

# CULTIVO HIDROPÓNICO AUTOMATIZADO CON MICROCONTROLADOR RASPBERRY PI

## AUTOMATED HYDROPONIC CROP WITH MICROCONTROLLER RASPBERRY PI

INTURIAS SANTANDER, C. G

### RESUMEN

Uno de los modelos más antiguos de la historia de la hidroponía se remonta a los jardines colgantes de Babilonia. En 1928, Gericke, fue el primero en proponer que los cultivos en solución acuosa se utilizasen para la producción vegetal agrícola, causando conmoción al producir tomates que alcanzaron tamaños considerables. Actualmente, existen empresas en el mundo que no solo optan por la técnica de cultivos alternos, sino que también las automatizan, por ejemplo, Spread es una empresa japonesa experta en este tipo de emprendimientos. Se utilizó una metodología aplicativa, ya que se estableció un proceso para demostrar que se podría utilizar una plataforma más económica que el PLC para poder realizar un sistema automatizado de cultivo hidropónico, se tomaron en consideración la automatización, microcontroladores y energía para lograr dicho objetivo, se tuvo en cuenta la capacidad de las potencias requeridas por los instrumentos a utilizar, además de programación de lenguaje Python para codificar el algoritmo del proceso. El resultado dado fue que se pudo controlar el proceso al utilizar como indicadores de salida a los Relays, los cuales con una señal de 5V DC, voltaje que permitía el Raspberry Pi, se logró la apertura o cierre del canal de alimentación de los ítems a regular: las luces LED, electroválvulas, ventiladores y motor de agua. Mediante un adaptador de señal analógica a digital dada por el sensor de pH, se calibró él mismo para dar la señal de nivel de pH de la solución nutritiva. En conclusión, se logró diseñar un sistema automatizado de un cultivo hidropónico, el cual además es escalable y con acceso a una máquina virtual mediante una Tablet o Smartphone, ya que es una de las ventajas que brinda el controlador de Raspberry Pi.

### PALABRAS CLAVE

Agricultura de precisión, Hidroponía, microcontroladores, Python

### ABSTRACT

One of the oldest models in the history of hydroponics dates back to the hanging gardens of Babylon. In 1928 Gericke was the first to propose that aqueous solution crops be used for agricultural plant production, causing shock by producing tomatoes that reached considerable sizes. Currently, there are companies in the world that not only opt for the alternative cultivation technique, but also automate them, for example, Spread is a Japanese company expert in this type of undertaking. An application methodology was used, since a process was established to demonstrate that a more economical platform than the PLC could be used to carry out an automated hydroponic cultivation system, automation, microcontrollers and energy were taken into account to achieve this objective. The capacity of the powers required by the instruments to be used was taken into account, in addition to programming the Python language to encode the algorithm of the process. The result given was that the process could be controlled by using the Relays as output indicators, which with a 5V DC signal, voltage allowed by the Raspberry Pi, the opening or closing of the power channel of the items to be achieved Regular: LED lights, solenoid valves, fans and water motor. Using an analog-to-digital signal adapter given by the pH sensor, it calibrated itself to give the pH level signal of the nutrient solution. In conclusion, it was possible to design an automated hydroponic cultivation system, which is also scalable and with access to a virtual machine through a Tablet or Smartphone, since it is one of the advantages offered by the Raspberry Pi controller.

### KEYWORDS

Precision agriculture, Hydroponics, microcontrollers, Python

## INTRODUCCIÓN

**E**n Bolivia, también existen empresas e instituciones dedicadas al avance y uso de técnicas hidropónicas para desarrollo de productos de mejor calidad en el mercado como ser: el Centro de Investigación y Producción Hidropónica, en Santa Cruz de la Sierra y la empresa Quinta Manantial. (CIPH, 2017)

El Cultivo Hidropónico nace con la finalidad de responder a las necesidades de los mercados, comercializando miles de toneladas.

Dicho empleo de técnicas y maquinaria avanzada reducen riesgos como la dependencia de factores climáticos o la mano de obra, incorporando sistemas mucho más eficaces. (MSC Invernaderos, 2017)

Entre las características que podemos citar de los sistemas de cultivos hidropónicos son las siguientes:

Es caracterizada por incorporar la ciencia y la tecnología para ser más eficiente.

Ahorra recursos como tiempo y dinero logrando así una mayor producción en cantidad, calidad y beneficios en general.

