



## Automatización y sostenibilidad alimentaria

Hernández Ciprés Isaias Israel<sup>a</sup>, Esquivel Torres Gerardo,  
Pérez Lugo David Israel, López Pérez Ignacio

<sup>a</sup>Instituto Politécnico Nacional, CECyT No. 2, Miguel Bernard

### ARTICLE INFO

**Received:** September 2, 2014

**Accepted:** October 14, 2014

**Available on-line:** November 1, 2014

**Keywords:** Incluir 3 palabras clave

**E-mail addresses:** Incluir las direcciones electrónicas de cada autor.

ISSN 2007-9842

© 2013 Institute of Science Education.  
All rights reserved

### ABSTRACT

Hydroponics is one of the most developed farming methods that are taking prosperity in the world, due to the optimization of the physical space it occupies to produce food and in the simple way by incorporating the nutrients and fertilizers that consume the plants. It also emphasizes that the protected system (greenhouses) considerably favors the farmer, because they allow to protect from the variations of the climate and to propitiate a more rigorous control in the production and a successful handling of the pests that attack the Vegetables. By combining these two areas of knowledge with automation, we find an area of opportunity to offer the technology to the producers and the population in general from a social aspect, not only from rural areas but also from urban areas. In this way, we seek to produce high quality foods, which offer favorable nutritional characteristics for human consumption.

A project is carried out that integrates the agro and the technology proposing solutions to real problems through the investigation and the implementation of automated systems that allow the control of variables in an experimental greenhouse, which in turn provides Ideal conditions for the production of lettuces.

This paper brings together good practices developed by producers in the city and state of Mexico, where alternatives are sought in food production and a solution to future problems in food crises caused by the excess of world population.

La hidroponía es uno de los métodos de cultivo agrícola más desarrollados que está tomando prosperidad en el mundo, debido a la optimización del espacio físico que ocupa para producir alimentos y de la manera simple al incorporar los nutrientes y fertilizantes que consumen las plantas. También se destaca que los sistemas protegidos (invernaderos) favorecen considerablemente al agricultor, porque permiten proteger de las variaciones del clima y propiciar un control más riguroso en la producción y un manejo acertado de la plaga que atacan a los vegetales. Al combinar estas dos áreas del conocimiento con la automatización, encontramos un área de oportunidad para ofrecer la tecnología a los productores y a la población en general desde un aspecto social, no solo de zonas rurales sino también de zonas urbanas. De esta manera se busca producir los alimentos de alta calidad, que ofrezcan características nutrimentales favorables para el consumo humano.

Se realiza un proyecto que integra al agro y la tecnología proponiendo soluciones a problemas reales a través de la investigación y la implementación de sistemas automatizados que permitan el control de variables en un invernadero experimental, que a su vez proporciona condiciones ideales para la producción de lechugas.

Este escrito reúne las buenas prácticas desarrolladas por productores de la Ciudad y Estado de México, donde se busca alternativas en la producción de alimentos y una solución a los futuros problemas en las crisis alimentarias originados por el exceso de población mundial.

## I. INTRODUCCIÓN

La alimentación es la base de desarrollo de toda sociedad y economía en cualquier parte del planeta; es por ello, que los países han buscado métodos de cultivo que permitan conseguir una mayor cantidad de alimento. La humanidad afronta uno de sus mayores retos debido al crecimiento de la población, el abandono del campo y la escasa tierra fértil causado por el fuerte grado de contaminación biológica, lo que ha ocasionado *crisis agroalimentaria*.

Datos de la Asociación Hidropónica Mexicana A.C. pronostica que para el 2050 el 70 por ciento de la población vivirá en zonas urbanas, se prevé que la oferta de productos agrícolas no será suficiente para satisfacer la demanda de alimentos. Es por ello que la agricultura en las ciudades es vista como una alternativa para hacer frente a la escasez, aportando además beneficios importantes para la seguridad alimentaria. Los cultivos sin suelos nacen como una alternativa a la problemática alimentaria y demuestra una alta eficiencia y rentabilidad de los recursos.

