

# aHydro: Hidroponía automatizada

Lauro Luján Omar Cacciagioni, Juan Ignacio Eizmendi y Juan Emilio Nieva  
Casanova

Tutores: Ing. Pedro López, Mg. Ing. Silvia Poncio e Ing. Pablo Audoglio

Facultad de Tecnología Informática - Universidad Abierta Interamericana  
Rosario, Santa Fe, Argentina

lauroomar\_c@hotmail.com {jiezimendi,juan.nieva94}@gmail.com  
ingpedrolopez@yahoo.com.ar {silvia.poncio,pablo.audoglio}@uai.edu.ar

**Resumen** El propósito de este documento es la presentación de un marco para la construcción de un sistema de cultivo hidropónico automatizado, con módulos de expansión para el cultivo múltiple, de manera que éstos tengan un costo menor; desarrollado enteramente bajo plataformas de open-source, Arduino, Arduino IDE, Angular 5 y Angular Material. El objetivo principal del hardware es el control de los factores que afectan al cultivo en un sistema hidropónico de tipo NFT; recolectando datos mediante módulos de sensado y la corrección de factores de crecimiento con una variedad de actuadores.

Los ajustes son provistos por una aplicación, simple y amigable, que permite ver datos históricos recolectados por los sensores y la posibilidad de ajustar rangos de actuación para las variables de cultivo. Dicha aplicación permite acceder y utilizar características de manera más fácil y sencilla.

**Keywords:** Automatización · hidroponía · Arduino · Angular · aHydro.

## 1. Introducción

El gran crecimiento de las urbes en los últimos años, sobre todo desde el 2007 donde se registró que el 50 % de la población mundial ya residía en ellas[1], incluye entre otras cosas un reducido espacio habitacional y en su gran mayoría la ausencia de suelo terroso; estos son grandes impedimentos para el cultivo.

La hidroponía, es un método de cultivo sin necesidad de suelo donde las plantas reciben los nutrientes necesario a través del agua y cuyo sistema es de fácil adaptación espacial[2]. Este método permite el cultivo de una gran variedad de cosechas como ser: lechuga, tomate entre otros vegetales y rosas y claveles entre algunas variedades de flores.

El control automatizado de los factores que afectan al crecimiento del cultivo, trae ventajas como ser: reducción de tiempo de cultivo y de mantenimiento, mayor producción y reducción de costos.

En un ambiente urbano con lo que todo esto conlleva, un sistema hidropónico es una excelente solución para poder disponer de un cultivo casero; la cantidad de factores a tener equilibrados hacen de este sistema un excepcional candidato

a ser automatizado; pero ¿y si queremos tener más de un tipo de planta?, con esto en vista se puede compartir el sistema lo cual no sería óptimo, ó se puede instalar varios sistemas lo cual aumenta en gran medida los costos; una solución a estos problemas es un sistema modular, con recursos compartidos como ser: el controlador ó cerebro, un software que pueda ser utilizado en una pc o en teléfono móvil y un canal de comunicación, reduciendo en gran medida el factor económico.

## 2. Descripción del sistema

El sistema se controla a través de una aplicación sencilla que corre sobre un navegador web, permitiendo su uso en diversos dispositivos que dispongan de herramientas de conexión. Esta misma interactúa con el módulo principal, por medio de un servicio HTTP de tipo API<sup>1</sup>, el cual proporciona almacenamiento de datos históricos en un tarjeta de memoria, el manejo de los sensores y actuadores de sí mismo y un centro de distribución de información y comandos a los módulos de expansión; estos últimos son una simplificación de los anteriores y basan su comportamiento en las instrucciones recibidas para monitorear y corregir los factores de cultivo.

Una combinación de tres componentes principales permite la realización del sistema: la estructura, compuesta principalmente de los canales de distribución de la solución nutritiva, utilizando tubos y canaletas de PVC con un diámetro que escala proporcionalmente al tamaño del sistema y de las raíces de los cultivos, y el tanque contenedor de la solución nutritiva.

En segunda instancia se tiene el hardware compuesto por componentes de control y comunicación, placas controladoras de la marca Arduino (véase Apéndice B), adaptadores de red para proporcionar el servicio HTTP y se utilizan sensores de pH, conductividad eléctrica, temperatura del ambiente y la solución nutritiva, humedad e iluminación como medio de realimentación para el sistema de control de lazo cerrado y actuadores para la corrección de dichos factores.

