

Granjas verticales como modelo de negocios verdes y sostenibles

Vertical farms as a model of sustainable and green businesses

Duwal Asprilla Pérez¹

Diana Morales-Fonseca²

Recibido: 8 de abril del 2020 Aceptado: 4 de noviembre del 2020

DOI: <https://doi.org/10.29097/2011-639X.@a>

Resumen

Las granjas verticales definen una tendencia novedosa para disminuir los problemas de la agricultura tradicional. Se trata de una técnica de cultivo sin suelo y con baja vulnerabilidad frente al Clima produce cultivos frescos locales, de fácil comercialización, y libres de pesticidas e insecticidas, caracterizándose por su ecología. Dada la pertinencia de esta técnica se realizó una reflexión que identifica a los principales autores, y reúne tendencias y resultados a gran escala en poblaciones en las que, por sus características, este modelo ha respondido a las necesidades propias de las urbes modernas. Se han reportado casos de éxito en ciudades como París, Manila, Estocolmo, Filadelfia y Den Bosch, porque este sistema puede utilizar luz solar o artificial. Se compone de un cultivo hidropónico adaptable a interiores, ya sea una bodega, un contenedor, un subterráneo o la típica estructura de un invernadero. Igualmente se encontró que este modelo agrícola ha logrado reducir el uso de recursos insustituibles para la producción de alimentos, tales como el suelo, fósforo y la energía, permitiendo optimizar el uso del terreno e, inclusive, disponiendo de un 95 % menos de agua, características que posibilitan otra forma de agricultura: producir alimentos 100 % ecológicos en interiores de forma vertical.

Palabras clave: agricultura vertical, granja vertical, sistema hidropónico, cultivo sin suelo, huertas en interiores.

Abstrac

Vertical farms define a novel trend to reduce the problems of traditional agriculture. It is a cultivation technique with low vulnerability to the weather and no soil requirements; it produces fresh local crops, is simple to market, is free of pesticides and insecticides, and its ecological properties characterize it. Given the relevance of this approach, the paper reflects on identifying the principal authors and bringing together trends and results on a large scale in populations with positive responses to this model. Success stories have been reported in Paris, Manila, Stockholm, Philadelphia, and Den Bosch because this system can use solar or artificial light. It is composed of a hydroponic crop adaptable to interiors, either a cellar, a container, a subway, or the usual greenhouse structure. We also found that this agricultural model

¹ Docente del Departamento de Ingeniería Química y Ambiental. Fundación Universidad de América. ✉ duwal.asprilla@profesores.uamerica.edu.co

² Docente del Departamento de Ingeniería Química y Ambiental. Fundación Universidad de América.

has managed to reduce using irreplaceable resources for food production, such as soil, phosphorus, and energy, allowing optimization of land use and even having 95% less water. These features make possible another agriculture: producing 100% organic food indoors in a vertical way.

Keywords: vertical agriculture, vertical farm, hydroponic system, soilless farming, indoor vegetable gardens

Introducción

En el pasado, el aprovechamiento del espacio ubicado sobre nosotros solucionó una parte de los problemas de crecimiento en las grandes urbes, transformando locaciones de un solo piso en los grandes rascacielos conocidos en la actualidad. En este caso, ese mismo concepto se aplica a la producción de alimentos, cuyos requerimientos esenciales renuncian al uso de grandes superficies de tierra para la obtención de biomasa. Las granjas verticales permiten el aumento en la producción de esta, ya que son capaces de proporcionar millones de toneladas al año, utilizando 95 % menos agua, 50 % menos fertilizante, cero pesticidas, herbicidas y fungicidas (Brennan y Gralnick, 2015). Por tal motivo son necesarios el estudio y comprensión de la función de las granjas verticales como un sistema de producción sostenible.

Este estudio pretende revisar reflexivamente investigaciones alrededor del tema. Se recopilaron 35 artículos, utilizando como ecuación de búsqueda granjas verticales AND cultivos hidropónicos AND agricultura vertical. Los resultados se sometieron a un criterio de selección basado en los beneficios de la agricultura vertical para el medioambiente.

Orígenes de la agricultura vertical

La agricultura vertical se deriva de la agricultura en ambientes controlados y la agricultura urbana. Se conoce como agricultura en ambientes controlados aquella técnica que permite desarrollar cultivos, controlando factores externos como la luz, el agua, temperatura y los fertilizantes. Esta forma de producción de alimentos resulta más productiva y ofrece cultivos todo el año independientemente de la estación (Resh, 2001). Así mismo se entiende por agricultura urbana a “la producción de alimentos dentro del perímetro urbano y periurbano, aplicando métodos intensivos, teniendo en cuenta la interrelación hombre-cultivo-animal-medioambiente y las facilidades de la infraestructura urbanística que propician la estabilidad de la fuerza de trabajo y la producción diversificada de cultivos y animales durante todo el año, basadas en prácticas sostenibles que permiten el reciclaje de los desechos” (González et al., 2008, p.21). La evolución de estas técnicas ha conducido a potencializar la agricultura en ambientes controlados; entre los tipos más comunes tenemos los invernaderos, techos verdes, fábricas de plantas y lo que hoy día conocemos como granjas verticales.

La agricultura vertical rompe con el esquema tradicional, ya que los cultivos pasan del plano horizontal a un aprovechamiento de la verticalidad. Es un método para el cultivo de plantas usualmente sin uso de suelo ni luz natural (Frazier, 2017), que acude al espacio de la altura de un invernadero además del espacio del suelo (Mahdavi et al., 2012). De este modo permite cultivar alimentos frescos dentro del núcleo urbano, sin riesgos de perder cosechas por las inclemencias del clima.

Sistemas de cultivo en la agricultura vertical

Se caracterizan por ser cultivos sin un medio sólido como sustrato, que puede ser orgánico e inorgánico (Gruda y Tanny, 2014), e incluir materiales innovadores como bolsas, mats, contenedores, usando soluciones nutritivas (Eigenbrod y Gruda, 2014). Las tecnologías utilizadas en los sistemas de agricultura vertical ascienden a tres: riego presurizado por goteo, hidroponía, aeroponía (Despommier, 2009; Kalantari et al., 2017a) y algunas modificaciones derivadas.

