

# "PROTOTIPO DE SISTEMA DE RIEGO AGRÍCOLA AUTÓNOMO BASADO EN ARDUINO E INTERNET DE LAS COSAS A ESCALA DE LABORATORIO, ALIMENTADO POR UN SISTEMA FOTOVOLTAICO"

## "PROTOTYPE OF AN AUTONOMOUS AGRICULTURAL IRRIGATION SYSTEM BASED ON ARDUINO AND INTERNET OF THE THINGS AT LAB SCALE, POWERED BY A PHOTOVOLTAIC SYSTEM"

Celestino Hernández

Master en Docencia Universitaria

Investigador | Universidad de Oriente

chernandez@univo.edu.sv

### Resumen

La aplicación de las nuevas tecnologías en todos los campos de la sociedad ha incrementado a partir de la década de los años 90's, y en el sector agrícola ha traído enormes ventajas permitiendo aumentar la calidad y productividad en los cultivos. La poca eficacia y eficiencia de los métodos tradicionales de monitoreo y control empleados en la agricultura generan pérdidas de tiempo y costos para los agricultores. En este artículo se describe el diseño, elaboración e implementación de un sistema de riego empleando hardware y software libre, redes de sensores alámbricos e inalámbricos (WSN), actuadores, dispositivos de comunicación inalámbrica y herramientas TIC's, con el fin de crear un ambiente donde el Internet de las Cosas (IoT) y la Agricultura de Precisión, ofrezca al usuario un mejor control del riego sobre el cultivo, teniendo en cuenta la evapotranspiración.

Nuestro objetivo es crear un sistema de

riego que le permite al agricultor recibir una notificación en su móvil, a través de redes de comunicación de datos SMS indicándole la activación del sistema de riego; Además establece el canal de comunicación con el microcontrolador, permitiendo la emisión y recepción de las señales generadas por los sensores del sistema logrando minimizar el trabajo de las personas.

**Palabras clave:** Arduino Mega 2560, GPRS/GSM SIM900, Sensores, Hardware y Software Libre, evapotranspiración.

### Abstract

The implementation of new technologies in all fields of society has increased since the '90s, and in the agricultural sector, it has brought enormous advantages allowing boosting the quality and productivity of crops. The lack of effectiveness and efficiency of traditional methods of monitoring and controlling used in agriculture leads to a loss of time and costs for farmers. This article describes the design, development, and

implementation of an irrigation system using open hardware and software, wired and wireless sensor networks (WSN), actuators, wireless communication devices, and ICT tools, in order to create an environment where the Internet of Things (IoT) and Precision Agriculture offer the user a better irrigation control over the crop, taking into account evapotranspiration. Our goal is to create an irrigation system that allows the farmer to receive a notification on his cell phone, through SMS data communication networks, indicating the activation of the irrigation system. It also establishes the communication channel with the microcontroller, allowing the emission and reception of the signals generated by the system's sensors, thus minimizing the work of people.

**Keywords:** Arduino Mega 2560, GPRS/GSM SIM900, Sensors, Open Hardware and Software, evapotranspiration.

## Introducción.

El cambio climático es un problema de orden mundial causado por diferentes factores antropogénicos, tales como el incremento de demanda y consumo energético, aumento de la actividad industrial, la deforestación y la producción agrícola no controlada, causando un incremento de las emisiones a la atmósfera de CO<sub>2</sub> y metano, los cuales son los principales gases de efecto invernadero causantes del cambio climático (Miah &

Gammack, 2009) citado por (Acosta Coll, 2013, p. 303).

La población mundial en aumento requiere producir más alimentos y necesita mayores cantidades de agua para regar los cultivos. En muchos países existen problemas de escasez de agua, tratándola como un recurso valioso para la humanidad (Castro Silva, 2016).

Por tanto, la iniciativa de esta investigación fue desarrollar un prototipo de un sistema de riego para contribuir al uso eficiente del agua de manera sostenible, usando tecnología de hardware y software libre, basado en internet de las cosas (IoT); y en el cual se controlaron diferentes variables, tales como humedad y temperatura, con la finalidad de mejorar la producción sostenible del cultivo en cuanto a la fase de crecimiento (tiempo), basándose en tecnologías en la agricultura (TICS) como las redes de sensores tanto alámbricos como inalámbricos, la agricultura climáticamente inteligente y la tecnología móvil la cual hoy en día es un canal comúnmente utilizado para el monitoreo de información.