Por último se tiene el software para la aplicación del control de automatización y la interfaz humano-máquina. El primero de estos desarrollado en Angular<sup>2</sup>, con el firme objetivo de que sea sencilla de comprender y utilizar, para conseguir una interacción amigable. El segundo categorizado dentro de firmware<sup>3</sup>, desarrollado en C++ y con la IDE Arduino<sup>4</sup>, contiene la lógica necesaria para la automatización, almacenado de datos y la prestación del servicio HTTP.

<sup>1</sup> Interfaz de programación de aplicaciones (del inglés Application Programming Interface), es un conjunto de rutinas que provee acceso a funciones de un determinado software.

<sup>2</sup> Angular es un framework open-source, para el desarrollo de aplicaciones web, basado en typescript, el cual extiende la sintaxis de JavaScript.

<sup>3</sup> El firmware es un conjunto de instrucciones de un programa informático que se encuentra registrado en una memoria ROM, flash o similar. Estas instrucciones fijan la lógica primaria que ejerce el control de los circuitos.

<sup>4</sup> La IDE provista por la empresa Arduino es una utilidad de desarrollo, para lenguajes C y C++, con facilidad para la escritura y la actualización del firmware.

### 3. Diseño

Los objetivos a los que apunta este desarrollo son:

- Optimización de los factores que afectan al crecimiento de los cultivo
- Posibilidad de ampliación para cultivar múltiples variedades
- Implementación del sistema en un ambiente urbano
- La automatización de dicho proceso

Un sistema de lazo cerrado implementado en conjunto con una placa controladora, en este caso arduino, proporcionan las características necesarias para optimizar el cultivo al ser más estables y capaces de integrar gran variedad de parámetros a través de su realimentación.

Al hablar de un ambiente reducido y en muchas ocasiones complejo la utilización de una estructura que sea de fácil adaptación (véase Apéndice D) es un requisito fundamental, un sistema hidropónico de tipo NFT (véase Apéndice C), tiene pocas restricciones en cuanto a implementación. El uso de múltiples sistemas como el descrito para el cultivo de diversas variedades es la opción obvia, introduce un factor que no puede ser descartado, el económico; para reducir esta problemática el sistema será modular con la capacidad de compartir tecnología. Por este motivo se desarrolla dos tipos de módulos: uno principal, necesario como base del sistema, capaz de proporcionar una interfaz para la configuración de los parámetros de trabajo, de almacenar los registros históricos censados por sí mismo y los módulos de expansión, comunicarse con los mismos en orden de gobernador y teniendo en cuenta este objetivo inducido compartir sensores que elevan el valor del producto en manera significativa y no requieren de un sensado constante.

#### 3.1. Conectividad

El presente desarrollo requiere de dos tipo de comunicación: UI<sup>5</sup>-Controladora y Controladora-Controladora. En la primera clase los sujetos intervinientes son el módulo principal y la aplicación de administración (ver Fig. 1), para esto se usa una arquitectura de software REST, sobre un protocolo HTTP para generar un comunicación cliente/servidor.

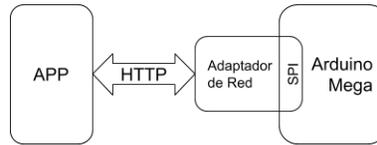
El servidor se encuentra en la placa controladora del módulo principal, Arduino Mega 2560 (véase Apéndice B.1), esto se consiguió mediante la implementación de un servicio web que corre sobre el microcontrolador y se hace uso de un módulo adaptador de red para transmitir; el mismo hace uso de cuatro pines del Arduino Mega para establecer una conexión mediante SPI<sup>6</sup>.

Para obtener una comunicación de tipo Controladora-Controladora, la misma se utiliza para conectar los módulos de expansión con el principal, para esto existen dos alternativas viables, que han sido evaluadas en función del ambiente,

<sup>5</sup> Interfaz de usuario (del inglés User Interface).

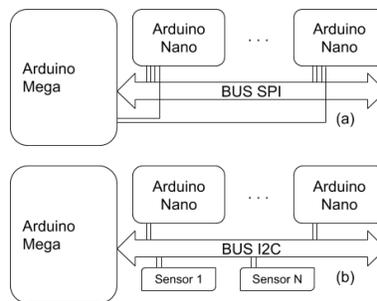
<sup>6</sup> Estándar de comunicaciones (del inglés Serial Peripheral Interface), es un bus serie de datos regulado por un reloj.