Sistema de riego presurizado por goteo. En el sistema presurizado, el agua la cual es conducida por tuberías, se encuentra con cierta presión, llegando directamente a las plantaciones. Con el riego presurizado se evitan las pérdidas por infiltración en la conducción y distribución, logrando de esa manera mayor disponibilidad de agua para la planta (Denim, 2014). Este sistema consiste en la aplicación de agua en forma de gotas de manera continua en un lugar próximo a la planta, mojando solo parte del volumen del suelo (30% del suelo). En este método, en el suelo se forma un bulbo húmedo debajo de cada goteo donde la planta desarrolla una mayor cantidad de raíces. (Denim, 2014).

Sistema hidropónico. Método donde las plantas crecen en una solución nutritiva acuosa; en ausencia de suelo utiliza sustratos como reemplazo, que no son más que un medio sólido biológica- y químicamente inerte, útil como medio de anclaje y sostén de la planta. Como ejemplos de estos sustratos tenemos fibras de coco, piedra pómez, turba, perlita agrícola (Growth Technology, 2021). La solución nutritiva que permite el desarrollo de la planta trata de proveerla con trece elementos minerales: nitrógeno, potasio, fósforo, calcio, magnesio, azufre, hierro, manganeso, zinc, boro, cobre, silicio, molibdeno (Trejo-Téllez y Gómez-Merino, 2012).

Sistema aeropónico. La segunda posibilidad de cultivo es la aeroponía; a través de esta se cultivan plantas sin usar ningún suelo (o sustratos como reemplazo del suelo). Las raíces se suspenden en el aire dentro de un recipiente cerrado, expuestas a una fina neblina de agua cargada de nutrientes, rociadas regularmente a través de una boquilla (Despommier, 2019). Es una forma efectiva y eficaz de cultivar plantas, ya que requiere poca agua y espacio (Cooper, 2013).

Granjas verticales

Las granjas verticales son una rama de la agricultura en ambientes controlados, donde se utilizan varias estructuras elevadas en esta posición, para cosecha y producción de alimentos generalmente en interiores. Por lo tanto, para la misma cantidad de suelo utilizado, el rendimiento de la planta se multiplica por el número de pisos de la granja: a mayor altitud, mayor producción (Despommier, 2019). Las fábricas de plantas en interiores (granjas verticales) se pueden dividir en fábricas de plantas con luz solar (FPLS) y fábricas de plantas con luz artificial (FPLA) (Kozai et al., 2019).

Fábricas de plantas con luz solar (FPLS). Esta tecnología utiliza al máximo la radiación solar en cultivos de ambiente controlados como invernaderos, terrazas, etc. Los métodos agrícolas avanzados podrían proporcionar mayores rendimientos y utilizar mucha menos agua que la agricultura tradicional (Kalantari, et al., 2017a). El diseño, la distribución y la configuración de estas granjas de alta tecnología proporcionarían una exposición óptima a la luz, junto con los nutrientes medidos con precisión para cada planta. Diseñadas para crecer en un ambiente controlado y de circuito cerrado, estas granjas eliminarían la necesidad de herbicidas y pesticidas dañinos, maximizando la nutrición y el valor de los alimentos en el proceso. Los agricultores de interior también podrían "diseñar" el sabor de los productos, para satisfacer las preferencias de la gente (Hedenblad y Olsson, 2017). Las investigaciones pretenden desarrollar, perfeccionar y adaptar estos sistemas para que, en última instancia, se implementen en cualquier parte del mundo y proporcionen la máxima producción y el mínimo impacto ambiental. Representan un cambio de paradigma en la agricultura y la producción de alimentos, ya que los académicos los consideran adecuados para la agricultura urbana, donde la disponibilidad de tierra es limitada (Healy y Rosenberg, 2013).

Fábricas de plantas con luz artificial (FPLA). Estas trasladan la agricultura adonde tal vez antes era impensable su desarrollo gracias a los avances en los sistemas lumínicos que hoy en día permiten cultivar en cualquier lugar. La iluminación a base de diodos emisores de luz (led) encierra la tecnología más reciente para ingresar al campo de la agricultura en ambientes controlados como fuente principal de energía para las plantas. Estos dispositivos presentan la ventaja de emitir longitudes específicas de onda electromagnética, las cuales pueden ajustarse para proporcionar la energía adecuada y estimular los pigmentos fotosintéticos; principalmente espectros de color rojo (610-750 nm) y azul (400- 520 nm), lo que implica una mayor acumulación de peso seco y un uso más eficiente de la energía en comparación con dispositivos convencionales como lámparas de sodio de alta presión o fluorescentes. Así aumenta el potencial productivo de las FPLA (Fang y Jao, 2000; Lefsrud et al., 2008; Mizuno et al., 2011; Žukauskas et al., 2011; Tarakanov et al., 2012).

Sistema de ambiente controlado

El diseño de las granjas verticales consta de algunos componentes importantes como aire acondicionado, o sistema de ventilación y temperatura. Estos mejoran la calidad

del aire, ahorran energía, consisten la humedad en el interior y, debido a las sombras de las plantas, aumentan la temperatura en el entorno del cultivo (Liu, 2014).

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) se monitorean y controlan, con el objetivo de asegurar buenos rendimientos de producción, alta calidad de productos, eficiencia en el aprovechamiento de los recursos y mínima emisión de contaminantes (Kozai y Niu, 2016). Estas tecnologías específicas no son totalmente nuevas. Su desarrollo continúa y probablemente se proliferará en un futuro próximo (Matuszak, 2012).