El objetivo principal de esta investigación fue desarrollar un prototipo de Sistema de riego agrícola autónomo basado en Arduino e Internet de las Cosas a escala de laboratorio, alimentado por un sistema fotovoltaico. Para ello, se buscó utilizar como medio, las redes de datos de la telefonía móvil. Con este sistema se pretende que los costos de producción, adquisición e instalación sean

bajos. La característica principal de este sistema es que hace uso de una tarjeta Arduino Mega 2560, que se comunica con una tarjeta GPRS/GSM SIM900 incrustada sobre ella, la cual permite manipular y accionar los diferentes actuadores y sensores conectados, los que permiten alertar a las personas propietarias de parcelas de cultivos cualesquiera. Esto permite que el costo del sistema sea bajo y que responda a las necesidades de los agricultores ante la eventual falta de mecanismos fáciles para el riego de los cultivos.

### Base teórica.

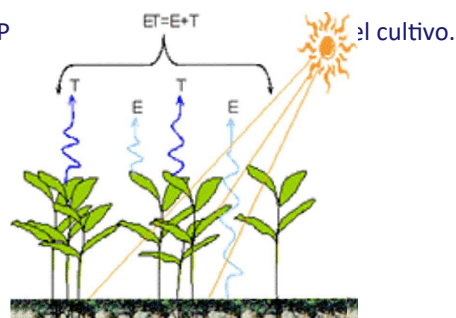
De aquí al año 2050, la población mundial crecerá un tercio. La mayoría de estos dos mil millones de nuevos habitantes vivirá en países en desarrollo. Al mismo tiempo, la mayor parte lo hará en ciudades. La FAO (2013) estima que, si persisten las tendencias actuales de crecimiento de ingresos y consumo, la producción agrícola tendrá que aumentar un 60% para 2050 con el fin de satisfacer la demanda esperada de alimentos y forrajes. Por tanto, la agricultura debe transformarse para alimentar a la creciente población mundial y sentar las bases para el crecimiento económico y la reducción de la pobreza. El cambio climático hará más difícil esta tarea en un escenario sin cambios, debido a los impactos adversos sobre la agricultura, que requerirán esfuerzos de adaptación vertiginosos y costes asociados

cada vez mayores.

Las predicciones realizadas indican que durante los próximos 30 años la producción agrícola aumentará mucho más que lo debido al aumento de población. Aunque se estima que en los países en desarrollo aumenten las importaciones netas de alimentos, la mayor parte de la demanda será satisfecha por incrementos de la producción local. Los aumentos de esta demanda exigen que se conozcan formas eficientes de poder administrar el recurso hídrico, para ellos se deben conocer conceptos como:

**Evapotranspiración:** La Evapotranspiración es la combinación de dos procesos por los que el agua se pierde a través de la superficie del suelo (evaporación) y por la transpiración del cultivo. La unidad de medida de la evapotranspiración es milímetro por unidad de tiempo, que puede ser hora, día, mes o año (Allen, Pereira, & Smith, 2006).

Figura 1. P



Fuente: imagen tomada de [https://www.ecured.cu/Evapotranspiraci%C3%B3n#/media/File:Evapotranpiraci%C3%B3n\\_1.jpg](https://www.ecured.cu/Evapotranspiraci%C3%B3n#/media/File:Evapotranpiraci%C3%B3n_1.jpg)

**Evaporación:** La evaporación es el proceso por el cual el agua líquida se convierte en

vapor de agua (vaporización) y se retira de la superficie evaporante (remoción de vapor). La radiación solar, la humedad atmosférica, la temperatura ambiente y la velocidad del viento son parámetros climatológicos que influyen en el proceso de evapotranspiración. La fuerza que retira el vapor de agua es dada por la diferencia entre el vapor de agua en la superficie evaporante y la presión de vapor de agua de la atmosfera circundante. A medida que se va ocurriendo el proceso de evaporación, el aire del ambiente se satura y el proceso se vuelve lento hasta que el viento retira el vapor que hay alrededor de la hoja.

