

Tipo de artículo: Artículo original

# Prototipo de sistema de control de cultivos autónomos verticales (Green-Up)

## Prototype of system control of autonomous vertical crops (Green-Up)

Xavier Merino Miño<sup>1\*</sup> , <https://orcid.org/0000-0002-8513-191X>  
Richard Tigreiro<sup>2</sup> , <https://orcid.org/0000-0002-2340-9365>

<sup>1</sup> Instituto Superior Tecnológico Guayaquil, Carrera de Desarrollo de Software, E-Mail: [xmerino@itsgg.edu.ec](mailto:xmerino@itsgg.edu.ec)

<sup>2</sup> Instituto Superior Tecnológico Guayaquil, Carrera de Desarrollo de Software, E-Mail: [rtigreiro@itsgg.edu.ec](mailto:rtigreiro@itsgg.edu.ec)

\* Autor para correspondencia: [xmerino@itsgg.edu.ec](mailto:xmerino@itsgg.edu.ec)

### Resumen

La situación actual continúa afectando en muchos aspectos nuestro diario vivir. Un tema de especial atención es el consumo de alimentos, que sumado a los problemas que ya se venían resolviendo, agrega el componente de una posible producción insuficiente contra las necesidades alimentarias urbanas. En la presente propuesta, se presenta un prototipo que automatiza el proceso de control de riego de un cultivo vertical. Estos cultivos serán gestionados por los mismos grupos de personas que habitan estas viviendas. Se capacitará a la gente en temas de cultivo y robótica para que ellos puedan administrar los huertos, apoyando la iniciativa quedate en casa y otorgando un medio de distracción a personas que sufren de ansiedad u otro trastorno. Se da mayor énfasis en el diseño de la estructura de los cultivos autónomos y su distribución, complementado con un diseño de trabajo comunitario establecido como una gestión horizontal. También se concentrará en la construcción de la electrónica como componente autónomo mediante la implementación en plataformas de uso libre.

**Palabras clave:** robótica; comunidad; cultivo; automatización; cadena suministro.

### Abstract

*The current situation continues to affect our daily lives in many ways. One issue of special attention is food consumption, which added to the problems already being solved, adds the component of possible insufficient production against urban food needs. In the present proposal, a prototype is presented that automates the process of irrigation control of a vertical crop. These crops will be managed by the same groups of people who live in these houses. People will be trained in cultivation and robotics so that they can manage the gardens, supporting the stay-at-home initiative and providing a means of distraction for people suffering from anxiety or other disorders. Greater emphasis is given to the design of the structure of autonomous crops and their distribution, complemented with a design of community work established as a horizontal management. It will also focus on the construction of electronics as an autonomous component through the implementation in free use platforms.*

**Keywords:** robotic; community; crops; automation; supply chain.

**Recibido:** 02/01/2021

**Aceptado:** 28/04/2021

## Introducción



Esta obra está bajo una licencia *Creative Commons* de tipo **Atribución 4.0 Internacional** (CC BY 4.0)

El COVID-19 es un ejemplo de disrupción socioeconómica. Los procesos como los conocemos ya no son los mismos. El confinamiento ha obligado a cambiar y crear nuevos modelos de negocios y propuestas de valor de todo tipo. Las opciones de implementación tecnológicas se muestran como mucho más atractivas. Componentes como la automatización, seguridad y control remoto; convencen a más empresas de migrar sus productos y servicios. Más aun cuando existen plataformas libres con las que se pueden implementar soluciones de automatización.

El sector alimentario es uno de los más afectados por la situación actual. Cada una de las áreas de la cadena de suministro debe tener un especial cuidado en su proceso. Para evitar la contaminación, diversas medidas deben aplicarse para asegurar que el alimento no sea contaminado en la cadena de suministro (Safety, 2020). Adicional a esto, estrictos controles sobre maquinaria, personas, materiales y herramientas deben cumplirse. Esto provoca problemas como retrasos en las entregas a puntos de distribución, dudas en el consumidor al momento del consumo, gastos en elementos asociados a los procesos, afectación en la producción entre otros.