Controles. Los controladores se utilizan para monitorear el interior y las condiciones del aire exterior, como la temperatura y la humedad relativa. Operan independientemente con varios sistemas para mantener condiciones interiores óptimas para el crecimiento de las plantas (Cepeda et al., 2013). Un tipo de modelo de control climático utilizado en invernaderos se denomina Green Tech Control and Supervisor y se encuentra patentado; utiliza enfoques de control de tiempo, árbol de decisión y lógica difusa (Cepeda et al., 2013).

Sensores. Los sensores proporcionan mediciones precisas del interior y el exterior, entornos utilizados como entradas para los algoritmos del controlador. También se pueden utilizar para recopilar los datos necesarios para los modelos de pronóstico (Ferentinos et al., 2017). Las redes de sensores inalámbricos (RSI) normalmente acomodan una cantidad de nodos de sensores multifuncionales y económicos que pueden comunicarse entre sí. Ferentinos et al. (2017) desarrollaron un algoritmo de optimización que midió el consumo de energía del sensor utilizado para la comunicación en invernaderos a través de experimentos realizados en Velestino, Grecia. En particular, se encuentra que el uso de muchos sensores consumirá menos energía que el de menos y más activos sensores (Ferentinos y Tsiligiridis, 2007). Kozai y sus colaboradores indicaron que los nodos sensores deben situarse horizontal y verticalmente en todo el entorno interior del sistema de agricultura en ambiente controlado (AEC), para garantizar que se cumplan todas las condiciones de un crecimiento óptimo en las plantas. El típico sensor que se utiliza para medir la concentración de CO₂ se denomina infrarrojo no dispersivo. Los sensores de CO₂ deben desplegarse lejos, de donde los empleados respiran, o se encuentren conductos de escape, ventanas o puertas (Kozai et al., 2019).

Tipos de cultivo en las granjas verticales

Las granjas verticales son adecuadas para cualquier tipo de cultivo excepto árboles y proporcionan las condiciones requeridas en los sembrados (Platt, 2007). Una de los factores más importantes es seleccionar las mejores especies para interiores. Principalmente lechuga, hortalizas de hojas verdes, hierbas, pepinos y fresas. Teóricamente en este tipo de agricultura también se cosechan cultivos para producir

biocombustible, como maíz, trigo y plantas medicinales (Ankri, 2010). A continuación, se ejemplifican algunas granjas verticales.

Green Spirit Farm. Localizada en Nuevo Búfalo, Michigan, Green Spirit Farm es una empresa de alimentos que ha acogido la verticalidad. La instalación en esta población surgió en una antigua fábrica de plástico. El edificio cuenta con un espacio de aproximadamente 3716 m² y se encuentra en un terreno de 11 ha. Como práctica estándar, GSF dispondrá de los edificios industriales o comerciales vacíos más antiguos, para suministrar productos a los mercados urbanos cercanos. Su objetivo es ofrecer a los mercados locales alimentos de alta calidad, frescos, sin pesticidas y con organismos no modificados genéticamente (OMG) a precios asequibles. La empresa opta por cultivar productos con una alta demanda local, como lechuga, albahaca, espinaca, col rizada, rúcula, pimientos, tomates, estevia, fresas y coles de Bruselas (Green Spirit Farms, 2017). Vende sus productos a tiendas lugareñas de comestibles y restaurantes y a pequeños "mercados de cosecha" que se venden directamente a los consumidores. GSF gestiona granjas orgánicas verticales en Atlanta, Filadelfia, Canadá y el Reino Unido (Smiechowski, 2013).

Sky Greens. Sky Greens es la primera "granja vertical urbana que cultiva vegetales tropicales bajo una producción verde y sostenible, mejorando la cosecha y obteniendo vegetales seguros, frescos y deliciosos; utiliza un mínimo de recursos de tierra, agua y energía" (Skygreens, 2017).

La granja comprende tres pisos de altura (9 m, 30 pies) y utiliza un método llamado "A-Go-Gro (AGG) Vertical Farming", que utiliza invernaderos translúcidos para cultivar vegetales de hojas tropicales durante todo el año en rendimientos significativamente más altos que los métodos agrícolas tradicionales. Sky Greens tiene la capacidad de producir una tonelada de verduras frescas cada 2 días. Suministra una variedad de vegetales tropicales que incluyen repollo chino, espinaca, lechuga, ciado bai cai, bayam, kang kong, cai xin, gai lan y nai bai. Al proporcionar productos de alta calidad a costos relativamente asequibles, la granja ha prosperado y busca expandir su producción, proporcionando una variedad más amplia de vegetales. Estructuralmente, el sistema AGG consta de armazones en "A", de aluminio, que pueden tener una altura de hasta 9 m (30 pies) con 38 niveles de comederos de cultivo que contienen varios sustratos de cultivo: suelo e hidroponía. El sistema de bastidor en "A" ocupa solo 5,6 m² (60 pies²), lo que lo hace diez veces más eficiente que la agricultura convencional (Skygreens, 2017). Los comederos giran lentamente alrededor del marco de aluminio (aproximadamente tres rotaciones por día) para garantizar que las plantas obtengan luz solar uniforme. Dicha exposición continua también reduce o incluso elimina la necesidad de iluminación artificial en algunas áreas del edificio. La rotación se impulsa por un sistema hidráulico de bajo carbono patentado que contiene bandejas de plantas. El sistema hidráulico es una tecnología antigua dotada de un toque moderno: un circuito cerrado que hace uso eficiente de la gravedad y consume poca energía. Cada torre de 9 m (30 pies) usa solo 60 W de energía y, por lo tanto, el propietario gasta solo alrededor de "US\$360/mes (US\$3/torre) en electricidad" para alimentar la granja (Skygreens, 2017).

Container farm. Una propuesta innovadora consiste en reciclar contenedores, aprovechando su estructura, ya consolidada, para el desarrollo de granjas verticales interiores, a menudo mediante iluminación led, estantes con sistemas hidropónicos y sensores o controles que ayudan a monitorear factores clave del cultivo. Tales contenedores sirven como cámaras modulares perfectamente estandarizadas para el cultivo de una variedad de plantas.

