

Inclusión de técnicas de agricultura vertical y de precisión para diversificar la producción de los huertos urbanos del Distrito Capital.

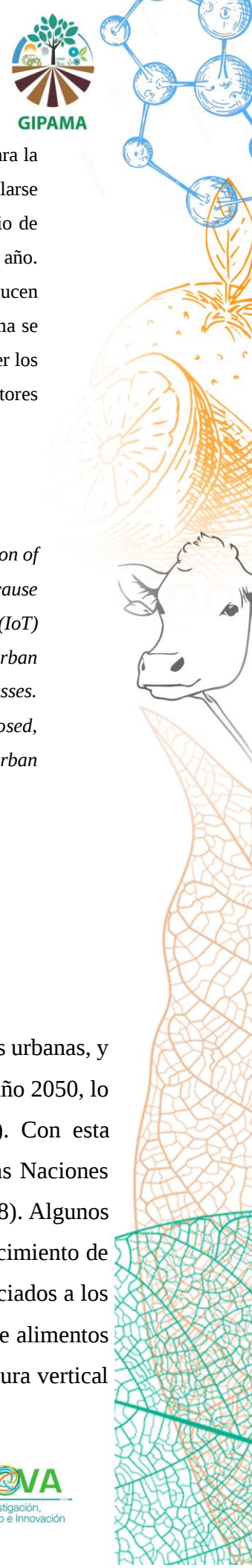
Inclusion of vertical and precision agriculture techniques to diversify the production of urban gardens in the Capital District.

Carlos Andres Rivera Guerrero¹

¹Investigador para el Centro de Electricidad, Electrónica y Telecomunicaciones, Estudiante Doctoral, Ingeniero Electrónico, Bogotá D.C, Colombia
Correo electrónico: cariverag@unal.edu.co
<https://orcid.org/0000-0002-2132-2741>

Victor Vladimir Cortés Arevalo²

² Instructor del Centro de Electricidad, Electrónica y Telecomunicaciones, Magister en Sistemas, Ingeniero de Sistemas, Bogotá D.C, Colombia
Correo electrónico: vcortes@sena.edu.co



Resumen— La agricultura vertical de precisión se presenta como una alternativa atractiva para la diversificación de la producción alimentaria, entre sus ventajas se encuentra que puede desarrollarse en espacios reducidos y debido a que pueden controlarse las variables ambientales por medio de tecnologías como el Internet de las cosas (IoT) puede cultivarse en cualquier temporada del año. Actualmente el Distrito capital cuenta con alrededor de 1817 huertas urbanas, las cuales producen hortalizas, cereales y pequeños frutos, además de procesos de compostaje. Con este panorama se propone la implementación de un prototipo de Agricultura vertical de precisión, para fortalecer los procesos formativos del centro de formación e iniciar procesos de capacitación en los agricultores urbanos, con el objeto de que estos puedan conocer y apropiar esta tecnología.

Palabras clave— Agricultura vertical; Internet de las cosas; Hidroponía; Iluminación LED

Abstract— *Smart vertical farming is presented as an attractive alternative for the diversification of food production, among its advantages is that it can be developed in small spaces and because environmental variables can be controlled through technologies such as the Internet of Things (IoT) it can be cultivated at any time of the year. Currently, the Capital District has about 1817 urban gardens, which produce vegetables, cereals and small fruits, in addition to composting processes. With this scenario, the implementation of a prototype of vertical precision agriculture is proposed, to strengthen the training processes of the training center and initiate training processes in urban farmers, so that they learn and appropriate this technology.*

Keywords— *Vertical farming; internet of things; Hydroponic; LED illumination.*

1. INTRODUCCIÓN

Actualmente 56% de la población mundial (4400 millones de habitantes) vive en zonas urbanas, y de acuerdo con proyecciones del Banco Mundial, esta población se duplicará para el año 2050, lo que implicará que 7 de cada 10 personas vivirá en zonas urbanas (FAO, 2020). Con esta proyección, para alimentar a esta población creciente y cada vez más urbanizada, las Naciones Unidas estiman que la demanda de alimentos debe aumentar en un 70% (Collado, 2018). Algunos de los problemas que deben enfrentarse a futuro son los siguientes: Escases y encarecimiento de la tierra para procesos agrícolas, encarecimiento en los alimentos por sobrecostos asociados a los combustibles debido a que, en la gran mayoría de casos, las cadenas de suministro de alimentos concentran su producción fuera de los centros urbanos. Con este panorama la agricultura vertical

urbana inteligente (USVF, por sus siglas en inglés) es una de las posibles soluciones para ayudar a enfrentar esta elevada demanda de alimentos sin necesidad de tierras de cultivo adicionales como se presenta en (FAO, et al., 2022).

1.1 Panorama del Distrito Capital: Bogotá como ciudad capital

En Bogotá región se ha presentado un aumento de asociaciones y personas naturales dedicadas a la agricultura urbana en las diferentes localidades del distrito capital. De acuerdo con un informe presentado por el Jardín Botánico de Bogotá José Celestino Mutis (Jardín Botánico, 2020) y Acero (2021) y la Organización de Estados Iberoamericanos para la Educación, la Ciencia y la Cultura OEI, con su programa Bogotá es mi Huerta, donde se identificó un total de 1817 huertas urbanas, las cuales realizan cultivos de hortalizas, frutas y plantas aromáticas, para autoconsumo, así como el uso de residuos para procesos de compostaje. Como se presenta en la figura 1.1.

Huertas Urbanas Registradas por parte de Bogotá es mi Huerta

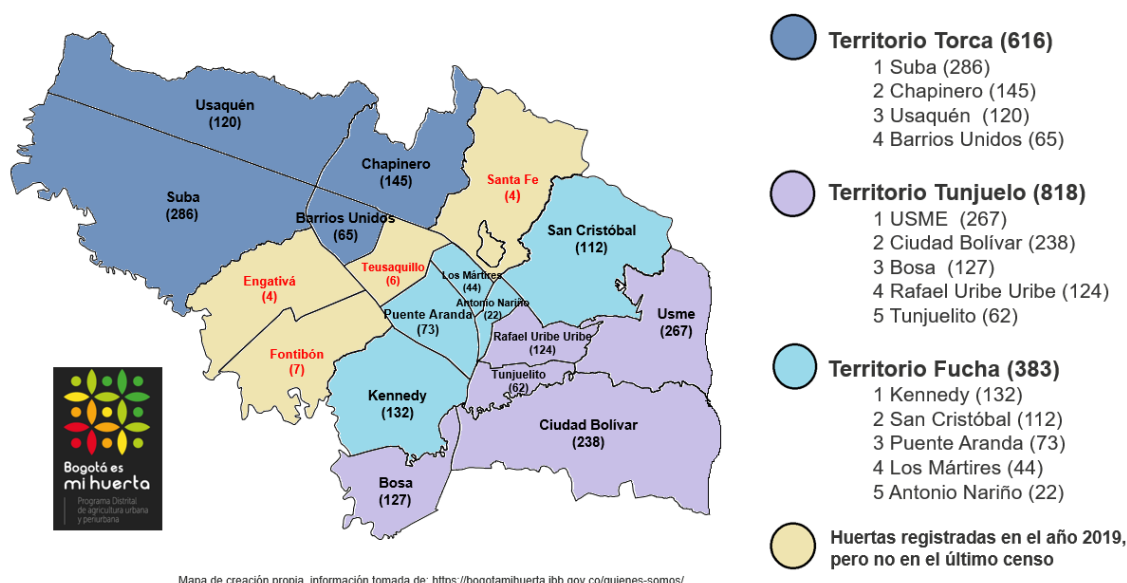
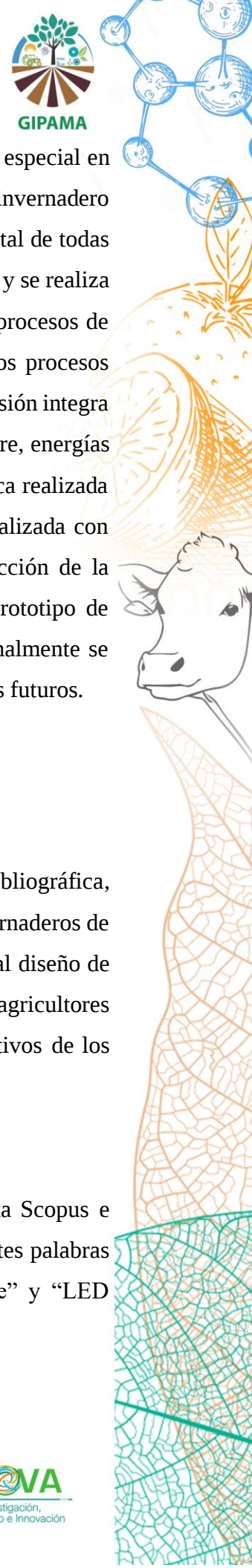


Figura 1.1 Huertas Urbanas registradas en el Distrito Capital para el año 2020.

