

DISEÑO E IMPLANTACIÓN DE UNA FÁBRICA DE PLANTAS DOMÉSTICA CON LUZ ARTIFICIAL (H-PFAL)

Francisco García Herrera^{1*}; Jorge Flores Velazquez¹

¹Posgrado en Hidrociencias. Colegio de Postgraduados Campus Montecillos. Carretera Mex-Tex, Km 36.5, 56264 Texcoco Edo de México
fragarhe@gmail.com - 5515767294 (*Autor de correspondencia)

Resumen

La necesidad alimentaria ha revolucionado al sector agrícola derivando en técnicas y tecnologías disruptivas para la producción de cultivos. En México aún persiste la producción de granos extensiva y el riego por gravedad, lo que pone de manifiesto el consumo de recursos reduciendo productividades, hídrica, energética y de la planta. el objetivo de este trabajo fue exponer la viabilidad en la implantación de tecnologías urbanas, tomando como caso de estudio una fábrica de plantas con luces artificiales sus ventajas y requerimientos desde el punto de vista agronómico. Se diseño un módulo con 4 capas en los cuales se cultiva Arúgula (*Eruca vesicaria*) y lechuga variedad mantequilla (*Lactuca sativa var Capitata*) para llevar a cabo su monitoreo de temperatura y humedad, así como control de la solución nutritiva en condiciones de interior. Se logro la producción de Arúgula a los 18 días después del trasplante, y 29 días para la lechuga. A pesar de mantener las variables temperatura y humedad dentro de los rangos requeridos por la planta, existen variaciones que afectan el desarrollo del cultivo, por lo que se requiere un mejor control. A pesar de ello, el peso y tamaño de las plantas también estuvieron dentro del rango comercial, con la ventaja que fueron cultivados libre de inorgánicos, Los resultados indican que la Home-Plant Factory with Artificial Light (H-PFAL) es una alternativa viable para la producción de Arúgula y lechuga.

Palabras claves: Agricultura Urbana, Arúgula, Lechuga, Luz Artificial, H-PFAL.

Introducción

Las condiciones actuales de vida requieren abordar los problemas cotidianos y encontrar una solución a ellos. La población actual tiene una tasa de crecimiento grande y es cuestión de tiempo el impacto sobre la producción de alimentos y la escasez de agua; se deben buscar alternativas para aminorarlos. El ritmo de vida de las ciudades parece que se ha olvidado que el campo es la principal fuente de abastecimiento de alimentos. A partir de 2010, se estima que el 70% de la población del mundo se encuentra en las zonas urbanas, lo cual implica un incremento del 50% de alimentos (Pinstrup-Andersen, 2018). Estadísticas en México, indican un incremento en la población que se aproxima a los 150 millones de personas para el año 2050. La agricultura urbana, ha pasado del concepto a la implantación de biosistemas entre los que destacan las granjas verticales, las fábricas de plantas tanto de exterior como interior (outdoor/indoor), éstas tecnologías buscan combatir el déficit alimentario y el uso eficiente de recursos, una alternativa inteligente para reducir y optimizar el espacio. Las granjas verticales pueden ser de interior y pueden transformar el concepto en una Fábrica de Plantas con Luz Artificial (Plant Factory with Artificial Light-PFAL) al incorporar el uso de luces artificiales (Light Emission Diode. LEDs) además del necesario ambiente controlado, como la forma más precisa de producir alimentos con el uso eficiente de los recursos (Benke & Tomkins, 2017). Dos desventajas actuales son el costo de producción y la mano de obra especializada (Flores et al., 2022).

El término “Fábrica de Plantas con Iluminación Artificial (PFAL)” se refiere a una instalación de producción de plantas con una estructura tipo almacén aislada térmicamente y casi hermética (Kozai, 2013). Se sugiere un número de estantes de cultivo con lámparas en cada estante apilados verticalmente en el interior y con adaptaciones para dispositivos de control como ventiladores de circulación de aire, unidades de suministro de solución de CO₂ y nutrientes y control ambiental. Uno de esos recursos es el espacio del biosistema que debe contener, el espacio para el crecimiento de las plantas y subsistemas de fertilización (hídrica, mineral y gaseosa) usualmente hidropónicas. En cultivos de interior el aspecto crítico es encontrar la calidad e intensidad de luz, longitud de onda y fotoperiodo de las luces LED que permitan obtener el máximo rendimiento con el mínimo consumo de energía (Loconsole et al., 2019). Actualmente existen en el mercado diversos diseños y materiales para contener las plantas y sus requerimientos, sin embargo, al ser a nivel comercial el costo puede ser un impedimento.

Para mejorar la producción local para el consumo local de vegetales frescos y limpios, ha tomado importancia en las zonas urbanas, la agricultura mediante fábricas de plantas con iluminación artificial (PFAL). Recientemente se han creado el concepto de mini-PFAL para diversos fines como es en restaurantes, cafeterías, centros comerciales, escuelas, hospitales, etc. Las mini-PFAL (m-PFAL) podrían aportar nuevos estilos de vida a las personas que viven en zonas urbanas. Un m-PFAL es un sistema de cultivo de plantas de interior cerrado o semicerrado que se utiliza para diversos fines, como para la producción comercial y la venta de plantas. Los m-PFAL se caracterizan por (1) hidroponía o cultivo sin suelo, (2) las plantas se cultivan principalmente bajo lámparas LED, (3) bien diseñadas como muebles o para ecologizar interiores (hermoso, seguro y robusto), (4) fácil de usar y mantener, (5) no el uso de

pesticidas y (6) el período de iluminación, el riego, la temperatura, etc., se pueden controlar automáticamente. o manualmente por el usuario. El tamaño, es decir, el volumen de aire del espacio de cultivo de plantas, de la mayoría micro-PFAL varía de 0.03 m³ a 1 m³ y que de la mayoría de los mini-PFAL varía de 2 m³ a 30 m³ (Kozai, 2016).