Un claro ejemplo de este modelo se encuentra en París, donde Agricool constituye una nueva empresa de agricultura vertical con alto impacto en los medios. La empresa fundada en 2015 desarrolla granjas verticales en contenedores para el cultivo de fresas, usando aeroponía. A principios de 2019, Agricool se extendía a cinco granjas de contenedores en operación en la capital de Francia, para luego comenzar su expansión global en Dubái con una granja de contenedor (Dillet, 2018).

Granjas verticales subterráneas. A diferencia de las granjas de invernadero, muchas granjas verticales luchan con el exceso de calor. La agricultura subterránea podría ofrecer ventajas en esas circunstancias, ya que la profundidad regula la temperatura del ambiente y proporciona una atmósfera naturalmente más fresca (Russo, 2019). Este tipo de granjas generalmente se construyen en túneles, subterráneos o minas abandonadas, para aprovechar la masa de la tierra, amortiguar la temperatura y mantener constante la humedad. La oscuridad no es un obstáculo, ya que las granjas verticales usan 100 % de luz artificial y los ejes desarrollados para este tipo de granja probablemente necesitarían menos energía que las instalaciones sobre suelo (Lloyd, 2018). En Den Bosch, en los Países Bajos, Plant Lab construyó tres granjas verticales subterráneas, utilizando avanzada tecnología led y variedad de sistemas de automatización y monitoreo. Afirman no solo ahorrar en costos de energía sino producir un rendimiento tres veces mayor que un invernadero hidropónico promedio (Al-Kodmany, 2018). En Suecia, Platagon Cityfarm construyó una granja subterránea ubicada en un antiguo archivo de periódicos bajo una torre de oficinas en Estocolmo, donde produce alimentos y utiliza la energía ambiental generada por los ledes, para calentar las oficinas de los pisos superiores (Russo, 2019).

Granjas verticales como negocio verde y sostenible

Las granjas verticales describen una nueva perspectiva para cosechar alimentos cien por ciento ecológicos, en ambientes controlados y sin suelo, lo cual permite desarrollar esta técnica en las ciudades, logrando alimentos frescos, con una huella de carbono mínima ya que dentro de su ciclo de vida se elimina el arado y el consumo de combustibles fósiles en procesos como la siembra, cosecha y fertilización, procesos que junto al arado consumen un 20 % de los combustibles fósiles utilizados en la agricultura convencional (Caplow, T, 2009).

Además, la entrega de alimentos desde los campos cultivados hasta las ciudades es responsable de la emisión de 0.4 toneladas de dióxido de carbono por año (Blaustein-Rejto, 2011). Situación que suele eliminarse en las granjas verticales ya que, por lo general, estas se integran con las ciudades, garantizando sistemas de entrega más sostenibles, como el caso de farmone, que provee sus productos por medio de

domicilios hechos en bicicleta (farmone,2021). La ubicación de granjas verticales en zonas urbanas estratégicamente seleccionadas permite vender los productos directamente al consumidor reduciendo los costos de transporte al eliminar al intermediario, que pueden constituir hasta el 60% de los costos (Al-Kodmany, 2016).

Tabla 1.
Granjas verticales al interactuar con la triple cuenta de la sostenibilidad.

Componente	Beneficio	Contexto Ambiental	Contexto Social	Contexto Económico
Agua	Reducción de hasta de un 70 a 95% en el consumo del agua. ¹	Disminución de la huella hídrica.	Incremento en la disponibilidad del recurso para varias generaciones.	Uso y ahorro eficiente del agua.
Aire	La granja vertical puede ayudar a enfriar el medio ambiente, secuestrar CO ₂ , reducir el efecto isla de calor y lucha contra el cambio climático. ²	Disminución de la huella de carbono.	La mejora en la calidad del aire incide directamente en la salud de las personas.	promoción del estilo de vida “local for local”, es decir, las distancias entre la producción de alimentos y el consumo se minimiza. ³
Suelo	Produce significativamente más por unidad de área que una granja tradicional. ⁴	Restauración de ecosistemas dañados o alterados. ⁵	Desarrollo de prácticas agro sostenibles.	Producir un alto rendimiento por hectárea disponible debido a la agricultura vertical. ⁶
Residuos	Reciclaje de residuos orgánicos	Disminución de la sobrepresión de vertederos.	Mejora el entorno ecológico de las ciudades.	Valorización de residuos.
Residuos peligrosos	Reducción en el uso de fertilizantes y plaguicidas. ⁶	Disminución de la contaminación del aire, suelo y agua derivada del uso de estos productos. ⁷	Mejoría de la calidad de los alimentos y, posteriormente, de la salud de los consumidores.	Disminución de costos y eliminación de residuos peligrosos.
Energía	Transición energética a energías renovables.	Disminución en la huella de carbono.	Uso y ahorro eficiente de la energía.	Eficiencia energética con reducción de costos
Producción	Uso de menor espacio.	Además, la granja vertical elimina la necesidad de empacar cultivos agrícolas para transporte de larga distancia. ⁸	Reducción del trabajo repetitivo y ahorro del tiempo para realizar actividades productivas y socialmente gratificantes.	Producción de cultivos a lo largo del año ya que el fotoperiodo se puede extender con el uso de luces leds. ⁹

Nota. La tabla muestra la interacción de las granjas verticales con la triplecuenta ambiental en el contexto social, ambiental y económico.
¹ Sonawane, (2018). ² Specht, K, et al., (2014, p. 33-55). ³ Cicekli, M y Barlas, N.T, (2014). ⁴ Sky Greens, (2017). ⁵ Wood, S, et al., (2001, p.110).
⁶ Cho, R, (2011). ⁷ Specht, K, et al., (2015). ⁸ Thomaier, S, et al., (2015, p. 43-54). ⁹ Institutet for Fremtidforskning, (2012).