4 aHydro



**Figura 1.** Representación esquemática de la comunicación UI-Controladora.

por una parte se puede optar por una conexión física mediante protocolos como ser SPI e I2C<sup>7</sup> (ver Fig. 2), los cuales utilizan tres pines más uno por cada expansión ó dos pines del Arduino Mega en ese orden, estos están limitados en cuanto a la longitud de los cables que se utilizan para las conexiones. La otra opción es el uso de una conexión inalámbrica lo cual requerirá que a cada módulo se le añada un adaptador que proporcione dicha capacidad como ser el NRF24L01, este último si bien no tiene una restricción tan acotada en términos de distancia incrementa el costo económico significativamente a comparación del anterior.

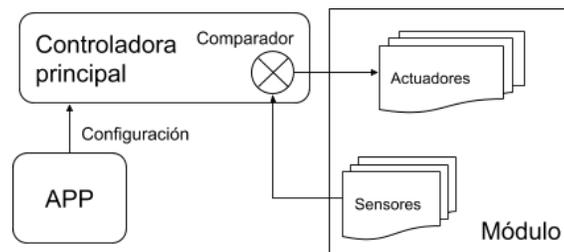


**Figura 2.** (a) Representación de la comunicación entre módulos con el uso de SPI. | (b) Representación de la comunicación entre módulos con el uso de I2C.

### 3.2. Control

Como ya se mencionó para el control se utiliza la topología de lazo cerrado, la cual basa su comportamiento en la existencia de una realimentación, para la que se utilizan sensores y luego una serie de actuadores para corregir el estado del sistema (ver Fig. 3), esto requiere dos componentes más: un comparador, el mismo se encuentra implementado dentro de la placa controladora de cada módulo, y una configuración de parámetros; esta última se establece por medio de la aplicación de administración, y es almacenada y distribuida por la controladora principal.

<sup>7</sup> Circuito inter-integrado (del inglés Inter-Integrated Circuit), es un bus serie de datos.



**Figura 3.** Esquematación de la integración de un control de lazo cerrado y una placa controladora. Módulo principal.

### Variables a controlar

*Oxigenación de la solución nutritiva.* El sistema NFT mantiene la solución nutritiva oxigenada por medio de su propia circulación.

*Conductividad eléctrica y pH de la solución nutritiva.* La mantención de la solución nutritiva es uno de los requerimientos primordiales en el sistema NFT, puesto que debido a la recirculación estos factores se pueden ver alterados con más facilidad.

Gravity Analog pH Sensor es un kit, de DFRobot, que contiene el propio sensor de pH y el adaptador para su conexión con módulos Arduino, la elección está basada en su bajo costo, dimensiones físicas y su precisión. Este mismo tiene un rango de 0 a +14 pH y una precisión de  $\pm 0.1$  pH.

Gravity Analog EC[13], un kit con interfaz de conexión para la plataforma Arduino para un sensor de conductividad eléctrica y un sensor DS18B20, sensor de temperatura a prueba de agua, al cual se entrará en detalle en el siguiente punto. Este kit es una opción económica con aceptables características de medición por lo cual es el elegido.

La corrección de ambos factores ha de ser realizada por parte del usuario al cual se le informará por medio de la aplicación de administración. Tanto para la corrección del factor pH como el EC se informará de distintas opciones y las cantidades correspondientes de distintos productos que deberán ser agregados a la solución nutritiva para su corrección.

*Temperatura y humedad.* La temperatura es medida en el ambiente que rodea al sistema junto con la humedad, un sensor integrado con ambas funciones y modular para la plataforma arduino, el DHT22 (SparkFun) provee las características adecuadas (ver Cuadro 1). La temperatura de la solución nutritiva también es sensada mediante un sensor a prueba de agua, en este caso DS18B20 (Maxim Integrated) el cual también provee una interfaz de comunicación con la plataforma Arduino, junto a su rango de temperatura, de  $-55$  a  $+125$  °C con un error de  $\pm 0.5\%$  °C, y a un precio razonable[14].

6 aHydro

Para la corrección de la temperatura cuenta con un calentador de agua de uso comercial y un sistema de ventilación, ambos con sus módulos interfaz; compuestos por un relé con su correspondiente optoacoplador.