Fuente: Autoría propia

Con este escenario, el grupo de Investigación GICS del Centro de Electricidad, Electrónica y Telecomunicaciones del distrito capital, ha venido desarrollando desde el año 2021, diferentes proyectos de investigación, pensados en introducir las nuevas tecnologías del sector agrícola, las cuales puedan permitan diversificar los métodos de producción agrícola de las huertas urbanas del distrito. Teniendo presente la afectación progresiva que ha sufrido el clima mundial por los efectos



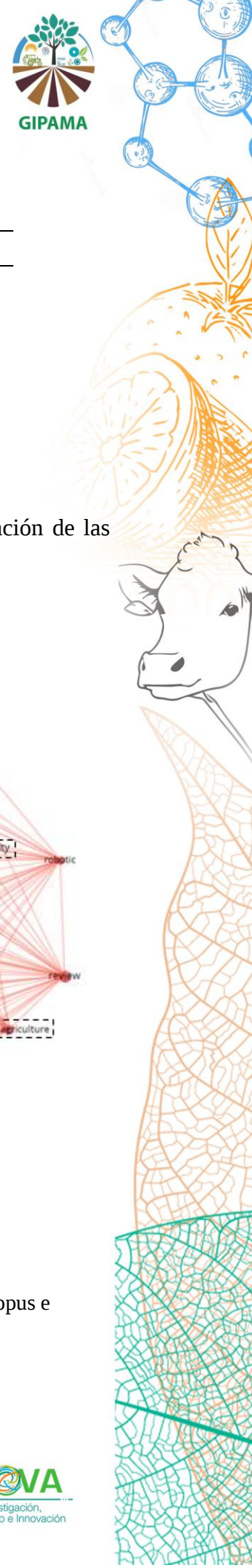
del cambio climático en todos los aspectos de los seres vivos (López et al., 2019), en especial en la producción de alimentos, se propone el de diseñar e implementar un prototipo de invernadero de agricultura vertical de precisión, ya que esta tecnología permite tener un control total de todas las variables ambientales involucradas en los procesos agrícolas (Aliston et al., 2014), y se realiza en espacios cerrados. Se busca que además de implementar el prototipo se realicen procesos de transferencia tecnológica a los agricultores urbanos del Distrito y además apoyar los procesos formativos del centro de formación, ya que la tecnología de agricultura vertical de precisión integra múltiples tecnologías, como es la del Internet de las cosas (IoT), desarrollo de software, energías alternativas y la analítica de datos, A continuación se presenta la revisión bibliográfica realizada para determinar la arquitectura de prototipo de agricultura vertical que pueda ser realizada con componentes de bajo costo y de fácil adquisición, en seguida se presenta la selección de la arquitectura a implementar y posteriormente se presenta el diseño completo del prototipo de invernadero de agricultura vertical en sus componentes de hardware y software. Finalmente se presentan los resultados obtenidos hasta el momento y algunas conclusiones y trabajos futuros.

2. METODOLOGÍA

La metodología desarrollada se divide en tres fases, la primera es la fase de revisión bibliográfica, la segunda fase es la de selección de arquitecturas o configuraciones de granjas o invernaderos de agricultura vertical acorde a los objetivos del proyecto, y la tercera fase relacionada al diseño de un prototipo de agricultura vertical que permita realizar procesos de capacitación a los agricultores urbanos del Distrito y el desarrollo de prácticas que fortalezcan los procesos formativos de los diferentes programas del centro de formación.

2.1 Fase 1: Revisión Bibliográfica

Se realizó la revisión de 126 referencias bibliográficas por medio de la herramienta Scopus e IEEE Explorer donde se ingresaron diferentes ecuaciones de búsqueda, con las siguientes palabras claves (keywords): “vertical farming”, “internet of things”, “Artificial Intelligence” y “LED illumination”,



Donde se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 1. Tipo y cantidad de documentos encontrados con la ecuación de búsqueda.

Tipo de Documento	Cantidad
Artículos de Conferencia	64
Artículos	31
Capítulos de libros	9
Libros	4
Notas, editoriales y otros	4
Pre-prints	14

Se presenta la representación obtenida en Vosviewer® donde se muestra la correlación de las palabras claves de manera grafica.

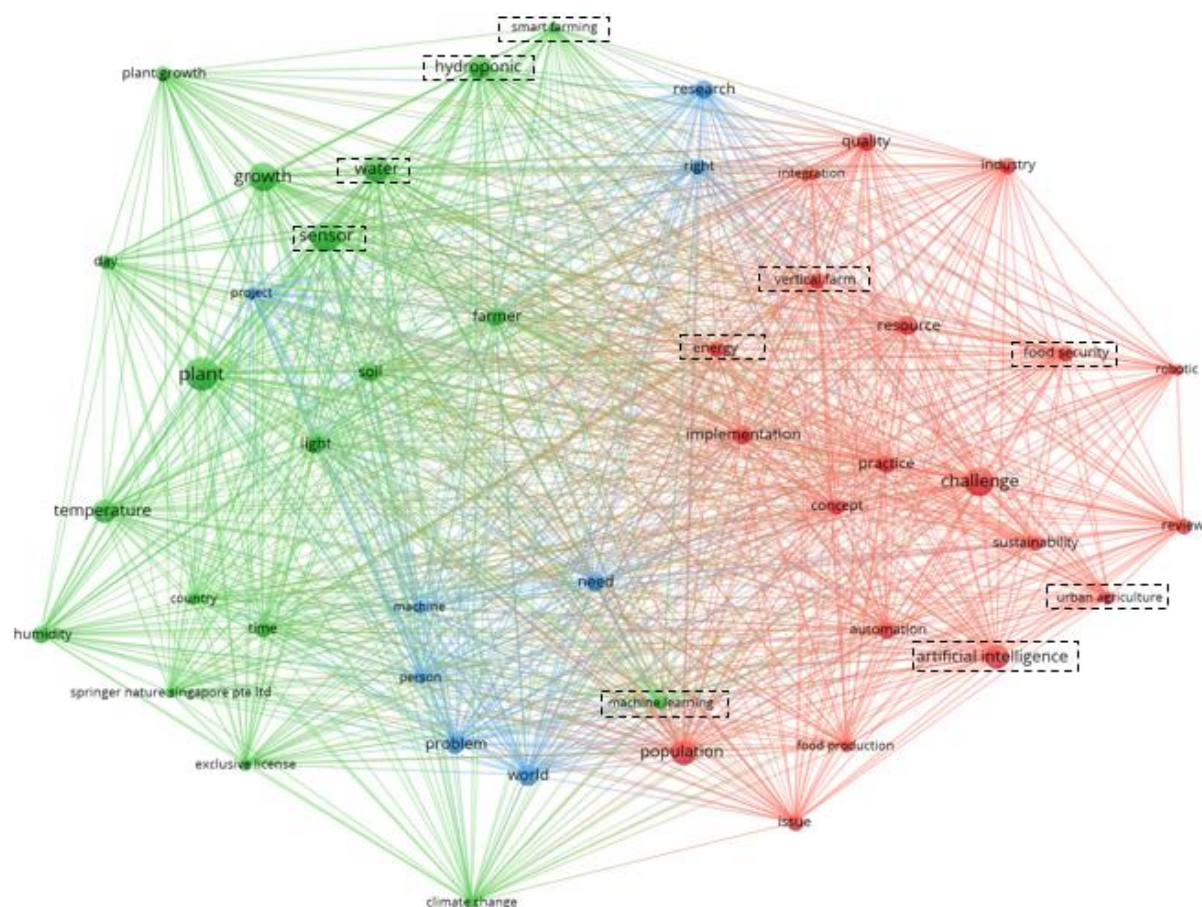
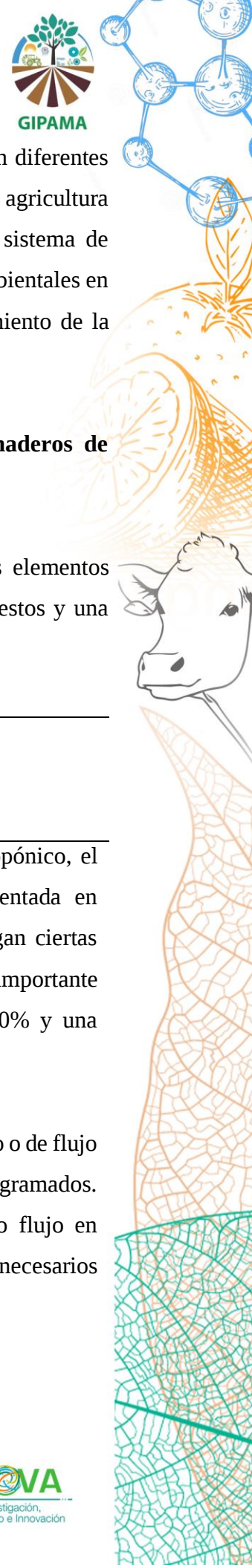