Además, cultivar en un ambiente interior controlado brinda el beneficio de reducir el uso excesivo de pesticidas y herbicidas, que generan escorrentías agrícolas contaminantes (Cho, R., 2011). En la mayoría de casos, este tipo de insumos se elimina del ciclo de vida, de una granja vertical evitando así contaminar suelos, y cuerpos de agua con los excesos de fertilizantes que llegan ríos, lagos, inclusive océanos, incrementando las concentraciones de nutrientes en dichos cuerpos

generando eutrofización. Acelerando la proliferación de algas, las cuales cuando mueren son utilizadas como alimento por diversos microbios los cuales absorben todo el oxígeno del agua para procesarlas, lo que resulta en zonas acuáticas muertas (Cho, R., 2011). Uno de los componentes que hace exitosa este tipo de granja, es gracias a la iluminación bajo tecnología LED, ingenieros alemanes de Phillips han logrado desarrollar leds con un 68% de eficiencia, lo cual traduce una reducción drástica en los costos por consumo energético, este avance tecnológico permite reemplazar la luz solar por luz artificial con Leds que produce la longitud de onda óptima para el crecimiento de las plantas (Levenston, 2011).

Uno de los componentes que hace exitosa este tipo de granja, es gracias a la iluminación bajo tecnología LED, ingenieros alemanes de Phillips han logrado desarrollar leds con un 68% de eficiencia, lo cual traduce una reducción drástica en los costos por consumo energético, este avance tecnológico permite reemplazar la luz solar por luz artificial con Leds que produce la longitud de onda óptima para el crecimiento de las plantas (Levenston, M,2011). Como tal, esta técnica de iluminación proporciona los colores de iluminación correctos que las plantas necesitan para realizar la fotosíntesis: luz azul, roja e infrarroja, el sistema utiliza un electroimán para excitar el gas argón como su fuente de luz en lugar de un filamento. Por esta razón consume menos energía y puede durar hasta 100.000 horas, casi el doble de unas luces leds convencionales (Matuszak, J,2012).

Las granjas verticales permiten valorizar los residuos orgánicos, evitando que estos lleguen a vertedero, integrando al proceso un digestor anaeróbico el cual convierte los desechos orgánicos en biogás para producir energía y calor (United States Environmental Protection Agency,2017). Este modelo permite generar un círculo cerrado con respecto al aspecto ambiental denominado generación de residuos orgánicos, gestionándolos de la mejor manera en cuanto a separación y clasificación en la fuente lo que conlleva a convertir desechos orgánicos en energía, por medio de la captura de gas metano.

Al pasar de la dimensión horizontal a la vertical, las granjas verticales logran un rendimiento de producción de 5 a 10 veces mayor por unidad de área, que una granja que cultiva hortalizas de hoja verde de forma convencional (Vertical Farming Systems, 2017). Las granjas verticales también utilizan tecnologías avanzadas y métodos agrícolas intensivos. que pueden aumentar exponencialmente la producción. Los investigadores han estado optimizando la agricultura de interior al calibrar, sintonizar y ajustar una amplia gama de variables, incluida la intensidad de la luz, el color de la luz, el espacio temperatura, cultivo y raíz, contenido de CO₂, suelo, agua y humedad del aire. (Munoz, H y Joseph, J, 2010).

En definitiva, las investigaciones en este campo han avanzado en innumerables métodos de agricultura urbana y vertical con la esperanza de contribuir a la producción sostenible de alimentos, las granjas verticales son uno de esos métodos avanzados que podrían proporcionar mayores rendimientos y consumir menos agua que la agricultura tradicional. (Kalantari, F., Tahir, O. M., Lahijani, A. M., y Kalantari, S, 2017).

Finalmente en un futuro próximo se podría estimar que la mayoría de funciones dentro de una granja vertical van a ser automatizadas, tendrán sensores instalados cerca de cada planta permitiendo detectar la necesidad de agua, nutrientes y otros requisitos para un óptimo crecimiento y desarrollo, los sensores también pueden advertir a los granjeros sobre la presencia de bacterias, virus u otros microorganismos que causan enfermedades, además una tecnología de cromatografía de gases podrá analizar niveles de flavonoides, con tal precisión proporcionando el momento óptimo para la cosecha (Matuszak, J, 2012)

Discusión

La agricultura vertical disminuye significativamente los impactos ambientales de los factores ambientales agua, aire y suelo; además contribuye a la conservación de los servicios ecosistémicos y la sucesión ecológica en algunos casos. Sus diseños cada vez más innovadores y procesos completamente automatizados pueden detectar de manera anticipada la necesidad de agua, nutrientes y otros requisitos indispensables para el crecimiento de distintas especies vegetales y su óptimo desarrollo.

Lo que de cierta manera también se ve reflejado en la productividad de las granjas: podría afirmarse que hoy en día la agricultura tiende a ser más eficiente gracias a la verticalidad, y una perfecta combinación de tecnología y agricultura de precisión, que conlleva al incremento de la biomasa cultivada en interiores. Además, la cadena de valorización de residuos en estas granjas puede convertirse en un ingrediente esencial, pues resulta reutilizable para generar metano y producir energía, o compostar las partes incomedibles de las plantas.

La versatilidad de los modelos de granjas verticales no solo se ajusta a las necesidades de las urbes, sino que también puede ser un modelo para replicar en distintos pisos térmicos, una de las características de la agricultura colombiana. Se encuentra una alternativa para grandes y pequeños productores (se entenderá por pequeño productor la persona natural que posea activos totales no superiores a los doscientos ochenta y cuatro (284) SMMLV (MADR, 2018), quienes, en algunos casos, a pesar de poseer extensas parcelas, carecen de los insumos y recursos suficientes para hacerlas productivas y, en otros, son familias campesinas con pequeñas parcelas de tierra cultivable y sin recursos para optimizar y dar productividad a sus cultivos.

Bajo este modelo ya se evidencian casos exitosos como el de Impact Farm, una empresa danesa, la cual, en un invernadero de dos pisos, construido en madera y cuya estructura robusta a base de materiales sostenibles, se integra a un sistema hidropónico vertical para producir frutas, verduras, hortalizas y microvegetales, con la ventaja de clasificarse como alimentos ecológicos libres de agrotóxicos. Su estructura base solo necesita un área de 163m^2 para su instalación, y con el aprovechamiento de este espacio se puede llegar a producir hasta seis toneladas de alimentos al año de manera autosuficiente, ya que optimiza el consumo de agua y energía (Human Habitat, 2021).