El concepto de fábrica de plantas consiste en la producción de cultivos con el menor “gasto” de recursos. Esto es está siendo posible mediante el conocimiento específico de la fisiología de la planta y en consecuencia llevar a cabo un manejo adecuado de la misma (Hesham et al., 2020). Es una instalación que ayuda a la producción constante de vegetales de alta calidad durante todo el año controlando artificialmente el entorno de cultivo (por ejemplo, luz, temperatura, humedad, concentración de dióxido de carbono y solución de cultivo), permitiendo planificar la producción (Zhang et al., 2016).

Al controlar el entorno interno, las fábricas de plantas pueden producir verduras de dos a cuatro veces más rápido que con un cultivo típico al aire libre. Además, como se usan múltiples estantes de cultivo, se facilita la producción masiva de vegetales en un espacio pequeño (Chiba. 2016).

Navas y Peña (2012) describen varios módulos de agricultura urbana, dentro de ellos un “módulo culinario y medicinal”, que puede ser dispuesto en el área de la cocina, azoteas, terrazas, balcones o patios, donde se puede cultivar especies como Tomillo (*Thymus vulgaris* L.), Menta (*Mentha piperita*), Hierbabuena (*Mentha sativa*), Perejil (*Petroselinum crispum*), Toronjil (*Melissa officinalis*) y Romero (*Rosmarinus officinalis*) para ser aprovechadas mediante el corte seleccionado de tallos u hojas al momento de las preparaciones de los platos. Estos módulos adoptan las prácticas limpias y de autoconsumo de la Agricultura Urbana y las combinan con la intensión estética y de ahorro de espacio de los jardines verticales. Vieco et al., 2019, menciona en su escrito sobre “Configuraciones de techos y muros verdes en edificaciones para disminuir la contaminación atmosférica urbana”, que el potencial de las infraestructuras vegetales para mejorar la calidad del aire y se ha reconocido su uso como mecanismo de depuración de contaminantes suspendidos en la atmósfera, lo que es otra de las ventajas de la Agricultura Urbana.

De acuerdo con Flores et al. (2022), en México el desarrollo e implementación de sistemas como las PFALs es prácticamente nulo. De aquí surge la necesidad de que los centros de investigación, las universidades, las instituciones gubernamentales y la misma industria, fomenten el desarrollo y transferencia de tecnologías para que la producción de cultivos dentro de PFALs se convierta, en un futuro próximo, en una realidad en el país.

Las granjas verticales son aquellas granjas que se desarrollan en edificios o rascacielos acondicionados para que se pueda llevar a cabo la producción, ya sea como agricultura, acuicultura o ganadería en el interior de estos. El concepto de granjas verticales se ha explorado por décadas, pero hasta ahora es que se muestra económicamente viable. Empresas dedicadas a este negocio están germinando cosechas de productos que normalmente toman 30 días en el campo en períodos de 16 días, utilizando 95% menos agua, 50% menos fertilizante, cero pesticidas, herbicidas y fungicidas (Flores-Velazquez et al., 2020).

Al tener granjas verticales estas contribuyen a que los habitantes de la comunidad suplan todas sus necesidades alimenticias reutilizando infraestructuras acondicionadas con tecnología de punta; utilizan luz artificial, control climatológico y redes sensoriales (Boulanger et al., 2021). En un futuro no muy lejano se espera que el consumidor se convierta entonces en el productor y el habitante del jardín (Salazar-Moreno et al., 2018).

El objetivo del presente trabajo es presentar el proceso de diseño e implementación de dos alternativas para establecer una mini Fabrica de Plantas con Iluminación Artificial (PFAL) idealmente en una casa u oficina, considerando que las condiciones de confort del habitad humano es suficiente para desarrollar la agricultura vertical, por lo anterior, al proyecto se le ha denominado Fabrica de Plantas Casera Con Luz Artificial (Home Plant Factory with Artificial Light, H-PFAL), sus ventajas y requerimientos desde el punto de vista agronómico.

Materiales y Métodos

El experimento se desarrolló en las instalaciones del Colegio de Postgraduados Campus Montecillo, en Texcoco Estado de México y de la Universidad Autónoma Chapingo.

Se construyó e instrumento un módulo experimental para el desarrollo de cultivos de porte bajo, idealmente una fábrica de plantas casera con luz artificial (mPFAL) (Figura 1 y 2) con un volumen de 1.5m^3 de espacio. Para el diseño de este módulo, la forma, dimensiones y materiales usados, fueron definidos con base a la experiencia previa en la construcción de sistemas disruptivos previos (Fuentes et al., 2021; Flores-Velazquez et al., 2022, 2023). Se utilizo un marco de acero para la construcción del exoesqueleto y las plataformas donde se coloca el contenedor donde se desarrollan las plantas. Los contenedores donde se coloca el medio de cultivo y las plantas mismas son de plástico.