Para reducir el impacto de la cadena de suministro, se propone la creación de cultivos urbanos verticales sustentables. Existen implementaciones de esta cultura muy diversas, desde la adaptación en la cultura europea hasta su aplicación en la Estación Espacial Internacional (Veggie, 2020). El conocimiento de los cultivos urbanos no es un tema nuevo ya que la Fundación Ecuador mediante el programa Aprendamos, ya realizó una capacitación sobre el tema (Huertos, 2016). En la figura 1 se evidencia un huerto comunitario en uno de los tantos sectores vulnerables de la ciudad de Guayaquil. Esto se fortalece con herramientas libres de la NASA para desarrollo de aplicaciones (NASA, 2020). El sistema ARSET (Arset, 2020) abre una nueva puerta hacia métodos más eficientes de manejo de cultivos en base a información satelital. Todos estos elementos unidos presentan un marco más que adecuado para el desarrollo de la propuesta.



**Figura 1.** Huerto Urbano en la Cooperativa Santiago Roldós.



Esta obra está bajo una licencia *Creative Commons* de tipo **Atribución 4.0 Internacional** (CC BY 4.0)

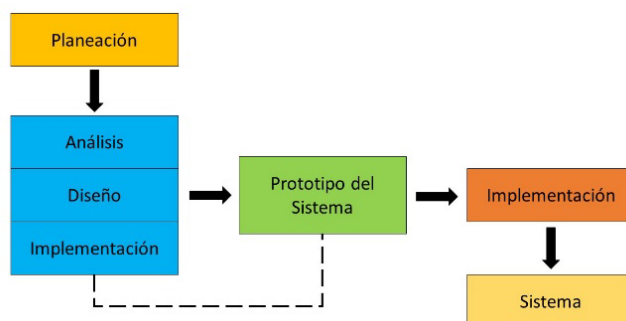
Una de las metas del presente trabajo es preocuparse al mínimo de los impactos en la cadena de suministro. Al simplificar el proceso mediante cultivos en casa, cada persona será responsable de la misma. Motivados también por el uso de nuevas tecnologías y adaptación de agricultura 4.0 (Clercq, 2018). Otro aspecto importante es incluir a la comunidad para ser los grandes impulsores de la creación de una cultura verde que cambiará la mentalidad de las personas y organizaciones. Sumando un valor agregado al no limitar edades o conocimientos previos referentes al proceso agrícola.

El presente trabajo tiene como objetivo desarrollar una cultura verde comunitaria mediante la implementación de agricultura vertical en espacios urbanos. Estos espacios serán gestionados por los mismos grupos de personas que habitan estas viviendas. El documento presenta una propuesta para la implementación del mismo enfocado en el desarrollo de electrónica, automatización e integración comunitaria. Los demás elementos son complementarios al proyecto.

## Materiales y métodos

La agricultura urbana se está convirtiendo en una de las alternativas sostenibles más fuertes. La producción de alimento es comparable con cultivos tradicionales. Por ejemplo, se obtiene 13.8 veces más cultivo por metro cuadrado comparado a un cultivo tradicional hidropónico en el caso de la lechuga (Touliatos, 2017). Al ser un enfoque mayormente práctico, el proyecto se presenta como un prototipo de cultivo a manejar en estructuras urbanas. En el caso de la ciudad de Guayaquil, fenómenos como la regeneración urbana y ciudades satélite (Castro, 2018) continúan fomentando esta expansión. Por tanto, el sistema será adaptable al avance urbanístico de las ciudades.

El proyecto se desarrolla bajo un modelo simplificado de la Metodología de Prototipado como se muestra en la Figura 2. Al tratarse de una implementación práctica es la mejor opción en cuanto a desarrollo de proyectos.



## Figura 2. Metodología de Prototipado.

### Desarrollo del Prototipo

#### A. Planeación

La idea base del proyecto nace bajo el estrés de la situación generada por el impacto del COVID-19. Esto generó un área de oportunidad en soluciones de automatización. La agricultura es una actividad primaria en nuestro país por lo que es de alta prioridad enfocarnos en la misma.

El proyecto se planea de forma incremental con el desarrollo de pequeños prototipos. Cada uno de ellos debe ser funcional y limitado a su entorno. Al momento de realizar pruebas se hacen en ambientes reales obteniendo la experiencia y retroalimentación suficientes para su mejora. De existir la necesidad, se incluirán nuevos dispositivos electrónicos.