Esta alternativa podría replicarse en diferentes veredas del campo colombiano, donde el campesino tradicional que posee una casa rodeada de un área muy pequeña de tierra generalmente estructura huertas para su sostenimiento, pero con una baja retribución en sus ingresos mensuales. Con la adopción de esta técnica hacia la verticalidad potencializaría sus capacidades e ingresos, ya que su producción se triplicaría y con un gran beneficio: sus cosechas no se perderían por las inclemencias del clima, debido a que la estructura de la granja protegería los cultivos. Esta técnica agraria posibilitaría la producción de alimentos de una manera sostenible y eficiente, ya que busca el máximo volumen de producción, utilizando menos recursos y disminuyendo al mínimo los impactos sobre el medioambiente.

Las granjas verticales ofrecen un magnífico panorama para cultivar nuestros alimentos, integrando innovación y tecnología, ofreciendo a las comunidades alimentos frescos en menor tiempo de cosecha. La agricultura vertical ha tenido un crecimiento vertiginoso dado que dentro de este concepto también se incluyen los cultivos hidropónicos, que suponen un 49 % de estos sistemas de cosecha. La versatilidad de este concepto responde a la necesidad de crear huertos en espacios rurales y urbanos, y con una variedad de tamaños ajustables a estilos de vida particulares. Entre los principales cultivos en ambientes cerrados contamos las hortalizas con un 57 %, seguidas de los tomates con un 16 % y también flores, plantas aromáticas y microvegetales (Ibis Word, 2021).

En términos económicos, el sector de la agricultura vertical está creciendo más rápido que todos los tipos de hidroponía combinados. Se proyecta tener una tasa de crecimiento anual combinada de más del 24% durante 2018-2024, alcanzando los 3 billones de dólares en ingresos alrededor del mundo (Ibis Word, 2021). Lo que sugiere que esta metodología alterna innovadora y sostenible necesita el apoyo de políticas públicas que permitan la capacitación e implementación en zonas del país donde las características geológicas impiden que el sector agrícola participe más, aporte que podría fortalecer las iniciativas actuales en torno al desarrollo de la bioeconomía. En sus apartados, el Conpes 3934 hace referencia al uso comercial de la biomasa y la biodiversidad bajo técnicas sustentables, acordes con las virtudes de la agricultura vertical.

La técnica de agricultura vertical ejemplifica un sistema de producción sostenible, ya que resume una actividad que genera impactos ambientales positivos; la tecnología e innovación de esta nueva forma de agricultura contribuyen al desarrollo de prácticas ambientales que ocasionan múltiples beneficios no solo al contexto ambiental sino al social y económico. Es un negocio compacto que permanece en crecimiento y se impone, por lo tanto, muy pronto su implantación se extenderá a todo el mundo: el futuro es ahora y en este momento esta nueva forma de cultivar debe multiplicarse por sus diversas características que la hacen un modelo más verde y sostenible.

Conclusiones

La transición de la agricultura convencional a la vertical ya es una realidad en el mundo, a lo largo y ancho se comienzan a edificar diversas granjas verticales producto

de la innovación y desarrollo tecnológico, en busca de una agricultura sostenible, donde se obtenga mayor cantidad de biomasa por área gracias al uso eficiente del espacio. Con lo anterior, el consumo de agua se reduce entre un 70 % y 95 % (Sky Greens, 2017)., y gracias a la técnica de cultivo sin suelo y bajo ambientes controlados se elimina el uso de insecticidas y pesticidas, garantizando cosechas 100 % ecológicas.

Dispone este sistema de una serie de ventajas sobre la agricultura rural desde el punto de vista de la triple cuenta de la sostenibilidad y su contexto social, ambiental y económico, que las perfila como un modelo verde por seguir, ya que disminuye la huella de carbono, la huella hídrica y la generación de residuos, permite que las plantas crezcan en un ambiente controlado de circuito cerrado, eliminando la necesidad de herbicidas y pesticidas nocivos, maximizando la nutrición y el valor alimentario en el proceso, los agricultores de Interior también podrían "diseñar" el sabor de los productos para satisfacer las preferencias de las personas (Cerón-Palma, et al., 2012).

Este nuevo modelo de granja permite producir alimentos prácticamente en cualquier lugar gracias a su sistema hidropónico y aeropónico donde el cultivo de alimentos sin suelo enmarca la principal característica de la agricultura vertical. Adicionalmente se considera un mínimo riesgo de pérdidas ya que estos cultivos se desarrollan en interiores.

Referencias

- Advantages of Vertical Farming (2017). *Vertical Farming Systems*. Available online: <http://www.verticalfarms.com.au/advantages-vertical-farming>.
- Al-Kodmany, K. (2018). The vertical farm: A review of developments and implications for the vertical city. *Buildings*, 8(24), 3-36. https://mdpi-res.com/d_attachment/buildings/buildings-08-00024/article_deploy/buildings-08-00024-v2.pdf
- Al-Kodmany, K. (2016) Sustainable Tall Buildings: Cases from the Global South. *Int. J. Archit. Res.*, 10, 52–66.
- Al-Kodmany, K. (2018). *The Vertical City: A Sustainable Development Model*. WIT Press.
- Ankri, D. S. (2010). Urban kibbutz: Integrating vertical farming and collective living in Jerusalem, Israel [Tesis de maestro, Universidad de Maryland]. DRUM Digital Repository at the University of Maryland. <http://hdl.handle.net/1903/10775>
- Blaustein-Rejto, D. (2011). Harvard Economist Claims Urban Farms do more Harm than Good. *Inhabitat*, 24. Available online: <http://inhabitat.com/harvard-economist-claims-urban-farms-do-more-harm-than-good/>

