunidad [22].

Dentro de la categoría de agricultura urbana existen dos clasificaciones: agricultura en ambiente controlado y agricultura en ambiente no controlado o espacios abiertos. PFAL forma parte del grupo de granjas verticales, uno de los tipos de agricultura en ambiente controlado junto a Z-farming y cultivo en invernaderos.

Este tipo de tecnologías busca poder cumplir un rol de componente para la sostenibilidad global, aportando en la producción de alimentos y reduciendo el uso de los recursos (principalmente agua y energía) necesarios para su producción.

En términos de uso efectivo de agua, el sistema PFAL con la modalidad de cultivos hidropónicos permite la re-circulación de la solución nutritiva, es decir el agua utilizada es reciclada de manera óptima necesitando menos del 75% de agua requerida en las granjas de espacios abiertos [23]. Por otro lado, se ha demostrado que los edificios con áticos verdes incorporados en un sistema de agricultura en ambiente controlado, regulan la temperatura de los edificios, lo que significa un ahorro en el gasto energético [24].

El sistema PFAL es una plataforma que puede aportar en la creación de rutas de producción que estén alineadas con los objetivos de desarrollo sostenible (ODS 1, 2 y 12) contribuyendo en la erradicación del hambre y la pobreza, y procesos de producción y consumo responsables, a través del mejoramiento de la seguridad alimenticia, creando espacios de empleos para emprendedores e implementando prácticas de manejo de desechos y reciclaje de recursos [25]. Todo esto será posible en la medida que se adopten y reconozcan las contribuciones derivadas de la ciencia, complementariamente a un sistema de normas, guías

y legislaciones que beneficien la inversión en investigación y desarrollo, mejorando conocimiento técnico y el establecimiento de tecnologías como PFAL para la resolución de problemáticas mundiales.

3. Conclusiones y Recomendaciones

El sector agroindustrial de plantas medicinales representa un nicho en Panamá que aún no ha sido desarrollado de manera integral.

Es importante reconocer el valor etno-cultural de la medicina tradicional proveniente de nuestros grupos indígenas, sin embargo, es imperativo recalcar que dichos conocimientos ancestrales deben ser validados científicamente en pro del desarrollo económico y social.

La realización de estudios, creación de productos comerciales a base de plantas medicinales y protección de especies en peligro de extinción depende de tecnologías como el sistema PFAL, ya que permite el cultivo de especies vegetales en condiciones controladas y optimizadas. Este sistema asegura la producción de plantas durante todo el año, libres de contaminantes y plagas, con altos rendimientos de producción de biomasa y fitoquímicos, uso eficiente y sostenible de los recursos, y con la mínima emisión de contaminantes ambientales.

Esta tecnología puede contribuir a la creación de sistemas sostenibles de producción, pero depende intrínsecamente del aporte de la investigación y desarrollo, así como también de la creación y manejo de políticas nacionales que se alineen con los objetivos de desarrollo sostenible y que beneficien la aplicación de PFAL en áreas de la agroindustria que así lo requieran. También es importante recalcar la importancia de las alianzas estratégicas y creación de conglomerados en donde institutos de investigación, empresas privadas, universidades y entidades gubernamentales trabajen en sinergia para impulsar este sector en Panamá.

Agradecimientos

El autor agradece a la Dra. Gabrielle Britton y la Dra. Ivonne Torres-Atencio, por los valiosos comentarios y revisión del presente artículo.

Referencias

[1] A. Leroi Gourhan, “The flowers found with Shanidar IV, a Neanderthal burial in Iraq,” Science, vol. 190, no. 4214, pp. 562– 564, 1975

[2] Pan. SY. (2013) Neolithic site of the cross-lake bridge (Chinese). [Online]. Disponible en: http://baike.baidu.com/view/1464263.htm

[3] The Shen-nong site of Traditional Chinese Medicine. (2002) [Online]. Disponi- ble en: http://shen-nong.com/eng/history/chronology.html

4] A. Falodun, “Herbal medicine in Africa-distribution, standardization and pros- pects,” Research Journal of Phytochemistry, vol. 4, no.3, pp. 154–161, 2010

[5] Laguna. A. (2017) The World Digital Library. [Online]. Disponible en: https://www.wdl.org/en/item/10632/

[6] Maiko Inoue, S. H. and L. E. C., “Culture, History and Applications of Medicinal and Aromatic Plants in Japan”. https://doi.org/http://dx.doi.org/10.5772/46845