**Transpiración:** La transpiración consiste en la vaporización del agua líquida contenida en los tejidos de la planta y su posterior remoción hacia la atmósfera. Este proceso se lleva a cabo a través de las estomas de las hojas de las plantas. Al igual que en la evaporación, la radiación solar, la temperatura ambiente, la humedad ambiente y velocidad del viento contribuyen a realizar este proceso.

### Determinación de la Evapotranspiración (ET<sub>o</sub>).

Estimar las necesidades hídricas de los cultivos.

ET<sub>o</sub> representa la tasa de evapotranspiración máxima, o potencial, que puede ocurrir. Sin embargo, el requerimiento de agua de la cosecha es generalmente menos de ET<sub>o</sub>, ya

que son factores relacionados con el cultivo mismo que deben tener en cuenta. Estos incluyen la etapa de crecimiento de la planta, la cobertura de las hojas que sombrea el suelo y otros parámetros del cultivo mismo.

La ecuación de Penman – Monteih

Esta ecuación para calcular la evapotranspiración de referencia, ET<sub>o</sub>, toma en cuenta los parámetros climáticos de temperatura, radiación solar, velocidad del viento y la humedad.

Una variación de esta ecuación, publicado

$$ET_o = \frac{-0.48\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34u_2)}$$

Evapotranspiración de referencia: ET<sub>o</sub> [mm día<sup>-1</sup>],

Radiación neta (R<sub>n</sub>) en la superficie del cultivo: [MJ m<sup>-2</sup> día<sup>-1</sup>],

G: Densidad del flujo de calor [MJ m<sup>-2</sup> día<sup>-1</sup>],

T: temperatura del aire a m de altura [°C],

u<sub>2</sub>: La velocidad del viento a 2 m de altura [m s<sup>-1</sup>],

e<sub>s</sub>: la presión de vapor de saturación [kPa],

e<sub>a</sub>: presión real de vapor [kPa],

e<sub>s</sub> - e<sub>a</sub>: déficit de presión de saturación de vapor [kPa],

D: pendiente de la curva de presión de vapor [kPa °C<sup>-1</sup>],

G constante psicrométrica: [kPa °C<sup>-1</sup>]

Δ pendiente de la curva de presión de vapor: (kPa °C<sup>-1</sup>),

γ Constante psicrométrica: (kPa °C<sup>-1</sup>)

Durante la fase de investigación de las tecnologías disponibles se determinó que existían dos tecnologías adecuadas para el desarrollo del sistema: las tarjetas electrónicas basadas en microprocesadores y las tarjetas electrónicas basadas en microcontroladores. Las primeras

corresponden a tecnologías que tienen por objetivo reducir considerablemente el tamaño de una computadora personal y su costo; entre éstas se encuentran la tarjeta Raspberry PI, Intel Galileo y Beagle Bone. En las segundas, basadas en microcontroladores, se analizaron las tarjetas Arduino UNO, Arduino Mega, pcDuino, entre otros.

## Materiales y métodos.

La investigación realizada es de tipo tecnológico y de naturaleza aplicada, consiste en trabajos sistemáticos basados en conocimientos existentes, obtenidos mediante investigación y/o experiencias prácticas que se dirigen de nuevos materiales, producto o dispositivos; a establecer nuevos procesos, sistemas y servicios; o la mejora sustancial de trabajos ya existentes.

## Equipos y materiales

Los dispositivos utilizados para el desarrollo del prototipo, posterior a un análisis de viabilidad son:

- » Computadora Laptop, para la programación del sistema y carga del mismo a la tarjeta Arduino Mega 2560.
- » Una tarjeta Arduino Mega 2560.
- » Una tarjeta GPRS/GSM Shield SIM900, para la comunicación de mensajes a SmartPhone.
- » 2 sensores YL-69.
- » Bomba para cisterna de 1/2 hp.
- » Otros dispositivos electrónicos para la protección eléctrica.

## Hardware

### Arduino Mega 2560

La Mega 2560 es una placa electrónica basada en el Atmega2560. Cuenta con 54 pines digitales de entrada / salida (de los cuales 15 se pueden utilizar como salidas PWM), 16 entradas analógicas, 4 UARTs (puertos serie de hardware), un oscilador de 16MHz, una conexión USB, un conector de alimentación, un conector ICSP, y un botón de reset. Contiene todo lo necesario para apoyar el microcontrolador; basta conectarlo a un ordenador con un cable USB o a la corriente con adaptador de CA a CC o una batería para empezar. La placa Mega 2560 es compatible con la mayoría de los shield para el Uno y las placas anteriores Duemilanove o Diecimila.