Figura 2.1 Resultado de la correlación de palabras claves usadas en la búsqueda en Scopus e IEEE Explorer.

Fuente: Vosviewer.



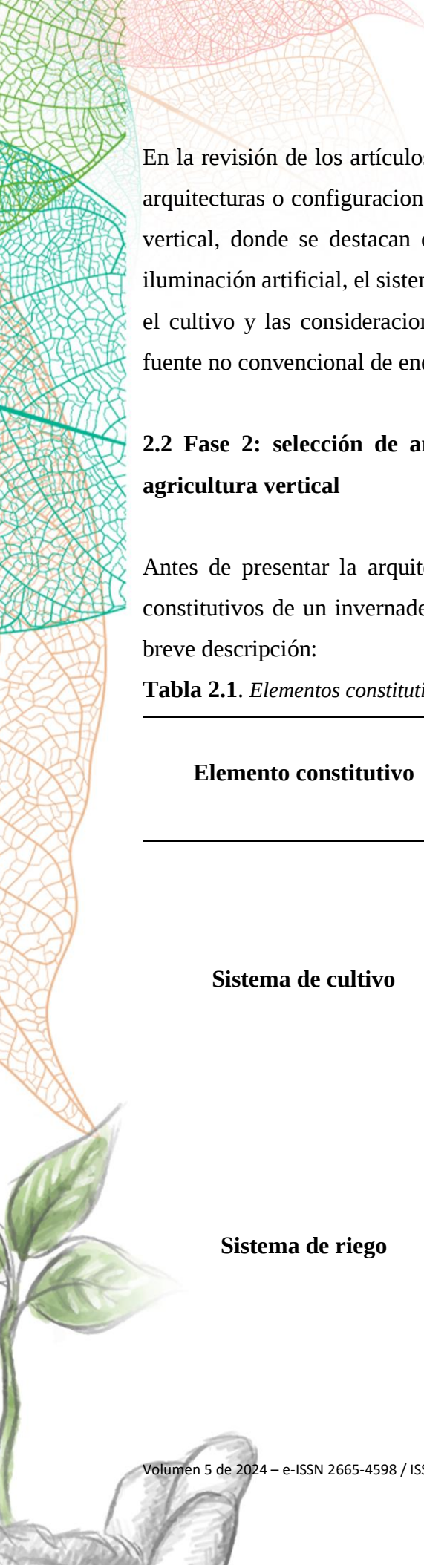
En la revisión de los artículos relacionados por la ecuación de búsqueda se presentan diferentes arquitecturas o configuraciones para la implementación de granjas o invernaderos de agricultura vertical, donde se destacan cuatro aspectos importantes en el diseño, como es el sistema de iluminación artificial, el sistema de riego con nutrientes, el control de las variables ambientales en el cultivo y las consideraciones energéticas en relación al consumo y dimensionamiento de la fuente no convencional de energía a implementar (Jain & Kaur, 2023).

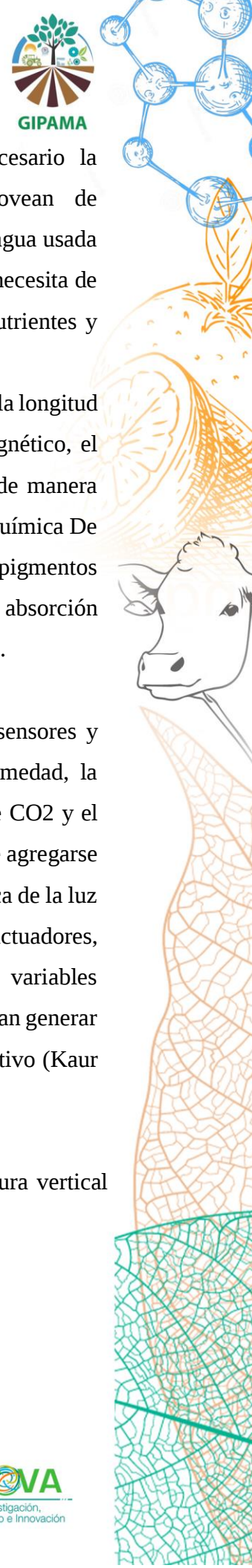
2.2 Fase 2: selección de arquitecturas o configuraciones de granjas o invernaderos de agricultura vertical

Antes de presentar la arquitectura seleccionada se deben presentar los principales elementos constitutivos de un invernadero de agricultura vertical, en la tabla 2.1 se presentan estos y una breve descripción:

Tabla 2.1. Elementos constitutivos de un invernadero de agricultura vertical.

Elemento constitutivo	Características
Sistema de cultivo	Los sistemas para implementar son del tipo hidropónico, el cual no hace uso de suelo, puede ser implementada en cualquier clima y altura, siempre y cuando se sigan ciertas condiciones ambientales controladas, y lo más importante puede lograrse un ahorro de agua de hasta el 90% y una disminución de hasta el 70% de emisiones de CO ₂
Sistema de riego	El sistema de riego generalmente usado es por goteo o de flujo constante en intervalos de tiempo previamente programados. Durante el periodo de riego, ya sea por goteo o flujo en intervalos, se provee a las plantas de los nutrientes necesarios para su crecimiento y desarrollo.





Soluciones nutritivas

Al no usar suelo para el cultivo se hace necesario la preparación de soluciones nutritivas que provean de nutrientes a las plantas, estas se administran en el agua usada para el riego del cultivo. Por lo general una planta necesita de 17 nutrientes, los cuales se clasifican en Macronutrientes y micronutrientes

Sistema de iluminación

El sistema de iluminación artificial se concentra en la longitud de onda específica de luz del espectro electromagnético, el cual permite que la planta absorba y transforme de manera eficiente la energía del espectro de luz en energía química. De acuerdo con cada tipo de planta existen diferentes pigmentos de clorofila, los cuales tendrán mayor afinidad en la absorción de diferentes rangos del espectro Electromagnético.