La *tabla I muestra* un comparativo de producción entre un cultivo hidropónico y un cultivo en tierra, resaltando los resultados obtenidos del sistema hidropónico frente a la otra. Algunas de las ventajas que ofrece la técnica de hidroponía son las siguientes:

- Se puede realizar en cualquier espacio y condiciones.
- Se ajusta a cualquier necesidad
- Puede producir cinco veces más por metro cuadrado que el método tradicional.
- Garantizan la sustentabilidad alimentaria por medio de la disminución del periodo vegetativo y por consecuencia del número de cosechas por año.
- Permite tener un mayor control de calidad en el producto final.

**TABLA I.** Comparativa en toneladas/hectárea de producción entre cultivos en tierra y en hidroponía.

Especie	En tierra	En hidroponía
Arroz	12	6
Avena	1.12	2.8
Betabel	10	30
Col	14.5	20
Chícharo	2.5	22
Frijol	1.2	50
Tomate	25 a 30	200 a 700
Lechuga	6 a 10	23
Papa	30	150
Pepino	7 a 10	31 a 35
Soya	0.62	1.75
Trigo	0.67	4.6

El investigador Felipe Sánchez del Castillo de la Universidad Tecnológica de Chapingo pronosticaba que para el 2010 el 60% de los cultivos serían un fracaso por la falta de capacitación y desconocimiento de los productores; sin embargo, con esta técnica creció en 1500% pasando de mil hectáreas en el año 2000 a 15 mil hectáreas cultivadas para el año 2010.

Es por ello, que la hidroponía es una alternativa para producir alimentos en un espacio reducido, ya que es un sistema sustentable fácil de utilizar y que se adapta a cualquier área no convencional, sin importar el tamaño, ya que la técnica nos permite acondicionar de acuerdo a las necesidades (sistema de inundación y drenaje, sistema de goteo con recogida de solución nutritiva, Deep Water Culture, Nutrient Film Technic, etc.).

La automatización en los cultivos hidropónicos tiene como finalidad el control de las variables desde un sistema establecido, que ofrezca a los vegetales las condiciones óptimas para su crecimiento y desarrollo, de esta manera las personas pueden generar ingresos a su economía y también sus alimentos desde casa a un menor costo, libre de los contaminantes que comúnmente se utilizan en la agricultura industrial.

Actualmente existen sistemas automatizados en producciones intensivas y/o industriales, pero la finalidad de este proyecto es que el estudiante a través de sus conocimientos adquiridos en la carrera de Técnico en Máquinas con Sistemas Automatizados del Instituto Politécnico Nacional diseñe y programe a través de la plataforma abierta (*open hardware*) Arduino, la automatización de un sistema hidropónico familiar NFT en bloques de programación independientes.

Debido a la necesidad de producir una mayor cantidad de alimento de calidad, en un menor tiempo posible y con la optimización de los recursos naturales, se inició el proyecto de investigación sobre la automatización de un cultivo hidropónico familiar, aplicando la innovación tecnológica con la automatización, generando un proyecto a implementarse en un invernadero experimental.

## II. OBJETIVOS Y METODOLOGÍA

### Objetivo general

El objetivo general de la investigación es medir y controlar las variables físicas y químicas (Temperatura-humedad, pH, conductividad eléctrica en el agua y luminosidad) en un invernadero experimental de lechugas a través de la programación del micro controlador Arduino.



**FIGURA 1.** Sistemas hidropónicos de fresas de Emma Invernaderos Hidropónicos.

### Los objetivos específicos

- Implementar el sistema de medición y control de variables para la lechuga.
- Programar en Arduino los dispositivos que integran el sistema de medición y control de las variables

(temperatura, humedad, pH, conductividad eléctrica en el agua y luminosidad).

- Instalar el sistema en un invernadero experimental.