Figura 2. Tarjeta Arduino Mega 2560.



Fuente: Imagen de acceso público en <http://panamahitek.com/arduino-mega-caracteristicas-capacidades-y-donde-conseguirlo-en-panama/>

### Características de esta tarjeta

- » Microcontrolador: ATmega2560
- » Voltaje Operativo: 5V
- » Voltaje de Entrada: 7-12V
- » Voltaje de Entrada(límites): 6-20V
- » Pines digitales de Entrada/Salida: 54 (de los

cuales 15 proveen salida PWM)

- » Memoria Flash: 256 KB (8KB usados por el bootloader)
- » SRAM: 8KB, EEPROM: 4KB
- » Clock Speed: 16 MHz, otros.

### GPRS/GSM Shield SIM900 (Modem)

El GPRS/GSM Shield le proporciona una manera de utilizar la red de telefonía celular GSM para recibir datos desde una ubicación remota, ofrece GSM/ GPRS 850/900/1800/1900 MHz señales de audio, servicio SMS y GPRS. Es compatible con todas las placas que tienen el mismo factor de forma (y pinout) como una placa Arduino estándar. Este GPRS/GSM Shield se configura y controla a través de su UART utilizando los comandos AT. The Shield GPRS también tiene 6 GPIO, 2 PWM y 1 ADC.

Además, posee diferentes antenas: una es la tradicional antena GPRS, que es más sensible; la otra es la antena de a bordo.

Figura 3. Tarjeta GSM Shield SIM900 para Arduino UNO



Fuente: Imagen de acceso libre disponible en <https://es.aliexpress.com/item/1908631967.html>

### Módulo Relé.

El relé (en francés, relais, “relevo”) o relevador es un dispositivo electromagnético. Funciona como un interruptor controlado por un circuito eléctrico en el que, por medio de una bobina y un electroimán, se acciona un juego de uno o varios contactos que permiten abrir o cerrar otros circuitos eléctricos independientes (Figura 4).

¿Qué quiere decir esto? Quiere decir que, si activamos el relé, poniendo a 5 Voltios el pin de control dejará pasar la corriente (se cierra el circuito interruptor), mientras que si la tensión es 0 Voltios se interrumpirá la corriente. Este tipo de módulos permite activar actuadores como, por ejemplo, la puerta del garaje, el de una bombilla, una sirena o una cisterna.

Figura 4. Relé de 12 voltios, para actividad el mecanismo de encendido de la Bomba.



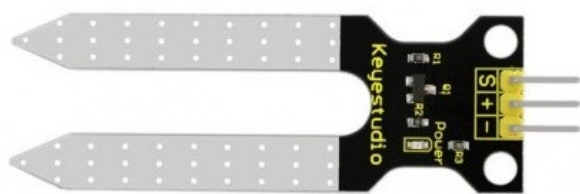
Fuente <http://diwo.bq.com/utilizar-rele-arduino-zum-core/>

### Sensor de humedad del suelo Keyestudio.

Este es un sensor simple de humedad del suelo que tiene como objetivo detectar la humedad del suelo. Si el suelo no tiene agua,

el valor analógico emitido por el sensor disminuirá, de lo contrario, aumentará. Si usa este sensor para hacer un dispositivo de riego automático, puede detectar si el cultivo necesita agua o no, para evitar que se marchite. el sistema será capaz de detectar el momento en que la tierra a perdió su humedad mínima y que es necesario realizar las acciones pertinentes para activar la bomba que permitirá esparcir el agua en el cultivo.

Figura 5. Sensor de humedad de suelo Keyestudio.



Fuente: Imagen de acceso público en: [http://shop.innovadidactic.com/index.php?id\\_product=643&controller=product](http://shop.innovadidactic.com/index.php?id_product=643&controller=product)

El sensor se configura con dos sondas insertadas en el suelo, luego con la corriente atraviesa el suelo, el sensor obtendrá valor de resistencia al leer los cambios actuales entre las dos sondas y convertir dicho valor de resistencia en contenido de humedad. Cuanto mayor sea la humedad (menor resistencia), mayor será la conductividad del suelo.