El módulo fue acondicionado con los subsistemas para aportar los requerimientos de las plantas, estos fueron: el sistema de riego, que a su vez proveerá de la nutrición mineral y mediante la recirculación se lleva a cabo la oxigenación en la zona de raíces, con lo cual se logra la fertilización hídrica, mineral y gaseosa (O_2). En este caso se usó tubería prefabricada tipo canaleta; adelantando a los resultados este material es no adecuado cuando se cultiva en solución, en cuyo caso es mejor tubería de PVC sanitarias o hidráulicas.

Para la impulsión del sistema de recirculación se encontró la mejor relación carga gasto es un equipo de bombeo con flujos de 2500 a 3500 l/h y consumo eléctrico de 25 a 100 W. Se programo la activación de la bomba durante 15 minutos cada hora (24 pulsos). Su ubicación fue en un cuarto oscuro en las instalaciones de la Universidad Autónoma Chapingo.

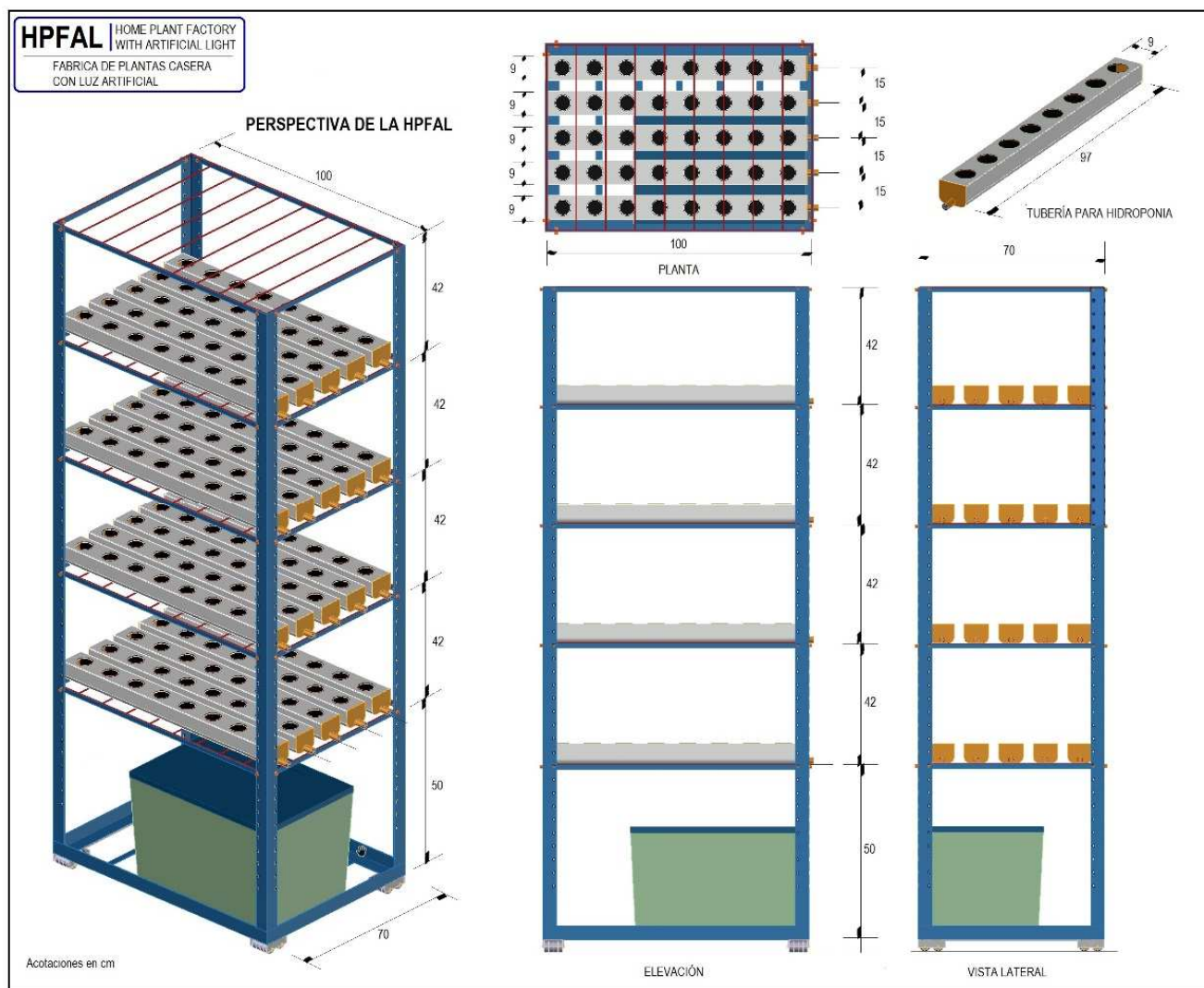


Figura 1. Diseño de una Fábrica de Plantas de casa con Luz Artificial

Se construyó e implemento un segundo modulo experimental con dimensiones mas pequeñas, con un volumen de 0.8m^3 (Figura 3). Su ubicación en una oficina del Posgrado de Hidrociencias del Colegio de Posgraduados.