Sistema de sensado y control de variables ambientales

El sistema de sensado y control se conforma de sensores y actuadores del tipo IoT, los cuales miden la humedad, la temperatura, el nivel de conductividad, el nivel de CO₂ y el nivel de PH en la solución nutritiva, también puede agregarse sensores medidores de la radiación electromagnética de la luz del sistema de iluminación. En relación con los actuadores, estos se activan cuando los niveles de ciertas variables ambientales superen los límites establecidos y puedan generar el desarrollo de plagas o muerte prematura del cultivo (Kaur et al., 2023).

En la figura 2.2 se presenta las diferentes configuraciones de prototipos de agricultura vertical encontradas y usados para iniciar en la tecnología (Krishnan et al., 2022).

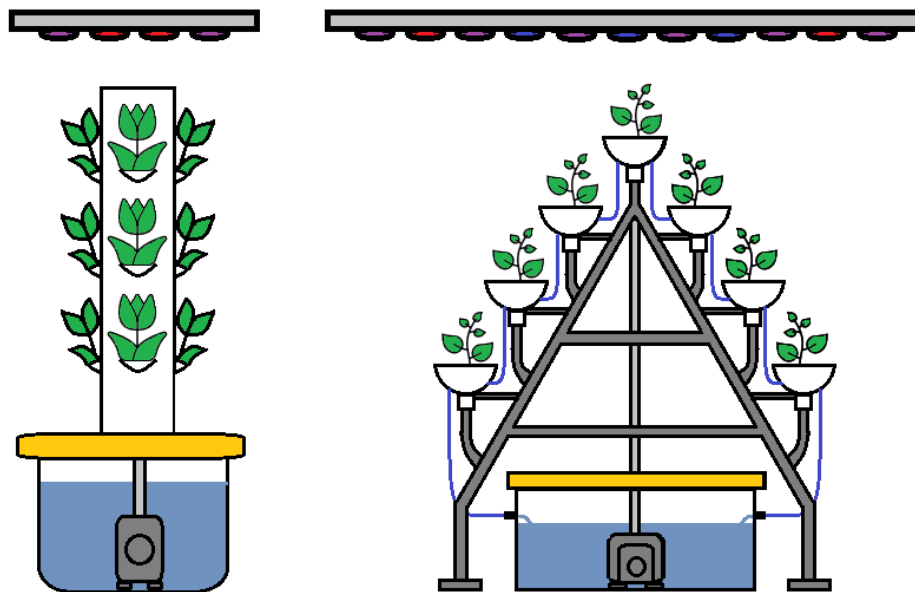


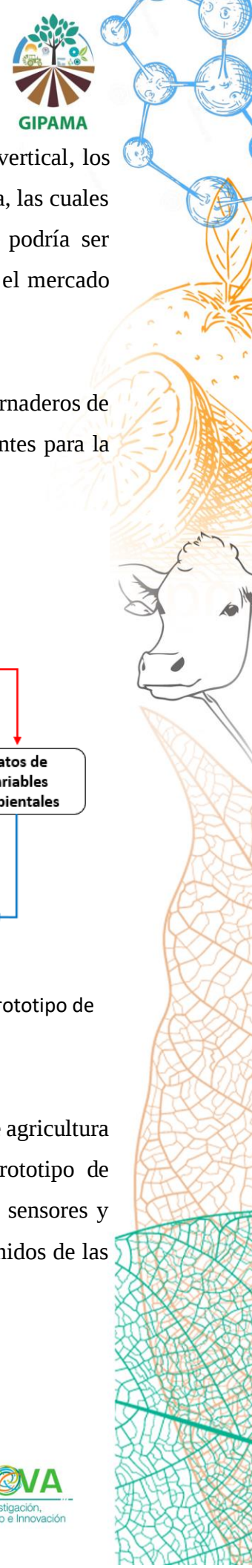
Figura 2.2 Arquitecturas de prototipos de agricultura vertical. Izquierda, Torre de cultivo. Derecha, Sistema de terrazas.

Fuente: Autoría propia

Para los objetivos del proyecto, los cuales están encaminados en realizar practicas entre los aprendices de los diferentes programas del centro de formación así como realizar procesos de transferencia de conocimiento a la comunidad de agricultores urbanos del Distrito Capital se seleccionó la configuración de torres de agricultura vertical, la cual permite un conjunto de sistemas modulares de agricultura vertical, ya que los espacios necesarios para su implementación son menores a un metro cuadrado y los sistemas de riego, sensado e iluminación pueden ser integrados a la torre. Y en el caso de realizar procesos de mantenimiento, ampliación del prototipo de invernadero de agricultura vertical, estos pueden ser realizados sin afectar la operación y funcionamiento de este.

2.3 Fase 3: Diseño de un prototipo de agricultura vertical

Con la arquitectura seleccionada se procede a realizar el diseño del invernadero de agricultura vertical, ya que uno de los objetivos del proyecto es ofrecer una alternativa a los agricultores urbanos del Distrito Capital, en que estos puedan apropiar esta nueva tecnología, para la diversificación de sus procesos productivos, se diseño un prototipo que emplee elementos de bajo



costo y de fácil adquisición en relación a la construcción de la torre de agricultura vertical, los sensores IoT y el sistema de riego, a excepción de las luminarias de fotoluminiscencia, las cuales serían los únicos elementos de costo representativo. Sin embargo, este elemento podría ser sustituido por luminarias led convencionales, las cuales se consiguen fácilmente en el mercado local colombiano.

En la figura 2.3 se presenta el diagrama de bloques constitutivos del prototipo de invernaderos de agricultura vertical propuesto, en este se muestra que hay dos componentes importantes para la implementación del prototipo, como son los elementos de hardware y software.

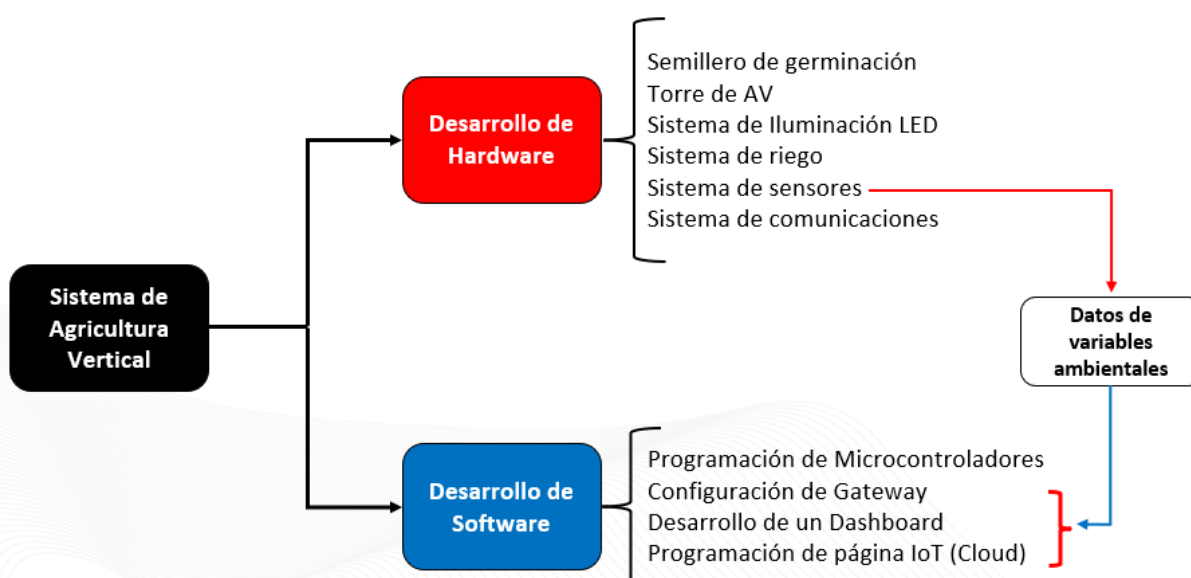


Figura 2.3 Componentes de hardware y software necesarios para la implementación del prototipo de agricultura vertical

Fuente: Autoría propia

Definidos los componentes de hardware y software se propone el diseño de una torre de agricultura vertical instrumentada, la cual permite modularidad en la implementación del prototipo de invernadero de agricultura vertical, en la figura 2.4 se presenta la configuración de sensores y actuadores que tendría cada torre, así de cómo se realizaría el flujo de los datos obtenidos de las variables ambientales de los sensores.