Utiliza técnicas de automatización para reducir el riesgo de la dependencia eliminando así problemas muy frecuentes como el clima y la acción de mano de obra.

El mantenimiento es más completo y minucioso respecto a los fertilizantes, control de plagas entre otros.

Existen diversos tipos de sistemas hidropónicos. La elección de un sistema hidropónico depende de los recursos disponibles, las especies que se desean cultivar: hortalizas, hierbas y plantas ornamentales; ante lo cual se tiene muchas ventajas desde un punto de vista tanto económico como ecológico, ya que permite obtener cultivos sanos, uniformes y que se desarrollan con mayor rapidez que aquellos producidos mediante las técnicas agrícolas convencionales. (Generación Verde, 2018)

El sistema de NFT (Nutrient Film Technique) que, traducido al español significa “la técnica de la película de nutriente”, es el sistema hidropónico re circulante más popular para la producción de cultivos en el mundo. El sistema se basa principalmente en la reducción de espacio y comprende una serie de diseños, en donde el principio básico es la circulación continua de solución nutritiva a través de las raíces, que pasa por una serie de canales. (Hydro Environment, 2018)

En cada canal hay aberturas donde se colocan las plantas, éstas, pueden estar dentro de canastillas especiales con un medio de sostén (Tezontle, Fibra de coco), o en pequeños vasos, estos canales están apoyados sobre mesas o caballetes que pueden tener una ligera pendiente o desnivel (0,51%) que facilita la circulación de la solución nutritiva, dependiendo del diseño del sistema.

La solución es recolectada y almacenada en un recipiente ya sea cubeta o un tanque (esto depende del volumen de la solución nutritiva) a través de una bomba que permite la circulación de la solución nutritiva por los canales de cultivo. Esta recirculación mantiene a las raíces en contacto permanente con la solución nutritiva, favoreciendo la oxigenación de las raíces y un suministro adecuado de nutrientes minerales para el desarrollo de las plantas.



Fig. 1. Tipos de sistemas hidropónicos (Generación Verde, 2018)

Así mismo, la temperatura de la solución nutritiva tiene relación directa con la cantidad de oxígeno consumido por la planta; es decir, que cuando la temperatura es menor a 22 °C, el oxígeno disuelto es suficiente para abastecer la demanda, en cambio a temperaturas mayores a 22 °C, la cantidad de oxígeno disuelta en la solución nutritiva comienza a disminuir y en casos muy obvios, es necesaria la utilización de bombas de aire para compensar esta pérdida. Un sistema de control puede definirse como un ente que recibe variables de entrada y, cuya respuesta son variables de salida. El control digital es una implementación de control empleando lógica programada.

El sistema de control digital cumple la misma funcionalidad de un sistema de control, lo que caracteriza este sistema de control digital es que trabaja sobre cantidades físicas o información representadas en forma digital, manejada por un micro computador.

Un sensor es un objeto capaz de variar una propiedad ante magnitudes físicas o químicas, llamadas variables de instrumentación, y transformarlas con un transductor en variables eléctricas. Las variables de instrumentación pueden ser, por ejemplo: intensidad lumínica, temperatura, distancia, aceleración, inclinación, presión, desplazamiento, fuerza, torsión, humedad, movimiento, pH, etc

Actuadores son dispositivos capaces de transformar energía hidráulica, neumática o eléctrica en la activación de un proceso con la finalidad de generar un efecto sobre un proceso automatizado.

Según la definición teórica, se entiende lenguaje como sistema de comunicación que posee una determinada estructura, contenido y uso. La programación es, en el vocabulario propio de la informática, el procedimiento de escritura del código fuente de un software.

De esta manera, puede decirse que la programación le indica al programa informático qué acción tiene que llevar a cabo y cuál es el modo de concretarla. (Porto & Merino, 2009)

Python es un lenguaje de programación multipropósito de alto nivel.

Su filosofía de diseño enfatiza la productividad del programador y la legibilidad del código. Tiene un núcleo sintáctico minimalista con unos pocos comandos básicos y simple semántica, pero además tiene una enorme y variada librería estándar, que incluye una Interfaz de Programación de Aplicaciones (API) para muchas de las funciones en el nivel del sistema operativo.

Se trata de un lenguaje de programación multi paradigma, ya que soporta orientación a objetos, programación imperativa y funcional.