- Brennan, M. y Gralnick, J. (2015). Vertical farming: The next big thing for food- and tech. *CNBC Food & Beverage*. <https://www.cnbc.com/2015/06/24/vertical-farming-the-next-big-thing-for-food-and-tech.html>
- Cepeda, P., Ponce, P., Molina, A., y Lugo, E. (2013). Towards sustainability of protected agriculture: Automatic control and structural technologies integration of an intelligent greenhouse. *IFAC Proceedings Volumes*, 46(7), 366-371.
- Cerón-Palma, I., Sanyé-Mengual, E., Oliver-Solà, J.; Montero, J.I., Rieradevall, J. (2012). Barriers and Opportunities Regarding the Implementation of Rooftop Eco.Greenhouses (RTEG) in Mediterranean Cities of Europe. *J. Urban Technol.* 19, 87–103.
- Cho, R. (2011). *Vertical Farms: From Vision to Reality*. *State of the Planet*. Blogs from the Earth Institute.
- Cicekli, M.; Barlas, N.T. (2014). Transformation of today greenhouses into high technology vertical farming systems for metropolitan regions. *J. Environ. Prot. Ecol.* 15, 1779–1785. <https://doi.org/10.3182/20130522-3-BR-4036.00085>
- Cooper, D. (2013). GrowCube promete cultivar alimentos con facilidad en interiores (práctica). *Engadget*. <http://www.engadget.com/2013/11/08/insert-coin-growcubes-hands-on/>
- Departamento Nacional de Planeación DNP (2018). Conpes 3934. Política de Crecimiento Verde. Departamento Nacional de Planeación.
- Decreto 2179 de 2015 (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural) "Por medio del cual se modifica el Decreto 1071 de 2015, Decreto Único Reglamentario del Sector Administrativo Agropecuario, Pesquero y de Desarrollo Rural, en lo relacionado con la definición de Pequeño Productor para los fines de la Ley 16 de 1990". 11 de noviembre del 2015(Colombia).
- Den Besten, J. (2019). Vertical farming development; the Dutch approach. En: Anpo, M., Fukuda, H. y Wada, T. [Eds.]. *Plant Factory Using Artificial Light. Adapting to Environmental Disruption and Clues to Agricultural Innovation* (pp. 307-317). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813973-8.00027-0>
- Despommier, D. (2009). The rise of vertical farms. *Scientific American*, 301(5), 80-87. <http://dx.doi.org/10.1038/scientificamerican1109-80>
- Despommier, D. (2019). Vertical farms, building a viable indoor farming model for cities. *Facts Reports: Field Actions Science Reports*, 20, 68-73. <https://journals.openedition.org/factsreports/5737>
- Dillet, R. (2018). Agricool raises another \$28 million to grow fruits in containers. *TechCrunch*. <https://techcrunch.com/2018/12/03/agricool-raises-another-28-million-to-grow-fruits-in-containers/>

- Eigenbrod, C., y Gruda, N. (2014). Urban vegetable for food security in cities. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 35(2), 483-498. <https://link.springer.com/article/10.1007/s13593-014-0273-y>
- Fang, W., y Jao, R. C. (2000). A review on artificial lighting of tissue cultures and transplants. En: Kubota, C. y Chun, C. (Eds.). *Transplant production in the 21st century* (pp. 108-113). Kluwer Academic Publishers.
- Farmone (julio de 2017). *The neighborhood farm*. <https://farm.one/>
- Ferentinos, K. P., & Tsiligiridis, T. A. (2007). Adaptive design optimization of wireless sensor networks using genetic algorithms. *Computer Networks*, 51(4), 1031-1051.
- Ferentinos, K. P., Katsoulas, N., Tzounis, A., Bartzanas, T., y Kittas, C. (2017). Wireless sensor networks for greenhouse climate and plant condition assessment. *Biosystems Engineering*, 153, 70-81. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2016.11.005>
- Ferentinos, K. P., y Tsiligiridis, T. A. (2007). Adaptive design optimization of wireless sensor networks using genetic algorithms. *Comput Networks*, 51(4):1031-1051. <https://doi.org/10.1016/j.comnet.2006.06.013>
- Frazier, I. (9 de enero de 2017). The vertical farm: Growing crops in the city, without soil or natural light. *The New Yorker*. <https://www.newyorker.com/magazine/2017/01/09/the-vertical-farm>
- González, M., Castellanos, A., y Price, J. (2008). Testimonios: Agricultura urbana en ciudad de La Habana. Actaf: Asociación Cubana de Técnicos Agrícolas y Forestales. Editorial Cidisav. <http://www.ipes.org/index.php/descargas/send/2-agricultura-urbana/56-testimonios-agricultura-urbana-en-ciudad-de-la-habana>
- Green Spirit Farms. (2017). Agricultura vertical sostenible, Nuevo Bufalo, Michigan. <http://www.greenspiritfarms.com/>
- Growth Technology. (2021). What is hydroponic growing? <https://www.growthtechnology.com/hydroponics/>
- Gruda, N., y Tanny, J. (2014). Protected crops. En: G. R. Dixon y D. E. Aldous (Eds.), *Horticulture: Plants for people and places*. Volume 1 (pp. 327-405). Springer. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-94-017-8578-5_10#citeas
- Healy, R. G., y Rosenberg, J. S. (2013). *Land use and the States*. Routledge.
- Hedenblad, E. y Olsson, M. (2017). *Urban Growth Analysis of Crop Consumption and Development of a Conceptual Design to Increase Consumer Adoption of Vertical Greenhouses* [Master's Thesis, Chalmers University of Technology].
- Henckel, D., Walk, H. y Dierich, A. (2014). Urban agriculture of the future: An overview of sustainability aspects of food production in and on buildings. *Agric. Hum. Values*, 31, 33-51.