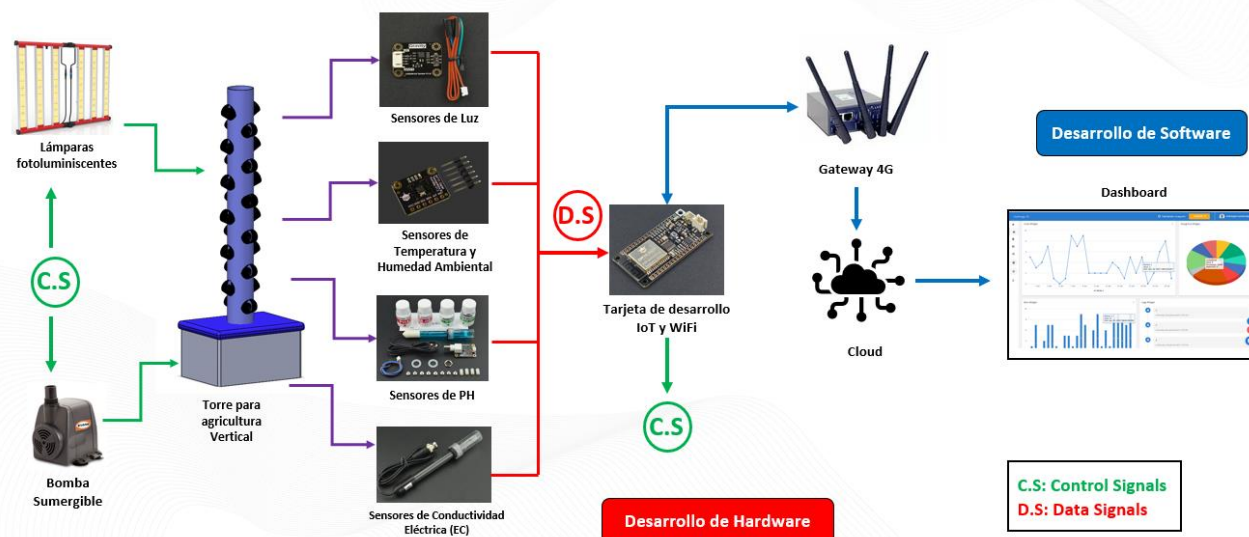
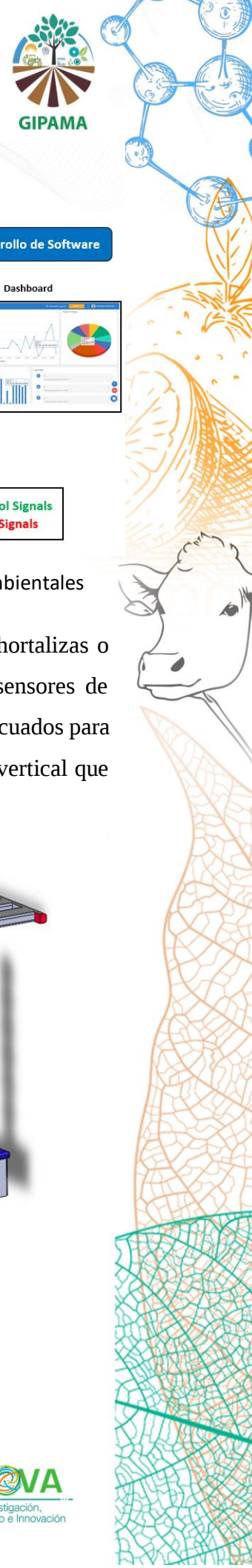


Figura 2.4 Torre de Agricultura Vertical instrumentada y flujo de datos de las variables ambientales

Fuente: Autoría propia

Cada torre de agricultura vertical puede contener 30 plantas, las cuales pueden ser hortalizas o pequeñas frutas, la bomba sumergible permite el flujo de agua y nutrientes, los sensores de conductividad y nivel de PH permitirán monitorear si los niveles de nutrientes son adecuados para las plantas en la torre. En la figura 2.5 se presenta el arreglo de torres de agricultura vertical que conformarían el prototipo de invernadero, así como sus dimensiones.

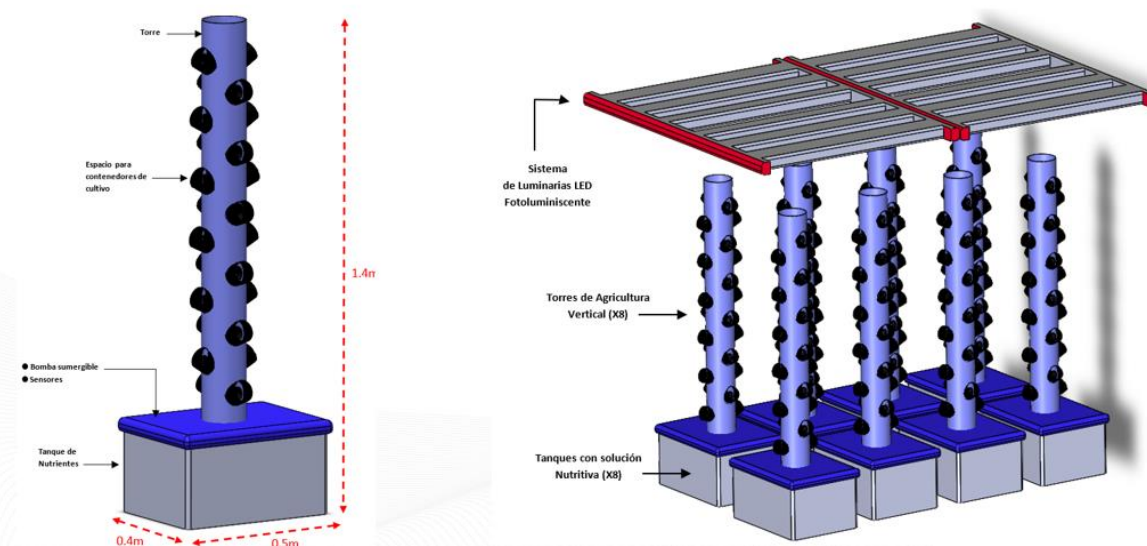
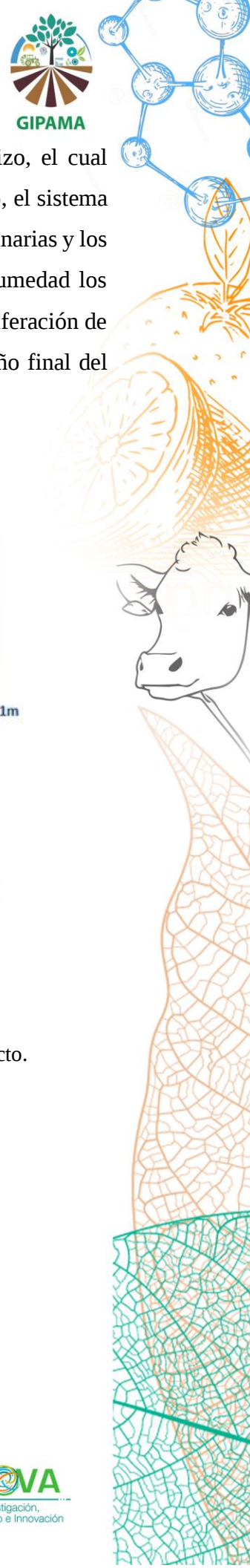


Figura 2.5 Arreglo de torres de agricultura vertical y sus dimensiones.