El cultivo dio inicio el 11 de marzo de 2024, con 140 plantas de las cuales 90 fueron de arúgula (*Eruca vesicaria*) y 50 de lechuga variedad mantequilla (*Lactuca sativa* var. Capitata) (Figura 2 y 3). El fotoperiodo marcado para este ciclo fue de 15 horas de luz, por 9 de oscuridad, en ambos módulos.



Figura 2. Diseño1 de una Fábrica de Plantas Doméstica con Luz Artificial, en un cuarto oscuro

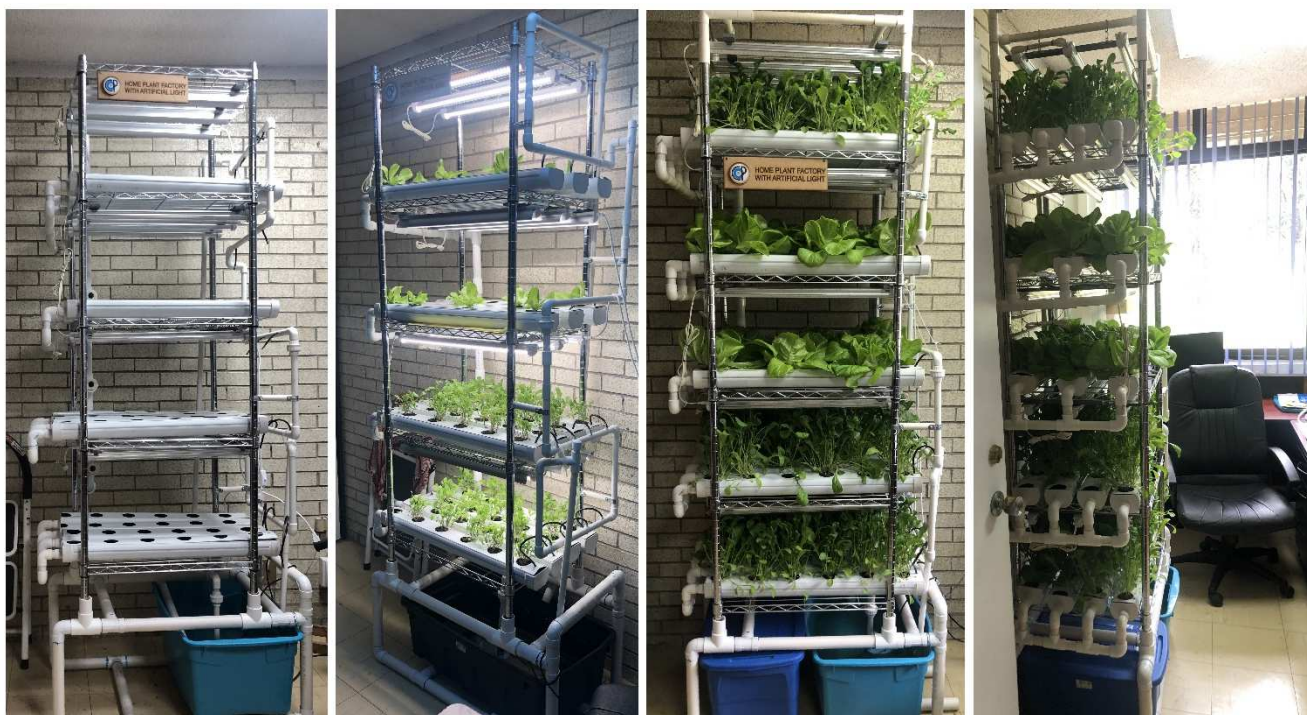


Figura 3. Diseño2 de una Fábrica de Plantas Doméstica con Luz Artificial en Oficina.

Resultados y Discusión

El concepto de la H-PFAL

Una Fábrica de Plantas Domestica con Luz Artificial (Home Plant Factoy With Artificial Light, H-PFAL) es una mini Fabrica de Plantas idealmente ubicada en la Casa u Oficina, con diversos niveles, en la cual se puede desarrollar agricultura vertical bajo las condiciones ambientales de confort del habidad humano. Los cultivos desarrollados en la H-PFAL, serán básicamente hortalizas o cultivos de bajo porte para el autoconsumo.

Diseño

Se diseño y construyo un modelo de fábrica de plantas con luces artificiales para producir Arúgula y Lechuga en condiciones de interior. Se utilizo estructuras de metal donde se acondicionaron los subsistemas para favorecer el ciclo del cultivo. Derivado del proceso de puesta a punto del biosistema, se recomienda tubería de distribución de PVC hidráulico de 1/2" y 3/4" de diámetro o hidráulicas de 3" de diámetro perforadas con un sacabocados de 1.5" a 2" donde se va a incrustar (trasplante) la planta después de haber sido germinada,

Evitar tubería con salidas múltiples de PVC ya que favorecen fugas de agua, principalmente en iniciales que abastece a las canaletas. Las tuberías prefabricadas son fáciles de amoldarse a la H-PFAL pero presentan más fugas que tuberías. En cuanto al sistema lumínico para generar la fotosíntesis, se recomienda luces blancas con el espectro de luz visible completo (desde el azul hasta el rojo), lo que permite diversificar cultivos por nivel, por ejemplo: Lechuga, Arúgula, Espinaca, Cilantro, Manzanilla, incluso Rábano o Fresas entre otros (**Figura 2**) cultivos cuya altura de corte no rebasa los 40 cm.