El desarrollo del sistema avanza de forma similar al prototipo electrónico. El sistema inicia con una base que procesa información recolectada. Con eso se mejora y refina el sistema en iteraciones cortas.

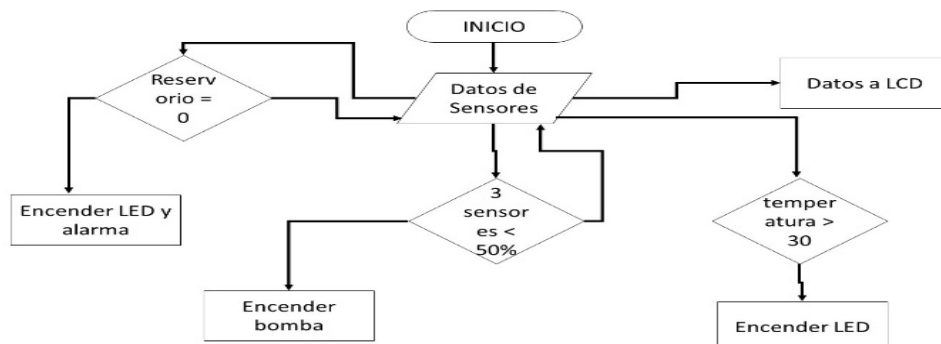
#### B. Análisis

El proyecto tiene 3 puntos clave: el sistema electrónico, los huertos y el desarrollo científico. El valor agregado del proyecto se basa en el trabajo conjunto y avance de cada uno de estos elementos.

El sistema electrónico nace de un sistema de control de riego. Al tener restricciones en cuanto a la cantidad de personas en un área, la automatización se convierte en una solución muy atractiva. Se utiliza la plataforma abierta de Arduino para su desarrollo debido a su versatilidad en la construcción de proyectos. Los dispositivos electrónicos para la recolección de información se basan en electrónica digital de bajo costo. Gracias a esto, se puede mejorar el alcance del sistema con mejoras graduales.

El algoritmo de control del sistema de riego se basa en la lectura de la humedad del suelo. Mediante sensores de humedad puestos en la tierra de las plantas se obtiene esta información. Cuando la humedad llegue a un determinado rango el sistema riega automáticamente la planta. Junto a esto, se consideran dos factores más. El primero es tener un control sobre la fuente de agua para las plantas, ya que, si es inexistente, el sistema falla. El segundo es la temperatura ambiente junto con la humedad. Dependiendo de las condiciones de calor, la planta necesitará más o menos agua para subsistir. La Figura 3 muestra el diagrama de flujo completo de funcionamiento.





**Figura 3.** Diagrama de flujo del sistema.

La construcción de los huertos será un trabajo comunitario. Los habitantes de los espacios urbanos serán los encargados de la construcción, siembra y mantenimiento del huerto. El control sobre el riego y estado actual del huerto se realiza mediante el sistema electrónico. El tipo de cultivo dependerá de las necesidades y condiciones climáticas al momento de plantarlo. La información sobre cultivos es proporcionada por expertos en el área que en todo el proceso acompañan a los ciudadanos en el proceso hasta que adquieran la experiencia necesaria para ser autónomos.

El proyecto no solo dependerá de su propia producción para subsistir. Se realizarán análisis de factores como clima, tipo de suelo, calor y humedad para generar una mejor producción. La NASA ofrece fuentes para desarrollo de proyectos abiertos e información mediante sus satélites. Con la combinación de estos elementos, se incentiva la curiosidad y desarrollo científico, que más allá de generar ciencia, mejora el manejo y producción de cultivos.

### C. Prototipo

La Tabla I presenta la lista de materiales a utilizar para la implementación del circuito. Los materiales se los puede conseguir en cualquier tienda de circuitos electrónicos. No es necesario que sean de alguna marca o especificación en particular, a menos que sea absolutamente necesario.