Administrado por la Python Software Foundation, y posee una licencia de código abierto, denominada Phyton Software Foundation License 1. (Pierro, 2018)

El Microcontrolador es un circuito integrado que es el componente principal de una aplicación embebida. Es como una pequeña computadora que incluye sistemas para controlar elementos de entrada/salida. También incluye a un procesador y por supuesto memoria que puede guardar el programa y sus variables (flash y RAM). Funciona como una mini PC.

Su función es la de automatizar procesos y procesar información.

El microcontrolador se aplica en toda clase de inventos y productos donde se requiere seguir un proceso automático dependiendo de las condiciones de distintas entradas. (E-Marmolejo, 2017) Se diseñó un del Sistema Hidropónico Controlado de manera no experimental, cualitativo, exploratorio.

Es un circuito electrónico que actúa como Unidad Central de Proceso (CPU) de una computadora. Llamados por muchos como el "cerebro". Es un circuito microscópico constituido por millones de transistores integrados en una única pieza plana de poco espesor. El microprocesador (micro) se encarga de realizar todas las operaciones de cálculo y de controlar lo que pasa en la computadora recibiendo información y dando órdenes para que los demás elementos trabajen. (EcuRed, 2018)

La Raspberry Pi es una computadora del tamaño de una tarjeta de crédito que se conecta a su televisor y a un teclado. Es una pequeña computadora capaz que se puede utilizar en proyectos de electrónica y para muchas de las cosas que hace su PC de escritorio, como hojas de cálculo, procesamiento de textos, navegación por Internet y juegos. También reproduce video de alta definición. (Raspberry Pi, 2018)

## MÉTODOS Y MATERIALES

Motor de bomba de agua  
Sensor humedad y temperatura  
Manguera  
Ventilador Cooler  
Buzzer  
Electroválvula  
Tubo PVC (1 m.)  
Pegamento PVC  
Codo PVC  
Módulo Relé doble canal  
Cable Jumper  
Cable #12  
Interruptor 220 V AC  
Foco LED 50 W  
Soquete  
Kit sensor PH AD  
Raspberry Pi 3 model B  
Arduino UNO  
Sensor de flujo de agua 1/2" YF-S201  
UPS 500 W

Tabla 1. Comparación plataformas Arduino y Raspberry Pi

	Arduino	Raspberry pi
Publicación	2005	2012
Página web	arduino.cc	raspberrypi.com
Tipo	Microcontrolador	Microprocesador
Voltaje de entrada, V	7 a 12	5
DC		
Velocidad del reloj, MHz	16	700
Multitarea	No	Sí
Tamaño, cm	7.6 x 1.9 x 6.4	8.6 x 5.4 x 1.7
Memoria MB	0.002	512MB
Memoria	Flash 32 KB	Tarjeta SD (2 a 16 GB)

(Hacedores, 2014)

Para el diseño del Sistema Hidropónico Controlado: Se eligió la plataforma a utilizar para la elaboración del sistema automatizado de cultivo hidropónico, se hizo una comparativa entre las dos opciones dadas, las cuales vendrían a ser Arduino y Raspberry Pi.

Luego de la selección se comparó entre los modelos de la plataforma seleccionada que estuvieran disponible en el mercado con la capacidad de abarcar el proyecto, para de esta manera demostrar la ventaja existente por parte de uno de los modelos.

Para la realización del software de control, se descargaron las siguientes librerías necesarias la lectura de la información recibida por los periféricos, visualización de la interfaz gráfica y mostrar gráficos en 2D.

### ADAFRUIT\_DHT

Librería utilizada para poder utilizar el sensor de temperatura y humedad DHT11.

Matplotlib.pyplot

Esta librería es utilizada para poder mostrar gráficos en 2D. Matplotlib es una biblioteca para la generación de gráficos a partir de datos contenidos en listas o arrays en el lenguaje de programación Python y su extensión matemática NumPy. Proporciona una API, pylab, diseñada para recordar a la de MATLAB.

### TKINTER

Es un binding de la biblioteca gráfica Tcl/Tk para el lenguaje de programación Python. Se considera un estándar para la interfaz gráfica de usuario (GUI) para Python y es el que viene por defecto en la instalación para Microsoft Windows.

En el diseño del Sistema Hidropónico Controlado se controlará la Temperatura, pH, Luminosidad, el flujo de agua y nutrientes.

Se seleccionó la fuente de poder y una fuente de emergencia.