**FIGURA 2.** Sistemas hidropónicos de lechuga de Emma. Invernaderos Hidropónicos.

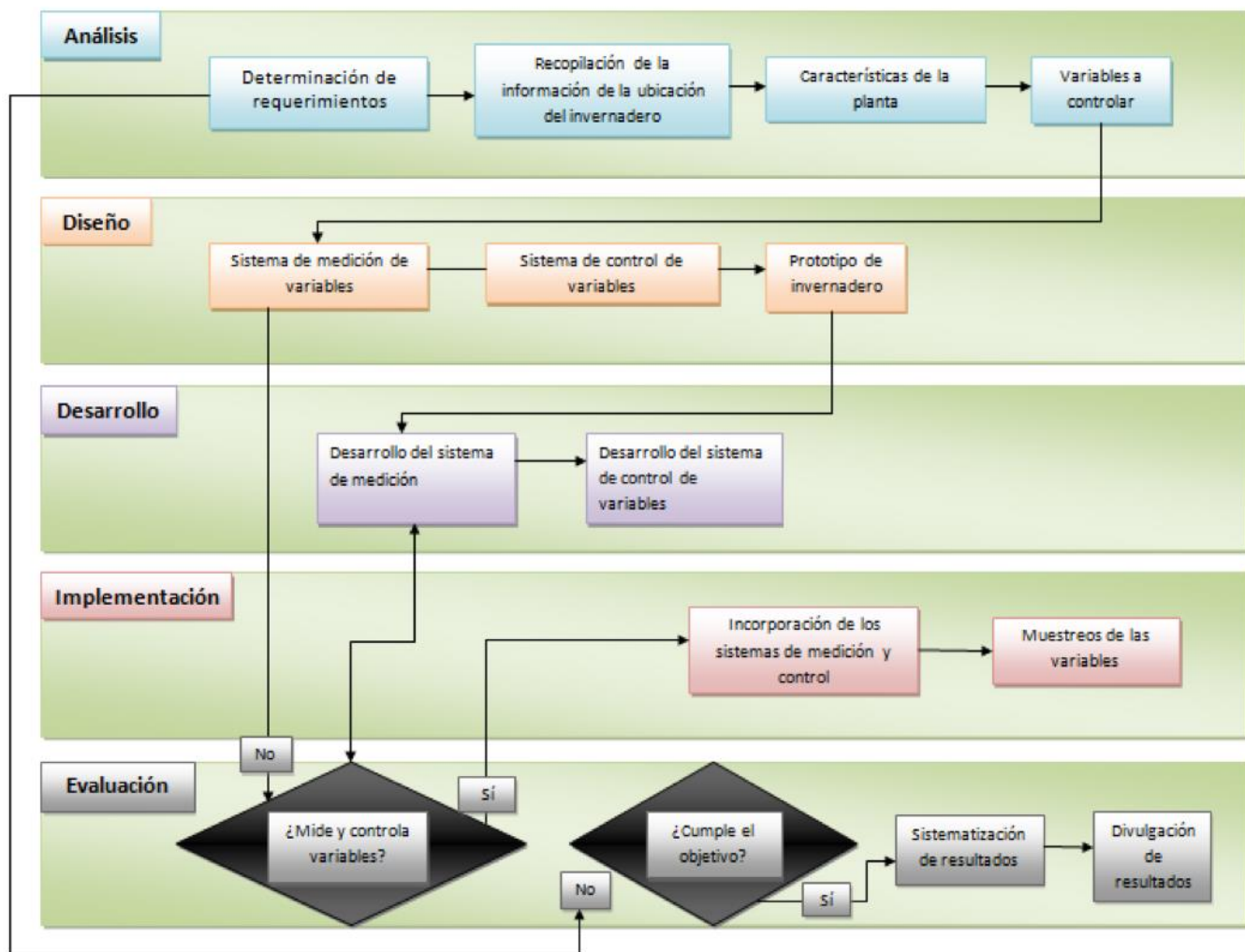
## Metodología

Nelson Zambrano, M Behrentz en su publicación *Automation through variable control of a hydroponic*, propone el método instruccional ADDIE como una metodología de recolección de datos para el análisis de las variables. El método propuesto se adapta a la investigación y experimentación donde se analizan las variables de forma cuantitativa para generar datos que sean estadísticamente analizables. En la Figura 3 se presentan las etapas en cada fase del modelo.

