



LA FORMACIÓN DE INGENIEROS:  
UN COMPROMISO PARA EL  
DESARROLLO Y LA SOSTENIBILIDAD

15 al 18  
DE SEPTIEMBRE

20  
20

[www.acofi.edu.co/eiei2020](http://www.acofi.edu.co/eiei2020)

# MATERAS INTELIGENTES; UNA APROXIMACIÓN A LA AGRICULTURA EN PEQUEÑA ESCALA PARA USO DOMÉSTICO

**Javier Chaparro, Alejandro Criado**

**Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito  
Bogotá, Colombia**

## Resumen

Hambre cero es uno de los objetivos de desarrollo sostenible, y según la Organización de Las Naciones Unidas (ONU), 500 millones de pequeñas granjas en todo el mundo, la mayoría aún con producción de secano, proporcionan hasta el 80 por ciento de los alimentos que se consumen en gran parte del mundo en desarrollo. En Colombia, no estamos ajenos a una realidad similar si miramos los pequeños productores de la zona centro del país por citar un ejemplo. Se ha identificado que en los hogares de estratos bajos se tienen espacios desaprovechados como lo son terrazas y patios traseros, espacios que se pueden usar para instalar pequeños cultivos automatizados que produzcan la cantidad necesaria de cosecha para suplir un porcentaje de la dieta alimentaria de una familia. Con el propósito de atender este problema, el Semillero de Agroingeniería de la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, está trabajando en el desarrollo de pequeños sistemas electrónicos que tengan la capacidad de cultivar autónomamente diferentes vegetales, principalmente hortalizas, e incorporen adicionalmente nuevas tecnologías como la inteligencia artificial. Se seleccionó este tipo de productos dada su importancia para la alimentación y el hecho que se aprovechan hojas, frutos, tallos, raíces y flores incluso. Actualmente está en desarrollo el primer prototipo hecho a partir de una materia, con un ambiente aislado mediante un encerramiento de acrílico transparente, asistido con un sistema electrónico de control de variables ambientales y de terreno (temperatura, humedad, y pH). La temperatura se controla mediante un flujo continuo que se calienta con una resistencia eléctrica. También está en diseño el control de pH, el sistema de registro y vigilancia con imágenes, y el controlador central que atenderá el proceso completo a partir de la experiencia tomada de expertos y las condiciones agroecológicas del cultivo; esta información será depositada en sistemas de aprendizaje supervisado. El semillero lo conforman estudiantes de las carreras de ingeniería electrónica y mecánica que desarrollan proyectos con alcance de curso y que utilizan en las asignaturas de electrónica digital, electrónica analógica, control, señales y diseño principalmente.

**Palabra clave:** materas inteligentes; pequeños cultivos; sistemas de control

### **Abstract**

*Zero hunger is one of the Sustainable Development Goals (SDG). And according to the United Nations (UN), 500 million of small farms around the world (the majority still with rainfed production) provide up to 80 percent of the food that is consumed in most of the developing countries. In Colombia, we are not excluded to a similar reality if we look at the small producers in the central area of the country, to quote an example. It has been identified that in low-income households there are empty spaces such as terraces and backyards, spaces that can be used to install small automated crops that produce the necessary amount of harvest to supply a percentage of a family's diet. . In order to solve this problem, the Agroengineering Seedbed of the Escuela Colombiana de Ingeniería, is working on the development of small electronic systems that have the ability to independently grow different vegetables, and additionally incorporate new technologies such as artificial intelligence. This type of product was selected because of its importance for food and the fact that we can use leaves, fruits, stems, roots and even flowers. The first prototype made from a flowerpot is currently under development, with an environment isolated by a transparent acrylic enclosure, assisted with an electronic control system for environmental and terrain variables such as temperature, humidity, and pH. The temperature is controlled by a continuous flow that is heated with an electrical resistance. Also in design is the pH control, the recording and surveillance system with images, and the central controller that will attend to the entire process based on the experience taken from experts and the agro-ecological conditions of the crop; This information will be deposited in supervised learning systems. The seedbed is made up of students from the Electronic and Mechanical Engineering who develop projects within the course, and which are mainly used in the subjects of digital electronics, analog electronics, control, signals and design.*