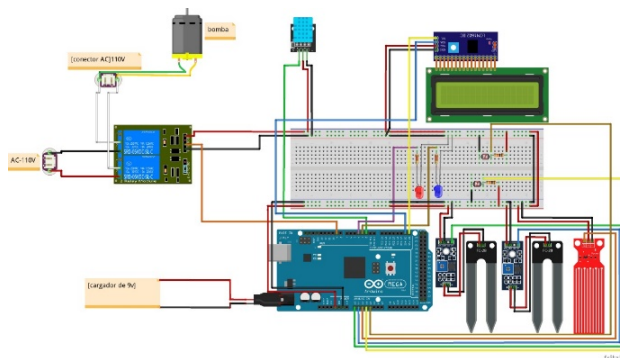
**Tabla 1.** Lista de Materiales

Elemento	Cantidad
Arduino Mega	1
Sensor Fc-28	2
Sensor Dht11	1
Sensor HR0043	1
Fotorresistencia	2
Pantalla Lcd 4x20 2004 I2c	1



Relés	2
Válvula solenoide	1
Bomba de agua	1

La figura 4 muestra el diagrama del circuito del sistema. Este está realizado en el software *fritzing*. La sección en donde se encuentra la pantalla es la que observa la persona encargada de los cultivos. Los otros elementos se repartirán en las diferentes secciones del sistema. Para el presente prototipo se controlan dos plantas por lo que cada una tendrá su propio sensor de humedad. El relé es el encargado de controlar el flujo de agua a la planta. Al aumentar el número de plantas, también aumenta el número de relés.



**Figura 4.** Circuito del sistema.

#### D. Implementación

El sistema inicia su primera implementación con la construcción del circuito y ubicación en ambientes interiores. La Figura 5 muestra el primer prototipo del proyecto terminado. Se usaron peceras de vidrio para las plantas. La fuente de agua debe ser renovada de forma manual por el usuario. Mediante un sistema de tuberías PVC, el agua circula por la estructura dependiendo de la humedad de las plantas. Cada planta puede manejarse de forma individual por el modularidad que nos ofrece las peceras. Al mismo tiempo, unirse al sistema completo para funcionar como unidad. La tierra usada en las plantas depende del tipo de factores como el tipo de planta, tiempo de crecimiento, características deseadas, entre otras.



Esta obra está bajo una licencia *Creative Commons* de tipo **Atribución 4.0 Internacional** (CC BY 4.0)



**Figura 5.** Prototipo dentro de vivienda.

El proyecto recibe una mejora en su implementación de acuerdo a la filosofía del mismo. La estructura evoluciona a una construcción vertical como se muestra en la Figura 6. Los materiales usados fueron madera de tipo multilaminada para los contenedores de las plantas y tablas para la estructura externa. Para evitar desgastes prematuros por el tema del riego, se utiliza sellador de madera. La estructura internamente permitirá la circulación de agua entre sus distintos niveles.



**Figura 6.** Prototipo de estructura vertical.

El sistema aloja el circuito electrónico en una caja ubicada a un lado de la estructura. Dentro de la misma, los componentes estarán conectados y funcionales tal como muestra la Figura 7. La distribución de cables debe estar organizada para evitar confusiones.







**Figura 7.** Circuito del sistema.

La Figura 8 presenta la parte exterior de la caja del circuito. El usuario visualiza los datos mediante la pantalla. Estos son de temperatura, humedad, nivel de la reserva y humedad de la planta. El diodo LED sirve como indicador del nivel de agua de la reserva.



**Figura 8.** Contenedor del circuito del sistema.

## E. Sistema

El sistema vertical continúa en fase de pruebas dentro de una vivienda. Se han elegidos cultivos preferentemente de ciclo corto para poder evaluar el rendimiento del mismo. Las condiciones de temperatura y humedad dependen de la estación de año. La tierra a usar debe ser un balance entre tierra normal de sembrado y abono orgánico. La Figura 9 muestra el prototipo del sistema en su estado funcional.



**Figura 9.** Contenedor del circuito del sistema.





## Resultados y discusión

La construcción del presente proyecto necesita de un profundo proceso de análisis y del componente prueba y error en su implementación. Dependiendo de la planta a cultivar, se necesita de un seguimiento para controlar su evolución. Esto proporciona información de entrada para la mejora del sistema y su algoritmo. En un inicio, las plantas y el sistema pueden presentar información inconsistente entre sí. Al analizar los mismos, se refina el algoritmo y el proceso de seguimiento de la planta para un mejor desarrollo de la misma.