## RESULTADOS

Para la elección de la plataforma a utilizar para la elaboración del sistema automatizado de cultivo hidropónico, se hizo una comparativa entre las dos opciones dadas, las cuales vendrían a ser Arduino y Raspberry Pi. En la tabla 1 a continuación se ven datos relevantes de ambas plataformas.

En la tabla 2 se muestra la comparación de los modelos de la plataforma Raspberry Pi.

*Tabla. 2. Características de modelos Raspberry Pi*

Modelo	Pi 1 B+	2 B	3 B
Fecha	15/2/12	1/2/15	29/2/16
CPU	700	900	1200
Clock, MHz	700	900	1200
Memoria RAM	512 MB	1 GB	1 GB
USB	2	4	4
Ethernet	Si	Si	Si
Wi-fi	No	No	Si
Bluetooth	No	No	Si
HDMI	Si	Si	Si
GPIO	8	17	17
UART	Si	Si	Si
Consumo, mA	700	820	1400

(Raspberry, 2012)

Se analizaron las propiedades de tres sensores distintos para la selección del más apropiado para el diseño del proyecto.

La tabla tres muestra las características de cada uno de estos sensores de temperatura.

*Tabla. 3. Comparación de sensores de temperatura*

	LM35	TMP36	DHT11
Sensibilidad, mV por °C	10	10	10
Rango °C	-55 a 150	-40 a 150	0 a 50
Precisión °C	± 0,5	± 2	± 2
Resolución, bits	10	9	8
Tiempo Respuesta, min	4	8	2
Offset, V	0	0.5	0

Para poder crear una fuente artificial lumínica, se decidió tomar en cuenta diferentes aspectos entre las tres posibles fuentes lumínicas a usar, la comparación de las mismas se muestra en la tabla 4.

*Tabla. 4. Características de fuentes de luz artificial*

	Lámpara incandescente	Lámpara LED	Lámpara de halogenuros metálicos
Potencia, W	100	50	400
Luminosidad, lm/m <sup>2</sup>	1500	4000	32000
Cantidad mínima, unidades	8	3	1
Vida útil, horas	1000	25000	20 000
Proveedor	Varios	Varios	Philips

La plataforma elegida para el Sistema Hidropónico Controlado fue el Raspberry Pi 3 B.

Para la determinación de la temperatura se utilizó el sensor DHT11 cuyas características se detallaron en la tabla 3.

La continuidad de la temperatura se utilizó un dispersor de calor marca Cooler Master P80 de 12V DC, y 0,15 a 0,2 A de corriente con disipador de aluminio.

En la determinación de los valores de pH se empleó el Kit de Sensor de pH que se decidió escoger, es uno que se puede conectar a la plataforma escogida mediante un convertidor Analógico Digital, el cual vendría a ser un par de microcontroladores: Atmega328P y Atmega16U2.

Para dar control al rango de pH, serían dos electroválvulas, de las cuales, una liberaría solución ácida, en caso que la solución nutritiva esté en un rango de alcalinidad fuera del rango establecido, y la otra electroválvula liberará solución alcalina, en caso que la solución nutritiva esté en un rango de pH más ácido de lo establecido.

Las características de esta electroválvula:

Diámetro de la entrada: o.d. 6 mm./i.d. 2.2 mm.

Diámetro de salida: d.e. 6 mm./i.d. 2 mm. Voltaje: 12 V DC.

Rango de presión: 0 a 0.4 Mpa. Funcionamiento: 0 a 80°C.

Medio adecuado: Agua o Gas.

La fuente artificial lumínica seleccionada fue luz blanca LED de 50 W de la marca LUMINAR LED debido a que esta es una luz fría, que no produce calor, por lo cual se puede colocar de manera cercana a la planta sin que esta muera sofocada de calor, y así, el sistema de ventilación no se active constantemente, lo cual generaría otro gasto energético más. Además, también está el hecho de que la luz LED es de consumo económico y de una larga duración de vida.

Los fluidos necesarios en el proceso fueron movilizados mediante una bomba de diafragma R385 PLUS de 6-12 V DC y su flujo controlado por el sensor Flujo de agua YF-S201 que se utilizó para poder detectar el correcto funcionamiento del motor, el cual su rango de medición está dentro del flujo de agua que da el motor para la circulación del agua.