**Keywords:** smart pots; small crops; control systems

## **1. Introducción**

La disposición de alimentos y tener una buena salud son dos elementos esenciales para que los seres humanos podamos tener un buen nivel de vida. Por un lado, la soberanía alimentaria es la capacidad de un país para definir sus propias políticas agrarias y alimentarias de acuerdo con los objetivos de desarrollo sostenible y seguridad alimentaria. Esta última hace referencia a la disponibilidad de alimentos, al acceso a ellos y su aprovechamiento biológico. Cuando existe seguridad alimentaria los ciudadanos pueden disponer de alimentos en cantidad y calidad según las necesidades biológicas (Arias, 2009).

Las necesidades nutricionales dependen de la edad, sexo, actividad física y estado fisiológico de la persona a partir de la energía y nutrientes que ingiere en los alimentos (FAO O. d., 2020). Los nutrientes son las proteínas, algunos ácidos grasos, vitaminas, sales minerales y agua. La energía de otro lado es el combustible utilizado para desarrollar funciones vitales y generalmente se mide en kilocalorías y proviene de grasas, carbohidratos y proteínas. La fibra dietética es necesaria para

mantener el funcionamiento de intestino, la prevención de enfermedades como la diabetes, cáncer, y enfermedades cardiovasculares entre otros, este componente se encuentra en las frutas y verduras.

Los cultivos urbanos, o agricultura urbana, son un esfuerzo por disponer de alimentos frescos para el consumo familiar, o comercialización cuando hay excedentes, utilizando pequeños espacios en los patios de las casas o dedicados en conjuntos residenciales para este fin. La FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura) establece que los microhuertos son una alternativa para reducir el hambre en el mundo y se pueden crear en espacios desde un metro cuadrado (FAO P. p., 2020). Existen diversas alternativas para hacer cultivos urbanos, una de ellas es la hidroponía simplificada que tiene la ventaja de no utilizar suelo sino una solución nutritiva que permite tener un mayor rendimiento en los cultivos.

El semillero de Agroingeniería, adscrito al Programa de Ingeniería Electrónica de la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, viene trabajando en la línea de sistemas automáticos para pequeños cultivos (Escuela Colombiana de Ingeniería, 2020). El objetivo del trabajo es por un lado impulsar la aplicación de nuevas tecnologías y aplicarlas a problemáticas relacionadas con el agro en el país, y por el otro, incentivar a los estudiantes de ingeniería a buscar soluciones a nuestros problemas locales y regionales; además de explorar nuevas de oportunidades de negocio con componentes tecnológicos.

## 2. Agricultura Urbana

El cultivo en huertas y huertos es lo que generalmente se conoce como horticultura. Esta actividad esta destinada a producción de hortalizas (plantas comestibles para consumo doméstico o fines comerciales), frutas, flores y hierbas aromáticas; esto quiere decir que incluye la fruticultura y floricultura. Su objetivo principal es mejorar el rendimiento de las cosechas, incrementando el valor nutricional y calidad de las plantas. El consumo en Colombia es de aproximadamente 38/persona/año que esta lejano del consumo mínimo recomendado por la Organización Mundial de la Salud de 146/persona/año (Cabrera, 2017).

En Colombia, la agricultura urbana representa una oportunidad para producir alimentos en pequeños espacios en nuestras casas o espacios dedicados de los conjuntos residenciales (Morales, 2018). Entre las ventajas de su uso se encuentran están los menores costos, productos más saludables y el cuidado del medio ambiente; la economía familiar se puede beneficiar con la venta de los excedentes del consumo interno. Otro aporte importante de esta práctica es velar por la seguridad alimentaria.