El potencial de desarrollo científico del proyecto es muy amplio. Al ser un proyecto agrícola, la inclusión de elementos que conviertan al sistema en autosustentable es un requerimiento primordial en trabajo futuro. El algoritmo trabaja bajo un esquema base. Al incluir elementos de la NASA, como se había planteado, esta mejora considerablemente su ejecución.

## Conclusiones

Este proyecto fue desarrollado con la intención de alinearse a varias necesidades dentro de la situación dada por el COVID-19. La principal es poder solucionar los problemas de la cadena de suministro debido a esta crisis. Al tener un huerto en nuestro hogar, esta situación ya queda en nuestras manos con más alternativas de solución. Adicional a esto, el adquirir y aplicar nuevo conocimiento para aplicar en interiores, presenta un valor agregado ante la iniciativa “quédate en casa”. Todos estos procesos incentivan al trabajo sin salir y presentan una distracción que evita el estrés y ansiedad producto de la situación actual.

El sistema de cultivos autónomos verticales Green-Up ayuda a los usuarios a producir sus propios alimentos. Utilizando plataformas de desarrollo libres y estructuras verticales, el proyecto puede desarrollarse de forma incremental. El sistema ya tiene un prototipo funcional que cumple con los objetivos del proyecto. Sin embargo, ya se dejó planteada la ventana de mejora que puede tener el proyecto y su creciente potencial de innovación.

## Agradecimientos

Los autores desean expresar su agradecimiento al Instituto Superior Tecnológico Guayaquil (ISTG) por permitir el desarrollo de este proyecto. Al Club de Robótica e IoT por su enorme trabajo de investigación y producción del prototipo. Finalmente, un agradecimiento especial a todos los docentes que con su valioso aporte aportaron sacando adelante este proyecto multidisciplinario.

## Conflictos de intereses



Esta obra está bajo una licencia *Creative Commons* de tipo **Atribución 4.0 Internacional** (CC BY 4.0)

Los autores de la investigación declaran no poseer conflictos de intereses.

## Contribución de los autores

1. Conceptualización: Xavier Merino.
2. Curación de datos: Xavier Merino
3. Adquisición de fondos: Xavier Merino, Richard Tigrero
4. Investigación: Xavier Merino, Richard Tigrero
5. Metodología: Xavier Merino
6. Software: Xavier Merino, Richard Tigrero
7. Supervisión: Xavier Merino
8. Validación: Xavier Merino
9. Redacción – borrador original: Xavier Merino, Richard Tigrero
10. Redacción – revisión y edición: Xavier Merino, Richard Tigrero

## Financiamiento

La investigación ha sido financiada por los autores y no requirió fuentes de financiación externas.

## Referencias

- Safety of foods, food supply chain and environment within the COVID-19 pandemic. (2020, 1 Agosto). ScienceDirect, 102, 293-299. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.06.008>
- Vegetable Production System (Veggie) (2020, January 28). Retrieved May 30, 2020, from <https://techport.nasa.gov/view/10498>
- Huertos Urbanos – Fundación Ecuador. [Online]. Available: (2016) <https://www.fe.org.ec/proyectos/huertos-urbanos/>
- NASA Open Source Software. (2020) [Online]. Available: <https://code.nasa.gov/>
- NASA ARSET. [Online]. (2020) Available: <https://arset.gsfc.nasa.gov/>
- De Clercq, M.; Vats, A.; Biel, A. Agriculture 4.0: *The Future of Farming Technology*. In *Proceedings of the World Government Summit*, Dubai, UAE, 11–13 February 2018; pp. 1–30.



Esta obra está bajo una licencia *Creative Commons* de tipo **Atribución 4.0 Internacional** (CC BY 4.0)

- Touliatos, D.; Dodd, I.C.; McAinsh, M. *Vertical farming increases lettuce yield per unit area compared to conventional horizontal hydroponics*. Food Energy Secur. 2016, 5, 184–191
- D. Castro,; D. Wong; “*Análisis del fenómeno expansivo urbano en la ciudad de Guayaquil*” Eng. thesis, Universidad de Especialidades Espíritu Santo, Samborondón, Ecuador, May. 2016.



Esta obra está bajo una licencia *Creative Commons* de tipo **Atribución 4.0 Internacional** (CC BY 4.0)