La fertilización de los cultivos, a finales del siglo pasado y principios del este 21, generalmente fue asociado a la fertilización mineral debido a que la hídrica y gaseosa fue suplementada de manera natural. Con la evolución de sistemas disruptivos hidropónicos y las críticas condiciones medioambientales para la producción de cultivos, la actualidad agrícola ha puesto de manifiesto la conveniencia de gestionar la fertilización hídrica y gaseosa. La planta como organismo primario, requiere idealmente de las moléculas de agua más dióxido de carbono para que en presencia de la luz sea capaz de transformarla en alimento, de ahí la necesidad de gestionar el agua y el dióxido de carbono. Además, el oxígeno disuelto en el medio de cultivo, si este se desarrolla directamente en un medio acuoso (Solución Nutritiva) se requiere la oxigenación en la zona de raíces. Por lo tanto, es pertinente el monitoreo de agua y oxígeno en la zona de raíces, dióxido de carbono en el dosel de las plantas y radiación en la misma zona para el desarrollo del ciclo de cultivo.

Las luces artificiales, que proveen la energía radiante para la fotosíntesis, es un tema aun en investigación, no obstante se recomienda el espectro de luz visible con énfasis en la longitud de onda que requiere el cultivo; para el caso de la lechuga y Arúgula tiene los máximos niveles de absorción en la luz azul y roja, es decir entre 680 y 700 nm de longitud de onda. Si bien la

mayoría los cultivos absorben el espectro de luz rojo y azul y reflejan un alto porcentaje de verde esto dependerá en gran medida del tipo de cultivo.

Se llevo a cabo el monitoreo de 4 variables básicas para el proceso de producción: 1. Temperatura de la solución nutritiva ($^{\circ}\text{C}$), 2. Temperatura del aire ($^{\circ}\text{C}$), 3. Humedad Relativa ambiental (%) y Potencial de hidrogeno (pH). La figura 4 presenta la variación de temperatura de la solución nutritiva promedio diario, en la cual se nota la dispersión a la temperatura durante el ciclo del cultivo, que en este caso fue de casi 10°C , lo cual se consolida como un área de oportunidad para buscar homogeneizarla.

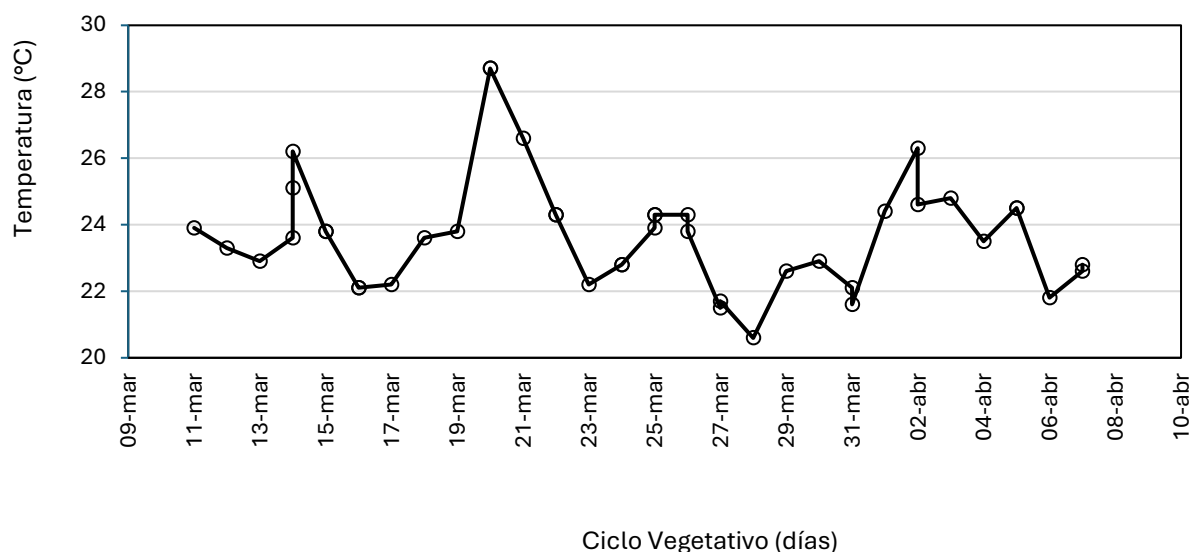


Figura 4. Comportamiento de la Temperatura de la Solución Nutritiva en una HPFAL

A pesar de que el ciclo para el desarrollo del cultivo es muy corto, 19 días para Arúgula y 28 para Lechuga aproximadamente, durante este periodo puede estar sujeto a estrés de origen diverso, estrés por fotoperiodo, calidad y cantidad de luces, climático etc. Es difícil que llegue a un estrés hídrico debido a que normalmente las raíces están siempre en contacto con la solución, pero si puede haber estrés por oxígeno en zona de raíces y osmótico debido a la concentración de la solución nutritiva, La Figura 5 muestra el seguimiento del potencial de hidrogeno (pH) variable que indica la relación de iones disueltos en la solución y la facilidad con que estos serán absorbidos por la planta. Ideal ente se pretende que el pH oscile entre 6 y 6.5 para para evitar estrés, sin embargo, como se muestra la figura 5, debido al intensivo sistema de producción la oscilación es constante por lo que el monitoreo debe ser constante y en ficción de su valor, el ajuste que requiera.