Mediante este concepto de diseño aplicado por Zambrano, se adapta como método de trabajo para la experimentación de las variables ambientales de humedad relativa, temperatura y luminosidad. La humedad relativa, así como la de temperatura del ambiente, se controla con un sensor DHT11 que proporciona una salida de datos digital. Entre sus ventajas es el bajo costo y el despliegue de datos digitales. Esto supone una gran ventaja frente a los sensores del tipo análogo, el rango de esta variable se mantendrá a  $18^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$  en el día y durante la noche a  $8^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ . En el caso de los niveles de humedad se ubican en un 70%, teniendo una variación de  $\pm 10\%$ .

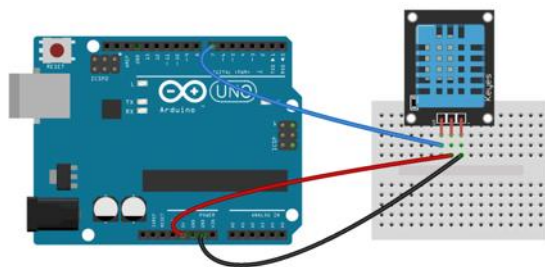
Las soluciones nutritivas de la planta se manejan en tanques independientes controlando el pH y la conductividad eléctrica en el agua; el pH es la medida de acidez o alcalinidad de una disolución que indica la concentración de iones hidronio  $[\text{H}_3\text{O}^+]$  presentes en determinadas sustancias. El sensor pH metro analógico con electrodo Arduino Raspberry permite medir de forma sencilla el pH del agua a través de su placa controladora que ofrece un valor analógico proporcional a la medición. El controlador tiene un potenciómetro multivuelta que permite la correcta calibración de la sonda y de esta manera se logra con una mayor facilidad mantener el nivel de pH que nosotros establecimos, el cual se ubica en el número 6.0 con una variación de  $\pm 0.2$ .

Para la variable de la luminosidad se implementa como dispositivo de monitoreo el sensor Bh175 (Gy-302), la ventaja de este sensor es su nivel de lectura de 1 a 65.535 lux (und. de medida de la luz) con una precisión de 1 lux, bajo consumo de energía (traducido a un bajo costo económico en el consumo de energía), con base a los cuidados establecido en el proceso de fotoperiodo, mantendremos un rango de luminosidad de entre 10,000 y 40,000 lux.



**FIGURA 3.** Método ADDIE ajustado a la automatización de un invernadero hidropónico.

Fuente: Autores: N. Zambrano, M. Behrentz: Automatización de un cultivo hidropónico para el control de variables.



**FIGURA 4.** Circuito de la conexión del DHT11 en placa Arduino.





**FIGURA 5.** Esquema de conexión del sensor “Bh175 (Gy-302)”.

### III. HARDWARE ARDUINO

Un microcontrolador es un dispositivo integrado o “chip” (es decir, un dispositivo electrónico que integra en un solo encapsulado un gran número de componentes) que tiene la característica de ser programable. es decir, que es capaz de ejecutar de forma autónoma una serie de instrucciones previamente definidas por nosotros.

Por definición, un microcontrolador (también llamado comúnmente “micro” ha de incluir en su interior tres elementos) **CPU (unidad central de Proceso):** es la parte encargada de ejecutar cada instrucción y de controlar que dicha ejecución se realice correctamente. Normalmente, estas instrucciones hacen uso de datos disponibles previamente (los “datos de entrada”), y generan otros datos diferentes (los “datos de salida”), que podrán ser utilizados (o no) por la siguiente instrucción.

**Diferentes tipos de memorias:** sin en general las encargadas de alojar tanto las instrucciones como los diferentes datos que estas necesitan. de esta manera posibilitar que toda esta información (instrucciones y datos) esté siempre disponible para que la CPU pueda acceder y trabajar con ella en cualquier momento. Generalmente encontraremos dos tipos de memorias las que su contenido se almacenan de forma permanente incluso tras cortes de alimentación eléctrica (llamadas “persistentes”), y las que su contenido se pierde al dejar de recibir alimentación (llamadas “volátiles”). Según las características de información a guardar, esta se grabará en un tipo u otro de memoria de forma automática, habitualmente.