- Human Habitat. (2021). *Impact farm*. <http://www.humanhabitat.dk/>
- Ibis World. (2021). Color me green: As consumers increasingly buy locally grown produce, revenue is expected to grow. Industry Research Report. <https://www.ibisworld.com/united-states/market-research-reports/hydroponic-crop-farming-industry/>
- Kalantari, F., Tahir, O. M., Joni, R. A., y Fatemi, E. (2017). Opportunities and challenges in sustainability of vertical farming: A review. *Journal of Landscape Ecology*, 11(1), 35-60. <https://doi.org/10.1515/jlecol-2017-0016>
- Kalantari, F., Tahir, O. M., Lahijani, A. M., y Kalantari, S. (2017). A review of vertical farming technology: A guide for implementation of building integrated agriculture in cities. *Advanced Engineering Forum*, 24, 76-91. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AEF.24.76>
- Kozai, T., Niu, G., y Takagaki, M. (2019). *Plant factory: An indoor vertical farming system for efficient quality food production*. Academic Press. <https://books.google.com/books?id=z-C7DwAAQBAJ>
- Kozai, T., y Niu, G. (2016). 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. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-801775-3.00002-0>
- Lefsrud MG, Kopsell DA, Sams CE (2008). Irradiance from distinct wavelength light-emitting diodes affect secondary metabolites in kale. *HortScience* 43: 2243-2244. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.43.7.2243>.
- Levenston, M. P. (2011). Lighting Promotes City Farming. *City Farmer News*, 10. Available online: <http://www.cityfarmer.info/2011/12/10/>
- Liu, X. (2014). Design of a modified shipping container as modular unit for the minimally structured & modular vertical farm (MSM-VF) [Tesis de maestría]. University of Arizona. https://repository.arizona.edu/bitstream/handle/10150/347073/azu_etd_13598_sip1_m.pdf?sequence=1
- Lloyd, M. (2018). Old coal mines can be “perfect” underground food farms. BBC. <https://www.bbc.com/news/uk-wales-46221656>
- Mahdavi, S., Kafi, M., Naderi, R., y Taghavi, T. (2012). Vertical mobile planting system consistent with the pattern of solar radiation and effects of system on light exposure and growth of gerbera cut flowers (*Gerbera jamesonii* cv. Antibes), in greenhouse culture. *Journal of Agricultural Technology*, 8(4), 1461-1468.
- Matuszak, J. (3 de julio de 2012). Vertical farming revolution taking root in New Buffalo. *Harbor Country News*. <https://www.harborcountry-news.com/search/?f=html&q=matuszak&d1=2012-07-01&d2=2012-08->

02&sd=desc&l=25&t=article%2Ccollection%2Cvideo%2Cyoutube&nsa=eediti
on

- Munoz, H.; Joseph, J. (2010). *Hydroponics: Home-Based Vegetable Production System*. Inter-American Institute for Cooperation on Agriculture (IICA). Available online:
<http://legacy.iica.int/Eng/regiones/caribe/guyana/IICA%20Office%20Documents/Hydroponics%20Manual/Hydroponics%20Manual.pdf>
- Platt, P. (2007). Vertical farming: An interview with Dickson Despommier. *Gastronomica*, 7, 80-87. <https://doi.org/10.1525/GFC.2007.7.3.80>
- Resh, H. M. (2001). *Cultivos hidropónicos: Nuevas técnicas de producción*. Mundi-Prensa.
- Russo, J. (11 de enero de 2019). The urban underground farming solution. The Borgen Magazine. <https://www.borgenmagazine.com/the-urban-underground-farming-solution/>
- Sky Greens (15 de julio de 2017). Agricultura vertical. A-Go-Gro Technology. <https://www.skygreens.com/vertical-farming/>
- Smiechowski, J. (2013). Vertical farming venture achieves sustainability and success in New Buffalo, Michigan. SeedStock. <http://seedstock.com/2013/06/10/vertical-farming-venture-achieves-sustainability-and-success-in-new-buffalo-michigan/>
- Sonawane, M. S. (2018). Status of Vertical Farming in India. *Int. Arch. App. Sci. Technol.*, 9(4) 122-125
- Specht, K., Siebert, R., Hartmann, I., Freisinger, U.B., Sawicka, M., Werner, A., Thomaier, S., Henckel, D., Walk, H. and Dierich, A. (2014). Urban Agriculture of the Future: An Overview of Sustainability Aspects of Food Production in and on Buildings. *Agric. Hum. Values*, 31, 33-51.
- Tarakanov I, Yakovleva O, Konovalova I, Paliutina G, Anisimov A (2012). Light-emitting diodes: on the way to combinatorial lighting technologies for basic research and crop production. *Acta Horticulturae* 956: 171-178. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2012.956.17>
- Thomaier, S., Specht, K., Henckel, D., Dierich, A., Siebert, R., Freisinger, U.B. y Sawicka, M. (2015) Farming in and on Urban Buildings: Present Practice and Specific Novelties of Zero-Acreage Farming (ZFarming). *Renew. Agric. Food Syst*, 30, 43-54.
- Trejo-Téllez, L., y Gómez-Merino, F. (2012). Nutrient solutions for hydroponic systems. En T. Asao (Ed.), *Hydroponics: A standard methodology for plant biological researches* (pp. 1-24). Intechopen. DOI: 10.5772/37578
- United States Environmental Protection Agency (s.f.). AgSTAR: Biogas Recovery in the Agriculture Sector. Available online: <https://www.epa.gov/agstar>

- Wood, S., Sebastian, K. y Scherr, S.J. Pilot (2001). *Analysis of Global Ecosystems: Agroecosystems*. International Food Policy Research Institute and World Resources Institute. Available online: <http://www.wri.org/publication/pilot-analysis-global-ecosystems-agroecosystems>
- Žukauskas A, Bliznikas Z, Breivė K, Novičkovas A, Sa muoliene G, Urbonavičiute A, Brazaityte A, Jan kauskienė J, Duchovskis P (2011). Effect of supplementary pre-harvest LED lighting on the antioxidant properties of lettuce cultivars. *Acta Horticulturae* 907: 87-90. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2011.907.8>