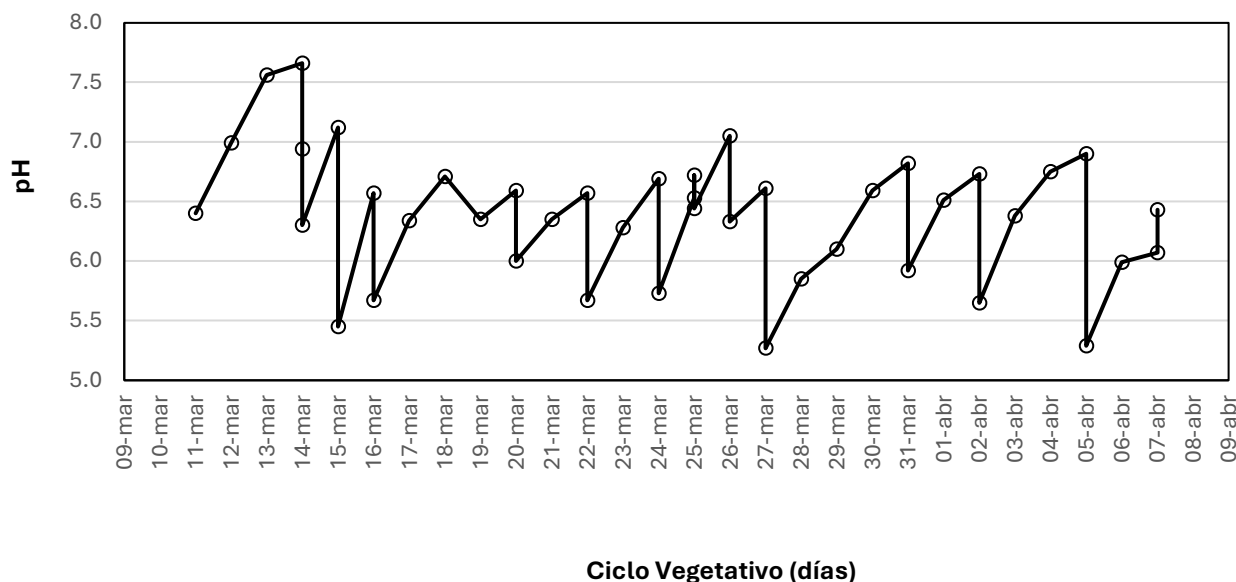


Figura 5. Variaciones de pH durante el desarrollo del cultivo en la H-PFAL

En la Figura 6 y 7 se da seguimiento a la temperatura y humedad relativa ambiental, que son las variables mínimas para conocer el estado de confort en la planta. Se pretende que las variaciones sean mínimas sobre todo entre la fase luminosa y la fase oscura, para lo cual se cuenta con un sistema de ventilación. A pesar del gradiente térmico entre 2-4 °C observado, las temperaturas permanentes dentro del rango adecuado para el desarrollo de la planta.

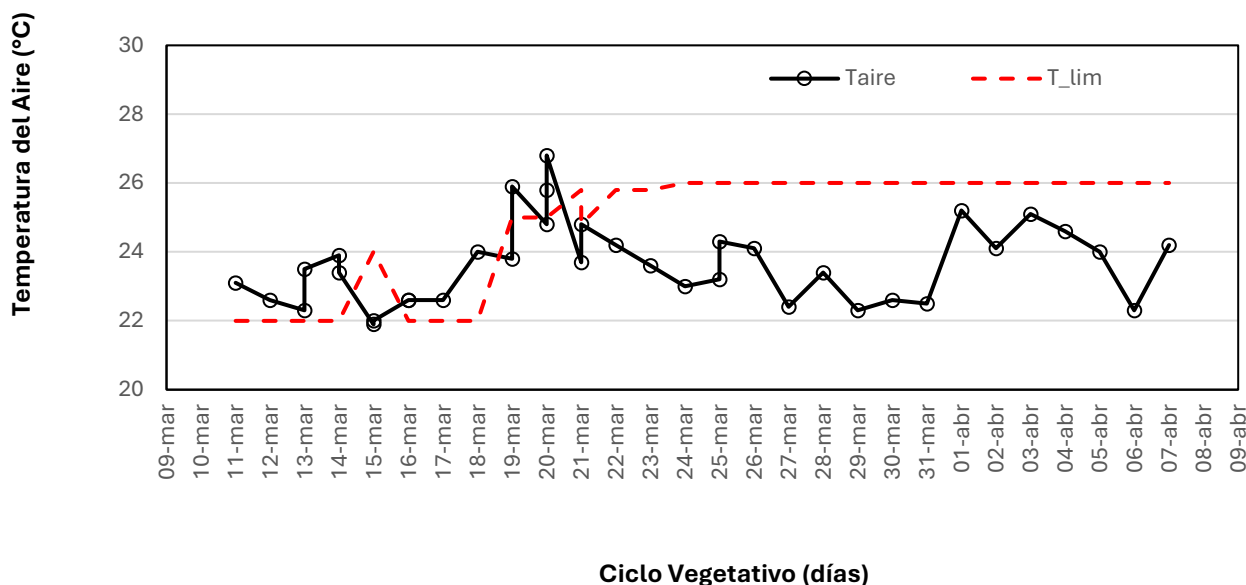


Figura 6. Variación térmica diaria en la H-PFAL

En cuanto a la humedad relativa (%) al inicio del ciclo se midieron valores críticos de 20% de humedad, lo cual fue corregido con la ventilación logrando las dos terceras partes del ciclo mantenerlo en el óptimo de m70 %