**Diferentes pastillas de E/S (entrada/salida):** son las encargadas de comunicar el microcontrolador con el exterior. En las pastillas de entrada del microcontrolador podremos conectar sensores para que este pueda recibir datos provenientes de su entorno, y en sus pastillas de salida podremos conectar actuadores para que el microcontrolador pueda enviarles órdenes e así interactuar con el medio físico. de todas formas, muchas pastillas de la mayoría de microcontroladores no son exclusivamente de entrada o de salida, sino que pueden ser utilizados indistintamente para ambos propósitos (de ahí en nombre de E/S).

#### ¿Qué es Arduino?

Arduino es en realidad tres cosas:

**Una placa hardware libre.** Que incorpora un microcontrolador programable y una serie de pines-hembra (los cuales están unidos internamente a las pastillas de E/S de microcontrolador) que permite conectar allí de forma sencilla y cómoda diferentes sensores y actuadores.

**Un software gratis, libre y multiplataforma.** Que debemos instalar en nuestro ordenador y que nos permite escribir, verificar y guardar (“cargar”) en la memoria del microcontrolador de la placa de Arduino el conjunto de instrucción

que deseamos que este empiece a ejecutar. Es decir: nos permite programarlo.

**Un lenguaje de programación libre.** Por *lenguaje de programación* se entiende cualquier idioma artificial diseñado para expresar instrucciones (siguiendo unas determinadas reglas sintácticas) que pueden ser llevadas a cabo por máquinas. Concretamente dentro del lenguaje Arduino, encontramos elementos parecidos a muchos otros lenguajes de programación existentes (como los bloques condicionales, los bloques repetitivos, las variables, etc.) así como también diferentes comandos -así mismo llamados “órdenes” o “funciones”- que nos permiten especificar de una forma coherente y sin errores las instrucciones exactas que queremos programar en el microcontrolador de la placa. Estos comandos los escribimos, mediante el entorno de desarrollo Arduino.

Existen varios tipos de placas Arduino, cada uno con características específicas que hay que conocer para poder elegir el modelo que más nos convenga según el caso. Existe un modelo estándar de placa que es el más utilizado con diferencia y que es el que utilizaremos en el proyecto, que es la placa de ARDUINO UNO, que apareció en el 2010 y que ha sufrido tres revisiones por lo que el modelo actual suele llamarse UNO Rev3 o simplemente UNO R3.

Aunque existen diferentes modelos de microcontroladores con un entorno agradable de desarrollo y con un lenguaje de programación sencillo y completo. La plataforma Arduino (hardware + software) nos ofrece una serie de ventajas:

- **Arduino es libre y extensible:** permite ampliar y mejorar el diseño del hardware y el desarrollo de software e incluso el propio lenguaje de programación.
- **Tiene una gran comunidad:** la sociedad que utiliza el microcontrolador enriquece la documentación y comparte sus ideas.
- **Su entorno de programación es multiplataforma:** se puede instalar y ejecutar en sistemas Windows, Mac Os X y Linus, lo que en otros softwares de microcontroladores no sucede.
- **Su entorno y el lenguaje de programación son simples y claros:** son prácticos, flexibles y fáciles de utilizar. Están documentados y publicados con ejemplos de proyectos detallados de en diferentes formatos.
- **Las placas Arduino son baratas:** sus precios son accesibles a comparación de otros.
- **Las placas Arduino son reutilizables y versátiles:** la misma placa puede aprovecharse para otros proyectos, es versátil porque proveen varios tipos de diferentes de entradas y salidas de datos, lo que permite capturar información de sensores y enviar señales a actuadores de múltiples formas.