Fuente: Autoría propia



El conjunto de 8 torres de agricultura vertical estará ubicado dentro de un cobertizo, el cual contendrá el resto de los sistemas, como es el sistema de energía del tipo fotovoltaico, el sistema de comunicaciones y el sistema de ventilación, este último es necesario ya que las luminarias y los procesos de transpiración de las plantas generaran incrementos de temperatura y humedad los cuales deben ser controlados para el optimo crecimiento de las plantas y evitar la proliferación de plagas o enfermedades (Thamrin, 2017). En las figuras 2.6 y 2.7 se presenta el diseño final del prototipo a implementar.

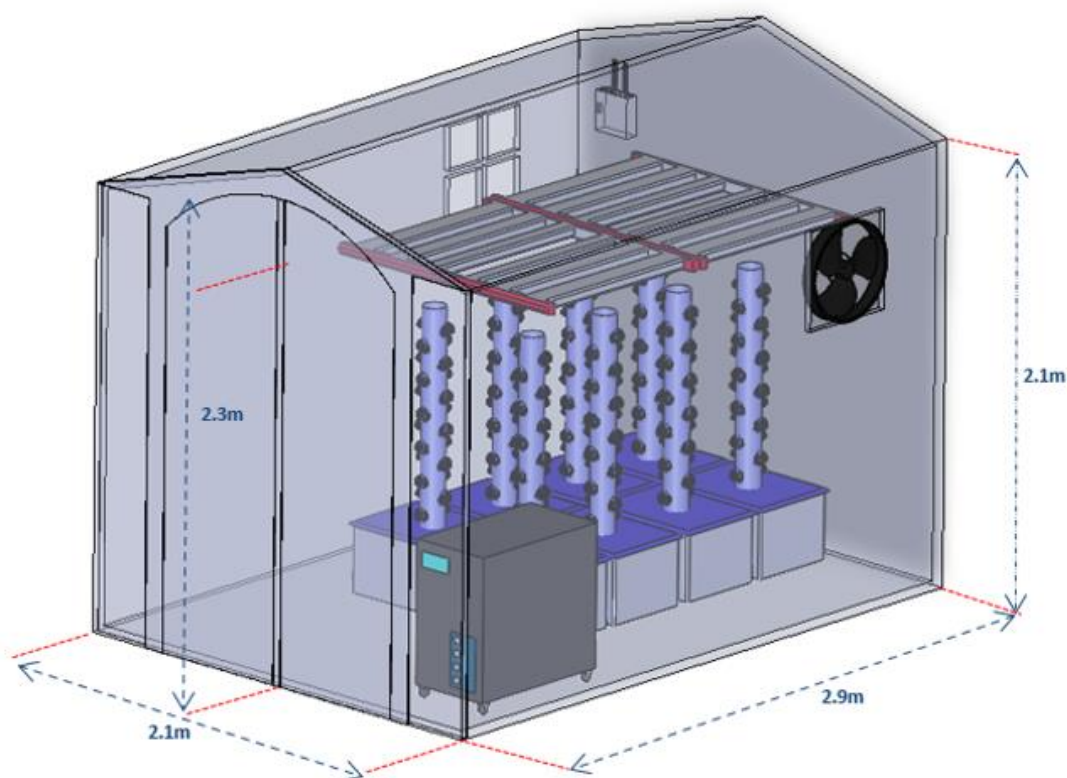


Figura 2.6 Vista interna del prototipo de agricultura vertical propuesto para el proyecto.
Fuente: Autoría propia

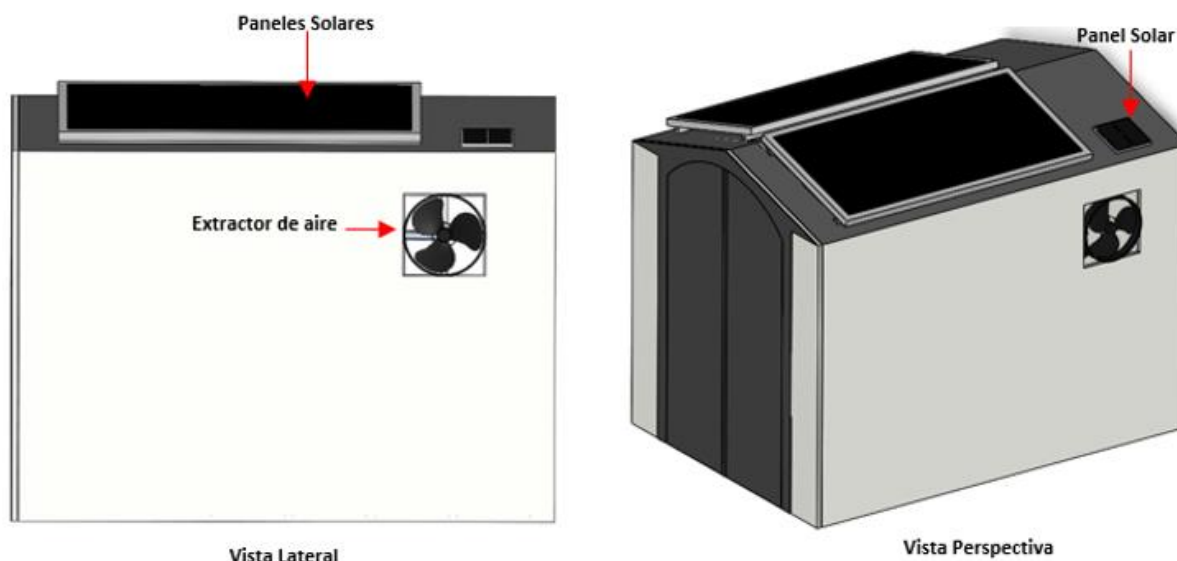


Figura 2.7 Vista externa del prototipo de agricultura vertical propuesto para el proyecto.

Fuente: Autoría propia

El uso de un cobertizo se hace necesario por razones técnicas y logísticas, la razón técnica se relaciona a que la agricultura vertical usa sistemas de luz artificial de ciertas longitudes de onda del espectro para optimizar el proceso de fotosíntesis en las plantas, la razón logística se debe a que el centro de formación no cuenta con los espacios para la implementación del prototipo. Además, al utilizar fuentes no convencionales de energía se hace necesario contar un espacio que no cuente con suministro eléctrico, en relación con el suministro de agua se cuenta con un tanque de almacenamiento para el aprovisionamiento de esta, que como se menciona en la sección de introducción el consumo de agua es reducido alrededor del 90%.

Actualmente se está en la fase de construcción del prototipo de torre vertical, así como del cultivo en semillero prototipo de diferentes hortalizas. En la figura 2.8 se presentan algunas fotografías del desarrollo del prototipo de torre vertical y en la figura 2.9 se presentan algunas fotografías del proceso de cultivo de hortalizas utilizando luz artificial.