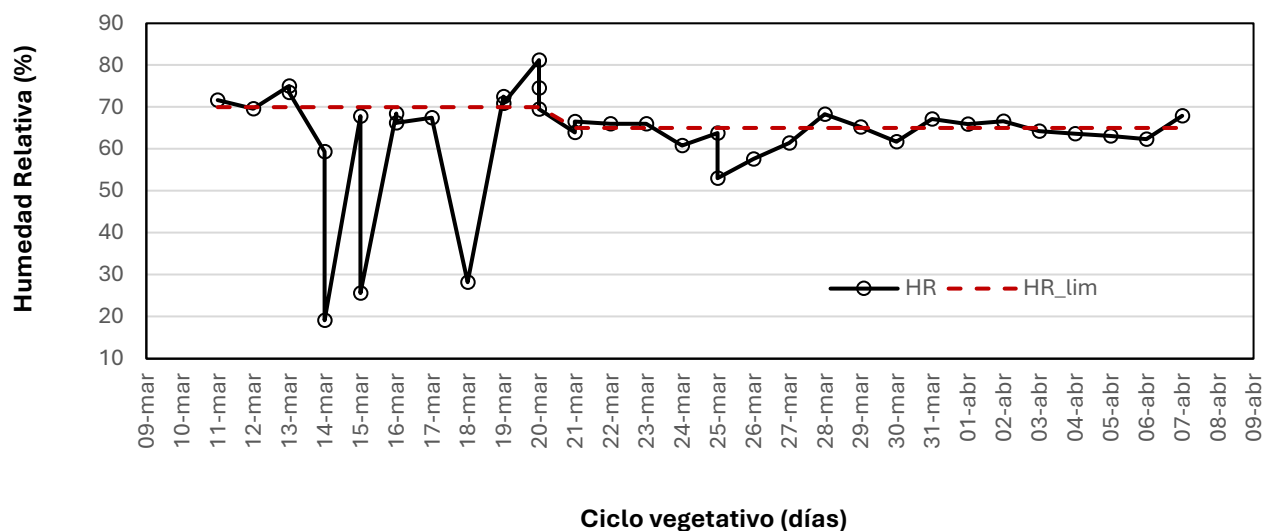


Figura 6. Humedad relativa (%) durante el ciclo de cultivo en la H-PFAL

La figura 7 muestra el estadio del cultivo en la etapa final; las características fisiológicas a la vista, pueden ser asociadas a una planta sana y de apariencia adecuada para el consumo. Un existe una situación de accesibilidad y aprobación por parte del consumidor al asumir que la producción artificial del cultivo, principalmente la radiación solar, es una actividad que restringe la característica de comestible. Ante esta situación, es pertinente la difusión de tecnologías y la transferencia para incluir los productos cultivados de manera artificial en la dieta a de la población.

La producción de cultivos englobados en la agricultura urbana, desde granjas y jardines verticales, muros y azoteas verdes, invernaderos en los techos, hasta los cultivos de interior como fábricas de plantas con luces artificiales, aún tienen la característica de disruptivos, debido al costo económico principalmente de su implantación; eses es el reto de la academia y centros de investigación, lograr que sean convencionales para que sean adaptados por el grueso de la población con las ventajas: 90 % de ahorro en el recurso agua manteniendo la mismas producción que en campo abierto, en circuitos cerrados no hay contaminación por drenaje, no se transporta, no se usa agua para el lavado después de cosecha o es mínima, entre otras



Figura 7. Cultivos de Arúgula y Lechuga en la etapa final

Conclusiones

Se diseñó y construyó un biosistema, consistente en 4 capas para producir hortalizas de porte bajo tipo ensalada de hoja delgada (Arúgula) y de hoja ancha (Lechuga). Las dimensiones de la estructura fueron de 100x70, sin embargo, con base al manejo, se plantea que el diseño adecuado para un hogar oscila entre 85 a 90 cm de largo por 60 a 70 cm de ancho y máximo 4 niveles con separaciones de lámparas de 15 a 22 cm y alturas de 30 a 40 cm. Estos diseños son aptos en la producción, con distribución y espacio para sembrar lechugas y hortalizas de bajo porte.

Agricultura urbana, Fábrica de plantas, granjas verticales, muros y azoteas verdes, son algunas de las tecnologías que han surgido y de manera exponencial se han posicionado como alternativas de producción agrícola. La implementación de estas tecnologías integradas a la cuarta generación de la agricultura, contribuyen en la producción de cultivos en el rango de vegetales de porte bajo, pueden incluirse comestibles, aromáticas y medicinales. El uso de circuitos y controles y sistemas de telecomunicación donde todo está interconectado, facilita el monitoreo y puede ser operado y gestionado a distancia con el uso del internet de las cosas y la web de las cosas, también conocido como big data.