**DISEÑO DEL SISTEMA HIDROPÓNICO CONTROLADO**

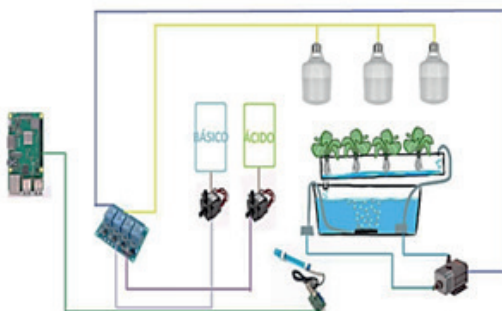


Fig.2. Diagrama del Sistema Hidropónico Controlado

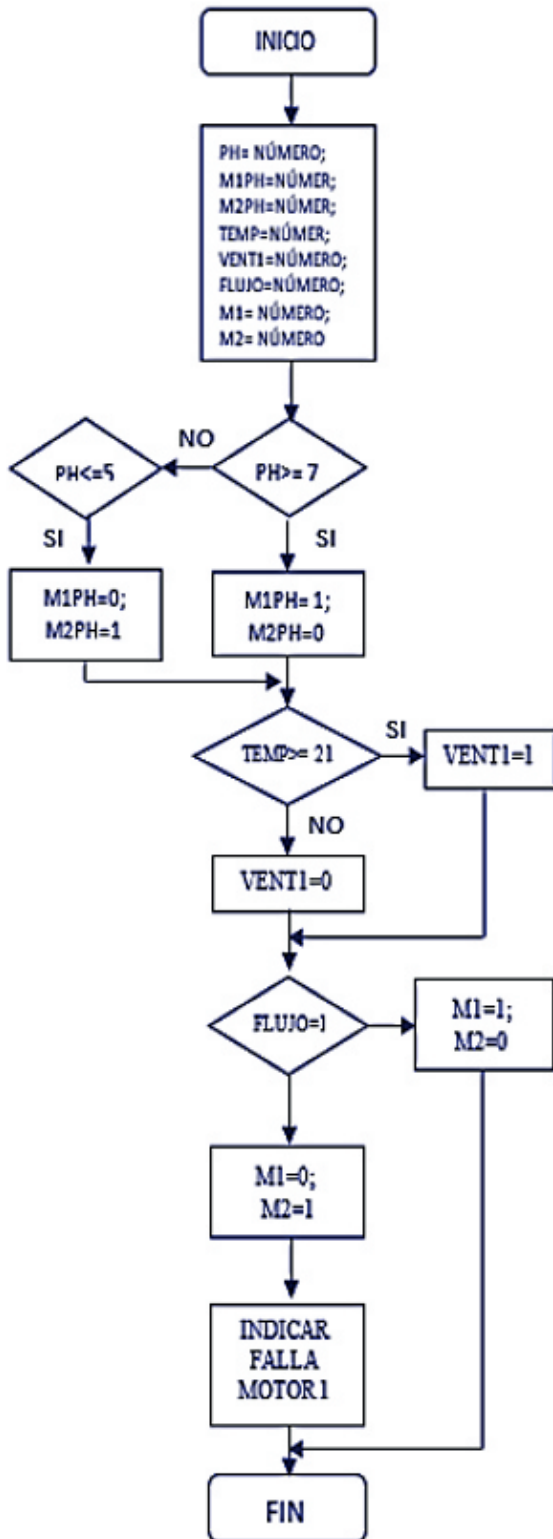


Fig 3. Algoritmo del sistema hidróponico

De este modo, se calibrará el sensor al flujo de caudal del motor, para que, de esta manera al dar un flujo de agua distinta, indicaría que el funcionamiento del motor no es el correcto, activando el sistema de alarma y emergencia del sistema.

Se utilizó una placa de interfaz de dos canales con relés de 5 voltios.

Con esta placa es capaz de controlar variados artefactos y equipos eléctricos que manejan corrientes y voltajes altos. Esta placa puede ser controlada directamente desde cualquier controlador HomeSX, Arduino, PIC, ARM, etc., usando TTL.