## Resultados.

### Propuesta de prototipo del sistema de riego.

El sistema electrónico está formado por una tarjeta Arduino Mega 2560, que se encarga del control lógico y de las operaciones de conversión de los sensores; un módulo GPRS/GSM Shield SIM900, para la comunicación con la red GSM; un sensor de humedad YL-69, para detectar el nivel de humedad de la tierra, sobre el cultivo vigilado, una bomba para cisterna DE 1/2 HP marca LEO, para enviar el agua a los aspersores. Así como la electrónica de adaptación y protección de voltajes. En la Figura 5 se muestra. Una descripción conceptual del sistema diseñado, mostrando las unidades que coexisten e interactúan.

El sistema reúne toda la información de los sensores de suelo, el cual procesa la información en el microcontrolador instalado en la tarjeta Arduino Mega 2560 y decide notificar si el valor enviado por los sensores está dentro del rango que indica que es necesario efectuar el riego, por nivel bajo de humedad. Para la notificación se envía un mensaje SMS al número de teléfono móvil GSM asignado en el código, esto por medio del uso del módem GPRS/GSM Shield SIM900. El sistema puede tener varios sensores YL-69 u otros, dependiendo del tamaño de la parcela con plantación a mantener húmeda.

Figura 6. Descripción conceptual del sistema.



En la Figura 6, se muestra el sistema organizado en varias unidades como controlador, interfaz, módulo GPRS/GSM y sensores.

## Software Arduino.

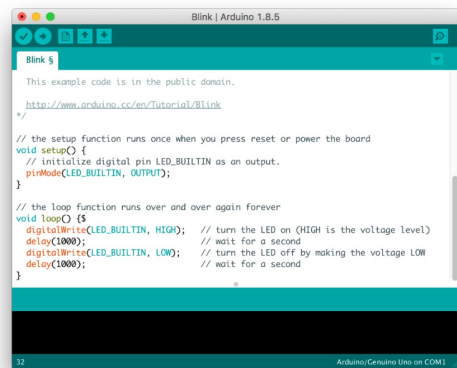
### IDE Arduino.

Dado que el Arduino es un pequeño ordenador que ejecuta una serie de códigos introducidos, necesitaremos un programa para introducir códigos a la propia placa. Este programa se llama IDE, "Integrated Development Environment" ("Entorno de Desarrollo Integrado"). Este IDE estará instalado en nuestro PC, es un entorno muy sencillo de usar y en él escribiremos el programa que queramos que el Arduino ejecute. Una vez escrito, lo cargaremos a través del USB y Arduino comenzará a trabajar de forma autónoma.

El paso siguiente por seguir, será configurar nuestro IDE para que se comunique con nuestra placa Arduino Mega 2560. Para ello conectamos el Arduino Mega 2560 mediante

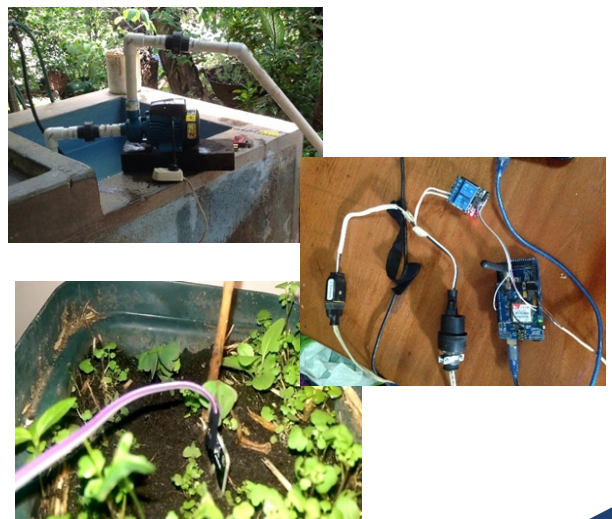
el cable USB a la PC y después de que el sistema operativo haya reconocido e instalado la tarjeta automáticamente, nos dirigimos a la zona de menú, pulsamos en herramientas y después en tarjeta. Ahí seleccionamos el modelo de tarjeta Arduino Mega que tengamos instalada, en nuestro sistema, tal es el caso nuestro "Arduino Mega 2560".