Con el desarrollo de técnicas y tecnologías integradas a la cuarta generación de la agricultura se contribuye al uso eficiente de los recursos agua-energía-CO₂-O₂, que actualmente compete en las ciudades con el confort humano.

Referencias Bibliográficas

- Al-Kodmany, 2018. The Vertical Farm: A Review of Developments and Implications for the Vertical City. *Buildings* 2018, 8, 24; doi:10.3390/buildings8020024
- Benke K. & Tomkins B. (2017). Future food-production systems: vertical farming and controlled-environment agriculture, *Sustainability: Science, Practice and Policy*, 13(1), 13-26. Doi: <https://doi.org/10.1080/15487733.2017.1394054>
- Bellezoni, R. A., Meng, F., He, P., & Seto, K. C. (2021). Understanding and conceptualizing how urban green and blue infrastructure affects the food, water, and energy nexus: A synthesis of the literature. <https://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.125825>.
- Boulanger, P., Boysen-Urban, K., & Philippidis, G. (2021). European Union Agricultural Support 'Coupling' in Simulation Modelling: Measuring the Sustainability Impacts. *Sustainability*, 13(6), 3264. <https://doi.org/10.3390/su13063264>
- Chiba. 2016. An Indoor Vertical Farming System for Efficient Quality Food Production. 2016, Pages 213-221. Japan Plant Factory Association, c/o Center for Environment, Health and Field Sciences, Chiba University, Kashiwa, Chiba, Japan.
- CELADE. 2012. World population and latin america and the caribbean population: changes and new (im) balances. *Astrolabio*, no. 8. 2012
- Flores V.J., Fuentes M.D., Roblero H.R. La web de las cosas (WoT) para monitoreo y control de biosistemas con aplicaciones prácticas en Agricultura Urbana (AgUrban). *Tecnologías disruptivas y su impacto en la vida social y económica de México*. Febrero, 2022.
- Graamans L, Baeza E., van den Dobbelsteen E, Tsafaras I., Stanghellini C. 2018. Plant factories versus greenhouses: Comparison of resource use efficiency. *Agricultural Systems*. 160, 31-43, ISSN 0308-521X, <https://doi.org/10.1016/j.agry.2017.11.003>
- Hui Fang, Kun Li, Gang Wu, Ruifeng Cheng, Yi Zhang, Qichang Yang, 2020. A CFD analysis on improving lettuce canopy airflow distribution in a plant factory considering the crop resistance and LEDs heat dissipation, *Biosystems Engineering*, 200, 1-12, ISSN 1537-5110. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2020.08.017>
- Hesham A. Ahmed, Tong Yu-xin, Yang Qi-chang, 2020. Lettuce plant growth and tipburn occurrence as affected by airflow using a multi-fan system in a plant factory with artificial light, *Journal of Thermal Biology*, 88, 102496, ISSN 0306-4565, <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2019.102496>
- Lim, T.-G., & Kim, Y. H. (2014). Analysis of Airflow Pattern in Plant Factory with Different Inlet and Outlet Locations using Computational Fluid Dynamics. *Journal of Biosystems Engineering*, 39(4), 310–317. <https://doi.org/10.5307/JBE.2014.39.4.310>

Loconsole, D., Cocetta, G., Santoro, P. & Ferrante, A. (2019) Optimization of LED lighting and quality evaluation of romaine lettuce grown in an innovative indoor cultivation system. Sustainability, 11(3), 841

Montes de Oca Munguia, O.; Pannell, D.J.; Llewellyn, R. Understanding the Adoption of Innovations in Agriculture: A Review of Selected Conceptual Models. Agronomy 2021, 11, 139. <https://doi.org/10.3390/agronomy11010139>

Parada, F., Gabarrell X, Ruf -Sal s M., Arcas-Pilz V., Mu oz P., Villalba G. 2021. Optimizing irrigation in urban agriculture for tomato crops in rooftop greenhouses, Science of The Total Environment, 794, 148689, ISSN 0048-9697, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.148689>

Pinstrup-Andersen, P. (2018). Is it time to take vertical indoor farming seriously? Global Food Security, 17, 233–235.

Kozai T., Niu G., Takagaki M. 2016. Plant Factory; An Indoor Vertical Farming, System for Quality Food Production. Academic Press, Cambridge.
<https://books.google.com/books?id=z-C7DwAAQBAJ>

S nchez R., Olga. 2015. Caracterizaci n de ventilaci n nocturna en edificios mediante t cnicas CFD. Dep. Ingenier a Energ tica. Escuela T cnica Superior de Ingenier a. Universidad de Sevilla. Espa a

Salazar-Moreno et al., 2018- Urban agriculture in Mexico City . Acta Hort. 1215. ISHS 2018. DOI 10.17660/ActaHortic.2018.1215.36 Proc. Int. Symp. on Greener Cities for More Efficient Ecosystem Services in a Climate Changing World. Eds.: G. Pennisi et al.

Volkan Ye il1, U ur  akalo ullari2,  zg r tatar. 2020. Effect of light intensity on dry matter accumulation of barley fodder in a vertical farming growth module. Scientific papers. Series a. Agronomy, vol. Lxiii, no. 2

Ying Zhang, Murat Kacira, Lingling An, 2016. A CFD study on improving air flow uniformity in indoor plant factory system, Biosystems Engineering, 147, 193-205, ISSN 1537-5110, <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2016.04.012>