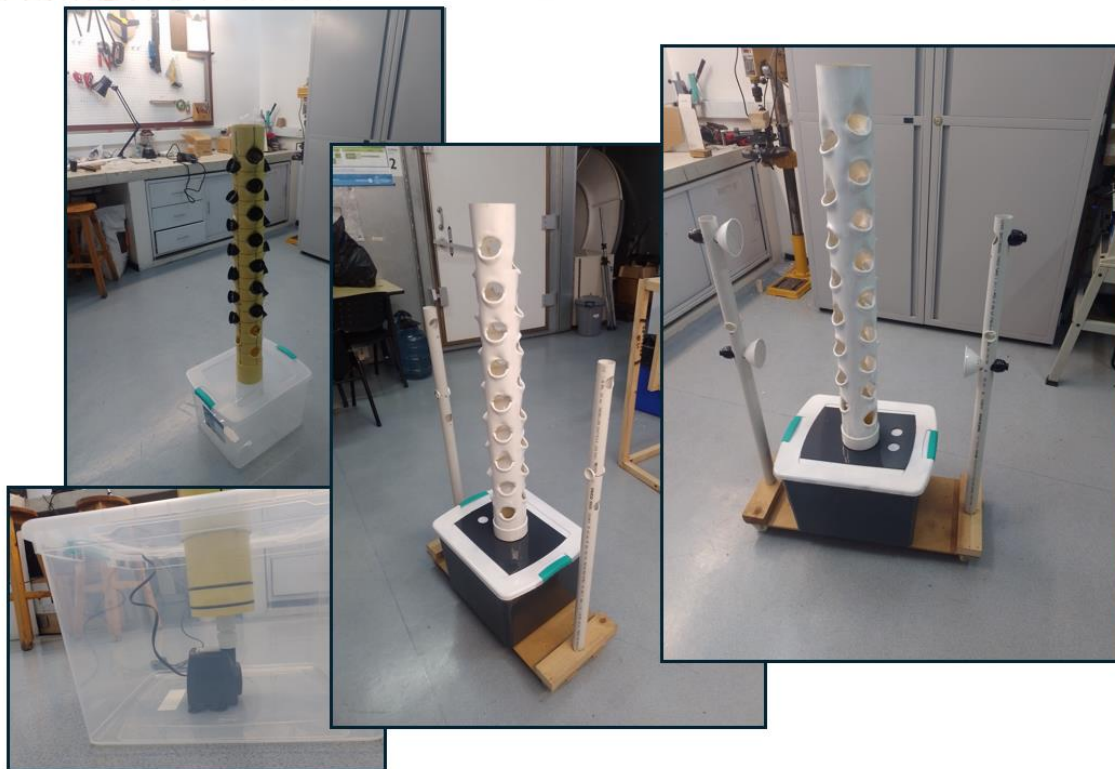
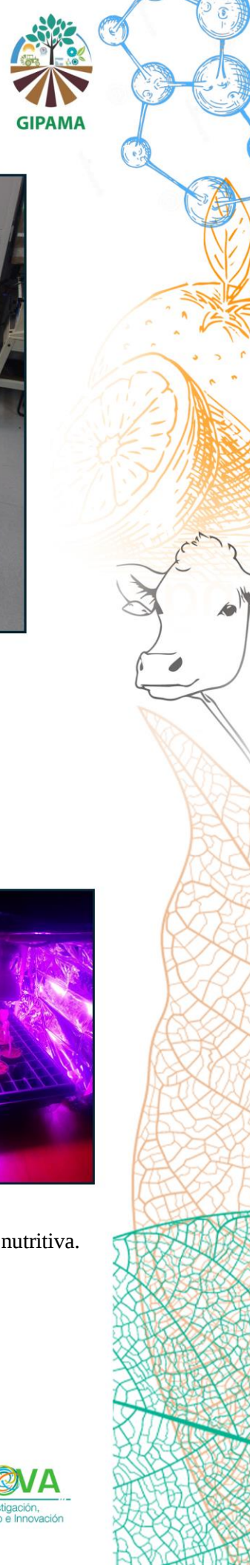
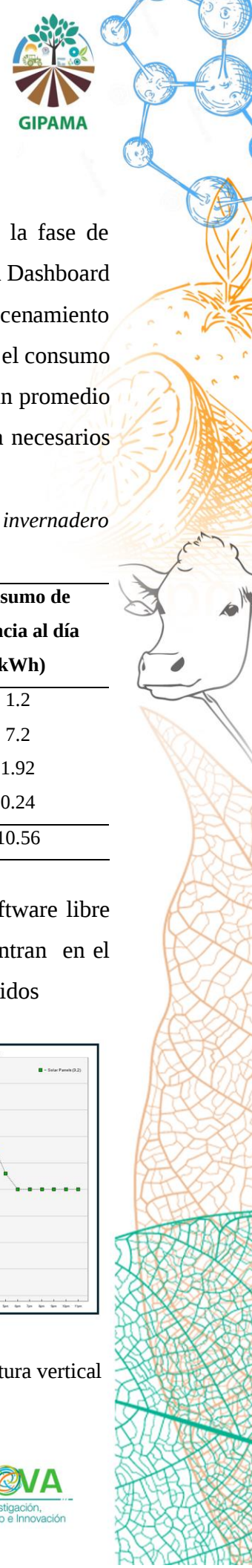


Figura 2.8 Construcción de torre de agricultura vertical.
Fuente: Autoría propia



Figura 2.9 Pruebas en semillero de cultivo de hortalizas utilizando luz artificial y solución nutritiva.
Fuente: Autoría propia



3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Actualmente se finalizó el proceso de compra de componentes y se continua con la fase de programación y configuración del sistema IoT, Se tiene proyectado el desarrollo de un Dashboard con el apoyo del semillero de Fabrica de Software del centro de formación, para el almacenamiento y análisis de la información de las variables ambientales de cada torre. En relación con el consumo de energía del prototipo de invernadero de agricultura vertical, este fue estimado en un promedio de 10.56kWh, en la tabla 3.1 se presenta la relación de consumos de potencia al día necesarios para la operación del prototipo de invernadero vertical.

Tabla 3.1. Estimación de cálculos de potencia necesarios para la operación del prototipo de invernadero de agricultura vertical

Componente	Potencia (W)	Cantidad	Potencia Total Instantánea (W)	Uso en el día (Horas)	Consumo de potencia al día (kWh)
Bombas	25	8	200	6	1.2
Luminarias	300	2	600	12	7.2
Sistema IoT	10	8	80	24	1.92
Router 4G	10	1	10	24	0.24
Total			880	Total	10.56

También se realizo la simulación del sistema de energía solar fotovoltaica en el software libre Energy3D, donde se usaron dos paneles con potencia de 430W, los cuales se encuentran en el techo del prototipo de invernadero, En la figura 2.10 se presentan los resultados obtenidos

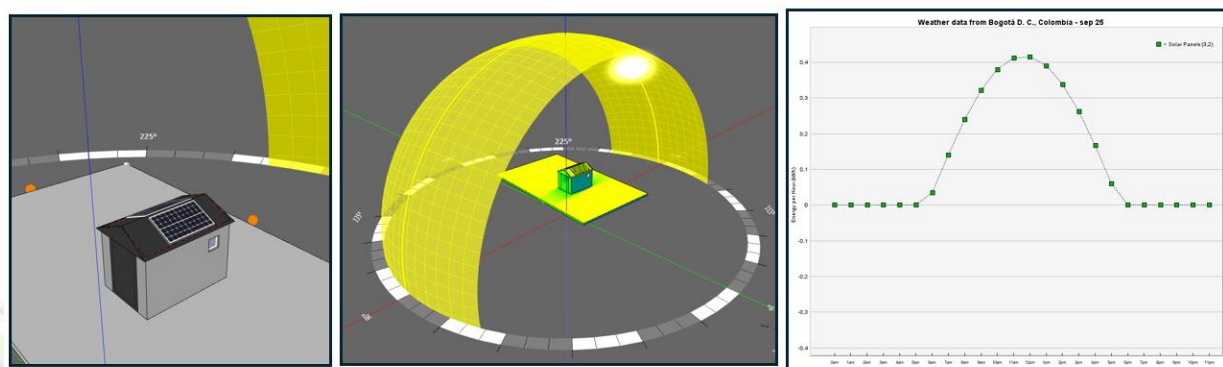
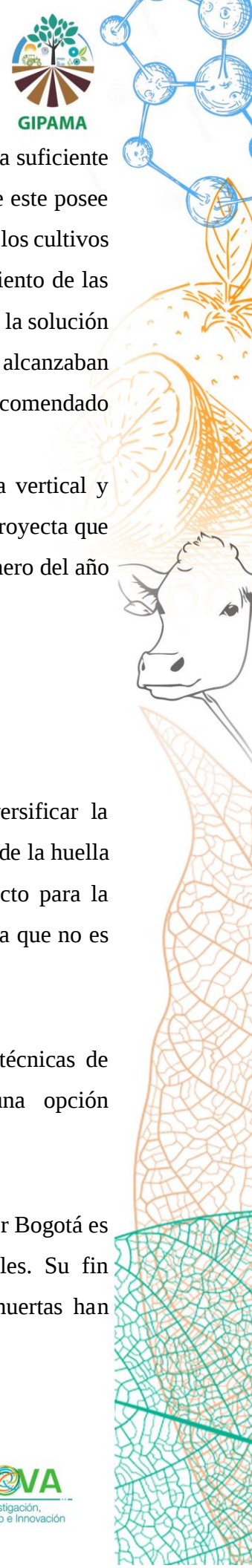