Figura 7. Interfaz de Arduino IDE.



### Prototipo del sistema de riego automático.

En la Figura 8, se muestra el prototipo final en donde se conectan los cables de los sensores, bomba de agua, sistema de energía (Sistema fotovoltaico) y otros.





La figura anterior, muestra el prototipo final de laboratorio, desarrollado utilizando sensores de humedad de suelo Keystudio, de acuerdo a los resultados se pudo observar una medición adecuada y que por los costos de adquisición este fue seleccionado para el prototipo final.

### Programación de la placa Arduino Mega 2560.

El código del programa desarrollado en el IDE de Arduino cuenta con dos partes fundamentales; la inicialización (setup) y el bucle (loop). A continuación, explicaré detenidamente cada una de estas partes.

#### Setup.

La función setup() es llamada solo una vez, cuando comienza la ejecución del sketch. Es un buen lugar para realizar tareas de configuración, como definir los pines o inicializar bibliotecas.

En el prototipo esta será la parte encargada de la inicialización del sensor de humedad Keystudio que implementará el Arduino y de la carga de parámetros almacenados en la memoria del Arduino Mega 2560. para saber que sensor hay en el sistema, se almacena en el pin donde está conectado para el tipo correspondiente. Para saber las acciones que hay que realizar, se almacenan en pareja de pines donde el primero es un sensor activo y el segundo un actuador que hay que activar.

Al final de estos datos se inicializa el sistema y se configuran los diferentes pines del Arduino Mega 2560, según su función.

#### Código del método setup().

```
void setup()
{
  SIM900.begin(19200);
  delay(5000);
  pinMode(RelayPin, OUTPUT); //modo
  salida
  Serial.begin(9600);
  Serial.println("Módulo GSM Sim900
  Funcionando OK"); //Mensaje OK en el
  arduino, para saber que todo va bien.
  delay(5000);
}
```

#### Código de la función loop()

La función del método loop que implementa Arduino Mega 2560, será de recibir una serie de parámetros y órdenes del servidor o placa Arduino Mega, como pueden ser activar o desactivar la bomba de aspersión de agua, o la configuración de los sensores de humedad de suelo y actuadores.

```
void loop()
{
  int humedad = analogRead(sensorPin);
  Serial.print("Valor de humedad: ");
  Serial.println(humedad);

  if (humedad < 550)
  {
    // Serial.println("La humedad del suelo
    está por debajo de 500 en nuestra lectura
    analogica");
    //tomar medidas al respecto
  }
}
```

```

sendSMS();
    digitalWrite(RelayPin, HIGH); //
Enciende el pin 2
    delay(5000); // Espera medio
segundo

}
digitalWrite(RelayPin, LOW); // Apaga el
pin 2
delay(5000);
do {} while (1); //hacer nada
}

```

### Enviar SMS (Mensaje a móvil).

Al realizar esta petición, la placa Arduino Mega 2560 buscará si existen los parámetros adecuados y correctos para analizar si es una instrucción conocida. El siguiente fragmento de código es el encargado de realizar esta acción.

```

void sendSMS()
{
    Serial.println("Enviando SMS...");
    SIM900.print("AT+CMGF=1"); //
Configura el modo texto para enviar o
recibir mensajes \r
    delay(1000);

SIM900.println("AT+CMGS=\"74765444\");
//Numero al que vamos a enviar el mensaje
    delay(1000);
    SIM900.println("Alerta, se activara la
planta de bombeo Para Riego
respectivo"); // Texto del SMS

```

```

delay(100);
SIM900.println((char)26); //Comando de
finalización ^Z
delay(100);
SIM900.println();
    delay(5000); // Esperamos un tiempo
para que envíe el SMS
Serial.println("SMS
enviado"); // turn off
module
}

```

### Discusión.

El dispositivo electrónico desarrollado ha sido construido considerando novedades que solo poseen algunos sistemas disponibles en el mercado internacional, y los sistemas que lo poseen presentan al usuario un alto costo de inversión, haciendo difícil su adquisición. Éstos hacen uso de una placa base o breadboard para conectar y configurar los diferentes componentes del sistema, permitiendo que sean más vulnerables a fallas, precisamente por situaciones donde se den altos voltajes de energía. En cambio, el prototipo desarrollado en esta investigación aumenta su período de durabilidad y confiabilidad al ser energizado por un sistema eléctrico adecuado.