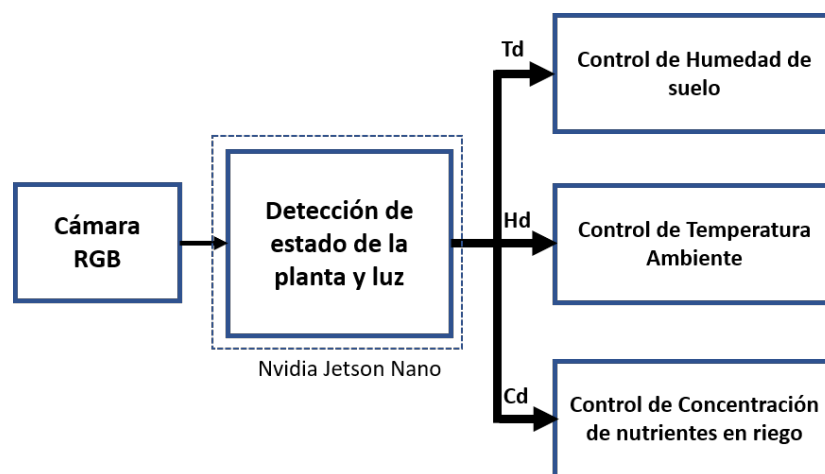
Para el desarrollo de pequeños cultivos se requieren como mínimo tres elementos: tierra, semillas y agua. Los espacios requeridos pueden ir desde macetas, botellas plásticas, jardines, antejardines o inclusive parques. Las condiciones ambientales para su desarrollo deben contemplar buena iluminación, aireación y riego. De otro lado, las labores básicas son las de siembra, cosecha y recolección, en algunos casos se puede pasar por la etapa de germinación con semilleros especializados hasta llegar al estado de plantula, pero hoy en día no es indispensable.

Una de las labores de la automatización es precisamente dejar en manos de máquinas inteligentes el seguimiento y control de las variables que intervienen en los procesos. En el caso de la agricultura en general, la cosecha es una actividad que se puede automatizar, y uno de sus escenarios más interesantes es el de cultivos a pequeña escala (Santos, 2014). En este trabajo se propone el diseño de un equipo electrónico que supervise y controle la cosecha, o la vida, de pequeñas plantas como hortalizas o flores en ambientes completamente aislados. Este objetivo se logra a partir del conocimiento de las variables edafoclimáticas de las plantas que se cultivan a lo largo de sus diferentes estados vegetativos.

### 3. Sistemas Inteligentes de Cultivo

Los sistemas de control permiten mantener una o varias variables de un sistema dinámico en un grupo de valores deseados o de referencia. En el caso de los cultivos es necesario que las variables edafoclimáticas (suelo y clima) sean controladas para garantizar las mejores condiciones de cultivo de las plantas en sus diferentes etapas. Adicionalmente, en los cultivos aparece otras variables a ser controladas relacionadas con las condiciones de la solución nutritiva utilizada; en particular pueden ser de importancia su conductancia (para determinar la concentración de sales) y pH (Molina, 2005).

Para este trabajo se propone identificar el estado de la planta mediante imágenes e inteligencia artificial, y con esta información establecer los valores de referencia para los controladores de temperatura ambiente, humedad de suelo, y conductividad. El control de cada una de estas variables por ahora sería independiente y sus valores de referencia también cambian dependiendo si es de día o de noche. En la Figura 1 se muestra un esquema del sistema de control propuesto:

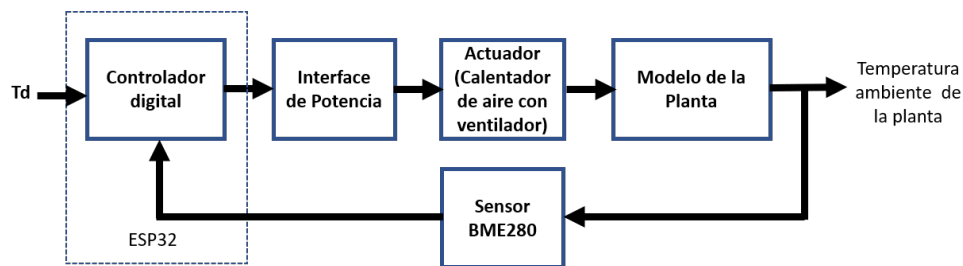


**Figura 1.** Diagrama general de sistema de control

Como se puede observar en la Figura anterior, el uso de técnicas de Deep Learning, con algoritmos entrenados y dispuestos en la board Nvidia Jetson Nano (Nvidia, 2020), permitirán automáticamente la identificación del estado de la planta y la selección de los valores deseables