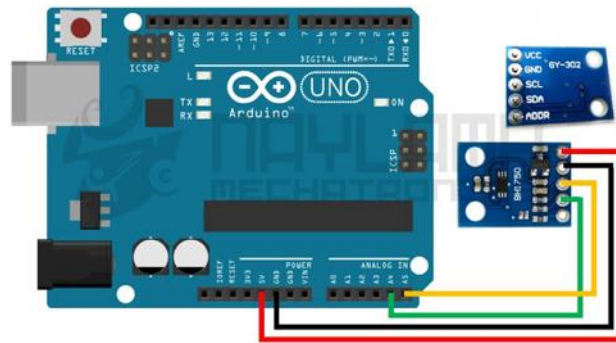
Los dispositivos de control que se implementan son programados por el sistema *ARDUINO UNO*. Los datos que monitoreen cada uno de los sensores se muestran en la pantalla LCD, parte de las acciones establecidas en la programación al momento en que la temperatura asciende de a los 21°C y se activan aspersores logrando refrescar las plantas y evitar entrar en estrés provocando la muerte del vegetal. En caso de disminuir a una temperatura de 16°C, se encienden las lámparas hasta lograr su temperatura ideal.

En el caso de los otros sensores, el monitoreo realizado le dará una idea al usuario si el cuidado al cultivo es el adecuado y en caso de no cumplirlo, le sea más fácil identificar la falla del sistema para su pronta solución.

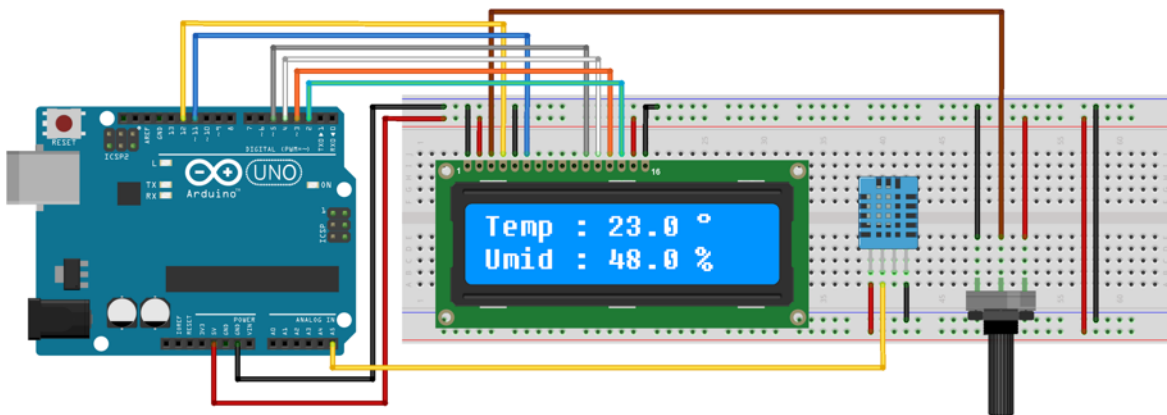
#### IV. RESULTADOS

Al inicio del proyecto de automatización del invernadero implementado en el laboratorio de electrónica de la sede El Cedro, se logró conformar los resultados obtenidos del prototipo, los cuales fueron los esperados, ya que el sistema cumple las expectativas esperadas realizando las mediciones de temperatura, humedad y pH.

Al momento en que la temperatura se incrementa de los 28°C se activan las bombas y por medio de los aspersores refrescará a las plantas y evitará que entren en estrés, hasta que los sensores vuelvan a detectar una temperatura que no sobrepase el límite. Y en caso de que la temperatura descienda de -3°C, se encenderán los leds que aumentarán la temperatura y al llegar a una temperatura estable y cómodas para las plantas se apagan los leds. Esto se hace con el fin de brindarle a las plantas las condiciones atmosféricas ideales para que pueda crecer y desarrollarse.



**FIGURA 6.** Esquema de conexión del sensor “Bh175 (Gy-302)”.



**FIGURA 7.** Circuito con LCD donde muestra los niveles detectados por el DHT-11.

El prototipo es útil para lugares reducidos, con los elementos necesarios para su correcto funcionamiento, realizando sus tareas de manera semi-automatizado.