Estos resultados guardan relación con lo que sostienen (Perea Palacios, 2016) y (Esclas Rodríguez, 2015), quienes señalan en sus conclusiones que son posible la programación y la implementación de un sistema automatizado para riego, a través de

tecnología de software libre. Ello es acorde con lo que en este estudio se encuentra. Pero, en lo que no concuerda el estudio de los autores referidos con el presente, es que ellos utilizan una ProtoBoard para la interconexión de los diferentes componentes del sistema.

Estos resultados guardan relación con lo que sostienen (Perea Palacios, 2016) y (Esaclas Rodríguez, 2015) quienes señalan en sus conclusiones que han sido posibles la programación y la implementación de un sistema automatizado para riego. Ello es acorde con lo que en este estudio se localiza.

### Conclusiones.

Se diseñó una estructura base para la implementación del prototipo haciendo uso de Arduino Mega 2560 se implementó un prototipo con sensores y circuitos electrónicos.

Se elaboró una aplicación de software que se integra con Arduino Mega 2560 para la automatización del sistema de riego.

Se desarrolló un sistema de riego de bajo costo y fácil implementación para cultivos automatizados, basándose en la necesidad de hacer uso eficiente del agua, así como aplicar un óptimo balance de humedad de suelo.

Se logró con éxito el monitoreo de la humedad de suelo, lo que permitirá activar el sistema de riego, cuando realmente sea necesario, así como será capaz de enviar mensajes al agricultor en tiempo real al

momento de activarse dicho sistema.

### Recomendaciones.

Se recomienda utilizar este tipo de sistemas de riego automatizado en diferentes tipos de riego tecnificado que puedan ayudar a un eficiente uso de agua, en cualquier tipo de cultivo.

Se recomienda continuar con el estudio para llevar el sistema aun punto más avanzado que permita realizar el monitoreo en tiempo real de la humedad de suelo y otros datos.

Se recomienda a futuro optimizar la conexión de bluetooth a conexión inalámbrica para que de esta forma tenga menos limitante en su conexión.

Se recomienda dejar un módulo en el que el usuario pueda cambiar el parámetro del sensor de humedad en caso de que conozca las características de las plantas, haciendo uso responsable para evitar el daño a las mismas.

### Referencias Bibliográficas.

Allen, R. G., Pereira, L. S., & Smith, M. (2006). Evapotranspiración del cultivo, Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos.

Castro Silva, J. A. (15 de enero de 2016). Sistema de riego autónomo basado en la internet de las cosas. Recuperado el 07 de marzo de 2018, de Universidad Internacional de la Rioja: <https://reunir.unir.net/bitstream/handle/123456789/3648/CASTRO%20SILVA>,

%20JUAN%20ANTONIO.pdf?sequence=1

Esclas Rodríguez, G. (2015). Diseño y desarrollo de un prototipo de riego automático controlado con Raspberry Pi y Arduino. Cataluña, España: Universidad Politecnica de Cataluña.

Fernández, R., Yruela M., Milla, M., Garcia J., y Oyonarte N. (2010). Manual de riego para agricultores Modulo4: Riego localizado. Ideas, exclusivas y publicidad S.L.

FAO. (2013). Manual de Agricultura Climaticamente Inteligente. Recuperado el 28 de mayo de 2018, de <http://www.fao.org>: <http://www.fao.org/climatechange/37495-0edc2355c27f19ee5cee068a90496add9.pdf>

Gurovich, L. (1985). Fundamento y diseño de Sistemas de Riego. Costa Rica, Levantex S.A.

Miah, S., & Gammack, J. (2009). A Sustainable knowledge repository for support in Climate Change Adaptation. Knowledge and Grid.: Fifth International conference on Semantics.

Perea Palacios, J. W. (2016). Diseño de un sistema de monitoreo, registro y control de temperatura y humedad para un cultivo de invernadero. Pereira, Colombia: Grupo de Investigación en Ingeniería Electrónica.

Santos, L. (2010). El riego y sus tecnologías. España, Crea-Uclm.