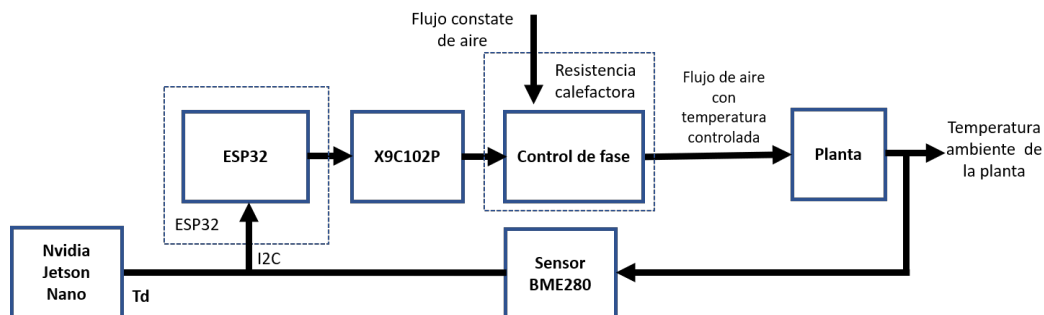
de temperatura ( $T_d$ ), humedad ( $H_d$ ) y concentración de nutrientes ( $C_d$ ). Dicha identificación se logra mediante el procesamiento en tiempo real de las imágenes en formato RGB obtenidas desde una cámara comercial.

Para cada uno de los sistemas de control presentados en la Figura 1 se planea diseñar un controlador específico. Actualmente se está trabajando en el ajuste del controlador de temperatura utilizando un controlador convencional PID como se puede ver en la siguiente Figura 2.



**Figura 2.** Diagrama general de sistema de control

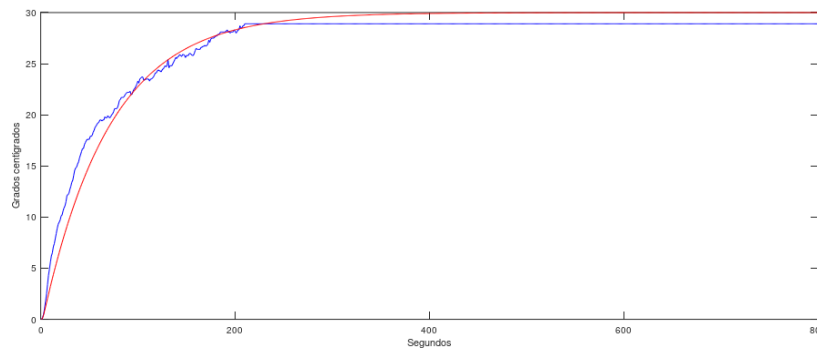
El controlador, que inicialmente se diseñó de forma analógica, se implementará en un board ESP32 que facilita enviar información a la nube ya que dispone de conectividad Wifi y existen diferentes librerías que facilitan su programación y comunicación con servidores de IoT (Internet de las Cosas). Para la interfaz de potencia entre esta board y el control de fase, diseñado para controlar el calentador de aire, se utilizó un potenciómetro digital IC X9C102P; este dispositivo reemplaza el potenciómetro que se acostumbra a utilizar en un circuito de control de fase monofásico. Finalmente, el flujo de aire constante es generado por un ventilador de 12 voltios sin ningún tipo de control. La Figura 3 muestra el esquema de este circuito.