**Cuadro 1.** Características del sensor DHT22 (SparkFun).

Sensor	Rango	Precisión
Humedad	0 a 100 %RH	$\pm 2$ %RH
Temperatura	-40 a +80 °C	$\pm 0.5$ % °C

*Iluminación.* Para el sensado de este factor existe una variedad para elección desde fotoresistencia, el más económico y también el de menor precisión, hasta luxómetros que cuentan con diodos fotoresistivos (uno para el espectro infrarrojo y otro para el rango visible); este último de mucha mayor precisión. Los módulos cuentan con un sistema de iluminación propio, con tecnología LED.

*Recirculación de la solución nutritiva.* El control del nivel en el tanque de la solución nutritiva, está fuera del alcance del proyecto si bien en el tanque contenedor existen indicadores de máximo y mínimo.

Para la recirculación de la solución nutritiva se utiliza una bomba agua peristáltica, con su interfaz para la conexión con la plataforma. El módulo de interfaz es “Doble Puente H Driver L298n” un control para motores de tipo CC<sup>8</sup>.

### 3.3. Almacenamiento histórico y visualización de datos

Con dos metas, estrechamente conectadas entre sí, se registran todos los datos obtenidos por los sensores, esta característica permite al usuario consultar los registros de los parámetros de automatización para poder realizar ajustes más exactos en base a los cultivos previos y los resultados obtenidos, si bien el análisis de estos datos y la corrección de las variables es realizada por el usuario, sienta las bases para que en un futuro con suficientes datos en, el análisis y la configuración se brinde de forma automática. Como medio no volátil para el almacenamiento de los datos se utiliza una tarjeta de memoria flash, esta se conecta a través de un módulo que adapta la diferencia de voltaje de funcionamiento con la placa de control del módulo principal y se comunica a través del SPI por lo cual solo se necesitará el uso de un puerto extra, ya que el mismo ya está en uso por la tarjeta adaptadora de red (véase Fig. 2.a). La aplicación de administración cuenta con un tablero de visualización compuesto por gráficas interactivas, con periodos de tiempo y escalas de visualización modificables para la comodidad del usuario.

<sup>8</sup> Corriente continua.

## 4. Conclusiones

En un principio el sistema contaba con una interfaz humano-máquina implementada directamente en el hardware, un display LCD de 16 caracteres por 2 líneas y una botonera; el desarrollo de la aplicación de control no solo brinda una solución más contemporánea a la época que transcurre, reduciendo una característica humana: la resistencia al cambio; sino que también nos permite acceder a los datos censados durante el proceso cultivo de manera dinámica y sencilla.

El uso de un sistema hidropónico, proporciona facilidades de cultivo donde los medios tradicionales pueden ser un incordio. Las diferencias de necesidades entre las diferentes plantas, fue uno de las principales problemáticas a la hora del diseño, también fue el impulsor para un desarrollo modular, puesto que el mismo puede proveer los factores de crecimiento de manera especializada.

Como se menciona a lo largo del documento el sistema mantiene un registro de datos históricos, la posibilidad de obtener un conjunto de datos lo suficientemente importante, sobre cultivos y su condiciones de crecimiento en una amplia variedad de ambientes, abre un nuevo campo de interés, para la optimización de los valores de control.

## 5. Trabajos futuros

Si bien lo ideal sería definir una colección de compuestos nutritivos y factores de corrección del pH, para completar la automatización, la dificultad de conseguir las variedades específicas requeridas hace a la tarea difícil, un método para la corrección de esto es lo siguiente para este proyecto, como ser: la implementación de un sistema de ayuda de cálculo de cantidades de los compuestos a los que el usuario tiene acceso es lo siguiente para este proyecto.

## Referencias

1. Oliva, L.: "El siglo de las ciudades. Por qué las grandes urbes crecen más allá de sus propios países". La Nación, 2 de noviembre de 2014.
2. Ing. Castañeda F.: MANUAL TÉCNICO DE HIDROPONIA POPULAR (CULTIVOS SIN TIERRA)". INCAP MDE/104 versión electrónica, junio de 1997.
3. HYDRO ENVIRONMENT S.A. ¿Qué es una solución nutritiva?, <http://hydroenv.com.mx/>
4. HYDRO ENVIRONMENT S.A. ¿Qué es un sustrato?, <http://hydroenv.com.mx/>
5. Generación Verde. Sistemas hidropónicos, <https://generacionverde.com/>
6. Wikipedia Automatización, [https://es.wikipedia.org/wiki/Automatización\\_industrial](https://es.wikipedia.org/wiki/Automatización_industrial)
7. Agriculturers, <http://agriculturers.com/aprende-sobre-el-sistema-hidroponia-nft/>
8. Arudino, Main page, <https://www.arduino.cc/>
9. Angular, Docs page, <https://angular.io/>
10. Arudino, Store page, <https://www.arduino.cc/>

11. <http://todohidroponico.com/2009/02/temperatura-ideal-del-agua-en-cultivo-hidroponico.html>
12. Bizuet García, A.: Desarrollo e instrumentación virtual para un invernadero hidropónico de lechuga Simpson, febrero 2014.
13. <https://www.sparkyswidgets.com>
14. Sparckfun, datasheet DTH22.