Figura 2.10 Simulación del sistema de paneles solares que alimentara al prototipo de agricultura vertical

Fuente: Energy3D



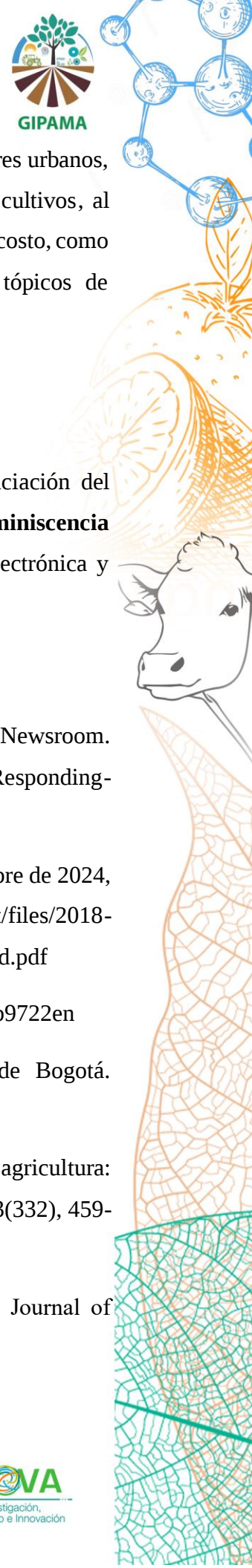
Los resultados muestran que la energía generada por los dos paneles de 430W no sería suficiente para suplir la demanda del prototipo, el sistema de ventilación no se considera ya que este posee su propio sistema de energía fotovoltaico. En relación a los resultados conseguidos con los cultivos en el semillero, la utilización de las luminarias de agricultura produjo que el crecimiento de las plantas de Albahaca germinase en 9 días, se presentaron problemas con los cálculos de la solución nutritiva que debe administrarse, ya que los niveles de conductividad de la solución no alcanzaban el valor recomendado de 100 S/cm y el nivel de PH era de superior a 6.5, el cual es el recomendado para el crecimiento de las plantas.

Se continua con la implementación de la instrumentación de la torre de agricultura vertical y realizar el trasplante de las plantas del semillero a la torre de agricultura vertical. Se proyecta que la implementación del prototipo de invernadero de agricultura vertical se realice en enero del año 2025.

4. CONCLUSIONES

A continuación, se presentan las siguientes conclusiones:

- La agricultura Vertical de precisión es una alternativa atractiva para diversificar la producción de alimentos en ambientes urbanos, lo cual genera una reducción de la huella de carbono al producir alimentos de manera autónoma y de consumo directo para la comunidad, donde los excedentes pueden ser comercializados a bajo costo ya que no es necesario el uso de medios de transporte para el usuario final
- Fortalecimiento de la comunidad de agricultores, al capacitarla en nuevas técnicas de agricultura, como es la agricultura vertical y de precisión, como una opción complementaria a sus prácticas habituales de agricultura
- El Distrito capital cuenta actualmente con 1817 huertas urbanas (registradas por Bogotá es mi huerta) las cuales son impulsadas por asociaciones o personas naturales. Su fin primordial son el autoconsumo, pero en algunas zonas del Distrito estas huertas han empezado a comercializar sus excedentes de producción.



- El propósito del proyecto es dar nuevas herramientas (técnicas) a los agricultores urbanos, en especial los que presentan limitaciones de espacio para implementar sus cultivos, al presentar tecnologías como el Internet de las cosas (IoT) con elementos de bajo costo, como reto se presenta la estrategia para la transferencia de conocimiento en tópicos de programación

5. AGRADECIMIENTO

Loa autores agradecen al sistema SENNOVA del SENA, por el apoyo y la financiación del proyecto de Innovación: **Agricultura urbana vertical de precisión con fotoluminiscencia SGPS-12487-2024**, el cual actualmente se desarrolla en Centro de Electricidad, Electrónica y Telecomunicaciones del SENA Distrito capital.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

FAO, Una respuesta creativa a las crisis: la agricultura no convencional. (s/f). Newsroom. Recuperado el 31 de octubre de 2024, de <https://www.fao.org/newsroom/story/Responding-creatively-to-crises-with-non-traditional-farming/es>

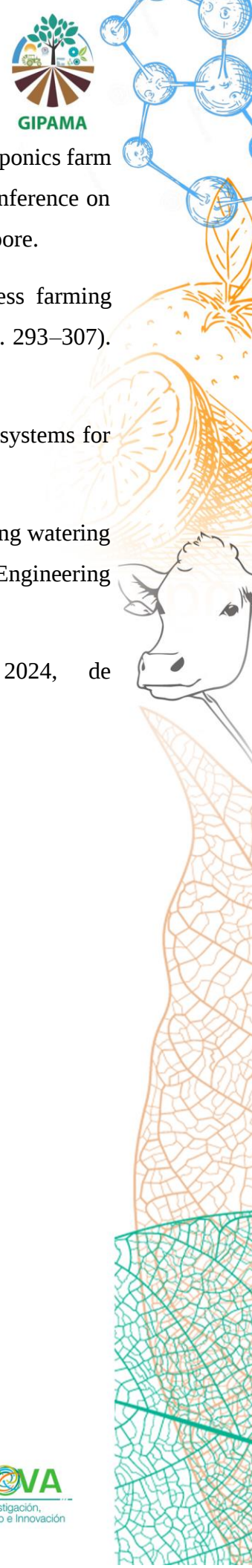
Collado, M. P. A. (s/f). La agricultura del futuro. Cepal.org. Recuperado el 31 de octubre de 2024, de https://comunidades.cepal.org/ilpes/sites/default/files/2018-10/Tema%20Discusi%C3%B3n_%20La%20agricultura%20del%20futuro-compressed.pdf

Urban and peri-urban agriculture sourcebook. (2022). FAO. <https://doi.org/10.4060/cb9722en>

Acero, A. O. C. (2021, noviembre 9). Agricultura Urbana. Jardín Botánico de Bogotá. <https://jbb.gov.co/aplicacion-del-conocimiento/agricultura-urbana/>

López Feldman, Alejandro J., & Hernández Cortés, Danae. (2016). Cambio climático y agricultura: una revisión de la literatura con énfasis en América Latina. El trimestre económico, 83(332), 459-496. <https://doi.org/10.20430/ete.v83i332.231>

Alston, J. M., y P. G. Pardey (2014), “Agriculture in the Global Economy”, The Journal of Economic Perspectives, vol. 28, núm. 1, pp. 121-146



Jain, S., & Kaur, M. (2023). Design and implementation of an IoT-based indoor hydroponics farm with automated climate and light control. En Proceedings of Fourth International Conference on Computing, Communications, and Cyber-Security (pp. 3–15). Springer Nature Singapore.

Kaur, G., Upadhayaya, P., & Chawla, P. (2023). The study of sensors in soil-less farming techniques for modern agriculture. En Lecture Notes in Mechanical Engineering (pp. 293–307). Springer Nature Singapore.

Krishnan, S., Rose, J. B. R., Rajalakshmi, N. R., & Prasanth, N. (2022). Cloud IoT systems for smart agricultural engineering. Chapman and Hall/CRC.

M. I. H. bin Ismail and N. M. Thamrin, "IoT implementation for indoor vertical farming watering system," 2017 International Conference on Electrical, Electronics and System Engineering (ICEESE), Kanazawa, Japan, 2017, pp. 89-94, doi: 10.1109/ICEESE.2017.8298388

Energy3D. (s/f). Concord.org. Recuperado el 31 de octubre de 2024, de <https://energy.concord.org/energy3d/>