**Figura 3.** Esquema de control para temperatura de la materia

La planta fue modelada tomando datos con un sensor de temperatura LM35 y se ajustó finalmente a un modelo de segundo orden como el mostrado en la ecuación 1. En la Figura 4 se plotean los datos del modelado y la respuesta del sistema ante una entrada escalón simulando la entrada de energía de la planta.

$$H(s) = \frac{0.5}{80s^2 + 70s + 1} \quad (1)$$

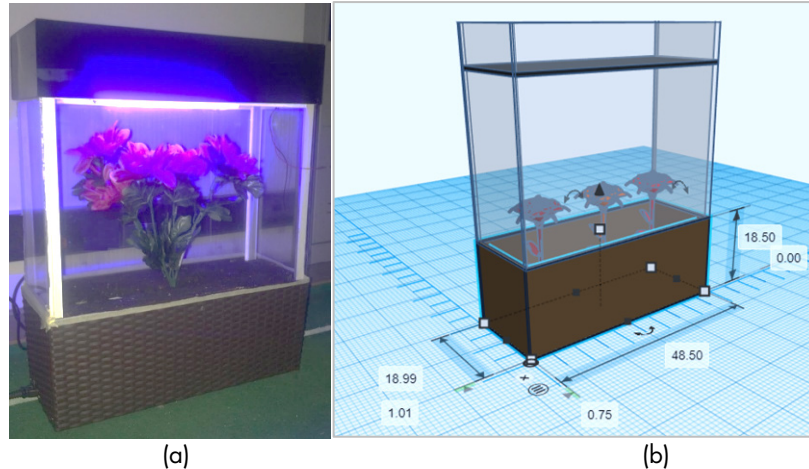


**Figura 4.** Datos de la planta y respuesta del modelo a una entrada escalón

Según la Figura 4 se puede observar que la respuesta del modelo propuesto, ante una entrada escalón de 120 voltios y media fase, se ajusta a los datos que fueron registrados para la elaboración de este. Como se puede observar en la Figura 5, el sistema es aislado por ese motivo se puede justificar el rápido cambio de temperatura en menos de cinco minutos.

#### 4. Matera Inteligente

El diseño y elaboración del sistema propuesto se inició con un modelado en 3D del primer prototipo a desarrollar tomando como base una matera comercial como se puede ver en la Figura 5(b). En la parte inferior de la misma se colocó la entrada de alimentación y protección (fusible), sobre la misma se dispuso un encerramiento en acrílico transparente de 5 milímetros protegidos por cuatro ángulos dispuestos en las cuatro esquinas para efectos de soporte. En la parte superior se encuentra el ducto de entrada de aire que inicia con un ventilador y el calentador de aire, el flujo de aire fue llevado mediante un reductor y mangueras a nivel de la tierra. En la parte superior se crea una base de acrílico que tiene como objetivo albergar el tanque del sistema de riego y nutrientes, y los circuitos electrónicos para el control de humedad, temperatura y riego también se encuentran en una sección de esta parte. En la figura 5(a) se puede observar la materialización del modelado teniendo así el primer prototipo funcional; como elementos por ahora decorativos se dispuso planta y tierra artificial para ocupar los espacios y no afectar la elaboración del modelo del sistema de temperatura.



**Figura 5.** Estado actual de la matera

## 5. Conclusiones

Este trabajo, principalmente impulsado por estudiantes de los programas de ingeniería de la Escuela, y liderado por profesores de ingeniería electrónica, ha tenido diversos logros que se resumen a continuación.

Mantener la seguridad alimentaria en nuestro país debe ser una política prioritaria para no depender de la importación de alimentos y poder llegar a todas las zonas de este con alimentos con en la cantidad y calidad suficientes. Es una realidad que la alimentación de las personas en el mundo se está convirtiendo en un problema debido al alto crecimiento demográfico, el abandono de algunos gobiernos a sector agropecuario, la falta de trabajadores en zonas rurales debido a la migración a las ciudades, y falta de apropiación de nuevas tecnologías entre otros atenuantes. Teniendo en cuenta problemas como estos, las universidades pueden jugar un papel importante y ser el facilitador para adecuar tecnologías foráneas que incrementen la competitividad de los productos agropecuarios.

Los semilleros de investigación son el escenario perfecto para impulsar la apropiación de la problemática, así como de las tecnologías que se pueden articular en una solución, en los estudiantes de las universidades desde semestres iniciales. En este caso, el semillero de Agroingeniería se ha convertido en un impulsor de innovaciones que den solución a problemáticas del sector agroindustrial.