[7] E. Martins, “The growing use of herbal medicines: issues relating to adverse reactions and challenges in monitoring safety.” Frontiers in pharmacology, vol. 4, no. 177, pp. 1-11, 2014. http://doi:10.3389/fphar.2013.00177

[8] Market and Markets website. (2015) [Online]. Disponible en: https://www.mark etsandmarkets.com/

[9] Z. Sma, "Medicinal Components. 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/B978-0-12-801775-3.00014-7

[10] G. Robles, K. Oliveira & R. Villalobos. (2000) FAO site: Evaluación de los productos forestales no madereros en América Central-Plantas medicinales en Panamá. [Online]. Disponible en: http://www.fao.org/3/ae159s/AE159S15. htm#P3759_169102

[11] S. Palk & D. Morariu. (2010) "CNN site: Global Connection". [Online]. Dispo- nible en: http://edition.cnn.com/2010/WORLD/americas/09/17/tropical.panam a/index.html

[12] M. Gupta, A. Santana & A. Espinosa. (2011). OAS site: Proyectos FEMCIDI- PlantasMedicinales de Panamá. [Online]. Disponible en: http://www.oas.org/ es/sedi/femcidi/pubs/Libro%20de%20Plantas%20%Medicinales%20de%20 Panama.pdf

[13] L. Patiño. Plantas medicinales cultivadas en Chiriquí: composición química, sos y preparación, Imprenta Universitaria UNIACHI, David, Chiriquí, República de Panamá: SIDIC UNACHI, 2017.

[14] OPS Panamá website. (2016). [Online]. Disponible en: https://www.paho.org/ pan/

[15] T. Kozai, & G. Niu, "Role of the Plant Factory with Artificial Lighting (PFAL) in urban areas. 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/B978-0-12-801775-3.00002-0

[16] T. Kozai, & G. Niu, "Plant Factory as a Resource-Efficient Closed Plant Production System. 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/B978-0-12-801775-3.00004-4

[17] T. Kozai et al., "PFAL Business and R&D in the World: Current Status and Perspectives. Plant Factory: An Indoor Vertical Farming System for Efficient Quality Production System", Academic Press Ed., San Diego, USA: Elsevier, 2016. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-801775-3.00003-2

[18] S. Zobayed, F. Afreen, & T. Kozai, "Necessity and Production of Medical Plants under Controlled Environments", Environmental Control Biology, vol. 43, no. 4, pp. 243-252, 2005. https://doi.org/10.2525/ecb.43.243

[19] T. Kozai, & G. Niu, "Introduction. Plant Factory: An Indoor Vertical Farming System for Efficient Quality Food Production", Academic Press Ed., San Die- go,USA: Elsevier, 2016.https://doi.org/10.1016/B978-0-12-801775-3.00001-9

[20] Panamá América Site: Plantas Medicinales en Peligro de Extinción. (Online). Disponible en: https://www.panamaamerica.com.pa/mundo/plantas-medicina les-en-peligro-de-extincion-408294 (2017).

[21] P. Smith, & P. Gregory, "Climate change and sustainable food production", Proceedings of the Nutrition Society, vol. 72, pp. 21-28, 2012. https://doi.org/ 10.1017/S0029665112002832

[22] M. Kulak, A. Graves, & J. Chatterton, "Reducing greenhouse gas emission with urban agriculture: A life Cycle Assessment perspective", Landscape and Urban Planning, vol. 111, pp. 68-78, 2013. https://doi.org/1016/j.landurbplan. 2012.11.007

[23] C. Rosenzweig, S. Gaffun, & L. Parshall. 9 "Green Roofs in the New York Metropolitan Region", Research Report. Columbia University Center for Climate Systems Research and NASA Goddard Institute of Space Studies. Pp. 15-25, 2006.

[24] L. Y. Astee, & N. T. Kishnani, "Building Integrated Agriculture: Utilizing Rooftops for Sustainable Food Crop Cultivation in Singapore", Journal of Green building, vol. 5, pp 105-113,2010.

[25] M. Golstein. (2011). Urban agriculture: a sixteen city survey of urban agriculture practices across the country. Disponible en: https://www.jhsph.ed u/research/centers-and-institutes/johns-hopkins-center-for-a-livablefuture/_p df/projects/FPN/Urban_Community_Planning/URBAN_AGRICULTURE_A_SIXTEENCITY_SURVEY_OF_URBAN_AGRICULTURE_PRACTICES_AC ROSS_THE_COUNTRY.pdf