## Apéndice A Sistemas hidropónicos

Este tipo de cultivo está libre de la necesidad de un suelo fértil, gracias a sus distintas variantes permite la adaptación de su estructura, siendo esta simple o compleja, para adecuarse a espacios reducidos como ser balcones, azoteas, departamentos ó ambientes externos con suelo infértil e invernaderos[2].

En la variedad de los sistemas existe un componente que se mantiene; un contenedor donde han de crecer los cultivos, y se encuentran sustratos y soluciones de nutrientes.

La solución nutritiva es un conjunto de compuestos disueltos en agua que contiene los elementos necesario para el crecimiento de los cultivos[3]. Mientras que los sustratos son medios inertes y sólidos que brindan base para el crecimiento de las raíces del cultivo, teniendo como funciones principales el proteger las raíces y mantener la solución nutritiva disponible[4].

## Apéndice B Placa controladora

Existe una gran variedad en soluciones para esta incógnita entre las de más renombre: PLC (controlador lógico programable), la variedad de productos ofrecidos por intel en su categoría IoT (internet of things - Internet de las cosas), Raspberry Pi otra plataforma muy completa, por último otra plataforma de renombre Arduino, para esta plataforma existe una gran variedad de extensiones como ser sensores, actuadores e interfaces de comunicación.

Teniendo en cuenta los requisitos mínimos de control, comunicación y el factor económico, se utiliza la plataforma Arduino. Esta selección también avalada por la gran variedad de expansiones de la misma, sensores, actuadores e interfaces de comunicación entre otras.

De los requisitos impuestos intrínsecamente por la funcionalidad, y el factor económico; Arduino Mega 2560 es la opción para la módulo principal y Arduino Nano para los módulos secundarios.

### B.1 Arduino Mega 2560

Arduino Mega 2560 es una plataforma basada en un microcontrolador (ATmega2560), esta placa tiene 256 Kb de memoria flash en la cual se alberga el firmware (programa que se ejecuta en el microcontrolador). Esta plataforma provee un PWM<sup>9</sup> de hasta 8 bit, una capacidad de entrada analógicas de hasta

<sup>9</sup> Modulación por ancho de pulsos (del inglés Pulse-Width Modulation).

16 bit y hasta 54 bit de salidas digitales programables tanto como entradas o salidas[10].

Esta placa también provee una amplia variedad de soluciones para comunicación como ser: USB, UASRTs, TWI, SPI e I2C.

## B.2 Arduino Nano

Esta placa tiene como base un microcontrolador(ATmega328P) el cual tiene 32 Kb de memoria flash donde se alberga el firmware.

Esta placa provee un PWM de hasta 8 bit, entradas analógicas, 8 como máximo, y 14 bit digitales programables tanto como entradas o salidas[10]. Esta placa también provee una variedad de soluciones para comunicación: USB, UASRTs e I2C.

## Apéndice C Sistema hidropónico NFT

Este sistema crea un flujo recirculante de solución nutritiva que entra en contacto con la raíz (ver Fig. 4), al tener un período regular solo es necesario una mínima cantidad de sustrato para sostener la raíz, sí este se utiliza en mayor medida la frecuencia de recirculación puede ser reducida ya que el mismo almacena porciones de solución[5].



**Figura 4.** Representación de un sistema hidropónico NFT[5].

## Apéndice D Factores estructurales

La longitud del canal debe mantenerse debajo de los 15 a 20 metros por encima de esto la oxigenación de la solución disminuye. Por otro lado el ancho del canal debe ser de mínimo 10 centímetros. Estos canales deben tener una

10 aHydro

pendiente para permitir el retorno de la solución a su tanque, está pendiente suele estar entre el 1 y 2 %.

Un flujo de solución de nutrientes adecuado oferta a las plantas una proporción adecuada de nutrientes, oxígeno y agua.

Estas estructuras pueden ser diseñadas dentro de un amplio abanico de posibilidades ya que son muy pocos los factores que afectan a su estructura.