Los sistemas de control, que habitualmente se implementan en el sector industrial para automatizar procesos, se pueden implementar en seguimiento y control automático de procesos biológicos relacionados con cultivos de productos alimenticios. En este caso es necesario conocer dichos procesos y tener la tecnología apropiada para su seguimiento e intervención. Una de las primeras tareas es caracterizar completamente los cultivos a controlar y posteriormente desarrollar los sistemas inteligentes que automaticen todo el proceso de producción a pequeña escala.

Este proyecto permitió identificar una posible forma de controlar sistemas de producción de alimentos en pequeñas materas a partir de la identificación de sus componentes de control y la proyectada incorporación de inteligencia artificial para completar los lazos de control. Se logró diseñar la primera etapa del sistema de control de temperatura con buenos resultados sin embargo es necesario evaluarlo con plantas reales y no artificiales.

Este tipo de trabajo puede generar sinergias en donde estudiantes de diferentes carreras converjan en el diseño de soluciones tecnológicas a problemas del entorno. Gracias a este tipo de proyectos que no se limitan a temas académicos establecidos por un pensum o un temario para una asignatura los estudiantes logran desarrollar más sus habilidades de autoaprendizaje, identificación y solución de problemas, trabajo en equipo y observan de primera mano las distintas perspectivas que puede tener un proyecto, habilidades esenciales para el desarrollo integral de un profesional.

## 6. Referencias

- Arias, D. L. (21 de Mayo de 2009). *Corporación Grupo Semillas*. Obtenido de <https://www.semillas.org.co/es/revista/soberana-alimentaria-y-resistencia-popular-en-colombia>
- Cabrera, F. A. (2017). LAS HORTALIZAS EN COLOMBIA . *Revista de la Asociación Brasileira de Horticultura*.
- Escuela Colombiana de Ingeniería, D. I. (junio de 2020). *Semilleros de Investigación*. Obtenido de <https://www.escuelaing.edu.co/es/investigacion/semilleros?investigacion=AgroIngenier%C3%ADa>
- FAO, O. d. (junio de 2020). [www.fao.org](http://www.fao.org).
- FAO, P. p. (Junio. de 2020). <http://www.fao.org>. Obtenido de <http://www.fao.org/ag/agp/greencities/pdf/HD/HUP-HD-6.pdf>
- Molina, Y. L. (Agosto de 2005). *Interempresas*. Obtenido de Control climático en invernaderos: <https://www.interempresas.net/Horticola/Articulos/77307-Control-climatico-en-invernaderos.html>
- Morales, I. G. (21 de Marzo de 2018). Agricultura urbana, un reto permanente y sostenible. *El Espectador*.
- Nvidia. (Junio de 2020). *Nvidia Deep Learning*. Obtenido de <https://www.nvidia.com/en-us/deep-learning-ai/>
- Santos, L. (Marzo de 2014). *La Agromótica en Horticultura: el desarrollo de las tecnologías aplicadas a la agricultura*. Obtenido de <http://umhsapiens.com/la-agromotica-en-horticultura-el-desarrollo-de-las-tecnologias-aplicadas-a-la-agricultura/>

## Sobre los Autores

- **Javier Chaparro.** Ingeniero Electrónico, Especialista en Automatización Industrial, Magister en Telecomunicaciones, Doctor en Ingeniería. Profesor asociado de la Escuela



Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, Bogotá. Email: [javier.chaparro@escuelaing.edu.co](mailto:javier.chaparro@escuelaing.edu.co).

- **Alejandro Criado.** Estudiante del Programa de Ingeniería Electrónica de la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, Bogotá. Beneficiario de programa de Ser Pilo Paga. Email [alejadro.criado@mail.escuelaing.edu.co](mailto:alejadro.criado@mail.escuelaing.edu.co).

---

Los puntos de vista expresados en este artículo no reflejan necesariamente la opinión de la Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería.

Copyright © 2020 Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería (ACOFI)