En base a las pruebas de desempeño que se realizaron, se concluye la automatización del sistema es eficiente, ya que no requiere de un cuidado exhaustivo del productor. El Arduino ya una vez programado, se encargará de suministrar los cuidados básicos: Solución nutritiva y control de temperatura, haciendo que las plantas se encuentren en condiciones óptimas para su correcto desarrollo, además de que resulta ser muy sencillo de controlar y alimentar al circuito, la alimentación del Arduino va a un pilar de 9V y los opto acopladores de las bombas se alimentan a 127 VCA.

## V. CONCLUSIONES

La hidroponía como método de producción agrícola es una modalidad que permite su cultivo sin suelo e incorporar los nutrientes y fertilizantes de una forma sencilla que beneficia a los vegetales. Mediante esta técnica se producen plantas principalmente de tipo herbáceo, aprovechando áreas no convencionales, sin perder de vistas las necesidades de las plantas como: luz, temperatura, agua y nutrientes. En el sistema hidropónico los



elementos minerales esenciales son aportados por la solución nutritiva. El rendimiento de los cultivos hidropónicos puede duplicar o más, a los de los cultivos en suelo. La disponibilidad de agua y nutrientes, los niveles de radiación y temperatura del ambiente, la densidad de siembra o disposición de las plantas en el sistema hidropónico, la acción de patógenos o plagas, etc., incidirán fuertemente en el rendimiento del cultivo. El modernismo permitió la introducción de los avances de la informática para el control y ejecución de actividades, que han hecho de la automatización del cultivo hidropónico una realidad. Un cultivo hidropónico realizado en un área confinada y climatizada es un sistema altamente repetible, en consecuencia, se ha constituido en una herramienta valiosa para la Investigación y la Enseñanza. Hoy la hidroponía se vislumbra como una solución a la creciente disminución de las zonas agrícolas, producto de la contaminación, la desertización, el cambio climático y el crecimiento desproporcionado de las ciudades.

## AGRADECIMIENTOS

Se agradece al Instituto Politécnico Nacional por brindar las herramientas necesarias para el correcto desarrollo del proyecto, además del conocimiento que se impartió en la carrera de Máquinas con Sistemas Automatizados, con profesores de calidad.

## REFERENCIAS

- Asociación Hidropónica Mexicana AC. (2017, 6 de julio). El hambre en el mundo aumenta de nuevo. *2000Agro. Revista Industrial del Campo*. Recuperado de <http://www.2000agro.com.mx/politicaagropecuaria/hambre-mundo-aumenta-nuevo/>
- Asociación Hidropónica Mexicana. AC. (s.f.). *Sabías que?* Recuperado de <http://hidroponia.org.mx/sabias-que/>
- Germán, T., Calaza (2015). *Taller de Arduino, un enfoque práctico para principiantes*. Alfaomega Grupo Editor, México.
- Guerrero, E., et al. (2014). Evaluación de sustratos en un cultivo de lechuga bajo un sistema hidropónico en el municipio de Pasto. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 31(1). Recuperado de <http://revistas.udenar.edu.co/index.php/rfacia/article/view/1933>.
- Lordméndez, P. (2015, 23 de febrero). *Un jardín hidropónico controlado por Arduinos y Raspberry Pi*. 2016, de veoverde Recuperado de <http://www.veoverde.com/2015/un-jardin-hidroponico>
- Oscar T. Artero (2017). *Curso práctico de formación. ARDUINO*. México: Grupo Editorial Alfaomega.
- Pérez Valencia. (2016). *Desarrollan sistema automatizado para cultivos en hidroponía*. 2017, de CONACYT Recuperado de <http://www.conacytprensa.mx/index.php/ciencia/la-tierra/8793-desarrollan-sistema-automatizado-para-cultivos-en-hidroponia>.
- Sustentabilidad, herramienta básica de la innovación. (2017, 7 de julio). *2000Agro. Revista Industrial del Campo*. Recuperado de <http://www.2000agro.com.mx/sectorrural/sustentabilidad-herramienta-basica-de-la-innovacion/>
- UNAM diseña sistemas de producción sustentables de hortalizas. (2017, 10 de julio). *2000Agro. Revista Industrial del Campo*. Recuperado de <http://www.2000agro.com.mx/agroindustria/hortofruticola/unam-disena-sistemas-produccion-sustentables-hortalizas>.