Solo se requiere que el microcontrolador proporcione 5 Voltios y 20 mA por cada uno de los dos pines y fácilmente estará comandando artefactos eléctricos de hasta 10 Amperes y 220 voltios en corriente alterna o artefactos de 10 Amperes y 30 Voltios en corriente continua. La conexión dada entre el actuador y la placa de Raspberry Pi 3 Model B, en la cual la clavija hace referencia a la fuente de poder, la cual puede variar dependiendo de la alimentación del actuador, en este caso se dio a una fuente de alimentación de 220V AC, la cual es dada para los focos LEDs, también indicando el tipo de conexión dada en los relés, el cual en la imagen sería normalmente abierto y el común, y cuyo relé se ve alimentado por la Raspberry y recibe la señal de la misma.

El opto acoplador 817c es un diodo LED acoplado con un fototransistor, en un encapsulado DIP de 4 pines que garantiza el aislamiento entre ambos circuitos hasta los 5.000 Voltios RMS, capaz de conmutar en unos 4 µsegundos.

En sí, la razón principal por la cual se integra el dispositivo optocoplador al diseño, es debido a que este puede trabajar con fuentes de los actuadores de corriente tanto alterna como continua, a lo cual, con respecto a la corriente alterna de 220 V, con el que se utiliza para la alimentación de los focos LED.

Por lo que, existe gran probabilidad de que hubiese una subida o bajada inesperada de potencia, lo cual podría dañar el circuito, de esta manera, el optocoplador cumpliría la función de protección del mismo.

Se decidió adherir al diseño una Unit Power System, Ups Cdp R-upr1008i 1000va /410w Autonomía 45min R-upr1008i, ya que este sirve en caso de emergencia en alguna caída de energía eléctrica, permitiendo la autonomía de al menos 30 minutos, en los cuales el personal a cargo puede llamar en dicho caso a la empresa proveedora de energía eléctrica y pueda solucionar el problema, de esta manera se mantiene el flujo de agua de manera constante por al menos 45 minutos más.

Este dispositivo se usaría solo en caso extremo de un corte de luz, sin embargo, este posee un tiempo limitado por lo cual solo da el suficiente tiempo para poder buscar una solución ante el incidente, como ser ponerse en contacto inmediato con la empresa proveedora de electricidad.

Se desarrolló el algoritmo en base a las necesidades del cultivo para poder automatizar el proceso, basándose en el lenguaje Python, el cual fue usado en la plataforma de Raspberry Pi.

## DISCUSIÓN

El diseño del sistema integrado de hardware y software para la automatización del sistema hidropónico cuenta con algoritmo de control y gestión de variables intervinientes en el mismo, por lo que le brinda un ambiente óptimo y eficiente para el desarrollo de las plantas en los cultivos hidropónicos.

En cuanto a la potencia necesitada para el actual diseño propuesto, se debe considerar un voltaje de 12 VDC y corriente de 5A., y de 220V AC para la iluminación de los focos LED. Ya que, si se da una corriente menor a la de 5A, el sistema empieza a mostrar fallas y no provee las condiciones ambientales necesarias para el desarrollo.

En este caso, no se vio conveniente la integración de un sistema de calefacción, ya que la gran mayoría de los cultivos dados en Santa Cruz de la Sierra no presentan problemas con respecto a las temperaturas mínimas registradas en los últimos años en el departamento, por lo cual, sería un uso ineficiente de recursos económicos en el mismo.

La electrónica y software, se pueden aplicar a las ciencias agrícolas mejorando procesos de cultivos alternativos para dar una mayor producción, sin afectar el medio ambiente, rompiendo la creencia que a mayor producción de alimentos, mayor impacto ambiental, esto debido a que en este proceso no se utiliza el recurso de la tierra, sino que se va viendo nuevos métodos de cultivo alternativos que eviten un mayor impacto al medio ambiente, y con herramientas de tecnología de la automatización se puede lograr de manera aún más eficiente.

Se logra desarrollar un algoritmo para el proceso de cultivo hidropónico y programarlo en Python, a modo de poder utilizar como controlador principal la Raspberry Pi, reduciendo costos.

Se pueden considerar también la conductividad eléctrica de la solución nutritiva, la integración de un sistema de calefacción, para poder adaptar el sistema en climas fríos.

## REFERENCIAS

CIPH. (octubre de 2017). Taller de Hidroponía. (C. Inturias, Entrevistador) EcuRed. (22 de abril de 2018). Recuperado el 22 de abril de 2018, de <https://www.ecured.cu/Microprocesador>  
E-Marmolejo, D. R. (12 de noviembre de 2017). HETPRO. Recuperado el 22 de abril de 2018, de <https://hetpro-store.com/TUTORIALES/microcontrolador>

CITA

